



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**OPTIMALIZACE NÁVRHOVÝCH PRVKŮ POZEMNÍCH
KOMUNIKACÍ POMOCÍ VLEČNÝCH KŘIVEK VOZIDEL**

OPTIMIZING OF ROAD DESIGN ELEMENTS BY MEANS OF VEHICLES' SWEEP PATHS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jiří Čepil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Radimský, Ph.D.

BRNO 2018

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá aplikací simulovaných vlečných křivek vozidel při návrhu pozemních komunikací. Užívání programů generujících simulované vlečné křivky klade nové nároky na projektanta, přičemž správný způsob aplikace vlečných křivek v českých předpisech chybí. V teoretické části práce je rozebrána teorie pohybu vozidla při průjezdu směrovým obloukem a způsoby výpočtu potřebného rozšíření vozovky. V praktické části práce jsou mezi sebou porovnávány vlečné křivky generované různými programy a jsou srovnávány rozdíly. Pro ověření tvaru a rozměrů generovaných vlečných křivek, bylo provedeno zaměření vlečné křivky reálného vozidla. Takto získaná křivka byla porovnána s generovanou a vyhodnoceny rozdíly. Z porovnávaných programů byl vybrán referenční, a jeho výstupy byly aplikovány na návrh pozemní komunikace dle platných předpisů. Výsledky získané v rámci disertační práce byly použity pro sestavení certifikovaných metodik s názvem: „Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel“. V závěru jsou shrnuty výsledky disertační práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vlečná křivka, offtracking, trajektorie vozidla, rozšíření jízdních pruhů, rozšíření ve směrovém oblouku, obalová křivka.

ABSTRACT

The dissertation deals with application of simulated swept paths of vehicles to road designs. Using software which generates simulated swept paths makes new demands on the designer, but Czech regulations do not stipulate the appropriate method of applying swept paths. The theoretical part of the dissertation analyses the theory of how a vehicle moves when passing through a horizontal road curve and a method of calculating a necessary extent of widening the road. The practical part compares swept paths generated by various software programs and differences between them. In order to verify the shapes and dimensions of the swept paths generated, the swept path of a real vehicle was measured. This swept path was then compared with the one generated, and the differences between them were evaluated. One of the software programs was chosen as a reference program, and its output was applied to a road design pursuant to valid regulations. The results obtained within the dissertation were used to develop certified methodology titled: „Methodology of widening road lanes in horizontal curves and of application of vehicles' swept paths “.

KEYWORDS

Swept path, offtracking, vehicle trajectory, traffic lanes widening, widening on horizontal curves, wrapping curve.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

ČEPIL, Jiří. *Optimalizace návrhových prvků pozemních komunikací pomocí vlečných křivek vozidel*. Brno, 2018. 112 s., 102 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Michal Radimský, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 12. 2018

Ing. Jiří Čepil
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu disertační práce Ing. Michalu Radimskému, Ph.D. za odborné vedení a směřování mé práce po celou dobu studia. Zvláštní poděkování patří Ing. Radce Matuszkové za spolupráci, trpělivost a vstřícný přístup.

Mé díky patří rovněž mé rodině za morální podporu při studiu a především mé přítelkyni za její velkou trpělivost a cenné rady.

Obsah

1. ÚVOD.....	3
2. SHRnutí STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	5
3. CÍL PRÁCE.....	17
4. TERMÍNY A DEFINICE.....	19
5. TEORIE POHYBU VOZIDLA.....	22
5.1 Offtracking.....	24
5.1.1 Nízkokorychlostní offtracking - samostatné vozidlo.....	27
5.1.2 Nízkokorychlostní offtracking - souprava.....	30
5.1.3 Vysokorychlostní offtracking.....	33
5.1.4 Dynamická odezva řízení.....	33
5.2 Výpočetní metody.....	34
5.3 Simulační programy.....	39
6. ROZBOR VZÁJEMNÝCH VZTAHŮ NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ.....	41
6.1 Analýza vzájemných vztahů.....	41
6.1.1 Vztah vozidlo – rychlost – trajektorie.....	41
6.1.2 Vztah vozidlo – rychlost – offtracking.....	44
6.1.3 Vztah vozidlo – poloměr – hodnota offtrackingu.....	44
6.1.4 Vztah šířka vlečné křivky – poloměr – vrcholový úhel.....	47
7. SIMULACE A MĚŘENÍ.....	52
7.1 Výběr simulačního programu.....	52
7.1.1 Srovnání vlečných křivek pro oblouky dle ČSN 73 6101.....	54
7.1.2 Srovnání vlečných křivek pro oblouky dle ČSN 736102.....	61
7.1.3 Srovnání SW a TP 171.....	69
7.2 Měření.....	74
7.2.1 Měřicí vozidlo.....	74
7.2.2 Měřicí systém.....	75
7.3 Vyhodnocení měření a modelování.....	78
7.3.1 Excel.....	78
7.3.2 AutoCAD.....	81
7.3.3 AutoTURN.....	82

8. NÁVRH ÚPRAVY NORMOVÝCH PARAMETRŮ	87
8.1 Rozšíření jízdnic pruhů ve směrových obloucích	87
8.1.1. Výpočet rozšíření jízdnic pruhů	88
8.2 Šířka vlečných křivek	90
8.3 Aplikace vlečných křivek	92
8.3.1. Úrovňové křižovatky	92
8.3.2. Parkoviště, obratiště a sjezdy	95
9. ZÁVĚR	97
Seznam obrázků	101
Seznam grafů	103
Seznam tabulek	105
Seznam rovnic	107
Seznam použitých zdrojů	109
Seznam příloh	111

1. ÚVOD

Častým nešvarem českých křižovatek a dopravních staveb obecně jsou poruchy okrajových částí vozovky. Poškozené obrubníky, deformace zpevněné i nezpevněné části krajnice, poškození dopravního značení, případně svodidel atd. jsou zřejmým ukazatelem nesprávného návrhu těchto prvků. Tyto problémy se projevují nejen u starších komunikací, ale bohužel také u novostaveb.



Obrázek 1 - Poškození okrajových částí vozovky pojezdem vozidla

Protože velikost silničních vozidel a normové parametry silničních staveb v posledních desetiletích zůstávají stejné, nabízí se otázka, proč jsou poruchy okrajových částí vozovek stále častým úkazem.

Geometricky správný tvar a šířka nárožních a směrových oblouků má pro dopravní stavby nejen ekonomický, ale také kapacitní a bezpečnostní význam. Chování vozidla při průjezdu směrovým obloukem má svoje zákonitosti, které lze zohlednit už při návrhu dané stavby. V projekční praxi na území České republiky však nejsou tyto zákonitosti příliš známy, a tedy ani respektovány. Přitom znalost vlečné křivky nám umožňuje odpovědět na klíčovou otázku, zda rozšíření ve směrových obloucích a křižovatkách navržené podle platných předpisů je provedeno správně a řidiči jsou schopni daný směrový motiv projíždět bez potíží.

V zahraničních předpisech, nebo jejich doplňcích, jsou prezentovány příklady vhodných či doporučených řešení. Praxe tato doporučení zohledňuje a výsledkem tohoto přístupu jsou nejen méně poškozené okrajové části vozovek, ale také snížení zátěže řidiče, který ví, co může očekávat a která rizika má při rozhodování zohlednit.

Zejména u složitějších dopravních uzlů, křižovatek a úseků s vyšší intenzitou dopravy vzrůstá důležitost přehledného a předvídatelného trasování komunikace a správného dopravního značení. V takovýchto úsecích je řidič vystaven časovému tlaku, složitému rozhodování a záplavě informací, což může přímo přispět ke vzniku nehod. Kromě běžných situací musí řidič řešit změnu jízdního pruhu, odstup od ostatních vozidel, předjíždění, míjení, ostatní účastníky silničního provozu atd. (1)

Klíčovým prvkem každého návrhu dopravní stavby jsou vstupní parametry, podle kterých je výsledná konstrukce navržena. Z hlediska návrhu nárožních oblouků a směrových oblouků malých poloměrů je u dopravních staveb důležitým vstupním parametrem vlečná křivka, tzn. „stopa vozidla“. Vlečná křivka vozidla společně s bezpečnostním odstupem definují potřebnou šířku komunikace, nutnou pro bezproblémový průjezd.

Pro návrh dopravních staveb je v současnosti stále častěji využíván software, který umožňuje simulovat průjezd návrhového vozidla. Ze simulovaných vlečných křivek je jasné patrné, zda je směrový oblouk pro návrhové vozidlo dostatečný, kde je třeba navrhnout dopravní ostrůvky, kde vodorovné dopravní značení a zda vozidlo nepřesahuje hranice jízdního pruhu. Takovýto přístup může vést ke snížení nákladů na opravy, snížení nehodovosti a spolu s vhodným řešením také zvýšení kapacity křižovatek a tím částečně redukovat tvorbu kongescí.

2. SHRNU TÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích je jednou z oblastí navrhování pozemních komunikací, kde výklad platných předpisů není zcela jednoznačný. Tato problematika je v České republice řešena v následujících předpisech:

- ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic;
- ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích;
- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
- TP 171 Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací.

Každý z výše uvedených předpisů řeší problematiku rozšíření ve směrových obloucích mírně odlišným způsobem, zpravidla v závislosti na kategorii komunikace. Tento přístup přináší omezení, v určitých případech se návrh stává nevhodným díky zbytečně vysokým požadavkům. Jindy jsou naopak dle jiného kritéria navržené silnice příliš úzké pro zajištění bezpečného míjení vozidel. Geometrická správnost návrhu pak není řešena vůbec.

V některých případech není zřejmé, který předpis je pro danou situaci platný, což způsobuje obtíže při následném projednávání návrhu u dotčených orgánů a institucí. Typickým příkladem jsou křižovatky silnic různých kategorií, kde skokově dochází ke změně parametrů komunikace; takovouto změnu ale řidič nemusí rozeznat.

Tvar nároží úrovnových křižovatek, které jsou z hlediska poruch okrajových částí vozovky kritické, je řešen poměrně stručně v *ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích (2)*. Předpis připouští využití prostých a složených kružnicových oblouků, případně přechodnicových oblouků, dále doporučuje aplikaci vlečných křivek, ovšem bez podrobnějšího popisu jejich aplikace, srovnej *Obrázek 3* a *Obrázek 2*. V praxi je tak stále v drtivé většině návrhů využíván prostý kružnicový oblouk, který s reálnou vlečnou křivkou koresponduje jen částečně.

Stávající předpisy vychází z teoretických fyzikálních modelů, které popisují pohyb vozidla po komunikaci na základě statického modelu. Součástí těchto modelů je určitá míra nepřesnosti, která v konečném důsledku může vést až k tvorbě poruch a deformací krajnice vlivem poježdění nezpevněné krajnice či obrubníku. Tyto poruchy pak samozřejmě zvyšují náklady na údržbu stavby, snižují kapacitu a mohou vést ke vzniku dopravních nehod.

V praxi se problematické úseky a detaily navrhovaných staveb ověřují pomocí TP 171 (3) nebo různých programů. Cílem tohoto přístupu je zpracovat geometrický návrh na základě skutečného chování vozidla. Návrh stavby ověřený pomocí programu však nemusí vyhovovat ověření podle TP 171, viz kapitola 7.1.3. *Srovnání SW a TP 171*.

Dále jsou uvedeny předpisy a parametry, podle kterých je v ČR navrhováno rozšíření pozemních komunikací:

- **ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic**

Rozšíření jízdního pásu ve směrovém oblouku se provádí pouze u poloměrů R_0 menších než 250 m; navrhuje se jen na silnicích se základními šířkami jízdních pruhů 3,50 m, 3,25 m, 3,00 m a 2,75 m. Celková hodnota rozšíření jízdního pásu dvoupruhové silnice je dvojnásobkem rozšíření připadajícího na jeden jízdní pruh.

Vnitřní jízdní pruh se rozšiřuje na vnitřní stranu a vnější jízdní pruh na vnější stranu směrového oblouku, v hodnotách podle Tabulky 1(4)

Poloměr směrového oblouku v ose jízdního pásu R_0^*) v m	Rozšíření jízdního pruhu v m		
	2,75	3,00	3,25-3,50
$250 > R_0 \geq 200$	0,50	0,25	0,20
$200 > R_0 \geq 170$	0,55	0,30	0,25
$170 > R_0 \geq 141$	0,60	0,35	0,30
$141 > R_0 \geq 125$	0,65	0,40	0,35
$125 > R_0 \geq 110^*$)	0,70	0,45	0,40
*) Rozšíření jízdních pruhů u směrových oblouků menších poloměrů, než jsou uvedeny v této tabulce se provede v týchž hodnotách jako na větvích křižovatek podle ČSN 73 6102			

Tabulka 1 - Rozšíření jízdního pruhu ve směrovém oblouku silnice se základní šířkou pruhu 2,75 m; 3,00 m; 3,25 m a 3,50 m dle ČSN 73 6101

- **ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích**

Úrovňové křižovatky

Jízdní pruh větve má mít nejméně šířku jízdního pruhu nebo odbočovacího pruhu, ze kterého se odbočuje do větve, zvětšenou o rozšíření v oblouku. Potřebné rozšíření jízdního pruhu větve křižovatky závisí na poloměru vnitřní hrany větve a návrhovém vozidle. Hodnoty šířek jízdních pruhů včetně rozšíření jsou uvedeny v Tabulce 2. Geometrie větve musí umožnit průjezd návrhového vozidla, případně vozidla, jehož rozměry nebo náklad přesahují stanovenou míru zvláštním předpisem (Vyhláška č. 341/2002 Sb.), (zvláštní užívání pozemní komunikace podle zvláštního předpisu), což se ověří pomocí jeho vlečných křivek. (2)

Poloměr vnitřního okraje jízdniho pruhu v m	Směrodatná vozidla pro návrh		
	OA ^a	N ^a	C ^a
15	3,50	4,70	6,50
20	3,30	4,30	5,55
25	3,20	4,00	5,05
30	3,10	3,85	4,80
35	3,05	3,70	4,50
40	3,00	3,60	4,30
45	2,95	3,55	4,20
50	2,95	3,50	4,05

Hodnoty v tabulce jsou vypočteny ze vzorce:

$$a_{ve} = \check{S}_A + \Delta a = \check{S}_A + \frac{S_m}{R} + 0,5 \text{ m}$$

kde

a_{ve} je šířka jízdniho pruhu větve v m,

\check{S}_A šířka vozidla v m,

Δa rozšíření jízdniho pruhu větve v m,

S_m číslo charakterizující směrodatné vozidlo,

R poloměr vnitřního okraje jízdniho pruhu větve v m.

Výsledné hodnoty jsou zaokrouhleny na 5 cm.

^a OA osobní a dodávkový automobil ($\check{S}_A = 2,17$; $S_m = 12,5$).

N velký nákladní automobil a automobil pro svoz odpadků ($\check{S}_A = 2,50$; $S_m = 24,5$).

C všechny druhy vozidel ($\check{S}_A = 2,55$; $S_m = 50$).

Tabulka 2 - Nejmenší hodnoty šířky jízdniho pruhu a_{ve} (včetně rozšíření) jednosměrné větve úrovně křižovatky v m dle ČSN 73 6102

Mimoúrovňové křižovatky

Jednopruhové jednosměrné větve na mimoúrovňových křižovatkách musí umožnit objíždění odstaveného vozidla. Pro zajištění tohoto požadavku se navrhne:

- jízdni pruh stejné šířky, jako je šířka přídatného pruhu + rozšíření ve směrovém oblouku podle Tabulky 4; základní šířka jízdniho pruhu na křižovatkové větvi nesmí být menší než 3,0 m; vodící proužky šířky 0,25 m;
- zpevněná krajnice vlevo od jízdniho pruhu šířky 2,0 m;
- zpevněná krajnice vpravo od jízdniho pruhu šířky 0,25 m, pokud je na křižovatkové větvi uvažován pohyb pěších a cyklistů, zvětší se šířka zpevněné krajnice nejméně na 0,5 m, případně se navrhne chodník podle ČSN 73 6110;
- nezpevněná krajnice šířky 0,75 m při osazení směrových sloupků a 1,5 m při osazení svodidel. (2)

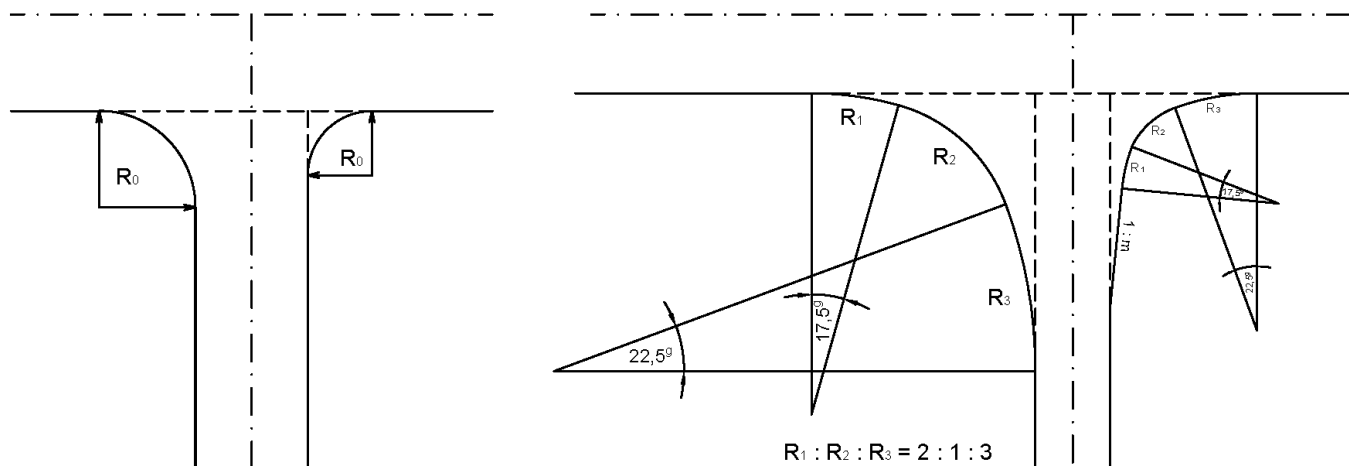
Nároží a větve úrovně křižovatky

Návrh vnitřního okraje nároží závisí na směrovém a příčném uspořádání křižujících se komunikací (silnice nebo místní komunikace) a návrhovém vozidle. Z hlediska pohybu vozidla a hospodárnosti se má geometrie návrhového prvku nároží co nejvíce přimykát k vnitřní obalové křivce vlečných křivek návrhového vozidla podle zvláštního předpisu.

Pro návrh vnitřního okraje nároží se použije oblouk prostý kružnicový nebo složený kružnicový. Prostý kružnicový oblouk je jednoduchým návrhovým prvkem, ale přiléhá k obalové křivce vlečných křivek jen částečně. Vhodnější je složený oblouk kružnicový s krajními kružnicovými oblouky větších poloměrů nebo přechodnicemi tvaru klotoidy. viz Tabulka 3 a Obrázek 2 (2).

Nejmenší R_0 v m		Vozidlo
dovolený	doporučený	
5,00	6,00	osobní a dodávkový automobil
7,00	8,00	malý a střední nákladní automobil, linkový autobus
9,00	10,00	velký nákladní automobil, dálkový autobus, návěsová souprava
12,00	15,00	kloubový autobus, přívěsová souprava

Tabulka 3 - Poloměry nárožních oblouků, ČSN 73 6102



Obrázek 2 - Rozšíření nárožních oblouků; ČSN 73 6102

- **ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací**

Ve směrovém oblouku se pravý jízdní pruh místních rychlostních a sběrných čtyř a vícepruhových komunikací rozšíří podle ČSN 73 6101, popř. podle ČSN 73 6102 u větvi křižovatek.

Při rekonstrukcích komunikací funkční skupiny C musí být každý jízdní pruh v obloucích rozšířen nejméně o hodnoty podle Tabulky 5 a ověří se vlečnými křivkami podle zvláštního předpisu (3). (5)

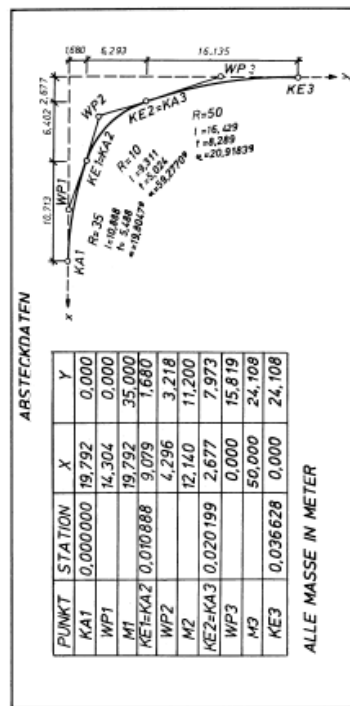
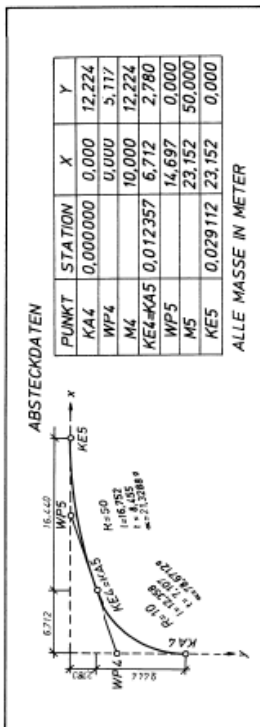
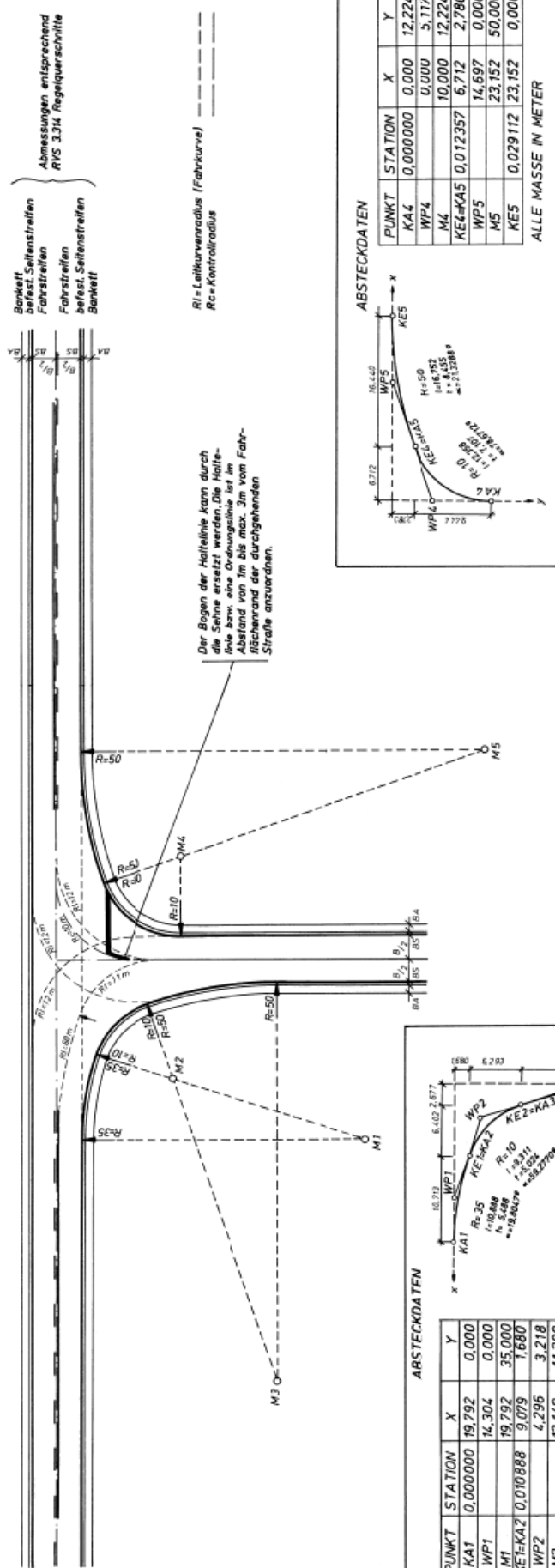
		Poloměr vnitřní hrany jízdního pásu v m																									
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	34	35				
Jednosměrná větev	Oblouk	Jízdní pruh																									
	pravý	levý	nerozšiřuje se																								
		pravý	3,60	3,30	3,10	2,90	2,70	2,55	2,40	2,25	2,15	2,05	1,95	1,85	1,80	1,70	1,65	1,55	1,50	1,45	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10
		levý	nerozšiřuje se																								
Obousměrná větev		pravý	2,25	2,15	2,05	2,00	1,90	1,85	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,85
		vnitřní	3,60	3,30	3,10	2,90	2,70	2,55	2,40	2,25	2,15	2,05	1,95	1,85	1,80	1,70	1,65	1,55	1,50	1,45	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10
		vnější	2,25	2,15	2,05	2,00	1,90	1,85	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,85
		Jízdní pruh	Poloměr vnitřní hrany jízdního pásu v m																								
Jednosměrná větev	Oblouk	Jízdní pruh	36	37	38	41	43	45	47	51	53	56	58	61	65	71	76	81	87	96	107	133	156				
			40	42	44	46	50	52	55	57	60	64	70	75	80	86	95	106	132	155	200						
	pravý	levý	nerozšiřuje se																								
		pravý	1,20	1,15	1,10	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,20	0,15	0,10				
Obousměrná větev		levý	nerozšiřuje se																								
		pravý	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10					
		vnitřní	1,20	1,15	1,10	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,20	0,15	0,10				
		vnější	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10					
POZNÁMKA 1		Hodnoty rozšíření v této tabulce jsou zaokrouhleny na 5 cm.																									
POZNÁMKA 2		Hodnoty rozšíření v tabulce platí pro jízdní pruhy šířky 3,50 m.																									
POZNÁMKA 3		Pro jízdní pruhy šířky 3,25 m se k hodnotám v tabulce přičte 0,25 m a pro jízdní pruhy šířky 3,00 m se přičte 0,50 m.																									
POZNÁMKA 4		Pokud jsou jízdní pruhy na dvoupruhové jednosměrné větví zároveň pruhy řadící, navrhne se rozšíření obou jízdních pruhů obdobně jako pro obousměrné větve.																									

Tabulka 4 - Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích na větvích křížovatek Δ a v m dle ČSN 73 6102

Šířka jízdního pruhu v m		Poloměr směrového oblouku v m												
		250	200	175	150	125	100	90	80	70	60	50	40	30
2,50 ; 2,25 a)		0,25	0,35	0,45	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,55
3,00 ; 2,75		0,25	0,30	0,35	0,35	0,40	0,50	0,55	0,60	0,60	0,70	0,80	0,90	1,05
3,25 ; 3,50		-	-	-	-	-	-	0,05	0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,55

a) Šířka jízdního pruhu 2,50/2,25 se může použít pouze v případech podle článku 8.2.2.

Tabulka 5 - Rozšíření jízdních pruhů ve směrovém oblouku místních komunikací funkčních skupin B a C (při rekonstrukcích) dle ČSN 73 6110



Obrázek 3 - Úprava úrovně křižovatky dle rakouského předpisu RVS

Zahraniční předpisy

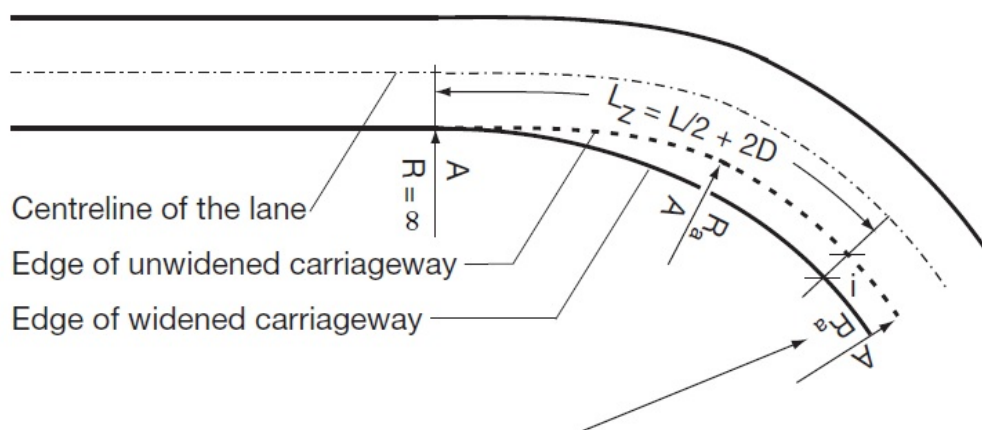
- **Slovensko**

Slovenské předpisy STN 72 6101 (6) a STN 73 6102 (7) přistupují k problematice rozšíření obdobně jako české předpisy, tzn. na základě tabelizovaných hodnot. Ve srovnání s českými předpisy se požadované hodnoty mírně liší.

- **Německo**

Německý předpis Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (8) předepisuje rozšíření ve směrovém oblouku na základě návrhového vozidla.

Potřebné rozšíření vozovky pro n pruhů v kružnicovém oblouku se vypočte dle Rovnice 1. Rozšíření se provede rovnoměrně pro oba pruhy. Rozšíření se provádí zpravidla pro oblouky $R \leq 150$ m. (8)



Obrázek 4 - Rozšíření vozovky u směrových oblouků malých poloměrů dle RAA

$$i = n \cdot \left(R_a - \sqrt{R_a^2 - D^2} \right)$$

Rovnice 1 - Výpočet rozšíření ve směrovém oblouku dle RAA

D	rozvor a přední převis [m]
i	rozšíření vozovky [m]
n	počet pruhů [-]
R_a	poloměr kružnicového oblouku na vnějším okraji [m]
L	délka přechodnice [m]
L_z	vzdálenost potřebná pro dosažení rozšíření i [m]

- **Slovinsko**

Slovinský předpis Pravidník o projektiranju cest (9) předepisuje rozšíření ve směrovém oblouku na základě návrhového vozidla.

Rozšíření ve směrovém oblouku se provádí dle *Rovnice 2 (9)*

$$\Delta b_{pp} = \frac{L_{op}^2}{2R}$$

Rovnice 2 - Výpočet rozšíření ve směrovém oblouku dle slovinského předpisu

Δb_{pp} rozšíření jízdního pruhu [m]

R poloměr oblouku v ose [m]

L_{op} rozvor náprav [m]

kde L_{op} má definované normové hodnoty

<i>Druh vozidla</i>	<i>L_{op} [m]</i>
<i>osobní</i>	<i>4,00</i>
<i>nákladní</i>	<i>8,00</i>
<i>návěs</i>	<i>10,00</i>
<i>autobus městský</i>	<i>8,50</i>
<i>autobus dálkový</i>	<i>9,00</i>

Tabulka 6 - Hodnoty rozvoru normových vozidel (Slovinsko)

- **Rakousko**

Rakouský předpis Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (10) předepisuje rozšíření jízdních pruhů na základě návrhového vozidla, podle *Rovnice 3*

$$i_{Fst} = \left(R - \sqrt{R^2 - D^2} + b_{Fz} - b_{Fst} \right) \times p' + S$$

Rovnice 3 - Výpočet rozšíření ve směrovém oblouku dle RVS

i_{Fst} rozšíření jízdního pruhu s bezpečnostním odstupem [m]

R poloměr kružnicového oblouku v ose [m]

D redukovaná délka rozvoru [m]

$$D_{\max} = 9,77 \text{ m}$$

$$D_{\text{BUS}} = 8,8 \text{ m}$$

	$D_{LKW} = 6,0 \text{ m}$
b_{Fz}	maximální šířka vozidla [m]
b_{Fst}	šířka jízdního pruhu [m]
p'	redukční faktor velikosti vrcholového úhlu γ
S	bezpečnostní odstup $\geq 0,25 \text{ m}$ pro každý jízdní pruh

Rakouské předpisy dále podrobně rozpracovávají tvar nárožního oblouku, viz Obrázek 3.

• Velká Británie

Britský předpis Design Manual for Roads and Bridges (11) předepisuje rozšíření jízdních pruhů obdobně jako ČSN na základě poloměru a kategorie komunikace.

Pro vozovky standardní šířky (7,3 m, 11,0 m a 14,6 m) se provede rozšíření o 0,3 m/pruh pro poloměry 90 m až 150 m. Dvoupruhové vozovky s šířkou větší než 7,9 m se nerozšiřují.

Pro vozovky menší, než standardní šířky se provede rozšíření o

- *0,6 m/pruh pro poloměry 90 m až 150 m do maximální šířky 7,9 m, 11,9 m a 15,8 m.*
- *0,5 m/pruh pro poloměry 150 m až 300 m, maximální šířka nemá překračovat standardní šířku.*
- *0,3 m/pruh pro poloměry 300 m až 400 m, maximální šířka nemá překračovat standardní šířku.*

• USA

Předpis Spojených států amerických, Geometric Design of Highways and Streets (1), definuje rozšíření směrových oblouků na základě skutečného chování vozidla, tzv. offtrackingu, viz kapitola 5.1 Offtracking. Velikost offtrackingu je závislá na druhu vozidla a poloměru směrového oblouku.

Tento předpis považuje potřebu rozšíření u moderních komunikací (šířka pruhu 3,6m, odpovídající směrové a výškové vedení) za méně významnou, ve srovnání se staršími komunikacemi s užšími pruhy a směrovými oblouky malých poloměrů. Rozšíření považuje za potřebné pro dosažení bezpečného bočního odstupu vozidel při míjení.

Rozšíření v oblouku je nákladné a dosažený efekt je u nízkých hodnot rozšíření minimální. Jako minimální hodnota rozšíření se doporučuje 0,6m, nižší hodnoty není třeba brát v úvahu. (1)

Šířka stopy vozidla (U) projíždějícího oblouk nebo odbočujícího vozidla je známa jako vlečná křivka. Jedná se o součet šířky stopy vozidla v přímé (u) a hodnoty offtrackingu. Šířka stopy vozidla (U) se spočte dle Rovnice 4 (1)

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum L_i^2}$$

Rovnice 4 - Výpočet šířky stopy vozidla v oblouku dle AASHTO

U	šířka stopy vozidla v oblouku [m]
u	šířka stopy vozidla v přímé [m]
R	poloměr oblouku [m]
L_i	rozvor návrhového vozidla [m]

Protože předpis požaduje dosažení stejných podmínek při průjezdu směrovým obloukem jako při průjezdu přímým úsekem, spočte se potřebná velikost rozšíření dle Rovnice 5

$$w = W_c - W_n$$

Rovnice 5 - Výpočet požadované velikosti rozšíření dle AASHTO

w	rozšíření v oblouku [m]
W_c	šířka stopy vozidla v oblouku [m]
W_n	šířka stopy vozidla v přímé [m]

Šířka stopy vozidla v oblouku se pak spočte dle Rovnice 6

$$W_c = N(U + C) + (N - 1)F_A + Z$$

Rovnice 6 - Výpočet šířky stopy vozidla dle AASHTO

N	počet pruhů [-]
U	šířka stopy vozidla v oblouku [m]
C	boční odstup [m]
F_A	šířka předního převisu vozidla ve vnitřním pruhu [m]
Z	rezerva [m]

Výsledné hodnoty rozšíření jsou zaokrouhleny a tabelizovány, viz *Tabulka 7 - Hodnoty rozšíření ve směrovém oblouku dle AASHTO*

Radius of curve (m)	Metric																	
	Roadway width = 7.2 m						Roadway width = 6.6 m						Roadway width = 6.0 m					
	Design Speed (km/h)						Design Speed (km/h)						Design Speed (km/h)					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1.0	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1.0	1.0			1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2.0				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2.0	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2.0					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2.0						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

Notes: Values shown are for WB-15 design vehicle and represent widening in meters. For other design vehicles, use adjustments in Exhibit 3-52.
Values less than 0.6 m may be disregarded.
For 3-lane roadways, multiply above values by 1.5.
For 4-lane roadways, multiply above values by 2.

Tabulka 7 - Hodnoty rozšíření ve směrovém oblouku dle AASHTO

Komentář:

Většina zkoumaných zahraničních předpisů v případě rozšíření ve směrovém oblouku přímo vychází z návrhového vozidla a snaží se tak optimalizovat návrh dopravních staveb. Některé předpisy také zohledňují bezpečnostní odstup přímo ve výpočtu rozšíření. Všechny výše uvedené předpisy (včetně českých) doporučují pro ověření správnosti návrhu stavby pomocí SW simulace průjezdu vozidla ve formě vlečné křivky. Zajímavý je rakouský předpis RVS (10), který detailně popisuje geometrický tvar úrovnových křižovatek, viz Obrázek 3.

Hlavní rozdíl mezi českými a zahraničními předpisy spočívá v možnosti individuálního posouzení daného směrového motivu a návrhového vozidla. České předpisy definují rozšíření pro největší vozidlo a kategorii, což může být neekonomické.

3. CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je odpovědět na otázku, zda je návrh rozšíření vozovek ve směrovém oblouku dle českých předpisů vhodným řešením detailů dopravních staveb. V zahraničí, a stále častěji také v ČR, se využívá znalosti vlečné křivky vozidla jako klíčového prvku pro návrh a ověření průjezdnosti daného směrového motivu. Tento nový prvek umožňuje přesněji definovat tvar a detaily dopravních staveb, na druhou stranu ale klade nové nároky na projektanty, kteří s tímto způsobem návrhu dosud nemají dostatek zkušeností.

Vlečná křivka je generována simulačním programem; z dokumentace k programům však není jasné, jakým způsobem program pracuje, zda simulovaná křivka odpovídá zadanému vozidlu, nebo obsahuje rezervu.

