

# MOKO

- Utveckling av modell för val av korsningsgeometri



Av

Per Strömgren, Torsten Bergh & Niklas Olofsson



## Förord

I nuvarande utformningsregler och principer för dimensionering av korsningar och breddökning har inriktning för hur typfordon och utrymmesklass ska väljas blivit delvis otydlig och också delvis motsägande. Kör- och vingelmån hanteras inte fullt ut och inte heller på konsekvent sätt. Det är också oklart om tidigare VGU- och körspårskrav för hur förarens körkomfort ska hanteras och kunna variera med hänsyn till både olika miljöer och olika krav (men hänsyn till vägens funktion).

Dagens modell för utformning av korsningskurva utvecklades under 80- och 90-talet. Det finns brister vad gäller dokumentation för krav på körkomfort i de olika utrymmesklasserna vad gäller rattvridningshastighet. Detta finns endast delvis i dokumentation av det numer nedlagda VU PC2 Körspår. Korsningskurvan bestämdes utifrån ett antal parametrar, såsom korsningsvinkel, körfältsbredd, utrymmesklass, dimensionerande fordon, andel tung trafik, primärvägens horisontalgeometri och sekundärvägens horisontalgeometri. En del geometriska parametrar såsom vingelmån, kantstenstillägg etc. har bara dokumenterats vad gäller hur dessa har valts i förhållande till de förstnämnda. Därför är det av vikt att utveckla underlag och modell för korsningsutformning i VGU för korsningskurvans geometri samt göra en relevant dokumentation. Det pågår också en snabb utveckling både på lastbils- och bussidan med strävan att effektivisera transporter.

Denna rapport sammanfattar arbetet med att från litteraturstudie, skapande av modeller utformningsramverk samt ta fram ett underlag för TrVK/TrVR Vägar och Gators utformning (Trafikverket 2018).

Denna utredning är genomförd av Per Strömgren, Torsten Bergh och Niklas Kärrvall.

# Innehåll

SAMMANFATTNING .....	4
1 INLEDNING .....	6
1.1 Uppdraget .....	6
2 NULÄGE .....	7
2.1 Nuvarande krav och mål för utformningen.....	7
2.2 Bakgrund.....	14
2.3 Slutsatser .....	18
2.4 Korsningskurvans utformningsregler.....	18
2.4.1 Konstruktion av korsningskurva mha körspårsprogram.....	25
2.4.2 Trafiköar .....	26
2.4.3 Kör- och svepvidd samt körmån och vingelmån.....	27
3 KOMMERSIELLA PROJEKTERINGSVERKTYG .....	37
3.1 Vilka kommersiella utformningsverktyg används idag.....	37
3.2 Handhavande av de olika mjukvarorna .....	38
3.2.1 Autotrack-Vehicle Tracking.....	38
3.2.2 AutoTURN .....	39
3.2.3 Novapoint väg .....	39
3.3 Sammanfattning av körspårsprogram .....	39
4 DIMENSIONERANDE TYPFORDON – EN ÖVERSIKT .....	40
4.1 Norge .....	40
4.2 Danmark.....	42
4.3 Finland .....	45
4.4 Tyskland.....	46
4.5 GRUFF-utredningen.....	47
4.6 Sammanfattning typfordon .....	49
4.7 Analys uppdatering av befintliga typfordon.....	50
4.8 Förslag 55	
5 IMPLEMENTERING AV NYA TYPFORDON .....	56
5.1 Tunga långa fordonståg.....	56
5.2 Dubbelledbuss.....	59
5.3 Geometri för dubbelledbuss.....	62
5.4 Körspårssimulering för dubbelledbuss .....	65
5.5 Körspårsanalys .....	67

5.5.1	Analys och resultat.....	68
5.6	Slutsats analys av dubbelledbussar.....	73
6	KORSNINGSGEOMETRI I NÄRLIGGANDE LÄNDER.....	76
6.1	Norge .....	76
6.2	Danmark.....	77
6.3	Finland .....	82
6.4	Tyskland.....	84
6.5	Sammanfattning korsningsutformning .....	85
7	UPPDATERING AV KORSNINGSGEOMETRI .....	87
8	SLUTSATS, DISKUSSION OCH FORTSATT ARBETE .....	96
	REFERENSER .....	99

# Sammanfattning

Uppdraget är att:

- redovisa och analysera dagens ”regler” för val av dimensionerande trafiksituation och dess bakgrund och motiv.
- dokumentera nuvarande detaljregler för utrymmesklasserna (A, B ..), körman och vingelman både i vanlig korsning och cirkulationsplatser och relatera dessa till kommersiella körspårsprogram
- analysera dagens dimensionerande typfordon för ”dispensfria” bussar och lastbilar mot dagens fordonspark, trender i den och närliggande länders motsvarande typfordon.
- analysera utrymmesbehov i ”vanlig korsning” för aktuella försök med ”dispenskrävande” bussar och lastbilar.
- analysera om det är möjligt att förenkla nuvarande korsningskurva ”i vanlig korsning” med föreslagna eventuella justeringar av typfordon, körsätt, körman och vingelman.

Slutsatserna är kortfattat:

- Nuvarande regler för val av dimensionerande trafiksituation ändrades i övergången till Krav och är nu otydliga och delvis motstridiga. De bör ses över i syfte att förtydliga vad som gäller.
- I VU/VGU tillsammans med VU PC2 Körspår fanns detaljkrav för utformning av korsningsytor och korsningskurvor. Dessa bestod i att utrymmesklasserna i VU PC2 Körspår kompletterades med komfortkrav i form av regler för rattvridning med hänsyn till accepterad sidkraftsförändring och hastighet. Dessa regler är inte kompatibla med beskrivningen av vilka ytor som får användas i de olika utrymmesklasserna. Det fanns dessutom otydligt dokumenterat krav på körman i korsningskurvor. Detta regelverk har dokumenterats i rapporten. Dessa komfortkrav och körmanskrav finns inte i nuvarande regelverk. Dessa bör återinföras och då eventuellt också delvis omprövas. Det gäller då också vilka ytor som får användas i olika körsätt.
- Detaljalgoritmer i kommersiella körspårsprogram är i princip ”affärshemligheter”. Vehicle Track (AutoDesk) innehåller sannolikt VU PC2s algoritmer. Ett sätt, givet att reglerna återinförs, att ställa krav på program att använda i Trafikverkets projektering skulle kunna vara att införa en certifieringsprocedur.
- Trafikverkets nuvarande standardtypfordon för bussar och lastbilar med släp överensstämmer väl med andra länders typfordon. Lastbilen med påhängsvagn däremot har ett axelarrangemang, som inte stämmer med marknaden eller andra länders typfordon. En anpassning föreslås. Denna innebär då att det

istället blir ”modulfordonet” och boggibuss, som blir dimensionerande, givet att de gamla VU/VGU-reglerna skulle gälla.

- Det pågår ett intensivt utvecklingsarbete både på buss och lastbilssidan mot längre och effektivare fordon. Analysen av effekten av pågående försöksfordon ger att en översyn av typfordon och utrymmesbehov i samverkan med branschen rekommenderas.
- Det är möjligt att ersätta nuvarande korsningskurvas klotoidkoncept med ett cirkelkoncept på motsvarande sätt som i närliggande länder. Rapporten redovisar ett sådant förslag baserat på de gamla VU/VGU-kraven. Ytbehoven blir något mindre och det är modulfordon och boggibuss som dimensionerar. Det nya förslaget till lastbil med påhängsvagn har mindre utrymmesbehov.

# 1 Inledning

## 1.1 Uppdraget

Uppdraget är att:

- redovisa och analysera dagens ”regler” för val av dimensionerande trafiksituation och dess bakgrund och motiv.
- dokumentera nuvarande detaljregler för utrymmesklasserna (A, B, C och D), körmån och vingelmån både i vanlig korsning och cirkulationsplatser
- analysera dagens dimensionerande typfordon för ”dispensfria” bussar och lastbilar mot dagens fordonspark, trender i den och närliggande länders motsvarande typfordon.
- analysera utrymmesbehov i ”vanlig korsning” för aktuella försök med ”dispenskrävande” bussar och lastbilar.
- analysera om det är möjligt att förenkla nuvarande korsningskurva ”i vanlig korsning” med föreslagna eventuella justeringar av typfordon, körsätt, körmån och vingelmån.



## 2 Nuläge

### 2.1 Nuvarande krav och mål för utformningen

Detaljformning av korsning bestäms i princip i alla nationella regelverk och handböcker av för vilka fordon och körsätt, som korsningen dimensioneras. Val av typfordon och körsätt styrs oftast av anslutande vägars/gators funktion i systemet. Det är också normalt att en standardiserad korsningskurva används. Motiven för regelverken är dels ren rationalitet/effektivitet dels en tolkning/avvägning av lagstiftningens tillåtna fordon mot markåtgång, kostnader och effekter för andra trafikanter och omgivning.

Lagstiftningen reglerade länge bara total längd och bredd men inte utrymmeskrav/behov i sväng. Detta infördes först i EG-direktiv EC 96/53 (Council of the European Union 2015). Detta kräver numer att ett stelt fordon (ledat) ska klara att köra runt inom cirklar med radier 5,3 (2,0) och 12,5 m.

Nuvarande svenska regler och rekommendationer för statliga vägar för val av typfordon och körsätt finns i Övergripande krav och Krav respektive grundvärden för vägar och gators utformning (Trafikverket 2012 och 2015). Kraven kan sammanfattas:

- Funktionella förbindelser på landsbygd ska normalt utformas för typfordonen Lps och Bb samt kunna trafikeras med Lspec. Utrymmesklass A eller B för Lps och Bb ska normalt tillämpas vid körfältsbredder  $\geq 3,0$  m. Utrymmesklass B bör tillämpas om korsande gång- och cykeltrafik förekommer. Utrymmesklass C får tillämpas vid låga trafikflöden på sekundärvägen (korsningstyp A). I cirkulationsplatser ska Lspec kunna passera med som lägst utrymmesklass D.
- Dimensionerande typfordon för övriga statliga vägar (ej funktionella förbindelser) bestäms från fall till fall. Utrymmesklass B får normalt tillämpas. Efter TrV:s godkännande kan även utrymmesklass C godtas vid låga flöden
- Korsningar mellan statlig väg i tätort och kommunal gata eller enskild väg ska för genomgående trafik normalt dimensioneras för typfordon Lps och Bb utrymmesklass A eller B. Utrymmesklass B ska normalt tillämpas om korsande gång- och cykeltrafik förekommer samt i signalreglerade korsningar. I cirkulationsplatser ska Lspec kunna passera med som lägst utrymmesklass D. Dimensionerande typfordon för svängande bestäms från fall till fall.  
*Signalreglerade korsningar bör dimensioneras för Lbn utrymmesklass A och Lps utrymmesklass B i samtliga trafikrörelser. Vid separatreglering av*

vänstersvängande trafik bör typfordon Pb och Lps samtidigt kunna göra vänstersväng i motriktade tillfarter i primärväg,  
I överkörningsbara cirkulationsplatser som trafikeras av buss i linjetrafik bör bussar kunna trafikera utan att behöva trafikera den förhöjda delen.

- Korsningar inom övrigt kommunalt huvud- och lokalnät sker enligt kommunala beslut. Vid dimensionering av korsningar behöver stora fordons krav på framkomlighet vägs mot cyklisters, gåendes och särskilt funktionshindrades krav på säkerhet och framkomlighet
- I cirkulationsplatskraven redovisas körmåner vid utformningshastighet 30 respektive 50 för utrymmesklasser:

Tabell 2.1. Körman cirkulationsplatser

Vdim	Körman tot båda sidor av fordonet (m)			
	Utrymmesklass			
	A	B	C	D
50	0,75	0,5	0,25	0
30	0,5	0,25	0,25	0

Kanalbredder för 2-fältiga till- och frånfarter ska normalt dimensioneras för Pb+Lps och vid höga lastbilsflöden Lps+Lps. Utrymmesklass anges inte. En tabell redovisas enligt:

Tabell 2.2. Kanalbredder 2-fältiga cirkulationsplatser

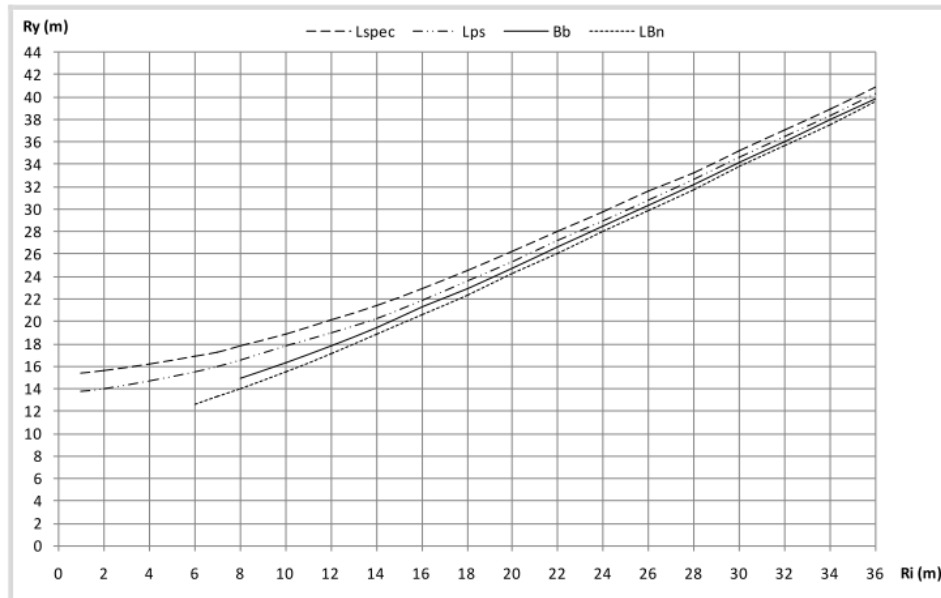
	Andel tung	Tillfart kanalradie		Frånfart kanalradie	
		10-14 m	15-25 m	100-150 m	>150 m
Pb+Lbn	liten	7,5	7	8	7
Pb+Lps	normal	10	9,5	8	7
Lps+Lps	normal	13	11	8	7
Lps+Lps	stor	14	12,5	8	7

Tvåfältiga cirkulationsplatser ska utan körfältslinje utformas för minst Lps + P utrymmesklass A enligt:

Tabell 2.3. Kanalbredder 2-fältiga cirkulationsplatser utan körfältslinje

Rondell Radie	Körvidd+avstånd mellan fordon+körmån utrymmesklass A					
	2 kf Vdim 40/50			2 kf Vdim 30		
	Lps+pb	Lps+Lps	Lbn+Lbn	Lps+pb	Lps+Lps	Lbn+Lbn
15	9,6	12,8	10,6	8,7	12,2	10
20	8,7	11,7	9,9	7,9	11,1	9,2
25	8,3	11,2	9,3	7,5	10,3	8,8
30	7,9	10,5	9	7,1	9,6	8,5
35	7,5	10	8,9	6,7	9	8,5

Cirkulationsbredder anges också för olika typfordon exklusive körmån.

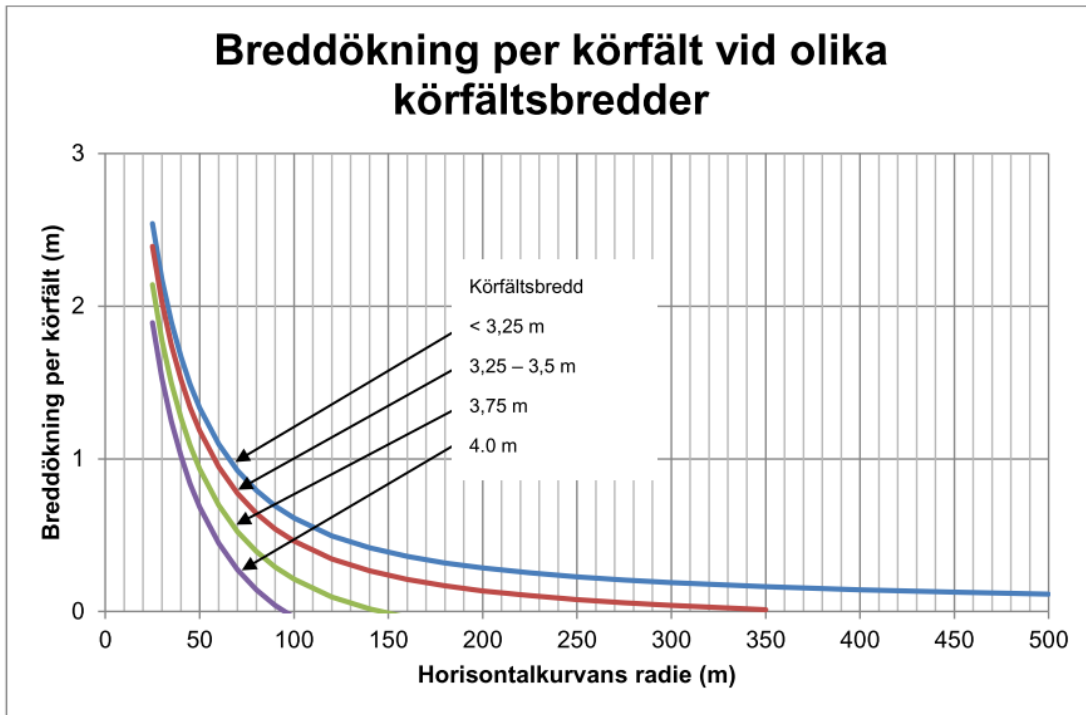


Figur 4.1-23 Ytterradie (Ry) som funktion av innerradie (Ri) på körarean för Lbn, Lspec, Lps, och Bb exklusive körmån vid 90° cirkulation till vänster.

Figur 2.1 Cirkulationsplatsbredder beroende på typfordon exkl körmån

För breddökning i kurva gäller

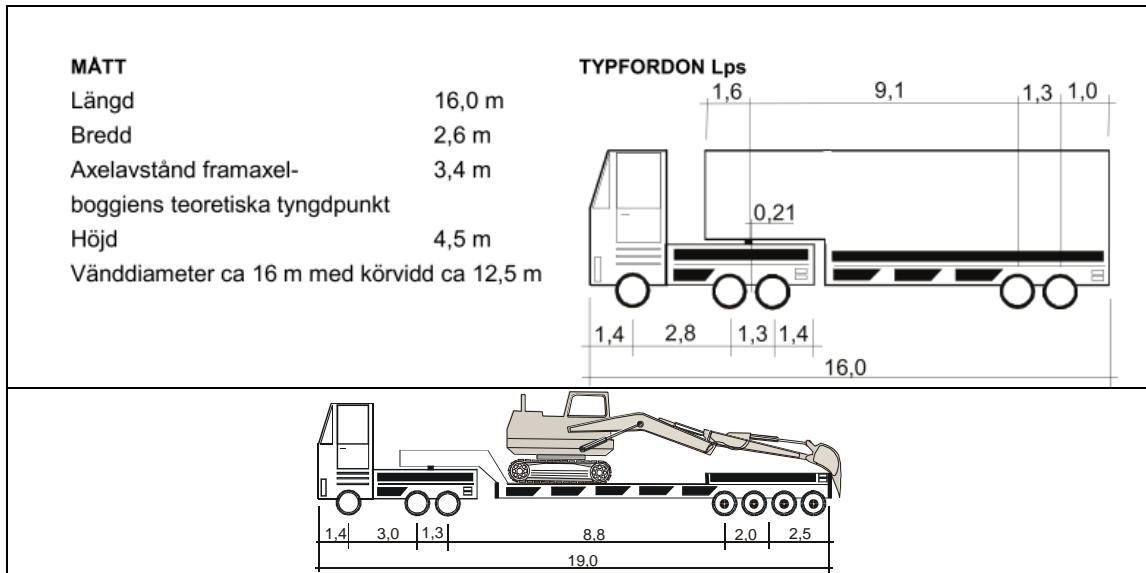
B= antal körfält \* breddökning för ett körfält, enligt **Figur 3.1-10**.



Figur 2.2. Breddökning i kurva

De refererade typfordonen redovisas i VGU Definitioner och grundvärden (Trafikverket 2015c) och är:

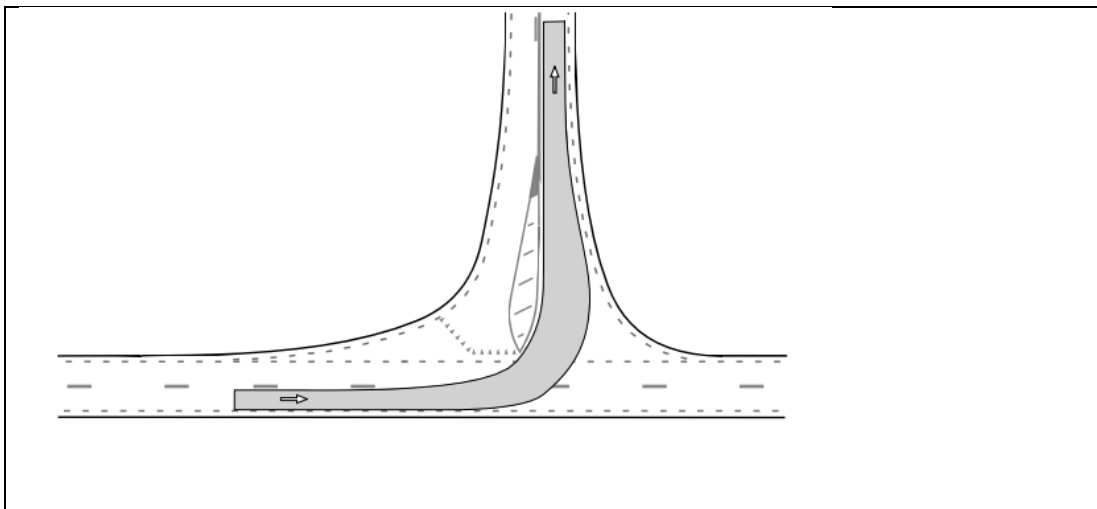
<p><b>MÅTT</b></p> <p>Längd 12,0 m</p> <p>Bredd 2,55 m</p> <p>Axelavstånd 6,0 m</p> <p>Överhäng fram 2,6 m</p> <p>Höjd (lastbil) 4,5 m</p> <p>Höjd (buss) 3,2 m</p> <p>Vändradie 12 m med körvidd 6,5 m</p>	<p><b>TYPFORDON LBn</b></p>
<p><b>MÅTT</b></p> <p>Längd 15,0 m</p> <p>Bredd 2,55 m</p> <p>Axelavstånd framaxel-boggiens teoretiska tyngdpunkt<sup>1)</sup> 7,3 m</p> <p>Överhäng fram 2,6 m</p> <p>Höjd 3,9 m</p> <p>Markfrigång 0,35 m</p> <p>Vändradie 14 m med körvidd 7 m</p>	<p><b>TYPFORDON Bb</b></p>
<p><sup>1)</sup> När endast främre axeln på boggin är drivande ligger teoretiska tyngdpunkten på 1/3 av avståndet mellan bogginns axlar.</p>	



Figur 2.3. Nuvarande typfordon Bb, Lps och Lspec

Utrymmesklasserna definieras också i Grundvärden enligt:

- A: Bekvämt och säkert med körarea vid sväng inom eget körfält utom vid korsande av motriktat körfält med minimiradier (bakaxels mittpunkt) och rattutslag enligt tabell nedan

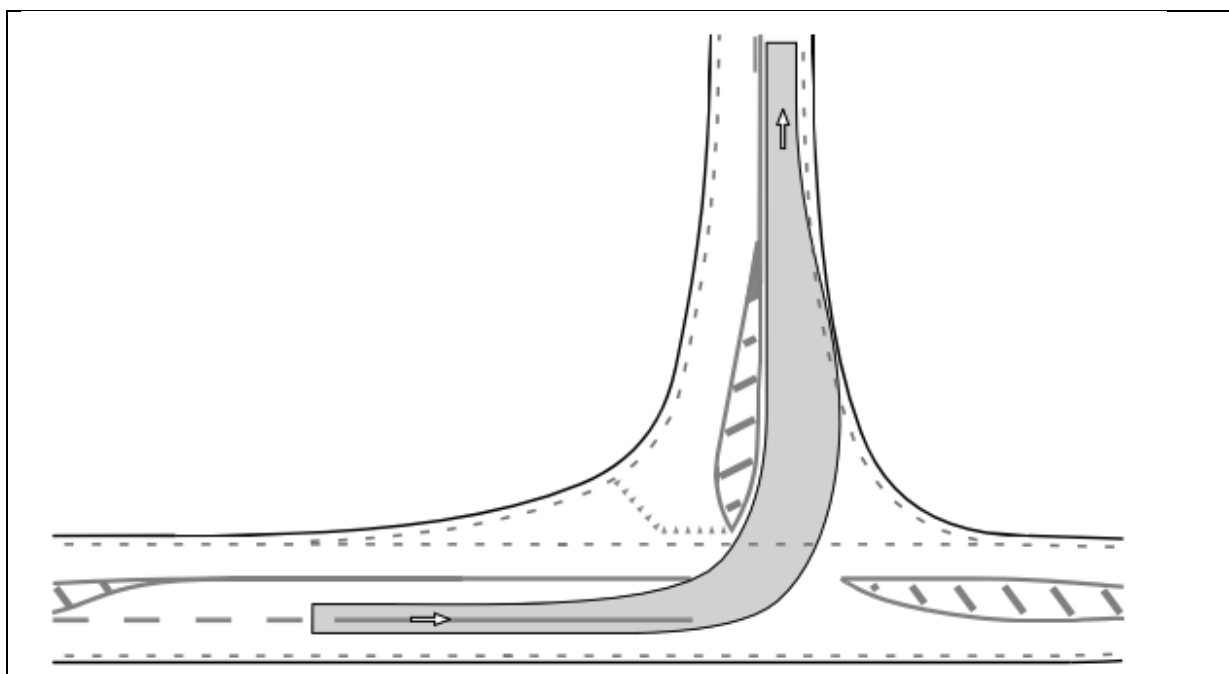


		Typfordon						
		Pb	LBm	LBn+Bl <sup>1)</sup>	Bb	Lps	Lskog	Lmod
Typkorsning A,B och C								
Högersväng	Minradie (m)	6	8	12	15	9,5	14,5	14,5
90°	% av max	62,5	62,5	62,5	62,5	50	50	50
	hjulutslag							
Vänstersväng	Minradie (m)	5,5	7	11	13	8	11,5	11,5
90°	% av max	69	69	69	69	62,5	62,5	62,5
	hjulutslag							
Typkorsning D								
Högersväng	Minradie (m)	6	8	12	15	9,5	14,5	14,5
90°	% av max	62,5	62,5	62,5	62,5	50	50	50
	hjulutslag							
Vänstersväng	Minradie (m)	5,5	7	11	13	9,5	14,5	14,5
90°	% av max	69	69	69	69	50	50	50
	hjulutslag							

1) Ledbuss ryms normalt inom samma utrymme som LBn.

Figur 2.4. Nuvarande utrymmesklass A

- B: Mindre god körkomfort men tryggt/säkert om hastighetsanpassning med sveparea vid sväng på medriktade körfält och på GC-banor od där GC-trafikanter kan förekomma men minst 1,5 m fritt utrymme med minimiradier (bakaxels mittpunkt) och rattutslag enligt tabell nedan

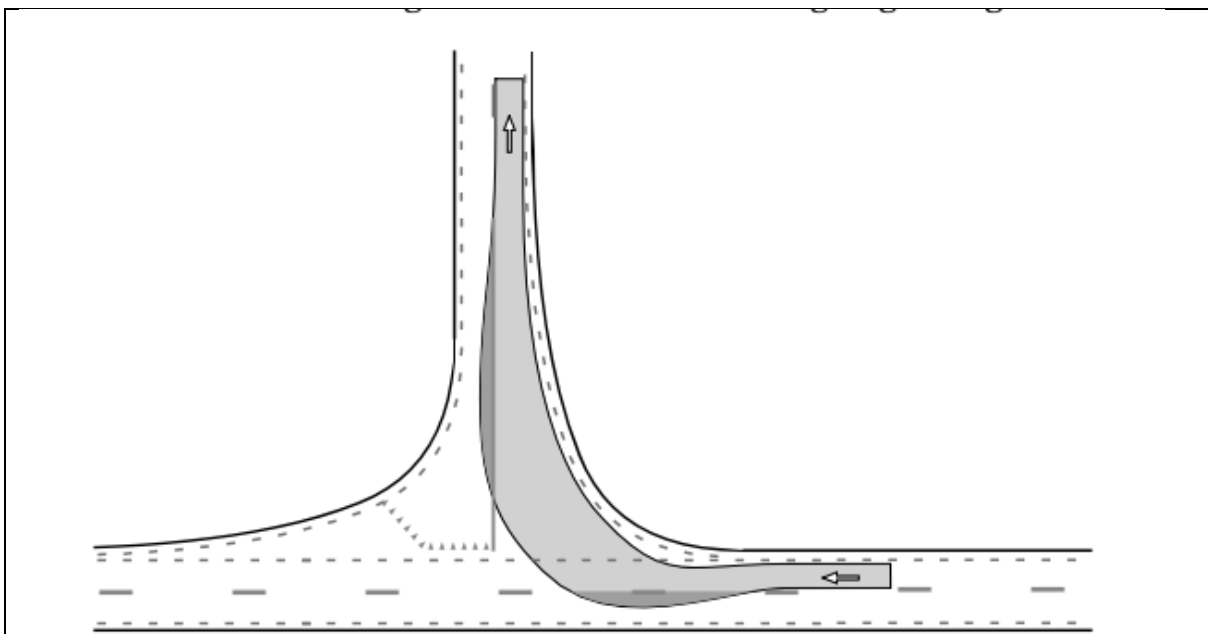


		Typfordon						
		Pb	LBm	LBn+Bl <sup>1)</sup>	Bb	Lps	Lskog	Lmod
Typkorsning A,B och C								
Högersväng	Minradie (m)	5,5	7	11	13	7,5	11,5	11,5
90°	% av max	69	69	69	69	62,5	62,5	62,5
	hjulutslag							
Vänstersväng	Minradie (m)	5	6	10	12	6	9	9
90°	% av max	75	75	75	75	75	75	75
	hjulutslag							
Typkorsning D								
Högersväng	Minradie (m)	5,5	7	11	13	7,5	11,5	11,5
90°	% av max	69	69	69	69	62,5	62,5	62,5
	hjulutslag							
Vänstersväng	Minradie (m)	5	6	10	12	7,5	11,5	11,5
90°	% av max	75	75	75	75	62,5	62,5	62,5
	hjulutslag							

1) Ledbuss ryms normalt inom samma utrymme som LBn.

Figur 2.5. Nuvarande utrymmesklass B

- C: Låg körkomfort men säkert om tillräcklig hastighetsanpassning med körarea vid sväng på medriktade och motriktade körfält och GC-krav enligt körsätt B med minsta radie och rattutslag enligt tabell:



		Typfordon						
Typkorsning A,B och C		Pb	LBm	LBn+Bl <sup>1)</sup>	Bb	Lps	Lskog	Lmod
Högersväng	Minradie (m)	5	6	10	12	6	9	9
90°	% av max	75	75	75	75	75	75	75
	hjulutslag							
Vänstersväng	Minradie (m)	5	6	10	12	6	9	9
90°	% av max	75	75	75	75	75	75	75
	hjulutslag							
Typkorsning D		Pb	LBm	LBn+Bl <sup>1)</sup>	Bb	Lps	Lskog	Lmod
Högersväng	Minradie (m)	5	6	10	12	6	9	9
90°	% av max	75	75	75	75	75	75	75
	hjulutslag							
Vänstersväng	Minradie (m)	4	5	8	9,5	9,5	14,5	14,5
90°	% av max	90	90	90	90	66	66	66
	hjulutslag							

1) Ledbuss ryms normalt inom samma utrymme som LBn.

Figur 2.6. Nuvarande utrymmesklass C

- Utrymmesklass D: endast för cirkulationsplatser typfordon Lspec. Vid vänstersväng och rakt fram utnyttjas hela körfältet samt erforderligt utrymme i rondellytan + 0,5m. Vid högersväng utnyttjas max utrymme i rondellytan samt eventuell överkörbar del av i korsningskurva och trafiköar.

## 2.2 Bakgrund

Typfordon och körsätt fanns redan i de första svenska reglerna från 1962 (KVVS 1962), som 1967 (Statens Vägverk 1967) bara speglades. Då gällde en 9 m lastbil och körsätt definierat i körspårsmallar med olika radier.

Utrymmesklasser A, B och C samt buss (12 m), ledbuss (18 m) lastbil med påhängsvagn (Lps 16 m) respektive släp (24 m) infördes på 70-talet (Vägverket 1973). Då kom också de första reglerna råden för val av typfordon och körsätt på landsbygd (Vägverket 1977) och i tätort (Vägverket 1973). Typfordon och körsätt byggde då på en utredning genomförd tillsammans med branschen (Statens Vägverk 1975). Typfordonen motiverades av då förekommande fordon, gällande lagstiftning och branschens värdering av den framtida utvecklingen. Utredningen ger inga motiv för axelarrangemangen i fordonen. Endast totallängdsdata redovisas. Boggibussen tillkom 1986 (Vägverket 1986), modulfordon (Lm 25,25) och specialfordonet (Lspec 19 m) 1999 (Vägverket 1997 och 1999).



Ledbussen och lastbilarna med påhängsvagn respektive släp har varit oförändrade sedan 1977. Normalbussen har detaljjusterats inom 12 m. Lastbilen med släp har också detaljjusterats. Boggibussen har växt från 13,5 till 14 m.