Dílním cílem práce je tedy odpovědět na tyto otázky:

- jsou mezi jednotlivými simulačními SW rozdíly?
- nakolik přesně odpovídá simulovaná vlečná křivka vlečné křivce reálného vozidla?
- jakým způsobem vlečné křivky správně aplikovat?

Pro odpověď na tyto otázky je třeba se blíže zaměřit na teorii pohybu vozidla po komunikaci. Pochopit zákonitosti a způsob, jakým se vozidlo pohybuje, nám pomůže identifikovat možná problémová místa návrhu. Rozbor a určení klíčových parametrů jsou rovněž důležité pro porovnání výstupů různých simulačních programů. Šířka vlečné křivky je vázaná na druh vozidla a jeho konfiguraci. Určujícím prvkem je zde *offtracking*, veličina, která se podílí na celkové šířce vlečné křivky. V českém prostředí není tento parametr příliš známý, i když se jedná o jeden ze základních prvků definujících potřebné rozšíření.

Neméně důležitou otázkou je také vztah mezi jednotlivými návrhovými prvky a trajektorií pohybu vozidla. Zkoumaným parametrem je také vrcholový úhel směrového oblouku a jeho vliv na šířku vlečné křivky. Z TP171 (3) i ze simulovaných křivek je patrné, že šířka vlečné křivky vzrůstá s velikostí vrcholového úhlu směrového oblouku. Na základě tohoto zjištění je možné předpokládat, že pro směrové oblouky s malými hodnotami vrcholového úhlu rozšíření nemusí být potřebné.

Důležitým parametrem je rychlost vozidla při průjezdu směrovým obloukem. Rychlost je jedním z parametrů, které je možné zadat do simulačních programů. Zda a jakým způsobem ovlivňuje rychlost vozidla šířku a tvar vlečné křivky je důležitou otázkou pro správný návrh dopravních staveb.

Přestože české i zahraniční předpisy doporučují využití programových prostředků, není zřejmé, nakolik se vzájemně liší vlečná křivka, zadaná do různých programů se stejnými vstupními parametry. Situace je o to komplikovanější, že u každého jednotlivého programu lze pomocí různých nastavení dosáhnout na stejném směrovém motivu různých výsledků. Na trhu je v současnosti několik programů různých firem. Každý program přistupuje k simulaci mírně

odlišně, zejména co se týká nastavení vstupních parametrů. Samotné vstupy do programů jsou omezeny na typ vozidla, trajektorii trasy a definované manévry. Dále je možné nastavení rychlosti průjezdu, úhlu zatačení, volba mezi průjezdem definovanou trajektorií, nebo vedením vozidla „point-to-point“. Pro stejný směrový motiv tak lze získat různé vlečné křivky.

Protože simulační programy pracují s teoretickými vozidly, důležitou součástí práce je ověření rozdílů mezi vlečnou křivkou reálného vozidla a vozidla normového. Kategorie vozidel a jejich rozměry definuje předpis (3). Tato vozidla reprezentují největší přípustná vozidla své třídy včetně jejich manévrovacích možností. Reálná vozidla se pak mírně liší a oproti normovému vozidlu mohou mít určité rezervy.

Součástí práce je proto také zaměření vlečné křivky reálného vozidla, následné vyhodnocení parametrů a porovnání se simulovanými vlečnými křivkami. Hodnoty získané zaměřením vlečné křivky reálného vozidla jsou porovnány dvěma způsoby:

- s teoretickými (výpočtovými) hodnotami vlečných křivek
- se simulovanými vlečnými křivkami

Na základě výše uvedených rozborů je zpracováno doporučení možné úpravy normových předpisů spolu s doporučeními pro aplikaci vlečných křivek v projekční praxi.

Postup, směřující k dosažení cílů práce je možné podrobně rozčlenit do následujících bodů:

1. Rešerše existující literatury
2. Rozbor pohybu vozidla
3. Rozbor vzájemných vztahů vstupních parametrů
4. Měření a jeho vyhodnocení
5. Zpracování simulace
6. Porovnání měřených a simulovaných vlečných křivek
7. Návrh doporučení na úpravu normových předpisů

4. TERMÍNY A DEFINICE

Trajektorie vozidla – geometrická čára prostorem, kterou vozidlo, respektive libovolný bod na vozidle při pohybu opisuje. Jedná se tedy o množinu všech poloh dané bodu, v nichž se může v různých časových okamžicích nacházet.

Vlečná křivka – plocha ohraničená obalovými křivkami, které vyplývají ze směrodatného vnějšího obrysu vozidla a polohy náprav. Musí se vejít do jízdního pruhu, tj. po vnitřní hranu vodící čáry, pokud není vodící čára, tak po hranu zpevnění/obrubu.

Vlečná plocha – přesnější, avšak nepoužívaný termín pro vlečnou křivku.

Rozšíření v oblouku – rozšíření jízdního pruhu vyplývající z vlečné křivky vozidla při průjezdu směrovým obloukem.

Obalová křivka – čára spojující směrodatný vnější obrys pohybujícího se vozidla.

Offtracking – chování vozidla při průjezdu směrovým obloukem, kdy střed první nápravy vozidla opisuje křivku jiného poloměru než střed poslední nápravy.

Bezpečnostní odstup – nezbytný bezpečnostní prostor mezi skladebními prvky různých druhů navzájem, mezi protisměrnými prvky, nebo mezi skladebními prvky a pevnou překážkou nebo zvýšenou obrubou; pro potřeby rozšíření jízdních pruhů a aplikaci vlečných křivek vozidel se jedná o toleranci při průjezdu vlečnou křivkou, která zahrnuje „boční pohybovou vůli při jízdě vozidla“, což je prostorová rezerva obrysu vozidla zahrnující vliv klopení vozovky a rozkmit konstrukce vozidla.

Středový úhel – úhel sevřený kolmicemi spuštěnými ze středu oblouku na strany směrového polygonu; je roven vnějšímu úhlu směrového polygonu

Mimořádný průjezd – průjezd nadrozměrného, či takového vozidla, které vyžaduje zvláštní organizaci dopravy, či dočasné úpravy stavebního charakteru.

Nároží, nárožní oblouk – plocha trojúhelníkového tvaru mezi obloukem okraje vozovky úrovnové křižovatky a vnějšími okraji přilehlých křižujících se jízdních pruhů, která umožňuje plynulé odbočení vpravo.

Rozvor náprav – vzdálenost os přední a zadní nápravy

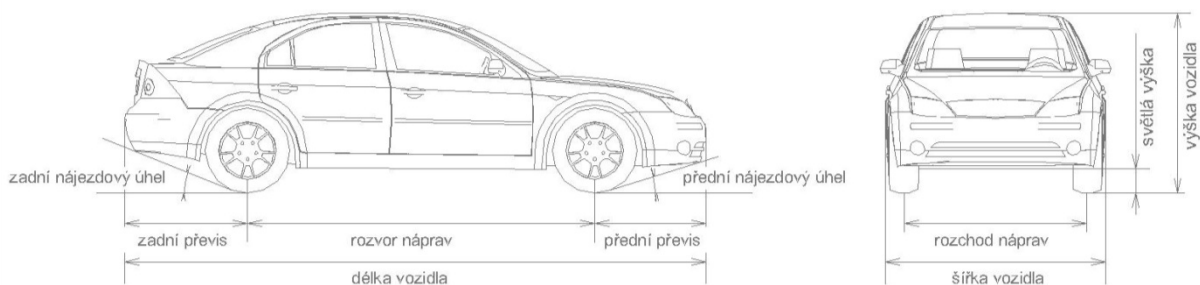
Rozchod nápravy – vzdálenost středů otisků pneumatik jedné nápravy. Rozchod přední a zadní nápravy vozidla se zpravidla liší.

Délka vozidla – vzdálenost svislých rovin, které se dotýkají předního a zadního konce karoserie vozidla.

Šířka vozidla – vzdálenost svislých rovin, které se dotýkají levého a pravého konce karoserie vozidla; do šířky se nezapočítávají zpětná zrcátka, obrysová a směrová světla, pružné části apod.

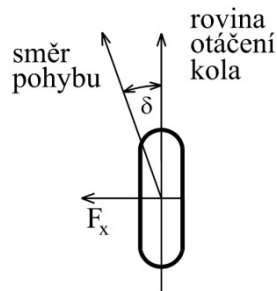
Výška vozidla – kolmá vzdálenost nejvyššího bodu karoserie vozidla od pojížděného povrchu. Výška vozidla se měří při pohotovostní hmotnosti automobilu; do výšky se nezapočítávají antény a pružné části.

Převis přední a zadní – vzdálenost od svislé roviny procházející osou kola k nejvzdálenějšímu bodu na přední/zadní části vozidla.



Obrázek 5 - Charakteristické rozměry vozidla

Směrová úchylka (slip angle) – úhel mezi rovinou otáčení kola a směrem pohybu vozidla vyvolávající vznik boční síly



Obrázek 6 - Směrová úchylka

Tahač – jednoprvkové vozidlo s vlastním pohonem, pevným podvozkem a nejméně dvěma nápravami, z nichž jedna je říditelná. Na rozdíl od nákladního automobilu tahač zpravidla nemá prostor pro vlastní náklad; nákladní automobil však může být použit jako tahač.

Návěs – jednoprvkové vozidlo s pevným podvozkem, kloubovým uchycením a nejméně jednou nápravou, zpravidla bez vlastního pohonu a řízení; návěs zpravidla slouží k přepravě nákladu.

Přívěs – jednoprvkové vozidlo zpravidla bez vlastního pohonu, s pevným podvozkem a nejméně dvěma nápravami; první náprava zpravidla bývá říditelná; přívěs zpravidla slouží k přepravě nákladu.

Přívěsný vozík – jednoprvkové vozidlo zpravidla bez vlastního pohonu, s pevným podvozkem a jednou nápravou; přívěsný vozík zpravidla slouží k přepravě nákladu.

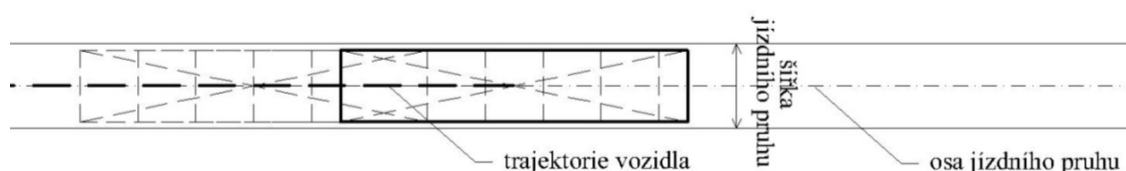
Návěsová souprava – víceprvkové vozidlo v uspořádání tahač-návěs s nejméně třemi nápravami. Návěs je k tahači připojen pomocí kloubem a hmotnost návěsu se přenáší na nápravy tahače.

Přívěsová souprava – víceprvkové vozidlo v uspořádání tahač – přívěs(y). Přívěs je k tahači (předcházejícímu přívěsu) připojen pomocí tažného zařízení, hmotnost přívěsu není přenášena na nápravy tahače.

5. TEORIE POHYBU VOZIDLA

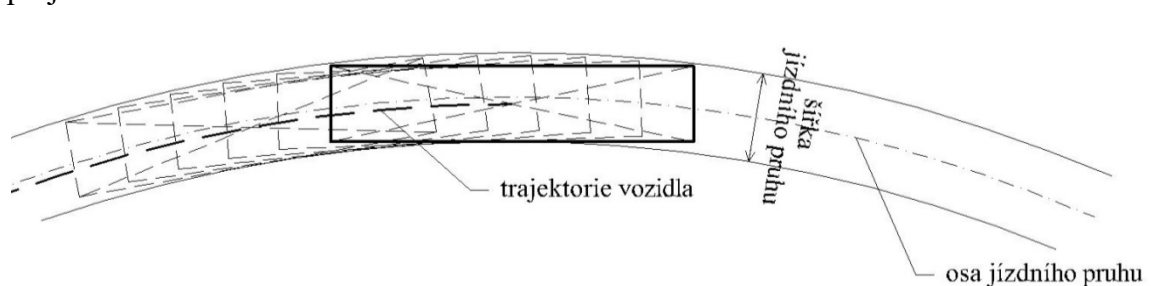
Pozemní komunikace jsou pomocí vodorovného dopravního značení, případně dělicích prvků rozčleněny na jednotlivé pruhy, které slouží pro lepší orientaci řidičů a pro usměrňování dopravy. Pro vozidlo tedy tvoří jízdní pruh určitý koridor, ve kterém se může pohybovat daným směrem. Šířka tohoto pruhu je dána kategorií pozemní komunikace a je uzpůsobena intenzitě a skladbě vozidel, které se po ní pohybují. Pro lepší pochopení problematiky se proto podíváme na polohu vozidla, jeho trajektorii a vztah trajektorie k ose jízdnímu pruhu.

Pokud vozidlo projíždí přímý úsek, je potřeba prostoru dána šířkou vozidla zvětšenou o hodnotu bezpečnostního odstupu. Vlečná křivka vozidla, tzn. plocha ohraničená obalovými křivkami, je rovna šířce vozidla samotného. Vozidlo jedoucí středem jízdního pruhu vytváří trajektorii totožnou s osou tohoto jízdního pruhu, viz *Obrázek 7*.



Obrázek 7 - Vlečná křivka vozidla v přímé

Pokud vozidlo projíždí směrovým obloukem, potřeba šířky jízdního pruhu narůstá, protože vozidlo vytváří sečnu projížděného oblouku. Aby se vozidlo udrželo ve vymezeném jízdním pruhu, nemůže projíždět oblouk po geometrické ose tohoto pruhu. Toto má za následek dostředný odsun trajektorie vozidla oproti ose jízdního pruhu, viz *Obrázek 8*. Velikost tohoto rozdílu je závislá na délce a konstrukčním uspořádání vozidla a poloměru projížděného oblouku.



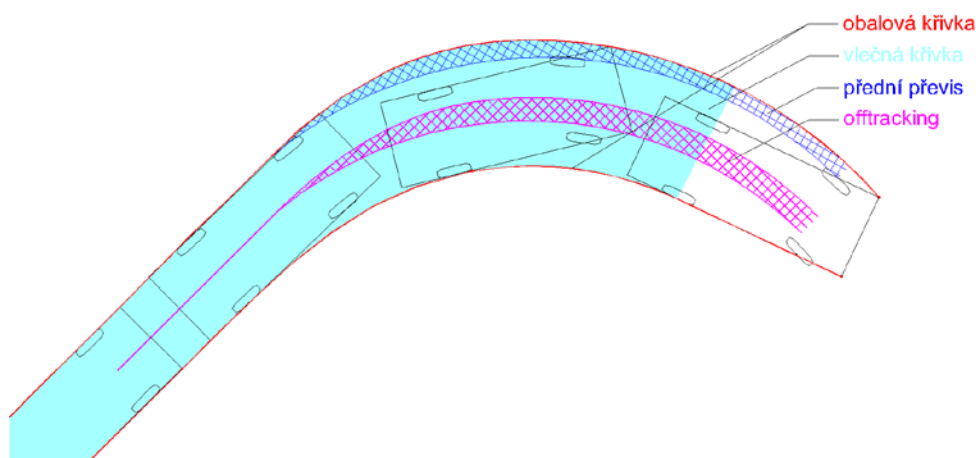
Obrázek 8 - Vlečná křivka vozidla ve směrovém oblouku

Výše uvedené obrázky v nejjednodušší formě vykreslují problematiku průjezdu vozidla směrovým obloukem. „Jedná se o statický model, který dobře dokumentuje rostoucí prostorové nároky v závislosti na klesajícím poloměru směrového oblouku. Model je postaven na obalové křivce objektu sledujícího danou dráhu; samotná obalová křivka je tvořena spojnicí obrysových bodů objektu za předpokladu nulové rychlosti“ (12) Pro vozidla jednoduché konstrukce (vozidlo bez diferenciálu) vykazuje tento model dostatečnou přesnost.

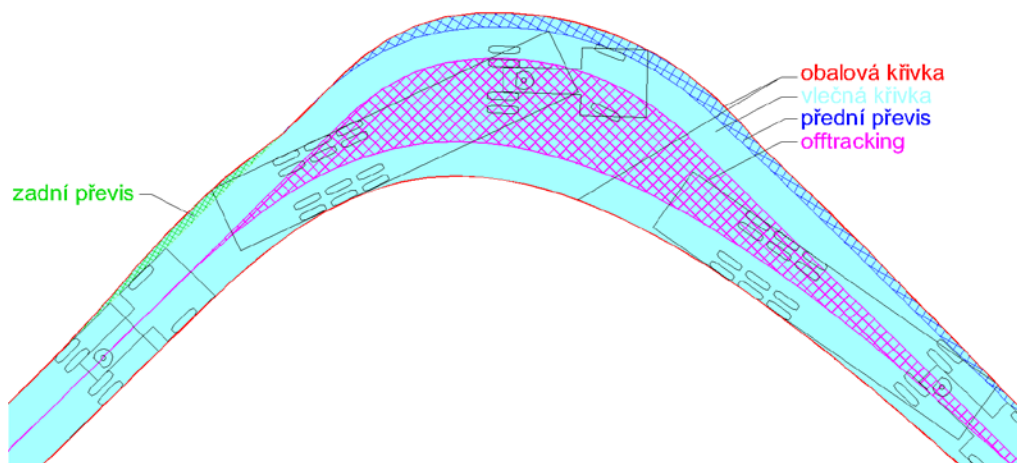
Pokud vozidlo nemá nápravové diferenciály, je při průjezdu směrovým obloukem zatěžováno smýkáním, což je pro silniční vozidla nevhodné a takováto konstrukce vozidel není používána.

Mezinápravový diferenciál tedy odstraňuje problém smýkání vozidla při průjezdu směrovým obloukem, ale vozidlo se chová jinak, než předpokládá ilustrace na *Obrázku 8*. Rozšíření vlečné křivky není tvořeno pouze odsunem trajektorie, ale také konstrukčním uspořádáním vozidla (přední a zadní převis) a dále jevem zvaným offtracking, viz *Obrázek 9*.

Zejména pro směrové oblouky malých poloměrů při průjezdu vozidla typu tahač-návěs/přívěs je model dle *Obrázku 8* obtížně použitelný. Tvar trajektorie a vlečné křivky návěsové soupravy při průjezdu směrovým obloukem je patrný z *Obrázku 10*. Jak je z obrázku zřejmé, vnitřní a vnější obalová křivka se mezi sebou výrazně liší a netvoří již soustředné křivky blízké kružnici jako u osobního automobilu. Zejména vnitřní obalová křivka odpovídá kružnicovému oblouku jen na velmi malé části. Je tedy třeba blíže rozebrat problematiku chování vozidla při průjezdu směrovým obloukem.



Obrázek 9 – Vlečná křivka osobního automobilu

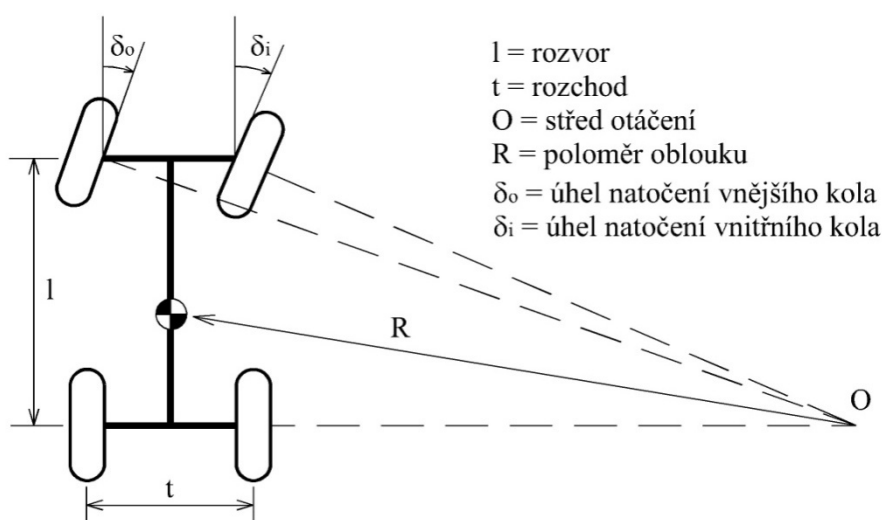


Obrázek 10 - Vlečná křivka návěsové soupravy

5.1 Offtracking

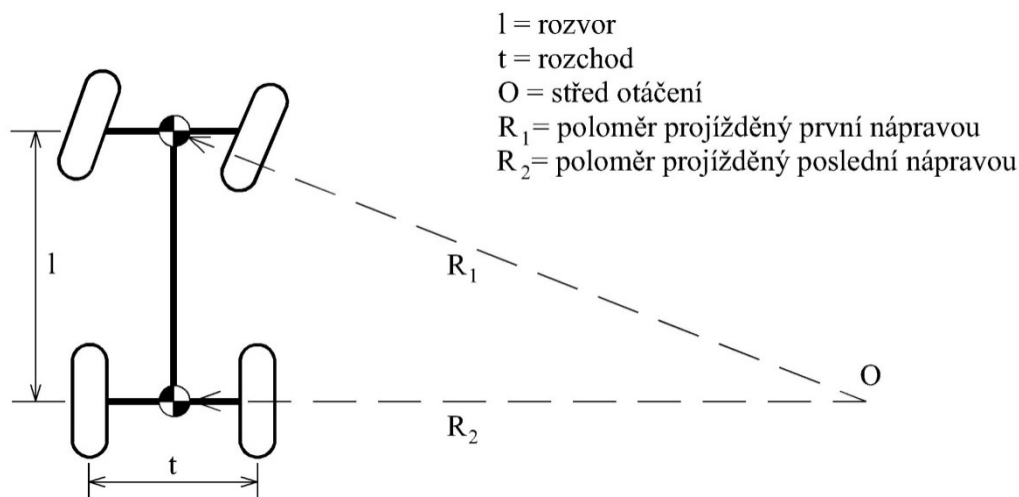
Jak je patrné z předchozí kapitoly, při průjezdu vozidla směrovým obloukem dochází k odsunu trajektorie vozidla vůči ose jízdního pruhu, tzn. ke změně poloměru, kterým vozidlo směrový oblouk projíždí. Podívejme se tedy podrobněji, jak se chová vozidlo při průjezdu směrovým obloukem.

„Prvním krokem k porozumění zatáčení vozidla je analýza chování vozidla při nízkorychlostním otáčení. Při nízkých rychlostech (např. parkování) pneumatiky nevyvíjí boční síly. Odvalují se bez směrové úchylky (slip angle) a vozidlo musí provádět otáčení dle Obrázku 11. Pokud zadní kola nemají směrovou úchylku, střed otáčení musí ležet na průmětu zadní nápravy. Rovněž kolmice z každého z předních kol by měla procházet stejným bodem (střed otáčení). Pokud neprochází stejným bodem, přední kola spolu při otáčení „bojují“ a jsou zatěžována smýkáním.“ (13)



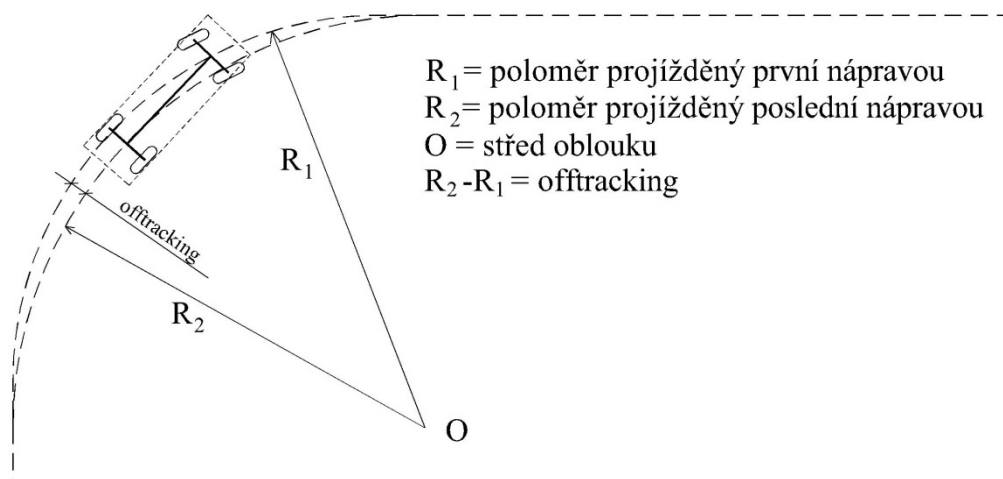
Obrázek 11 – Geometrie zatáčejícího vozidla

Řídící náprava tedy projíždí směrový oblouk jiným poloměrem, než zadní náprava. Na obrázku je projížděný poloměr směrového oblouku vztažený k těžišti vozidla, obdobně jako u Obrázku 8. Trajektorie těžiště vozidla však nevystihuje skutečné chování vozidla věrně. Pro pochopení chování vozidla jsou pro nás však zajímavější poloměry jednotlivých náprav, zejména první a poslední, ze kterých můžeme lépe odvodit potřebné rozšíření oblouku, viz Obrázek 12.



Obrázek 12 – Sledované poloměry otáčení

Protože střed otáčení (směrového oblouku) je tentýž, trajektorie přední a zadní nápravy při průjezdu směrovým obloukem tvoří soustředné křivky. Nájezdová a výjezdová tečna směrového oblouku jsou stejné, průjezd vozidla směrovým obloukem tedy vypadá jako na Obrázku 13.



Obrázek 13 - Offtracking

V české literatuře nemá termín offtracking žádný ekvivalent, termín lze volně přeložit jako „vybočení“. Tento jev je vlastní všem dvou a vícenápravovým vozidlům s pevným podvozkem. Hodnota offtrackingu, tj. rozdíl poloměrů první a poslední nápravy, je výchozím parametrem pro stanovení tvaru a šířky vlečné křivky. Jak je patrné z Obrázku 13, velikost offtrackingu není konstantní.

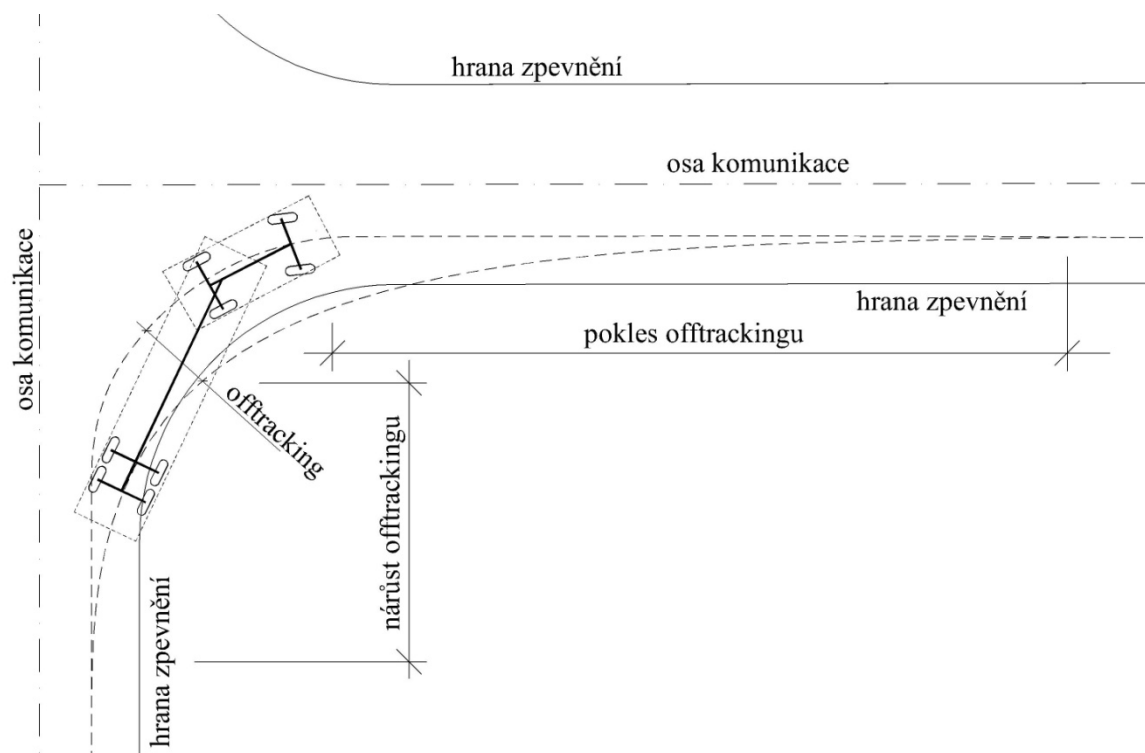
„Offtracking postupně narůstá s tím, jak vozidlo vjíždí do oblouku a pokud je oblouk dostatečně dlouhý, dosáhne stavu, který se nazývá plně rozvinutý offtracking. Od tohoto bodu offtracking již dále neroste...“ (14)

Výše popsané chování platí pro samostatná vozidla. U návěsových a přívěsových souprav je situace složitější – důvod leží částečně ve větší délce soupravy, ale také v odlišném konstrukčním uspořádání. Výrazněji se zde také projevuje vliv poloměru projížděného oblouku.

U směrových oblouků poloměrů větších než 50 m se souprava chová obdobně jako samostatné vozidlo, kdy zadní nápravy vozidla projíždí daný oblouk jiným poloměrem, ale obě trajektorie (první a poslední nápravy) jsou stále přibližně symetrické a soustředné.

U směrových oblouků poloměrů menších než 50 m se již výrazně projevuje odlišné chování zadních náprav soupravy. Kloub, či závěsný bod, kterým je návěs či přívěs připojen násobí posun středu otáčení oproti geometrickému středu projížděného oblouku, což spolu s jeho pohybem vyvolává deformaci trajektorie a vytváří charakteristické asymetrické srpkovité rozšíření. Trajektorii poslední nápravy tedy netvoří prostý oblouk, ale asymetrická složená křivka proměnného poloměru, viz *Obrázek 14*.

V praxi tedy při průjezdu obloukem dochází ke kolizi vnitřních kol návěsu s hranou zpevnění projížděného oblouku, pokud řidič nezohlední toto chování nadjetím si. Z *Obrázku 14* je také patrná asymetričnost trajektorie poslední nápravy. Nárůst velikosti offtrackingu je výrazně rychlejší, než jeho pokles. Toto chování má za následek potřebu asymetrického návrhu nároží úrovnových křižovatek, což české předpisy nezohledňují.



Obrázek 14 – Návěsová souprava při průjezdu směrovým obloukem malého poloměru

Protože hodnota offtrackingu je proměnná, pro lepší orientaci je třeba popsat chování vozidla v různých situacích. Offtracking můžeme rozdělit dle rychlosti průjezdu směrovým obloukem (15) a na základě konstrukce vozidla, která výrazně ovlivňuje průběh offtrackingu.(16)

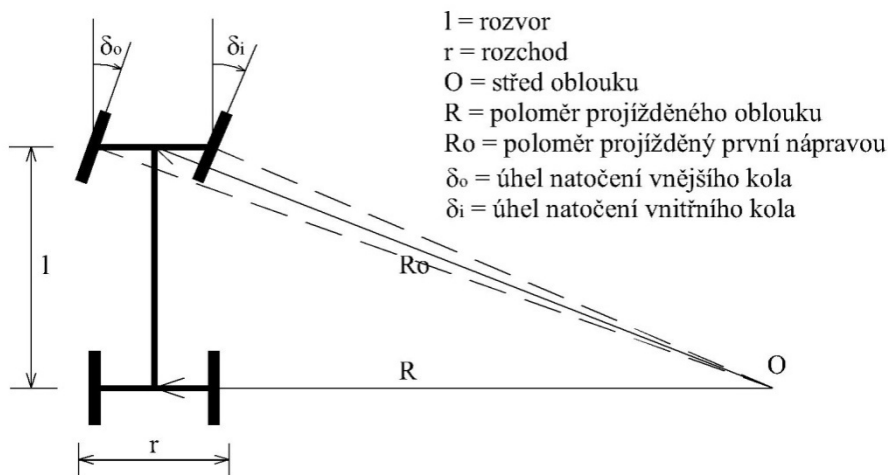
V případě nízkorychlostního offtrackingu je trajektorie náprav podobná jako v případě nedotáčivého vozidla – první náprava projíždí směrový oblouk větším poloměrem, než náprava poslední. V případě vysokorychlostního offtrackingu nastává opačná situace a trajektorie náprav odpovídá přetáčivému vozidlu. I když je projev offtrackingu a přetáčivosti/nedotáčivosti z hlediska trajektorie náprav stejný, nelze je zaměňovat, protože každý vychází z jiných fyzikálních principů.

5.1.1 Nízkorychlostní offtracking – samostatné vozidlo

Při malých rychlostech, např. parkování a popojíždění, kdy nedochází k významnému rozvoji bočních (laterálních) sil při pohybu kola po vozovce je možné průjezd obloukem považovat za statický.

V takovém případě je offtracking „čistě geometrický jev, jehož přibližnou hodnotu lze spočítat použitím Pythagorovy věty a součtu čtverců rozvorů“ (1)

Hodnotu offtrackingu spočteme dle Rovnice 7. (16)



Obrázek 15 – Geometrie průjezdu směrovým obloukem u jednoduchého vozidla

$$OT_{max} = R_0 - \sqrt{R^2 - \sum l^2}$$

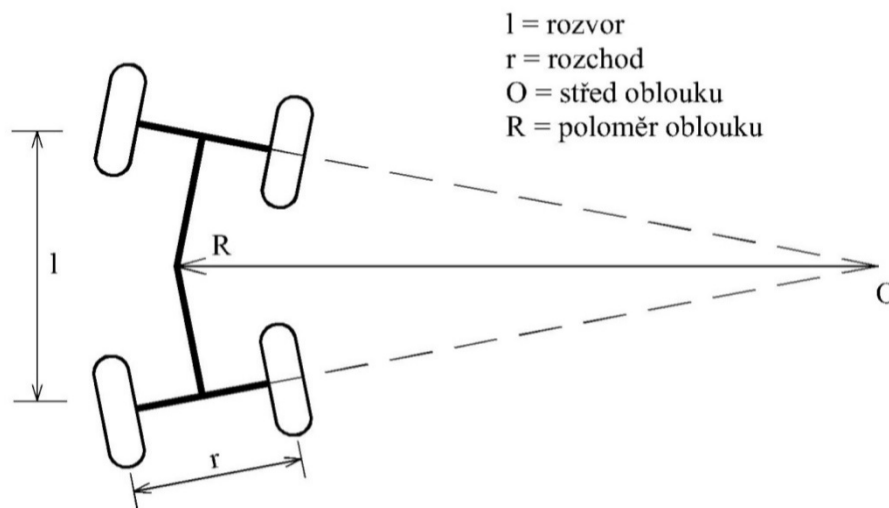
Rovnice 7 - Výpočet offtrackingu

OT_{max}	maximální offtracking [m]
R_0	poloměr trajektorie středu první nápravy [m]
R	poloměr trajektorie středu poslední nápravy [m]
l	rozvor [m]

Obecně lze říci, že každá následující náprava projíždí oblouk větším poloměrem než ta předchozí, viz *Obrázek 13*.

Je tedy zřejmé, že hodnota offtrackingu, narůstá spolu s délkou rozvoru vozidla. Z tohoto faktu vyplývá možnost redukce velikosti offtrackingu umístěním náprav co nejbližší k sobě ve středu vozidla. Takovéto řešení minimalizuje hodnotu offtrackingu, avšak neodstraňuje jeho příčinu, tj. rozdílné poloměry s jakými projíždí jednotlivé nápravy směrový oblouk. Konstrukční uspořádání tohoto typu je však nevýhodné pro stabilitu vozidla a jeho ovládání. V praxi je proto využíváno pro přívěsné vozíky či přívěsy.

Další možností, jak omezit offtracking je vložení kloubu, který umožní, aby prodloužení osy obou (všech) náprav směřovalo do geometrického středu projížděného oblouku, viz *Obrázek 16*. Tento způsob zcela eliminuje vznik offtrackingu, protože každá náprava projíždí směrový oblouk shodným poloměrem. Z hlediska konstrukce vozidla je však takové řešení technicky náročné a nevýhodné pro využití vnitřního prostoru vozidla. V praxi je proto využíváno pro speciální stroje a mechanismy.

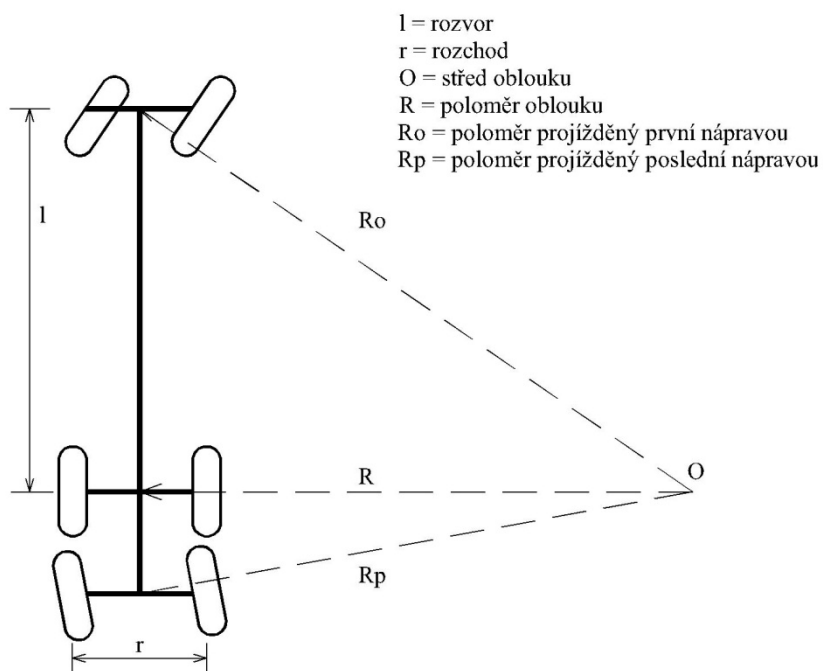


Obrázek 16 - Průjezd vozidla směrovým obloukem; kloubový podvozek

V posledních letech se zejména u autobusů objevuje řešení pomocí řízené poslední nápravy. Velká délka rozvoru výrazně ovlivňuje hodnotu offtrackingu i manévrovatelnost vozidla. Řiditelná zadní náprava efektivně zkracuje délku rozvoru a napomáhá tak snižovat hodnotu offtrackingu, viz *Obrázek 17*.

U osobních automobilů se tato technologie pozvolna prosazuje od 90. let. Řízení všech kol zejména v kombinaci s pohonem všech kol přináší množství výhod z hlediska stability a ovladatelnosti vozidla.

Průkopníkem jsou zejména japonské firmy, v západních zemích ani v USA se toto řešení příliš neprosadilo. Důvodem je finanční náročnost, která i přes nesporné výhody takového systému řízení není konkurenceschopná elektronickým zařízením a asistenčním systémům.

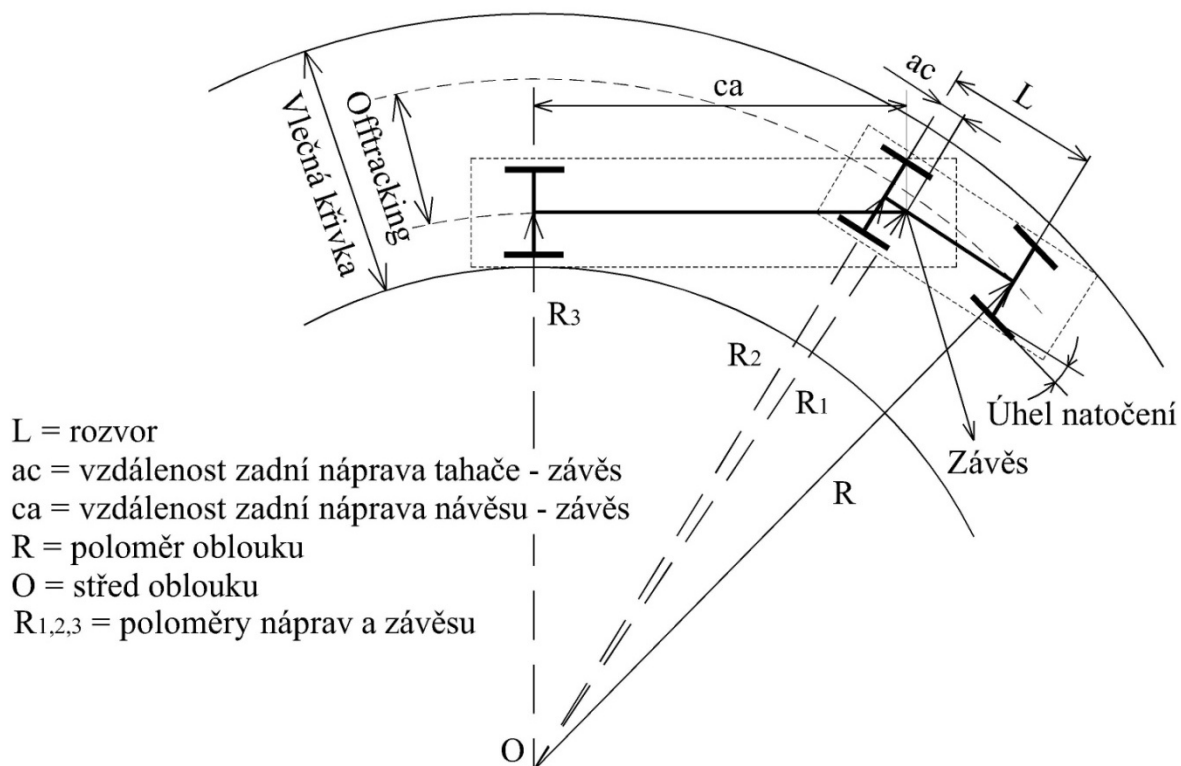


Obrázek 17 - Průjezd vozidla směrovým obloukem; říditelná zadní náprava

5.1.2 Nízkokorychlostní offtracking - souprava

Pro návěsovou soupravu pak lze hodnotu offtrackingu spočítat obdobně jako pro samostatné vozidlo, je však třeba vzít do úvahy jiné uspořádání vozidla, viz *Obrázek 18*.

Jak je však patrné z *Obrázku 14* průběh hodnot offtrackingu má jiné rozložení než v případě samostatného vozidla. Pro směrové oblouky větších poloměrů lze přibližnou hodnotu offtrackingu stanovit dle Rovnice 8. (16)



Obrázek 18 - Geometrie průjezdu obloukem u vozidla s návěsem

Velikost offtrackingu opět spočteme jako rozdíl poloměrů dle Rovnice 8

$$OT_{\max} = R - R_3$$

Rovnice 8 - Výpočet offtrackingu u návěsové soupravy

Poloměr zadní nápravy tahače R_2 spočteme dle Rovnice 9

$$R_2^2 = R^2 - L^2$$

Rovnice 9 - Výpočet poloměru zadní nápravy tahače

Obdobně spočteme poloměr závěsu R1 dle Rovnice 10

$$R_1^2 = R^2 - L^2 + ac^2$$

Rovnice 10 - Výpočet poloměru závěsu

A také poloměr zadní nápravy návěsu R3 dle Rovnice 11

$$R_3^2 = R^2 - L^2 + ac^2 - ca^2$$

Rovnice 11 - Výpočet poloměru zadní nápravy návěsu

Pokud tedy do Rovnice 8 dosadíme Rovnici 11 získáváme Rovnici 12

$$OT_{\max} = R - \sqrt{R^2 - (L^2 - ac^2 + ca^2)}$$

Rovnice 12 - Výpočet hodnoty offtrackingu

Když vztah $(L^2 - ac^2 + ca^2)$ zobecníme jako $\sum L^2$, získáváme Rovnici 7

$$OT_{\max} = R - \sqrt{R_3^2 - \sum L^2}$$

OT_{\max}	maximální offtracking [m]
R	poloměr trajektorie středu první nápravy [m]
L	rozvor tahače [m]
ac	vzdálenost zadní nápravy tahače a závěsu [m]
ca	vzdálenost zadní nápravy návěsu a závěsu [m]

Jednou z možností, jak snížit hodnotu offtrackingu je zkrácení rozvoru vozidla. Jako příklad uvažujme dvě vozidla stejné délky mezi první a poslední nápravou. První vozidlo má pouze dvě nápravy, druhé se skládá z velkého počtu jednotlivých vozíků, jejichž rozvor se blíží nule. Dvounápravové vozidlo bude mít hodnotu offtrackingu dle Rovnice 13: (16)

$$OT1_{\max} = R - \sqrt{R^2 - \sum L^2}$$

Rovnice 13 - Offtracking jednoduché vozidlo

Druhé vozidlo nebude mít teoreticky žádný offtracking, protože hodnota rozvoru se blíží nule, viz Rovnice 14: (16)

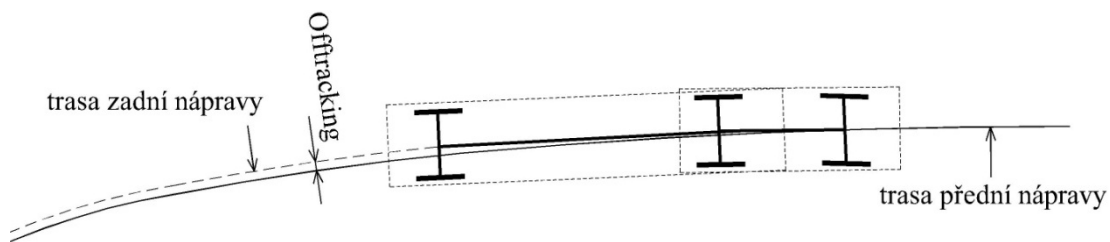
$$OT2_{\max} = R - \sqrt{R^2} = 0$$

Rovnice 14 - Offtracking složené vozidlo

V případech, kdy je to možné, je z hlediska manévrovatelnosti výhodnější víceprvková souprava než samostatné vozidlo větší délky.

5.1.3 Vysokorychlostní offtracking

Pokud vozidlo projíždí vyšší rychlostí obloukem většího poloměru, natočení řídicích kol je mnohem menší než v předešlém případě. Také zde dochází k offtrackingu, který má ale oproti nízkorychlostnímu opačný (odstředný) smysl. Vysokorychlostní offtracking je způsoben bočním zrychlením, které je konstrukčně redukováno klopením vozovky spolu s třením pneumatik vozidla a hodnota vysokorychlostního offtrackingu je proto mnohem nižší ve srovnání nízkorychlostnímu offtrackingu. Při vyšších rychlostech, kluzčím povrchu nebo nižší kvalitě pneumatik dochází k nárůstu této hodnoty a v závislosti na druhu vozidla dosahuje hodnot cca 0,5m, což je v toleranci bezpečnostního odstupu.



Obrázek 19 - Vysokorychlostní offtracking

Praktické pokusy byly prováděny v Kanadě (17) a na Novém Zélandu (15), kde je větší tlak na zvětšení maximální přípustné délky vozidla nebo soupravy. Pokusy byly prováděny při rychlostech 100km/h a poloměru oblouku 393,3m, kdy je dosaženo bočního zrychlení 0,2g. Toto zrychlení je považováno za limitní, z hlediska komfortu průjezdu obloukem.

Z prováděných pokusů dále vyplývá, že nízkorychlostní offtracking se projevuje do rychlostí 50-60 km/h, vysokorychlostní pak od této hranice nahoru. Výsledná hodnota offtrackingu je pak kombinací nízkorychlostního offtrackingu plynoucího z geometrie vozidla a vysokorychlostního offtrackingu plynoucího z bočních sil. Je zřejmé, že pro rychlosti 20-30 km/h je možné vysokorychlostní offtracking zanedbat a naopak. Pro rychlosti v rozpětí 50-70 km/h je třeba uvažovat vliv obou druhů offtrackingu.

5.1.4 Dynamická odezva řízení

Specifickým případem offtrackingu jsou dynamické jevy vyvolané manévrováním vozidla. Typickým příkladem je odbočování, kde tahač projíždí oblouk menší rychlostí a po jeho projetí již zrychluje. Tento manévr může vést k odstředivému vybočování návěsu, který projíždí stejný poloměr vyšší rychlostí. Dalším případem je rychlá změna jízdního pruhu (S-linie) kdy vlivem bočních sil dochází u zadní nápravy k výraznějšímu vybočení do strany. (15)

5.2 Výpočetní metody

Ačkoliv je efekt offtrackingu znám již od starověku, v silničním stavitelství se jeho zohlednění objevuje až po druhé světové válce. K rozvoji návrhu směrových oblouků na bázi offtrackingu a vlečných křivek dochází od 70 let 20. století. Trajektorie průjezdu byla zpočátku simulována na základě modelů vozidel, později na základě grafického a matematického modelování řešeného různými autory nebo institucemi. Níže uvedené metody ilustrují vývoj problematiky výpočtu offtrackingu; způsobů výpočtů je celá řada a jejich podrobný rozbor přesahuje rozsah práce. Některé národní předpisy implementují odvozené či jinak upravené rovnice pro výpočet potřebného rozšíření, viz kapitola 2.

Geometrická metoda – jedna z prvních metod, která je založena na velikosti vozidla, poloměrech otáčení a vzdálenostech mezi řídicí a taženou nápravou se spočte podle Rovnice 15. Tato metoda nezohledňuje dynamické efekty a je proto řazena mezi metody s nulovou rychlostí. (12)

$$\Delta = r_1 - \sqrt{[r_1^2 + k_0^2 - w^2 - w_t^2]}$$

Rovnice 15 - Geometrická metoda

r_1	poloměr zatáčení tahače [m]
k_0	vzdálenost čepu od zadní nápravy [m]
w	vzdálenost mezi přední a zadní nápravou tahače [m]
w_t	vzdálenost mezi čepem a zadní nápravou návěsu [m]

Jindrova metoda – byla vyvinuta pro kružnicové oblouky, do kterých vozidlo vjíždí i vyjíždí po tečně (ne po přechodnici). Rozšiřuje geometrickou metodu a zavádí bezrozměrný parametr $\lambda=L/R$ což je poměr mezinápravové délky a poloměru zatáčení. Pro návěsovou soupravu pak zavádí ekvivalentní délku $\lambda = l_e/R$. (12)

$$l_e = \sqrt{w^2 + w_t^2 - k_0^2}$$

Rovnice 16 - Výpočet ekvivalentní délky jednoduchého vozidla

$$l_e = \sqrt{-k_0^2 + w^2 + w_2^2 - a_h^2 + h_t^2 + w_3^2}$$

Rovnice 17 - Výpočet ekvivalentní délky návěsově soupravy

- w_2 vzdálenost mezi čepem a zadní nápravou prvního přívěsu [m]
- a_h vzdálenost mezi zadní nápravou prvního přívěsu a čepem 2 přívěsu [m]
- h_t vzdálenost mezi čepem 2 přívěsu a jeho přední nápravou [m]
- w_3 vzdálenost mezi nápravami 2 přívěsu [m]

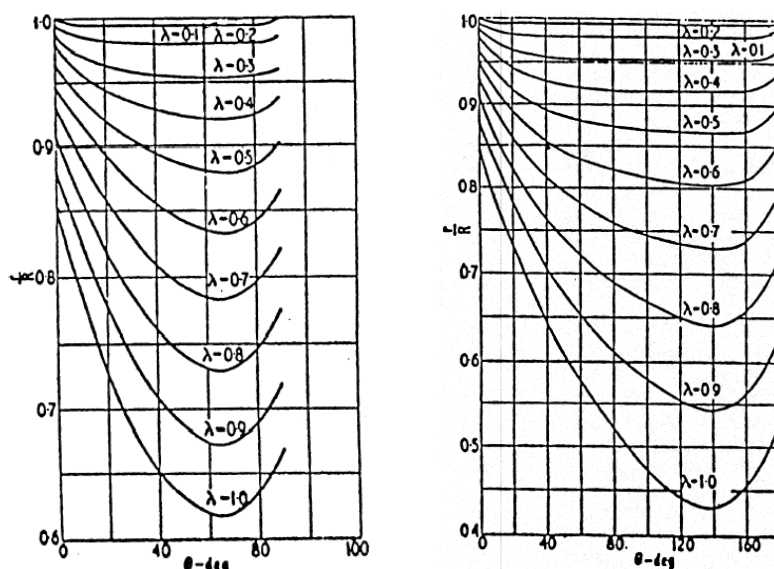
Ke spočtené hodnotě ekvivalentní délky se pak v grafu nalezne příslušná hodnota r/R , která je průsečíkem křivky λ a úhlu směrového oblouku, viz *Obrázek 20*. Offtracking (Δ) se pak spočte dle Rovnice 18.

$$\Delta = R \left(1 - \frac{r}{R} \right)$$

Rovnice 18 - Výpočet offtrackingu (Jindrova metoda)

- R poloměr projížděný řídicí (první) nápravou [m]
- r poloměr projížděný poslední nápravou [m]

Obdobně jako geometrická metoda využívá Jindrova metoda nulové rychlosti a uvažuje pouze s kružnicovými oblouky.



Obrázek 20 - Grafy pro stanovení hodnoty r/R pro 90° a 180°

Protože praktické zkušenosti a výzkum ukázaly, že hodnota offtrackingu je ovlivňována dynamickým chováním vozidla a jeho rychlostí, vytvořil Frederick Jindra další metodu zohledňující tyto aspekty.

Lineární analýza závislá na rychlosti (12) Tato metoda zohledňuje proměnný úhel mezi tahačem a přívěsem při průjezdu obloukem. Poměr mezi úhlem natočení řídicí nápravy a úhlem mezi tahačem a přívěsem může dosahovat 4 ustálených stavů v závislosti na nedotáčivosti/přetáčivosti tahače a přívěsu.

$$\delta = \frac{l_1}{r_1} + U \frac{V^2}{r_1 g}$$

Rovnice 19 - Výpočet úhlu natočení přední nápravy tahače

$$\Gamma = \frac{l_t}{r_1} + U_t \frac{V^2}{r_1 g}$$

Rovnice 20 - Výpočet úhlu mezi tahačem a přívěsem

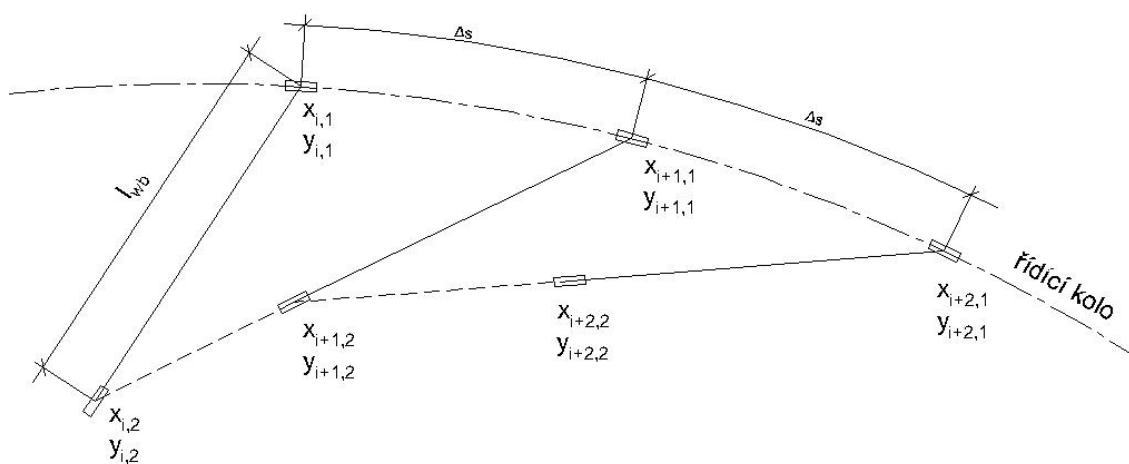
δ	úhel natočení přední nápravy tahače [m]
l_1	vzdálenost mezi přední a zadní nápravou tahače [m]
l_t	vzdálenost mezi přední a zadní nápravou přívěsu [m]
r_1	poloměr otáčení ve středu první nápravy [m]
V	rychlost vozidla [m/s]
Γ	úhel mezi tahačem a přívěsem [°]
U	nedotáčivost/přetáčivost tahače
U_t	nedotáčivost/přetáčivost přívěsu

$$\frac{\Gamma}{\delta} = \frac{\frac{l_t}{l_1} + U_t \left[\frac{V}{\sqrt{l_1 g}} \right]^2}{1 + U \left[\frac{V}{\sqrt{l_1 g}} \right]^2}$$

Rovnice 21 - Výpočet offtrackingu dle lineární analýzy v závislosti na rychlosti

Tato metoda byla základem pro další modely, nicméně s rozvojem počítačů se ukázalo jako efektivnější numerické modelování, protože i přes veškerou snahu uvedené rovnice v určitých situacích nepopisují chování vozidla zcela věrně.

Výpočetní model jízdního kola – se nazývá metoda používaná pro simulační programy (18). Model byl vybrán pro svoji dostatečnou přesnost při přípustně zjednodušeném popisu pohybu vozidla, což snižuje potřebný výpočetní čas. Pro stanovení samotné vlečné křivky je třeba zkombinovat v jednom profilu krajní pozici přední a zadní nápravy.



Obrázek 21 - Schéma výpočetního modelu jízdního kola

$$x_{i2} = \frac{(x_{i1} - x_{(i-1)2})}{\frac{(l_{i(i-1)} - l_{wb})}{l_{i(i-1)}}} + x_{(i-1)2}$$

$$y_{i2} = \frac{(y_{i1} - y_{(i-1)2})}{\frac{(l_{i(i-1)} - l_{wb})}{l_{i(i-1)}}} + y_{(i-1)2}$$

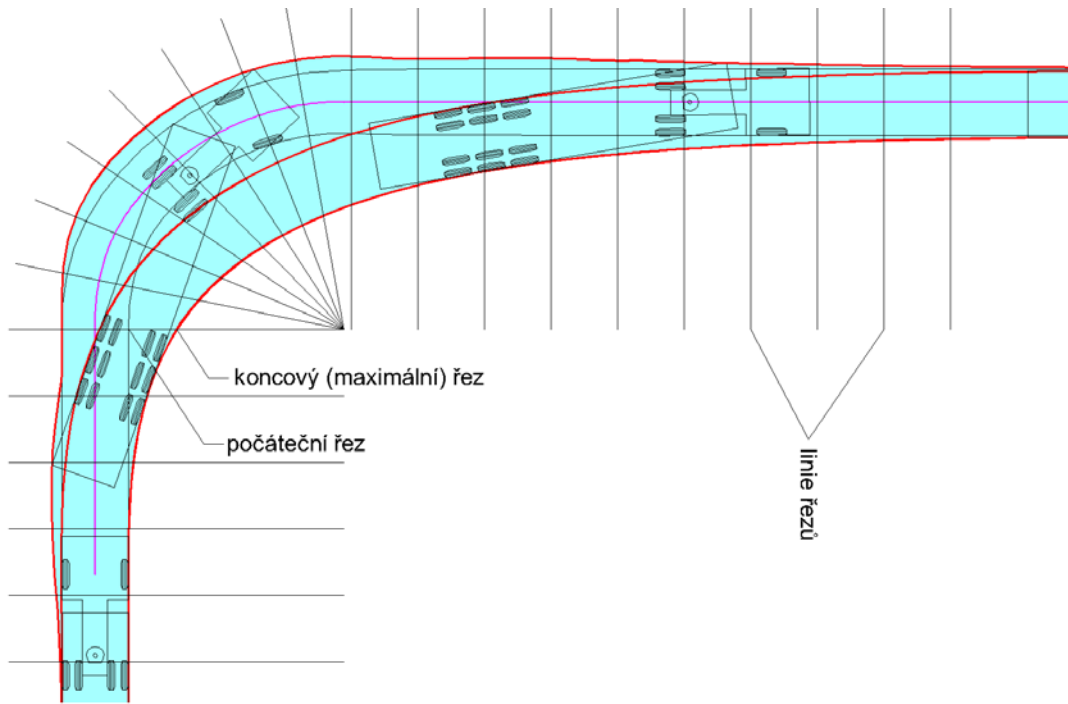
Rovnice 22 - Výpočet souřadnic zadní nápravy

- i i-tý výpočetní krok
- 1 geometrický střed přední nápravy nebo tažného bodu
- 2 geometrický střed zadní nápravy
- l_{wb} rozvor vozidla [m]

$$l_{i(i-1)} = \sqrt{[(x_{i1} - x_{(i-1)2})^2 + (y_{i1} - y_{(i-1)2})^2]}$$

Rovnice 23 - Výpočet vzdálenosti řídícího (tažného) bodu k poslední nápravě

Simulační program tedy počítá jednotlivé polohy vozidla a současně vytváří jednotlivé linie řezů, ve kterých kombinuje počáteční a koncový stav. Spojnice těchto řezů pak vytváří obalovou křivku, která definuje vlečnou křivku vozidla, viz Obrázek 22.



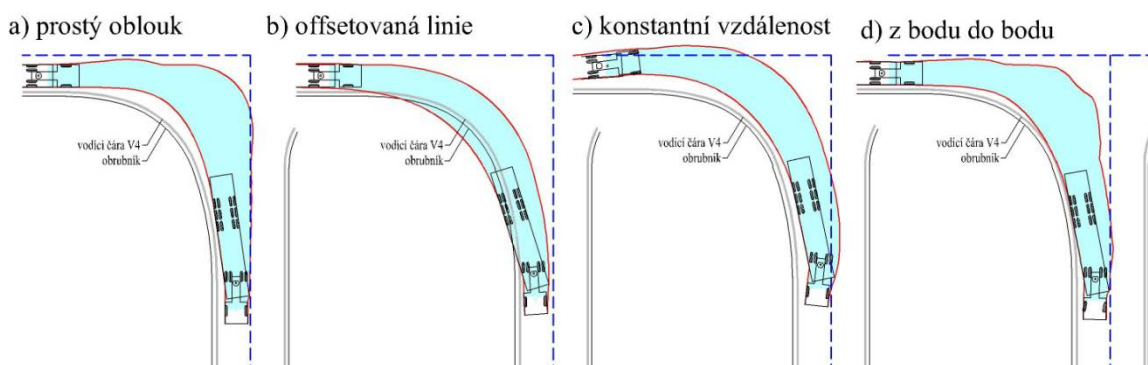
Obrázek 22 - Schéma tvorby modelu vlečné křivky

5.3 Simulační programy

Návrhový proces při použití TP 171 (3) znamená vytvoření návrhu dopravního řešení v počítači a následné přiložení příslušné vlečné křivky v papírové nebo elektronické podobě a ověření, zda je navržené řešení v pořádku. U komplikovanějších směrových motivů pak vzniká problém, jak tyto křivky správně zkombinovat. Pro dosažení optimálního výsledku je zapotřebí zpravidla několika iterací; jedná se tedy o zdlouhavý proces.

Simulační programy pro vlečné křivky mají nespornou výhodu v tom, že jsou interaktivní a pracují přímo v grafickém prostředí AutoCAD, případně MicroStation. Návrhový proces při použití simulačního programu znamená výběr požadovaného vozidla, definování trajektorie a spuštění simulace. Pro dosažení optimálního výsledku je stále potřeba několika iterací, jejich počet je však nižší než při použití TP 171 a výsledný návrh je přesnější.

Simulační programy však kromě nepopíratelných výhod kladou další nároky na projektanta. Protože program umožňuje různá nastavení, je třeba chápat a rozumět, co přesně která metoda umožňuje. Pro jeden směrový motiv lze získat různé vlečné křivky, viz *Obrázek 23*. Simulační program tedy slouží pouze jako pomůcka pro nalezení vhodného řešení, nikoliv jako průkaz správnosti řešení.



Obrázek 23 - Různá nastavení simulačního programu

AutoTURN

Tento program je jedním z prvních simulačních programů, v prostředí ČR je hojně rozšířen. Nabízí řešení průjezdnosti vozidel a složitých dopravních situací v intravilánu a extravilánu. Je určen pro vyhodnocení projektů s použitím normových nebo specializovaných vozidel pro všechny druhy projektů silnic, dálnic a místních komunikací. Novější verze programu umožňují i práci ve 3D.

Program implementuje databázi norem a směrnic pro definici minimálních poloměrů otáčení a tvorbu vlečných křivek pro jednotlivé státy včetně českých předpisů ČSN 736056 a TP 171. Nabízí databázi různých typů reálných vozidel, lze vytvářet vlastní typy vozidel a návěsů.

Vehicle Tracking

Program nabízí funkce pro navrhování dopravních staveb s využitím vlečných křivek vozidel ve 2D a 3D. Výhodou programu je jeho propojení s prostředím Civil 3D, což v některých případech usnadňuje projekční práce. Prostředí Civil 3D umožňuje tvorbu projektu ve 3D. V prostředí ČR však tento program není příliš rozšířen.

Program nabízí databázi různých typů reálných vozidel, lze vytvářet vlastní typy vozidel a návěsů. Program implementuje i české předpisy ČSN 736056 a TP 171.

Path planner

Program nabízí funkce pro navrhování dopravních staveb s využitím vlečných křivek vozidel ve 2D. Jeho vývoj byl ukončen a v současné době už není dostupný.

Program nabízí databázi různých typů reálných vozidel, nelze vytvářet vlastní typy vozidel a návěsů. České předpisy ČSN 736056 a TP 171 program neimplementuje.



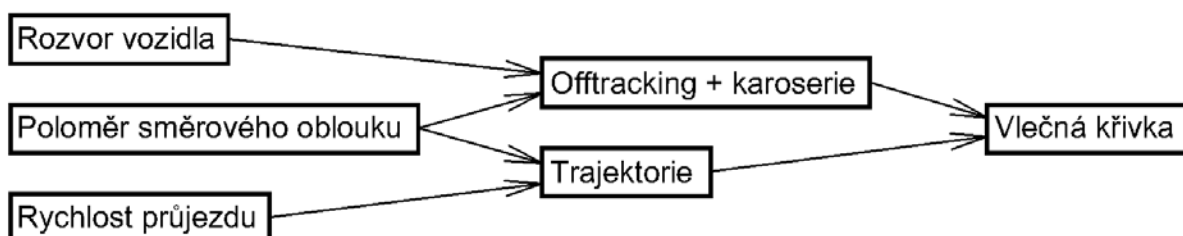
Obrázek 24 - AutoTURN, grafické prostředí

6. ROZBOR VZÁJEMNÝCH VZTAHŮ NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ

6.1 Analýza vzájemných vztahů

Je zřejmé, že znalost chování vozidla a vlečné křivky návrhového vozidla jsou z hlediska návrhu pozemní komunikace důležité nástroje. Vlečná křivka sama o sobě však nemá dostatečnou vypovídací schopnost a je třeba ji uvažovat v kontextu ostatních návrhových parametrů. Pro správný návrh je třeba chápat vzájemné vztahy a procesy, ke kterým dochází při průjezdu vozidla směrovým obloukem, mít na paměti možnosti a omezení vyplývající ze schopností řidičů, a těmto zákonitostem přizpůsobovat konstrukční řešení dopravních staveb již od samého počátku.

O vzájemných vztazích mezi jednotlivými činiteli dává přehled *Obrázek 25*.



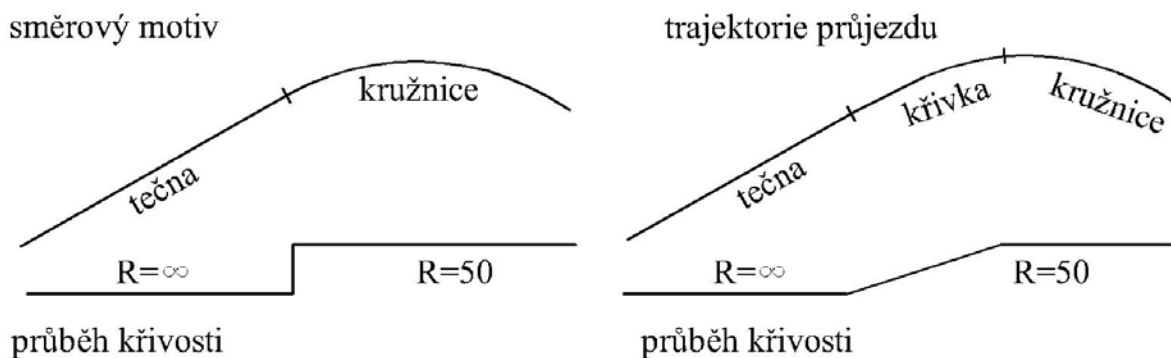
Obrázek 25 – Schéma vzájemných vztahů

6.1.1. Vztah vozidlo – rychlost – trajektorie

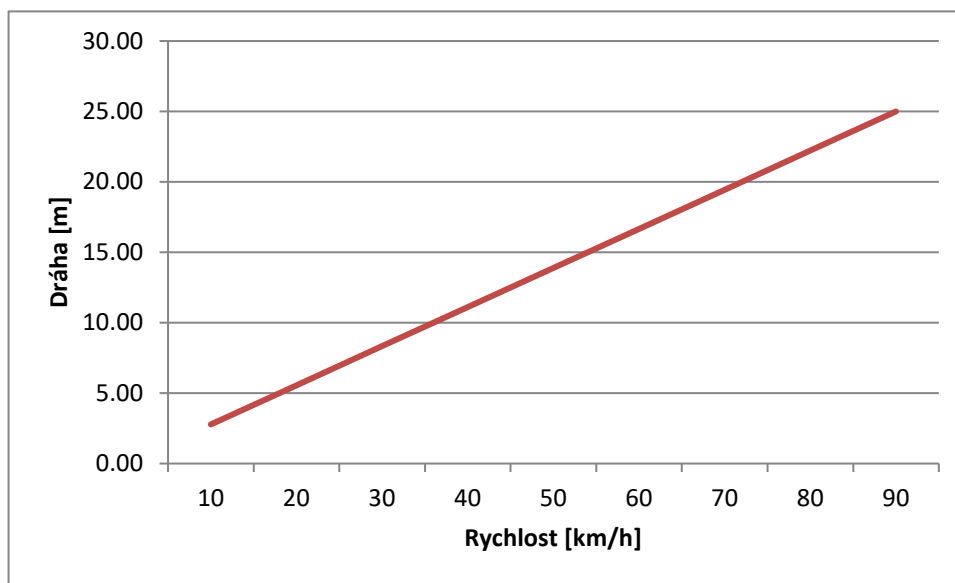
Rychlost, kterou vozidlo projíždí směrový oblouk, je jedním ze základních vstupních údajů pro návrh pozemních komunikací dle ČSN 73 6101 (4). Také většina zahraničních norem definuje minimální poloměry směrových oblouků právě na bázi rychlosti, přesněji přípustného bočního zrychlení. Takový přístup je racionální; je sice možné navrhnout a projet směrový oblouk malého poloměru vysokou rychlostí, ale přináší to řadu rizik a jen málo výhod.

Poloha trajektorie vozidla v přímé a ve směrovém oblouku je důležitá pro pochopení vzájemných vztahů vstupních parametrů, viz *Obrázek 7* a *Obrázek 8*. Rychlost průjezdu vozidla směrovým obloukem ovlivňuje tvar trajektorie a tím i na tvar vlečné křivky, viz *Obrázek 26*. Obzvláště zřetelně je tato problematika vidět u prostých kružnicových oblouků.

Pro natočení kol řídicí nápravy do potřebné pozice je potřebný čas Δt . Dráha ujetá v čase Δt je však závislá na rychlosti, viz *Tabulka 8* a *Graf 1*. Protože potřebný čas Δt i hodnotu offtrackingu můžeme považovat za konstantní, dochází ke zploštění trajektorie v oblasti vjezdu a výjezdu z oblouku. Přechodová část trajektorie také může být asymetrická.



Obrázek 26 - Porovnání směrového motivu a trajektorie průjezdu



Graf 1 – Závislost rychlosti a dráhy nutné pro dosažení plného offtrackingu

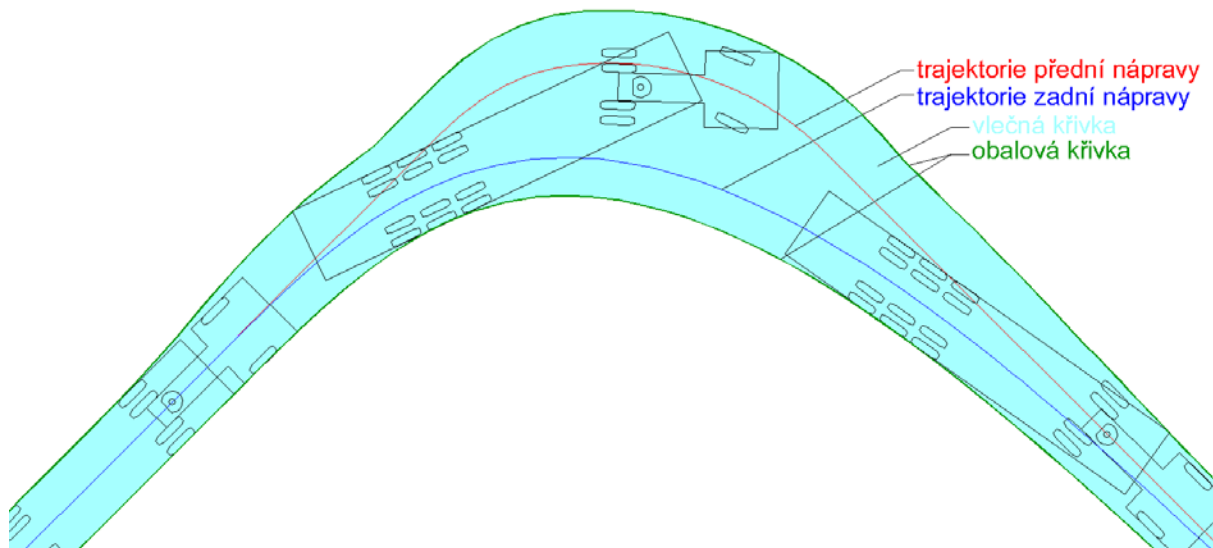
Rychlost [km/h]	Čas [sec]	Dráha [m]
10	1	2.78
20	1	5.56
30	1	8.33
40	1	11.11
50	1	13.89
60	1	16.67
70	1	19.44
80	1	22.22
90	1	25.00

Tabulka 8 - Závislost rychlosti a dráhy nutné pro dosažení plně rozvinutého offtrackingu

Výše popsané chování se projevuje nejvýrazněji u směrového motivu prostého kružnicového oblouku a tečny; tento motiv se však v dopravních stavbách z důvodu skokové změny křivosti využívá jen velmi málo. Běžně navrhované kružnicové oblouky s přechodnicemi svou délkou a postupnou změnou křivosti si vynucují vlastní trajektorii průjezdu danou stavebním uspořádáním a délka nárůstu offtrackingu odpovídá

délce přechodnice. Výjimku tvoří nárožní oblouky úroňových křižovatek, případně protisměrné oblouky u okružních křižovatek, kde se také v praxi nejčastěji setkáváme s poškozením zpevněné či nezpevněné části krajnice.