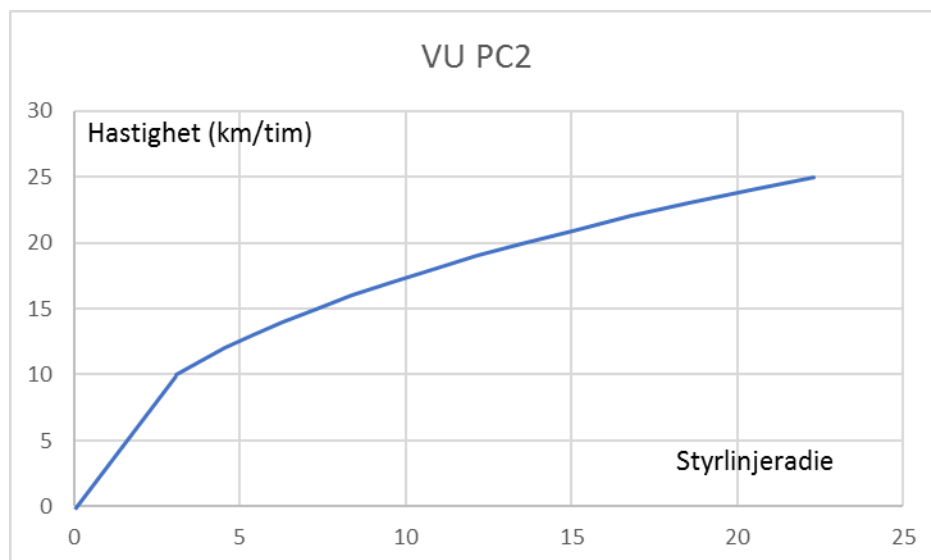
Utrymmesklasserna har detaljjusterats på marginalen. Körsätt D infördes 1999 (Vägverket 1999). Utrymmesklasserna, i form av bekvämlighet/komfort, definierades tidigare också indirekt också av krav i Vägverkets körspårprogram VU PC 2 Körspår (Vägverket 1994, 1998 och 1999) .

I körspårsprogrammet ger användaren en körstrategi som en styrlinje för dragaxelns mittpunkt bestående av raklinjer och radier och en körhastighet. Programmet tar sedan iterativt ur detta fram ett styrspår där hänsyn tas till körbarhet/körkomfort genom att:

- Körhastighet kontrolleras mot ett samband mellan radie och ”bekväm hastighet”  $V$  (km/tim). Bekväm hastighet ges av att dimensionerande sidoacceleration (Sacc) ej får överskridas:

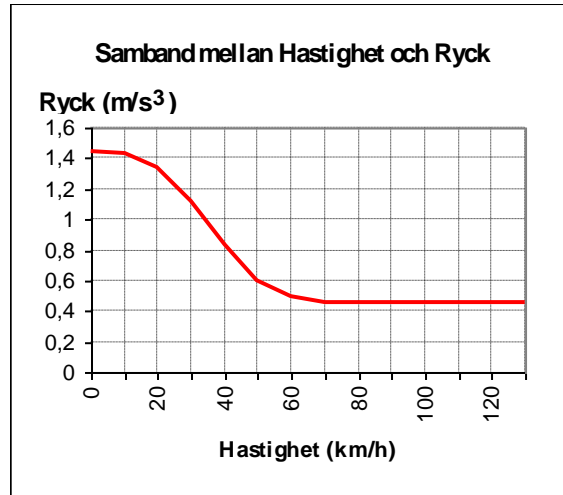
$$\text{Sacc} = g \cdot 0,28 \cdot \text{EXP}(-0,0096 \cdot V)$$

Detta ger max radie  $R_{\text{max}} = (V/3,6)^2 / \text{Sacc}$  illustrerat nedan



Figur 2.7. Samband hastighet – radie i VU PC2

- Rattvridning, dvs sidokraftsförändringen antas vara konstant mellan styrlinje-elementen, dvs som klotoider med villkoret  $A^2 = k \cdot (V/3,6)^3$  .  
 $A$  är klotoidparametern,  $V$  är hastighet enligt ovan i km/h och  $k$  är sidokraftsförändringen per sekund eller rycket. För detta antas gälla:



Figur 2.8. Samband hastighet – ryck i VU PC2

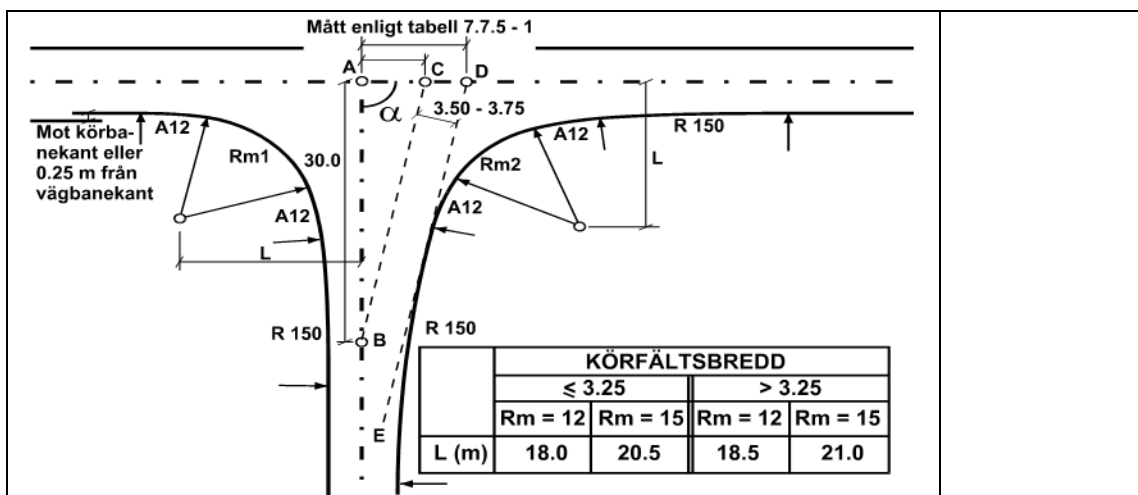
- Det finns också krav på minsta längd på element via klotoidparametrar och radier ( $A^2 = R \cdot L$ ) och på max rattvridningshastighet 11,5 °/sek. Den senare ger ett ytterligare villkor på sambandet mellan A, R och hastighet.

Dessa komfortkrav finns inte längre tydligt kvar i nuvarande regelverk.

Regler och råd för val av typfordon och körsätt beroende på trafiksituation har över tid finjusterats och kompletteras ett antal gånger i VU94, ARGUS och VGU. För det större vägnätet har i princip gällt LpsA och BbA. LpsA är i princip dimensionerande för tillfarter och i cirkulationsplats innerradie, Bb på motsvarande sätt i frånfarter med refug och för cirkulationsplatsers ytterradie. Lsp, det största fordonet, används bara i vissa skogsbilväganslutningar. Det har hela tiden förts en diskussion kring konflikten mellan stora fordons framkomlighet och säkerhet, särskilt för gående, cyklister och funktionshindrade.

### Korsningskurva

Nuvarande korsningskurvan för korsningstyp A-C introducerades 1986 (Trafikverket 1986). Den har varit oförändrad sedan dess med kombinationen R150-A12-Rmitt-A12-R150 och har sina rötter i 1962 års regler (KVVS 1962). Den skiljer sig från flera andra korsningskurvor där radiekompositionen 2Rmitt-Rmitt-3Rmitt tillsammans med vinkeländringskrav används. Utformningen bygger på VU94/VGU2004s krav LpsA och BbA med körspårsprogrammets indirekta krav på körkomfort via samband hastighet, radie, båg­längd och klotoid. Det finns också med en kör­mån på cirka 0,5 m.



Figur 2.9. Nuvarande korsningskurva

Konstruktionsgången är följande:

Steg 1 Bestäm om korsningskurvan ska utgå från körbanekant eller inryckning 0,25 m från vägbanekant

Steg 2 Bestäm mittkurvornas radie  $Rm1$  och  $Rm2$  med hänsyn till korsningsvinkeln enligt tabell ovan.

Steg 3 Bestäm  $L$  med hänsyn till körfältsbredd och mittkurvans radie enligt tabell ovan.

Steg 4 Bestäm längden  $A-C$  och  $A-D$  med hänsyn till korsningsvinkeln enligt tabell nedan

Tabell 2.4. Längder  $A-C$  och  $B-D$  med hänsyn till korsningsvinkel

Korsningsvinkel	Vinkel A-B-C	Avstånd A-C	Avstånd A-D vid körfältsbredd	
			3,5 m	3,75 m
gon	gon	m		
85	15	7,003	10,503	10,753
90	15	7,025	10,536	10,787
95	12	5,656	9,177	9,428
100	12	5,723	9,286	9,540
105	12	5,828	9,457	9,716
110	15	7,580	11,369	11,639
115	15	7,860	11,788	12,069

Steg 5 Konstruera korsningskurvorna med stöd av hjälplinjerna  $A-B-C$  och  $D-E$ .

## 2.3 Slutsatser

Nuvarande regler är inte helt enkla att tyda. De är ändrade sedan VU 94/VGU 2004. En bokstavstolkning är att funktionella förbindelsers korsningar ska/bör utformas för Lps(B) och Bb(B), att utrymmesklass C får tillämpas vid korsningstyp A och att Lspec ska kunna trafikera cirkulationsplatser med D.

För övriga statliga vägar avgörs typfordon från fall till fall normalt med utrymmesklass B. Korsningar med kommunal väg ska utformas som på funktionella förbindelser alternativt från fall till fall.

För cirkulationsplatser ges regler för körmån och 2-fältiga kanalbredder. De senare bygger på andel tung trafik och saknar tydligt stöd i de mer övergripande kraven.

Detaljutförningarna för korsningskurvor ligger samtidigt kvar utan korrigering för ändringarna i val av typfordon och körsätt. Utrymmesklasserna är oförändrade men har tappat VU PC2 Körspårs indirekta komfortkörkrav i form av samband körradie-hastighet-båglängd-klotoid. Detta gör att det egentligen inte finns några krav att stödja utformning av korsningskurva på. Det behövs på denna detaljnivå förtydliganden av regelverket. Dessutom används idag kommersiella körspårsprogram där det är otydligt i vilken utsträckning komfortkörkraven är med.

Det finns ett behov av att se över regelverket i syfte att förtydliga vad som gäller mer generellt.

## 2.4 Korsningskurvans utformningsregler

Korsningskurva för högersväng utformas så att innerkanten av det dimensionerande fordonets körspår plus körmån anpassas till ett antal kurvor, se figur 2.8 ovan. För att kunna bestämma körspårets innerkant ger man i VU PC2 Körspårsprogram (Vägverket 1994 och 1999) i indata en styrlinje och en hastighet. Dessa ger de övergripande kraven. Dessa omformas till ett styrspår via de krav, som redovisas i föregående avsnitt.

Under körning utan stopp måste ett fordon följa ett spår, som är beroende av hjulens vinkel med färdriktningen. Om denna vinkel är noll kör fordonet utmed en raklinje, vid alla vinklar kör det efter en cirkelbåge. Färdriktningen ändras genom att vrida ratten under en viss tid. Rattvridningen ändrar hjulens vinkel med färdriktningen och låter fordonet köra efter en annan cirkelbåge. Under tiden där ratten vrids ändras cirkelbågens radie kontinuerligt.

En raklinjepolygon som styrlinje är en förenkling av geometrin, som inte överensstämmer exakt med ett fordonets kördynamiska krav. En styrlinje som består av raklinjer och cirkelbågar ger en bättre approximation för det kördynamiska kravet. I verkligheten innebär en sådan linje att fordonet kör utmed ett element, raklinje eller cirkelbåge med en viss radie, stannar vrider ratten och kör utmed nästa element. Detta gäller framförallt skillnaden mellan på varandra följande elements radier är för stora, där raklinjens radie är oändligt stor. För att erhålla ännu bättre anpassning till det kördynamiska kravet bör man lägga övergångskurvor mellan varje element. Därmed erhålles ett styrspår, som ett fordon kan lätt följa efter.

Matematiskt gäller vid körning med konstant hastighet samt konstant rattvridningshastighet att fordonet följer en klotoidbåge. Konstant hastighet och konstant rattvridningshastighet innebär konstant sidokraftsändring eller ryck, se avsnittet ovan. Trots detta är det mycket svårt att tillämpa dessa kunskaper vid praktiskt bruk, dvs vid utformning av en styrlinje. Dessutom ingår klotoidbågen inte som ett vanligt geometriskt element i alla CAD program.

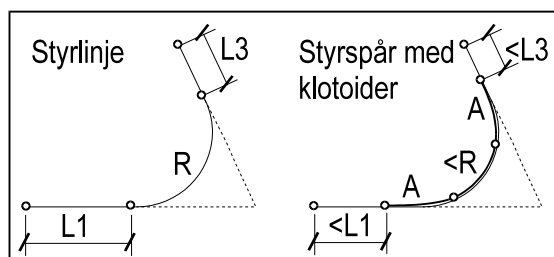
VU PC2 Körspårs indata är således en styrlinje, som användaren har konstruerat, och en hastighet. Styrlinjen avser det valda fordonets dragaxels mittpunkt.

Det erfordras minst två element för att kunna beräkna ett styrspår. Algoritmen har utarbetats så att beräknade styrspåret ansluter sig så nära som möjligt till den givna styrlinjen för aktuell hastighet. Algoritmen styrs då av programmets samband mellan hastighet och radie samt hastighet och ryck, se avsnitt ovan.

För beräkningarna tillämpas två olika metoder:

#### Metod 1

Denna metod innebär att styrlinjens element delas i grupper av tre element. Radien och för mellanliggande element omräknas för att få plats med klotoider mellan alla elementen. Samtidigt flyttas detta element till ett nytt läge så att mittpunkterna av det ursprungliga och de beräknade elementen ligger så nära till varandra som möjligt. Endast längderna för det första och sista elementen förändras.



Figur 2.10. Beskrivning av styrlinje.

Beräkning av klotoider baseras på dimensionerande ryck, se figur 2.7, den hastighet med vilken ett fordon kan köra utmed den minsta radien av cirkelbågarna, som klotoiden förbinder, se figur 2.9. Alla beräkningar sker iterativt.

När det första tre elementen är beräknade väljs en ny grupp av tre element, där det första elementet är föregående gruppens sista element. Beräkningarna pågår tills alla elementen är omräknade.

Enligt denna metod förändras radien något för varannan cirkelbåge.

## Metod 2

För att kunna beräkna en linje endast med metod 1 krävs att antal element är  $3 + 2 * n$ . I annat fall innehåller den sista gruppen endast två element. Metod 2 används för beräkning av dels detta fall dels en styrlinje bestående av endast två element.

Vid tillämpning av denna metod omräknas radien av det sista elementet för att få plats med klotoider mellan elementen. Detta element flyttas så att dess ändpunkt behåller sitt läge samt i det flesta fall behåller denna punkt även sin riktning.

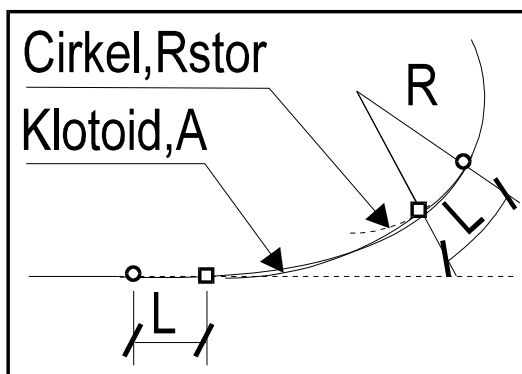
Mellan två element i styrlinjen läggs en klotoid. När styrlinjen innehåller två cirkelbågar med olika krökningar efter varandra läggs dock två klotoider, S-kurva. Antalet element efter beräkningarna kan därför beror på styrlinje elementens form.

Avvikelsen mellan styrlinje och styrspår är mindre än 0,1 m vid styrlinjer som innehåller raklinjer mellan två cirkelbågar med olika krökningar, t ex en vänster och en högerkurva samt medelpunktsvinkeln av en omräknad cirkelbåge inte är för stor, större än 320 grader. I annat fall kan några meters avvikelse erhållas.

Styrlinjens utformning är avgörande vid beräkning av styrspåret med klotoider. Det finns kombinationer av tre cirkelbågar efter varandra med samma krökning och viss radie kombinationer, som inte medger att klotoidbågar kan läggas mellan dem. När detta inträffar meddelas användaren att det inte går att beräkna styrspåret. Detta berör vanligtvis ett begränsat avsnitt inom en styrlinje. Trots att övriga delar av styrspåret kan beräknas stoppas beräkningarna. Ett möjligt sätt att skapa ett styrspår är att dela linjen i två delar så att denna kombination av cirkelbågar inte uppstår.

Några element i styrlinjen kan vara så korta att tangentpunkterna på de klotoidbågar, som omger detta element går omlopp. I sådana fall minskas klotoidernas parametrar succesivt tills de får plats mellan elementen. Detta innebär att fordonet måste minska sin hastighet, mer än nödvändigt, vid passage av detta element. Andelen av hastighetsminskningen, förhållandet mellan beräknad hastighet och indatahastighet, definieras som en bekvämlighetsfaktor och detta meddelas till användaren. Detta gör det att användaren kan justera sin styrlinje för att erhålla en bekväm styrspår.

Eftersom klotoider inte förekommer som ett vanligt geometriskt element i de vanliga CAD programmen har det utarbetats en generell algoritm som vid uppritning av styrspår ersätter klotoiderna med stora cirkelbågar. Elementen som omger klotoidbågen förlängs och en cirkelbåge beräknas med radien  $R_{stor}$  som tangerar båda elementen.



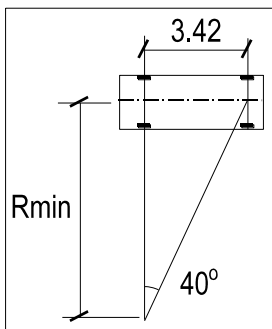
Figur 2.11. Beskrivning av styrlinje med klotoider.

$R_{stor}$  beräknas så att de omgivande elementen förlängs lika mycket,  $L$ . Denna beräkning utförs med iteration. Alla elementlängder ändras. När det beräknade styrspåret med klotoider innehåller två klotoider efter varandra, dvs en S-kurva, måste en raksträcka läggas mellan cirkelbågarna med radien  $R_{stor}$ . Denna raklinje läggs utmed klotoidernas grundtangenter.

Utformning av korsningskurvan sker med hjälp av ett antal geometriska element enligt följande; cirkelbågarna  $R_{mitt}$  och  $R_{slut}$  bestäms genom kurvanpassning av körspårets inre kant. Korsningskurvans läge fastställs genom att bestämma läget av radien  $R_{mitt}$  medelpunkt med hjälp av avstånden mellan medelpunkten och körbanekanterna för tillfart,  $D_{star}$ , respektive frånfart,  $D_{orto}$ .

Korsningskurvor utformades enligt VGU 2004 och tidigare med hänsyn till utrymmeskravet för det dimensionerande fordonet,  $L_{ps}$ , vid högersväng i korsning. Körradien för detta fordon, enligt VGU, är i utrymmesklass A 10 m. Utnyttjat hjulvinkel skall inte överstiga 50% av maximala hjulvinkeln. Nuvarande regelverk tolkas så att utrymmesklass B tillåts.

Axelavståndet för det dimensionerande fordonet,  $L_{ps}$ , är 3.42 m, se figur 2.2. Med antagandet om att det största rattutslaget maximeras till  $40^\circ$  (utrymmesklass 50 % av max 80 grader) kan den minsta körradien,  $R_{min}$ , beräknas enligt:

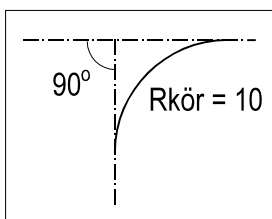


Figur 2.12. Beskrivning av Lps, dragfordonets geometri.

$$R_{\min} = 3,42 / \tan(40)$$

$$R_{\min} = 4,76 \text{ m}$$

Enligt utrymnesklass A, i VGU 2004, är för fordonet Lps den accepterade körradien,  $R_{\text{kör}} = 10 \text{ m}$ .



Figur 2.13. Beskrivning av körradien,  $R_{\text{kör}}$ .

Körning utmed en cirkelbåge med  $R_{\text{kör}}$  innebär att fordonet Lps hjulvinkel blir:

$$\text{Hjulvinkel} = 18,9^\circ (\tan (3,42/10))$$

När det dimensionerande fordonet kör utmed en cirkelbåge med radien,  $R_{\text{kör}}$ , kan fordonet köra med en högsta hastighet som svarar mot denna radie, se figur 2.6 cirka 17 km/tim bestämt av en dimensionerande sidoacceleration.

Låt oss anta att den tid som erfordras för att vrida ratten vid en högersvängningsrörelse motsvarar den tid det tar för fordonet att köra halva svängningsvinkeln (den absoluta vinkeln mellan tillfart och frånfart),  $\varphi/2$ . Körlängden, L för att tillryggalägga halva svängningsvinkeln (andra halvan går för att "svänga tillbaka") för  $R_{\text{kör}}$  kan för svängningsvinkel  $90^\circ$  beräknas enligt:

$$L_{\text{kör}} = R_{\text{kör}} * 90 / 2 * \pi / 180 = 7,85 \text{ m}$$

Den tid under vilken ratten vrids blir:

**movea**

www.movea.se

per.stromgren@movea.se

Movea Trafikkonsult AB

Bergsundsgatan 17

117 37 STOCKHOLM



$$T_{k\ddot{o}r} = L_{k\ddot{o}r} / V_{k\ddot{o}r} \text{ (m/s)} = 7,85/17/3,6 = 1,63 \text{ sekunder}$$

Rattvridningshastigheten blir hjulvinkel/ $T_{k\ddot{o}r} = 18,9/1,63 = 11,6$  °/sek att jämföra med kravet 11,5 °/sek

Som övergångskurvor används klotoiden. För att konstruera ett kördynamiskt riktigt körspår krävs även kännedom om samband mellan körhastighet,  $V_{k\ddot{o}r}$ , och klotoidparameter,  $A$ . Sambandet mellan  $V_{k\ddot{o}r}$  och  $A$  kan beräknas med hjälp av kravet på ryck,  $K_S$ .

Enligt VU 94 Del 3.3.6 anges att ryck är 0.45 m/s<sup>3</sup>. Detta värde har framtagits för utformning av vägsträckor. Mätningar visar att i korsningar accepterar fordonsföraren mycket högre ryck. Vid utformning av korsningskurvor har därför framtagits ett samband som ger ca 0.45 för hastigheter över 50 km/h och högre värden för lägre hastigheter.

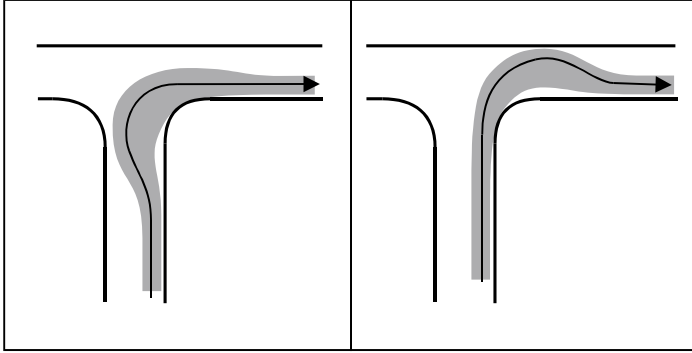
Anpassning av rycket till mätvärdena för låga hastigheter och samtidigt behålla värdet 0,45 på hastigheter över 50 km/h kan erhållas med hjälp av sambandet:

$$K_s = \text{Exp}(-0,000015 * V^3) + 0,45, \text{ se tidigare figur 2.7}$$

Det finns en viss motsägelse här mellan max rattvridningshastighet, oberoende av hastighet, och ryck, indirekt rattvridningshastighet, men beroende av hastighet,

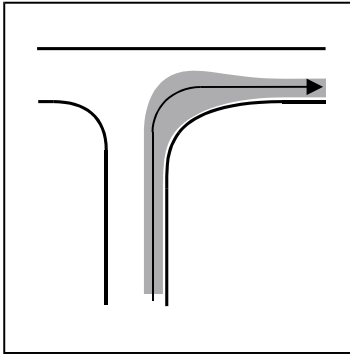
Fordonets utrymmesbehov och därmed korsningskurvan beror av "körstrategi" genom korsningen. Förare av stora fordonskombinationer är vana vid att styra sitt fordon genom tränga passager genom att svänga i S-kurvor.

S-manöver i tillfart måste i VU PC 2 Körspår ges som indata i styrlinje. S-manöver i fränfart hanteras av programmet och behöver inte ges som indata.



Figur 2.14. Beskrivning av korsningskurva med otillräckligt utrymme.

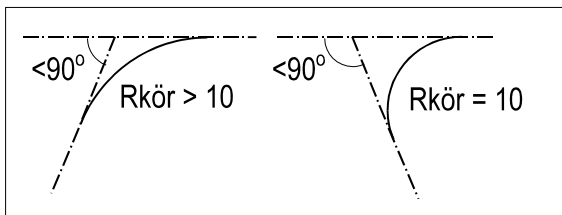
Standardkravet på utrymmesklass enligt VGU 2004 var att ett svängande fordon från sekundärväg skulle köra i eget körfält ( $\geq 3\text{m}$ ). I alla korsningstyper, utom A1, tillämpas samma standardkrav båda på primär- och sekundärväg. Därför innehåller styrspåret inga S-kurvor:



Figur 2.15. Beskrivning av korsningskurva med tillräckligt utrymme.

Styrspåret utformas så att det startar med en parallellinje till körbanekanten vid tillfart och slutar med en parallellinje till körbanekanten vid frånfart. Dessa linjer förbindes med cirkelbågen med radien  $R_{\text{kör}}$  samt till denna hörande klotoidbågar. För att kunna tillämpa ett körspår på detta styrspår ersätts klotoiderna med stora radier.

Radien,  $R_{\text{kör}}$  kan vara mindre när fordonets svänger i en större vinkel, eftersom körningen tar något längre tid och föraren kan svänga ratten något mer.



Figur 2.16. Beskrivning av  $R_{\text{kör}}$  beroende på korsningsvinkel.

På motsvarande sätt blir  $R_{kör}$  större när fordonets svänger utmed en mindre vinkel eftersom tiden för att vrida ratten blir kortare. Detta som grund kan man skapa ett samband mellan svängningsvinkeln,  $\varphi$  och körradien,  $R_{kör}$ .

Med antagande om att tiden för rattvridningen är proportionell mot den halva svängningsvinkeln kan  $R_{kör}$  för olika vinklar beräknas. Beräkningen sker iterativt enligt följande steg:

1. Sätt  $R = R_{kör}$ .
2. Spara radien :  $R_0 = R$  styrlinjeradie
3. Beräkna längden,  $L$  för vinkeln  $\varphi$  :  $L = R * \varphi / 2 * \pi / 180$
4. Beräkna hastigheten för  $R$  : Call Radhas( $R, V, 0$ )
5. Tiden för rattvridning blir :  $T = L / (V / 3,6)$
6. Detta ger en hjulvinkel enligt :  $H = \text{Hjulvinkel} * (T / T_{kör})$
7. Radien för denna hjulvridning är :  $R = 3,42 / \tan(H * \pi / 180)$
8. Fortsätt från punkt 2 tills skillnaden mellan sparade värdet för  $R_0$  beräknade värde för  $R$  är tillräcklig liten.

#### 2.4.1 Konstruktion av korsningskurva mha körspårsprogram

Med hjälp av VV körspårsprogram bestäms geometriska elementen  $R_{mitt}$ ,  $R_{stor}$ ,  $D_{star}$  och  $D_{orto}$  för olika utformningar av till- respektive frånfarter och för olika korsningsvinklar,  $\varphi$ .

Med hjälp av dessa förutsättningar kan sedan utformning av korsningskurvan bestämmas. Arbetet innehöll följande steg:

Steg 1. Bestämning av fordonets normala minimiradie,  $R_{kör}$ , i korsningskurvan. Detta görs med hjälp av kravet om utnyttjat rattutslag, 50%, det dimensionerande fordonet,  $L_{ps}$  samt vissa antaganden om "normal körsätt".

Steg 2. Bestämning av fordonets minimiradie,  $R_{kör\_min}$ , för olika korsningsvinklar.

- Steg 3. Simulering av korsningskurvans minimiradie,  $R_{mitt}$ , och storradie,  $R_{stor}$ , för olika korsningsvinklar med hjälp av körspår, när de anslutande vägar är utformad som raklinjer.
- Steg 4. Simulering av korsningskurvans minimiradie,  $R_{mitt}$ , och storradie,  $R_{stor}$ , för olika korsningsvinklar med hjälp av körspårskonstruktioner, när de anslutande vägar är utformad som cirkelbågar.
- Steg 5. Kurvanpassning av simulerade  $R_{mitt}$  och  $R_{stor}$  värden till ekvationer.
- Steg 6. Kontroll av ekvationernas värden för  $R_{mitt}$  och  $R_{stor}$  med hjälp av körspår.
- Steg 7. Om så erfordras upprepa steg 5 och 6 för justering av ekvationerna.
- Steg 8. Komplettera korsningskurvan med klotoider.

## 2.4.2 Trafiköar

Utformning av trafiköar utförs med hänsyn till utrymmeskravet för vänstersvängande fordon. Endast standardutformning av trafiköar i sekundärväg kan bestämmas. Detta innebär att korsningstyperna B och C kan bli aktuella. Utformning av trafikön sker i princip enligt VGU. Enligt dessa utformas trafikön endast för korsningstyp B.

Arbetet med att bestämma trafiköns utformning innehåller följande steg:

- Steg 1. Bestämning av fordonets normala minimiradien, för vänstersväng,  $R_{kör_v}$ . Denna radie är något mindre än  $R_{kör}$  för högersväng, eftersom ett fordons körhastighet vid vänstersväng vanligtvis är något lägre.
- Steg 2. Bestämning av fordonets minimiradie,  $R_{kör}$ , för olika korsningsvinklar. Detta utförs analogt med Steg 2 för Korsningskurvor ovan.
- Steg 3. Bestämning av utformningen för hjälptriangeln ABC, se figur i VGU, för olika korsningsvinklar och kurvanpassning av variablerna till ekvationer.
- Steg 4. Simulering av trafiköns radier,  $R_{10}$  och  $R_{12}$ , för olika hjälptrianglar ABC med hjälp av körspårskonstruktioner.

Steg 5. Om så erfordras upprepa steg 3 och 4 för justering av ekvationerna.

Steg 6. Kurvanpassning av simulerade  $R10$  och  $R12$  värdena till ekvationer.

Steg 7. Kontroll av ekvationernas värden för  $R10$  och  $R12$  med hjälp av körspår.

Steg 8. Om så erfordras upprepa steg 5 och 6 för justering av ekvationerna.

Steg 9. Beräkning av cirkelbåge  $R150$  som förbinder trafiköns tillfartskant med sekundärvägens mitt.

När arbetet med korsningskurvan är klar en del av resultaten användas från detta för bestämning av trafiköar.

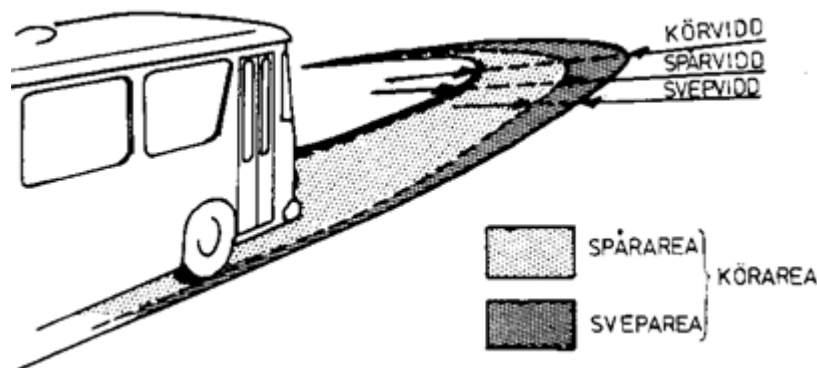
I VGU behandlas endast trafiköar på primärvägen vad gäller korsningstyp C.

Underförstått skall utformning av trafikön i sekundärvägen tillämpas enligt liknande principer som i typ B.

Grundläggande kravet på en god utformning av en refug i sekundärvägen är att ett stillastående fordon i dess tillfart inte skall hindra vänstersvängande trafik från primärvägen. I korsningstyp C medför trafiköarna i primärvägen att ett vänstersvängande fordon från primärvägen befinner sig på olika avstånd från sekundärvägen innan påbörjad svängningsrörelse. Detta tillsammans med grundkravet leder till att utformning av trafikön i sekundärvägen får något annorlunda utformning än utformningen enligt typ B korsning.

### 2.4.3 Kör- och svepvidd samt körman och vingelmån

Typfordonets eget ytbehov definieras som körvidd eller körarea uppdelat i spårvidd/area och svepvidd/area.



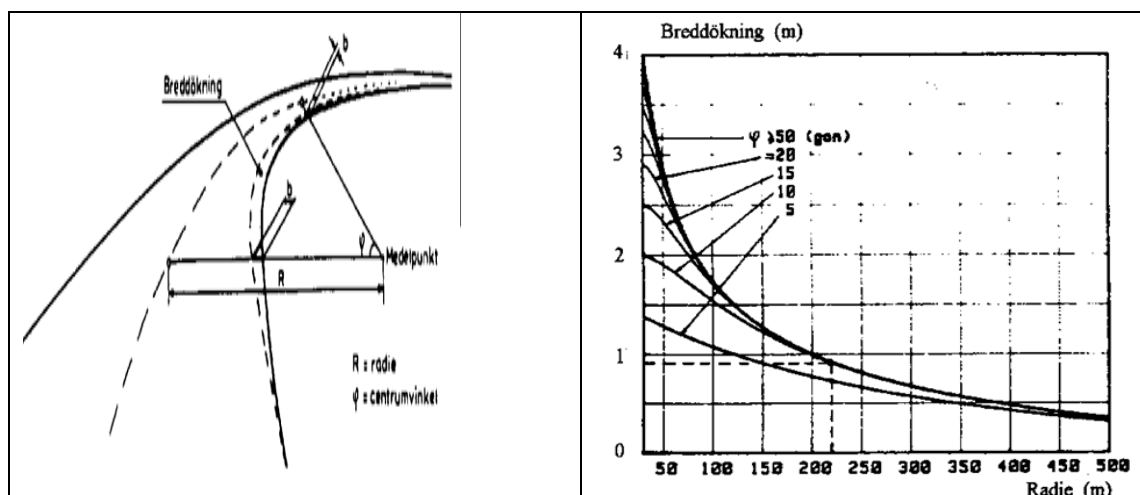
*Figur 2.17. Definition körvidd/area, spårvidd/area och svepvidd/area*

Föraren behöver dessutom en ytterligare marginal så kallad körmån. Detta och vingelmånsbegreppen infördes på 70-talet på raksträcka och för breddökning i små radier på sträcka (Vägverket 1983). Körmånen berodde på referenshastighet och körsätt (Statens Vägverk 1977), se tabell nedan.

Tabell 2.5. Körman i sidled enligt TV 124

Vr	Körman i sidled (m)/körsätt		
	1	2	3
110	1,00	0,75	0,50
90	1,00	0,75	0,50
70	1,00	0,50	0,25
50	0,75	0,50	0,25
<=30	0,50	0,25	0,25

Grundidén för breddökning var att raksträckans mötesstandard skulle upprätthållas även i kurva för dimensionerande fordon. Detta gav då regler för breddökning beroende på radie, vinkeländring och dimensionerande trafiksituation.



Figur 2.18. Breddökning beroende på vinkeländring och radie för typfordon Lps i VGU

Breddökningsbehovet ovan gäller egentligen för typfordon 3/körsätt 2 enligt TV124 med 70 km/tim. Det är framtaget med hjälp av Vägverkets dåvarande körspårsprogram (Vägverket 1982). Ett stort antal körspårssimuleringar gjordes för vilka följande kurva anpassades:

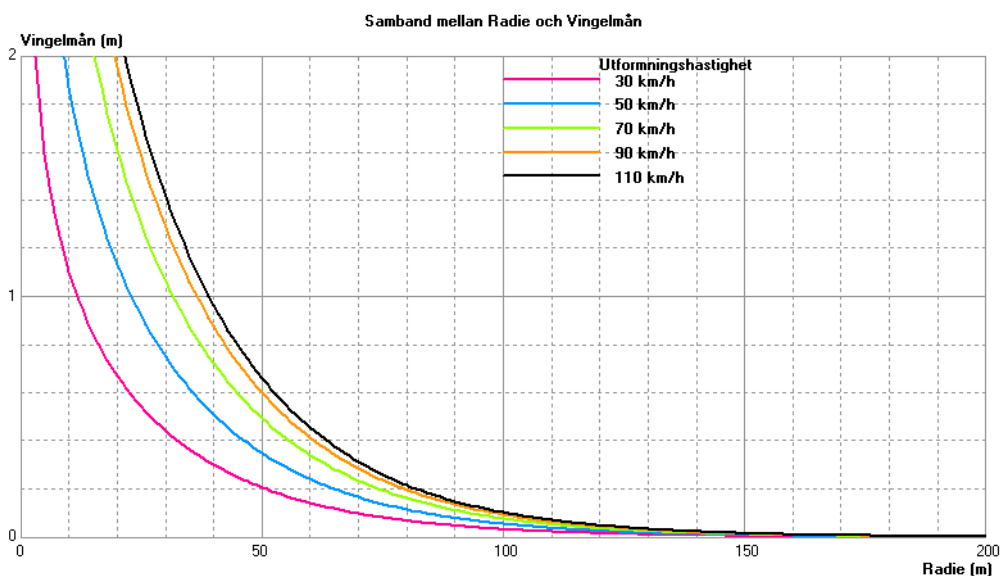
Breddbehov =  $115/(R+2) \cdot (1 - e^{-0,035 \cdot W \cdot \ln(0,3 \cdot R/2)}) + 0,1 \cdot V/R^L + 6$  där:

- R = radie m
- W = kurvans vinkeländring (grader)
- $0,1V/R^L$  = vingelman med  $L=0,006 + R$ , här ett tillägg till körman
- V = hastighet m/s ?
- 6 = bredd + körman för typfordon 3 vid 70, dvs  $2 \cdot 2,5 + 2 \cdot 0,5$

Körmansbegreppet är numera borttaget i VGU utom i cirkulationsplatsreglerna, se tabell 2.1 ovan. Det finns också indirekt i konstruktionsreglerna för korsningskurvan

med ett värde på cirka 0,5 m, se figur nedan. För breddökning i kurva finns ett diagram som visar samband mellan radie och körfältsbredd, se figur 2.1 ovan.

Ursprunget för vingelmånen är oklart men sägs komma från äldre amerikanska studier. Vingelmånsambandet illustreras i figuren nedan. Det saknar i princip betydelse utom vid mycket små radier.



Figur 2.19. Generella samband mellan hastighet, Radie och vingelmån

Däremot är det viktigt att inkludera denna vid beräkning av kanalbredder i korsningar, där radien är liten, se figur nedan. Körhastigheten har här beräknats enligt körspårsambandet enligt ovan.

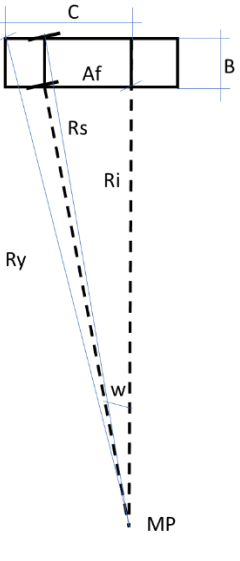
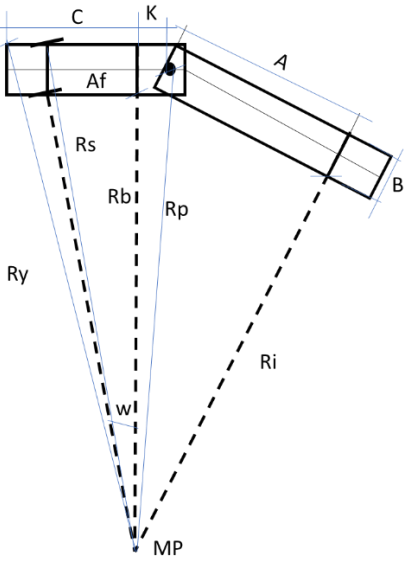
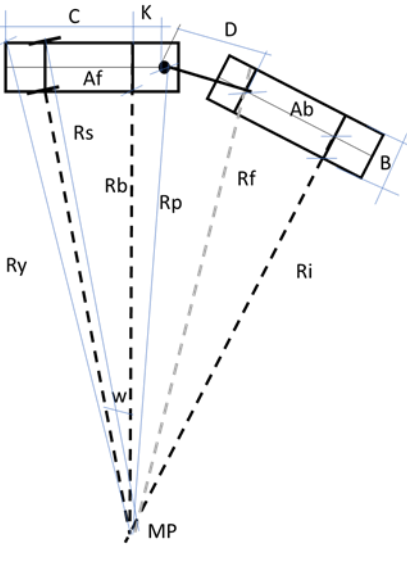
Figur 20. Samband mellan radie och vingelmån för korsningar där körhastigheten har beräknats med hänsyn till kurvradiens storlek

Körvidd, spårvidd och svepvidd vid en given radie för drivaxelns innerhjul kan beräknas med hjälp av Pythagoras sats med det förenklade villkoret att alla hjul och king pin ska ha samma medelpunktsvinkel, se figur nedan med följande beteckningar:

C = axelavstånd + framöverhäng  
 K = bakaxel - King pin  
 A = bakaxel släp - King pin  
 Af = axelavstånd dragfordon  
 Ab = axelavstånd släp  
 D = dragstångslängd

B = bredd  
 Ri = radie inre bakhjul släp  
 Rp = radie King pin  
 Rb = radie bakhjul dragfordon  
 Ry = radie yttre, främre hörn  
 Rk = radie yttre framhjul



		
$Ry^2 = (Ri+B)^2 + C^2$ $Rs^2 = (Ri+B)^2 + Af^2$ $w = \arctan(Af/Rb)$	$Rp^2 = A^2 + (Ri+B/2)^2$ $K^2 + (Rb+B/2)^2 = Rp^2$ $Ry^2 = C^2 + (Rb+B)^2$ $Rs^2 = ((Rb+B)^2 + Af^2)$ $w = \arctan(Af/Rb)$	$(Ri+B/2)^2 + Ab^2 = Rf^2$ $Rf^2 + D^2 = Rp^2$ $Rp^2 = K^2 + (Rb+B/2)^2$ $Ry^2 = (Rb+B)^2 + C^2$ $Rs^2 = ((Rb+B)^2 + Af^2)$ $w = \arctan(Af/Rb)$
Stelt fordon	Lastbil med påhängsvagn Semitrailer	Lastbil med släp

Figur 2.21. Geometri och samband för körvidd/area, spårvidd/area och svepvidd/area för olika fordonstyper

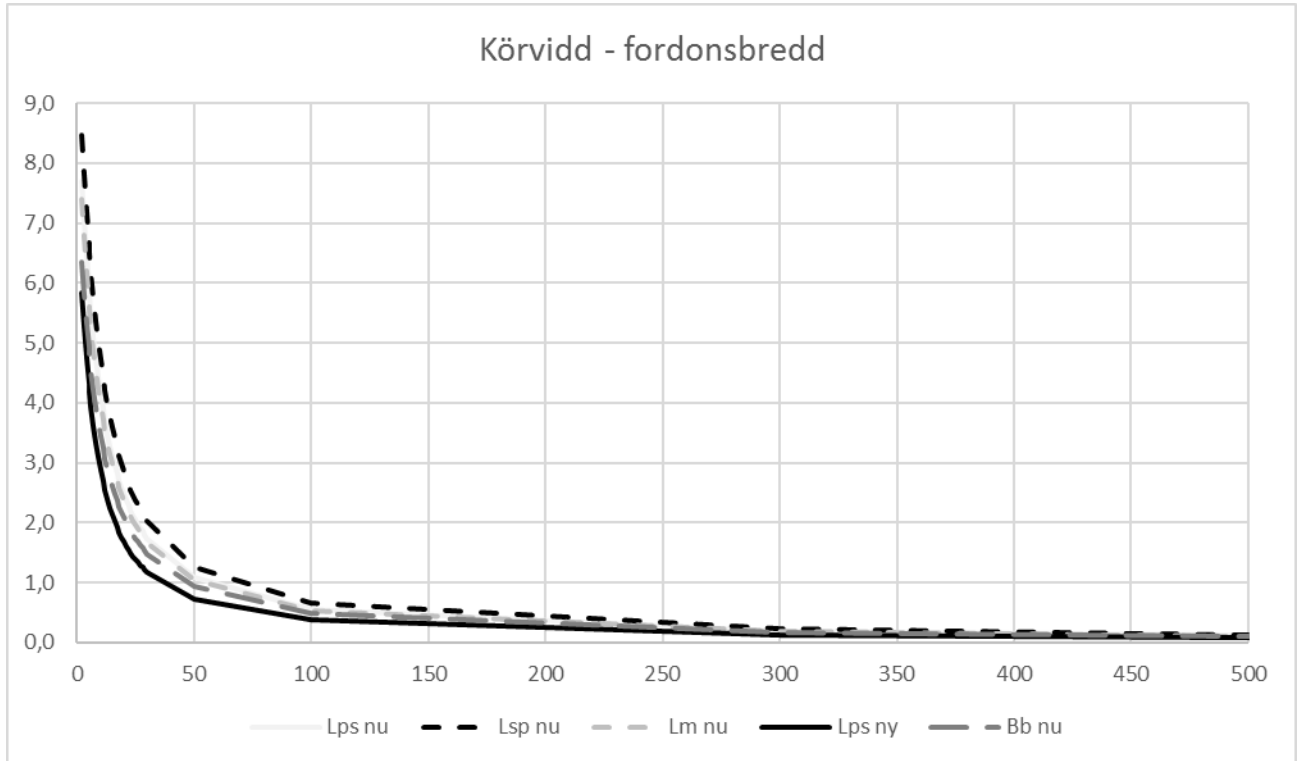
Tabellen nedan ger körviddens ytterradie  $Ry$ , spårviddens ytterradie  $Rs$  och framhjulsvinkel  $w$  beroende på drivfordonets inre bakhjuls radie  $Ri$  för nuvarande typfordon och nytt förslag till Lps. Körvidden är  $Ry - Ri$ , spårvidden är  $Rs - Ri$  och svepvidden  $Ry - Rs$ . Nuvarande Lsp (skogsbil) klarar inte ECE-cirkelkravet att vid en innerradie av 2 m ha en ytterradie mindre än 12,5 m.

Tabell 2.6. Körviddens ytterradie  $R_y$ , spårviddens ytterradie  $R_s$  och framhjulsvinkel  $w$  beroende på drivfordonets inre bakhjuls radie  $R_i$  för nuvarande typfordon och nytt förslag till Lps

Ri	Ry					Rs					Hjulvinkel w				
	Lps nu	Lsp nu	Lm nu	Lps ny	Bb nu	Lps nu	Lsp nu	Lm nu	Lps ny	Bb nu	Lps nu	Lsp nu	Lm nu	Lps ny	Bb nu
2,0	12,3	13,1	12,0	10,4	10,9	11,8	12,4	11,2	9,8	8,9	20,2	31,8	38,0	25,8	75,4
3,0	12,6	13,4	12,3	10,8	11,4	12,2	12,8	11,6	10,3	9,5	19,4	30,7	36,4	24,3	68,7
4,0	13,1	13,8	12,8	11,3	11,9	12,6	13,2	12,1	10,8	10,1	18,6	29,5	34,6	22,8	62,5
5,0	13,5	14,3	13,3	11,9	12,5	13,1	13,7	12,6	11,4	10,8	17,7	28,2	32,7	21,2	56,9
5,3	13,7	14,4	13,5	12,1	12,7	13,3	13,8	12,8	11,6	11,0	17,4	27,8	32,1	20,8	55,4
6,0	14,1	14,8	13,9	12,5	13,1	13,7	14,2	13,2	12,1	11,5	16,8	26,8	30,8	19,7	52,0
7,0	14,7	15,4	14,5	13,2	13,8	14,3	14,8	13,8	12,8	12,3	15,9	25,5	29,0	18,4	47,6
8,0	15,3	16,0	15,1	13,9	14,5	15,0	15,4	14,5	13,5	13,1	15,1	24,2	27,3	17,1	43,8
9,0	16,0	16,6	15,8	14,7	15,3	15,7	16,1	15,3	14,3	13,9	14,3	22,9	25,7	16,0	40,5
10,0	16,7	17,3	16,6	15,5	16,0	16,4	16,8	16,0	15,1	14,8	13,5	21,8	24,2	14,9	37,5
11,0	17,5	18,0	17,3	16,3	16,8	17,2	17,6	16,8	15,9	15,6	12,8	20,7	22,9	14,0	34,9
12,0	18,3	18,8	18,1	17,1	17,7	18,0	18,3	17,6	16,8	16,5	12,1	19,6	21,6	13,1	32,6
13,0	19,1	19,6	18,9	18,0	18,5	18,8	19,1	18,4	17,6	17,4	11,5	18,7	20,5	12,4	30,6
14,0	19,9	20,4	19,7	18,9	19,3	19,6	20,0	19,3	18,5	18,3	10,9	17,8	19,4	11,7	28,7
15,0	20,7	21,2	20,6	19,7	20,2	20,4	20,8	20,1	19,4	19,2	10,4	17,0	18,4	11,1	27,1
16,0	21,6	22,0	21,4	20,6	21,1	21,3	21,6	21,0	20,3	20,1	9,9	16,2	17,5	10,5	25,6
17,0	22,4	22,9	22,3	21,5	22,0	22,2	22,5	21,9	21,2	21,0	9,5	15,5	16,7	10,0	24,3
18,0	23,3	23,7	23,2	22,4	22,9	23,1	23,4	22,8	22,2	22,0	9,1	14,8	16,0	9,5	23,1
19,0	24,2	24,6	24,1	23,4	23,8	23,9	24,2	23,7	23,1	22,9	8,7	14,2	15,3	9,1	22,0
20,0	25,1	25,5	25,0	24,3	24,7	24,8	25,1	24,6	24,0	23,9	8,4	13,7	14,6	8,7	21,0
21,0	26,0	26,4	25,9	25,2	25,6	25,8	26,0	25,5	25,0	24,8	8,0	13,1	14,1	8,3	20,1
22,0	26,9	27,2	26,8	26,1	26,5	26,7	26,9	26,5	25,9	25,8	7,7	12,6	13,5	8,0	19,2
23,0	27,8	28,2	27,7	27,1	27,5	27,6	27,8	27,4	26,9	26,7	7,4	12,2	13,0	7,7	18,5
24,0	28,7	29,1	28,6	28,0	28,4	28,5	28,8	28,3	27,8	27,7	7,2	11,7	12,5	7,4	17,7
25,0	29,6	30,0	29,6	29,0	29,3	29,5	29,7	29,3	28,8	28,6	6,9	11,3	12,1	7,1	17,1
26,0	30,6	30,9	30,5	29,9	30,3	30,4	30,6	30,2	29,7	29,6	6,7	11,0	11,7	6,8	16,4
27,0	31,5	31,8	31,4	30,9	31,2	31,3	31,6	31,2	30,7	30,6	6,5	10,6	11,3	6,6	15,9
28,0	32,4	32,8	32,4	31,8	32,2	32,3	32,5	32,1	31,7	31,5	6,3	10,3	10,9	6,4	15,3
29,0	33,4	33,7	33,3	32,8	33,1	33,2	33,4	33,1	32,6	32,5	6,1	10,0	10,6	6,2	14,8
30,0	34,3	34,6	34,3	33,8	34,1	34,2	34,4	34,0	33,6	33,5	5,9	9,7	10,2	6,0	14,3
50,0	53,7	53,9	53,6	53,3	53,5	53,6	53,7	53,5	53,2	53,2	3,6	6,0	6,3	3,7	8,7
100,0	103,2	103,2	103,1	103,0	103,1	103,1	103,2	103,0	102,9	102,9	1,8	3,0	3,2	1,8	4,4
300,0	302,8	302,8	302,8	302,7	302,8	302,8	302,8	302,8	302,7	302,7	0,6	1,0	1,1	0,6	1,5
500,0	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	0,4	0,6	0,6	0,4	0,9

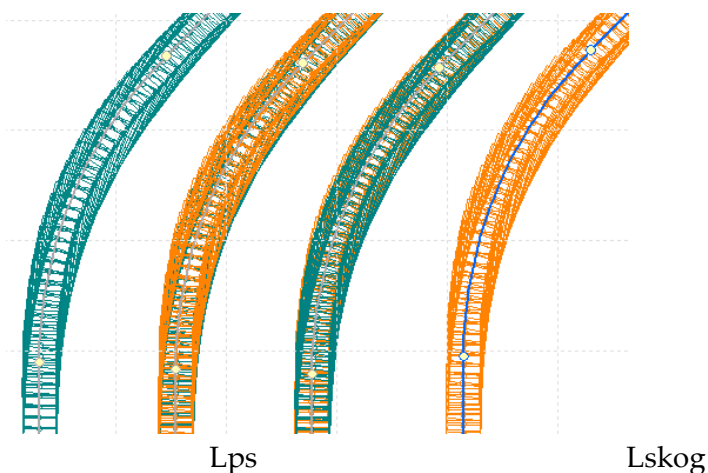
Nuvarande VGU-krav ger för små radier för Lps större breddbehov. Skälet för detta är eventuellt att vingelmanlagts till.

Olika typfordons körvidd – fordonsbredd ( $R_y - R_i - 2,6$  m) som funktion av radie för dragfordonets bakre inre hjul illustreras nedan.



Figur 2.22. Körvidd – fordonsbredd som funktion av radie för dragfordonets inre bakhjul för olika typfordon vid körning i cirkel

Figuren ovan gäller för stela fordon oberoende av vinkeländring. För delade fordon beror körvidden även av vinkeländring. Sveparea\_0.exe (Imre ca 2000) kan användas för att approximativt skatta dessa samband, se exempel nedan.



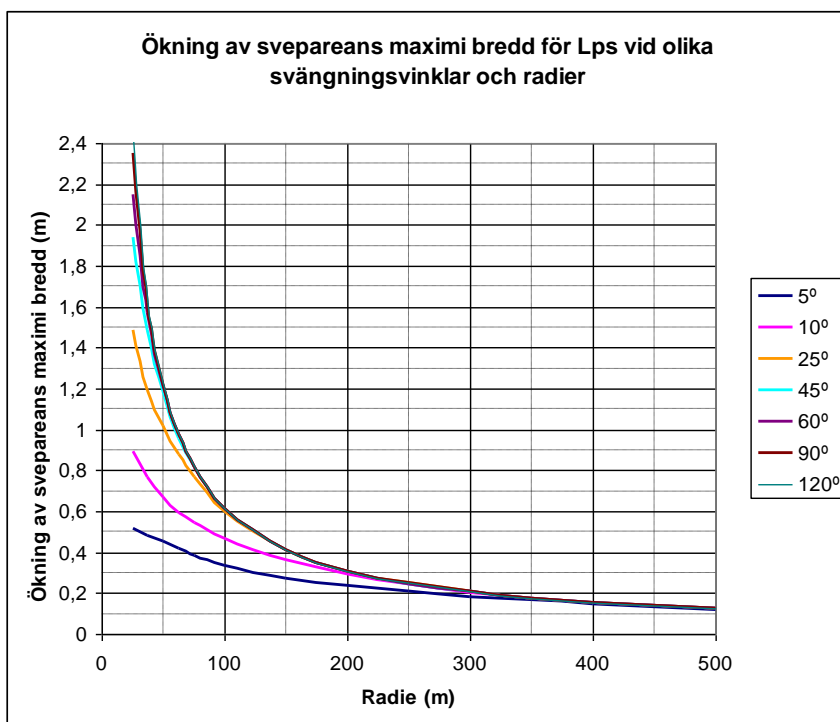
Figur 2.23. Körspår för Lps och skogsbil vid körning med en 50 m radie och 45° vinkel.

Utrymmesbehovet är ungefär detsamma i exemplet för de olika fordonstyperna, där Lps kräver något mer utrymme än Lskog i innerkurvan. Skogsbil kräver något mer utrymme än Lps i ytterkurvan. För bestämning av utrymmesbehovet i kurva används Lps som typfordon.

Svepareans maximibredd för ledade fordon som funktion av vinkeländring kan beräknas med hjälp av programmet *Sveparea\_D.exe* (Imre ca 2000). Detta innehåller dels ritning av körspår för Lps dels beräkning av körspårets maximibredd för olika radier vid sväng med olika vinkeländringar. I programmet kan man även beräkna maximibredd för andra ledade fordon genom att ändra geometrin för släpfordonet.

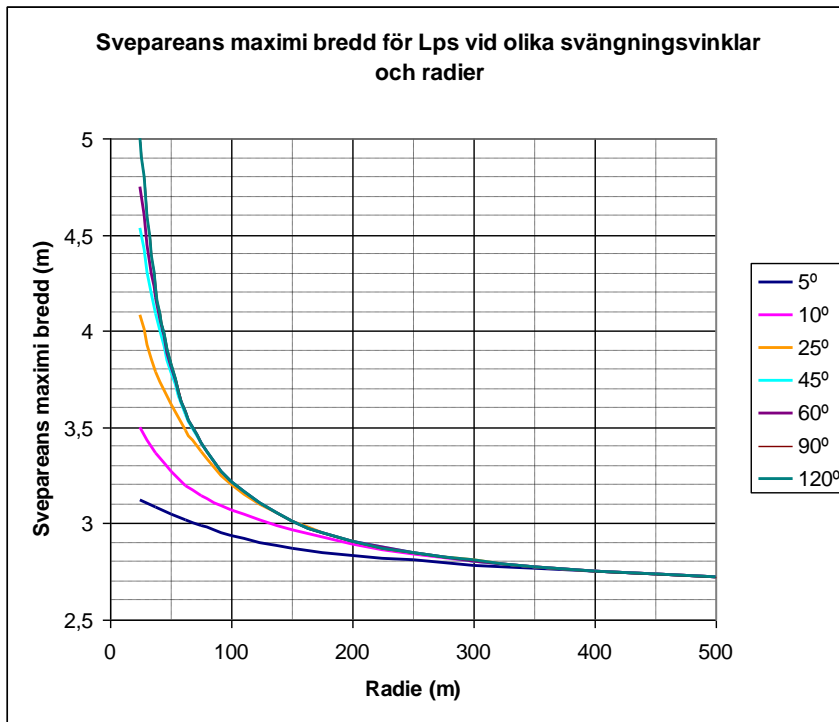
Resultaten av maximibredd för vald radie och svängningsvinkel vid en körning med programmet *Sveparea\_D.exe* kallas här för mätvärden. Mätvärdenas samband för olika variabler illustreras i ett Excel-program, *Sveparea\_Lps.xls* (Imre ca 2000), där två grafer för sambanden har uppritats:

1. Samband mellan radie och ökningen av svepareans maximi bredd, se figur nedan



Figur 2.242. Ökning av svepareans maximi bredd för nuvarande Lps.

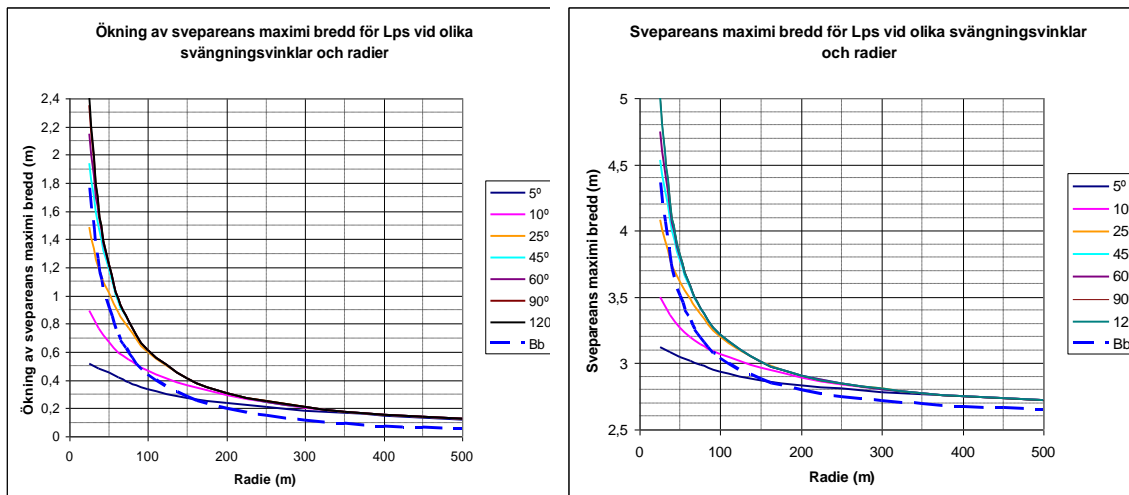
2. Samband mellan radie och körareans maximi bredd - fordonsbredd 2.6 m, se figur nedan



Figur 2.25. Ökning av sveparens maximi bredd vid olika svängningsradier för Lps.

Vid radier över 500 m är breddbehovet i princip 0.

Breddbehov för nuvarande typfordon Bb och Pls jämförs i nedanstående figur. Bb kräver större utrymme än Lps för vinkeländringar mindre än 45°.



Figur 2.26. Sveparens maximi bredd vid olika svängningsradier för Lps och Bb.

Slutsatserna kring körsätt, körmån, vingelmån och breddökning är:

- Det finns krav på körmån för cirkulationsplatser. Det är dock oklart om dessa sen finns med i redovisade diagram för breddbehov i VGU. De senare verkar inte stämma vid små radier.
- Det finns en körmån med på cirka 0,5 m i korsningskurvekonstruktionen
- Det finns en körmån i breddökning som är "samma standard som på sträcka"
- Körmånsbegreppet är otydligt visavi utrymmesklassdefinitionerna
- Det finns ett behov att tydliggöra vad som bör gälla för körmån/marginal i olika trafiksituationer för att skapa tydlighet

## 3 Kommersiella projekteringsverktyg

### 3.1 Vilka kommersiella utformningsverktyg används idag

Under 80- och 90-talet förändrades projekteringsverksamheten i Sverige från en mer eller mindre monopolliknande situation för dåvarande Vägverkets projekteringssystem till en marknad med alternativa system. Detta har också gällt körspårsprogram. Vägverket använde NovaPoint och styrde delvis utvecklingen så att NovaPoint körspårsprogram i princip hade samma algoritmer som VU PC2 Körspår (Vägverket 1998). Några olika utformningsverktyg används idag, se tabell nedan.

Tabell 3.1. Vanliga CAD- och körspårsprogram idag i Sverige

Företag	CAD-Verktyg	Körspårsprogram
Sweco	AutoCAD Civil 3D/Nova Point	Autoturn
WSP	AutoCAD Civil 3D	Vehicle Tracking
Ramböll	Bentley InRoads	MSTurn
ÅF	AutoCAD Civil 3D	Vehicle Tracking
Tyréns	AutoCAD Civil 3D	Vehicle Tracking

Generellt kan sägas att Nova Point är ett mer eller mindre avslutat kapitel. AutoCAD Civil 3D är på stark frammarsch.

I NovaPoint implementerades det Svenska geometribiblioteket och fungerade som begränsning vid linjeberäkningen. Liknande funktioner finns i AutoCAD Civil 3D men enbart för AASHTO. Möjlighet finns att kopiera dessa filer och modifiera dem till svenska förhållanden. Antalet kriterier är dock näst intill oändliga och det är en stor insats att till fullo genomföra detta. Enligt den information som finns har ingen av de som använder AutoCAD Civil 3D gjort detta. En enklare väg är därför att göra en designkontroll, där användaren kan lägga in en minimilängd, minimiradie etc. för att se om den beräknade väglinjen uppfyller kraven. I InRoads körspårssimuleringsverktyg finns det svenska typfordonsbiblioteket inlagt som standard.

Danmark och Norge har angett vilka körspårsprogram som är standard. Detta har inte skett i Finland och Sverige, se tabell nedan.

Tabell 3.1 Översikt CAD- och körspårsprogram i Norden

Land	Standard	CAD-Verktyg	Körspårsprogram
Sverige		AutoCAD Civil 3D/Nova Point/ InRoads	Autoturn/Vehicle Tracking/MSTurn
Danmark	X	Bentley OpenRoads	Autoturn/MSTurn
Norge	X	Nova Point	Nova Point
Finland		TEKLA/ Nova Point	Autoturn/Nova Point V-Turn

Danmark påstår att vid en hastighet >15 km/h fungerar AutoTurn medelmåttigt pga. att hastighetsberoendet i samband med kördynamiken inte är anpassat.

## 3.2 Handhavande av de olika mjukvarorna

### 3.2.1 Autotrack-Vehicle Tracking

Det första som måste göras i programmet är att fordonen ska läggas till i biblioteket. Fordonen skapas upp i "Vehicle Library Explorer", genom funktionen "Vehicle Wizard".

Ett fordon skapas per modell. I Vehicle Wizard ska sedan information rörandes varje fordonsdel läggas till, dragfordonet först. Antal axlar, axelbredd och antal hjul per axel är först. Vidare behövs hjulbasen på dragfordonet, tiden för "lock to lock" ska sättas till 7 sekunder enligt VGU, maximal styrvinkel och egenskaper för bakre led.

Avslutningsvis behövs dragfordonets utseende bestämmas. För båda trailrarna så görs samma inställningar, dock finns det ingen direkt inställning för styrning. För att lägga till styrning på bakre axlar så krävs det att man på berörd fordonsdel går in på avancerade inställningar och ändrar "Axle group type" under fliken "Rear axles" till Ackerman, därefter klickar man i "2nd steering" och fyller i utväxlingen mellan aktuell styrning och frontaxeln samt den maximala vinkeln. Fordonet är färdigt.

Korsningar och styrlinjer är skapade i AutoCAD. För varje korsning gäller sedan följande: styrlinje placeras i korsning, därefter öppnas Vehicle Library Explorer och markerar det fordon som önskas. Högerklick och valet "Drive - follow" väljs. Styrlinjen markeras vilket får programmet att producera körspåret, det är viktigt att ställa in "Tracking point (first unit) – Rearmost axle" i pop-up rutan "Settings – paths" så att den bakre axeln är den som följer styrlinjen. Det är möjligt att ha valfri punkt på fordonet som referenspunkt till styrlinjen. Detta görs för alla korsningar och alla fordon.

Vid en jämförelse med VUPC2 verkar det som Vehicle Tracking har en implementerad algoritm från VUPC2.



### 3.2.2 AutoTURN

För att kunna använda den information rörande fordonens geometri och köregenskaper måste dessa läggas till i AutoTURN.

Fordonen skapas genom att första skapa grunden, fordonstypen. Då olika fabrikat skiljer sig åt med hänsyn till styrande axlar och antal hjul per axel så behövs en fordonstyp per modell. För att skapa en modell behövs namn, vilken klass fordonstypen ska tillhöra samt vilken typ av dragfordon. Därefter måste antalet axlar och hur många hjul varje axel ska ha definieras, dragfordonets styrning bestäms med hänsyn till respektive modellspecifikation (front/back/both). Därefter adderas det antalet trailers som önskas. Typ av trailer måste definieras och hur dess eventuella styrning sker (fixed/front/rear/both). Slutligen måste vardera trailers antal axlar och hjul bestämmas.

När fordonstypen väl är sparad så ska fordonet skapas med detta som utgångspunkt. Det specifika för AutoTURN är att styrningen på bakre axlar är sammanlänkad med vridningen på föregående länk. När styrning valts på både fram- och bakaxel så finns det ingen möjlighet att ställa in hur bakre axel ska agera, under simulering ser axeln ut att vara stel vilket troligtvis kommer att påverka resultaten negativt för vissa fordonstyper.

I övrigt så klarar denna version av AutoTURN endast att följa styrlinjen med framaxeln. Varpå nya styrlinjer som är anpassade till denna typ av rörelse måste konstrueras. För att dessa ska skapa identiska körspår som vid simuleringen i Vehicle Tracking används centrumlinjen för framaxeln från resultatet till att skapa de nya styrlinjerna.

### 3.2.3 Novapoint väg

Novapoint Väg saknar funktion för att skapa ett eget fordon därför har programmet inte vidare behandlats i rapporten.

## 3.3 Sammanfattning av körspårsprogram

Det finns sammanfattningsvis inget system i Sverige som garanterar eller kontrollerar att VGU-kraven uppfylls när det gäller körkomfort för typfordonen. Det visade sig ju också i föregående kapitel att kraven är delvis otydliga.

Det har diskuterats i olika omgångar hur ett kontrollsystem skulle kunna se ut. Detta bör utredas i en framtid. Ett rimligt förslag är att Trafikverket kräver att programmen licensieras för att få användas.

Vad gäller flexibilitet och överrensstämmelse med VUPC2 är en första ansats att Vehicle Tracking är att föredra. För att fullständigt klargöra detta krävs dock lite mer detaljerade efterforskning och validering.