U návěsových/přívěsových souprav je situace obdobná, vlivem odlišného konstrukčního uspořádání vozidla spolu s větší délkou rozvoru dochází k výraznější deformaci trajektorie zadní nápravy, viz *Obrázek 27*.



Obrázek 27 - Trajektorie průjezdu směrovým obloukem; návěsová souprava

6.1.2. Vztah vozidlo – rychlost – offtracking

Jak vyplývá z Rovnice 7 a Obrázku 25, rychlost není veličinou, která ovlivňuje hodnotu offtrackingu. Hodnota offtrackingu je dána rozdílem poloměrů první a poslední nápravy, viz Obrázek 15. Za předpokladu hladkého průjezdu směrovým obloukem v nízkých rychlostech, kdy zadní kola nejsou smýkána, rychlost neovlivňuje hodnotu offtrackingu. Vyšší rychlost je v praxi možná pouze u směrových oblouků větších poloměrů, u kterých je ale hodnota offtrackingu menší a tím i potřeba rozšíření klesá.

Lze tedy říci, že u samostatných vozidel rychlost průjezdu výslednou hodnotu offtrackingu nijak neovlivňuje.

Pro soupravy vozidel typu tahač-návěs je při nízkých rychlostech situace podobná. U vyšších rychlostí, vlivem větší délky a odlišné konstrukce vozidla se zde více projevují dynamické účinky jízdy a rychlost je zde faktorem, který tvoří dělítko mezi dostředným a odstředným smyslem offtrackingu.

Pokud návěsová/přívěsová souprava projíždí směrový oblouk konstantního poloměru různými rychlostmi, hodnota offtrackingu se vzrůstající rychlostí nejprve klesá a následně opět roste. V praxi pak řešíme u směrových oblouků projížděných rychlostí do 60 km/h obdobné chování jako u samostatných vozidel.

U směrových oblouků projížděných rychlostmi většími než 90 km/h (17) se již projevují dynamické vlivy, jejichž výsledkem je offtracking opačného smyslu.

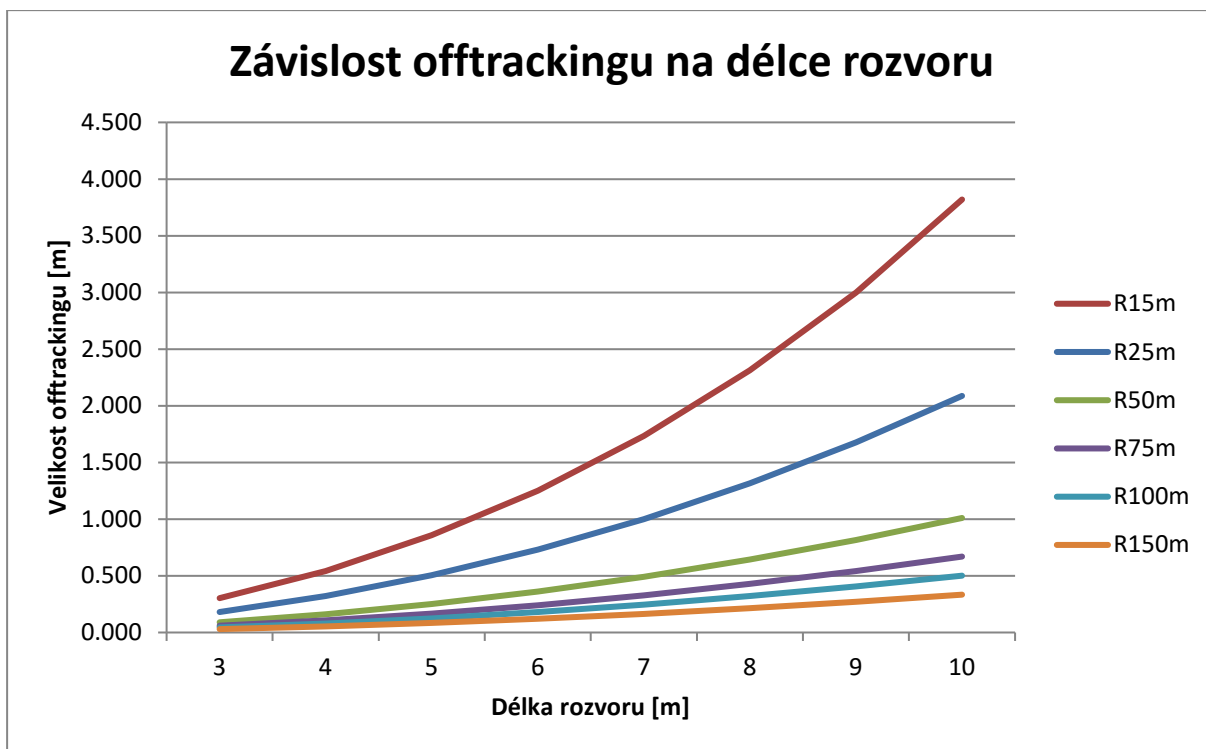
6.1.3. Vztah vozidlo – poloměr – hodnota offtrackingu

Předpokládejme, že návrhové vozidlo projíždí směrové oblouky různého poloměru a rychlost vozidla nepřekročí hodnotu 50 km/h. Velikost offtrackingu narůstá s délkou rozvoru vozidla a se snižujícím se poloměrem projížděného oblouku. Hodnoty a způsob nárůstu hodnoty offtrackingu spočtených dle Rovnice 7, jsou patrné z Tabulky 9, Grafu 2 a Grafu 3.

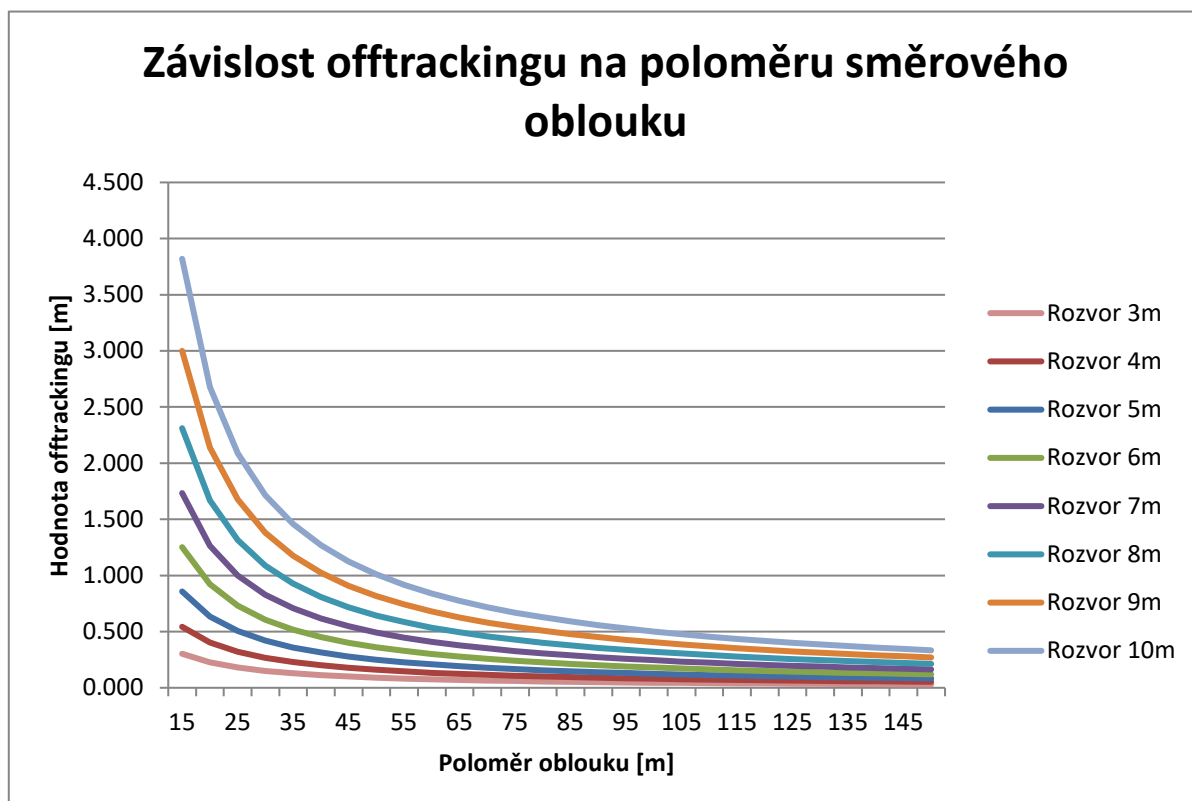
Lze předpokládat, že při větších rychlostech dochází u návěsových a přívěsových souprav k ovlivnění dynamickými účinky jízdy, což se projevuje nižší reálnou velikostí offtrackingu ve srovnání s výpočtovou. V době zpracování textu nebyl znám simulační program, který by zohledňoval dynamické chování vozidel při vyšších rychlostech. Většina simulačních programů garantuje věrnost simulovaných křivek do rychlosti 60 km/h.

Poloměr [m]	Rozvor [m]							
	3	4	5	6	7	8	9	10
15	0.303	0.543	0.858	1.252	1.734	2.311	3.000	3.820
20	0.226	0.404	0.635	0.921	1.265	1.670	2.139	2.679
25	0.181	0.322	0.505	0.731	1.000	1.315	1.676	2.087
30	0.150	0.268	0.420	0.606	0.828	1.086	1.382	1.716
35	0.129	0.229	0.359	0.518	0.707	0.927	1.177	1.459
40	0.113	0.201	0.314	0.453	0.617	0.808	1.026	1.270
45	0.100	0.178	0.279	0.402	0.548	0.717	0.909	1.125
50	0.090	0.160	0.251	0.361	0.492	0.644	0.817	1.010
55	0.082	0.146	0.228	0.328	0.447	0.585	0.741	0.917
60	0.075	0.133	0.209	0.301	0.410	0.536	0.679	0.839
65	0.069	0.123	0.193	0.278	0.378	0.494	0.626	0.774
70	0.064	0.114	0.179	0.258	0.351	0.459	0.581	0.718
75	0.060	0.107	0.167	0.240	0.327	0.428	0.542	0.670
80	0.056	0.100	0.156	0.225	0.307	0.401	0.508	0.627
85	0.053	0.094	0.147	0.212	0.289	0.377	0.478	0.590
90	0.050	0.089	0.139	0.200	0.273	0.356	0.451	0.557
95	0.047	0.084	0.132	0.190	0.258	0.337	0.427	0.528
100	0.045	0.080	0.125	0.180	0.245	0.321	0.406	0.501
105	0.043	0.076	0.119	0.172	0.234	0.305	0.386	0.477
110	0.041	0.073	0.114	0.164	0.223	0.291	0.369	0.455
115	0.039	0.070	0.109	0.157	0.213	0.279	0.353	0.436
120	0.038	0.067	0.104	0.150	0.204	0.267	0.338	0.417
125	0.036	0.064	0.100	0.144	0.196	0.256	0.324	0.401
130	0.035	0.062	0.096	0.139	0.189	0.246	0.312	0.385
135	0.033	0.059	0.093	0.133	0.182	0.237	0.300	0.371
140	0.032	0.057	0.089	0.129	0.175	0.229	0.290	0.358
145	0.031	0.055	0.086	0.124	0.169	0.221	0.280	0.345
150	0.030	0.053	0.083	0.120	0.163	0.213	0.270	0.334

Tabulka 9 - Hodnota offtrackingu dle rozvoru vozidla a poloměru směrového oblouku



Graf 2 - Průběh hodnoty offtrackingu v závislosti na délce rozvoru

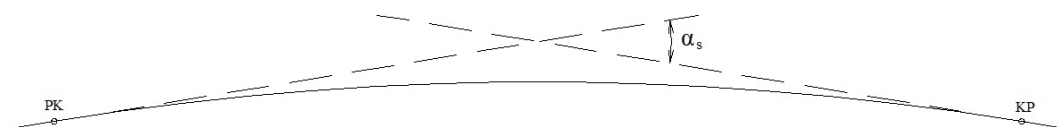


Graf 3 - Průběh hodnoty offtrackingu v závislosti na poloměru směrového oblouku

6.1.4. Vztah šířka vlečné křivky – poloměr – vrcholový úhel

Hodnota offtrackingu je rovna rozdílu poloměrů první a poslední nápravy; hodnota offtrackingu klesá s rostoucím poloměrem oblouku. Umíme tedy spočítat hodnotu plného offtrackingu, z praktického hlediska nás ale zajímá, jak vypadá průběh nárůstu offtrackingu při průjezdu směrovým obloukem. Kromě poloměru oblouku hraje roli také jeho délka.

Jedním z faktorů ovlivňujících šířku a tvar vlečné křivky je tedy vrcholový úhel, potažmo délka oblouku. Na základě empirických zkušeností vzniká předpoklad, že pokud je vrcholový úhel malý (1° - 10°) a celková délka oblouku je krátká, při průjezdu vozidla nedojde k plnému rozvinutí offtrackingu. Tento předpoklad je ověřen následujícími příklady.



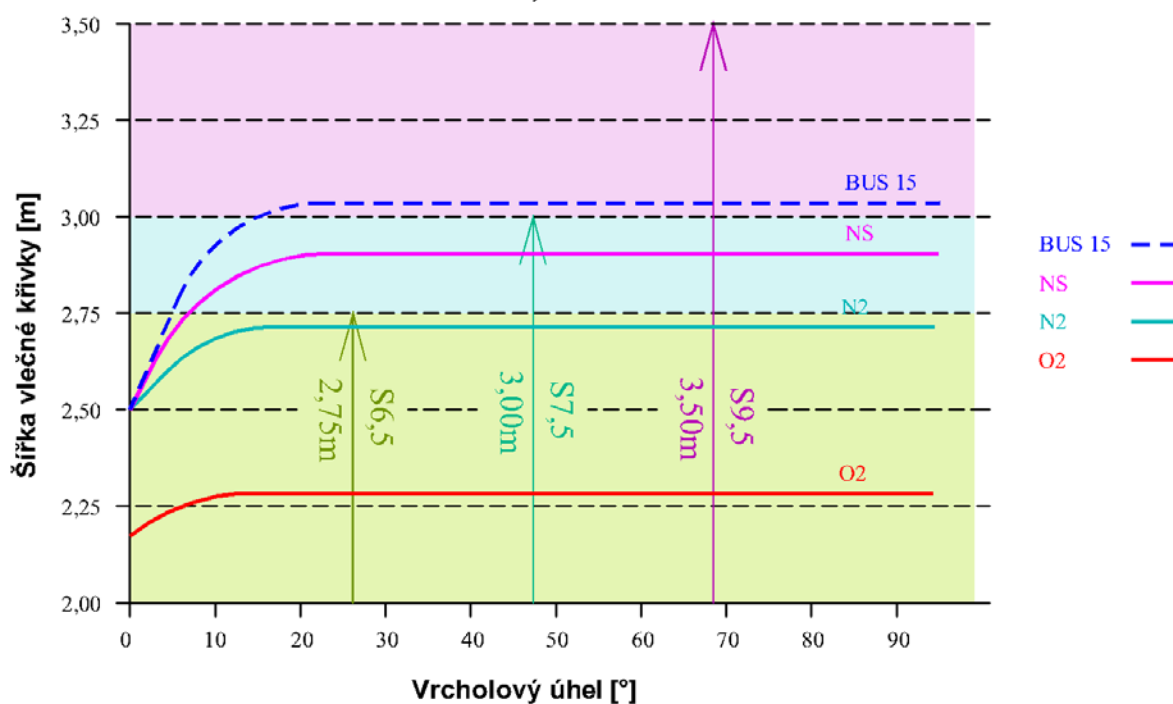
Obrázek 28 - Vrcholový úhel

Hodnoty šířek vlečných křivek byly získány simulací v programu AutoTURN, viz *Tabulka 10*, *Tabulka 11* a *Tabulka 12* a vyneseny do grafů, viz *Graf 4*, *Graf 5* a *Graf 6*.

Příklad 1: šířka jízdního pruhu 3,50 m, směrový oblouk $R = 110$ m (projížděný poloměr = 108,25 m), $v = 50$ km/h; vozidla: dodávka (O2), nákladní automobil (N2), návěsová souprava (NS) a autobus délky 15 m (BUS15). Pro jiné kombinace poloměrů, vozidel a vrcholových úhlů jsou výsledné hodnoty rozšíření mírně variabilní, průběh grafu je však stejný.

Maximum rozšíření pro návěsovou soupravu (0,40 m) je dosaženo při vrcholovém úhlu 30° . Rozšíření vlečné plochy roste zpočátku velmi strmě, takže 50% hodnoty rozšíření (0,20 m) je dosaženo již při vrcholovém úhlu 6° , 85% rozšíření (0,34 m) pak při 13° , viz *Graf 4* a *Tabulka 10*.

Průběh rozšíření vlečné křivky dle vrcholového úhlu
 $R=110\text{ m}$; $v=50\text{ km/h}$



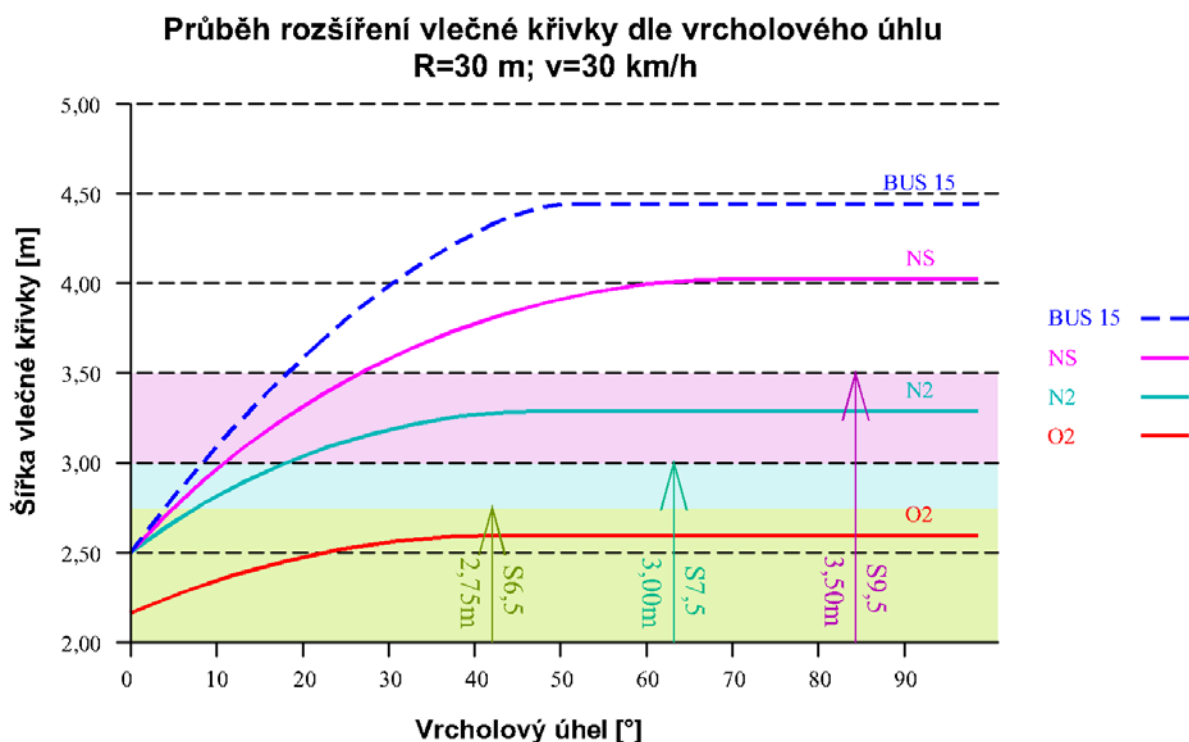
Graf 4 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=110\text{ m}$

Úhel [°]	O2	N2	NS	BUS15
0	2.17	2.50	2.50	2.50
5	2.23	2.62	2.70	2.77
10	2.26	2.70	2.83	2.94
15	2.28	2.71	2.88	3.02
20	2.28	2.71	2.88	3.03
25	2.28	2.71	2.89	3.03
30	2.28	2.71	2.90	3.03
35	2.28	2.71	2.90	3.03
40	2.28	2.71	2.90	3.03
45	2.28	2.71	2.90	3.03
50	2.28	2.71	2.90	3.03
55	2.28	2.71	2.90	3.03
60	2.28	2.71	2.90	3.03
65	2.28	2.71	2.90	3.03
70	2.28	2.71	2.90	3.03
75	2.28	2.71	2.90	3.03
80	2.28	2.71	2.90	3.03
85	2.28	2.71	2.90	3.03
90	2.28	2.71	2.90	3.03

Tabulka 10 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=110\text{ m}$

Příklad 2: šířka jízdního pruhu 3,50 m, směrový oblouk $R = 30$ m (projížděný poloměr $= 28,25$ m), $v = 30$ km/h; vozidla: dodávka (O2), nákladní automobil (N2), návěsová souprava (NS) a autobus délky 15 m (BUS15). Pro jiné kombinace poloměrů, vozidel a vrcholových úhlů jsou výsledné hodnoty rozšíření mírně variabilní, průběh grafu je však stejný.

Maximum rozšíření vlečné křivky pro návěsovou soupravu (1,31 m) je dosaženo až při vrcholovém úhlu 85° . Nárůst rozšíření je opět velmi rychlý, 50% rozšíření (0,66 m) je dosaženo při vrcholovém úhlu 16° , 85% rozšíření (1,11 m) pak při vrcholovém úhlu 45° viz Graf 5 a Tabulka 11.



Graf 5 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=30$ m

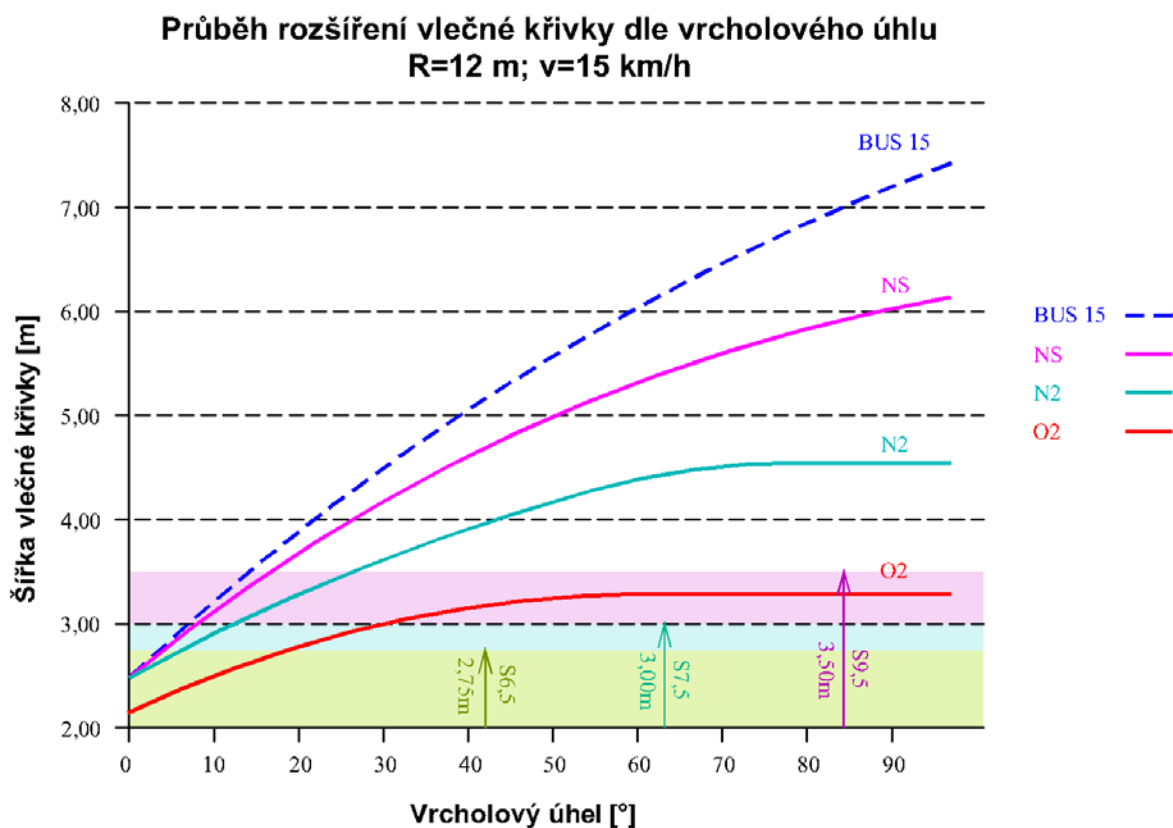
Úhel [°]	O2	N2	NS	BUS15
0	2.17	2.50	2.50	2.50
5	2.29	2.69	2.78	2.87
10	2.37	2.83	3.02	3.17
15	2.44	2.95	3.20	3.43
20	2.49	3.06	3.37	3.65
25	2.55	3.14	3.53	3.86
30	2.58	3.23	3.67	4.05
35	2.58	3.28	3.76	4.21
40	2.59	3.29	3.85	4.34
45	2.59	3.29	3.90	4.44
50	2.59	3.29	3.94	4.47
55	2.59	3.29	3.97	4.47
60	2.59	3.29	3.99	4.47

65	2.59	3.29	4.01	4.47
70	2.59	3.29	4.02	4.47
75	2.60	3.30	4.04	4.47
80	2.60	3.30	4.04	4.48
85	2.60	3.30	4.04	4.48
90	2.60	3.30	4.04	4.48

Tabulka 11 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=30$ m

Příklad 3: nárožní směrový oblouk $R=12$ m (projížděný poloměr = 13,75 m), $v = 15$ km/h; vozidla: dodávka (O2), nákladní automobil (N2), návěsová souprava (NS) a autobus délky 15 m (BUS15). Pro jiné kombinace poloměrů, vozidel a vrcholových úhlů jsou výsledné hodnoty rozšíření mírně variabilní, průběh grafu je však stejný.

Maximum rozšíření pro návěsovou soupravu (6,12 m) je dosaženo až při vrcholovém úhlu 90° , 50% rozšíření (3,06 m) je dosaženo při vrcholovém úhlu 33° , 85% rozšíření (5,02m) pak při 68° viz Graf 6 a Tabulka 12.



Graf 6 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=12$ m

Úhel [°]	O2	N2	NS	BUS15
0	2.17	2.50	2.50	2.50
5	2.43	2.74	2.84	2.91
10	2.59	2.94	3.15	3.31
15	2.72	3.12	3.44	3.66
20	2.84	3.28	3.71	4.00
25	2.95	3.45	3.98	4.32
30	3.01	3.60	4.22	4.62
35	3.11	3.74	4.48	4.92
40	3.16	3.87	4.71	5.20
45	3.22	4.16	4.94	5.47
50	3.25	4.27	5.15	5.72
55	3.27	4.34	5.33	5.97
60	3.27	4.40	5.51	6.20
65	3.27	4.49	5.65	6.40
70	3.28	4.53	5.77	6.65
75	3.28	4.53	5.87	6.85
80	3.28	4.53	5.98	7.08
85	3.28	4.53	6.07	7.24
90	3.28	4.53	6.12	7.40

Tabulka 12 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=12\text{ m}$

Komentář:

Výše uvedené grafy a tabulky potvrzují teoretický předpoklad, že velikost offtrackingu narůstá s klesajícím poloměrem projížděného oblouku. S klesajícím poloměrem směrového oblouku roste gradient offtrackingu a současně se hodnota plně rozvinutého offtrackingu posouvá do vyšších hodnot vrcholových úhlů.

V praxi to znamená, že pro směrové oblouky s vrcholovým úhlem do 10° není nezbytné řešit rozšíření jízdního pruhu (závisí také na šířce jízdního pruhu). Malá délka směrového oblouku neumožňuje plné rozvinutí offtrackingu a pro zajištění průjezdu může být dostatečná základní šířka.

7. SIMULACE A MĚŘENÍ

7.1 Výběr simulačního programu

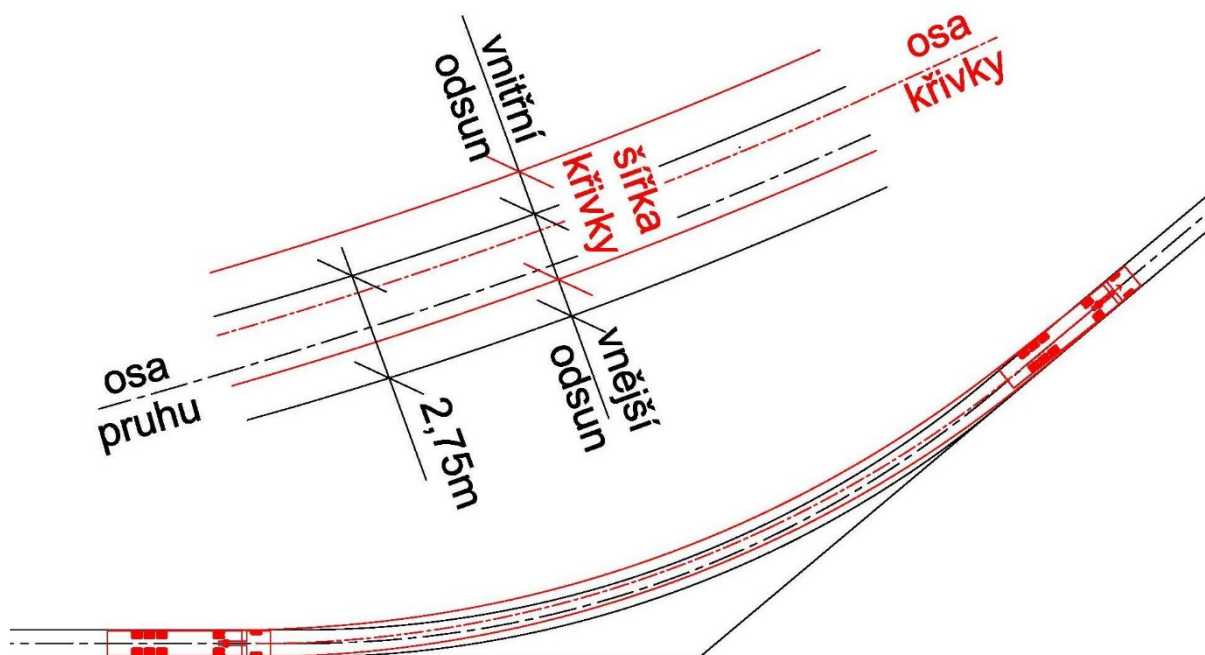
V současnosti je na trhu několik simulačních programů různých výrobců, v době zpracování byly pro účel ověření vybrány dva nejčastěji používané a jeden program jako referenční:

AutoTURN

Vehicle Tracking

Path Planner

Porovnání bylo provedeno na prostých kružnicových obloucích různých poloměrů (4-250 m), pro různé rychlosti průjezdu (10-60 km/h) a pro různé hodnoty vrcholového úhlu (5° - 90°). Do každého SW byly zadány parametrická data pro daný oblouk – rychlost průjezdu, poloměr oblouku, vrcholový úhel. Výsledná poloha vlečné křivky byla porovnána s jízdním pruhem šíře 2,75 m, měřena byla šířka křivky a její odsun proti hranám jízdního pásu, viz Obrázek 29. Získaná data byla tabelována, viz níže.

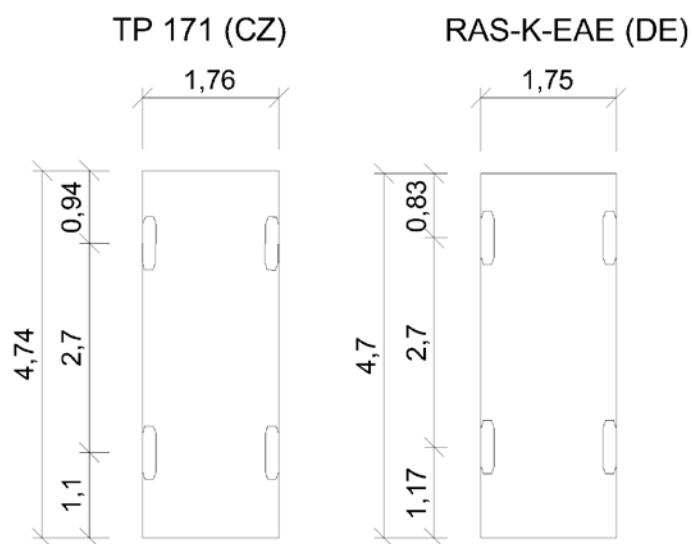


Obrázek 29 - Porovnání požadované a simulované vlečné křivky

Výsledné hodnoty simulovaných vlečných křivek se liší jak mezi jednotlivými programy, tak v rámci každého programu samostatně. Největší polohové odchylky vykazoval program AutoTURN *) Simulovaná vlečná křivka byla tvarově shodná s ostatními programy, její poloha však nekorespondovala s polohou směrového oblouku. Při jiném způsobu zadávání bylo možné dosáhnout lepších výsledků, ale při tomto způsobu zadávání program neumožňoval definovat rychlost a vrcholový úhel a nebylo tedy zřejmé na základě, jakých parametrů byla křivka generována. I v případě parametrického zadání v okrajových případech program nedodržel zadané hodnoty, ale nahradil je jinými, odpovídajícími nastavení. V takovémto případě program na tuto změnu upozorní.

Vlečné křivky vytvořené programy Vehicle Tracking a PathPlanner při výše popsaném zadávání lépe korespondovaly s polohou předpokládané trasy. Výsledné křivky měly velmi podobný tvar, a vykazovaly méně výrazné ovlivnění okrajovými hodnotami než program AutoTURN. V případě, že zadané hodnoty byly v rozporu s možnostmi simulovaného vozidla, program upozorní, že výsledná křivka nemusí odpovídat skutečnosti.

Další ze zkoumaných otázek bylo, zda a jakým způsobem se liší vlečné křivky podle různých národních předpisů. Program PathPlanner, který byl použitý jako referenční, neobsahoval vozidla definované dle TP 171. Pro simulace bylo proto použito vozidlo stejné kategorie, avšak dle německé normy. Rozměry vozidel dle českých a německých předpisů se liší jen mírně, rozdíl plochy obou vozidel je 1,5%. Německé předpisy však jinak definují manévrovací možnosti vozidla, výsledná vlečná křivka se tak liší o až o 15%. Je tedy zřejmé, že definované manévrovací schopnosti vozidla, spolu s velikostí převisu významně ovlivňují výslednou šířku vlečné křivky.



Obrázek 30 - Srovnání osobních vozidel dle českých a německých předpisů

Pro další výzkum a simulace byl vybrán program AutoTURN, pro jeho rozšíření v ČR.

*) Srovnání bylo provedeno v roce 2013, v době zpracování této části práce (2017) již program AutoTURN zjištěné nepřesnosti neobsahuje. Pro lepší pochopení problematiky byla ponechána data z roku 2013.