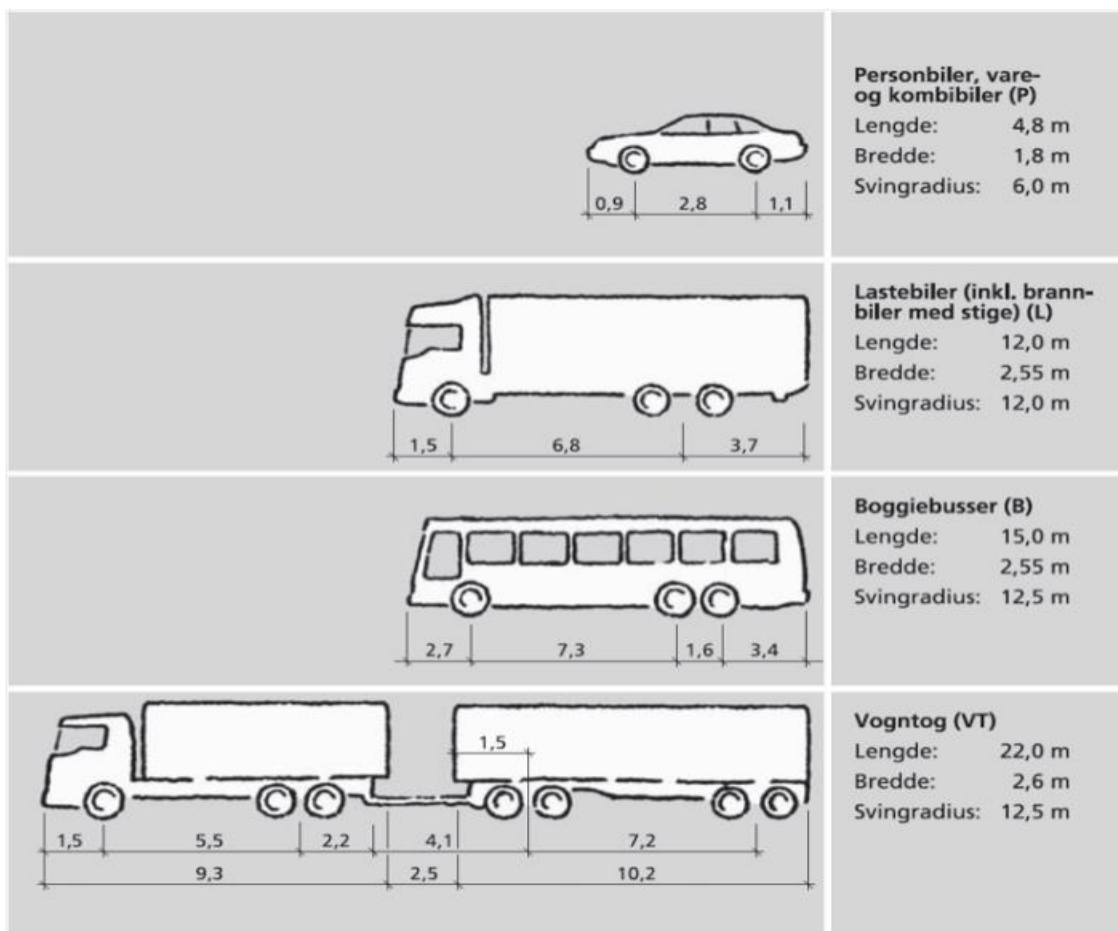
## 4 Dimensionerande typfordon – en översikt

I Sverige används primärt de två typfordonen semitrailer samt boggibuss för utformning av korsningskurvor och utrymmesanalys, se kapitel 2. Detta bygger på idag gamla överenskommelser med branscherna. Det pågår nu en omfattande försöksverksamhet med både längre lastbilar och bussar.

Nedan följer en genomgång av de nordiska ländernas typfordon samt Tyskland. Avslutningsvis redovisas Sveriges nuvarande samt föreslagna fordonsgeometrier utifrån utredningen "GRUFF".

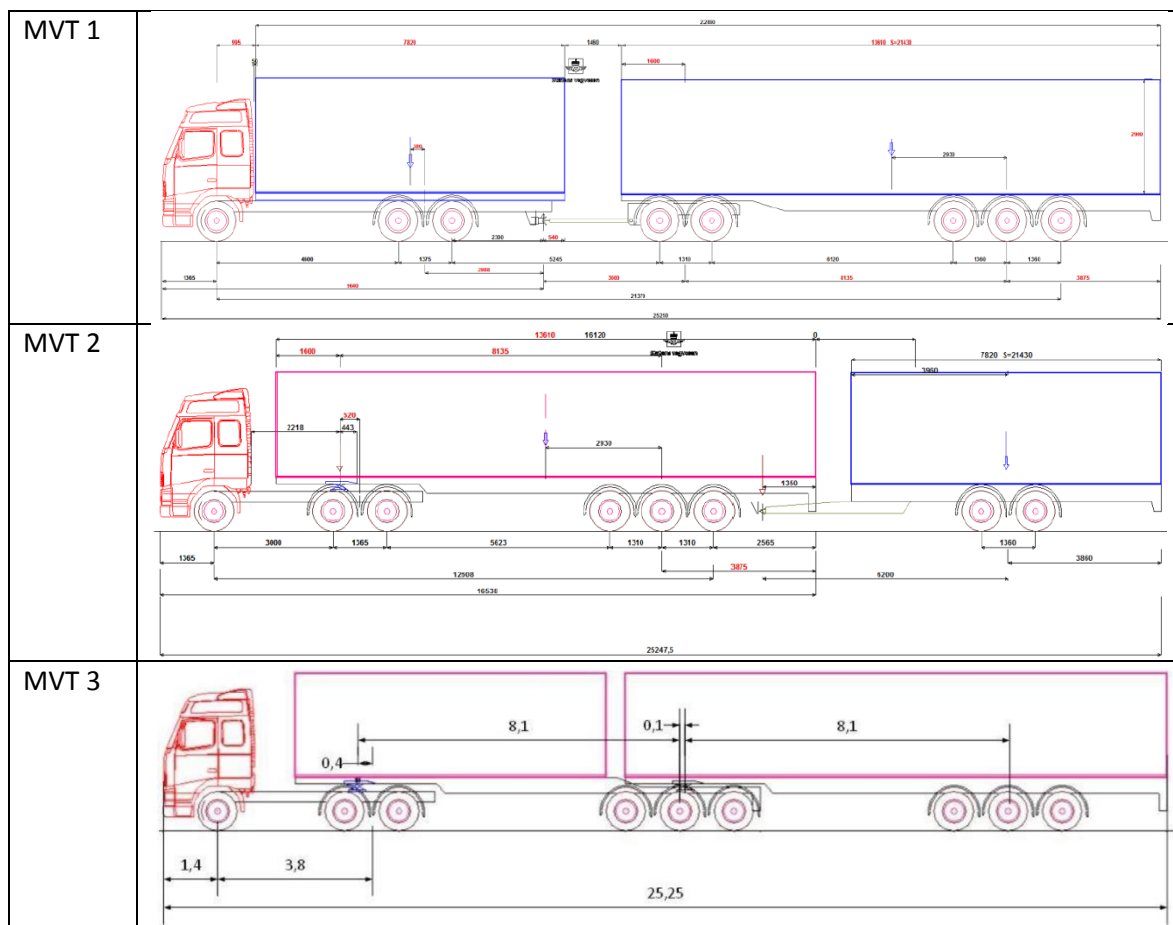
### 4.1 Norge

Korsningarna dimensioneras efter fyra olika fordonstyper beroende på vilket trafiknät som avses, dessa är personbil, lastbilar (inkl. stegbil), boggibuss (15 m längd) samt lastbil med släp (22 m längd), se figur nedan.



Figur 4.1. De olika typfordonen som används i Norge (Statens Vegvesen 2013).

En förändring har dock lagts till från 150101, då det trädde i kraft att samtliga nationella huvudvägar ska dimensioneras för (LINK-modulvogntog MVT3), se figur nedan.



Figur 4.2. De olika modulvagnstypen som används i Norge (Ramböll 2015).

De nya kraven kan sammanfattas som följer:

«Vägen och korsningarna skall dimensioneras för fordonstyp MVT (modulvagnståg). MVT bör säkras framkomlighet efter utrymmesklass A med undantag för vägbredd 6,5 m där utrymmesklass B ligger till grund. Se kapitel F.2.»

«Korsningskurvorna i T- och X-korsningar bör utformas som tredelade kurvor 2R-R-3R. Framkomlighet och körspår för vagnståg skal vara dimensionerande för storleken på radien, R. Ytterligare behov för yta och radie där modulvagnståg er dimensionerande skall etableras som överkörbar areal.

Överkörbar areal skall utformas med icke-avfasad kantsten med 4 cm avfasning. Lutningen på den överkörbara arealen skall vara 3-4 %.»

Även justerade krav på breddökning har implementerats. I tabellen nedan kan resultatet av simuleringar för breddbehovet utan tillägg beskådas.

Tabell 4.1. Körvidd för de tre olika modulfordonen i Norge

Diameter cpl (m)	Körvidd (m)			
	VT	MVT1	MVT2	MVT3
25	9,00	9,20	10,50	- <sup>1)</sup>
30	7,45	7,70	8,20	10,28
35	6,50	6,70	6,97	8,55
40	5,81	6,00	6,22	7,50
45	5,44	5,50	5,74	6,80
50	5,09	5,15	5,34	6,27
55	4,84	4,90	5,05	5,85
60	4,64	4,70	4,80	5,55

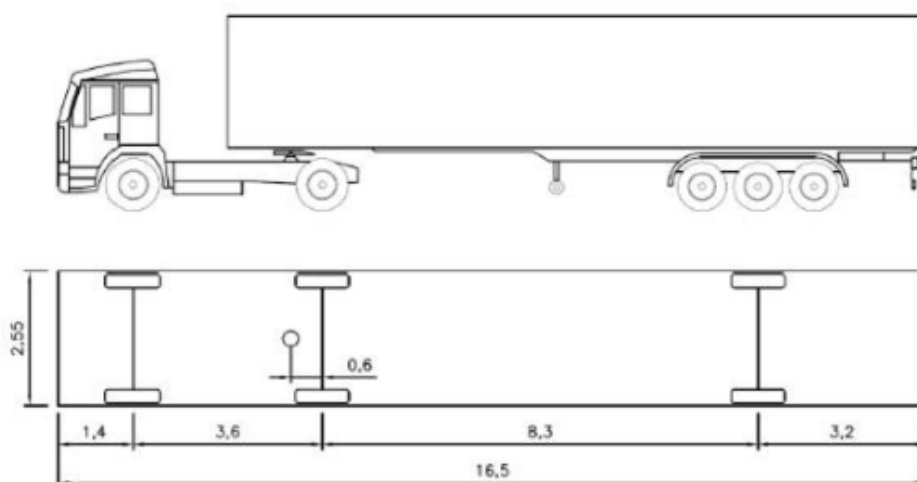
- 1) Vid radien 25 m överstiger vinkeln mellan de två semitrailarna den möjliga maxvinkeln, vilket gör att den inte kommer igenom.

Vid tämligen normala cirkulationsplatsutformningar rör sig skillnaden mellan de olika MVT utrymmesbehov i storleken 1-1,5 m.

## 4.2 Danmark

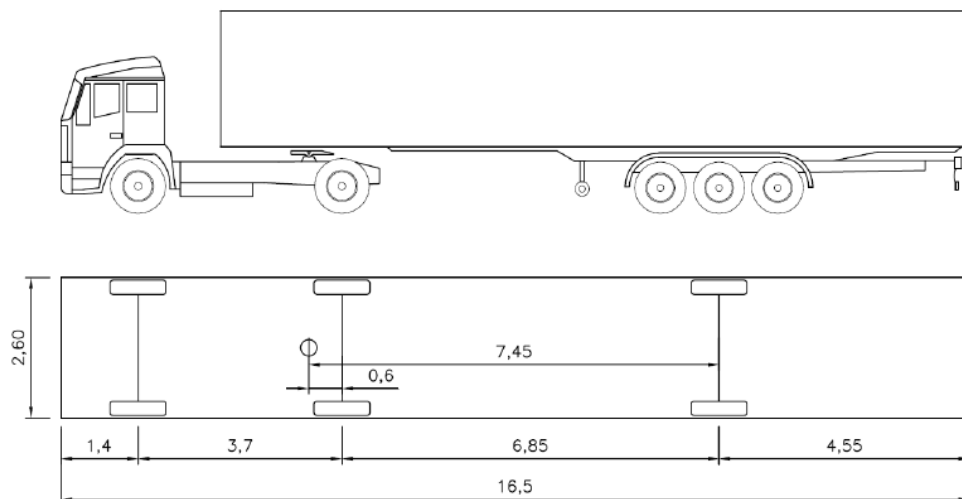
Som underlag för att bestämma geometrin för den grundläggande utformningen av en prioriterat korsning används normalt följande två typer av fordon:

Semitrailer som det dimensioner fordonet för att kunna utföra i korsningen med körsätt och hastigheten enligt figur nedan



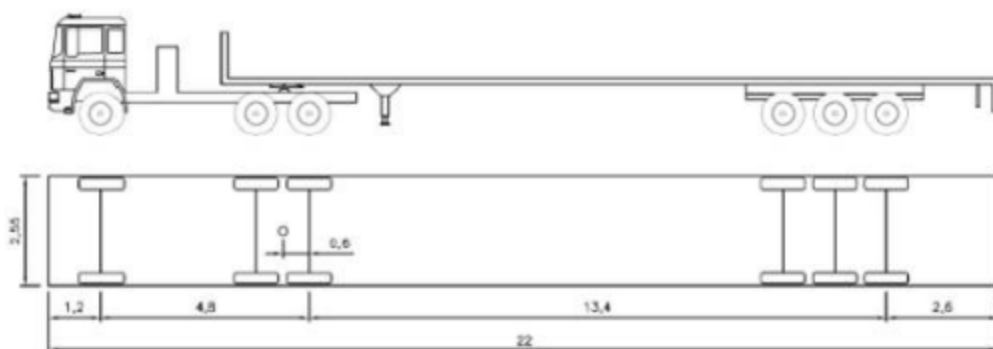
Figur 4.3. Fordonsgeometri för den Danska gamla semitrailern (Statens Vejdirektoratet 2012).

Men riktigt så enkelt är det inte, Danmark har också en semitrailer som är uppdaterad utifrån de mer moderna trailersläpen med kort axelavstånd, se figur nedan.



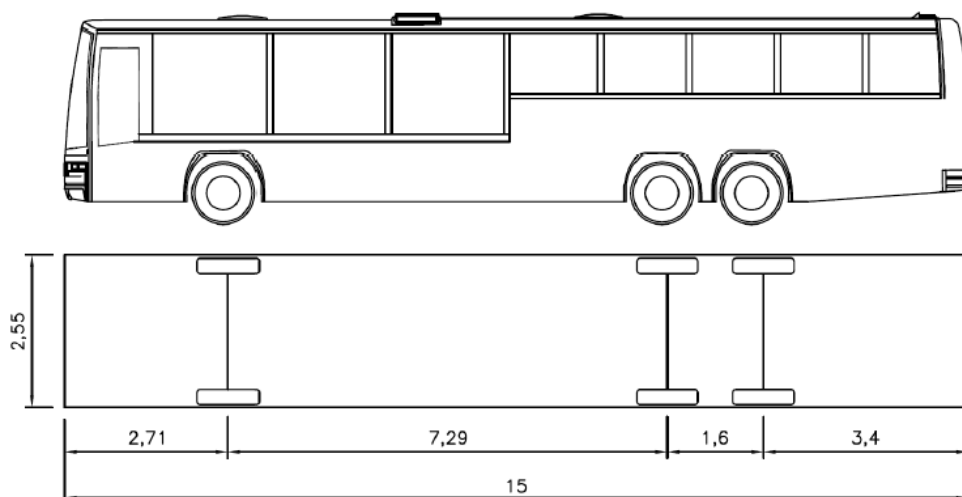
Figur 4.3. Fordonsgeometri för den Danska nya semitrailern (Statens Vejdirektoratet 2012).

Specialfordonet som tillgänglighetskrävande fordon för att kunna genomföra vändningsmanövrer i korsningen med körsätt såsom anges i figur nedan och en hastigheten på 5 km/h, eventuellt med användning av överkörningsbara delar av korsningen, med undantag för svängmanövrar från genomgående körfält på primärvägen.



Figur 4.5. Fordonsgeometri för det Danska specialfordonet (Statens Vejdirektoratet 2012).

Typfordonet för boggibuss i Danmark har fordonsgeometri enligt figur nedan.

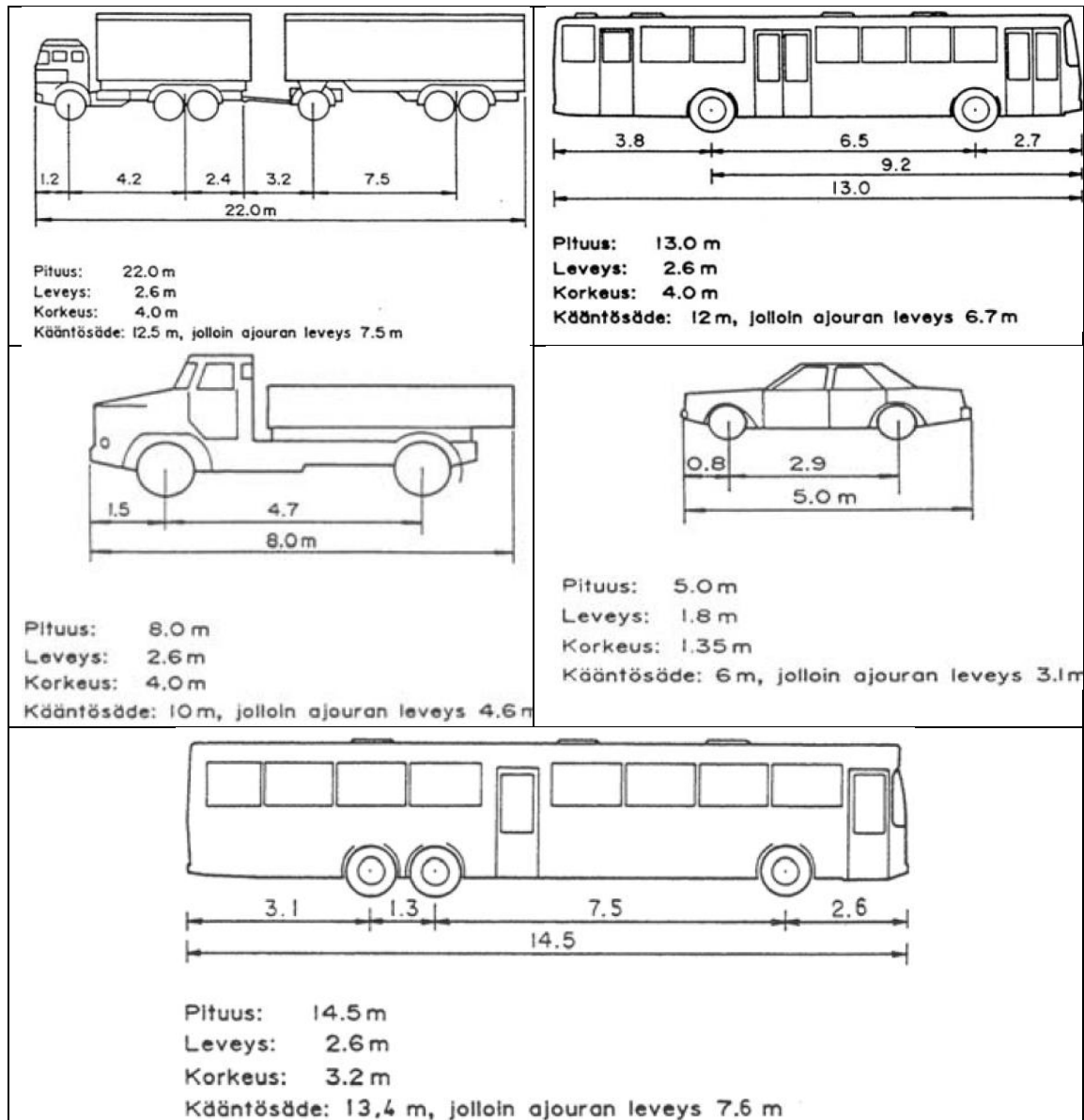


Figur 4.6. Fordonsgeometri för den Danska boggibussen (Statens Vejdirektoratet 2012).

Andra speciella fordon än det som definieras som typfordon kan vara utrymmeskrävande beroende på lokala förutsättningar.

## 4.3 Finland

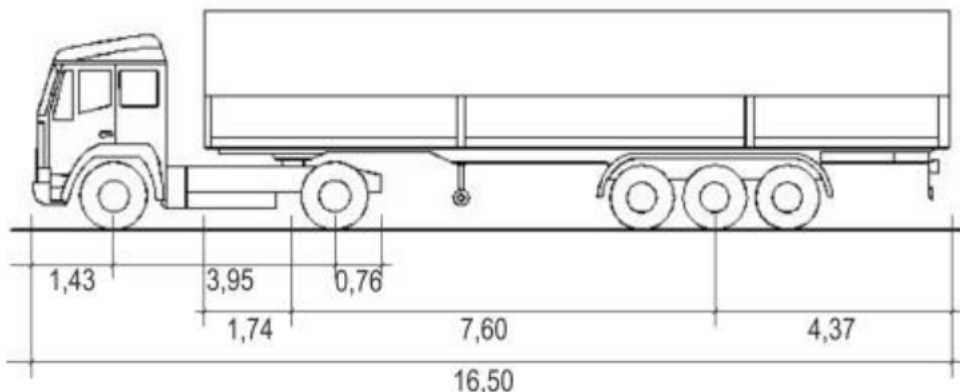
Typfordonen vilka används för korsningsutformning är primärt fem, se figur nedan.



Figur 4.7. De olika typfordonen som används i Finland (Tiehallinto 2010).

## 4.4 Tyskland

De Tyska reglerna för korsningsutformning är uppbyggda runt semitrailer, se figur nedan.



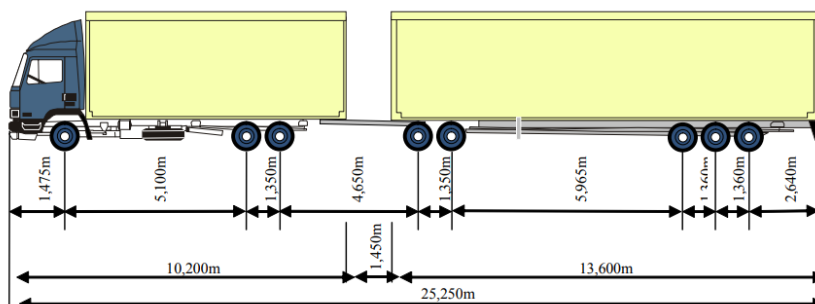
Figur 4.8. Fordonsgeometri semitrailer i Tyskland. (FGSV 2012).

Geometrin för semitrailern är:

Tabell 4.2. Fordonsgeometri semitrailer i Tyskland. (FGSV 2012).

Dellängd	Mått (m)
Bredd	2,55
Längd dragfordon	6,11
Hjulbas dragfordon	3,95
UH: Överhäng bak dragfordon	0,76
Längd front kopplingspunkt dragfordon	4,53
LH: Längd släpfordon	13,71
UHH: Överhäng bak släpfordon	4,37
DL: Längd kopplingspunkt till teoretisk bakaxel	7,6

Även ett modulfordon är på väg att introduceras enligt figur nedan.



Figur 4.8. Fordonsgeometri för föreslaget modulfordon i Tyskland. (Bast).

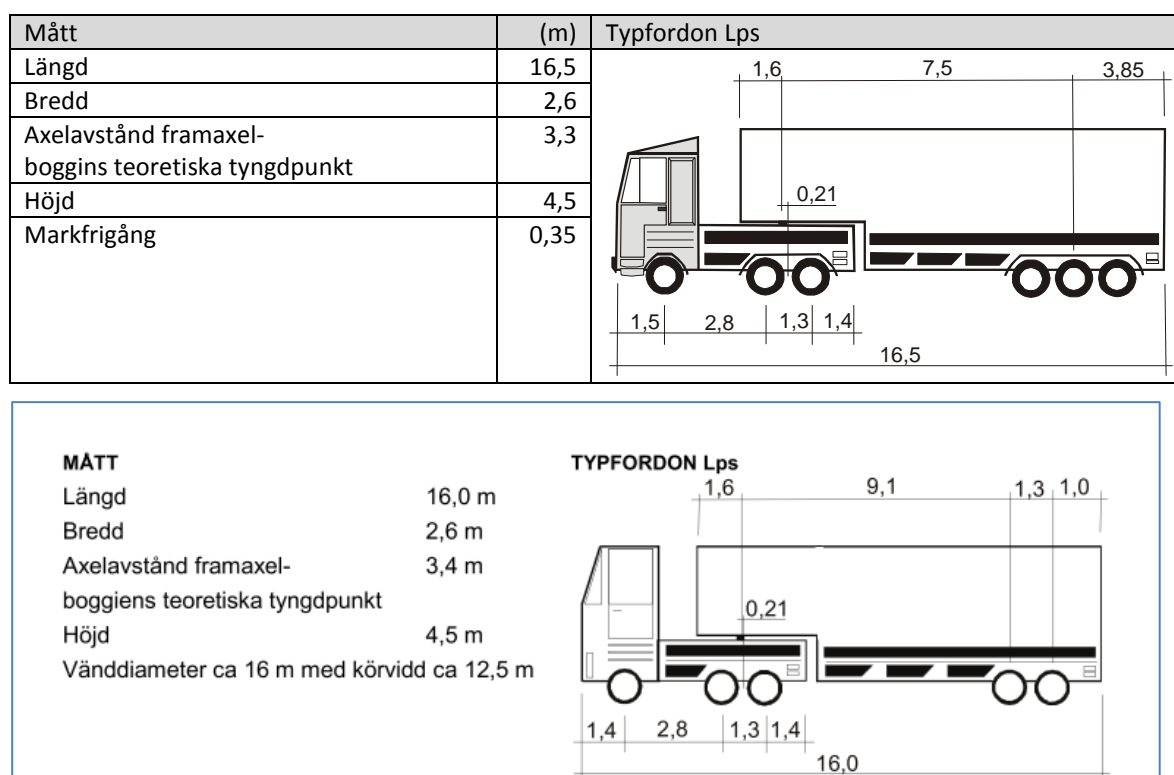


## 4.5 GRUFF-utredningen

För analys av fordonsgeometri i projektet GRUFF (Strömgren mfl 2013) användes data från fordonsregistret. Trafikregistret innehåller bl.a. geometriska data för fordon. Ingen samlad beskrivning av vilka data som finns är tillgänglig.

Ur fordonsregistret har fordon vid betraktelsesdatum 2010-09 registrerade mellan år 1990 till 2010 analyserats. För studien har framförallt geometriska mått såsom längd, bredd, antal axlar, axelavstånd samt användningsområde och utrustning använts. Totalt fanns 5 807 231 fordon med i uttaget från fordonsregistret som har använts för analysen.

Geometrin med en sammanslagning av de två var för sig registrerade fordonen, dragbil och släp blev enligt figur nedan. Skillnaden i dragbilen är marginell, framöverhäng 1,5 istället för 1,4 m. Den stora skillnaden är att baköverhänget på släpet är kortare och avståndet king pin – centrum bakaxel har ökat från 7,5 till 9,1 m. Totallängden har växt från 7,5 till 9,1 m.



Figur 4.9. Fordonsgeometri semitrailer i Sverige enligt GRUFF och nuvarande regler. (Movea 2013).

Modulfordonet har också enligt GRUFF förändrat sig marginellt genom årens lopp i takt med att semitrailern förändrats eftersom den delvis består av trailerdelen. En uppdaterad fordonsgeometri för modulfordonet blir därför enligt figur nedan.

Mått	(m)	Typfordon Lmod
Längd	25,25	
Bredd	2,6	
Axelavstånd framaxel-boggins teoretiska tyngdpunkt	5,6	
Höjd	4,5	
Längd	25,25	
Bredd	2,6	
Axelavstånd framaxel-boggins teoretiska tyngdpunkt	5,7	
Höjd	4,5	

Figur 4.10 Fordonsgeometri nuvarande och nytt modulfordon i Sverige enligt GRUFF

Även för boggiebussen föreslås smärre förändringar i GRUFF.

Mått	(m)	Typfordon Bb
Längd	15	
Bredd	2,55	
Axelavstånd framaxel-boggiens teoretiska tyngdpunkt <sup>1</sup>	7,7	
Överhäng fram	2,7	
Höjd	3,9	
Markfrigång	0,35	
<b>MÅTT</b>		
Längd	15,0 m	
Bredd	2,55 m	
Axelavstånd framaxel-boggiens teoretiska tyngdpunkt <sup>1</sup>	7,3 m	
Överhäng fram	2,6 m	
Höjd	3,9 m	
Markfrigång	0,35 m	
Vändradie 14 m med körvidd 7 m		
<sup>1)</sup> När endast främre axeln på boggin är drivande ligger teoretiska tyngdpunkten på 1/3 av avståndet mellan bogginns axlar.		

Figur 4.11 Fordonsgeometri nuvarande och ny boggiebuss i Sverige enligt GRUFF

## 4.6 Sammanfattning typfordon

De förekommande typfordonen har en varierande geometri för de studerade länderna i Norden och Tyskland. Även vilka fordonstyper som anses dimensionerande för statliga primära vägar varierar mellan länderna, se tabell nedan.

Tabell 4.3. Dimensionerande typfordon på större vägar i Norden o Tyskland

	Norge	Danmark	Finland	Tyskland
Semitrailer		X <sup>1</sup>		X
Boggibuss	X	X	X	
Personbil	X		X	X
Lastbil	X		X	
Normalbuss			X	X
Lastbil med släp	X		X	X
Specialfordon		X		
Modulfordon	X			X <sup>2</sup>

- 1) Rött X innebär att de är dimensionerande vid korsningsutformning
- 2) Har startat utredning om modulfordon som typfordon

## 4.7 Analys uppdatering av befintliga typfordon

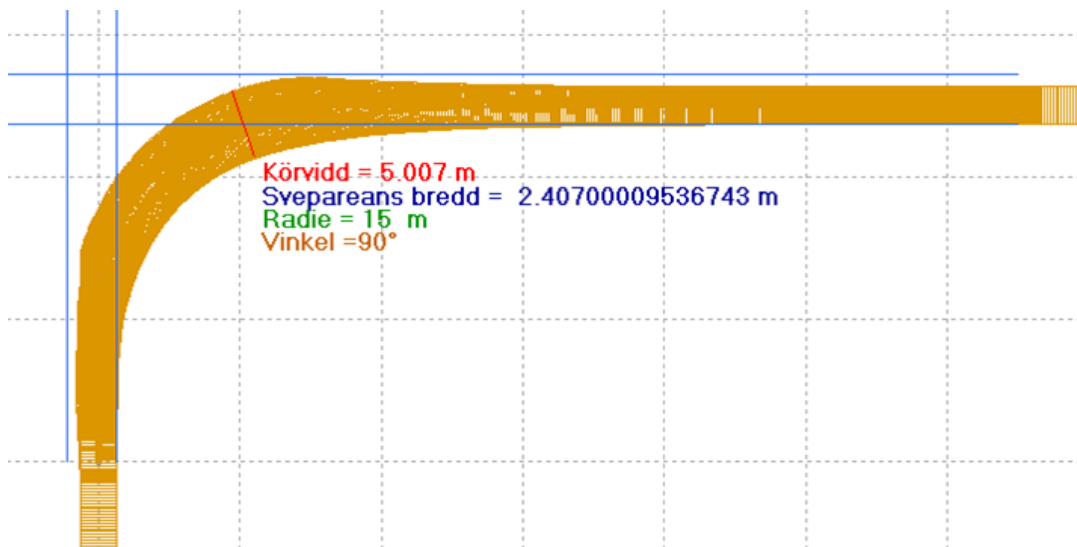
Vid en jämförelse med de tyska och danska typfordonen för semitrailer stämmer GRUFF-förslaget (Strömgren et. Al. 2013) relativt bra överens, se tabellen nedan.

Tabell 4.4 Fordonsgeometri för semitrailer för Tyskland, Danmark och Sverige.

Dellängd	Mått (m)					
	Tyskland	Danmark gammal	Danmark ny	Norge	Sverige GRUFF	Sverige bef.
Bredd	2,55	2,55	2,6	2,6	2,6	2,6
Längd dragfordon	6,11	6,0	6,1	6,59	7,0	6,9
Hjulbas dragfordon	3,95	3,6	3,7	3,46	3,3	3,3
Överhäng bak dragfordon	0,76	1,0	1,0	1,76	2,3	2,3
Längd front kopplingspunkt dragfordon	4,53	4,4	4,5	4,52	4,6	4,5
Längd släp	13,71	13,6	13,6	13,6	13,6	13,0
Överhäng fram släp från kopplingspunkt	1,74	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
Överhäng bak släp från teoretisk bakaxel	4,37	3,2	4,55	3,87	3,85	1,65
Längd kopplingspunkt till teoretisk bakaxel	7,6	8,9	7,45	8,14	8,15	9,54
Total längd	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,0

De mest avvikande värdena är hjulbas dragfordon och längd kopplingspunkt (king-pin) till teoretisk bakaxel.

För att kunna utvärdera effekterna av förändring av fordonsgeometrin för Lps har simuleringar utförts för två olika mittradier vid en korsningsvinkel på 90 grader. Samtliga fem olika semitrailers har simulerats samt det svenska modulfordonet med en total längd av 25,25 m. Vid varje simulering har maximal körvidd och sveparens bredd beräknats, se exempel i figur nedan.



Figur 4.12. Maximal körvidd och sveparens bredd för semitrailer "GRUFF" vid 15 m mittradie och 90 graders vinkel.

Vid en jämförelse med hjälp av körviddsanalys ser det lite olika ut beroende på jämförelse, det tyska, danska nya och GRUFF-förslaget (Strömgren et. Al. 2013) får i princip lika körvidd. Det danska gamla fordonet får ca 0,65 m större körvidd och det befintliga svenska fordonet ca 1,15 m större körvidd, se tabell nedan.

Tabell 4.5. Jämförelse av körvidd för semitrailer för Tyskland, Danmark och Sverige samt modulfordon för Sverige (GRUFF) (Strömgren et. Al. 2013).

Land	Rm <sup>1)</sup> (m)	Körvidd (m)
Tyskland	12	5,49
	15	5,00
Sverige befintlig	12	6,63
	15	6,06
Sverige GRUFF	12	5,44
	15	5,01
Danmark gammal	12	6,14
	15	5,67
Danmark ny	12	5,45
	15	5,00
Modulfordon	12	6,61
	15	6,03
Modulfordon ny	12	6,59
	15	6,01

1) Rm betecknar mittradien i en korsningskurva.

Sammanfattningsvis kan sägas att genomgången av fordonsregistret och framtagandet av det nya typfordonet enligt GRUFF (Strömgren et. Al. 2013) stämmer bra överens med de senaste uppdateringarna av Tyskland och Danmark. Vid eventuellt införande av ny geometri för semitrailer innebär detta att modulfordonet blir dimensionerande för korsningskurvor istället för semitrailer. Detta innebär att dagens korsningskurvor ej kommer att följa bakre inre hjulet på släpet. Skillnaden på körvidd kommer sannolikt att bli cirka 5 cm mindre i korsningen.

Vid en uppdatering av modulfordonet kommer utrymmesbehovet att minska marginellt med ett par centimeter.

Vid en jämförelse med de Tyska och Danska typfordonen för boggibuss stämmer den nya Svenska (GRUFF) (Strömgren et. Al. 2013) relativt bra överens, se tabell nedan.

Tabell 4.6. Fordonsgeometri för boggibuss för Finland, Danmark, Norge och Sverige.

Dellängd	Mått (m)				
	Finland	Danmark	Norge	Sverige GRUFF	Sverige bef.
Bredd	2,6	2,55	2,55	2,55	2,55
Längd	14,5	15,0	15,0	15,0	15,0
Axelavstånd framaxel-boggins teoretiska tyngdpunkt	7,93	7,82	7,83	7,72	7,33
Överhäng fram	2,6	2,71	2,7	2,7	2,6
Överhäng bak	3,97	4,47	4,47	4,68	5,07

De mest avvikande värdena är Axelavstånd framaxel-boggins teoretiska tyngdpunkt samt överhäng bak.

För att kunna utvärdera effekterna av förändring av fordonsgeometrin för Bb har simuleringar utförts för två olika mittradier vid en korsningsvinkel på 90 grader. Samtliga fem olika boggibussar har simulerats. Vid varje simulering har maximal körvidd och aktre svep beräknats.

Vid en jämförelse med hjälp av körviddsanalys ser det lite olika ut beroende på jämförelse, det tyska, danska nya och svenska fordonet får i princip lika körvidd. Det Danska gamla fordonet får ca 0,65 m större körvidd och det befintliga Svenska fordonet ca 1,15 m större körvidd, se tabell nedan.

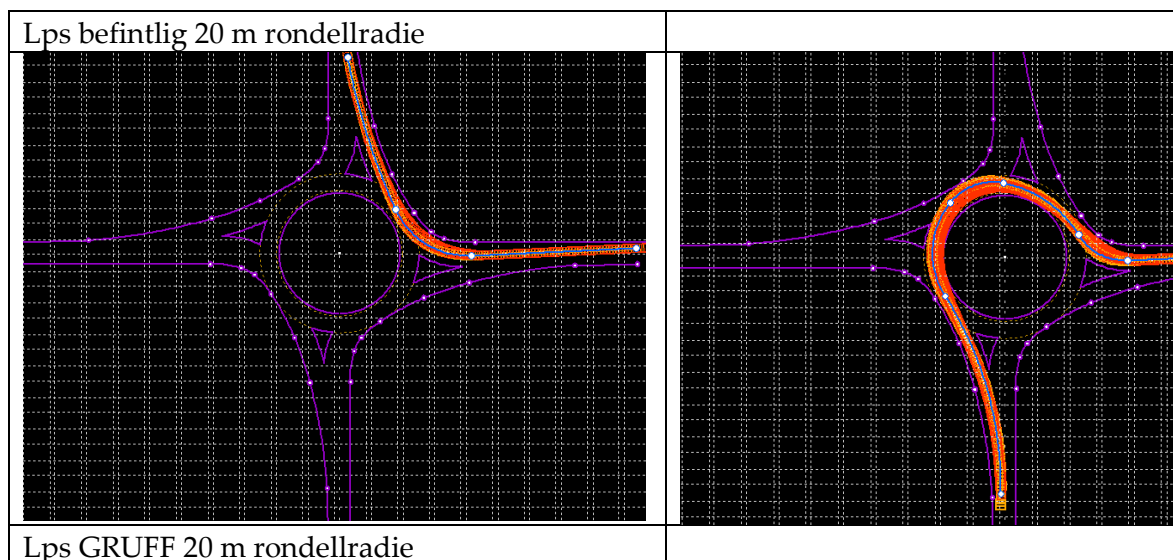
Tabell 4.7. Jämförelse av körvidd, främre svep och aktre svep för boggibuss för Finland, Danmark, Norge och Sverige.

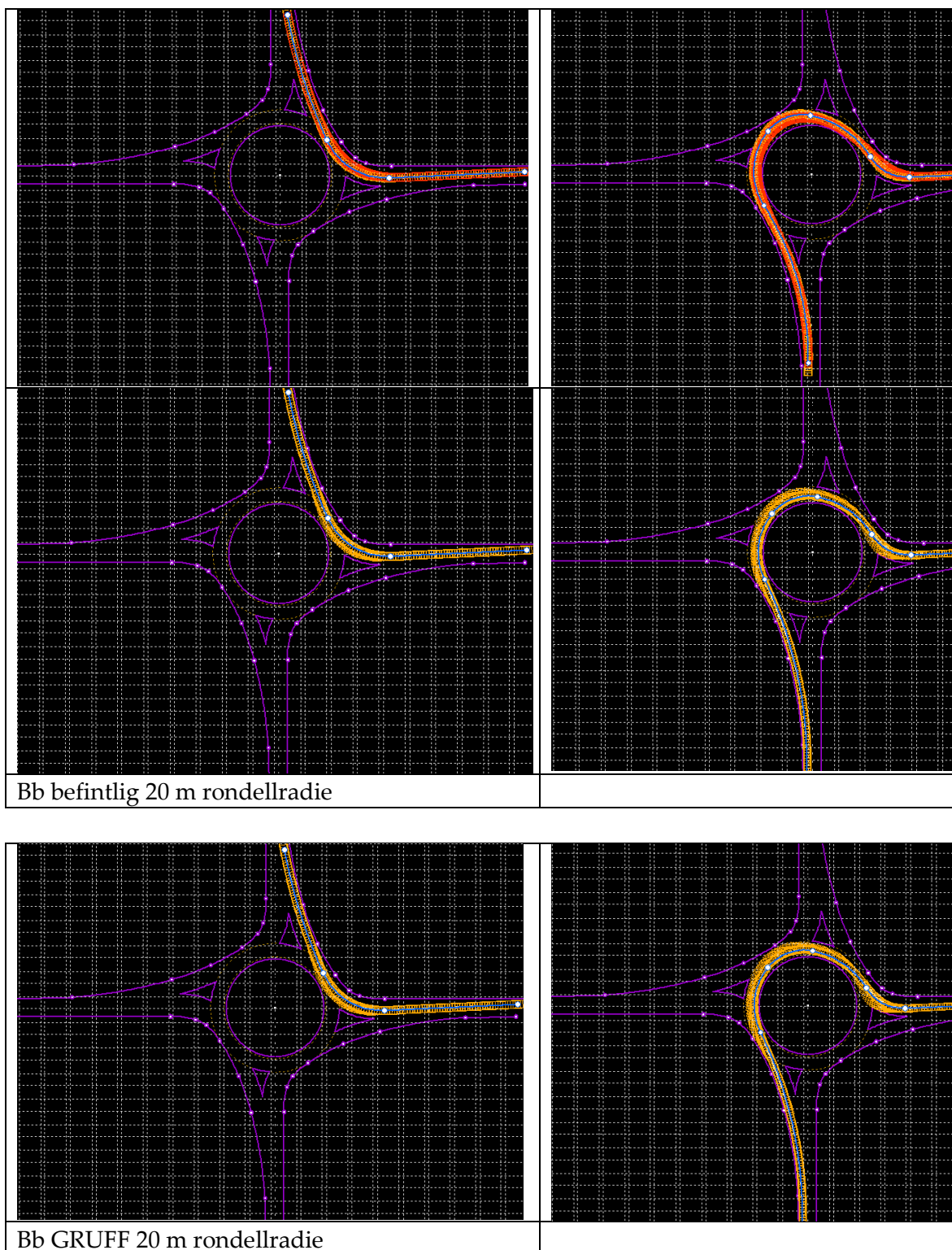
Land	Rm <sup>1)</sup> (m)	Körvidd (m)	Främre svep (m)	Aktre svep (m)
Finland	12	6,62	0,36	0,40
	15	5,99	3,04	0,29
Danmark	12	6,67	0,37	0,52
	15	5,98	3,05	0,40
Norge	12	6,65	3,72	0,52
	15	6,01	3,08	0,41
Sverige GRUFF	12	6,48	3,63	0,62
	15	5,93	3,00	0,46
Sverige befintlig	12	6,18	3,42	0,68
	15	5,63	2,73	0,57

1) Rm betecknar mittradien i en korsningskurva.

Sammanfattningsvis kan sägas att genomgången av fordonsregistret och framtagandet av det nya typfordonet för Bb enligt GRUFF stämmer ganska bra överens med de senaste uppdateringarna av Norge och Danmark. Vad gäller utrymmesbehovet mellan nuvarande och eventuellt nytt typfordon för boggibuss, så ger den nya ett lite större utrymmesbehov.

Görs en analys av körspår för cirkulationsplats för både högersväng och vänstersväng blir det lite mer komplext, olika fordon blir dimensionerande för olika delar av cirkulationen, se figur nedan.





Figur 4.13. Körspår för befintliga typfordon Lps och Bb samt Lps GRUFF och Bb GRUFF.

Resultatet av analysen är att istället för att Lps varit dimensionerande för i stort sett samtliga delar, kommer Bb att vara dimensionerande för vissa rörelser och Lmod för vissa rörelser. För Högersväng kommer Bb att vara dimensionerande emedan för



vänstersväng kommer Lmod i kombination med Bb att vara dimensionerande. Observera att i denna studie har körfältsbredderna på anslutande väg varit 3,5 meter, vilket gör att resultaten för 3,75 m körfältsbredd kan se lite annorlunda ut.

## 4.8 Förslag

Analysen indikerar att framför allt typfordon Lps bör förändras i enlighet med GRUFF-utredningen. Det rekommenderas att, särskilt med hänsyn till pågående fordonsutveckling, en diskussion tas upp med branschen innan nya typfordon och även eventuellt förändrade körsätt införs.

## 5 Implementering av nya typfordon

### 5.1 Tunga långa fordonståg

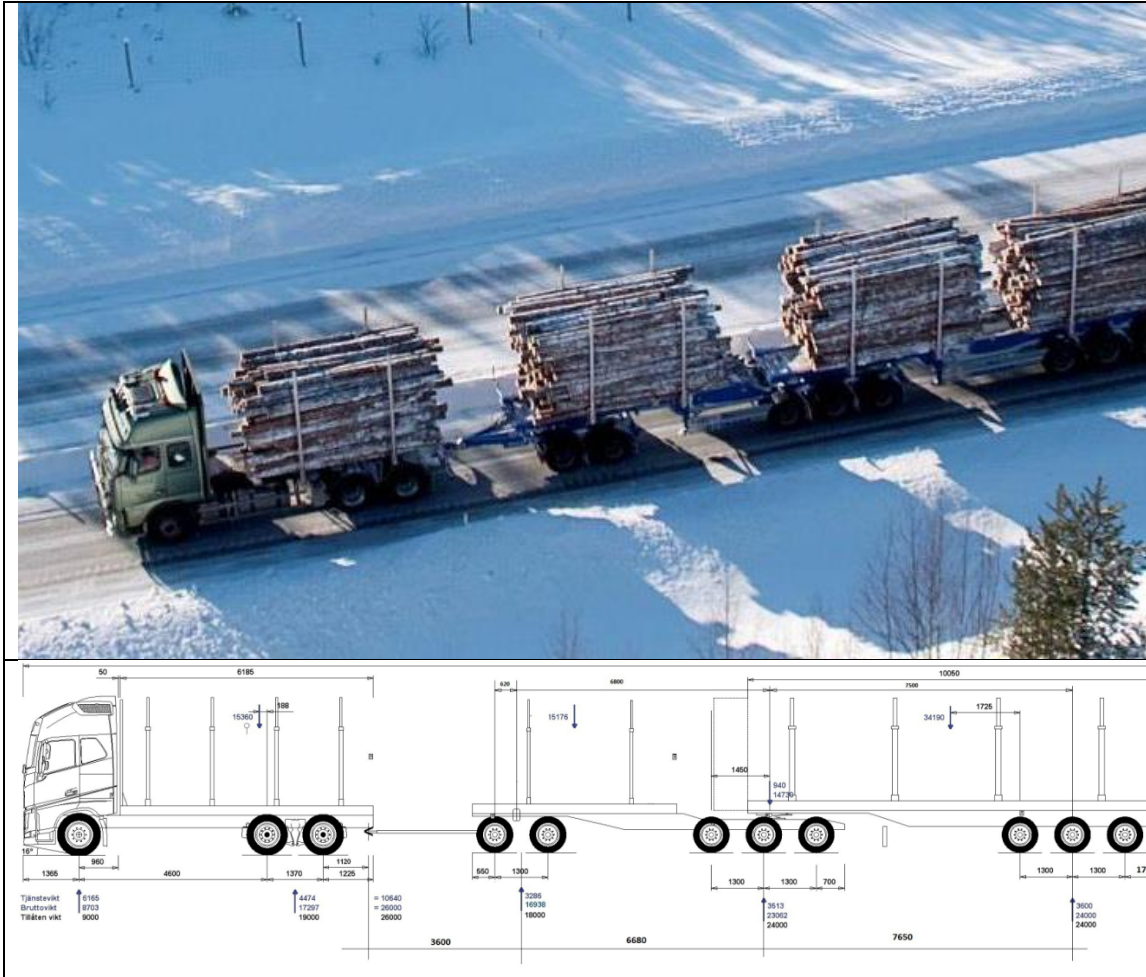
I Norden sker nu ett antal försök med tunga och långa fordonståg. I Finland är den generella maximala totalvikten ökad till 76 ton och försök görs med fordonskombinationer med en totalvikt upp till 104 ton, se figur nedan.



Figur 5.1. Finskt fordon med en totalvikt på 104 ton och nyttolast på 78 ton (Haataja 2017).

De finländska försöken följs upp genom noggranna fältmätningar, där både givare i fordonen såväl som på vägsidan har möjliggjort analyser av fordonsstabilitet (lateral acceleration, longitudinella krafter och laterala krafter) och förarbeteende i verklig trafik (omkörningsbeteende). Det preliminära resultatet visar på att inga större skillnader finns mellan de vanliga fordonskombinationerna och de mer maximerade beskrivna ovan. Definitiva resultat kommer i slutrapporten våren 2018.

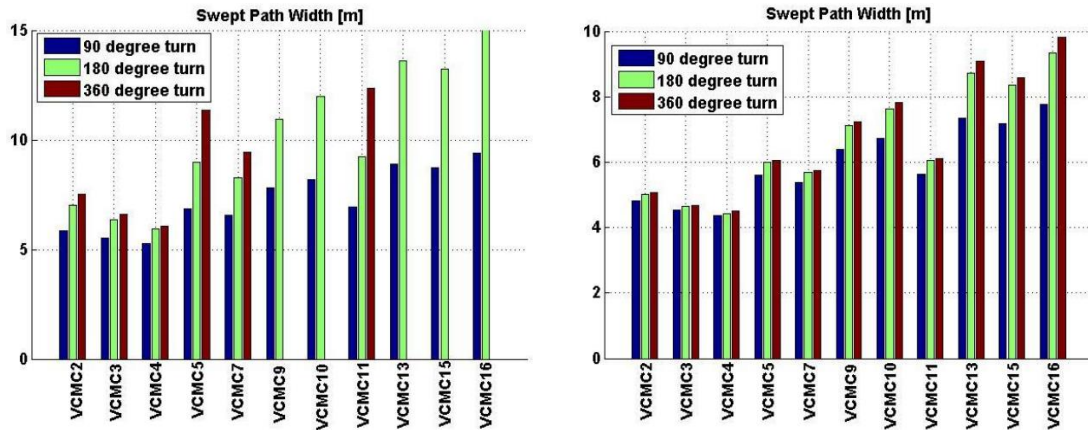
är En mycket seriös studie från Chalmers (Sadeghi Kati et. al. 2014) visar på väsentliga skillnader mellan olika fordonstyper. Fordonskombinationerna VCMC2 är en 16,5 m lång semitrailer, VCMC7 är ett modulfordon med längden 25,25 m samt VCMC15 som är snarlikt de stora timmertransportfordonen i norra Sverige med en längd av 33,8 m, se figur nedan.



Figur 5.2. Fordonsgeometri för VCMC15. (Foto: Erik Viklund, Skogforsk, figur: Volvo GTT).

I dagsläget har detta fordon inga styrda axlar mer än framaxeln på bilen, På returresa är axel 3 lyfta på dragbil, axel 1 och 3 på link samt axel 1 och 3 på semitrailern.

Figuren nedan visar 90 och 180 graders vridning med en radie på 12,5 m. Samtliga kombinationer kan hantera 90, 180 och 360 graders sväng med 20 m radie.



Figur 5.3. Korsningsutformning för anslutning med utrymmesklass A till vänster samt för korsning med utrymmesklass B eller C till höger. (Sadeghi Kati et. al. 2014).

Resultatet för VCMC15 jämfört med modulfordon är att det ger en utökad körvidd med ca 50 %, vilket gör att befintliga korsningar med befintlig utrymmesklass är ej möjliga att ta sig igenom för VCMC15.

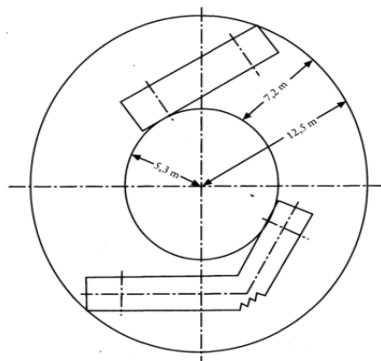
En studie från Queensland (Cox 2015) behandlar de nuvarande geometriska vägutformningsnormernas funktion för de fordon som används på Australiens vägar. Körspårsanalys har gjorts för 6 fordonstyper med längden 8,8 m upp till 53,0 m med hjälp av VPATH. Kravet för breddökning med avseende på vägbanebredd och vinkel befanns vara otillräcklig på grund av att fordonsparken har växt sedan korsningsutformningen togs fram.

Nya fordonslängdsgränser har endast godkänts efter noggrann studie av effekterna på befintliga vägnät. Med hänsyn till svepytan har förändringarna i fordonsstorleken tillåtits, eftersom förändringen varje gång ansågs vara så liten att ökningen påverkan var minimal. Antingen fick föraren köra med fordonet genom anläggningen med reducerade marginaler (körmån), eller att föraren var tvungen att göra en mer skicklig och komplex styrmanövrer, då ofta genom att inkräkta på angränsande körfält. Australiensiska vägregler ändrades för över 15 år sedan för att då tillåta stora fordon att utnyttja angränsande körfält.

## 5.2 Dubbelledbuss

Kollektivtrafiken är i ständig utveckling och ett relativt nytt koncept är att använda 24 meter långa bussar som har två leder, dagens ledbussar är 18 meter med en led. Det saknas teoretisk grund för att använda de här fordonen och för att alls få framföra dessa så måste dispens utföras från transportstyrelsen. För närvarande så används bussarna i Göteborg och i Malmö. Analysen syftar till att utreda huruvida det är nödvändigt att ha en dispens eller om man kan tillåta det nya typfordonet dubbelledbuss, Bdl, med hänsyn till de fysiska kraven.

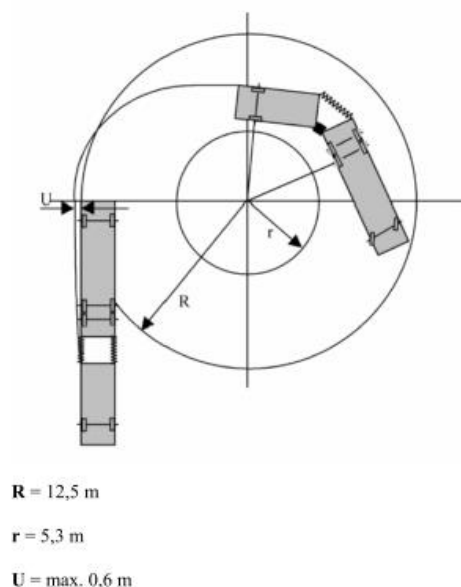
Det finns ett antal EU-dokument som är av intresse för dubbelledbussar. I Council Directive 97/27/EC definieras de olika typfordonen som är tillåtna att framföras (Council of the European Union, 1997). I dokumentet så definieras endast "articulated bus or coach" som en "bus med två eller fler fasta sektioner som är ledade i förhållande till varandra och som passagerare kan passera emellan". Det finns ingen definition i grunddokumentet för "bi-articulated bus" (dubbelledbuss). Utöver detta så finns det ett krav för hur väl fordonen ska kunna ta sig fram i trafik (Council of the European Union, 1997), det så kallade vändningskravet definieras och ECE-cirkeln (figuren nedan). Det finns även definierat maximalt svepet för främre överhäng samt bakre överhäng av fordonet. Detta revideras senare till ett värde om 0,6 meter som gäller både fram och bak (The commission of the european communities, 2003).



Figur 5.4. ECE-cirkel. (Council of the European Union, 1997).

Ett annat centralt dokument för tillåten dimensionering samt tillåten fordonsvikt är Council Directive 96/53/CE (Council of the European Union, 1996). I detta dokument så definieras längsta tillåtna längd för respektive fordonstyp, högsta tillåtna vikt och andra begränsningar för fordonen. Vändningskravet står skrivet även här. I en revidering utförd under 2002 så läggs det till att bussar med mer än en led EJ ska inkluderas i de längdkrav som står angivna, så länge som de endast framförs inom det egna landet (Council of the european union, 2002). Det öppnar upp för att länderna får frångå de typfordon som finns på europeisk nivå.

Den svenska lagstiftningen baseras i stor utsträckning på de förordningar och regler som stiftas central i EU. Enligt trafikförordningen 4 kap. 17 § (Sveriges riksdag, 2017) får fordon som är 24,0 meter eller längre endast färdas på enskilda vägar. Bussar är undantaget från denna regel och får färdas på alla vägar, förutsatt att den totala längden inte övergår 25,25 meter och bredden begränsas till 2,55 meter. I trafikförordningen står det vidare skrivet att fordonet lyder under det europeiska vändningskravet och ska kunna vända inom en cirkelring som har en yttre radie på 12,5 meter och en inre radie på 5,3 meter. När fordonet förs in i cirkelringen så får ingen del av fordonet gå mer än 0,6 meter utanför ett tänkt, vertikalt, plan som tangerar fordonets yttre sida samt cirkelns yttre radie, se figur nedan (Vägverket, 2004:141).



Figur 5.5. Vändningskrav för (dubbel)ledbuss. Källa: (Sveriges riksdag, 2017)

För att ett fordon ska få framföras på allmänna vägar krävs det dessutom att fordonet finns definierats i trafikförordningen. I trafikförordningen 4 kap. 17a (Sveriges riksdag, 2017) definieras olika typer av bussar och deras tillåtna längd, se tabellen nedan. Dubbelledbussen, eller andra bussar som är längre än 18,75 meter, har ännu inte definierats i trafikförordningen utan måste enligt trafikförordningen 4 kap. 17b ansöka om dispens från transportstyrelsen för att få framföras på väg (Sveriges riksdag, 2017).

Tabell 5.1. Definierade längder för buss.

Typ av buss	Tillåten längd
Buss med två axlar	13,5 meter
Buss med fler än två axlar	15,0 meter
Ledbuss	18,75 meter
Buss med släpvagn	18,75 meter



Dispens för dubbelledbussar i Sverige har utfärdats för trafik i Göteborg sedan 2005 (Vägverket, 2005:103) och sedan 2014 i Malmö (Transportstyrelsen, 2014:31).

I Sverige finns dubbelledbussen i två städer, Göteborg och Malmö. Göteborg fick sin dispens för att framföra bussar med mer än en led och en längd på som högst 25 meter i oktober 2005 (Vägverket, 2005:103). Dispensen trädde i kraft i november 2005 och var giltig över en 10årsperiod. Som nämnt tidigare måste dubbelledbussen måste samtidigt klara av de värdningskrav som är angivna i Vägverkets föreskrifter (2004:141), se figur nedan.

Transportstyrelsen beslutade i oktober 2015 att förlänga den gällande dispensen för att få framföra bussar med mer än en led och en längd på som högst 25 meter (Transportstyrelsen, 2015:54). Dispensen blev gällande samma månad och sträcker sig ytterligare 10 år framåt i tiden.

Dubbelledbussarna i Göteborg trafikerar linje 16 som trafikerar sträckan Eketrägatan – Högsbohöjd och är en stombusslinje. Bussarna är tillverkade utav Volvo. Det är en sträckning som är ca 13 km lång och sträcker sig från Hisingen i norr till Högsbo i söder, se Figur 6.3. Att resa hela vägen tar ca 64 minuter, det finns snabbare linjer om man önskar resa mellan slutstationerna.



Figur 5.6. Sträckning linje 5, Malmö. Källa: (Skånetrafiken, 2017)

### 5.3 Geometri för dubbelledbuss

Dubbelledbussen bör relatera till de regler och krav som är satta enligt svensk lag. Trafikverkets dokument "Vägar och gators utformning – begrepp och grundvärden" definierar de typfordon som får trafikera svenska vägar. De värden som anges måste anses som den grund vi har att förhålla oss till, förhoppningen med detta arbete är att uppdatera dessa värden för att få ett mer tillförlitligt typfordon för dubbelledbuss. Ett minimikrav för vilka värden som måste finnas tillgängligt kan antas vara den information som behövs för att genomföra körspårsanalyser. Nedan följer en redogörelse för vilken information som finns att tillgå i VGU och hur den kan appliceras på dubbelledbussar. I senare avsnitt kommer denna information att kompletteras med motsvarande från busstillverkare.

I VGU (begrepp och grundvärden) finns det en tabell med generella värden för bland annat "maximalt hjulutslag" och "lock to lock time", dessa två värden är väldigt centrala när det kommer till körspårsanalys, se Tabell 2. "Lock to lock time" är den tid det tar att vrida ratten från fullt rattutslag åt ena hållet till fullt rattutslag åt det andra hållet. Dubbelledbussens värden kan antas vara likvärdiga med kategorin "ledade fordon" tills att motsatsen är bevisad senare i rapporten. Värden under utredning är då det maximala hjulutslaget på 40 grader och "lock to lock time" på 7 sekunder.

Tabell 5.2. Värden som behövs vid körspårsimulering, generella värden. Källa: (Trafikverket, 2015:090)

	hjulutslag ledade fordon	hjulutslag oledade fordon	teoretiskt hjulutslag för ledade fordon	teoretiskt hjulutslag för stela fordon
Max Hjulutslag i grader (inre hjul)	48-50°	50-52°	-	-
(yttre hjul)	34,5-34,9°	35,5°	-	-
Medelvärde maximalt hjulutslag	41,25°	42,75°	40°	42,5°
Antal rattvarv från rakt fram till max hjulutslag	3,1	4,5	3,5	3,7
Hjulutslag i grad per rattvarv	15,5-16,1°	11,1-11,6°	11,5° <sup>(1)</sup>	11,5° <sup>(1)</sup>
Max "Lock-to-lock time"	-	-	7 sek	7,4 sek

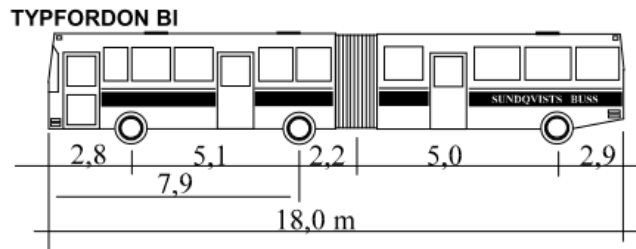
<sup>(1)</sup> 11,5° per sekund

Vidare är fordonets dimensioner av intresse. För att veta vilka dimensioner som är av intresse utgår vi från trafikverkets VGU begrepp och grundvärden. Där listas längd, bredd, axelavstånd, överhäng fram, höjd, vändradie samt fordonets körvidd. Av de tillhörande figurer framgår vilka övriga dimensioner som är av vikt, se exempel för ledbuss i figuren nedan.

För dubbelledbuss regleras längden till som längst 25,25 meter och bredd till 2,55 meter (Sveriges riksdag, 2017). Höjden för en buss är generell och satt till 3,2 meter.



MÅTT	
Längd	18,0 m
Bredd	2,55 m
Höjd	3,2 m
Vändradie	12 m med körvidd 7 m



Figur 5.7. Mått för typfordon BI. Källa: (Trafikverket, 2015:090)

För att få en mer specifik bild utav hur en dubbeldekkbuss utrymmesbehov ser ut så kontaktades ett flertal utav de europeiska tillverkarna i jakt på uppgifter. De som svarat med komplett information har sammanställts nedan.

#### VDL – Phileas:

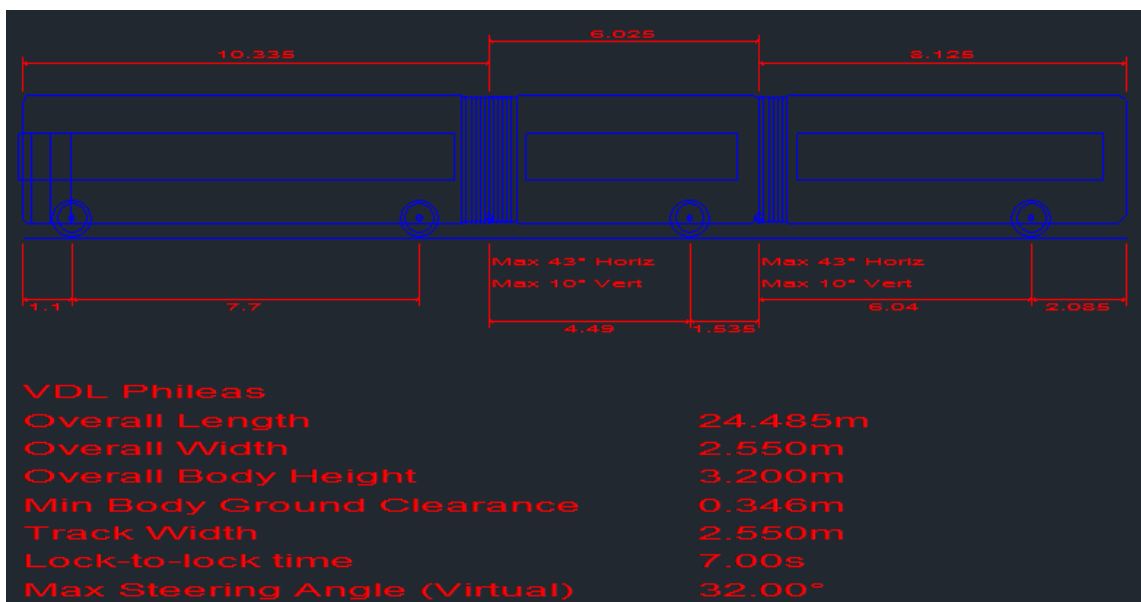
Längd: 24,49 meter.

Bredd: 2,55 meter.

Höjd: 3,2 meter.

Körvidd: 6,8 meter.

”Lock to lock time” 7 sekunder enligt VGU, även bekräftat från källa (Bouwman, 2017). Den främre axeln har en maximal styrvinkel på 32 grader (Bouwman, 2017). Alla övriga axlar kan, alla tre, styras max 20 grader. Lederna har en maximal vinkel på 43 grader. Enda skillnaden mellan ritningen för Phileas 26 meter och den som är 24.49 meter är att mittsektionen är 1.52 meter kortare.



Figur 5.8. Fordonsmodell VDL, Phileas. Källa: (Bouwman, 2017)

### Van Hool – Exqui City:

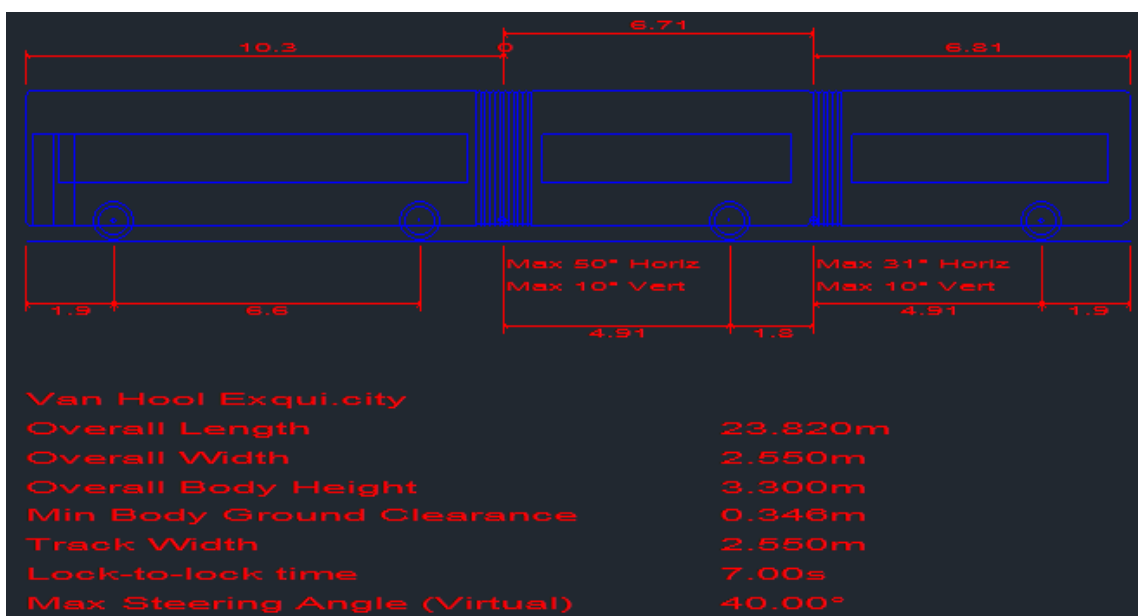
Längd: 23,82 meter.

Bredd: 2,55 meter.

Höjd: 3,3 meter.

Lock to lock time 7 sekunder enligt VGU.

Den främre axeln har en styrvinkel på 40 grader för att kunna trafikera ECE cirkeln samtidigt som den fjärde axeln kan styras upp till 25,5 grader (Atterhall, 2017). Den främre leder är enligt ritning då böjd till 50 grader och den bakre till 31, i specifikationen för Vehicle Tracking är dock båda ledernas maximala vinkel satt till 50 grader. Antagandet har gjorts att lederna har samma maxvinkel då fordonet är modulbyggt där del 2 och del 3 är likadana.