7.1.1. Srovnání vlečných křivek pro oblouky dle ČSN 73 6101

AutoTurn						
10 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,040	0,090	0,100	0,040	2,81	2,69
10	0,080	0,190	0,220	0,170	2,86	2,70
15	0,150	0,270	0,410	0,360	2,88	2,70
20	0,228	0,359	0,687	0,631	2,88	2,71
25	0,374	0,525	1,035	0,987	2,90	2,70
30	0,556	0,710	1,465	1,417	2,90	2,70
35	0,753	0,909	1,998	1,951	2,90	2,70
40	0,988	1,143	2,609	2,562	2,90	2,70
45	1,258	1,415	3,342	3,295	2,90	2,70
50	1,375	1,581	4,161	4,114	2,90	2,70
55	1,926	2,082	5,126	5,079	2,91	2,70
60	2,332	2,487	6,190	6,145	2,91	2,70
65	2,789	2,946	7,437	7,390	2,91	2,70
70	3,309	3,465	8,808	8,761	2,91	2,70
75	3,896	4,053	10,403	10,365	2,91	2,70
80	4,559	4,715	12,157	12,110	2,91	2,70
85	5,370	5,680	14,308	14,270	2,91	2,70
90	6,230	6,390	16,460	16,430	2,91	2,70

Tabulka 13 - AutoTURN 10 km/h

30 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,035	0,093	0,076	0,025	2,81	2,698
10	0,022	0,163	0,119	0,083	2,89	2,71
15	0,027	0,195	0,185	0,151	2,89	2,72
20	0,041	0,223	0,285	0,252	2,93	2,72
25	0,048	0,238	0,404	0,372	2,94	2,72
30	0,071	0,266	0,564	0,532	2,94	2,72
35	0,083	0,281	0,742	0,710	2,95	2,72
40	0,096	0,294	0,970	0,938	2,95	2,72
45	0,132	0,332	1,214	1,182	2,94	2,72
50	0,151	0,351	1,519	1,487	2,95	2,72
55	0,199	0,399	1,841	1,808	2,95	2,72
60	0,224	0,423	2,238	2,206	2,95	2,72
65	0,287	0,487	2,635	2,621	2,95	2,72
70	0,318	0,518	3,163	3,130	2,95	2,72
75	0,352	0,551	3,693	3,661	2,95	2,72
80	0,442	0,641	4,346	4,313	2,95	2,72
85	0,485	0,685	5,027	4,995	2,95	2,72
90	0,603	0,796	5,868	5,835	2,95	2,72

Tabulka 14 - AutoTURN 30 km/h

50 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,151	0,126	0,074	0,030	2,73	2,70
10	0,166	0,236	0,079	0,049	2,82	2,72
15	0,143	0,283	0,094	0,068	2,89	2,72

20	0,137	0,312	0,115	0,089	2,92	2,73
25	0,136	0,324	0,131	0,106	2,93	2,72
30	0,163	0,357	0,163	0,138	2,94	2,73
35	0,160	0,359	0,203	0,178	2,95	2,73
40	0,157	0,358	0,232	0,207	2,95	2,73
45	0,175	0,377	0,285	0,260	2,95	2,72
50	0,171	0,374	0,322	0,297	2,95	2,73
55	0,194	0,397	0,391	0,366	2,95	2,73
60	0,188	0,391	0,471	0,446	2,95	2,73
65	0,217	0,420	0,525	0,501	2,95	2,73
70	0,251	0,455	0,627	0,602	2,95	2,73
75	0,244	0,447	0,744	0,718	2,95	2,73
80	0,286	0,491	0,823	0,798	2,95	2,73
85	0,275	0,479	0,971	0,946	2,95	2,73
90	0,332	0,535	1,143	1,118	2,95	2,73

Tabulka 15 - AutoTURN 50 km/h

Vehicle Tracking						
10 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,035	0,060	0,086	0,012	2,775	2,655
10	0,035	0,127	0,085	0,043	2,843	2,673
15	0,053	0,165	0,101	0,024	2,864	2,674
20	0,058	0,188	0,105	0,031	2,888	2,673
25	0,074	0,212	0,120	0,045	2,886	2,674
30	0,091	0,229	0,134	0,059	2,893	2,675
35	0,114	0,251	0,086	0,009	2,896	2,675
40	0,030	0,180	0,082	0,009	2,899	2,675
45	0,033	0,182	0,083	0,009	2,898	2,675
50	0,023	0,172	0,084	0,000	2,899	2,677
55	0,021	0,180	0,075	0,009	2,898	2,676
60	0,030	0,168	0,084	0,000	2,900	2,678
65	0,030	0,178	0,088	0,011	2,900	2,676
70	0,027	0,176	0,086	0,013	2,900	2,676
75	0,027	0,176	0,088	0,013	2,900	2,675
80	0,026	0,175	0,094	0,017	2,899	2,678
85	0,023	0,173	0,099	0,025	2,899	2,674
90	0,022	0,171	0,100	0,025	2,896	2,676

Tabulka 16 - Vehicle Tracking 10 km/h

30 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,025	0,058	0,086	0,010	2,783	2,655
10	0,049	0,138	0,086	0,006	2,839	2,669
15	0,031	0,154	0,086	0,007	2,869	2,677
20	0,035	0,167	0,084	0,010	2,882	2,675
25	0,032	0,175	0,084	0,011	2,890	2,675
30	0,035	0,178	0,085	0,010	2,895	2,679
35	0,034	0,181	0,084	0,010	2,898	2,675
40	0,033	0,182	0,085	0,010	2,902	2,676
45	0,032	0,182	0,087	0,009	2,902	2,675
50	0,032	0,183	0,084	0,009	2,903	2,676
55	0,031	0,180	0,085	0,009	2,900	2,676

60	0,031	0,181	0,100	0,025	2,900	2,677
65	0,030	0,180	0,100	0,025	2,900	2,676
70	0,032	0,181	0,102	0,026	2,897	2,677
75	0,027	0,178	0,099	0,026	2,899	2,676
80	0,025	0,176	0,099	0,025	2,910	2,677
85	0,025	0,177	0,098	0,024	2,903	2,676
90	0,023	0,174	0,102	0,025	2,898	2,676

Tabulka 17 - Vehicle Tracking 30 km/h

50 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,059	0,078	0,087	0,009	2,766	2,655
10	0,042	0,134	0,092	0,010	2,843	2,672
15	0,037	0,159	0,087	0,010	2,872	2,674
20	0,036	0,168	0,085	0,011	2,882	2,676
25	0,038	0,176	0,086	0,010	2,891	2,675
30	0,036	0,180	0,085	0,010	2,894	2,676
35	0,034	0,182	0,085	0,011	2,897	2,676
40	0,034	0,183	0,085	0,101	2,897	2,677
45	0,034	0,183	0,084	0,001	2,900	2,676
50	0,034	0,185	0,083	0,001	2,902	2,676
55	0,033	0,185	0,084	0,001	2,902	2,676
60	0,034	0,182	0,099	0,026	2,937	2,673
65	0,033	0,182	0,099	0,026	2,899	2,677
70	0,031	0,180	0,099	0,026	2,898	2,677
75	0,029	0,177	0,099	0,026	2,897	2,677
80	0,025	0,177	0,098	0,024	2,899	2,681
85	0,025	0,175	0,099	0,024	2,897	2,676
90	0,024	0,170	0,099	0,020	2,903	2,676

Tabulka 18 - Vehicle Tracking 50 km/h

Path Planner						
10 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,070	0,263	0,221	0,292	2,942	2,820
10	0,031	0,333	0,018	0,181	3,114	2,949
15	0,042	0,375	0,013	0,184	3,168	2,947
20	0,043	0,397	0,017	0,201	3,189	2,968
25	0,031	0,407	0,019	0,198	3,188	2,967
30	0,033	0,426	0,010	0,184	3,208	2,944
35	0,047	0,426	0,026	0,188	3,223	2,964
40	0,029	0,421	0,014	0,195	3,199	2,959
45	0,046	0,443	0,011	0,207	3,239	2,967
50	0,028	0,427	0,021	0,193	3,206	2,965
55	0,094	0,387	0,019	0,191	3,231	2,960
60	0,038	0,428	0,015	0,198	3,215	2,963
65	0,043	0,439	0,023	0,194	3,232	2,967
70	0,068	0,432	0,017	0,199	3,219	2,967
75	0,035	0,436	0,021	0,202	3,222	2,972
80	0,038	0,432	0,018	0,201	3,219	2,968
85	0,035	0,439	0,017	0,186	3,225	2,954
90	0,035	0,438	0,013	0,188	3,224	2,951

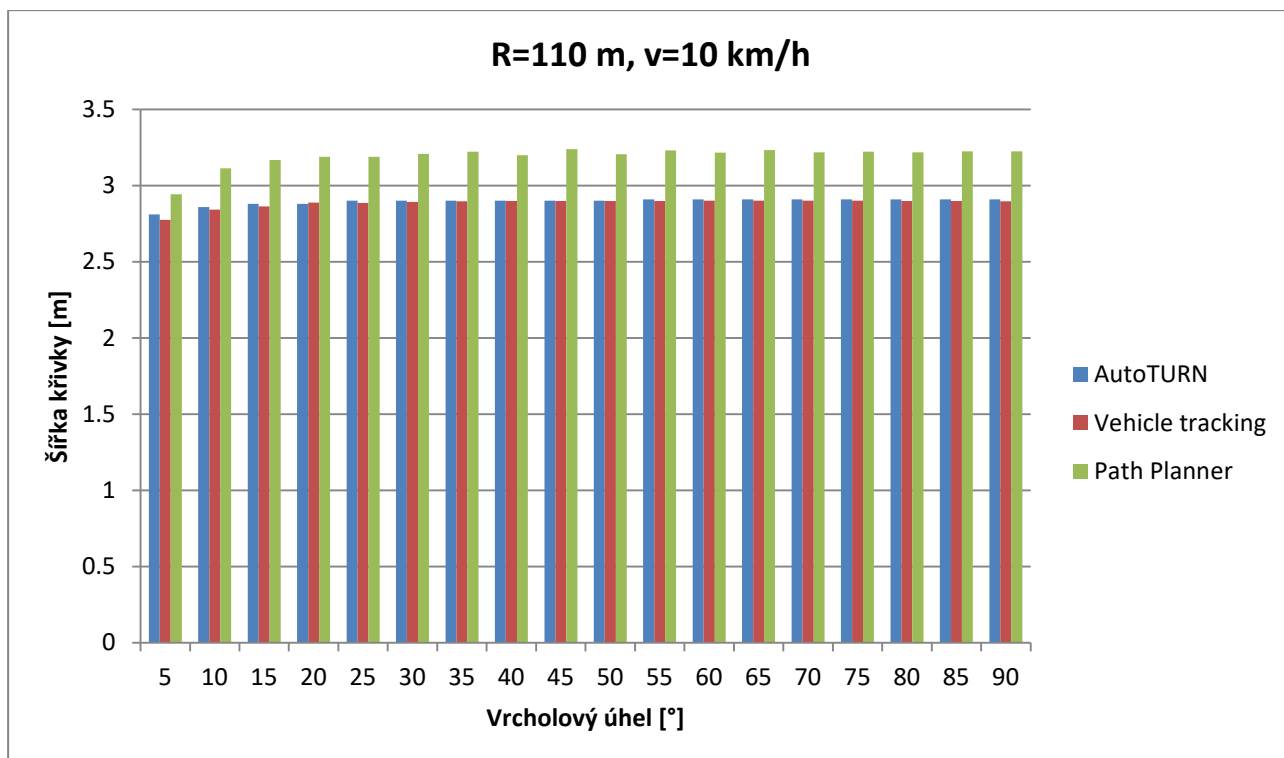
Tabulka 19 - Path Planner 10 km/h

30 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,351	0,431	0,223	0,292	2,829	2,819
10	0,030	0,333	0,016	0,178	3,113	2,945
15	0,031	0,376	0,023	0,186	3,157	2,959
20	0,037	0,396	0,010	0,200	3,184	2,959
25	0,029	0,415	0,020	0,197	3,195	2,967
30	0,202	0,636	0,017	0,193	3,184	2,960
35	0,039	0,428	0,021	0,193	3,218	2,960
40	0,028	0,437	0,017	0,192	3,215	2,958
45	0,028	0,434	0,011	0,185	3,213	2,945
50	0,048	0,442	0,022	0,197	3,240	2,968
55	0,031	0,452	0,011	0,195	3,233	2,955
60	0,041	0,433	0,000	0,198	3,224	2,953
65	0,032	0,441	0,016	0,201	3,223	2,967
70	0,027	0,443	0,017	0,200	3,219	2,967
75	0,035	0,437	0,018	0,204	3,223	2,972
80	0,049	0,515	0,017	0,203	3,265	2,970
85	0,038	0,427	0,014	0,207	3,216	2,972
90	0,039	0,436	0,017	0,198	3,225	2,966

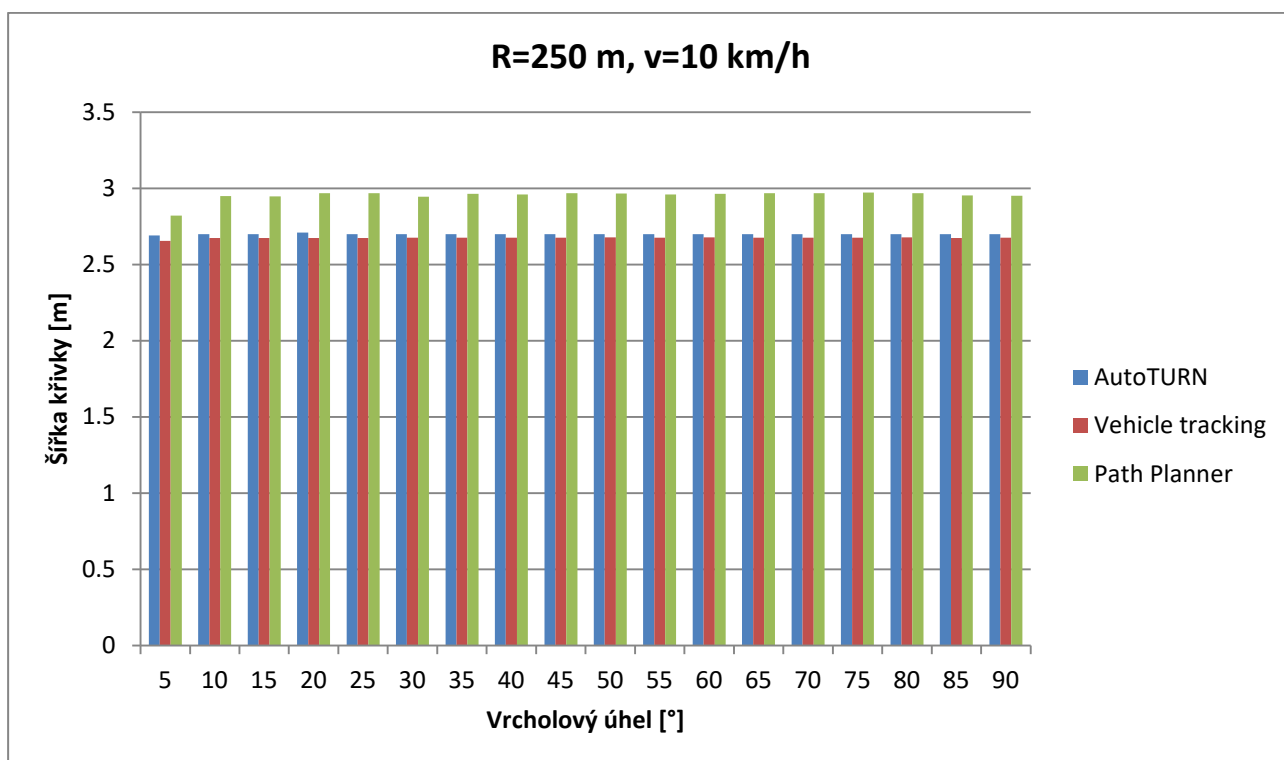
Tabulka 20 - Path Planner 30 km/h

50 km/h						
Poloměr [m]	110 vnější	110 vnitřní	250 vnější	250 vnitřní	110 šířka křivky	250 šířka křivky
Úhel [°]						
5	0,028	0,242	0	0,156	3,021	2,915
10	0,03	0,333	0,02	0,197	3,113	2,967
15	0,043	0,376	0,019	0,187	3,168	2,956
20	0,031	0,396	0,018	0,2	3,177	2,968
25	0,047	0,415	0,017	0,197	3,212	2,965
30	0,035	0,429	0	0,209	3,214	2,951
35	0,043	0,428	0,029	0,206	3,222	2,985
40	0,041	0,434	0,03	0,186	3,225	2,966
45	0,038	0,422	0,03	0,211	3,209	2,963
50	0,029	0,424	0,023	0,196	3,204	2,969
55	0,041	0,442	0,018	0,196	3,233	2,964
60	0,035	0,434	0,05	0,205	3,219	2,959
65	0,041	0,439	0,022	0,196	3,231	2,968
70	0,034	0,441	0,017	0,193	3,225	2,961
75	0,033	0,432	0,024	0,187	3,214	2,961
80	0,042	0,441	0,02	0,203	3,233	2,974
85	0,029	0,435	0,02	0,203	3,215	2,974
90	0,031	0,429	0,018	0,195	3,209	2,963

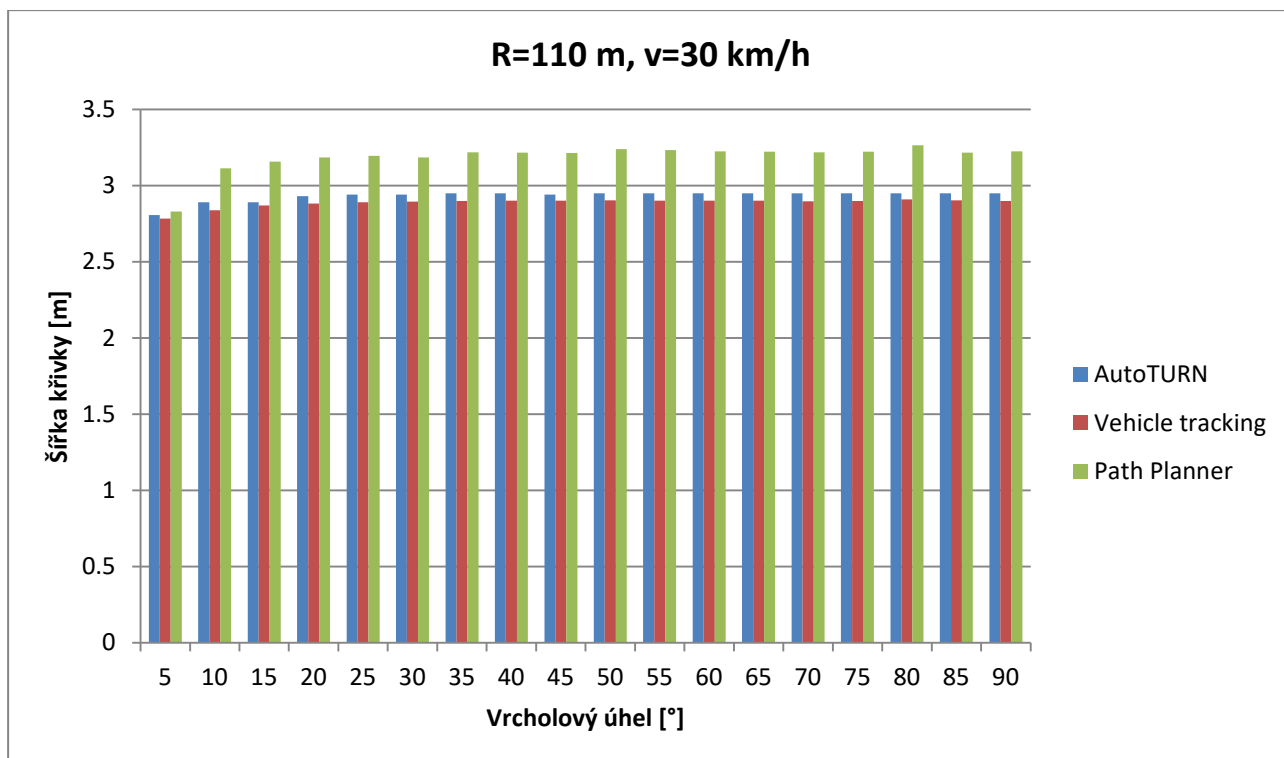
Tabulka 21 - Path Planner 50 km/h



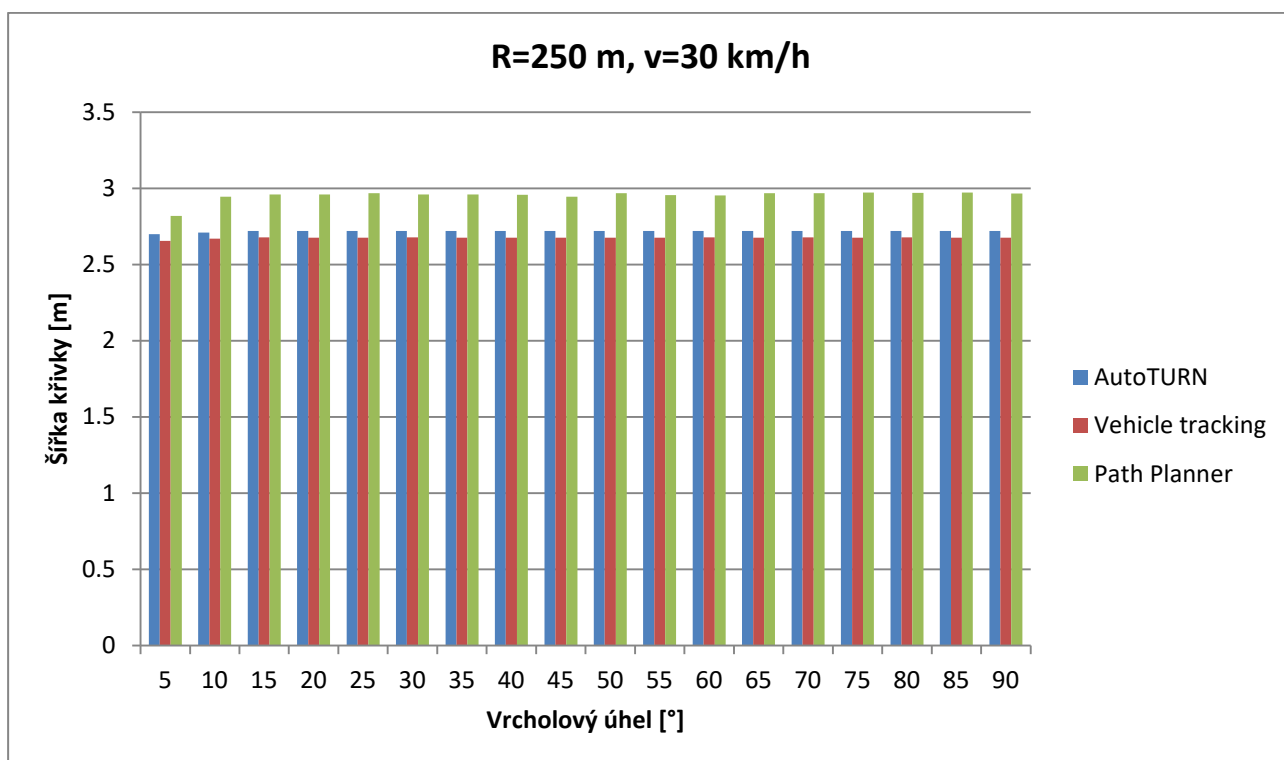
Graf 7 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=110 m, v=10 km/h)



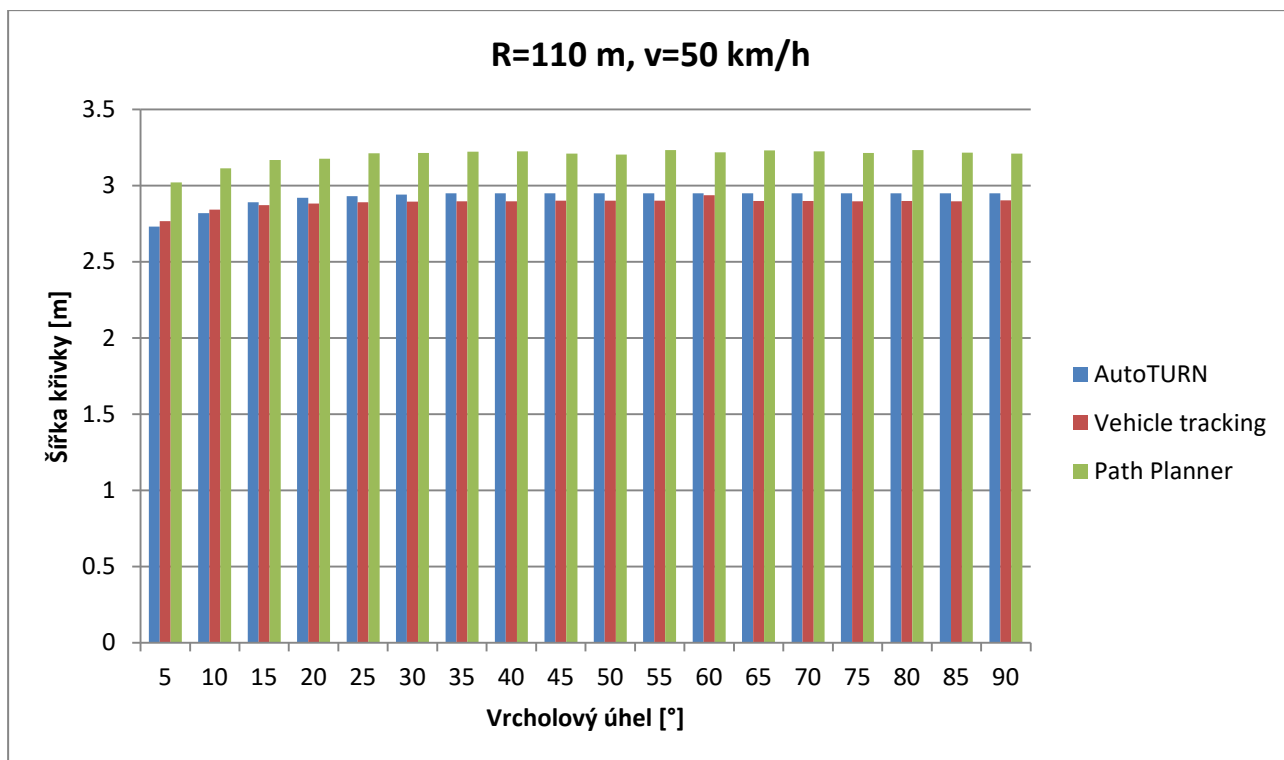
Graf 8 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=250 m, v=10 km/h)



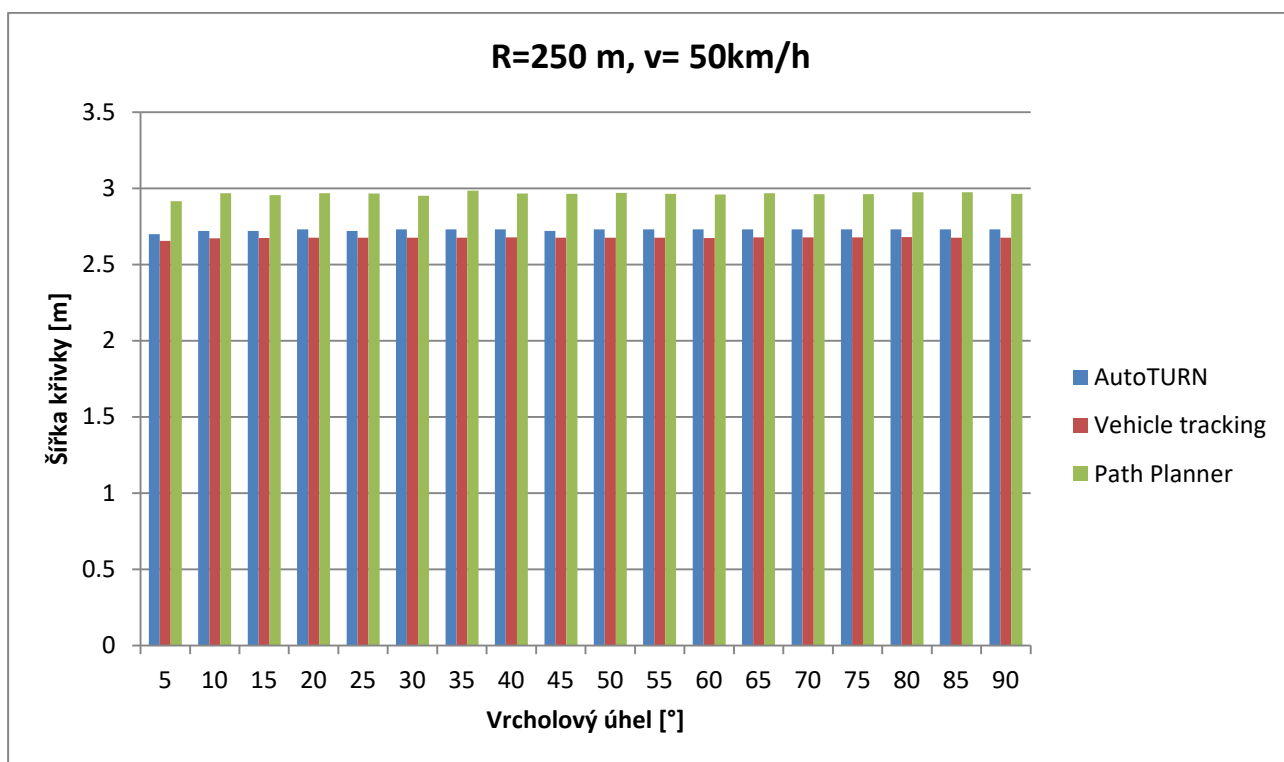
Graf 9 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=110 m, v=30 km/h)



Graf 10 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=250 m, v=30 km/h)



Graf 11 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=110 m, v=50 km/h)



Graf 12 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=250 m, v=50 km/h)

7.1.2.Srovnání vlečných křivek pro oblouky dle ČSN 736102

AutoTurn				Vehicle tracking				Path Planner			
15 km/h , poloměr 4m *				15 km/h , poloměr 4m				15 km/h , poloměr 4m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,098	0,182	2,836	5	0,121	0,158	2,787	5	0,046	0,327	3,032
10	0,105	0,466	3,114	10	0,123	0,459	3,086	10	0,014	0,637	3,401
15	0,144	0,757	3,362	15	0,137	0,716	3,333	15	0,025	0,949	3,724
20	0,198	1,035	3,586	20	0,171	0,994	3,574	20	0,009	1,257	4,017
25	0,272	1,336	3,812	25	0,224	1,291	3,802	25	0,023	1,508	4,282
30	0,359	1,614	4,000	30	0,290	1,561	4,021	30	0,069	1,846	4,587
35	0,458	1,913	4,205	35	0,366	1,853	4,226	35	0,038	2,145	4,858
40	0,592	2,235	4,393	40	0,459	2,136	4,457	40	0,115	2,493	5,122
45	0,727	2,552	4,575	45	0,558	2,431	4,540	45	0,135	2,717	5,343
50	0,861	2,855	4,743	50	0,678	2,753	4,808	50	0,256	3,117	5,609
55	1,028	3,189	4,910	55	0,799	3,042	4,993	55	0,508	3,635	5,869
60	1,198	3,523	5,076	60	0,929	3,361	5,187	60	0,469	3,795	6,075
65	1,405	3,874	5,214	65	1,102	3,697	5,357	65	0,594	4,147	6,303
70	1,681	4,298	5,367	70	1,253	4,101	5,573	70	0,821	4,606	6,533
75	1,958	4,704	5,495	75	1,456	4,399	5,728	75	0,972	4,951	6,728
80	2,274	5,141	5,616	80	1,676	4,679	5,860	80	1,229	5,435	6,956
85	2,684	5,685	5,749	85	1,937	5,224	6,045	85	1,316	5,686	7,123
90	3,123	6,210	5,836	90	2,234	5,650	6,184	90	1,587	6,188	7,351

20 km/h , poloměr 8m *				20 km/h , poloměr 8m				20 km/h , poloměr 8m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,095	0,182	2,837	5	0,118	0,154	2,784	5	0,006	0,328	3,073
10	0,108	0,453	3,095	10	0,112	0,423	3,056	10	0,015	0,635	3,399
15	0,145	0,722	3,326	15	0,133	0,688	3,292	15	0,028	0,924	3,702
20	0,199	0,989	3,540	20	0,163	0,941	3,537	20	0,042	1,200	3,992
25	0,256	1,246	3,740	25	0,203	1,191	3,743	25	0,036	1,469	4,255
30	0,345	1,519	3,924	30	0,252	1,439	3,937	30	0,064	1,712	4,525
35	0,412	1,767	4,103	35	0,297	1,686	4,127	35	0,059	1,996	4,805
40	0,514	2,031	4,267	40	0,358	1,945	4,306	40	0,043	2,248	5,042
45	0,605	2,278	4,423	45	0,421	2,151	4,482	45	0,055	2,483	5,287
50	0,682	2,503	4,571	50	0,492	2,385	4,649	50	0,047	2,745	5,542
55	0,815	2,785	4,720	55	0,548	2,634	4,818	55	0,058	2,956	5,765
60	0,921	3,045	4,873	60	0,629	2,876	4,973	60	0,034	3,205	5,988
65	1,021	3,263	4,992	65	0,686	3,061	5,137	65	0,033	3,438	6,222
70	1,168	3,563	5,144	70	0,772	3,294	5,278	70	0,068	3,600	6,419
75	1,304	3,822	5,287	75	0,851	3,527	5,413	75	0,016	3,930	6,664
80	1,468	4,094	5,376	80	0,939	3,822	5,558	80	0,017	4,131	6,863
85	1,701	4,454	5,503	85	1,020	3,993	5,730	85	0,032	4,343	7,060
90	1,908	4,769	5,610	90	1,122	4,239	5,883	90	0,055	4,559	7,254

25 km/h , poloměr 14m *			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,096	0,178	2,832
10	0,119	0,442	3,072
15	0,164	0,691	3,276
20	0,209	0,925	3,465
25	0,261	1,142	3,631
30	0,316	1,351	3,785
35	0,364	1,553	3,939
40	0,418	1,738	4,070
45	0,452	1,898	4,197
50	0,499	2,072	4,323
55	0,538	2,228	4,441
60	0,587	2,382	4,544
65	0,643	2,535	5,286
70	0,698	2,698	4,746
75	0,789	2,858	4,819
80	0,885	3,033	5,783
85	0,995	3,222	4,977
90	1,139	3,424	5,034

25 km/h , poloměr 14m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,113	0,147	2,784
10	0,105	0,399	3,044
15	0,109	0,638	3,278
20	0,119	0,855	3,490
25	0,126	1,074	3,687
30	0,127	1,246	3,875
35	0,125	1,419	4,045
40	0,116	1,578	4,218
45	0,103	1,712	4,369
50	0,061	1,835	4,525
55	0,025	1,938	4,688
60	0,012	2,032	4,794
65	0,050	2,119	4,918
70	0,088	2,234	5,014
75	0,125	2,276	5,150
80	0,155	2,441	5,233
85	0,184	2,393	5,327
90	0,207	2,447	5,405

25 km/h , poloměr 14m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,016	0,314	3,080
10	0,034	0,596	3,381
15	0,066	0,865	3,682
20	0,104	1,107	3,961
25	0,149	1,334	4,236
30	0,207	1,531	4,488
35	0,263	1,728	4,742
40	0,375	1,868	4,992
45	0,449	2,008	5,206
50	0,539	2,143	5,431
55	0,665	2,235	5,650
60	0,806	2,314	5,868
65	0,978	2,367	6,109
70	1,148	2,408	6,307
75	1,340	2,709	6,500
80	1,605	2,374	6,729
85	1,868	2,294	6,912
90	2,185	2,177	7,121

30 km/h , poloměr 22m *			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,109	0,171	2,813
10	0,159	0,425	3,016
15	0,215	0,648	3,183
20	0,277	0,860	3,333
25	0,336	1,047	3,462
30	0,380	1,214	3,581
35	0,415	1,349	3,684
40	0,441	1,471	3,778
45	0,489	1,609	3,870
50	0,519	1,726	3,956
55	0,561	1,838	4,028
60	0,651	1,995	4,094
65	0,721	2,119	4,148
70	0,852	2,298	4,195
75	0,963	2,440	4,228
80	1,088	2,591	4,252
85	1,300	2,824	4,266
90	1,474	3,015	4,291

30 km/h , poloměr 22m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,108	0,141	2,782
10	0,088	0,373	3,039
15	0,069	0,574	3,259
20	0,038	0,743	3,455
25	0,009	0,873	3,643
30	0,063	0,997	3,809
35	0,114	1,087	3,952
40	0,159	1,158	4,101
45	0,197	1,226	4,173
50	0,224	1,276	4,252
55	0,231	1,312	4,319
60	0,232	1,367	4,324
65	0,235	1,377	4,362
70	0,237	1,402	4,389
75	0,241	1,423	4,413
80	0,245	1,453	4,434
85	0,249	1,469	4,466
90	0,252	1,478	4,480

30 km/h , poloměr 22m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,024	0,315	3,088
10	0,062	0,577	3,389
15	0,124	0,795	3,669
20	0,205	0,982	3,934
25	0,307	1,130	4,186
30	0,430	1,254	4,434
35	0,592	1,334	4,675
40	0,790	1,375	4,914
45	0,992	1,370	5,113
50	1,188	1,407	5,345
55	1,516	1,272	5,538
60	1,863	1,132	5,743
65	2,253	0,954	5,957
70	2,692	0,705	6,148
75	3,197	0,411	6,357
80	2,793	0,417	5,962
85	4,392	0,407	6,733
90	5,137	0,962	6,944

35 km/h , poloměr 32m *			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,126	0,169	2,792
10	0,192	0,404	2,962
15	0,264	0,609	3,096
20	0,331	0,789	3,208
25	0,376	0,933	3,307
30	0,404	1,052	3,397
35	0,432	1,156	3,473
40	0,459	1,260	3,551
45	0,496	1,362	3,616
50	0,566	1,494	3,677
55	0,639	1,601	3,712
60	0,728	1,722	3,743
65	0,837	1,847	3,798
70	0,958	1,982	3,774
75	1,093	2,130	3,787
80	1,246	2,295	3,798
85	1,418	2,476	3,807
90	1,687	2,751	3,814

35 km/h , poloměr 32m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,102	0,133	2,783
10	0,063	0,336	3,024
15	0,008	0,492	3,238
20	0,056	0,607	3,413
25	0,109	0,692	3,546
30	0,141	0,757	3,669
35	0,146	0,812	3,694
40	0,148	0,840	3,729
45	0,149	0,862	3,760
50	0,150	0,901	3,784
55	0,152	0,907	3,806
60	0,155	0,919	3,838
65	0,157	0,927	3,831
70	0,161	0,946	3,865
75	0,163	0,957	3,912
80	0,166	0,947	3,873
85	0,171	0,965	3,878
90	0,176	0,963	3,887

35 km/h , poloměr 32m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,008	0,307	3,065
10	0,054	0,535	3,340
15	0,073	0,731	3,553
20	0,079	0,890	3,719
25	0,097	1,004	3,852
30	0,102	1,097	3,950
35	0,108	1,168	4,026
40	0,117	1,217	4,048
45	0,113	1,275	4,138
50	0,113	1,306	4,168
55	0,117	1,343	4,209
60	0,126	1,373	4,246
65	0,122	1,398	4,271
70	0,130	1,416	4,296
75	0,116	1,444	4,309
80	0,119	1,450	4,320
85	0,121	1,472	4,343
90	0,119	1,483	4,353

40 km/h , poloměr 45m *			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,145	0,165	2,769
10	0,225	0,384	2,909
15	0,303	0,569	3,016
20	0,349	0,704	3,104
25	0,382	0,818	3,186
30	0,403	0,907	3,254
35	0,422	0,992	3,319
40	0,449	1,073	3,374
45	0,518	1,177	3,409
50	0,587	1,264	3,427
55	0,664	1,356	3,442
60	0,752	1,454	3,453
65	0,889	1,599	3,461
70	1,002	1,722	3,469
75	1,134	1,856	3,473
80	1,278	2,002	3,474
85	1,504	2,234	3,483
90	1,696	2,726	3,480

40 km/h , poloměr 45m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,089	0,122	2,786
10	0,028	0,289	3,013
15	0,042	0,405	3,175
20	0,075	0,474	3,332
25	0,077	0,531	3,342
30	0,078	0,547	3,378
35	0,079	0,583	3,399
40	0,08	0,593	3,414
45	0,082	0,598	3,436
50	0,083	0,616	3,457
55	0,083	0,634	3,459
60	0,086	0,634	3,451
65	0,089	0,634	3,473
70	0,090	0,653	3,477
75	0,094	0,651	3,482
80	0,096	0,641	3,484
85	0,101	0,635	3,487
90	0,103	0,634	3,490

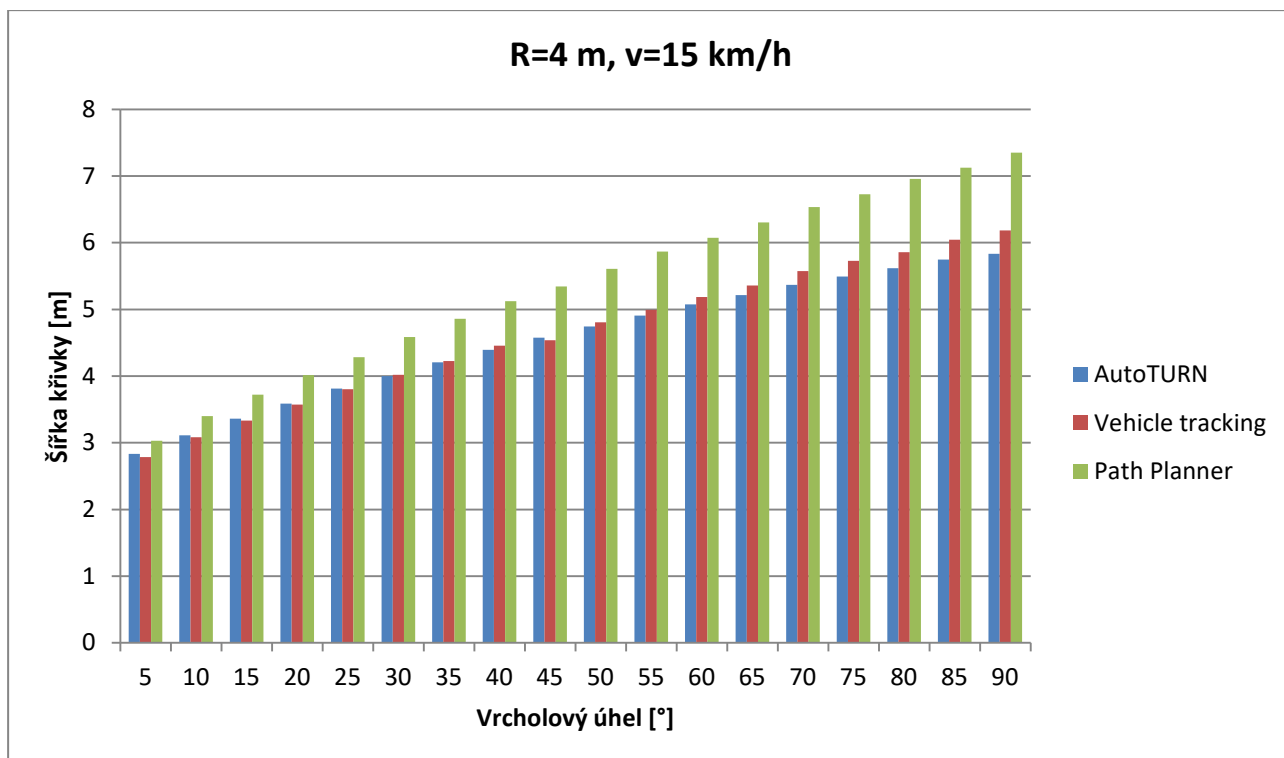
40 km/h , poloměr 45m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,021	0,282	3,052
10	0,038	0,494	3,283
15	0,068	0,635	3,453
20	0,064	0,748	3,562
25	0,063	0,818	3,632
30	0,061	0,878	3,689
35	0,088	0,918	3,756
40	0,082	0,953	3,784
45	0,079	0,963	3,792
50	0,085	0,993	3,830
55	0,084	1,009	3,843
60	0,092	1,026	3,867
65	0,095	1,042	3,886
70	0,094	1,038	3,883
75	0,079	1,042	3,870
80	0,098	1,060	3,908
85	0,049	1,093	3,893
90	0,095	1,053	3,898

50 km/h , poloměr 82m				50 km/h , poloměr 82m				50 km/h , poloměr 82m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,177	0,153	2,726	5	0,065	0,086	2,777	5	0,022	0,251	3,022
10	0,270	0,341	2,820	10	0,010	0,184	2,927	10	0,043	0,403	3,187
15	0,314	0,456	2,892	15	0,012	0,228	2,968	15	0,052	0,456	3,258
20	0,311	0,516	2,956	20	0,010	0,253	3,002	20	0,047	0,505	3,303
25	0,284	0,547	3,018	25	0,011	0,268	3,009	25	0,041	0,524	3,315
30	0,242	0,545	3,054	30	0,006	0,286	3,023	30	0,046	0,546	3,343
35	0,299	0,617	3,068	35	0,007	0,284	3,025	35	0,045	0,563	3,358
40	0,298	0,626	3,078	40	0,005	0,287	3,035	40	0,051	0,583	3,384
45	0,319	0,652	3,082	45	0,005	0,287	3,033	45	0,048	0,577	3,376
50	0,319	0,656	3,087	50	0,005	0,298	3,035	50	0,049	0,579	3,378
55	0,347	0,685	3,088	55	0,004	0,289	3,038	55	0,054	0,577	3,380
60	0,347	0,687	3,089	60	0,004	0,290	3,038	60	0,054	0,581	3,384
65	0,417	0,757	3,089	65	0,002	0,290	3,038	65	0,042	0,578	3,369
70	0,385	0,726	3,092	70	0,003	0,291	3,037	70	0,044	0,548	3,386
75	0,458	0,766	3,089	75	0,003	0,284	3,034	75	0,050	0,578	3,378
80	0,431	0,775	3,094	80	0,004	0,284	3,037	80	0,053	0,581	3,383
85	0,493	0,835	3,092	85	0,007	0,280	3,038	85	0,049	0,584	3,384
90	0,455	0,798	3,093	90	0,008	0,280	3,037	90	0,05	0,583	3,381

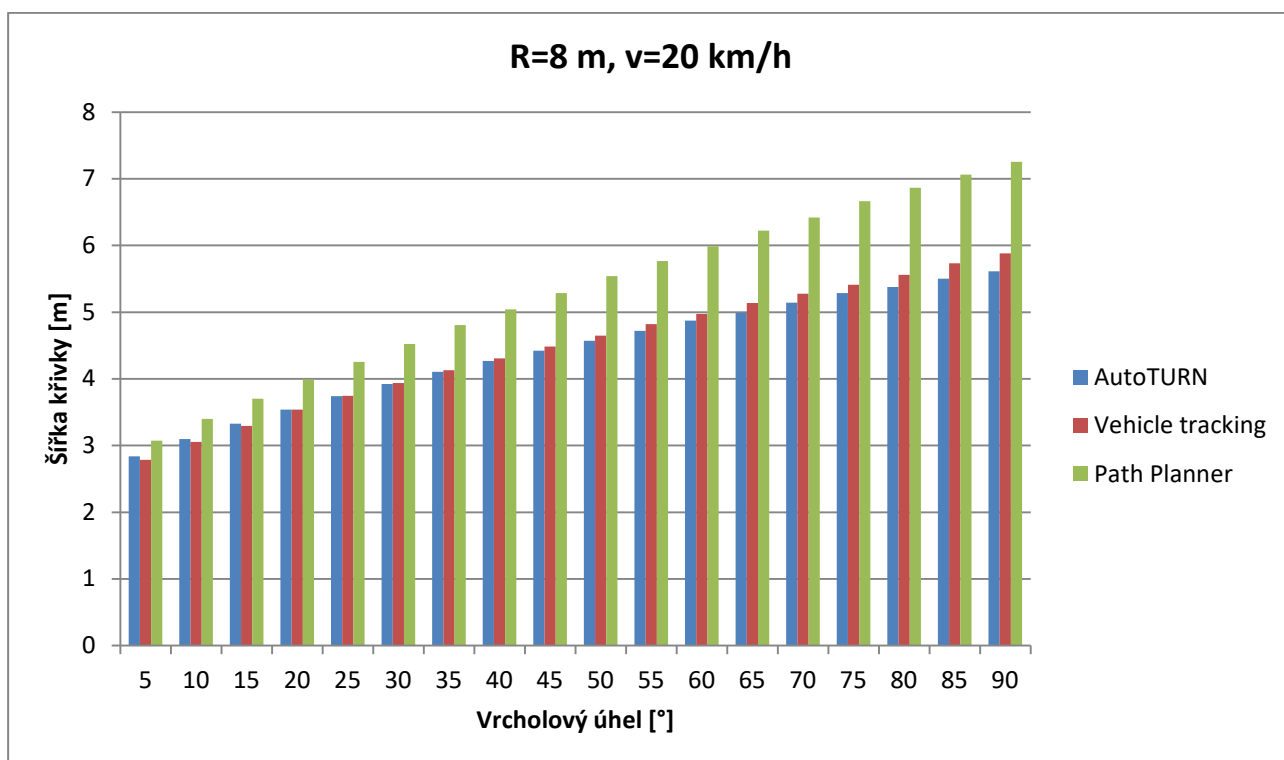
60 km/h , poloměr 129m				60 km/h , poloměr 129m				60 km/h , poloměr 129m			
úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky	úhel	vnější	vnitřní	šířka křivky
5	0,211	0,148	2,687	5	0,053	0,053	2,747	5	0,025	0,230	3,001
10	0,305	0,3102	2,755	10	0,051	0,103	2,799	10	0,035	0,303	3,088
15	0,322	0,382	2,810	15	0,051	0,121	2,822	15	0,026	0,336	3,112
20	0,311	0,416	2,856	20	0,050	0,129	2,830	20	0,026	0,359	3,136
25	0,319	0,448	2,878	25	0,050	0,133	2,832	25	0,027	0,371	3,148
30	0,327	0,464	2,886	30	0,047	0,134	2,842	30	0,029	0,364	3,143
35	0,337	0,477	2,889	35	0,05	0,139	2,842	35	0,028	0,370	3,148
40	0,35	0,492	2,891	40	0,048	0,138	2,843	40	0,031	0,378	3,159
45	0,364	0,506	2,892	45	0,048	0,138	2,844	45	0,033	0,374	3,156
50	0,38	0,522	2,892	50	0,046	0,137	2,847	50	0,033	0,375	3,158
55	0,397	0,540	2,893	55	0,043	0,141	2,844	55	0,020	0,374	3,143
60	0,417	0,603	2,892	60	0,046	0,137	2,842	60	0,032	0,359	3,142
65	0,439	0,583	2,893	65	0,047	0,135	2,843	65	0,037	0,365	3,152
70	0,464	0,607	2,893	70	0,044	0,138	2,846	70	0,017	0,381	3,148
75	0,492	0,635	2,893	75	0,044	0,138	2,842	75	0,033	0,372	3,154
80	0,536	0,679	2,893	80	0,043	0,134	2,841	80	0,025	0,368	3,144
85	0,619	0,763	2,893	85	0,042	0,131	2,842	85	0,035	0,367	3,152
90	0,664	0,809	2,895	90	0,041	0,137	2,842	90	0,031	0,371	3,151

Tabulka 22 - Šířka vlečných křivek pro poloměry dle ČSN 736102

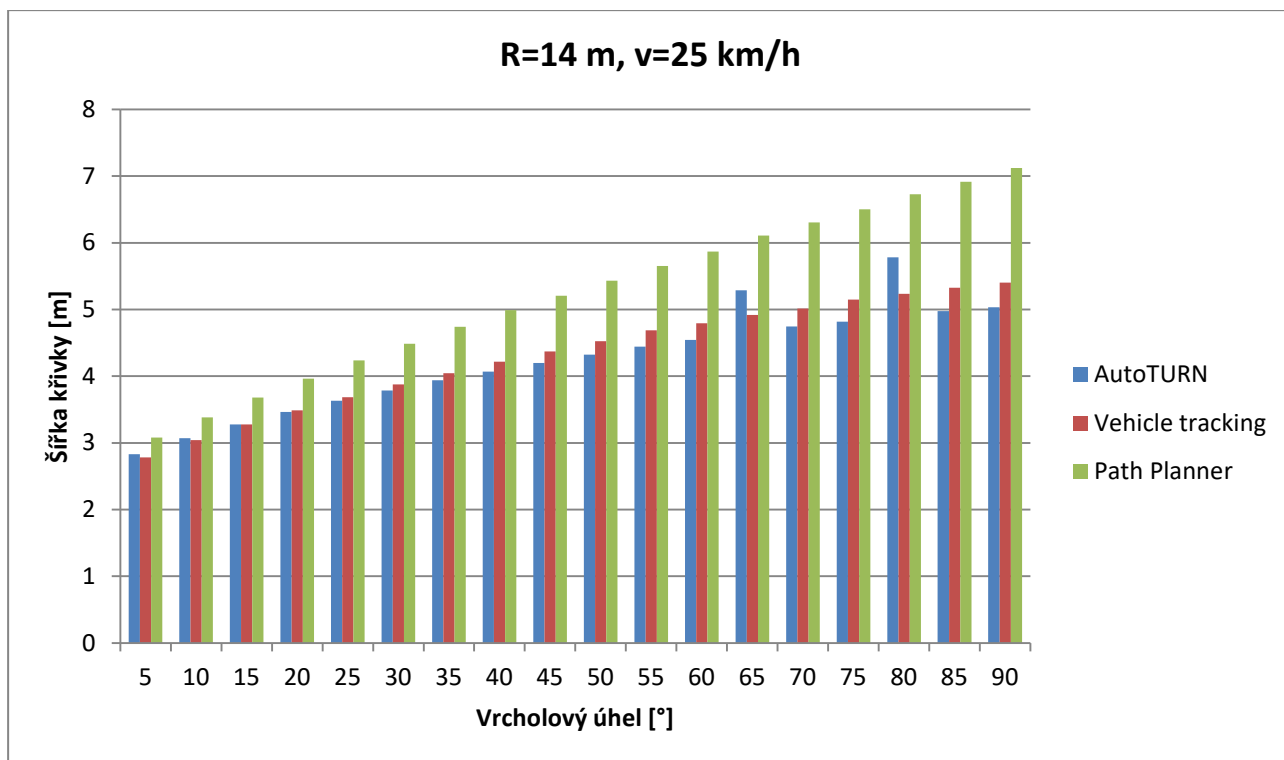
*takto označené tabulky nebyly zpracovány podle zadání, program upravil některý z požadovaných parametrů.



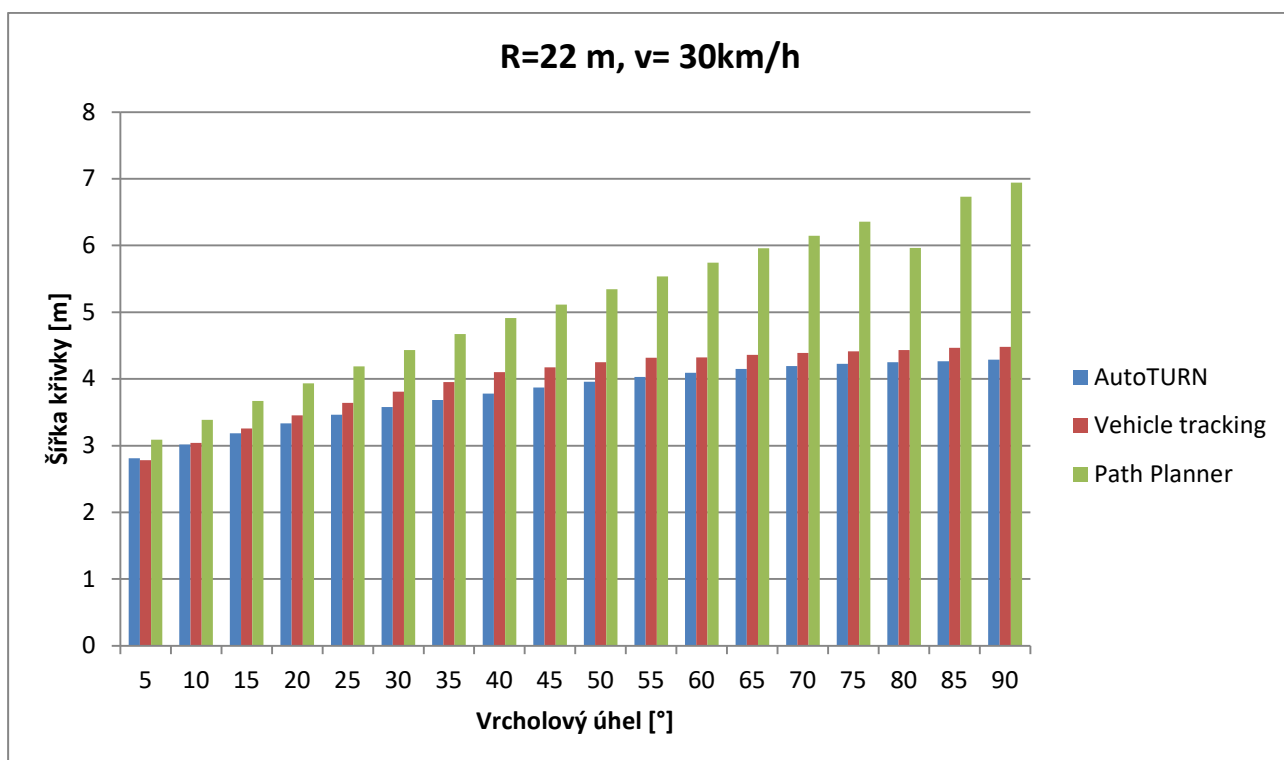
Graf 13 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=4 m, v=15 km/h)



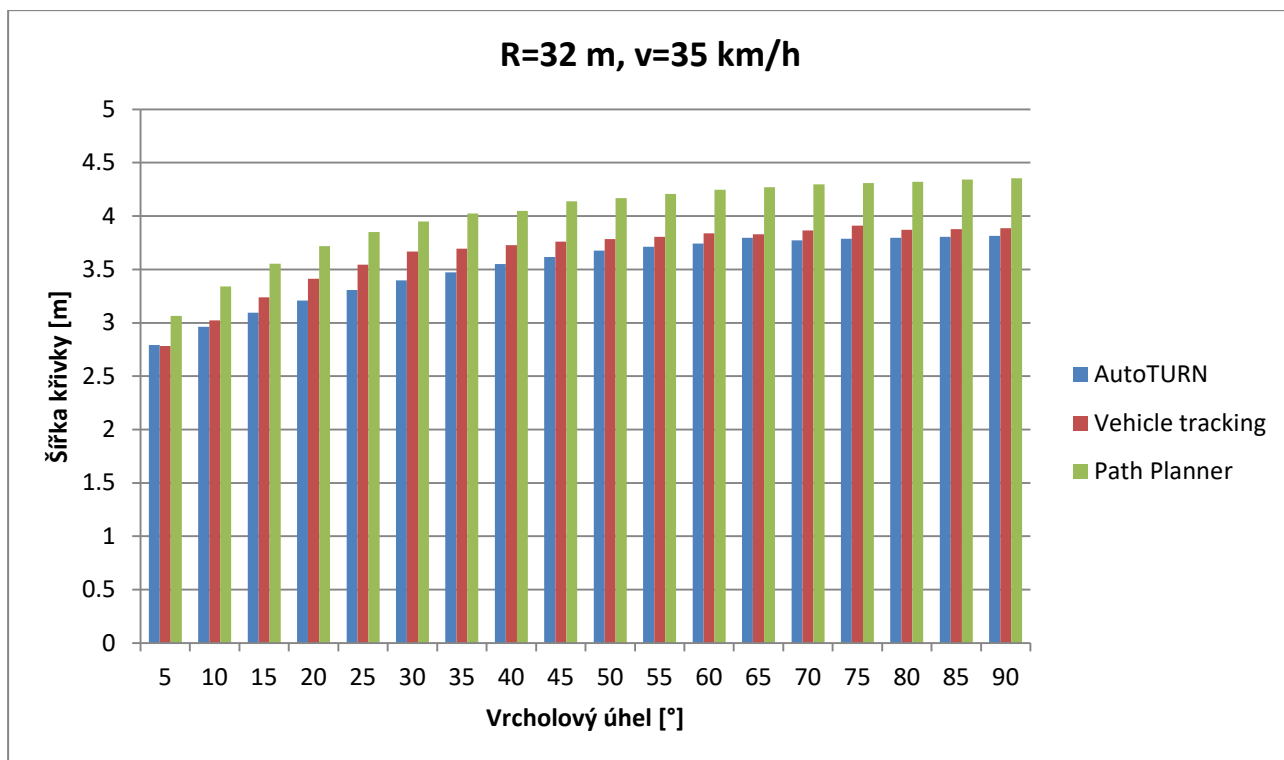
Graf 14 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=8 m, v=20 km/h)



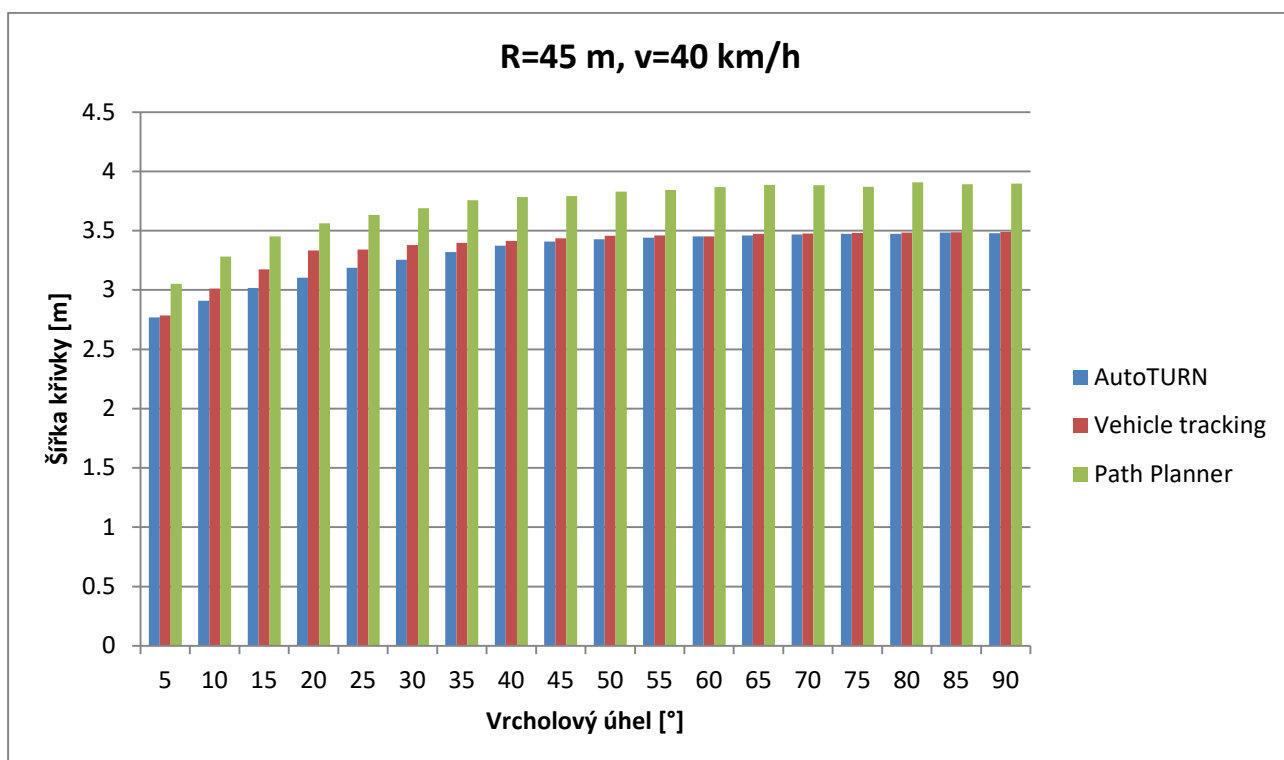
Graf 15 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=14 m, v=25 km/h)



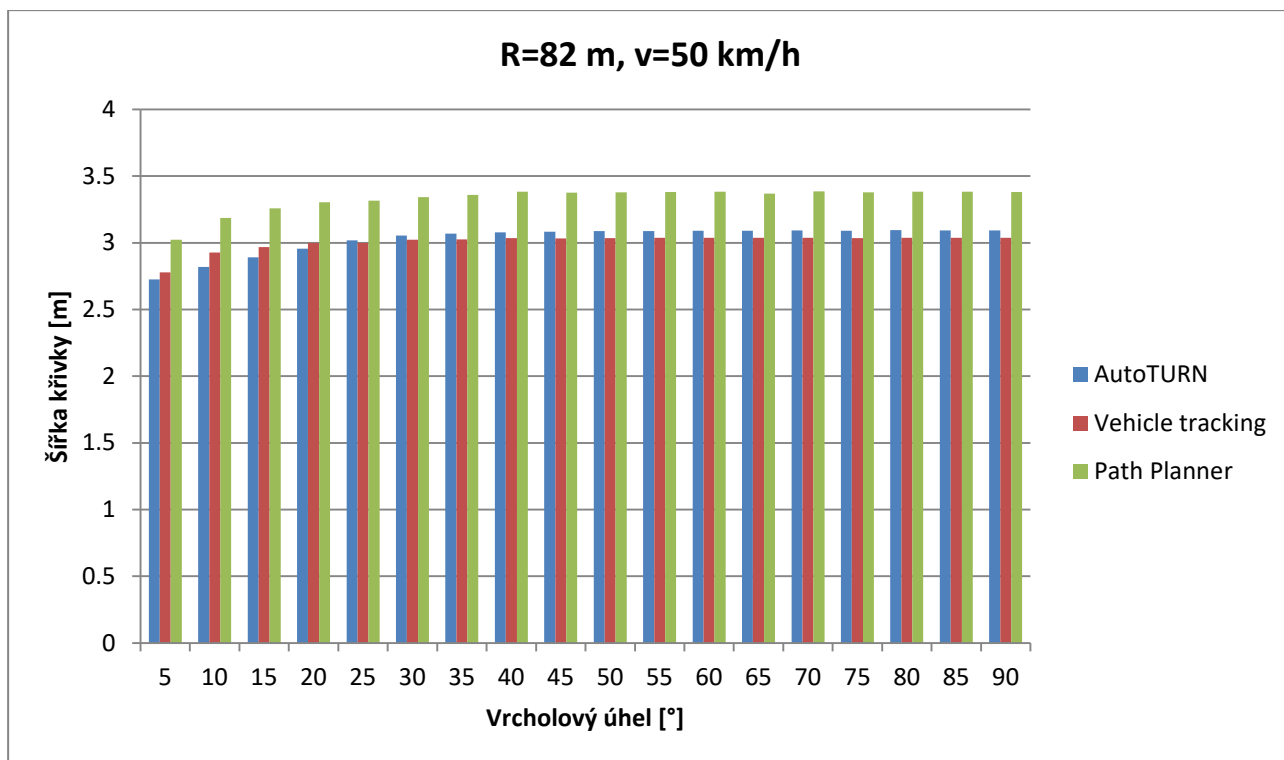
Graf 16 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=22 m, v=30 km/h)



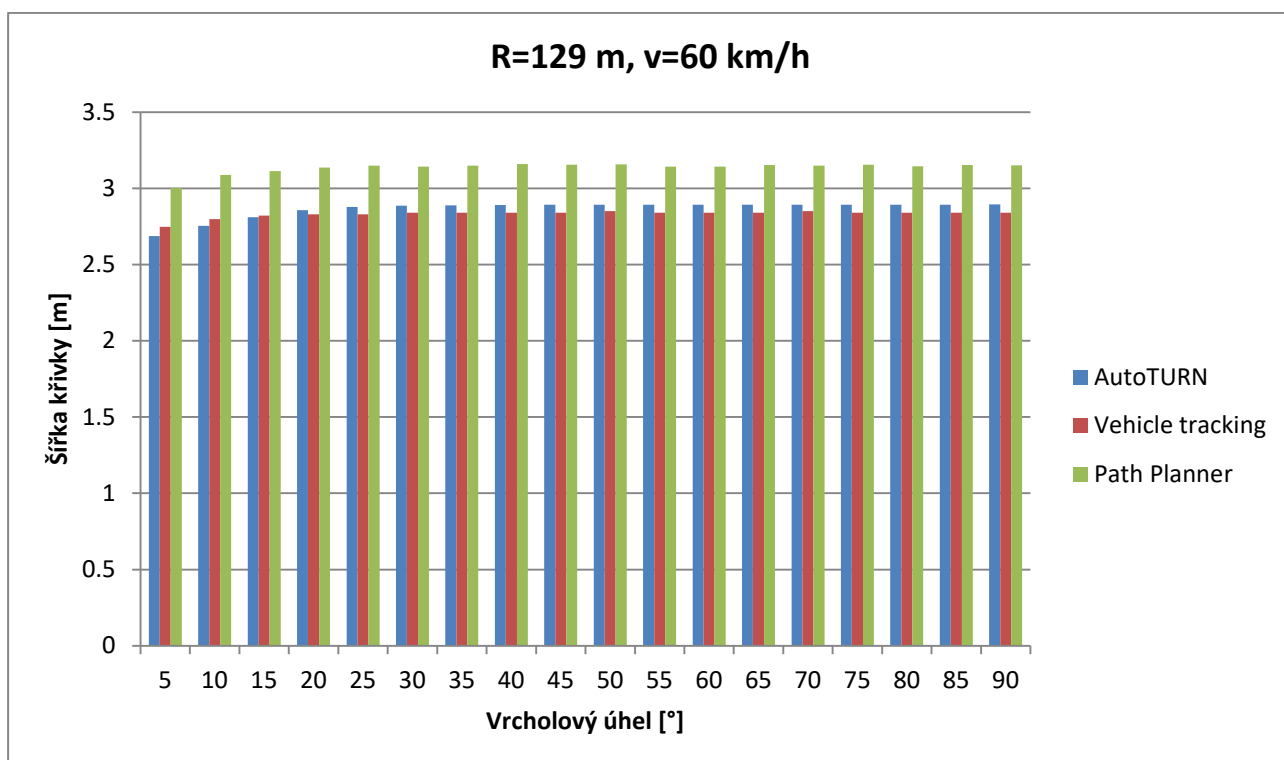
Graf 17 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=32 m, v=35 km/h)



Graf 18 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=45 m, v=40 km/h)



Graf 19 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=82 m, v=50 km/h)



Graf 20 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=129 m, v=60 km/h)

7.1.3. Srovnání SW a TP 171

Prověřením průjezdnosti směrového oblouku pomocí vlečných křivek různých druhů vozidel se zabývá předpis TP 171 - *Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací* (3). Tento předpis definuje rozměry směrodatných vozidel a jejich vlečné křivky v rozmezí 40-160 gradů.

Bylo provedeno porovnání vlečných křivek vytvořených v simulačních programech s vlečnými křivkami definovanými v TP 171. Jako referenční vozidlo byla vybrána nákladní návěšová souprava, pro srovnání byly použity programy AutoTURN a Vehicle Tracking.

TP 171 definuje 2 způsoby jízdy:

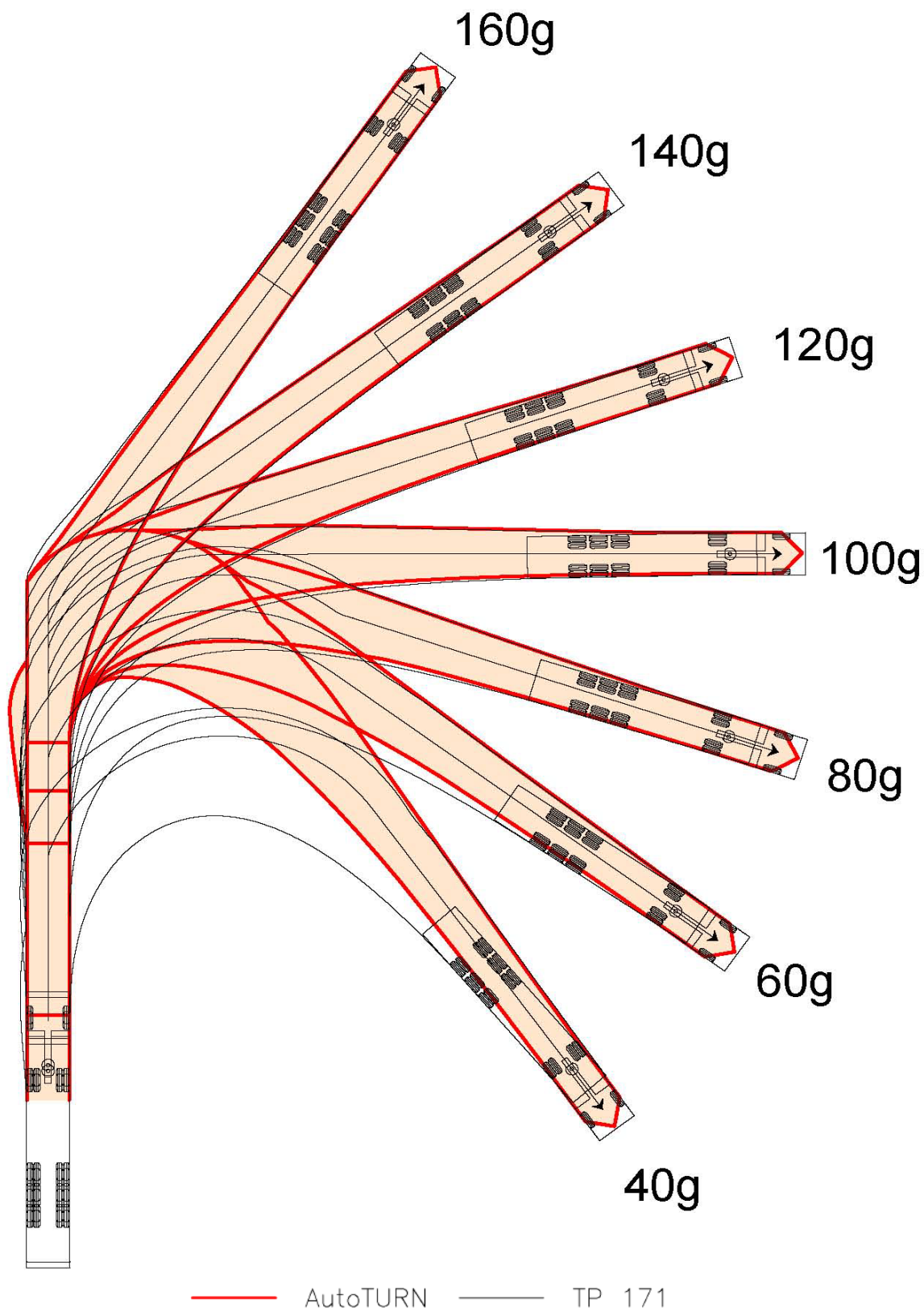
Způsob jízdy 1 – Ovládání řízení (natáčení volantu) probíhá za jízdy malou rychlostí. Úseky vodících linií s kruhovými oblouky a přímkami se spojí tangenciálně, takže na místech přechodu nevzniká žádný lom vodící linie. Takovéto zjednodušení je přípustné, neboť přechodnice je možné zanedbat díky rychlé změně úhlu řízení při jízdě malými rychlostmi.

Vnější poloměry odpovídají poloměrum zatáčení příslušného směrodatného vozidla. Řidiči vozidel plynule vjíždějí při stálém natáčení volantu do kruhového oblouku a opouštějí ho rovněž při stálém natáčení volantu.