Figur 5.9. Fordonsmodell Van Hool, Exqui-city. Källa: (Atterhall, 2017)

### Volvo – 7500 bi-artic:

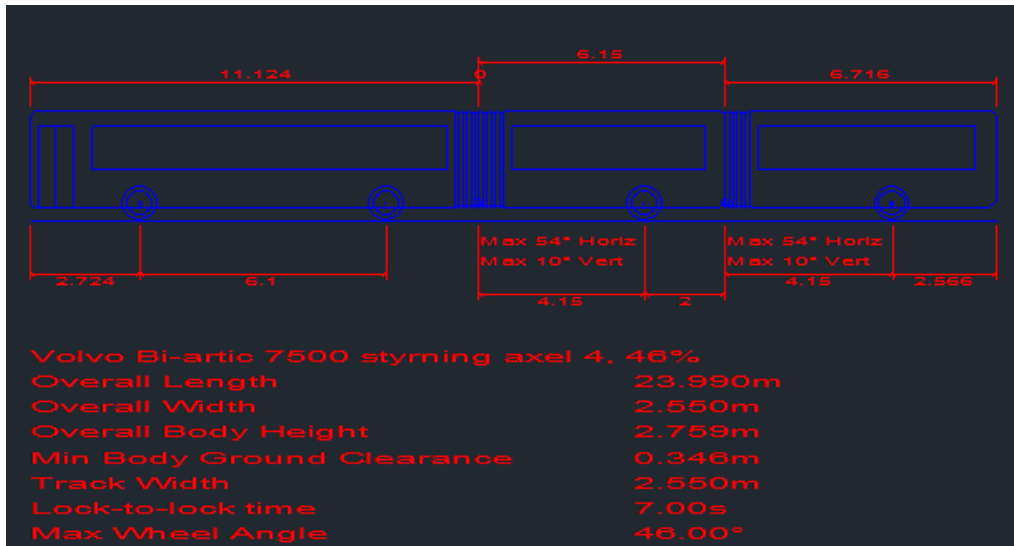
Längd: 23,99 meter.

Bredd: 2,55 meter.

Höjd: 3,32 meter.

Lock to lock time 7 sekunder enligt VGU.

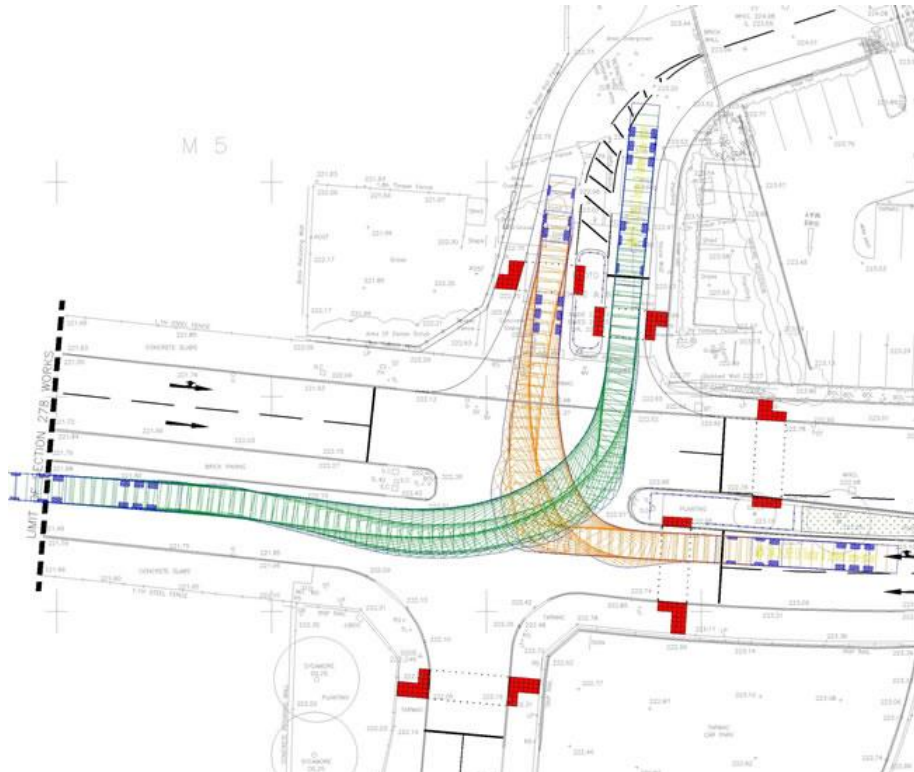
Det inre hjulet på främsta axeln har en maximal styrvinkel på 46 grader (Carlden, 2017). Den bakersta axeln har en maximal styrvinkel på ca 20 grader. Ledernas största vinkel är 54 grader.



Figur 5.10. Fordonsmodell Volvo, 7500 bi-artic. Källa: (Carlden, 2017)

## 5.4 Körspårssimulering för dubbelledbuss

Ett körspår är en representation för hur ett fordon tar sig igenom en korsning (Trafikverket, 2015:090). Traditionellt i Sverige så följer ett körspår ett styrspår som representerar den bakre axeln på ett dragfordon, men detta kan variera mellan länder och simuleringsverktyg. Körspårsanalys går ut på att beräkna och analysera hur fordonet beter sig under rörelse längs med körspåret (Sanderson Associates, 2017), se figuren nedan. Detta görs genom en simulering där resultatet kan användas till att stödja beslut gällande utformning av infrastruktur alternativt restriktioner på vilka fordonstyper som är tillåtna på aktuell sträcka.



Figur 5.11. Exempel på körspår i en korsning. Källa: (Sanderson Associates, 2017)

För att kunna genomföra en körspårssimulering med Vehicle Tracking och AutoTURN behövs tre komponenter. För det första behöver ett fordon skapas, förutsatt att det inte finns inlagt i mjukvarans tillgängliga databas. För det andra behöver den infrastruktur (korsning) du vill utvärdera finnas i en 2D ritning i programmet och slutligen behövs en styrlinje som fordonet kan följa genom korsningen för att efterlikna körstrategin hos föraren.

Fordonet kommer att skapas efter de egenskaper som varje tillverkare av dubbelledbussar uppgivit i tidigare avsnitt. Det kommer därför att skapas ett fordon för varje tillverkare under utvärderingen. Dessa fordon ska sedan ge upphov till ett gemensamt typfordon i analysen.

De korsningar som kommer att användas kommer att vara utav korsningstyp A, B, C och D. Radien i de olika korsningarna kommer att varieras så att så många olika scenarion som möjligt kan simuleras. Vilken radie och utformning som ska användas i simuleringen bestäms av aktuell praxis samt den tillgängliga litteraturen (VGU). Det sista momentet som återstår inför att genomföra en körspårssimulering är att skapa ett styrspår. Detta styrspår ska representera hur föraren faktiskt genomför manövern i korsningen.

## 5.5 Körspårsanalys

De fordon som kommer att användas i analysen är VDLs "Phileas", Van Hools "Exquicity" och Volvos "7500 bi-artic". De har alla liknande egenskaper, skillnaderna är mest påtagliga i maximal styrvinkel, ledernas vinkel och överhäng fram och bak.

Dessa tre fordon kommer att genomföra högersvängar i ett antal korsningar för att analysera deras utrymmesbehov och slutligen bestämma om fordonet kan användas utan dispens i trafik. De korsningstyper som ska analyseras är både mindre korsningar (A1, A, B och C) och större korsningar (korsningstyp D1, D2, D3 och D4). Radien hos korsningskurvan på de små korsningarna (korsningskurvorna) varierar mellan 10 meter och 12 meter enligt utformning i VGU, se tidigare avsnitt. Radien på rondellen i cirkulationsplatserna bör väljas till mellan 15 och 25 meter, i rapporten används 15 meter och 20 meter, den större radien används för att säkerställa att korsningstypen går att passera med utrymmesklass A. Utöver de typkorsningarna som presenteras i VGU har även ett antal korsningar i tätort valts ut. Detta för att representera den praxis som gäller vid utformning av korsningar på kommunal nivå. Korsningarna är ofta enklare i sin utformning än vad som rekommenderas i VGU, korsningskurvorna består ofta endast utav en cirkelbåge som sammankopplar de rätvinkliga raklinjerna. Korsningarna i den här rapporten är hämtade från vägnätet i Borlänge.

Styrlinjerna som används i simuleringarna har konstruerats för bakaxel enligt avsnitt "Konstruktion av styrlinje" tidigare i rapporten. Viss skillnad kan förekomma då det inte alltid är 90 grader, eller 100 gon, mellan raklinjerna i till och frånfart. Detta gäller i synnerhet där korsningskurvorna till korsningarna tillåter att raklinjerna kan läggas i vinkel och i vissa fall kan ytterligare en styrbåge med stor radie för att få en mer naturlig rörelse. Då vilken axel på fordonet som kan följa styrlinjen kan skilja mellan program tillämpas följande metod: Styrlinje skapas för att följas av bakaxel, sedan körs de program som kan hantera detta (Vehicle tracking). Styrlinjen för AutoTURN baseras sedan på centrumlinjen för framaxel från resultatet i Vehicle tracking. Styrlinjerna blir då fordonsspecifika. Körspåren jämförs och om de ser likadana ut kan slutsatsen dras att resultatet vid simulering av dubbelledbuss inte beror av använd mjukvara.

I tabellen nedan finns en sammanställning utav grundläggande funktioner och dess förekomst i använd programvara.

Tabell 5.3. Funktionsmatris för körspårsmjukvara.

	Vehicle Tracking	AutoTURN
Styrning bakaxel	Ja	Ja
Styrning valfri axel	Ja	Ja, med undantag bakre axel på dragfordon
Länkad styrning	Aktuell axel mot framaxel	Aktuell axel mot närmaste led
Del som följer styrlinje	Valfri	Endast framaxel

### 5.5.1 Analys och resultat

Rapporten strävar efter att besvara följande frågor:

- Kan alla olika tillverkares fordon representeras som ett typfordon
- Vilka egenskaper ska Dubbelledbussen ha som typfordon
- Lämpar sig Dubbelledbussen för trafik i Sverige med avseende på utrymmesklass
- Hur påverkas oskyddade trafikanter i ett exponeringsperspektiv

Att etablera ett typfordon i en nationell databas innebär att måtten måste representera de fordonsmodeller som faktiskt används i trafik. Samtliga fordon som används i denna rapport är i bruk i Europa, det finns dock fler tillverkare, vilka ej delat med sig av fordonens egenskaper och därför ej förekommer i rapporten. Van Hool och Volvo de enda dubbelledbussarna i bruk i Sverige och det måste ses som drivande vid skapandet av ett standardfordon för just Sverige. Det är dessutom brukligt att fordonen som ska stå mall för ett typfordon inte bara speglar alla de fordon som finns tillgängliga i Europa utan det ska gärna uppfylla de behov som finns i värdlandet.

Dubbelledbussens bredd känns given, 2,55 meter, då det är nationell standard för alla typer av bussar. Längden hos de modeller som används i rapporten varierar mellan 23,8 och 24,5 meter, då två fordon (Van Hool och Volvo) är under 24 meter långa känns det naturligt att ha en referensmodell som är 24 meter lång. Det är svårt att motivera hur de 24 meterna ska fördelas på fordonets tre delar. Rapportens fordonsmodeller erbjuder tre varianter: 10-6-8 (VDL), 10-7-7 (Van Hool) och 11-6-7 (Volvo). VDL och Van Hool har lika långa dragfordon, då resultaten från Van Hool och Volvo är exakt likvärdiga i rapporten känns det som att Van Hools fordon är en bra kompromiss utav de båda andra och står därför modell med sina 10-7-7.

Tiden för "lock to lock" på 7 sekunder från VGU blev bekräftad från en källa på VDL, de övriga fordonen tog sina värden från detta. Det finns i nuläget ingen anledning att ändra denna. Fordonen har alla olika maximal styrvinkel på axlarna, dock är det teoretiska medelvärdet på 40 grader för främsta axeln enligt VGU väldigt likt det angivna från både Van Hool och Volvo, det accepteras därför. Då två av tre fordon endast har styrning på främsta och bakersta axlarna så anses detta mer accepterat. Den maximala styrvinkeln för bakre axel bör sättas till ca 20 grader då det är gemensamt för VDL och Volvo. Ledernas vinkel varierar mellan 43 (VDL) till 56 (Volvo) grader. Att använda 50 grader på båda lederna känns då rimligt, speciellt då detta är det värde som Van Hool använder sig utav. Det är dock viktigt att tänka på att kombinationen av styrvinkel på axlarna och ledernas vinkel är avgörande för manöverdugligheten.

*Tabell 5.4. Sammanställning av geometri för de olika dubbelledbussarna.*

Parameter	Sammanfattande geometri Dubbelledbuss
Längd	24 meter
Bredd	2,5 meter
Fordonsdisposition	10-7-7, meter
Lock to lock	7 sekunder
Maximal styrvinkel, främre axel	40 grader, medelvärde
Maximal styrvinkel, bakersta axel	20 grader, medelvärde
Maximal vinkel, leder	50 grader

De två programmen som används i rapporten, AutoTURN och Vehicle Tracking, uppvisar nästan genomgående samma resultat. Skillnader i resultat gäller endast fordonet Phileas från VDL. De instanser då resultatet skiljer är ett sämre resultat i AutoTURN, dessutom är det i situationer när det förekommer tvära svänga och smala körfält. Den förklaring som ligger närmast till hands är inte att fordonet betar sig annorlunda av någon okänd anledning kopplat till mjukvaran utan med största säkerhet är det snarare det faktum att axel nummer två hos VDL Phileas inte går att styra i AutoTURN, det är alltså en begränsning i programmets programmering.

En klar nackdel med AutoTURN mot Vehicle Tracking är att det inte finns någon möjlighet att redigera körspåret i efterhand. I Vehicle Tracking går det att redigera och ändra i körspåret i efterhand vilket är bra om det av någon anledning inte fungerar felfritt. Möjligheten att redigera ökar även förståelsen för hur fordonen fungerar. Generellt så kan det sägas att Vehicle Tracking erbjuder mer möjligheter till inställningar och simuleringsredigering medans AutoTURNs mindre valmöjligheter ökar användarvänligheten.

Slutsatsen är att val av mjukvara inte påverkar resultaten så länge som det aktuella programmet klarar av att konstruera det fordon du önskar använda. För denna rapport så var Vehicle Tracking det bästa valet då även fordonet VDL Phileas kunde representeras korrekt.

Resultatet som presenteras nedan är av praktiska skäl en representation av det kompletta resultatet från körspårsimuleringen, det finns att beskåda i sin helhet under "Bilaga 2 Resultat Vehicle Tracking" samt "Bilaga 3 Resultat AutoTURN". För att bryta ner det stora antalet korsningar så bryts de ner i grupperna "ECE Cirkel", "Mindre korsningar enligt VGU", "Större korsningar enligt VGU" och "Korsningar enligt praxis".

Enligt Vehicle Tracking så klarar alla fordon av att framföras inom ramarna för ECE Cirkeln, ytterradien på max 12,5 meter och innerradien 5,3 meter (Tabell 4). Volvo och Van



Hool tar hela den tillåtna arean i anspråk till skillnad från VDL, som uppvisar ett betydligt mindre utrymmesbehov. Resultatet för fordonet från VDL klarar inte av att hålla sig inom ramarna i programmet AutoTURN. Ytterradien på sveparean är hela 14,3 meter och ytterradien på körarean 13,7 meter.

Tabell 5.5. Resultat simulering ECE Cirkel

	VDL	Van Hool	Volvo	Lps	Boggibuss
<b>Vehicle tracking</b>	Uppfyller kraven	Uppfyller kraven	Uppfyller kraven	Körarea innanför innerradie (3,2m)	Sveparea utanför ytterradie (14m)
<b>AutoTURN</b>	Körarea utanför ytterradie (13,7m)	Uppfyller kraven	Uppfyller kraven		

Resultatet för körspårssimulering av mindre korsningar finns i Tabell 5.6 nedan, de följande paragraferna kompletterar tabellen.

Korsningstyp A1. Alla tre fordonen klarar att genomföra en högersväng med utrymmesklass A. Det bakre svepet uppgår till 30cm (VDL) vilket gör det viktigt att placera fordonet så nära vägrenen som möjligt för att inte svepet ska gå över i motriktat körfält.

Korsningstyp A. Då korsningen är något snävare än föregående (A1) blir fordonsmodell VDL lidande av sin lägre maximala styrvinkel på främre axeln (32%). Svängen måste därför påbörjas tidigare vilket resulterar i att 30cm svep går över i motriktat körfält. Det kan motverkas genom att använda eventuell vägren.

Korsningstyp B. Alla tre fordonen klarar att genomföra högersväng med utrymmesklass A. Den något vinklade inledningen till korsningen gör att svängen inte blir lika skarp. Korsningstyp C. Alla tre fordonen klarar av utrymmesklass A i korsningen, styrlinje och korsning är likadan som korsningstyp B. Dock finns en risk att sveparean kommer i kontakt med trafikön för vänsterkörfältet på primärvägen.

Tabell 5.6. Utrymmesklass för mindre korsningar

Korsningstyp	Programvara	Fordonsmodell				
		VDL	Van Hool	Volvo	Lps	Bb
<b>A1 (10m radie)</b>	Vehicle tracking	A	A	A	A	A
	AutoTURN	A	A	A		
<b>A (12m radie)</b>	Vehicle tracking	B	A	A	A	A
	AutoTURN	B	A	A		
<b>B (12m radie)</b>	Vehicle tracking	A	A	A	A	A
	AutoTURN	A	A	A		



C (12m radie)	Vehicle tracking	A	A	A	A	A
	AutoTURN	A	A	A		

En sammanställning med resultatet för cirkulationsplatser kan ses i Tabell 5.7. Korsningstyp D1, radie 15 meter. Med en styrlinje där cirkelbågens radie är lika stor som korsningskurvans så får samtliga fordon utrymmesklass C. Om körspårsanalysen utförs med en modifierad styrlinje enligt "liten radie" enligt avsnitt Körstrategi så erhålls kategori A med samtliga fordonsmodeller. Utrymmesklass B kan annars uppnås om svängen påbörjas något tidigare och vägrenen kan nyttjas.

Korsningstyp D1, radie 20 meter. Med en något större radie i cirkulationen går det att hålla en jämn, stor båge genom hela högersvängen. Fordonsmodellerna från Volvo och Van Hool uppnår utrymmesklass A, VDL tangerar motriktat körfält med backspeglens vilket kan kompenseras med att utnyttja vägrenen och resulterar i utrymmesklass B. Korsningstyp D2, radie 15 meter. Samtliga fordonsmodeller klarar utrymmesklass A i D2 med radie 15m. Det finns en viss risk för att vägrenar eller trafiköar behöver tas i anspråk och utrymmesklassen sjunker till B. Dessutom har VDL ett bakre svep på ca 80cm i AutoTURN vilket medför att fordonets placering är väldigt viktig. Lps får utrymmesklass B då fordonet kräver god kännedom om kurvtagning och trafikö i fränfart troligtvis kommer att användas. Bb klarar sig utan problem.

Korsningstyp D2, radie 20 meter. Den påbörjade högersvängen i tillfarten gör att alla fordonsmodeller enkelt klarar utrymmesklass.

Korsningstyp D3, radie 15 meter. Utrymmesklass A för samtliga fordon. AutoTURN påvisar ett stort bakre svep hos samtliga modeller, mellan 60 cm för Volvo och Van Hool till 1 meter hos VDL. Även Vehicle Tracking indikerar att ett visst svep förekommer, dock som mest 40 cm hos VDL så betydligt mindre. Lps har även här problem med att få med sig släpet vilket kräver en skarp sväng på mer än 90 grader, alternativet är att använda sig utav trafikön och därmed få en mer naturlig rörelse. Bb klarar svängen men måste placera sig rätt i tillfarten för att inte svepet ska gå över i motriktat körfält.

Korsningstyp D3, radie 20 meter. Med större rondellradie är det inget problem att trafikera cirkulationen då tillfarten är bred och kurvtagningen kan påbörjas i god tid. Även här visar resultatet från AutoTURN att det bakre svepet är mellan 50 cm till en meter. Vehicle Tracking visar även här ett bakre svep på mellan 30 och 40 cm.

Korsningstyp D4, radie 15 meter. Korsningstypen är problematisk för dubbelledbussen liksom båda referensfordonen. Alla fordon får utrymmesklass C. Det är främst det trånga utrymmet i till- och fränfarter som är problemet. Valet står mellan att använda motriktat körfält eller vägren. Korsningstyp D4, radie 20 meter. Rondellradien är så stor att vinkeln mot den smala fränfarten blir alldeles för stor. Samtliga fordon tar väldigt mycket plats i anspråk av motriktat körfält eller måste använda vägren.

Tabell 5.7. Utrymmesklass för cirkulationsplats.

Korsningstyp	Programvara	Fordonsmodell				
		VDL	Van Hool	Volvo	Lps	Bb
<b>D1 (15m radie)</b>	Vehicle tracking	C	C	C	B	C
	AutoTURN	C	C	C		
<b>D1 (20m radie)</b>	Vehicle tracking	B	A	A	A	A
	AutoTURN	B	A	A		
<b>D2 (15m radie)</b>	Vehicle tracking	A	A	A	B	A
	AutoTURN	A	A	A		
<b>D2 (20m radie)</b>	Vehicle tracking	A	A	A	A	A
	AutoTURN	A	A	A		
<b>D3 (15m radie)</b>	Vehicle tracking	A	A	A	B	A
	AutoTURN	A	A	A		
<b>D3 (20m radie)</b>	Vehicle tracking	A	A	A	A	A
	AutoTURN	A	A	A		
<b>D4 (15m radie)</b>	Vehicle tracking	C	C	C	C	C
	AutoTURN	C	C	C		
<b>D4 (20m radie)</b>	Vehicle tracking	C	C	C	C	C
	AutoTURN	C	C	C		

En sammanställning med resultatet för större korsningar kan ses i Tabell 5.8. Alla korsningar i detta avsnitt testades i Vehicle Tracking, för AutoTURN testades endast cirkulationsplatserna då dessa var av särskilt intresse.

3-vägs korsning, radie 8 meter. Korsningskurvans radie på 8 meter är mindre än vad fordonen klarar av. Ca 1,8 meter av motriktat körfält måste därför användas i fränfarten, utrymmesklass C för samtliga fordonsmodeller och referensfordon.

4-vägs korsning, radie 10 meter. En korsningskurva på 10 meter är även den för liten när körfältsbredden endast är 3,7 meter. Utrymmesklass C för samtliga fordon.

Utrymmesklass B från sekundärväg till primärväg då den är betydligt bredare.

4-vägs korsning, radie 12 meter. Samtliga fordon får utrymmesklass C även när korsningskurvan är 12 meter, dock skulle Van Hool, Volvo och Bb kunna klassas om till B förutsatt att 40cm av vägrenen tas i anspråk.

4-vägs korsning, radie 16 meter. VDL klarar sig med utrymmesklass A tack vare den smalare körvidden, Van Hool och Volvo har problem med att det främre svepet inkräktar på trafikö i tillfart samt medriktat körfält i fränfarten. Detsamma gäller även referensfordonen Lps och Bb som även de får utrymmesklass B.

Cirkulation, radie 15 meter. En cirkulationsplats med radie 15 meter ger utrymmesklass B för samtliga dubbelledbussar i Vehicle tracking. Det är främre svep som inkräktar på trafiköar i både till och frånfart. För AutoTURN så går bakre sektionerna över i motriktat körfält i tillfarten, speciellt för VDL.

Cirkulation, radie 20 meter. När radien är högre klarar sig VDL med utrymmesklass A i Vehicle tracking, Volvo och Van Hool ligger kvar på utrymmesklass B. Det är återigen främre svep som inkräktar på frånfartens trafikö för de senare två. I AutoTURN hade samtliga fordon problem med främre svep och fick alla utrymmesklass B. Lps och Bb erhåller utrymmesklass A respektive B, det är främre svep hos Bb som är problem i frånfarten.

Tabell 5.8. Utrymmesklass korsningar enligt praxis.

Korsningstyp	Programvara	Fordonsmodell				
		VDL	Van Hool	Volvo	Lps	Bb
3-vägskorsning (8m)	Vehicle tracking	C	C	C	C	C
4-vägskorsning (10m)	Vehicle tracking	C	C	C	C	C
4-vägskorsning (12m)	Vehicle tracking	C	C	C	C	B
4-vägskorsning (16m)	Vehicle tracking	A	B	B	B	B
Cirkulation (15m)	Vehicle tracking	B	B	B	B	B
	AutoTURN	C	B	B		
Cirkulation (25m)	Vehicle tracking	A	B	B	A	B
	AutoTURN	B	B	B		

## 5.6 Slutsats analys av dubbelledbussar

För att få trafikera svensk (och europeisk) väg så är det svängningskravet i ECE cirkeln som ställer det avgörande kravet, dimensioner på fordon med fler än en led får bestämmas individuellt av medlemsländerna. I Sverige så konstateras att typfordon lastbil med påhängsläp och boggibus inte klarar av detta och undantas från kravet. Samtidigt klarar samtliga dubbelledbussar i rapporten av att hålla sig inom kraven vilket talar för att fordonet borde normaliseras. Ett undantag var fordonet VDL Phileas som i AutoTURN hade en yttre svepradie på 13,7 meter, det kan dock förklaras med att fordonets andra axel ej gick att styra i programmet vilket leder till ett missvisande, sämre resultat. Dessutom är boggibussens yttre svängradie 14 meter (Trafikverket, 2015:090), det vill säga ännu högre och därför bör inte detta ligga till grund för ett förbud.

För de mindre korsningarna så är resultaten genomgående positiva. Samtliga fordonmodeller får utrymmesklass A i alla korsningar, förutom VDL Phileas som får

utrymmesklass B i korsningstyp A (12 meter radie). Anledningen till att utrymmesklassen sänktes var fordonets begränsningar i styrvinkel vilket tvingar det till att påbörja svängen tidigare och utnyttja vägren. Att dubbelledbussen klarar av de mindre korsningarna likvärdigt som Bb och Bl talar för att typfordonet bör introduceras.

Även resultaten från simuleringar med större korsningar (cirkulationer) stödjer en introduktion av typfordonet dubbelledbuss, med hänsyn till utrymmesklass. De olika modellerna av dubbelledbussen klarar av att ta sig igenom korsningarna med samma utrymmesklasser som boggibussen. Vissa skillnader med Lps där resultaten talar till dubbelledbussarnas favör. Dock visar resultatet att problem med långa fordon uppstår i korsningar med trånga till- och frånfarter. Problemet kan till viss del åtgärdas utav förarna själva genom att framföra fordonet enligt avsnittet "körstrategi", dvs. med lägre komfort.

Det som ifrågasätter dubbelledbussens framtid som typfordon är resultatet från "praxis"-korsningarna. Resultaten är genomgående dåliga. För de korsningar med en mindre radie så gäller utrymmesklass C, där fordonen går över i motriktat körfält. Här har referensfordonen Lps och Bb samma problem. Utrymmesklass B uppnås när radie blir något större samt i cirkulationerna. Dubbelledbussen kommer enligt dessa resultat att ha problem i stadsmiljö, dock inte värre än för de fordonstyper som redan används idag, Bb och Lps.

I vissa fall så är resultaten sämre än vad som kan förväntas av en erfaren chaufför. Framst är det i cirkulationerna enligt praxis där en annorlunda körstrategi hade kunnat resultera i en utrymmesklass bättre om fordonet går närmre intill rondellen för att sedan göra en aggressiv högersväng. Efter att ha sett fordonet i trafik och samtalat med förare så stärker det resonemanget att dubbelledbussen kan trafikera åtminstone sträckor där boggibuss och led bussar går idag.

Det främsta problemet i simuleringarna har varit fordonens svep i till- och frånfarterna, främst verkar det som att trafiköar i stor utsträckning påverkar resultatet negativt. I synnerhet simuleringarna i AutoTURN påvisade svep, de större korsningarna (D2, D3 och D4) gav upphov till ett svep på upp till en meter för fordonet VDL Phileas. Då dubbelledbussen lyckas att uppnå liknande utrymmesklass som en boggi- och led buss så borde inte de lägre resultaten med hänsyn till utrymmesklass utgöra ett problem att införa dubbelledbussen som ett typfordon. I Tabell 5.9 och Figur 5.12 finns ett förslag till geometri för typfordon dubbelledbuss (Bdl)

Tabell 5.9. Förslag till grundläggande geometri för ett eventuellt nytt typfordon dubbelledbussar (Bdl).

Parameter	Typfordon Dubbelledbuss
Längd	24 meter
Bredd	2,5 meter
Fordonsdisposition	10,3-6,79-6,91 meter
Lock to lock	7 sekunder
Maximal styrvinkel, främre axel	40 grader, medelvärde
Maximal styrvinkel, bakersta axel	20 grader, medelvärde
Maximal vinkel, leder	50 grader

Mått	(m)	Typfordon Lps
Längd	24,0	
Bredd	2,55	
Höjd	3,3	
Markfrigång	0,34	

Figur 5.12. Föreslagen fordonsgeometri för dubbelledbuss (Bdl) i Sverige.

Analysen inleddes med att samla in data från flera tillverkare av dubbelledbussar. Informationen användes dels för att motivera vilka egenskaper ett typfordon ska ha men också för att skapa modeller av respektive tillverkares fordon i ett simuleringsprogram. I körspårsprogrammen kan sedan fordonsrörelser simuleras i olika typer av korsningar vilket get upphov till olika utrymmesklasser – ett betyg för hur bra fordonet lämpar sig i trafik.

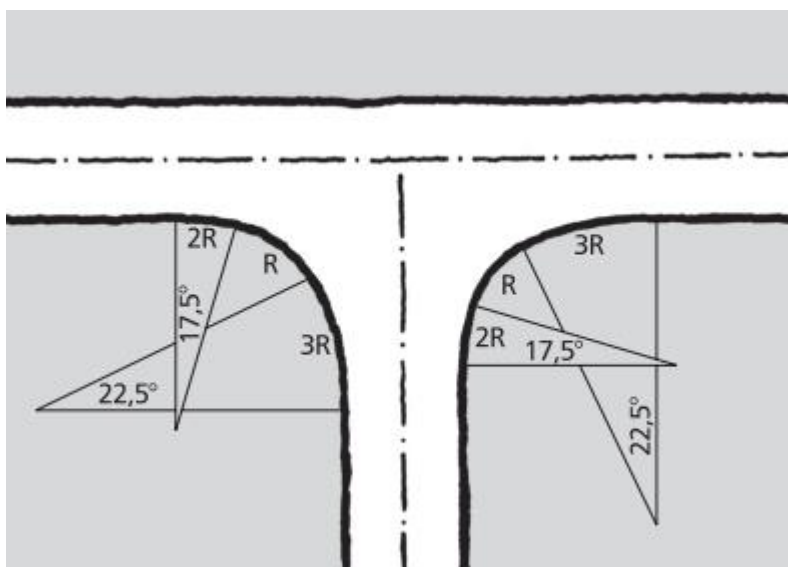
Resultaten visar att dubbelledbussen klarar av att utföra högersvängar enligt Vågar och Gators Utformning (VGU) mycket bra, i mindre korsningar med utrymmesklass A och i större korsningar med majoritet utrymmesklass B eller bättre (A).

När korsningar i tätort provas blir resultaten genomgående sämre, dock i linje med vad referensfordonen boggibuss (Bb) och lastbil med påhängssläp (Lps) får. Resultaten styrker att det inte borde finnas någon begränsning för att tillåta dubbelledbussen som ett nytt typfordon. Analysen har begränsats till att bara jämfört tre olika fordon, i korsningar som alla har haft en vinkel på 90 grader. Dessutom har simuleringen utförts i Vehicle Tracking och AutoTURN vilket inte utesluter att annan mjukvara leder till andra resultat.

## 6 Korsningsutformning i närliggande länder

### 6.1 Norge

I Norge skiljer man på väg- eller gatukorsning med få gående och cyklande och väg- eller gatukorsning med många gående och cyklande. Vad som är få respektive många gående- eller cyklande framgår ej. Vi många gående och cyklande används en enkel cirkelbåge som ska ge en reducerad hastighet för motorfordon. Vid få gående och cyklande används en kombination av tre cirkelbågar enligt Figur 6.1. Som kuriosita kan nämnas att denna korsningsutformning kommer från RAL, de Tyska riktlinjerna för landsbygd.



Figur 6.1. Korsningsutformning vid få gående och cyklande (Statens Vegvesen 2013).

Norge använder sig av utrymmesklass A-C precis som Sverige, men det finns en väsentlig skillnad. Vid utrymmesklass B får även motriktad körriktning användas på sekundärvägen. Korsningarna dimensioneras efter fyra olika fordonstyper beroende på vilket trafiknät som avses, dessa är personbil, lastbilar (inkl. stegbil), boggibuss (15 m längd) samt lastbil med släp (22 m längd), se Figur 4.1.

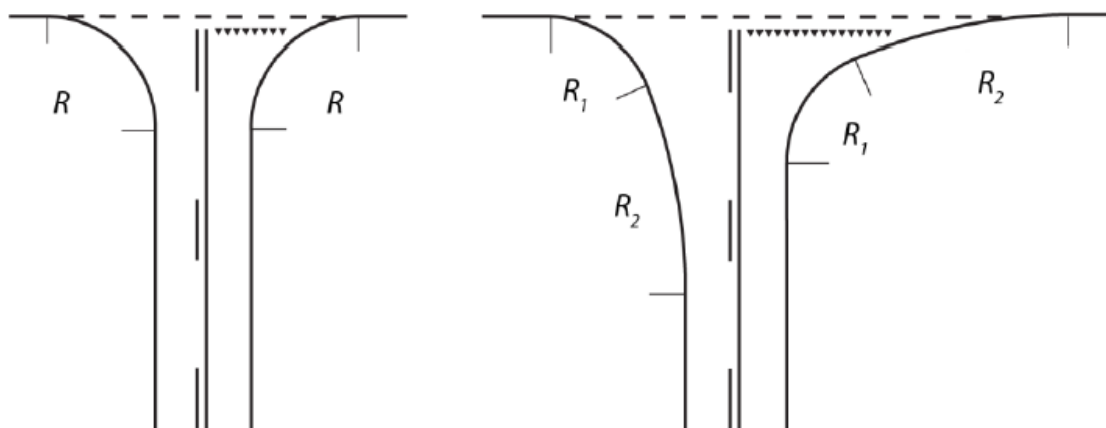
För en preliminär utformning finns tabellverk som beskriver vilka körbanebredder samt radier på korsningskurvan som krävs beroende på utformningskrav i form av typfordon och utrymmesklass. Tabellverket omfattar endast raklinje med 90 graders vinkel och utan trafiköar, se Figur 6.2.