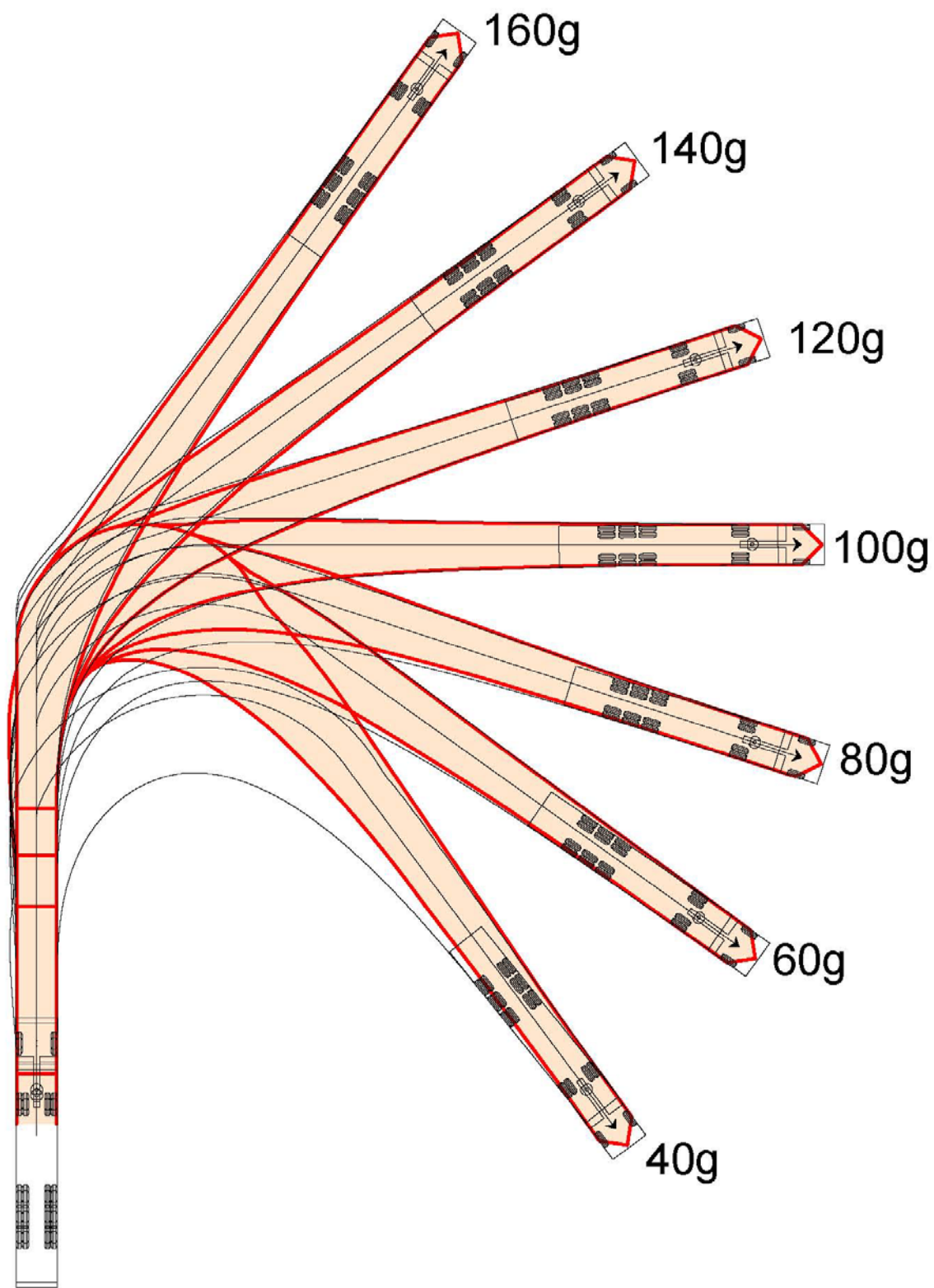
Způsob jízdy 2 – Jestliže řidiči vozidel natočí volant při (téměř) stojícím vozidle a potom se rozjedou, vzniká na linii zlom. Tento způsob jízdy s dosažením maximálního úhlu řízení při stojícím vozidle je simulován předpokladem náhlého přechodu mezi přímkou a kruhovým obloukem. Z toho vyplývá technicky možná změna úhlu směru okolo cca 40°, u autobusů (s výjimkou kloubových) 55°.

Z porovnání vyplývá, že s klesající hodnotou vrcholového úhlu vzrůstá odchylka od normovaných křivek. Křivky generované simulačními programy mají podobný tvar jako křivky v TP 171, některé detaily se však liší, např. poloha kapsy tvořené vybočením návěšu v počáteční fázi manévru, její velikost je však přibližně stejná. Obecně lze říci, že program AutoTURN *Obrázek 31* a *Obrázek 32* vykazuje větší odchylky od TP 171 než program Vehicle Tracking, *Obrázek 33* a *Obrázek 34*.

Protože není známo, jakým způsobem byly vlečné křivky pro TP 171 vytvořeny, nebylo provedeno jejich srovnání s křivkami generovanými simulačními programy.

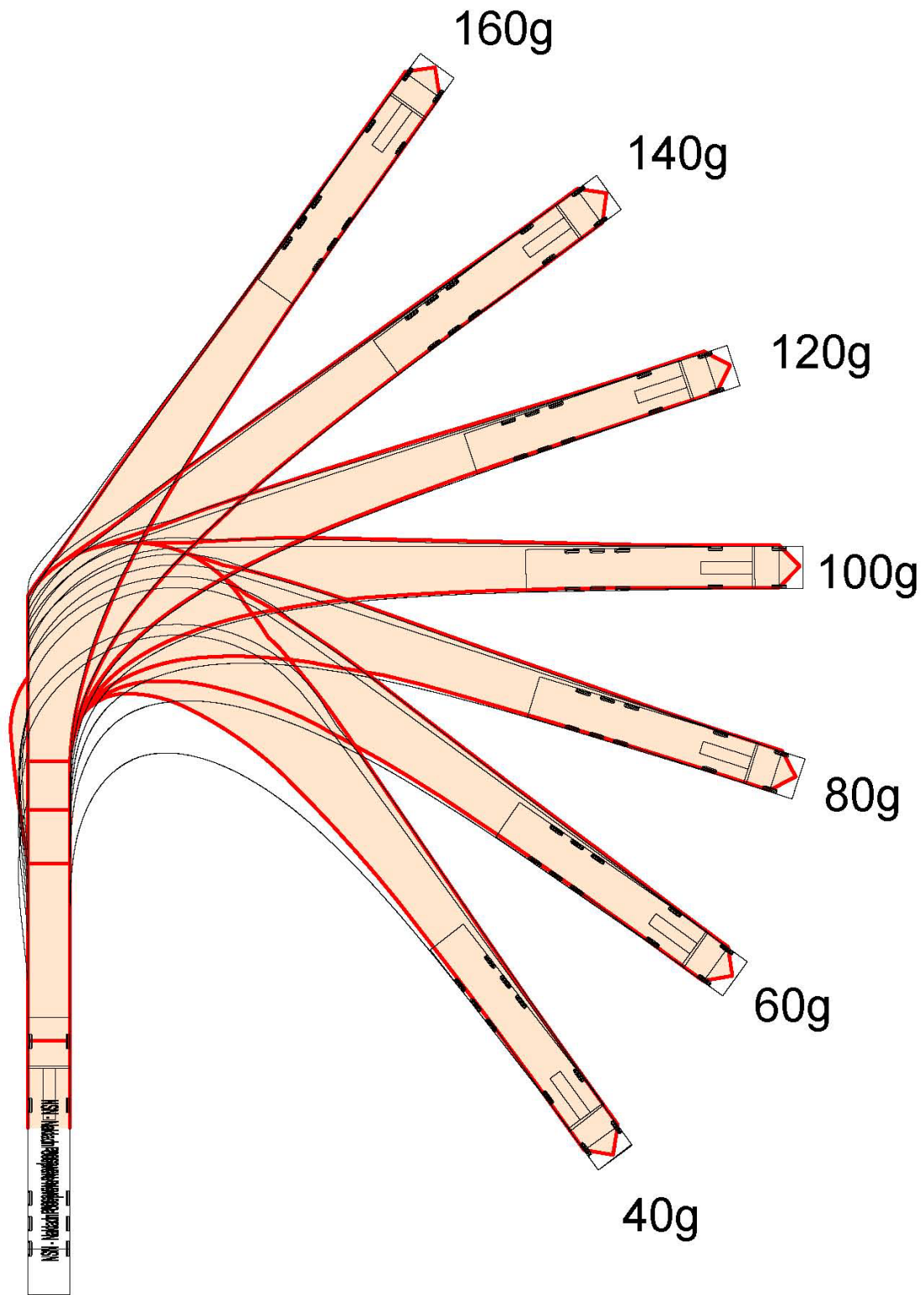


Obrázek 31 - Porovnání obalových křivek AutoTURN a TP171 způsob 1



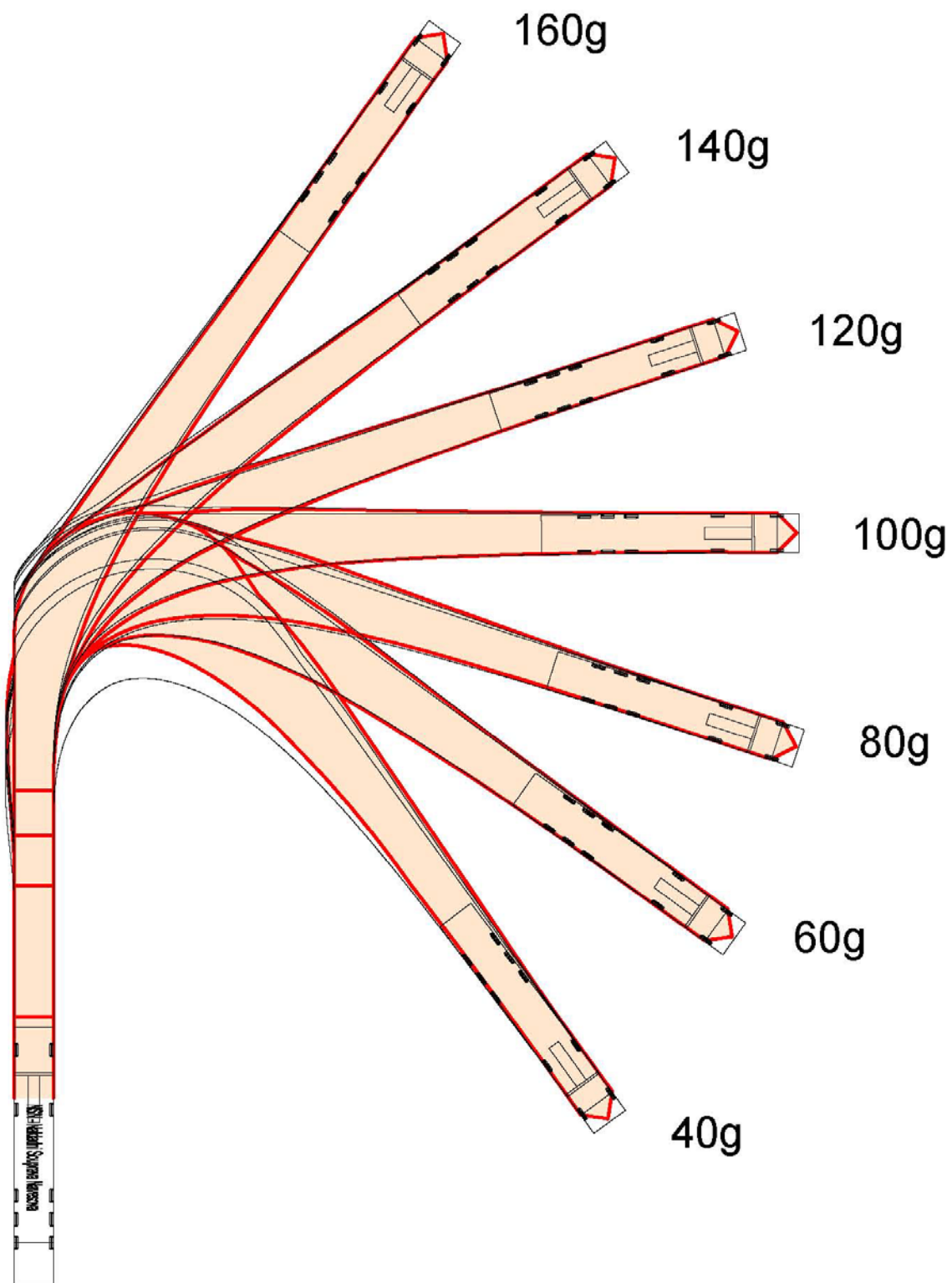
— AutoTURN — TP 171

Obrázek 32 - Porovnání obalových křivek AutoTURN a TP171 způsob 2



— Vehicle Tracking — TP 171

Obrázek 33 - Porovnání obalových křivek Vehicle Tracking a TP171 způsob 1



— Vehicle Tracking — TP 171

Obrázek 34 - Porovnání obalových křivek Vehicle Tracking a TP171 způsob 2

7.2 Měření

Cílem měření bylo získat vlečnou křivku reálného vozidla, pro porovnání s křivkami vytvořenými simulačním SW.

Měření proběhlo dne 22.7.2015 v době od 10:00-14:00 na parkovišti Masarykova okruhu v Brně. Teplota vzduchu se pohybovala v rozmezí 32-35°C, počasí bylo jasné, slunečné. Celkem bylo provedeno 18 měření rozdělených do dvou skupin.

První skupina měření, M01-M10, byla zaměřena na ověření chování vozidla. Měření se zúčastnili 3 řidiči, kteří dostali pokyn dodržovat pro každou jízdu určitou rychlost a při ní provádět náhodné manévry se změnou směru o 70 a více stupňů.

Při měření M01 byli ověřovány minimální/maximální možnosti testovacího vozidla, pro srovnání s návrhovým vozidlem, bez ohledu na komfort cestujících. Při měřeních M02-M10 volil řidič poloměr tak, aby boční zrychlení nebylo subjektivně nepříjemné.

Druhá skupina měření, M11-M18, ověřovala komfort cestujících (subjektivní pocit) při průjezdu obloukem daného poloměru danou rychlostí. Simulační SW má pevně nastavený minimální poloměr pro určitou rychlost. Tento poloměr přibližně odpovídá bočnímu zrychlení 0,2g, které je považováno za limitní z hlediska komfortu cestujících. Byly proto vytýčeny 4 poloměry, které řidiči projížděli danými rychlostmi.

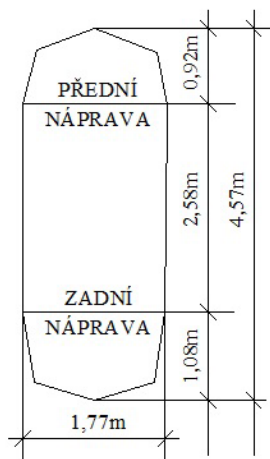
Vyhodnocení komfortu cestujících není součástí disertační práce.

7.2.1. Měřicí vozidlo

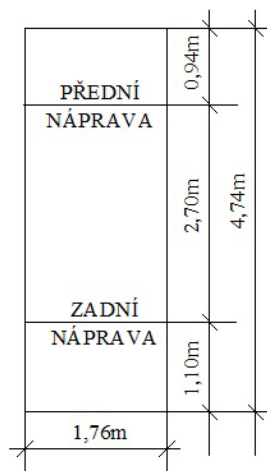
Jako referenční vozidlo pro ověření rozdílu reálných a simulovaných vlečných křivek, byl vybrán automobil kategorie O1, který TP 171 definuje jako vozidlo délky 4,74 m o rozvoru 2,70 m. Přední převis má hodnotu 0,94 m, zadní převis pak 1,10 m, šířka vozidla je 1,76 m, plocha obrysu vozidla je 8,43 m².

Těmto rozměrům se nejvíce blíží Škoda Octavia Combi, která je současně na českých silnicích dostatečně zastoupena a jedná se proto o vhodné referenční vozidlo. Rozměry měřicího dle specifikace výrobce jsou tyto: délka 4,57 m, rozvor 2,58 m, přední převis 0,92 m, zadní převis 1,08 m, šířka 1,77 m, plocha obrysu vozidla je 7,48 m², tj 11,26% méně.

MĚŘICÍ VOZIDLO



VOZIDLO DLE TP 171



Obrázek 35 - Rozměry měřicího a simulovaného vozidla



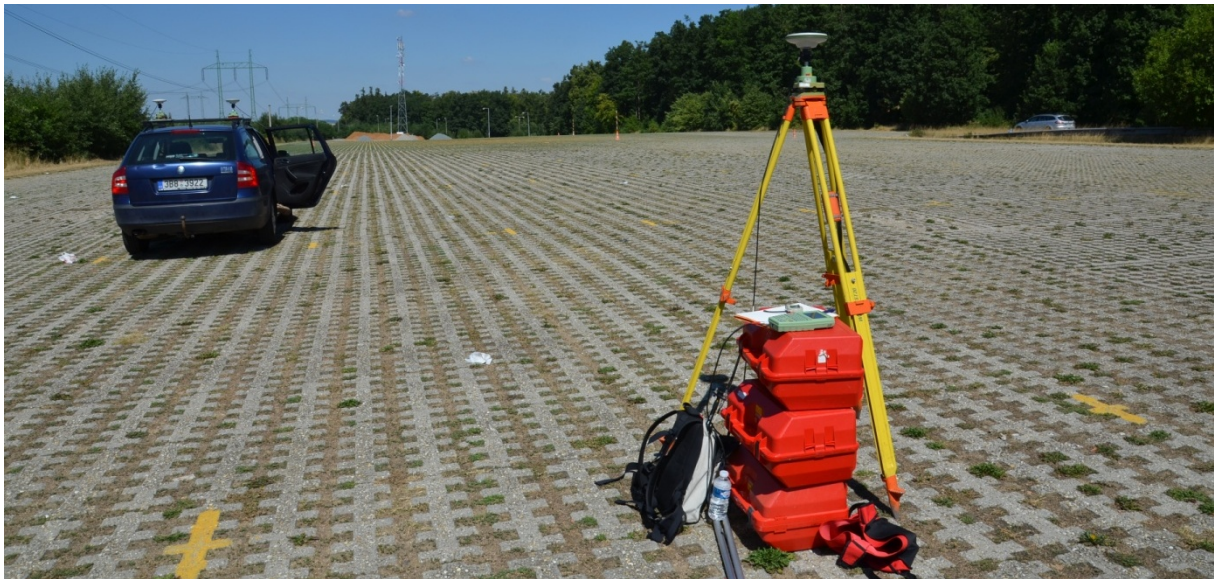
Obrázek 36 - Měřící vozidlo

7.2.2. Měřící systém

Na referenční vozidlo byly umístěny dva GPS rovery – S1 (Leica System 1200, anténa AX1202, záznam 20 Hz = 0,05 sec) a S5 (Leica System 500, anténa AT502, záznam 10 Hz = 0,1 sec). Jako lokální referenční stanice byl použit Leica System 1200, anténa AX1202, záznam 20 Hz = 0,05 sec umístěný na stativu. Pro zaměření trajektorie vozidla byla zvolena kinematická metoda s inicializací za pohybu (Kinematic On The Fly Method). Nejistota určení prostorové polohy se pohybuje v prostoru do 0,01 m.

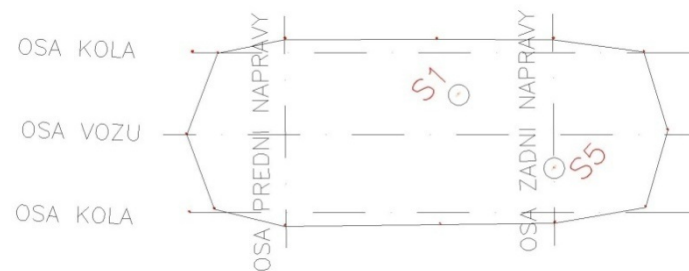


Obrázek 37 - Detail umístění GPS roverů



Obrázek 38 - Referenční stanice

Před zahájením měření vlastních křivek byly pomocí referenční stanice zaměřeny rozměry vozidla a poloha GPS roverů. Takto zaměřený obrys vozidla byl poté využit pro srovnání a vyhodnocení rozdílů reálné a simulované vlečné křivky.



Obrázek 39 - Zaměřený obrys vozidla



Obrázek 40 - Průběh měření

Výsledkem měření byla soustava dvojic bodů – identifikátorů trasy v následujícím formátu:

AAAABBCC_HHMMSSD

AAAA ... identifikátor (číslo) přijímače GNSS na vozidle

BBCC ... datum (BB - měsíc, CC - den)

HHMMSSD ... čas (HH - hodina UTC - greenwichský čas resp. UTC (- 2h od SELČ))

MM - minuty

SS - sekundy

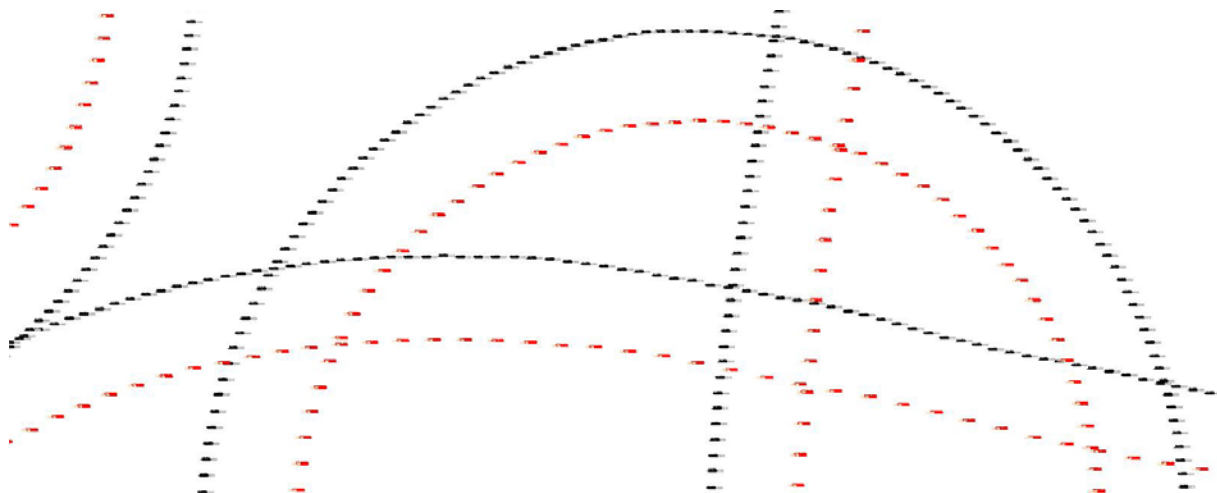
D - desetiny sekundy

Každý z identifikátorů pak obsahuje X, Y, Z souřadnice, pro vynesení trajektorie vozidla a vytvoření obalové křivky. Znalost času pak umožňuje spočítat okamžitou rychlost vozidla.

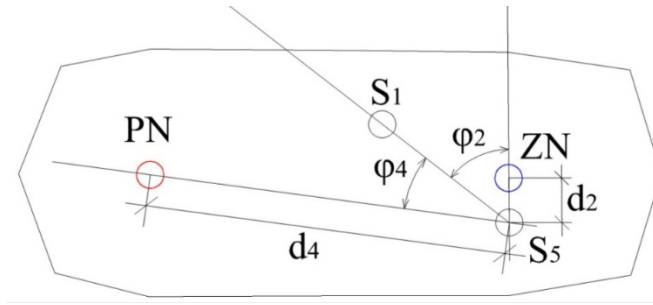
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
S108590180	609769.6988	1159102.7964	444.6273	
S108590185	609769.6985	1159102.7969	444.6245	
S108590190	609769.6976	1159102.7976	444.6210	
S108590195	609769.6992	1159102.7972	444.6251	
S108590200	609769.6976	1159102.7967	444.6250	
S108590205	609769.6983	1159102.7974	444.6250	
S108590210	609769.6980	1159102.7985	444.6254	
S108590215	609769.6995	1159102.7990	444.6230	
S108590220	609769.6977	1159102.7955	444.6217	
S108590225	609769.6988	1159102.7976	444.6229	
S108590230	609769.6973	1159102.7965	444.6239	
S108590235	609769.6974	1159102.7954	444.6231	
S108590240	609769.6981	1159102.7970	444.6219	
S108590245	609769.6989	1159102.7972	444.6243	
S108590250	609769.6988	1159102.7963	444.6231	
S108590255	609769.6980	1159102.7973	444.6265	
S108590260	609769.6994	1159102.7985	444.6254	
S108590265	609769.6979	1159102.7951	444.6251	
S108590270	609769.7002	1159102.7990	444.6241	
S108590275	609769.6987	1159102.7987	444.6265	
S108590280	609769.6993	1159102.7979	444.6230	
S108590285	609769.6982	1159102.7964	444.6252	
S108590290	609769.6984	1159102.7968	444.6248	
S108590295	609769.6988	1159102.7974	444.6227	
S108590300	609769.6982	1159102.7969	444.6243	
S108590305	609769.6999	1159102.7972	444.6238	
S108590310	609769.6995	1159102.7969	444.6248	
S108590315	609769.6982	1159102.7980	444.6239	
S108590320	609769.7000	1159102.7987	444.6239	
S108590325	609769.6990	1159102.7967	444.6236	
S108590330	609769.6984	1159102.7975	444.6235	
S108590335	609769.7002	1159102.7975	444.6263	
S108590340	609769.6995	1159102.7993	444.6247	
S108590345	609769.6985	1159102.7976	444.6261	

Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
S508585560	609769.5660	1159103.9443	444.6171	
S508585570	609769.5699	1159103.9522	444.6118	
S508585580	609769.5707	1159103.9482	444.6166	
S508585590	609769.5678	1159103.9469	444.6121	
S508585600	609769.5665	1159103.9438	444.6164	
S508585610	609769.5684	1159103.9515	444.6104	
S508585620	609769.5655	1159103.9450	444.6191	
S508585630	609769.5673	1159103.9482	444.6115	
S508585640	609769.5635	1159103.9430	444.6130	
S508585650	609769.5652	1159103.9433	444.6141	
S508585660	609769.5671	1159103.9456	444.6169	
S508585670	609769.5680	1159103.9478	444.6143	
S508585680	609769.5670	1159103.9507	444.6158	
S508585690	609769.5665	1159103.9458	444.6171	
S508585700	609769.5687	1159103.9484	444.6169	
S508585710	609769.5672	1159103.9503	444.6165	
S508585720	609769.5667	1159103.9472	444.6156	
S508585730	609769.5710	1159103.9511	444.6168	
S508585740	609769.5676	1159103.9481	444.6145	
S508585750	609769.5648	1159103.9441	444.6115	
S508585760	609769.5706	1159103.9496	444.6166	
S508585770	609769.5667	1159103.9469	444.6118	
S508585780	609769.5681	1159103.9464	444.6128	
S508585790	609769.5667	1159103.9485	444.6135	
S508585800	609769.5682	1159103.9484	444.6146	
S508585810	609769.5689	1159103.9496	444.6128	
S508585820	609769.5647	1159103.9423	444.6090	
S508585830	609769.5674	1159103.9467	444.6173	
S508585840	609769.5680	1159103.9464	444.6174	
S508585850	609769.5669	1159103.9487	444.6120	
S508585860	609769.5676	1159103.9463	444.6149	
S508585870	609769.5686	1159103.9495	444.6167	
S508585880	609769.5658	1159103.9458	444.6087	
S508585890	609769.5681	1159103.9463	444.6143	

Obrázek 41 - Výstupní soubory naměřených souřadnic



Obrázek 42 - Vykreslená trajektorie dle naměřených souřadnic - výřez



Obrázek 44 - Schéma rozmístění bodů na vozidle

Následně byly ze souřadnic trajektorií přední a zadní nápravy spočteny poloměry oblouků středu přední a zadní nápravy, Obrázek 45.

1	name	X	Y	time	[AB]	[BC]	[AC]	radius abc	rounded radius	R	dir	rounded radius 1	v = dx/dt	v = dy/dt	X_print	Y_print	is local
29	FRONT pt 28	609782.1044	1159082.9294	09:23:41.80	3.622978	4.246973	7.562964	7.093242	7.093242	R	1	7.093242	3.623	13.043	HN/A	HN/A	
30	FRONT pt 29	609781.8845	1159082.5972	09:23:41.90	3.661217	4.302648	7.677990	7.473100	7.473100	R	1	7.473100	3.661	13.180	HN/A	HN/A	
31	FRONT pt 30	609781.6448	1159082.2700	09:23:42.00	3.700144	4.355975	7.783393	7.782453	7.782453	R	1	7.782453	3.700	13.321	HN/A	HN/A	
32	FRONT pt 31	609781.3813	1159081.9504	09:23:42.10	3.744745	4.403633	7.899833	8.285781	8.285781	R	1	8.285781	3.745	13.481	HN/A	HN/A	
33	FRONT pt 32	609781.1049	1159081.6405	09:23:42.20	3.804146	4.453129	8.031348	8.859693	8.859693	R	1	8.859693	3.804	13.695	HN/A	HN/A	
34	FRONT pt 33	609780.8142	1159081.3385	09:23:42.30	3.867718	4.500342	8.171352	9.679082	9.679082	R	1	9.679082	3.868	13.924	HN/A	HN/A	
35	FRONT pt 34	609780.4834	1159081.0431	09:23:42.40	3.946573	4.524635	8.310175	10.888932	10.888932	R	1	10.888932	3.947	14.208	HN/A	HN/A	
36	FRONT pt 35	609780.1340	1159080.7708	09:23:42.50	4.020767	4.546587	8.446790	12.788615	12.788615	R	1	12.788615	4.021	14.475	HN/A	HN/A	
37	FRONT pt 36	609779.7716	1159080.5108	09:23:42.60	4.100577	4.554114	8.575745	16.034104	16.034104	R	1	16.034104	4.101	14.762	HN/A	HN/A	
38	FRONT pt 37	609779.4047	1159080.2539	09:23:42.70	4.169315	4.562849	8.686214	21.286299	21.286299	R	1	21.286299	4.169	15.010	HN/A	HN/A	
39	FRONT pt 38	609779.0212	1159080.0086	09:23:42.80	4.246973	4.556701	8.785277	34.041360	30.000000	R	1	30.000000	4.247	15.289	HN/A	HN/A	
40	FRONT pt 39	609778.6476	1159079.7625	09:23:42.90	4.302648	4.557104	8.856287	79.174025	30.000000	R	1	30.000000	4.303	15.490	HN/A	HN/A	
41	FRONT pt 40	609778.2535	1159079.5362	09:23:43.00	4.355975	4.555843	8.910985	162.912758	30.000000	L	-1	-30.000000	4.356	15.682	HN/A	HN/A	
42	FRONT pt 41	609777.8617	1159079.3039	09:23:43.10	4.403633	4.551070	8.939318	38.202405	30.000000	L	-1	-30.000000	4.404	15.853	HN/A	HN/A	
43	FRONT pt 42	609777.4684	1159079.0701	09:23:43.20	4.453129	4.543775	8.947214	21.429394	21.429394	L	-1	-21.429394	4.453	16.031	HN/A	HN/A	
44	FRONT pt 43	609777.0902	1159078.8116	09:23:43.30	4.500342	4.535367	8.934530	15.136958	15.136958	L	-1	-15.136958	4.500	16.201	HN/A	HN/A	
45	FRONT pt 44	609776.7067	1159078.5514	09:23:43.40	4.524635	4.521819	8.770531	11.524004	11.524004	L	-1	-11.524004	4.525	16.289	HN/A	HN/A	
46	FRONT pt 45	609776.3331	1159078.2759	09:23:43.50	4.546587	4.519177	8.801567	9.457004	9.457004	L	-1	-9.457004	4.547	16.368	HN/A	HN/A	
47	FRONT pt 46	609775.9874	1159077.9770	09:23:43.60	4.554114	4.525994	8.720559	8.147464	8.147464	L	-1	-8.147464	4.554	16.395	HN/A	HN/A	
48	FRONT pt 47	609775.6487	1159077.6631	09:23:43.70	4.562849	4.546674	8.634813	7.148035	7.148035	L	-1	-7.148035	4.563	16.426	HN/A	HN/A	
49	FRONT pt 48	609775.3364	1159077.3279	09:23:43.80	4.556701	4.572618	8.538162	6.447292	6.447292	L	-1	-6.447292	4.557	16.404	HN/A	HN/A	
50	FRONT pt 49	609775.0568	1159076.9566	09:23:43.90	4.557104	4.593658	8.453334	5.974413	5.974413	L	-1	-5.974413	4.557	16.406	HN/A	HN/A	
51	FRONT pt 50	609774.7860	1159076.5812	09:23:44.00	4.555843	4.633632	8.377047	5.588223	5.588223	L	-1	-5.588223	4.556	16.401	HN/A	HN/A	
52	FRONT pt 51	609774.5692	1159076.1619	09:23:44.10	4.551070	4.675462	8.341614	5.397243	5.397243	L	-1	-5.397243	4.551	16.384	HN/A	HN/A	
53	FRONT pt 52	609774.3872	1159075.7306	09:23:44.20	4.543775	4.726268	8.309205	5.226544	5.226544	L	-1	-5.226544	4.544	16.358	HN/A	HN/A	

Obrázek 45 - Výpočet poloměru a rychlosti přední nápravy

Poloměr projížděného oblouku byl vypočten z 3 bodů A, B a C dle Rovnice 26:

$$R = \frac{(abc)}{\sqrt{((a+b+c)+(b+c-a)+(c+a-b)+(a+b-c))}}$$

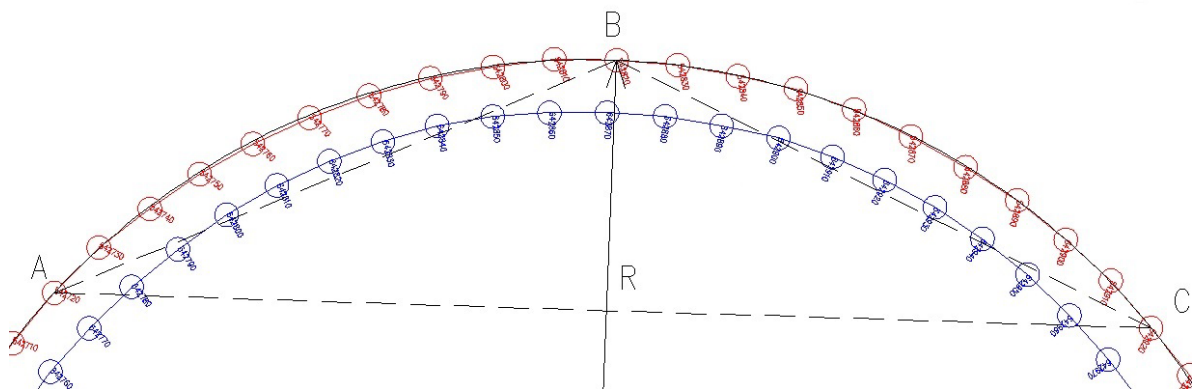
Rovnice 26 - Výpočet poloměru směrového oblouku

Vzájemná vzdálenost bodů A, B a C o souřadnicích (X, Y) je pak spočtena dle Rovnice 27:

$$d = \sqrt{((x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2)}$$

Rovnice 27 - Výpočet vzdálenosti jednotlivých bodů

Poloměr byl vypočten v každém měřeném bodě, zvlášť pro přední a zvlášť pro zadní nápravu. Pokud jsou pro výpočet použity 3 po sobě následující body, vliv nepřesnosti měření spolu s malou vzdáleností bodů násobí odchylky a výsledné vyhodnocení je zkreslené. Pro vyhodnocení je proto vždy 9 bodů vynecháno, pro výpočet poloměru v měřeném bodě $i = 11$ jsou uvažovány body $i = 1$ a $i = 21$, viz Obrázek 46. Pro názornost jsou body označeny A, B a C.



Obrázek 46 - Schéma výpočtu poloměru

Z vyhodnocení je jasně patrná proměnná křivost při průjezdu obloukem, kdy minimální poloměr tvoří pouze krátká část celého oblouku. I při snaze řidiče udržovat poloměr konstantní je patrná oscilace kolem požadované hodnoty poloměru.

Rychlost je spočtena obdobně jako poloměr v každém měřeném bodě zvlášť pro přední a zvlášť pro zadní nápravu dle Rovnice 28:

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

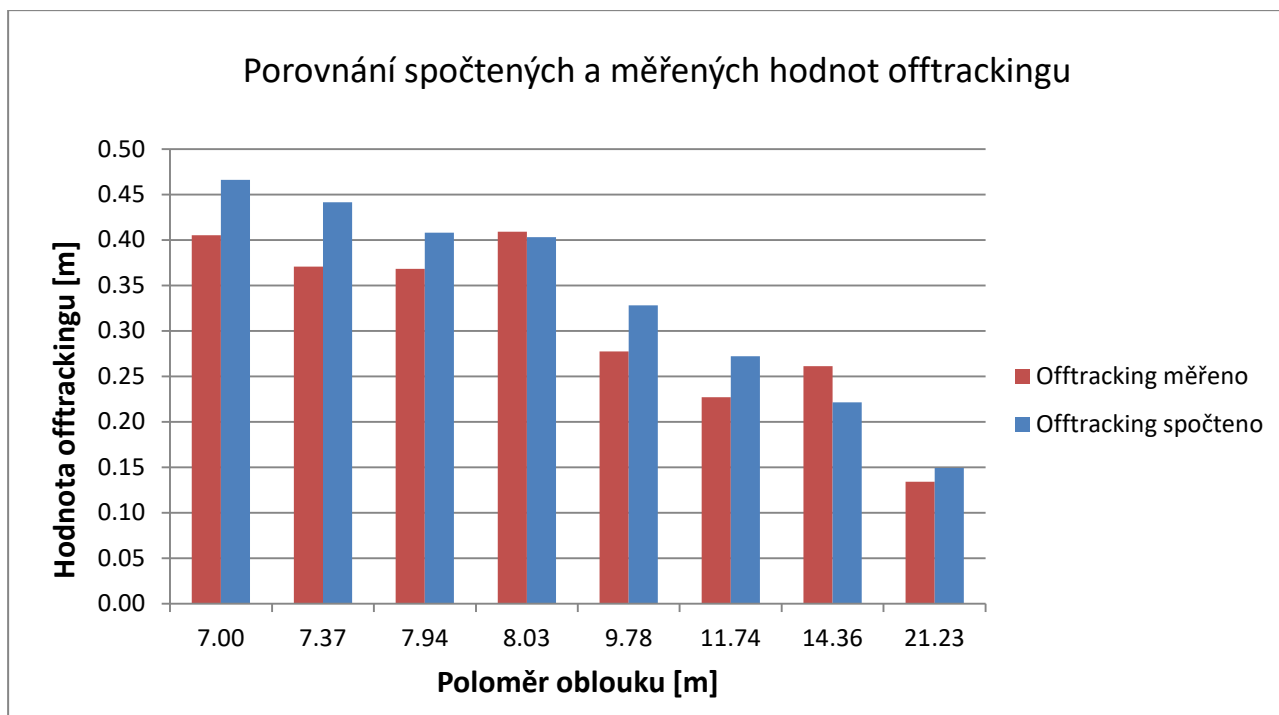
Rovnice 28 - Výpočet rychlosti vozidla

I zde je ve vyhodnocení jasně patrný pokles rychlosti při průjezdu směrovým obloukem i přes snahu řidičů udržet rychlost konstantní. Při výpočtu rychlosti byly použity stejné body jako pro výpočet poloměrů. Vypočtené hodnoty byly vykresleny do grafů, viz Graf 21, podrobné výsledky viz příloha B.