		Dimensjonerende kjøretøy VT Styringstillegg 10 cm				
Hjørne- avrunding	Kjørebanebredde sekundærveg	Kjørebanebredde primærveg				
		4,5	5,5	6,5	7,0	8,5
R = 6 Enkelkurve	4,5	-	-	-	-	-
	5,5		-	-	-	-
	6,5			-	-	C
	7,0				C	B
	8,5					B
R = 6 2R-R-3R	4,5	-	-	-	-	-
	5,5		-	-	-	C
	6,5			C	C	C
	7,0				C	B
	8,5					B
R = 9 Enkelkurve	4,5	-	-	-	-	-
	5,5		-	-	C	C
	6,5			C	C	C
	7,0				C	B
	8,5					B
R = 9 2R-R-3R	4,5	-	-	C	C	C
	5,5		C	C	C	C
	6,5			B	B	B
	7,0				B	B
	8,5					B
R = 12 Enkelkurve	4,5	-	-	-	-	B
	5,5		C	C	C	B
	6,5			B	B	B
	7,0				B	B
	8,5					B
R = 12 2R-R-3R	4,5	C	C	B	B	B
	5,5		B	B	B	B
	6,5			B	B	B
	7,0				B	B
	8,5					A

Figur 6.2. Tabellverk for korsningsutforming (Statens Vegvesen 2013).

## 6.2 Danmark

I Danmark skiljer man på väg- eller gatukorsning med litet flöde samt korsningar med større flöde. Vad som är litet respektive stort flöde anges som ägoväg som dimensioneras för personbil respektive övriga vägar, se Figur 6.3.



Figur 6.3. Korsningsutformning för anslutning för pb till vänster samt för korsning med högre flöde till höger (Statens Vejdirektoratet 2016).

I mindre betydelsefulla korsningar utan trafikö i sekundärvägen där personbil undantagsvis används som dimensionerande typfordon kan en enkel cirkelbåge användas. Det kan vara anslutningsvägar som förbinder de kanter som bildas som en enda cirkelbåge .

I Figur 6.4 är är minimivärdena för cirkelbågens radie, beroende på körbanebredden för både primärväg och sekundärväg.

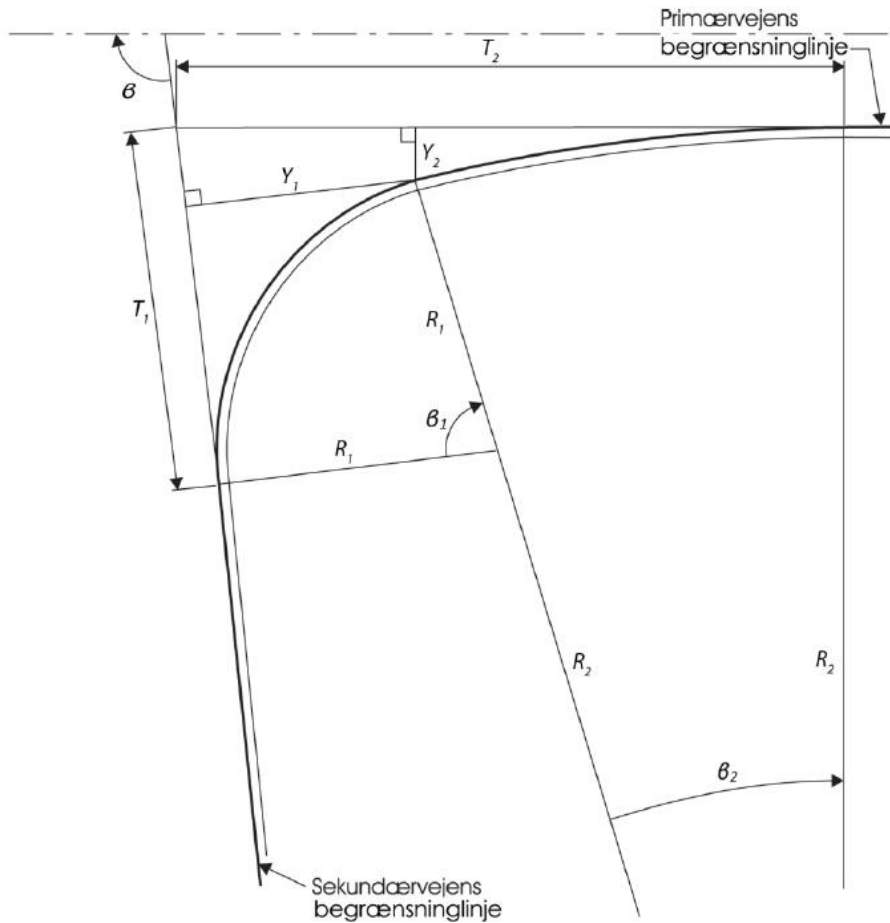
Mindste radier (m)		Kørebanebredde, ud af krydset (m)			
		7	6	5	4
Kørebanebredde, ind i krydset (m)	7	5	5	6	8
	6	6	6	7	9
	5	7	7	8	10
	4	8	8	8	11

Figur 6.4. Minsta radie för användning av en enkel cirkelbåge (Statens Vejdirektoratet 2016).

I tabellen, Figur 6.4, anges minimivärdena för radien hos cirkelbågen, beroende på körfältsbredden för såväl anslutande tillfart som frånfart.

Vid konstruktion av korsning med två sammansatta cirkelbågar görs konstruktionen enligt Figur 6.5.





Figur 6.5. Detaljerad korsningsutformning för korsning med högre flöde (Statens Vejdirektoratet 2016).

Konstruktionen bygger på följande samband:

$$Y_1 = R_1 \cdot \sin \beta_1 \cdot \tan(\beta_1/2) \quad 4.1$$

$$Y_2 = R_2 \cdot \sin \beta_2 \cdot \tan(\beta_2/2) \quad 4.2$$

$$T_1 = R_1 \cdot \tan(\beta_1/2) \cdot (\sin \beta_2 + 1) + R_2 \cdot \sin(\beta_2) \cdot \tan(\beta_2/2) \quad 4.3$$

$$T_2 = R_2 \cdot \tan(\beta_2/2) \cdot (\cos \beta_2 + 1) + R_1 \cdot \cos(\beta_2) \cdot \tan(\beta_1/2) \quad 4.4$$

Indata för typfordon semitrailer med 33 gon hjulutslag för ekvation 4.1 – 4.2 ges i av Figur 6.6. Indata finns för samtliga typfordon med lite varierande hjulutslag (33 eller 50 gon).

$\theta$	$R_1$	$R_2$	$\theta_1$	$\theta_2$
80	13,50	70	60,99	19,01
85	13,0	70	66,08	18,92
90	12,50	70	73,16	16,84
95	12,0	70	76,24	18,76
100	11,5	70	82,29	17,71
105	11,0	70	87,36	17,64
110	10,50	70	92,44	17,56
115	10,0	70	97,51	17,49
120	9,5	70	102,58	17,42

Figur 6.6. Indata för typfordon semitrailer med 33 gon hjulutslag. (Statens Vejdirektoratet 2016).

Val av typfordon anges av svängrörelserna till och från sekundär väg.

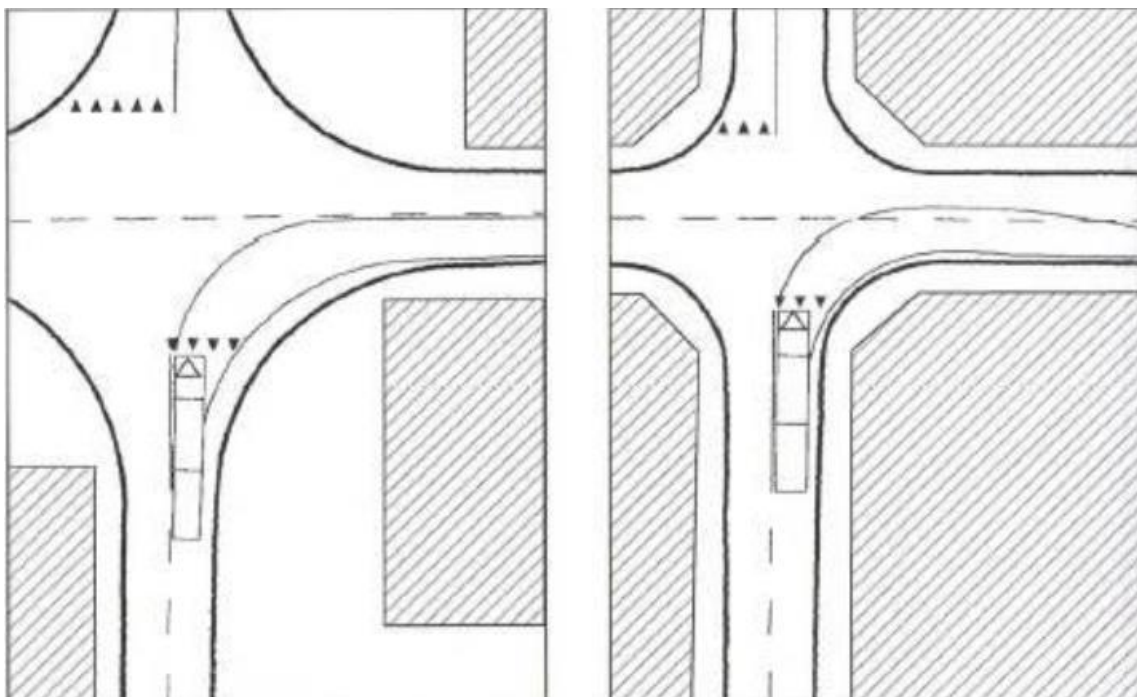
Som underlag för att bestämma geometrin för den grundläggande utformningen av en prioriterat korsning används normalt följande två typer av fordon:

Semitrailer som det dimensioner fordonet för att kunna utföra i korsningen med körsätt och hastigheten enligt Figur 4.2.

Specialfordonet som tillgänglighetskrävande fordon för att kunna genomföra vändningsmanövrer i korsningen med körsätt såsom anges i Figur 4.3 och en hastigheten på 5 km/h, eventuellt med användning av överkörningsbara delar av korsningen, med undantag för svängmanövrar från genomgående körfält på primärvägen.

Andra speciella fordon än det som definieras som typfordon kan vara utrymmeskrävande beroende på lokala förutsättningar.

Sammanfattas detta kan man säga att Danmark använder sig av endast två utrymmesklasser A och B, se Figur 6.7.



Figur 6.7. Utrymmesklass A och B (Statens Vejdirektoratet 2016).

Vid utrymmesklass A får inte motriktat körfält utnyttjas emedan vid utrymmesklass B får även motriktad körriktning användas såväl på primärvägen som sekundärvägen. Korsningarna dimensioneras efter tre olika fordonstyper beroende på vilket trafiknät som avses, dessa är semitrailer, specialfordon samt buss (13,7 m längd).

Køremåde	Hastighed (km/h)	Svingmanøvre fra primærvej				Svingmanøvre fra sekundærvej	
		Fra gennemgående kørespor		Fra svingspor		Højre	Venstre
		Højre	Venstre	Højre	Venstre		
A	5	-	-	+	+	+	+
	15	+	+	(+)**	(+)**	(+)*	(+)*
B	5	-	-	+	+	-	-

\* Var medvæten om området ved korsningskurvan blir för stor, vilket ger möjligheter till för hög hastighet vid kurtagningsmanöver för mindre fordon.

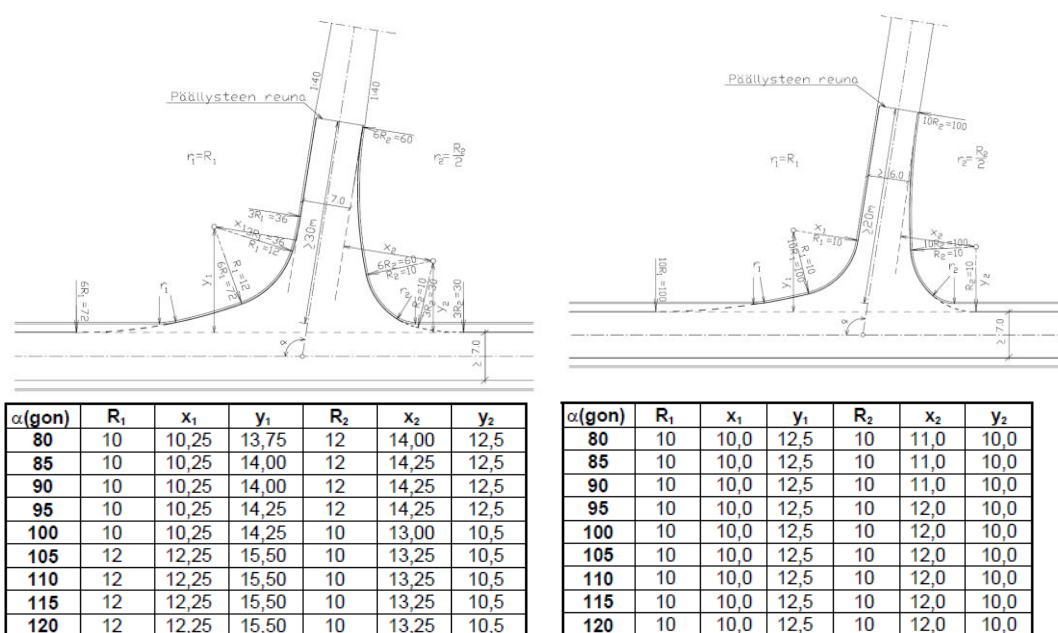
\*\* Gæller ej specialfordon, ønskvært med en låg svæghastighet for dessa.

Figur 6.8. Indikerar möjliga val av körsättet och hastigheten, beroende på korsningsmanöver (Statens Vejdirektoratet 2016).

## 6.3 Finland

I Finland skiljer man på utformningen av väg- eller gatukorsning beroende på utrymmesklass och fordonstyp. Typfordonen som används för korsningsutformning är primärt fem, se Figur 4.4.

För utrymmesklass A-B används oftast en kombination av tre cirkelbågar och för utrymmesklass B-C och inte så utrymmeskrävande fordon en enkel cirkelbåge, enligt Figur 6.9.



Figur 6.9. Korsningsutformning för anslutning med utrymmesklass A till vänster samt för korsning med utrymmesklass B eller C till höger (Tiehallinto 2010).

Utformningen baseras på antingen en kombination av radier, 3R-R-6R eller en enkel cirkelbåge R.

Finland använder sig av fyra utrymmesklasser A-D. A-B är lika med den Svenska indelning, emedan C tillåter endast ett motriktat körfält på antingen primär- eller sekundärvägen tas i anspråk. Utrymmesklass D innebär dock att motriktat körfält tas i anspråk på såväl primär- som sekundärväg.

För att kontrollera om korsningen uppfyller ovanstående utrymmesklass görs en körspårstest med styrspårsradie beroende på typfordon enligt Tabell 6.1.

Tabell 6.1. Styrspårsradie som funktion av typfordon och utrymmesklass (Tiehallinto 2010).

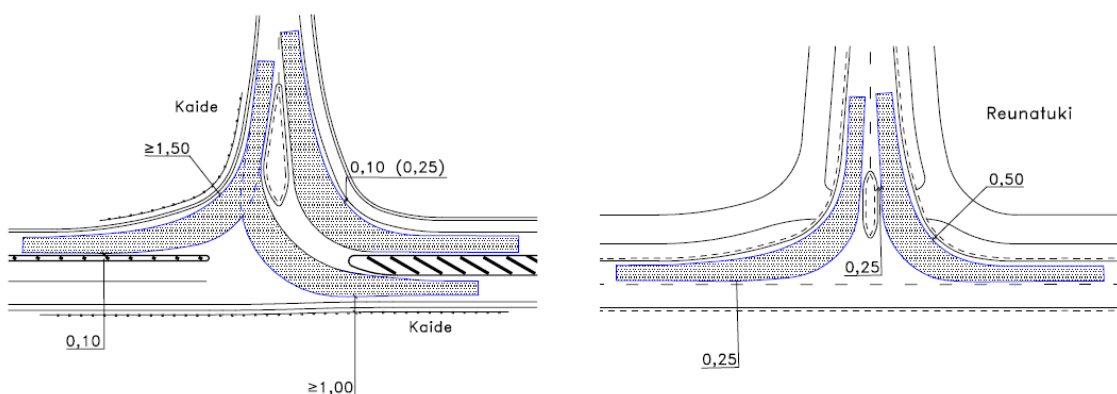
Typfordon	Radie styrspår $R_k$ (m)	
	Utrymmesklass	
	A	B-D
Modulfordon 25,25 m	12	10
Lastbil med släp 22,0 m	12	10
Boggibuss 14,5 m	13	11
Normalbuss 13,0 m	12	10
Lastbil 8,0 m	10	8
Personbil 5,0 m	8	6

Tabell 6.2. Körmaner beroende på utformning.

Angränsande område till svepytan	Körman (m)
Vägren > 0,5 m	0,10
Vägren $\leq$ 0,5 m	0,25
Kantsten	0,50 (0,25 <sup>1)</sup> )
Räcke	1,50 (1,00 <sup>1)</sup> )
I samband med körfält i samma riktning	0,10
I samband med körfält i motriktad riktning	0,25
Trafikö med spärrområde	0,10

1) Utrymmesklass B eller C.

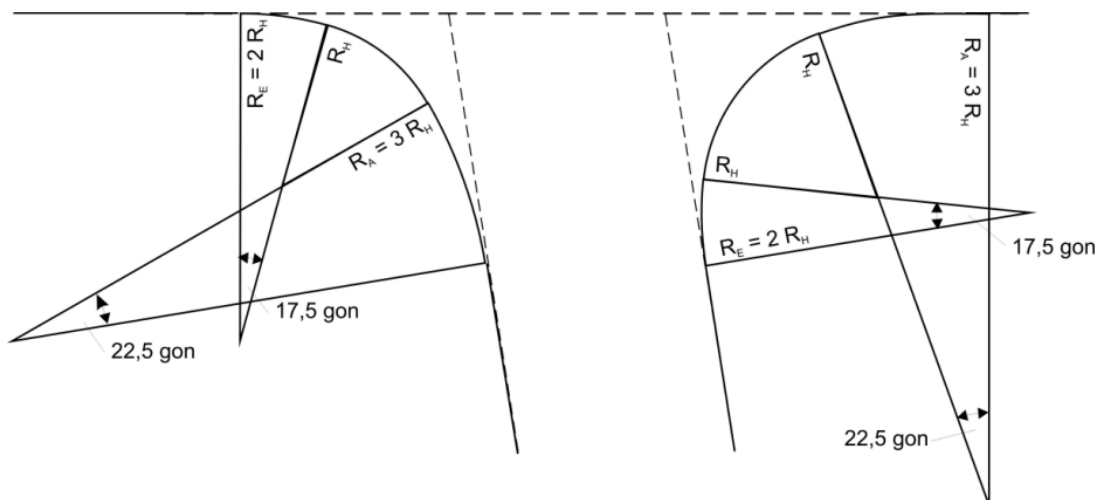
För en beskrivning av värdena i Tabell 7.2 se Figur 6.10.



Figur 6.10. Korsningsutformning för anslutning med utrymmesklass A till vänster samt för korsning med utrymmesklass B eller C till höger.

## 6.4 Tyskland

De Tyska reglerna för korsningsutformning är uppbyggda runt semitrailer, se Figur 4.5 med tre korsningskurvor, se Figur 6.12.



Figur 6.11. Korsningsutformning med tredelad korsningskurva (RAL 2012).

Som korsningskurva används utöver den enkla bågen vanligtvis en tredelade bågsekvens för användning, se Figur 6.11. Radien  $R_H$  väljs så att det dimensionerande fordonet normalt inte använder motsatt körfält. Den tredelade korsningskurvan beskrivs med radieförhållandet:

$$R_1 : R_2 : R_3 = 2 : 1 : 3$$

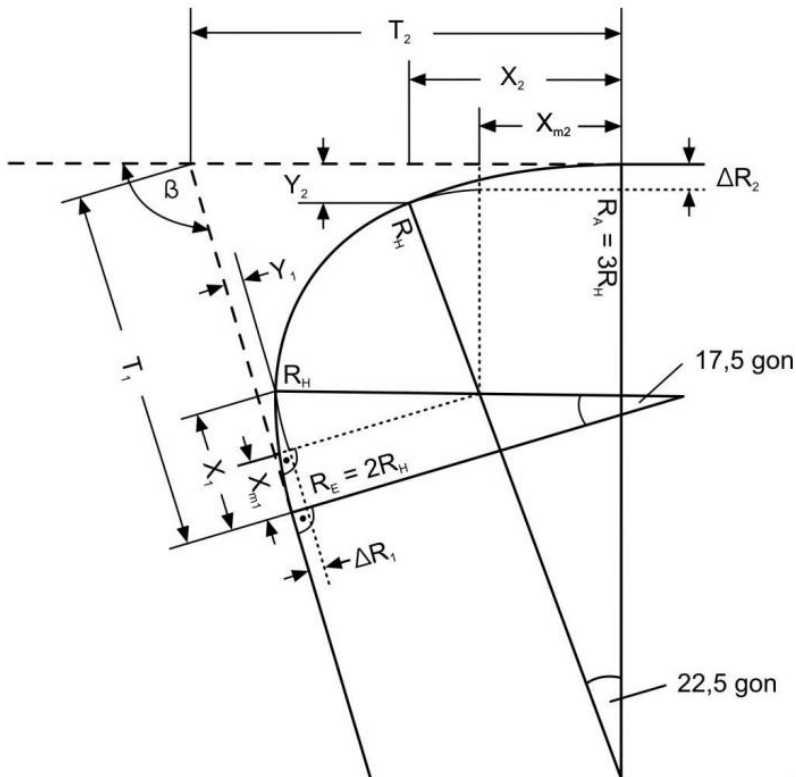
$R_1$  [m] = Startradien

$R_2$  [m] = Mittradien

$R_3$  [m] = Slutradien

Radiernas sekvens motsvarar körriktningen. Startradien  $R_1$  och slutradien  $R_3$  är oberoende av korsningsvinkeln och har alltid en konstant centrumvinkel ( $\alpha_1 = 17,5 \text{ gon}$  och  $\alpha_3 = 22,5 \text{ gon}$ ).

Konstruktionen av korsningskurvan sker enligt Figur 6.12.



Figur 6.12. Konstruktion av den tredelade korsningskurva (RAL 2012).

$$R_E : R_H : R_A = 2 : 1 : 3$$

$$\Delta R_1 = R_H \times 0,0375 \quad Y_1 = R_H \times 0,075 \quad X_{m1} = R_H \times 0,2714 \quad X_1 = R_H \times 0,5428$$

$$\Delta R_2 = R_H \times 0,1236 \quad Y_2 = R_H \times 0,1854 \quad X_{m2} = R_H \times 0,6922 \quad X_2 = R_H \times 1,0383$$

$$T_1 = R_H \times \left( 0,2714 + 1,0375 \tan \frac{\beta}{2} + \frac{0,0861}{\sin \beta} \right)$$

$$T_2 = R_H \times \left( 0,6922 + 1,1236 \tan \frac{\beta}{2} - \frac{0,0861}{\sin \beta} \right)$$

## 6.5 Sammanfattning korsningsutformning

Sammanfattningsvis kan sägas att Norges korsningsutformning kommer från RAL, de Tyska riktlinjerna för landsbygd som består av tre cirkelbågar med radieförhållandet 2R-R-3R. Danmark använder sig av en korsningsgeometri med två cirkelbågar enligt egen beräkningsmodell. Finland har en modell med tre cirkelbågar som liknar den tyska, men radieförhållandet är 3R-R-6R. Tysklands riktlinjer RAL har en korsningsutformning med tre cirkelbågar med radieförhållandet 2R-R-3R.

Norge använder sig av utrymmesklass A-C precis som Sverige, men det finns en väsentlig skillnad. Vid utrymmesklass B får även motriktad körriktning användas på sekundärvägen. Danmark använder sig av endast två utrymmesklasser A och B. Vid utrymmesklass A får inte motriktat körfält utnyttjas emedan vid utrymmesklass B får även motriktad körriktning användas såväl på primärvägen som sekundärvägen. Finland använder sig av fyra utrymmesklasser A-D. A-B är lika med den Svenska indelning, emedan C tillåter endast att motriktat körfält på antingen primär- eller sekundärvägen tas i anspråk. Utrymmesklass D innebär dock att motriktat körfält tas i anspråk på såväl primär- som sekundärväg. För Tyskland har inte utrymmesklasserna lyckats identifieras.

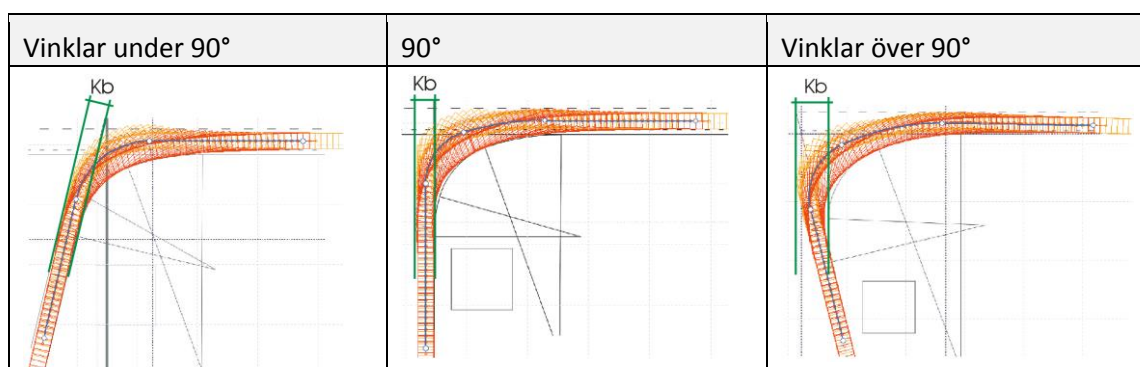


## 7 Uppdatering av korsningsgeometri

Ett delmål i projektet har varit att utreda om det går att ersätta nuvarande korsningskurva med en radie-kombination istället. Detta har utretts och redovisas nedan med följande förutsättningar:

- Typfordon Lps, Lm och Bb enligt GRUFF gäller
- VGU 2004 krav inklusive VU PC 2 krav gäller

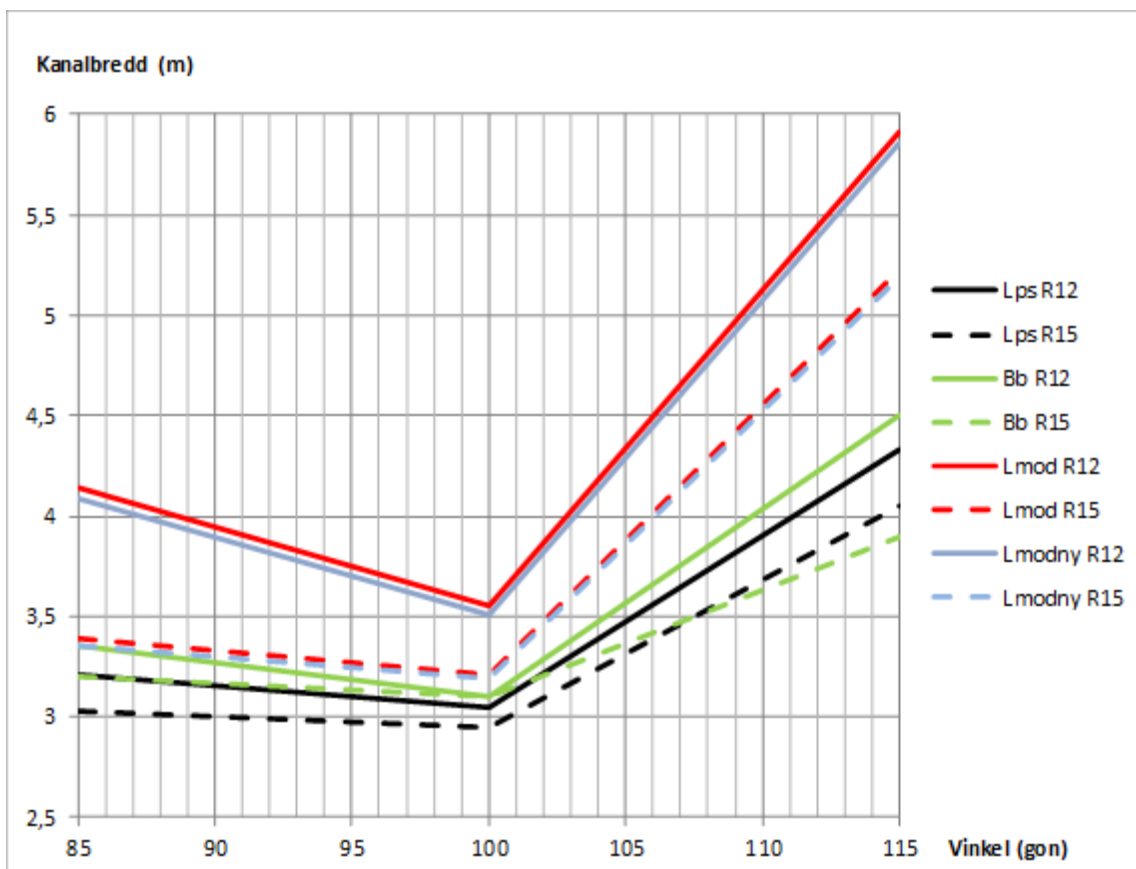
För att åstadkomma en uppdaterad modell för korsningsgeometri har ett stort antal simuleringar med olika fordonstyper och korsningsvinklar gjorts. Resultatet har utmynnat i minimimått för kanalbredder,  $K_B$ , definierade enligt Figur 7.1.



Figur 7.1. Definition av kanalbredd  $K_B$  beroende på korsningsvinkel.

Kanalbredden anger den totala bredden (körvidden) som fordonet upptar exklusive körman och eventuellt kantstenstillägg. En uppdelning på korsningsvinkel, fordonstyp och mittradiens storlek ger ett resultat enligt Figur 7.2.

Kanalbredden,  $K_B$ , har tagits fram för tre olika korsningsvinklar, 85 gon, 100 gon samt 115 gon. Underlaget har ytterligare utgjorts av två olika mittradier, 12 m och 15 m, vilket är de två vanligaste förekommande måtten på mittradien. Simuleringar har gjorts för semitrailer, modulfordon samt boggiebus. De nämnda fordonstyperna är enligt de uppdaterade måtten i kapitel 4. Samtliga simuleringar avser utrymmesklass A för körfältsbredder på 3,5 m respektive 3,75 m för primärvägen. Observera att värdena avser körvidd, dvs ingen marginal är inkluderad.



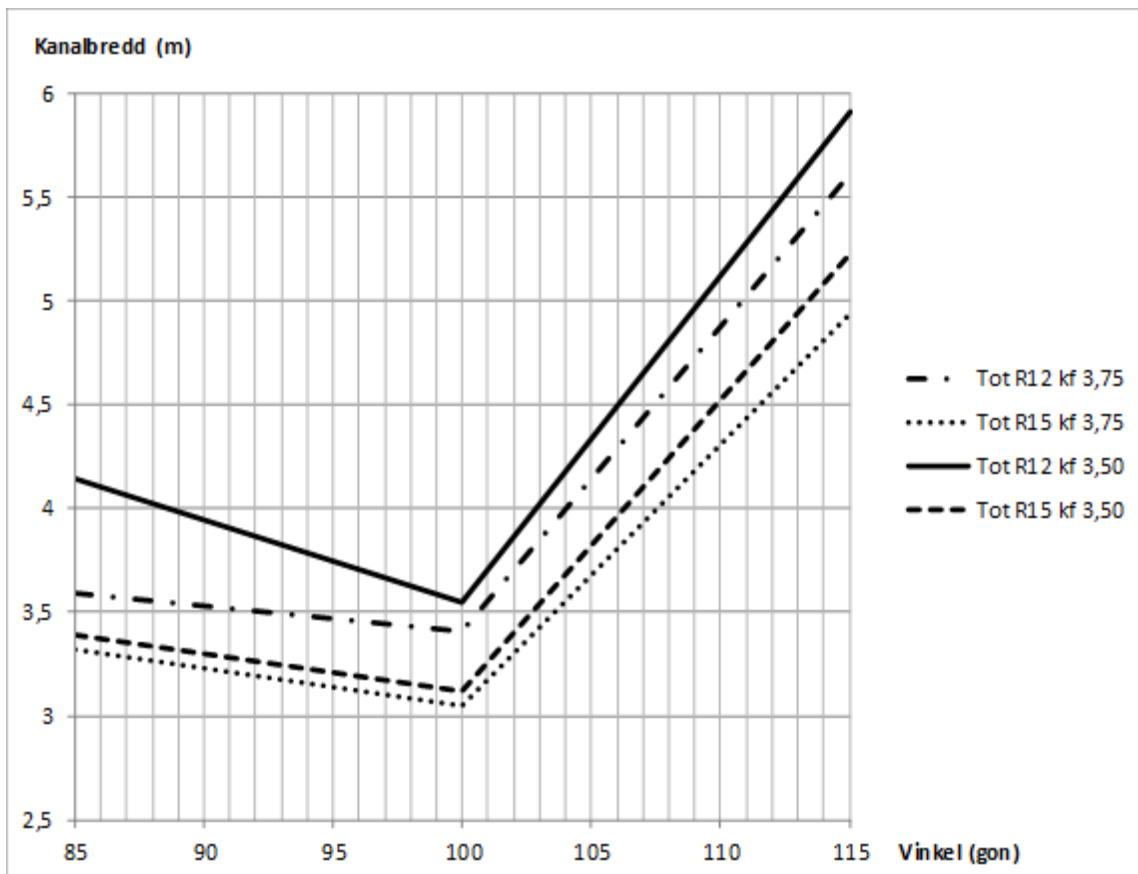
Figur 7.2. Resultat för kanalbredd,  $K_B$ , beroende på korsningsvinkel, fordonstyp och mittradiens storlek.

Som tydligt kan ses i Figur 7.2 blir erforderlig kanalbredd minst vid 90 graders vinkel. Orsaken till detta är att i fallet med 85 gon kommer fordonet så nära primärvägen att svepet blir kraftigt väldigt sent i svängrörelsen, vilket gör att körspåret måste förskjutas till vänster och bakåt längs sekundärvägen för att inte passera primärvägens mittlinje.

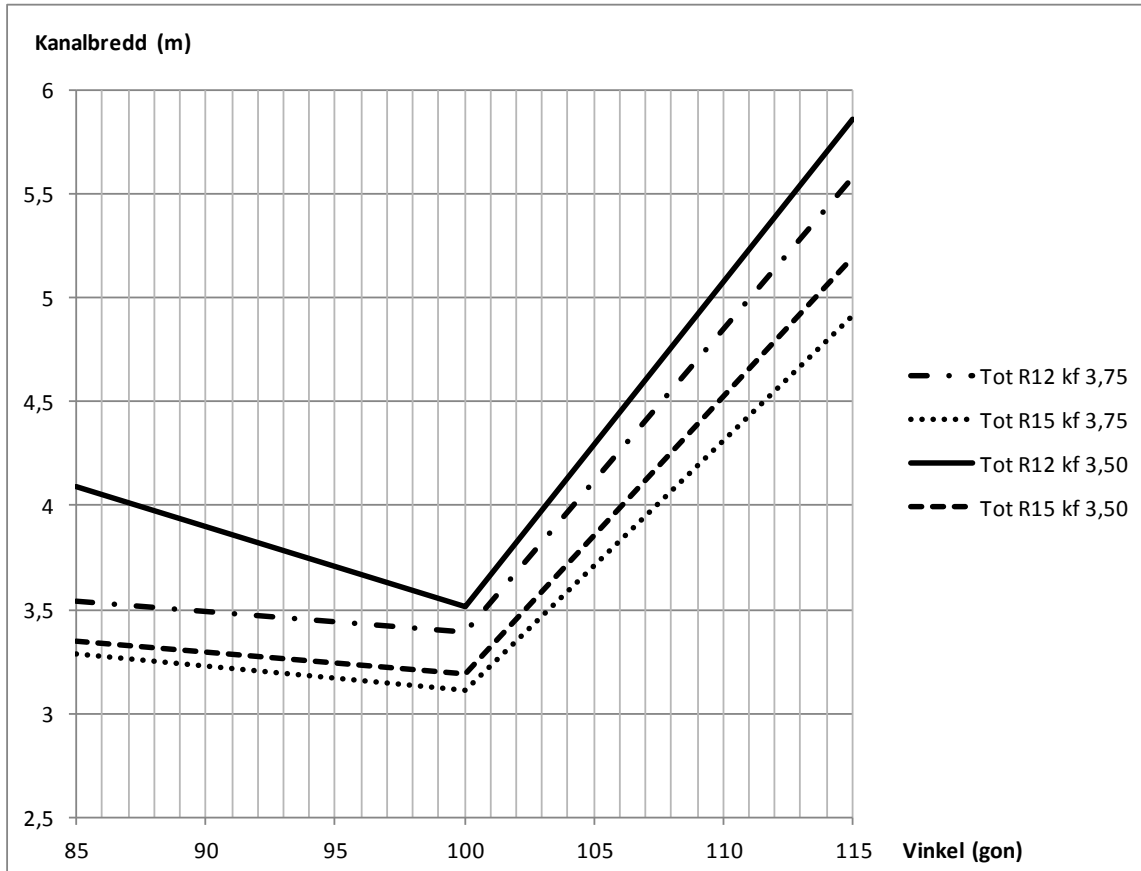
I fallet med 115 gon blir brytvinkeln för körspåret så stor att svepet blir omfattande och inträffar relativt tidigt vilket gör att kanalbredden blir omfattande.

Som också kan ses i Figur 7.2 är det vid 90 grader som minimum infinner sig oberoende av mittradie och fordonstyp. För mittradien 12 m är det för samtliga 3,1 m men vid mittradie 15 m varierar det och är som störst för boggibuss.

I figur 7.3 och 7.4 har en förenkling skett som har tagit hänsyn till mittradie och körfältsbredd oberoende av fordonstyp. I Figur 7.3 den nuvarande Lmod och i 7.4 den modifierade Lmod.



Figur 7.3. Slutgiltigt resultat för kanalbredd,  $K_B$ , beroende på korsningsvinkel, körfältsbredd på primärvägen och mittradiens storlek (nuvarande  $L_{mod}$ ).



Figur 7.4. Slutgiltigt resultat för kanalbredd,  $K_B$ , beroende på korsningsvinkel, körfältsbredd på primärvägen och mittradiens storlek (ny  $L_{mod}$ ).

Vid dimensionering av korsning för modulfordon,  $L_{mod}$ , bör endast mittradier  $\geq 15$  m användas.

Principritning och konstruktion av korsningskurva görs enligt följande:

- 1) Bestäm korsningsvinkeln  $\beta$ .
- 2) Bestäm bredd på primär- och sekundärväg.
- 3) Bestäm kanalbredd ( $K_B$ ) för sekundärvägen enligt Tabell 7.3.
- 4) Beräkna de ingående elementens egenskaper enligt ekvationerna nedan.

$$R_B : R_M : R_S = 2 : 1 : 3$$

Ekvation (1)

$R_B$  = Startradien (m)

$R_M$  = Mittradien (m)

$R_S$  = Slutradien (m)

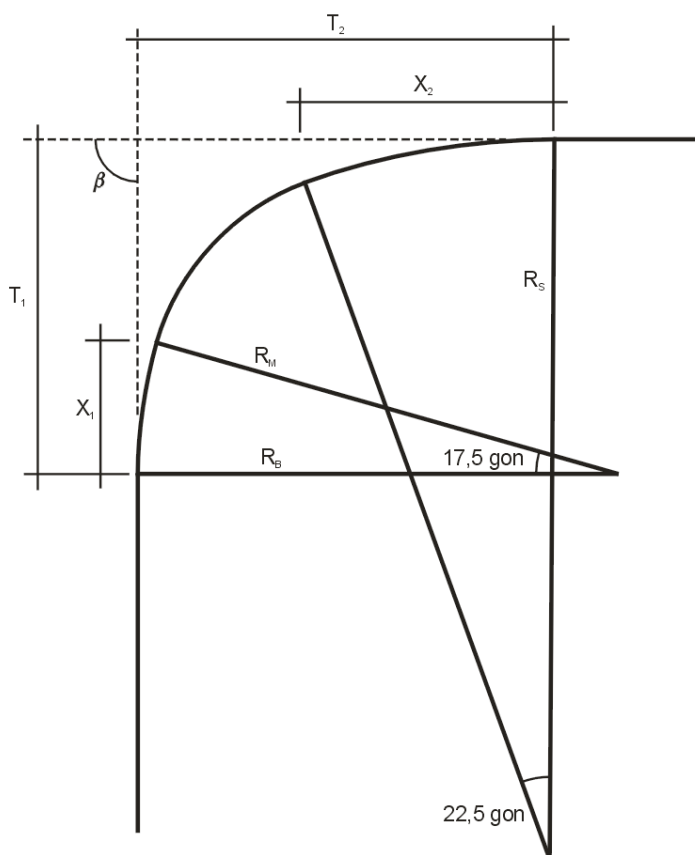
$$X_1 = R_M \cdot 0,5428 \quad \text{Ekvation (1)}$$

$$X_2 = R_M \cdot 1,0383 \quad \text{Ekvation (1)}$$

$$T_1 = R_M \cdot \left( 0,2714 + 1,0375 \tan \frac{\beta}{2} + \frac{0,0861}{\sin \beta} \right) \quad \text{Ekvation (1)}$$

$$T_2 = R_M \cdot \left( 0,6922 + 1,1236 \tan \frac{\beta}{2} - \frac{0,0861}{\sin \beta} \right) \quad \text{Ekvation (1)}$$

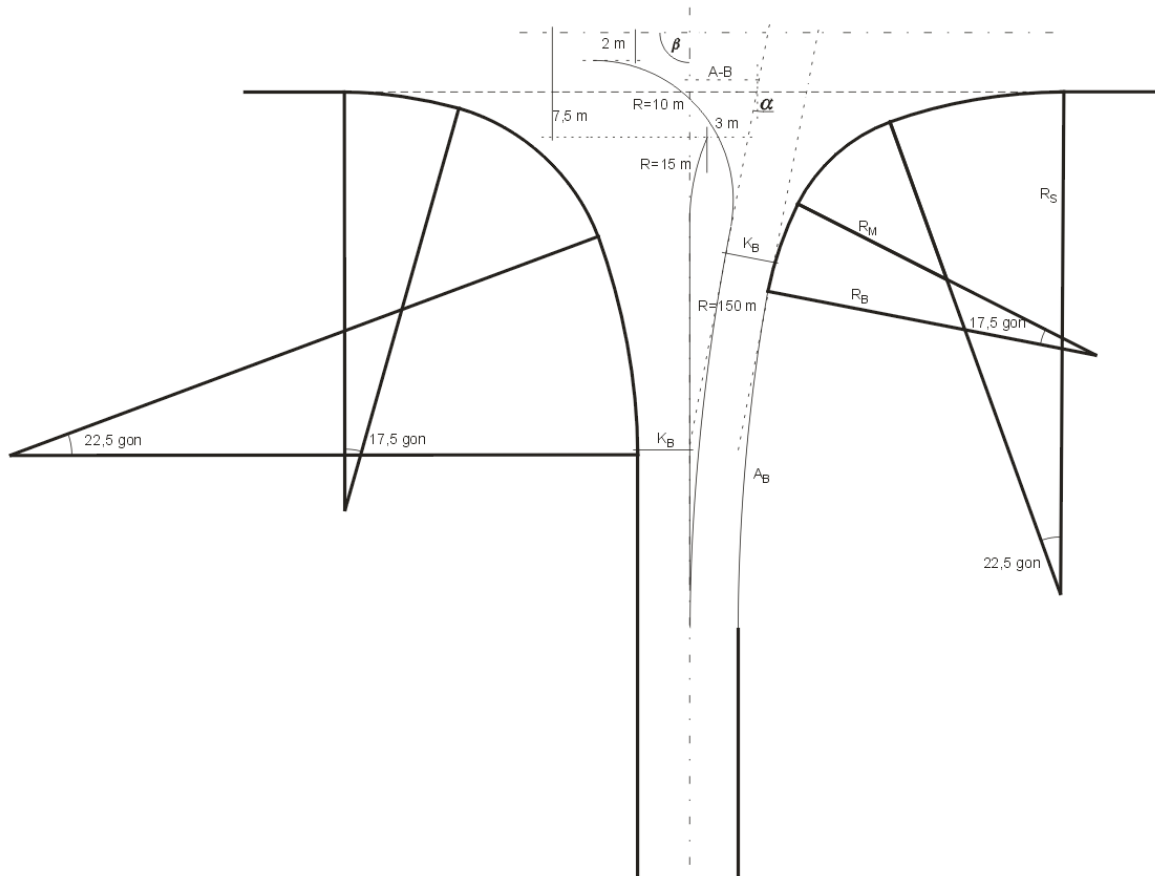
- 5) Placera radien  $R_S$  med avståndet  $T_2$  från sekundärvägens vägbanekant med omslutande radie på 22,5 gon.
- 6) Placera radien  $R_B$  med avståndet  $T_1$  från sekundärvägens vägbanekant med omslutande radie på 17,5 gon. Om korsningsvinkeln inte är 90 grader ska  $R_B$  vridas med motsvarande differens.
- 7) Placera  $R_M$  så att den tangerar  $R_S$  och  $R_B$ .



Figur 7.5. Ingående parametrar för konstruktion av korsningskurvan.

- 8) Avslutningsvis anpassas korsningen så att kanalbredden stämmer överens med avseende på väggen och körmån, se Tabell 7.2.

En korsning med trafikö i sekundärvägen (typkorsning B) kräver en hel del annat än den rena grundgeometrin, se Figur 7.6



Figur 7.6. Ingående parametrar för konstruktion av korsningskurva och trafikö för korsningstyp B.

Figur 7.6 anger de element och hjälplinjer som krävs för att konstruera en korsning med trafikö i sekundärvägen (typkorsning B). En viktig skillnad från grundmodellen för konstruktionen är att  $R_B$  i tillfarten från sekundärvägen måste vridas med vinkeln  $\alpha$  för att refugen ska kunna placeras på ett korrekt sätt. Detta medför också att en klotoid måste placeras mellan sekundärvägens vägbanekant och  $R_B$ .

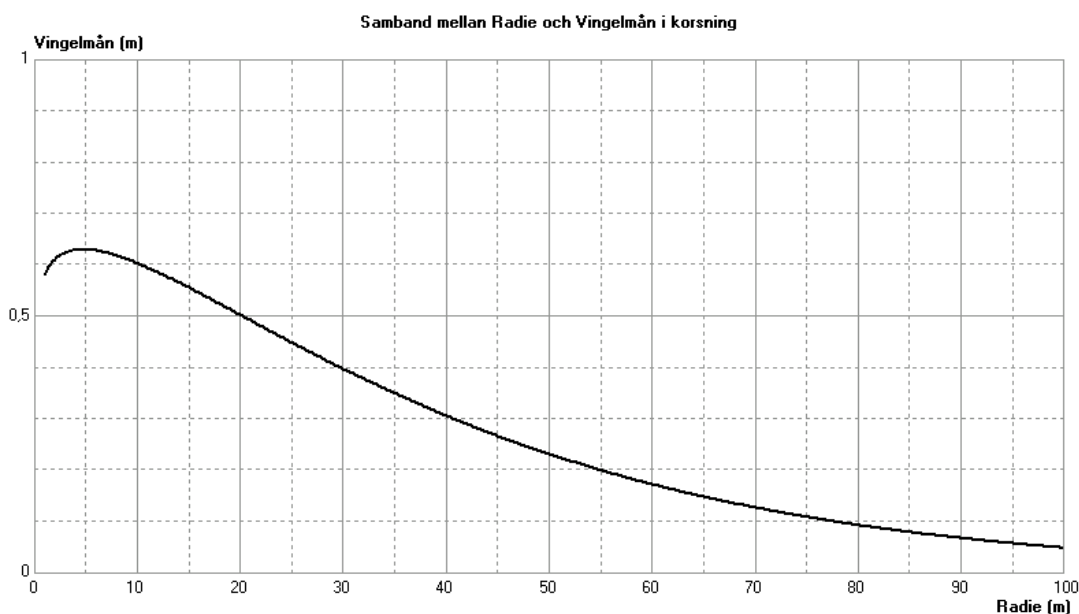
Trafikön konstrueras sedan på samma sätt som för dagens trafikö i TrVK Vägutformning. I Figur 7.2 är de extra elementen samt de olika delarna för trafiköns konstruktion utförda med tunnare linjer.

Tabell 7.1 anger vinkeln  $\alpha$  samt längden på avståndet för hjälplinjen A-B vid konstruktion av trafikön.

Tabell 7.1. Värden för parametrarna  $\alpha$  och avståndet A-B som funktion av korsningsvinkeln  $\beta$ .

Korsningsvinkel $\beta$	Vinkel $\alpha$	Avstånd A-B
gon	gon	m
85	15	7,003
90	15	7,025
95	12	5,656
100	12	5,723
105	12	5,828
110	15	7,580
115	15	7,860

I nuvarande korsningskurvekonstruktion görs ett tillägg till kanalbredd enligt "vingelmån", se figur 7.7 nedan. Vid aktuella radier innebär detta cirka 0,5 m. Samtidigt ges för cirkulationsplats varierande körmånstillägg beroende på hastighet och utrymmesklass. Detta behöver utredas hur det bör vara. I detta exempel har vingelmån enligt nedan använts tillsammans med en körmån enligt nedan.



Figur 7.7. Samband mellan radie och vingelmån för korsningar där körhastigheten har beräknats med hänsyn till kurvradiens storlek.

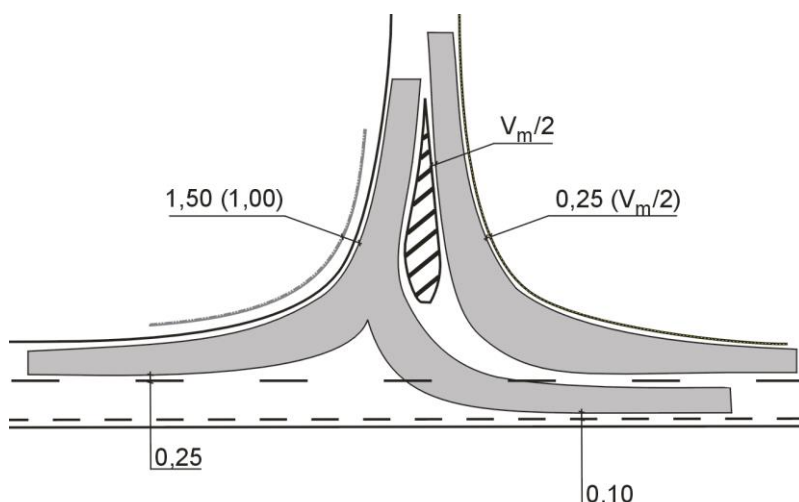
Körmånen har i detta exempel definierats beroende på kantsten, trafikö, räcke och riktning på körfälten, se Tabell 7.2.

Tabell 7.2. Körkår beroende på utformning.

Angränsande område till svepytan	Körkår (m)
Vägren > 0,5 m	0,25
Vägren ≤ 0,5 m	Vid $V_m \geq 0,5$ ; $V_m^1/2$ annars 0,25
Kantstenstillägg	0,50 (0,2 <sup>2</sup> )
Räcke	1,50 (1,00 <sup>3</sup> )
I samband med kf/vägren i samma riktning	0,10
I samband med kf i motriktad riktning	0,25
Trafikö med spärrområde	Vid $V_m \geq 0,5$ ; $V_m^1/2$ annars 0,25

- 1)  $V_m$  står för vingelmån.
- 2) Kantstenstillägg tillkommer utöver körkår. 0,5 m på landsbygd och i tätort 0,2 m.
- 3) Utrymmesklass B eller C.

För en beskrivning av värdena i Tabell 7.2 se Figur 7.8.



Figur 7.8. Beskrivning av körkår för olika situationer.

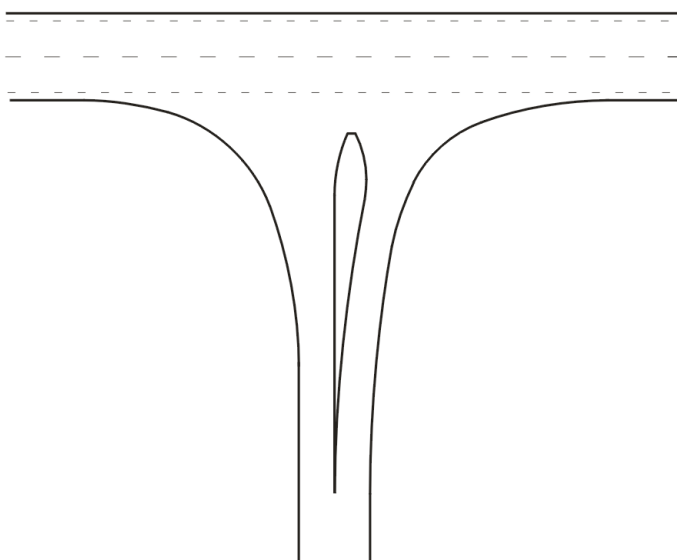
Exempel på principritning och konstruktion för typkorsning B görs enligt följande:

- 1) Bestäm korsningsvinkeln.
- 2) Bestäm bredd på primär- och sekundärväg.
- 3) Bestäm kanalbredd ( $K_B$ ) för sekundärvägen enligt Figur 7.3.
- 4) Bestäm vinkel  $\alpha$  samt avståndet A-B enligt Tabell 7.1.
- 5) Korsningskurvan vrids med vinkeln  $\alpha$  vid konstruktion av korsningskurvan för trafikö, se Figur 7.5.
- 6) Beräkna och rita in klotoiden  $A_B$ .
- 7) Dra hjälplinjerna med kanalbredden ( $K_B$ ) för sekundärvägen.



- 8) Dra hjälplinjerna för trafiköns konstruktion på 7,5 m, 2 m respektive 3 m.
- 9) Placera radien för trafiköns högra begränsning mot primärvägen genom att tangera hjälplinjen för kanalbredden samt tangera hjälplinjen 2 m från primärvägens, denna har radien 10 m.
- 10) Placera radien för trafiköns vänstra begränsning mot primärvägen genom att tangera mitt för sekundärvägen samt skära hjälplinjen 7,5 m från primärvägens mitt 3 m från hjälplinjen för kanalbredden, denna har radien 15 m.
- 11) Placera en stor radie på 150 m genom att tangera hjälplinjen för kanalbredden samt vägmitt på sekundärvägen.
- 12) Om trafikön ska innehålla en refug får ingen del ligga närmare trafiköns begränsningslinjer (markering) än 0,2 m. Refugspetsar avrundas med minst  $R = 0,5$  m.

En färdig korsningsgeometri för korsningstyp B kan ses i Figur 7.9.



Figur 7.9. Färdig konstruktion av korsningskurva och trafikö för korsningstyp B.

- 13) I korsningskurvorna behöver vägrenarna inte vara bredare än 0,25 m. Utjämnning mellan olika vägrensbredder utförs mjukt och med radier som motsvarar körbanekanternas radier. (Om för små radier används får beläggningen en ojämn kant i anslutningen till primärvägen med bred vägren. Det medför att stödremsan med tiden körs bort.)

Rita vägmarkeringar och ange deras lägen i förhållande till den geometriska måttsättningen.

## 8 Slutsats, diskussion och fortsatt arbete

Projektets slutsatser och förslag till fortsatt arbete är sammanfattat:

- Nuvarande regler för val av dimensionerande trafiksituation ändrades i övergången till Krav och är nu otydliga och delvis motstridiga. **De bör ses över i syfte att förtydliga vad som gäller.**
- I VU/VGU tillsammans med VU PC2 Körspår fanns detaljkrav för utformning av korsningsytor och korsningskurvor. Dessa bestod i att utrymmesklasserna i VU PC2 Körspår kompletterades med komfortkrav i form av regler för rattvridning med hänsyn till accepterad sidokraftsförändring och hastighet. Dessa regler är inte kompatibla med beskrivningen av vilka ytor som får användas i de olika utrymmesklasserna. Det fanns dessutom otydligt dokumenterat krav på körman i korsningskurvor. Detta regelverk har så långt möjligt dokumenterats i rapporten. Det finns oklarheter kring hur körman och vingelmån hanteras i korsningskurvor. Dessa komfortkrav och körmanskrav finns inte i nuvarande regelverk. **Dessa bör återinföras och då eventuellt också delvis omprövas. Detta gäller då också vilka ytor som får användas i olika körsätt.**
- Detaljalgoritmer i kommersiella körspårsprogram är i princip ”affärshemligheter”. Vehicle Track (AutoDesk) innehåller sannolikt VU PC2s algoritmer. **Ett sätt, givet att reglerna återinförs, att ställa krav på program att använda i Trafikverkets projektering skulle kunna vara att införa en certifieringsprocedur.**
- Trafikverkets nuvarande standardtypfordon för bussar och lastbilar med släp överensstämmer väl med andra länders typfordon. Lastbilen med påhängsvagn däremot har ett axelarrangemang, som inte stämmer med marknaden eller andra länders typfordon. En anpassning föreslås. Denna innebär då att det istället blir ”modulfordonet” och boggibuss, som blir dimensionerande, givet att de gamla VU/VGU-reglerna skulle gälla. Denna anpassning bör redovisas och diskuteras med branschen.
- Det pågår ett intensivt utvecklingsarbete både på buss och lastbilssidan mot längre och effektivare fordon. **Analysen av effekten av pågående försöksfordon ger att en översyn av typfordon och utrymmesbehov i samverkan med branschen rekommenderas. Detta gäller även specialfordon och de förslag på nya typfordon som har presenterats i rapporten.**

- Det är möjligt att ersätta nuvarande korsningskurvas klotoïdkoncept med ett cirkelkoncept på motsvarande sätt som i närliggande länder. Rapporten redovisar ett sådant förslag baserat på de gamla VU/VGU-kraven. Ytbehoven blir något mindre och det är modulfordon och boggibuss som dimensionerar. Det nya förslaget till lastbil med påhängsvagn har mindre utrymmesbehov. **Den föreslagna konstruktionen bör anpassas till eventuella förändringar i typfordon och grundkrav.**
- VGU bör även ses över med hänsyn till rastplatser, p-fickor och busshållplatser om nya specialfordon och långa bussar införs.

Ett eventuellt införande av ny geometri för semitrailer innebär att modulfordonet blir dimensionerande för korsningskurvor istället för semitrailer. Skillnaden på körvidd kommer sannolikt att bli cirka 5 cm mindre i korsningen. Om dessutom en uppdatering av modulfordonet görs kommer utrymmesbehovet att minska ytterligare med ett par centimeter.

Vid eventuellt införande av ny geometri för boggibuss i kombination med ny geometri för semitrailer innebär detta att boggibuss kommer att bli dimensionerande fordon. Skillnaden på körvidd kommer sannolikt att bli cirka 10-20 cm mindre vidd i korsningen beroende på mittradie. Differensen mellan modulfordonet och boggibuss är ca 10 cm, där boggibussen har den största körvidden.

Typfordonet för boggibuss enligt GRUFF stämmer ganska bra överens med de senaste uppdateringarna för Norge och Danmark. Vad gäller utrymmesbehovet mellan nuvarande och eventuellt nytt typfordon för boggibuss, så ger den nya ett lite större utrymmesbehov.

Görs en analys av körspår för cirkulationsplats för både högersväng och vänstersväng blir det lite mer komplext, olika fordon blir dimensionerande för olika delar av cirkulationen.

Ett nytt typfordon för dubbelledbuss, Bdl, har tagits fram. Resultaten visar att dubbelledbussen klarar av att utföra högersvängar enligt Vägar och Gators Utformning (VGU) mycket bra, i mindre korsningar med utrymmesklass A och i större korsningar med majoritet utrymmesklass B eller bättre (A).

När korsningar i tätort provas blir resultaten genomgående sämre, dock i linje med vad referensfordonen boggibuss (Bb) och lastbil med påhängssläp (Lps) får. Resultaten

styrker att det inte borde finnas någon begränsning för att tillåta dubbelledbussen som ett nytt typfordon.

Ett fordon som också har studerats är ett 33 m långt fordonståg med tre lastenheter. Resultatet visar, i jämfört med modulfordon, att det ger en utökad körvidd med ca 50 %, vilket gör att befintliga korsningar med befintlig utrymmesklass ej är möjliga att ta sig igenom för det aktuella fordonståget. Vid införandet av fordon av denna typ krävs en väsentlig utökning av korsningsytan.

Projektet har analyserat fyra andra närliggande länders korsningsutformning, samtliga har utvecklat en korsningskurva som består av två eller tre cirkelbågar. Därför har en utveckling av en korsningskurva med tre cirkelbågar tagits fram för svenska förhållanden. Modellen är generisk vad gäller korsningsvinkel och ingående vägars geometri. Även en mer systematisk modell för användningen av körman har gjorts.

## Referenser

- Atterhall, M. (den 27 Februari 2017). Van Hool, ExquiCity, Nobina. (N. Kärrvall Olofsson, Intervjuare)
- Autodesk. (2017). Vehicle tracking Overview. Hämtat från Autodesk: <http://www.autodesk.com/products/vehicle-tracking/overview> den 2 Mars 2017
- AutoTURN. (2017). AutoTurn online benefits. Hämtat från AutoTURN: <http://www.autoturnonline.com/> den 02 Mars 2017
- Bouwman, R. (den 10 Februari 2017). VDL Phileas fordonsdetaljer. (N. Kärrvall Olofsson, Intervjuare)
- Carlden, L. (den 10 Mars 2017). Volvo 7500 bi-artic. (N. K. Olofsson, Intervjuare)
- Council of the European Union (1996). Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. Council of the European Union.
- Council of the European Union. (1997). Directive 97/27/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 1997 relating to the masses and dimensions of certain categories of motor vehicles and their trailers and amending Directive 70/156/EEC. European Union.
- Council of the European Union (2002). Directive 2002/7/EC. European Union.
- Council of the European Union (2015). Directive 96/53/EC. Brussels, 13 April 2015.
- European Union. (u.d.). About EUR-lex. Hämtat från EUR-lex Access to European Union Law: <http://eur-lex.europa.eu/content/welcome/about.html> den 20 02 2017
- Cox, R. (2015). A Review of the Effect of Increases in Vehicle Size on Australian Geometric Roaddesign Standards. Transport Technology Division, Queensland Department of Main Roads, Brisbane.
- Haataja, M. (2017). Impacts of HCT-vehicle combinations on traffic safety. High Capacity Transport årskonferens 2017 på Volvo Trucks Experience Center i Göteborg 170823.
- Kungliga Väg och vattenbyggnadsstyrelsen KVVVS (1955). Dimensionerande typfordon. Normalbestämmelser kap 211:2 1955.
- Kungliga Väg och vattenbyggnadsstyrelsen KVVVS (1955). Vägskälskurvor Normalbestämmelser kap 254 1955.
- Kungliga Väg och vattenbyggnadsstyrelsen KVVVS (1962). Vägskäl geometrisk utformning. Normalbestämmelser kap 281:3 1962.
- Näringsdepartementet. (2001:106). Kollektivtrafik med människan i centrum. Näringsdepartementet.
- Ramböll, (2015). Notat 1350008653 Sporingsforsøk med modulvogntog, Marte Dahl, Rambøll, Dato 25.03.2015.
- Sadeghi, K., Fredriksson, J., Laine, L., Jacobson, B. (2014). Evaluation of Dynamical Behaviour of Long Heavy Vehicles Using Performance Based Characteristics.

- Dept. of Signals and Systems, Chalmers University of Technology, Volvo Group Trucks Technology, Chassis Strategies and Vehicle Analysis, Sweden, Dept. of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Sweden.
- Sanderson Associates. (2017). What is a Swept Path Analysis? Hämtat från Swept Path Analysis: <http://www.sweptpathanalysis.com/index.htm> den 23 02 2017
- SIMTRA. (den 29 Januari 2014). SIMTRA. Hämtat från SIMTRA: <http://www.simtra.com/> den 02 Mars 2017
- Skånetrafiken. (den 20 04 2017). Sök resa. Hämtat från Skåneresan: <https://www.skandetrafiken.se/sok-resa/>
- SL (1983). UBUSS-83 utformning av trafikanläggningar för buss. SL 1983.
- Smith, K. S. (2015). Trafikutskottets betänkande 2014/15:TU13. Sverige Riksdag.
- Statens Vegvesen (2014). Geometrisk utformning av veg- og gatekryss. Veiledning Håndbok V12. Vegdirektoratet 2014, Faglig innhold 2013.
- Statens Vegvesen (2015). NA-rundskriv 2015/14 - Nye krav i N100 til utforming av rundkjøring, T- og X-kryss og breddeutvidelse som følge av modulvogntog som dimensjonerende kjøretøy.
- Statens Vejdirektoratet (2016). Håndbog, Prioriterede vejkryds i åbent land. Anlæg og planlægning, Vejregler. Marts 2017.
- Statens Vägverk (1967). Vägskäl. Normalbestämmelser för vägars geometriska utformning kap 241. 1967.
- Statens Vägverk m.fl. (1973). Riktlinjer för gators geometriska utformning RIGU 73. 1973.
- Statens Vägverk (1975). Typfordon. TV 123 1975-03.
- Statens Vägverk (1977). Dimensionerande trafikelement. TV 124 3.1.1.03 1977.
- Statens Vägverk (1981). Färdtekniska grundvärden. TV 124 3.1.1.04 1981. Strömgren, P. (1998:59). Körspårssimulering-teori. Vägverket.
- Strömgren mfl (2013). Slutrapport – grundvärde för stoppsikt och fordonsgeometri. Movea, Ramböll och VTI.
- Sveriges riksdag. (2017). Trafikförordning (1998:1276). Stockholm: Regeringskansliet.
- The commission of the european communities. (2003). Commission directive 2003/19/EC. European Union.
- Tiehallinto (2010). Tasoliittymät, Suunnitteluvaiheen ohjaus, SBN 951-726-731-2 TIEH 2100001-01 Oy Edita Ab Helsinki 2001.
- Trafikverket. (2012a). Kol-TRAST Planeringshandbok för en attraktiv och effektiv kollektivtrafik. LTAB.
- Trafikverket (2012b). Övergripande krav för Vägars och gators utformning. Trafikverket 2012:81.
- Trafikverket. (2015a). Krav för vägars och gators utformning. Trafikverket 2015:086.
- Trafikverket. (2015b). Råd för vägars och gators utformning. Trafikverket. 2015:087.
- Trafikverket. (2015c). Vägar och gators utformning - Begrepp och grundvärden. Trafikverket. 2015-090.

Trafikverket. (2016:083). Văgar och gators utformning - Stödande kunskap.  
Trafikverket.

Transportstyrelsen. (2014:31). Transportstyrelsens fôreskrifter om största tillåten längd på ledbussar i Malmö. Transportstyrelsens författningssamling.

Transportstyrelsen. (2015:54). Transportstyrelsens fôreskrifter om största tillåten längd på ledbussar i Göteborg. Transportstyrelsens författningssamling.

Volvo GTT (2017). Geometriritning från Volvo GTT, Lena Larsson och Emil Pettersson.

Văgverket (1983). Dokumentation av färdtekniska grundvärden och linjeföring.  
Meddelande TU 1983:4.

Văgverket (1986). Plankorsningar. TV124 kap 3.1.4 Văgverket 1986.

Văgverket mfl (1987). ARGUS Allmänna råd för gators utformning. SKTF 1987.

Văgverket. (1994). Văgutformning 94 VU 94. Văgverket 1994.

Văgverket (1997). Utrymmesbehov för långa fordonskombinationer. Văgverket publikation 1997:125

Văgverket (1998) Programvara för körspårssimulering. Văgverket publikation 1998:025.

Văgverket. (1999). VU 94 supplement. Văgverket 1999.

Văgverket (2004) Văgar och gators utformning VGU 2004. Văgverket 2004.

Văgverket. (2004:141). Văgverkets fôreskrifter om vändningskrav för bussar med eller utan därtill kopplade fordon. Văgverkets författningssamling.

Văgverket. (2005:103). Văgverkets fôreskrifter om största tillåten bruttovikt och längd på tvåledsbussar. Văgverkets författningssamling.

Văsttrafik. (den 14 02 2017). Reseplaneraren Ekestrăgatan till Fyrktorget. Hämtat från Văsttrafik: <http://reseplanerare.vasttrafik.se/bin/query.exe/sn?ld=fe13&OK#focus>  
den 14 02 2017