Z vypočtených hodnot poloměrů směrových oblouků byla stanovena lokální minima, tzn. nejmenší poloměr daného oblouku, pro který byla dle Rovnice 7 spočtena hodnota offtrackingu. Tato hodnota byla porovnána s hodnotou odměřenou z grafického vyhodnocení simulované vlečné křivky v programu AutoCAD.

Offtracking				
R [m]	Měřeno [m]	Spočteno [m]	Δ [m]	%
7.001	0.405	0.466	-0.061	-13.06
7.369	0.371	0.441	-0.071	-16.03
7.941	0.368	0.408	-0.040	-9.72
8.029	0.409	0.403	0.006	1.52
9.778	0.277	0.328	-0.051	-15.53
11.737	0.227	0.272	-0.045	-16.53
14.362	0.261	0.221	0.040	17.89
21.226	0.134	0.149	-0.015	-10.17

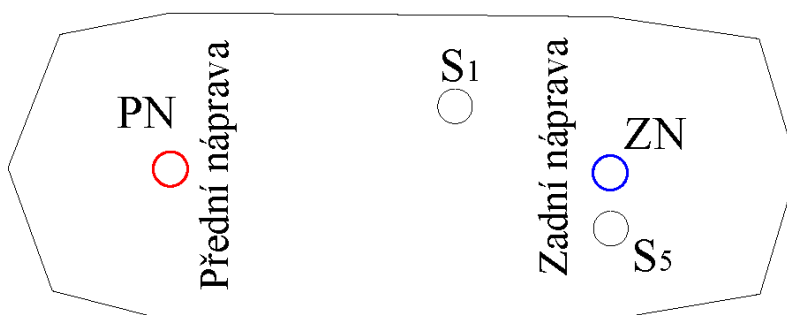
Tabulka 23 - Porovnání spočtených a měřených hodnot offtrackingu



Graf 21 - Porovnání spočtených a měřených hodnot offtrackingu

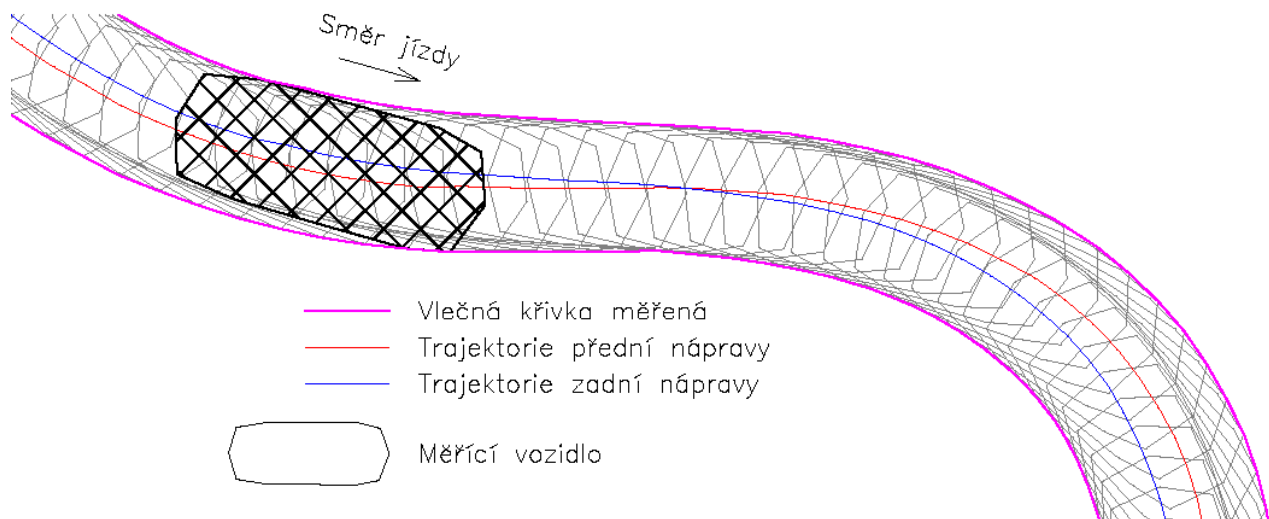
7.3.2. AutoCAD

V programu AutoCAD byla provedena grafická analýza průjezdů měřicího vozidla, stanoveny vlečné křivky a porovnány hodnoty offtrackingu spočtené v Excelu. Obrys měřicího vozidla společně se známými pozicemi snímačů S1 a S5 byl doplněn o body středu přední a zadní nápravy a následně vykreslen dle zaměřených souřadnic, *Obrázek 47*.



Obrázek 47 - Obrys měřicího vozidla

Vlečná křivka byla poté stanovena jako obalová křivka obrysů vozidla. Trajektorie středu přední a zadní nápravy byla vykreslena jako spojnice jednotlivých bodů, *Obrázek 48*.



Obrázek 48 - Vykreslení vlečné křivky a trajektorií přední a zadní nápravy

Hodnota offtrackingu je rovna kolmé vzdálenosti trajektorie přední a zadní nápravy v daném místě. Na základě analýzy poloměrů směrových oblouků v Excelu byla v místě minimálních poloměrů změřena vzdálenost těchto dvou křivek a porovnána s vypočtenou teoretickou hodnotou, Graf 21 a Tabulka 23; podrobněji viz Příloha B.

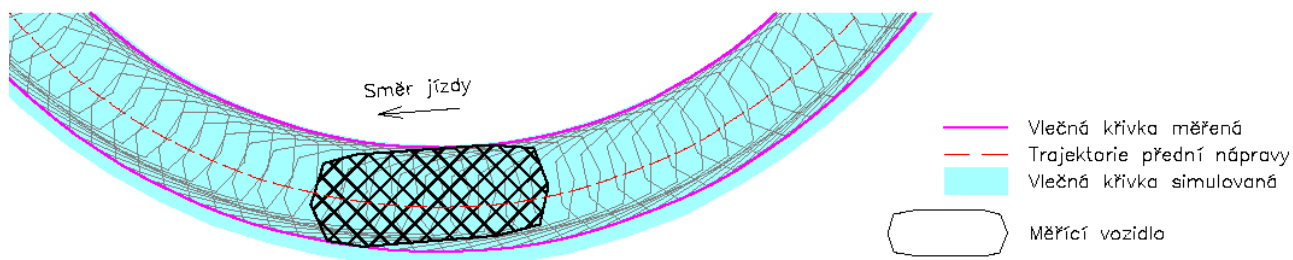
7.3.3. AutoTURN

Na závěr byla vlečná křivka měřicího vozidla vynesena v programu AutoCAD porovnána s vlečnou křivkou vytvořenou v programu AutoTURN. Tento program byl zvolen jako referenční na základě porovnání různých programů v rámci výzkumného projektu TA03031301 – Aktualizace návrhových prvků pozemních komunikací v intravilánu.

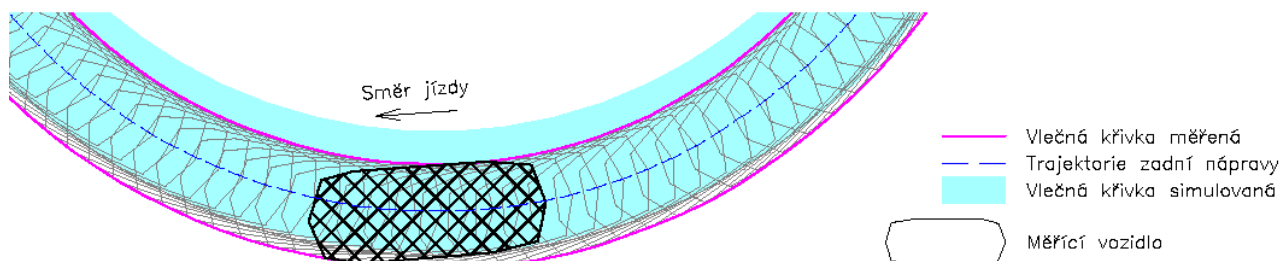
Program AutoTURN má implementovány české předpisy a pro tvorbu vlečné křivky používá vozidla dle TP 171, v našem případě vozidlo kategorie O1. Jak je zřejmé z Obrázku 35, rozměry vozidel nejsou stejné, a tedy ani vlečné křivky nemohou být stejné. Porovnání bylo proto provedeno z několika různých hledisek.

Jako první bylo zkoumáno, jaká trajektorie je pro simulační program řídicí. Při vzájemném porovnání simulačních programů, viz kapitola 7.1.1 Srovnání vlečných křivek pro oblouky dle ČSN 73 6101, bylo zjištěno, že při parametrickém zadání se může poloha vlečné křivky lišit od předpokládané trajektorie. Program sice umožňuje definovat požadovanou trajektorii, ale tato nemusí odpovídat chování vozidla. Program AutoTURN (i další programy) navíc umožňuje několik nastavení a podle zvolené metody se liší tvar výsledné vlečné křivky.

Z vyhodnocení v programu AutoCAD vyplynulo, že řídicím prvkem programu AutoTURN, při parametrickém zadání, je trajektorie středu přední nápravy. V případě, že byla použita trajektorie středu přední nápravy, simulovaná vlečná křivka tvarově i polohově odpovídá měřené křivce, viz Obrázek 49. Pokud byla použita trajektorie středu zadní nápravy, simulovaná vlečná křivka se od zaměřené polohově liší, viz Obrázek 50.



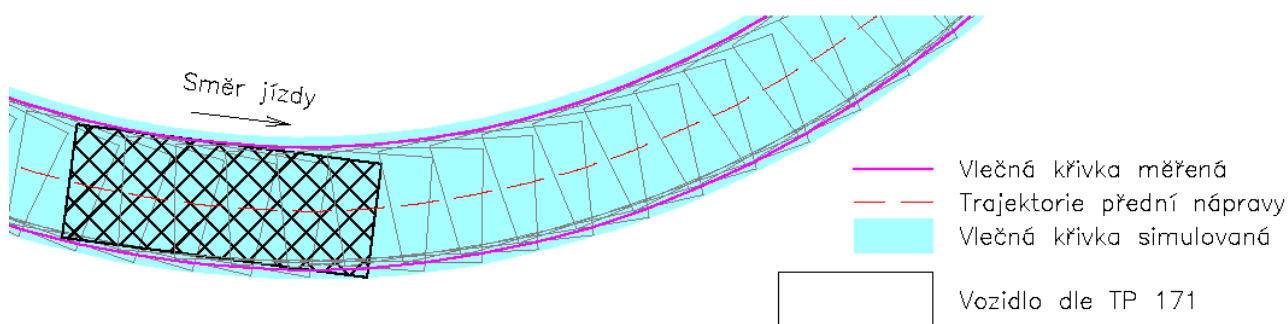
Obrázek 49 - Simulovaná a zaměřená vlečná křivka; střed přední nápravy



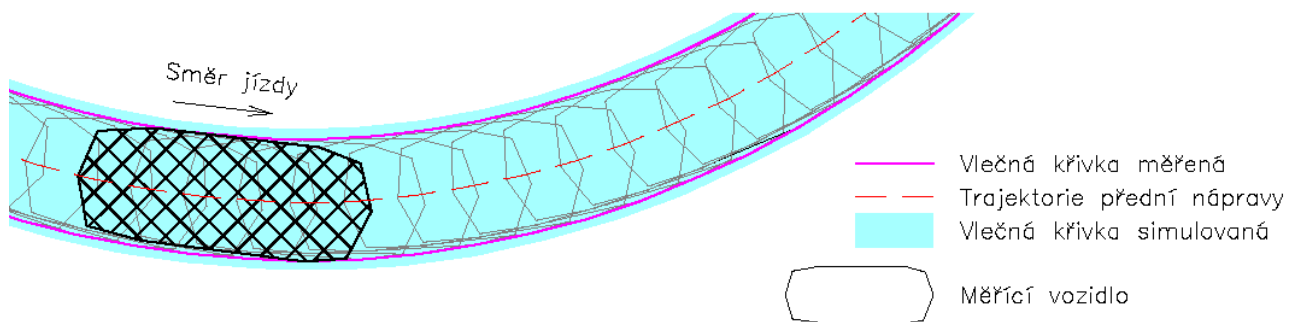
Obrázek 50 - Simulovaná a zaměřená vlečná křivka; střed zadní nápravy

Porovnáním vlečných křivek simulovaného a měřicího vozidla bylo zjištěno, že simulovaná vlečná křivka tvarově i polohově odpovídá vlečné křivce měřicího vozidla. Plocha vlečné křivky vozidla definovaného dle TP 171 (simulovaná) je díky větším rozměrům vozidla a menšímu úhlu natočení kol větší o cca 6,0-15,0% ve srovnání s měřicím vozidlem, viz Graf 22. U směrových oblouků většího poloměru se plocha vlečné křivky měřicího a definovaného vozidla odlišuje méně než v případě směrových oblouků malého poloměru. Je však třeba vzít v potaz, že rozdíl ploch srovnávaných vozidel činí 11,26%, viz Obrázek 35.

Protože měřicí vozidlo má jiné rozměry a tvar než referenční vozidlo dle TP 171, výše uvedené srovnání neodpovídá na otázku, jak velká je rezerva u simulovaných vlečných křivek. Proto bylo provedeno srovnání plochy vlečné křivky generované na základě zaměřené trajektorie přední nápravy s obrysem vozidla dle TP 171, viz Obrázek 51 a Obrázek 52.



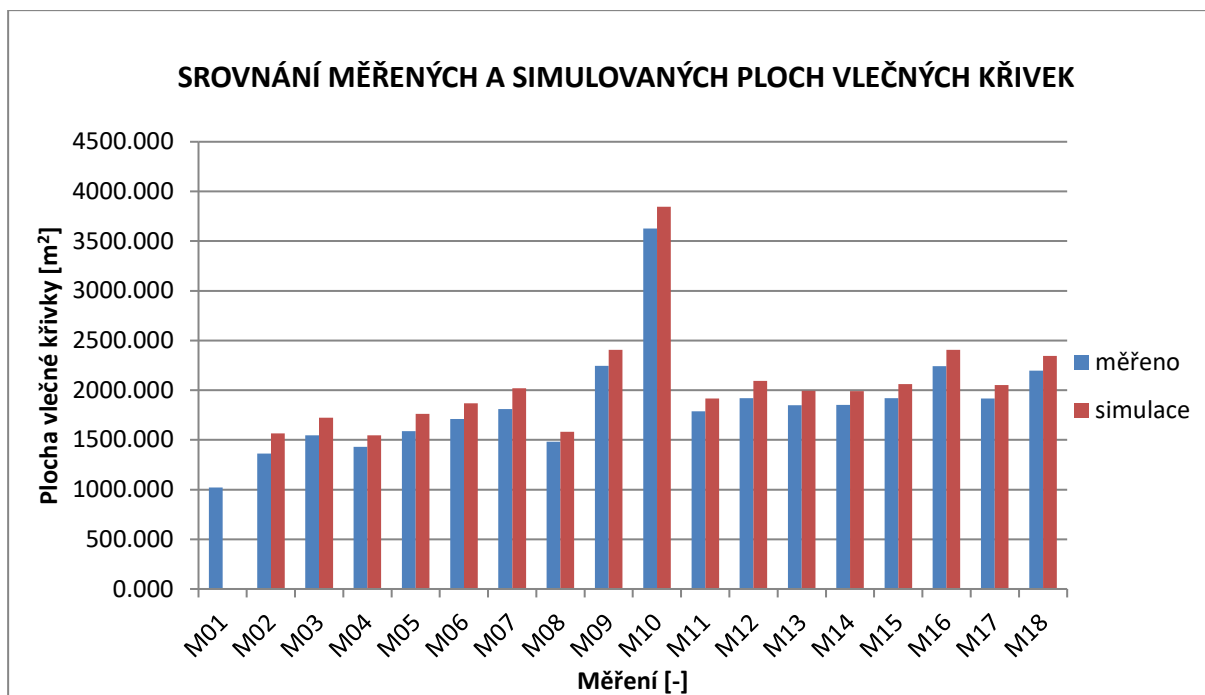
Obrázek 51 - Simulovaná a měřená vlečná křivka; vozidlo dle TP 171



Obrázek 52 - Simulovaná a měřená vlečná křivka; měřicí vozidlo

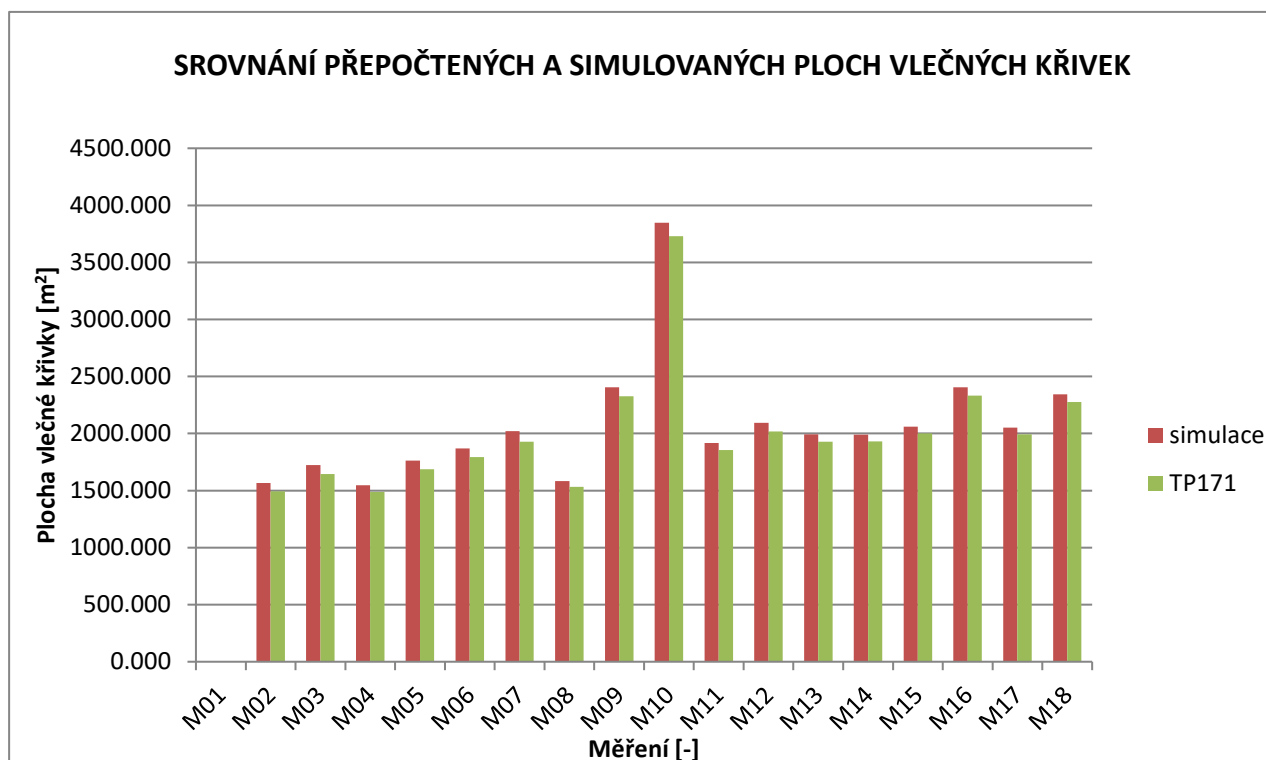
Měření	Měřeno		Simulace	Rozdíl
	Délka [m]	Plocha [m ²]	Plocha [m ²]	%
M01	429.880	1020.114	-	-
M02	661.614	1361.929	1566.027	14.99
M03	819.756	1546.725	1724.395	11.49
M04	771.653	1430.371	1546.114	8.09
M05	820.646	1588.371	1761.824	10.92
M06	909.109	1709.298	1869.893	9.40
M07	915.708	1809.035	2019.887	11.66
M08	759.619	1481.726	1582.418	6.80
M09	1189.800	2246.697	2406.590	7.12
M10	1958.719	3625.701	3846.425	6.09
M11	950.786	1788.540	1918.168	7.25
M12	1046.662	1918.669	2093.895	9.13
M13	992.793	1849.571	1992.584	7.73
M14	986.709	1851.621	1991.329	7.55
M15	1032.872	1919.878	2061.573	7.38
M16	1214.343	2242.003	2405.224	7.28
M17	1016.361	1916.643	2052.662	7.10
M18	1188.791	2196.911	2343.550	6.67

Tabulka 24 - Srovnání ploch měřených a simulovaných vlečných křivek



Graf 22 - Srovnání ploch měřených a simulovaných vlečných křivek

Jak je patrné z výše uvedených obrázků, simulovaná vlečná křivka má na vnitřní straně oblouku rezervu o velikosti 3,0-5,0% v závislosti na velikosti poloměru směrového oblouku. Přehledné srovnání, viz Graf 23 a Tabulka 25. Z grafů je také patrná různá délka trasy u jednotlivých měření, nejvýrazněji u M10.



Graf 23 - Srovnání přepočtených a simulovaných ploch vlečných křivek

Měření	Simulace	TP171	Rozdíl
	Plocha [m ²]	Plocha [m ²]	%
M01	-	-	-
M02	1566.027	1493.2271	4.88
M03	1724.395	1643.9645	4.89
M04	1546.114	1487.347	3.95
M05	1761.824	1687.427	4.41
M06	1869.893	1794.246	4.22
M07	2019.887	1928.271	4.75
M08	1582.418	1532.594	3.25
M09	2406.590	2326.843	3.43
M10	3846.425	3728.246	3.17
M11	1918.168	1856.428	3.33
M12	2093.895	2018.446	3.74
M13	1992.584	1928.241	3.34
M14	1991.329	1930.9734	3.13
M15	2061.573	2001.512	3.00
M16	2405.224	2331.268	3.17
M17	2052.662	1992.627	3.01
M18	2343.550	2274.943	3.02

Tabulka 25 - Srovnání přepočtených a simulovaných ploch vlečných křivek

8. NÁVRH ÚPRAVY NORMOVÝCH PARAMETRŮ

8.1 Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích

Stávající úprava technických předpisů definuje rozšíření ve směrových obloucích bez ohledu na návrhové vozidlo, vrcholový úhel směrového oblouku a typ komunikace. Navrhovaná úprava definuje rozšíření ve směrových obloucích na základě těchto parametrů s cílem přesněji definovat tvar směrového oblouku dle vlečné křivky.

V případě extravilánových komunikací se jako návrhové vozidlo uvažuje návěsová souprava, na silnicích I. třídy a silnicích evropského významu se doporučuje zohlednit možnost pohybu nadrozměrných vozidel.

Pro volbu návrhového vozidla v případě intravilánových komunikací je třeba vzít v potaz charakter okolní zástavby a předpokládaný účel dané komunikace. Pro místní/účelové komunikace v průmyslové zóně je nezbytné uvažovat s návrhovým vozidlem typu návěsová souprava, u intravilánových komunikací v obytné zástavbě uvažujeme jako největší vozidlo nákladní vozidlo N2 (svoz odpadu, vozidlo HZS). Navržený uliční prostor by však měl umožnit mimořádný průjezd návěsové soupravy, za předpokladu zvláštní organizace dopravy, případně úprav nutných pro mimořádný průjezd.

Typ návrhového vozidla, v závislosti na kategorii komunikace definuje *Tabulka 26*:

Kategorie pozemní komunikace	Návrhové vozidlo
silnice I. třídy evropského významu (E)	NS
silnice I. třídy, místní rychlostní komunikace funkční skupiny A	NS
silnice II. a III. třídy, místní sběrné komunikace funkční skupiny B	NS
místní obslužné komunikace funkční skupiny C, místní komunikace funkční skupiny D1 a veřejné účelové komunikace	N2, NS

Tabulka 26 - Typ návrhového vozidla v závislosti na kategorii pozemní komunikace

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích se provádí na silnicích, místních a účelových komunikacích a větvích mimoúrovňových křižovatek pro jízdní pruhy šířky $\leq 3,50$ m.

Bezpečná a ekonomická šířka jízdního pruhu je dána návrhovým vozidlem, přesněji řečeno šířkou vlečné křivky návrhového vozidla zvětšenou o bezpečnostní odstup.

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích se podle této kapitoly provádí pro návrhová vozidla, dle TP 171.

Pro pozemní komunikace, kde se předpokládá jízda vozidel s většími prostorovými nároky, než jaká jsou uvedena v TP 171 (např. nejdelší vozidlo dle zvláštního předpisu, kloubový autobus apod.) se rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích provádí pomocí vlečných křivek.

8.1.1. Výpočet rozšíření jízdních pruhů

Při návrhu vycházejícího ze simulace pohybu návrhového vozidla se šířka každého rozšířeného jízdního pruhu ve směrovém oblouku spočítá podle Rovnice 29:

$$a_R = a_{VK} + b_{OVK}$$

Rovnice 29 - Výpočet požadované šířky jízdního pruhu

a_R šířka rozšířeného jízdního pruhu [m]

a_{VK} šířka vlečné křivky [m]

b_{OVK} bezpečnostní odstup [m]

Hodnota rozšíření pro každý jízdní pruh se počítá podle Rovnice 30:

$$\Delta a = a_R - a$$

Rovnice 30 - Výpočet velikosti rozšíření

Δa hodnota rozšíření [m]

a_R šířka rozšířeného jízdního pruhu [m]

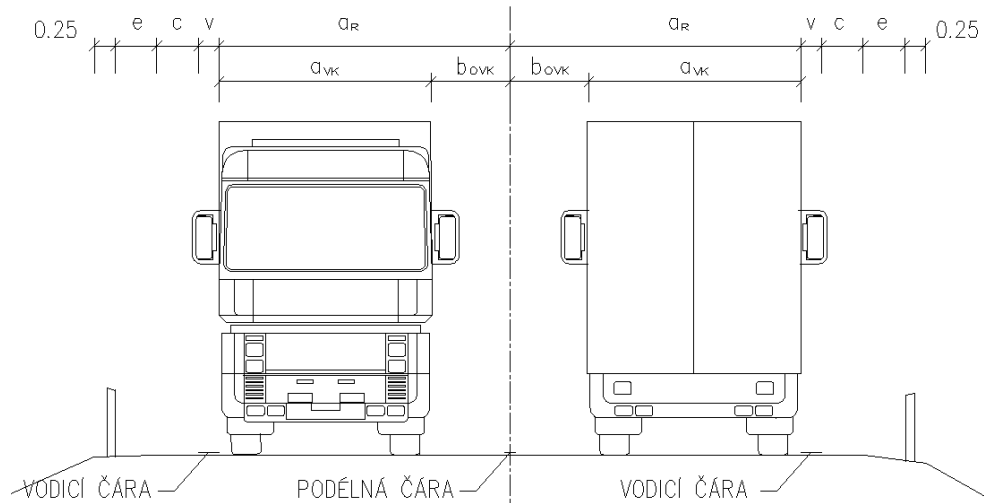
a šířka jízdního pruhu podle kategorie komunikace [m]

Navrhovaný bezpečnostní odstup (b_{OVK}) je nezbytný bezpečnostní prostor mezi skladebními prvky různých druhů navzájem, mezi protisměrnými prvky, nebo mezi skladebními prvky a pevnou překážkou nebo zvýšenou obrubou je uveden v *Tabulce 27*.

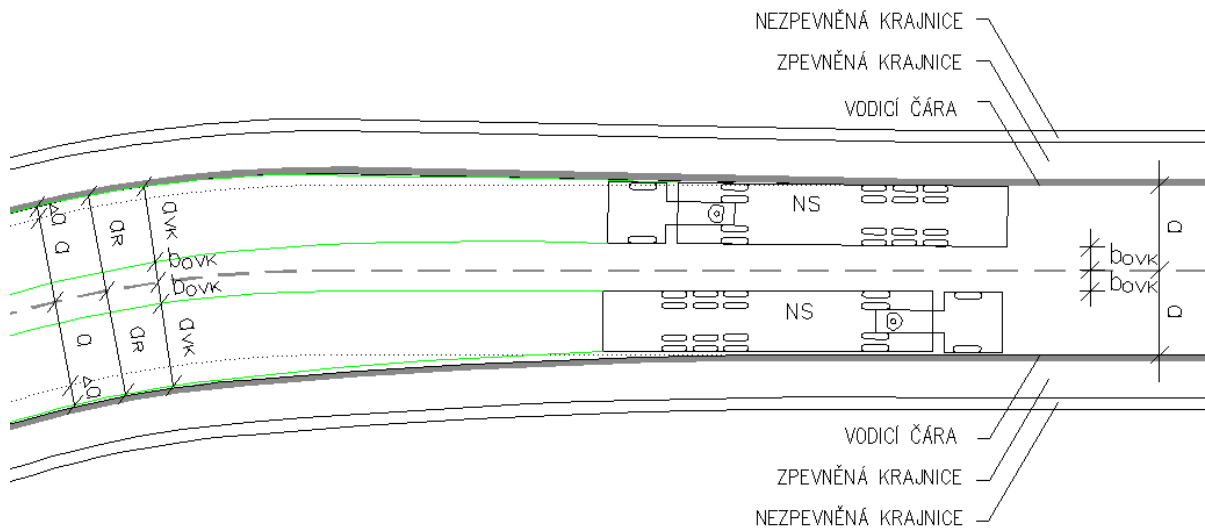
Pro potřeby rozšíření jízdních pruhů se jedná o toleranci při průjezdu vlečnou křivkou, která zahrnuje i „boční pohybovou vůli při jízdě vozidla“, což je prostorová rezerva obrysu vozidla zahrnující vliv klopení vozovky a rozkmit konstrukce vozidla, viz *Obrázek 53* a *Obrázek 54*.

Kategorie pozemní komunikace	Bezpečnostní odstup b_{ovk}	
silnice I. třídy evropského významu (E)	1,00 m	
silnice I. třídy, místní rychlostní komunikace funkční skupiny A	0,75 m	
silnice II. a III. třídy, místní sběrné komunikace funkční skupiny B	0,50 m	
místní obslužné komunikace funkční skupiny C, místní komunikace funkční skupiny D1 a veřejné účelové komunikace	jednopruhové	0,25 m
	dvou a vícepruhové	0,25 m

Tabulka 27 - Hodnota bezpečnostního odstupu v závislosti na kategorii komunikace



Obrázek 53 - Příčný řez komunikací

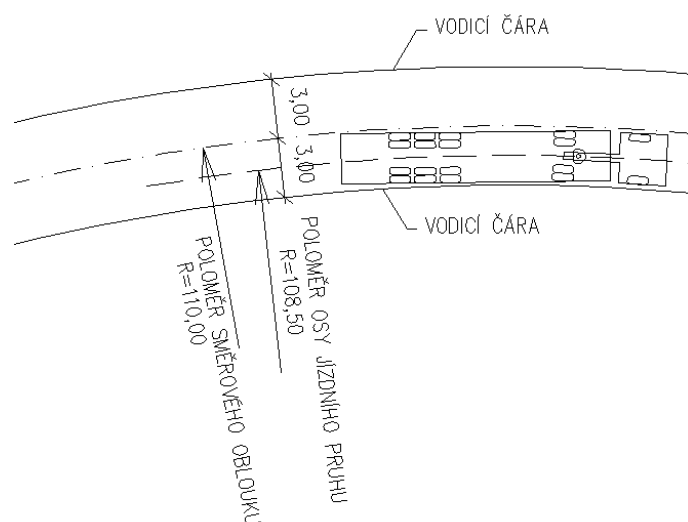


Obrázek 54 - Situace rozšíření ve směrovém oblouku

8.2 Šířka vlečných křivek

Jak vyplývá z kapitoly 6.1.4 *Vztah šířka vlečné křivky – poloměr – vrcholový úhel*, šířka vlečné křivky je proměnná v závislosti na vrcholovém úhlu. Pro potřeby úpravy normy byly tabelizovány hodnoty šířky vlečných křivek pro nejčastější návrhová vozidla dle TP 171, viz *Tabulky 27-30*.

Poloměr oblouku vlečné křivky se uvažuje v ose jízdního pruhu, viz *Obrázek 55*:



Obrázek 55 - Určení poloměru směrového oblouku v ose jízdního pruhu

Středový úhel α	Poloměr oblouku v ose jízdního pruhu [m]												
	5	10	15	20	25	30	40	50	75	100	150	200	250
0°	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
5°	2.35	2.35	2.35	2.35	2.30	2.30	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
10°	2.50	2.50	2.45	2.45	2.40	2.40	2.40	2.35	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
20°	2.75	2.75	2.65	2.60	2.50	2.50	2.50	2.40	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
30°	3.00	2.95	2.85	2.70	2.60	2.60	2.50	2.45	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
40°	3.20	3.10	2.95	2.75	2.65	2.60	2.50	2.45	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
50°	3.35	3.25	2.95	2.80	2.65	2.60	2.50	2.45	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
60°	3.50	3.30	2.95	2.80	2.65	2.60	2.50	2.45	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
70°	3.65	3.30	2.95	2.80	2.65	2.60	2.50	2.45	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
80°	3.80	3.30	2.95	2.80	2.65	2.60	2.50	2.45	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25
90°	3.95	3.30	2.95	2.80	2.65	2.60	2.50	2.45	2.30	2.30	2.25	2.25	2.25

Tabulka 28 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směrového oblouku pro vozidlo kategorie O2

Středový úhel α	Poloměr oblouku v ose jízdního pruhu [m]												
	8.14	10	15	20	25	30	40	50	75	100	150	200	250
0°	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
5°	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.65	2.65	2.60
10°	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.95	2.80	2.75	2.70	2.65	2.60
20°	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.25	3.10	2.95	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60
30°	3.70	3.70	3.70	3.60	3.40	3.25	3.10	2.80	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60
40°	4.00	4.00	3.90	3.60	3.40	3.25	3.10	2.80	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60
50°	4.30	4.30	3.95	3.60	3.40	3.25	3.10	2.80	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60
60°	4.55	4.50	3.95	3.65	3.40	3.25	3.10	2.80	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60
70°	4.75	4.60	4.00	3.65	3.40	3.25	3.10	2.80	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60
80°	4.95	4.65	4.00	3.65	3.40	3.25	3.10	2.80	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60
90°	5.10	4.65	4.00	3.65	3.40	3.25	3.10	2.80	2.85	2.75	2.70	2.65	2.60

Tabulka 29 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směřového oblouku pro vozidlo kategorie N2

Středový úhel α	Poloměr oblouku v ose jízdního pruhu [m]												
	6.02	10	15	20	25	30	40	50	75	100	150	200	250
0°	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
5°	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.80	2.75	2.70	2.70
10°	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.15	3.10	3.00	2.90	2.80	2.75	2.70
20°	3.80	3.80	3.80	3.75	3.65	3.55	3.40	3.30	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70
30°	4.35	4.35	4.25	4.05	3.90	3.75	3.50	3.35	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70
40°	4.85	4.85	4.60	4.25	4.05	3.85	3.55	3.40	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70
50°	5.35	5.30	4.80	4.40	4.15	3.90	3.60	3.40	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70
60°	5.85	5.60	4.95	4.50	4.20	3.95	3.60	3.40	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70
70°	6.35	5.85	5.10	4.60	4.25	4.00	3.60	3.40	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70
80°	6.85	6.10	5.20	4.65	4.25	4.00	3.60	3.40	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70
90°	7.30	6.30	5.30	4.70	4.30	4.00	3.60	3.40	3.10	2.95	2.80	2.75	2.70

Tabulka 30 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směřového oblouku pro vozidlo kategorie NS

Středový úhel α	Poloměr oblouku v ose jízdního pruhu [m]												
	8.62	10	15	20	25	30	40	50	75	100	150	200	250
0°	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
5°	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
10°	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
20°	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.10	3.40	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
30°	5.00	5.00	5.00	4.90	4.65	4.35	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
40°	5.75	5.75	5.65	5.20	4.70	4.35	3.55	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45
50°	6.50	6.50	5.95	5.25	4.70	4.35	3.60	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45	3.45
60°	7.20	7.10	6.10	5.25	4.70	4.35	3.60	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
70°	7.90	7.55	6.10	5.25	4.70	4.35	3.60	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
80°	8.40	7.80	6.10	5.25	4.70	4.35	3.60	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
90°	8.75	7.95	6.10	5.25	4.70	4.35	3.60	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50

Tabulka 31 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směrového oblouku pro vozidlo kategorie BUS 15

8.3 Aplikace vlečných křivek

Pro posouzení průjezdu návrhového vozidla křižovatkami, zastávkami hromadné dopravy, přestupními terminály, parkovišti, garážemi, kolem dopravních ostrůvků apod. se používají vlečné křivky vozidel. Dále se vlečné křivky používají pro posouzení průjezdu a určení rozšíření ve směrových obloucích pro jiná vozidla, než jsou vozidla uvedena v Tabulkách 27-30.

Rozšíření vozovky na pozemních komunikacích se pomocí vlečných křivek vozidel prováděje v případech, kdy se na pozemní komunikaci předpokládá jízda vozidla s většími prostorovými nároky, jako jsou nejdelší vozidlo dle zvláštního předpisu, kloubový autobus apod. Při aplikaci vlečných křivek platí bezpečnostní odstupy (b_{ovk}) viz Tabulka 27.

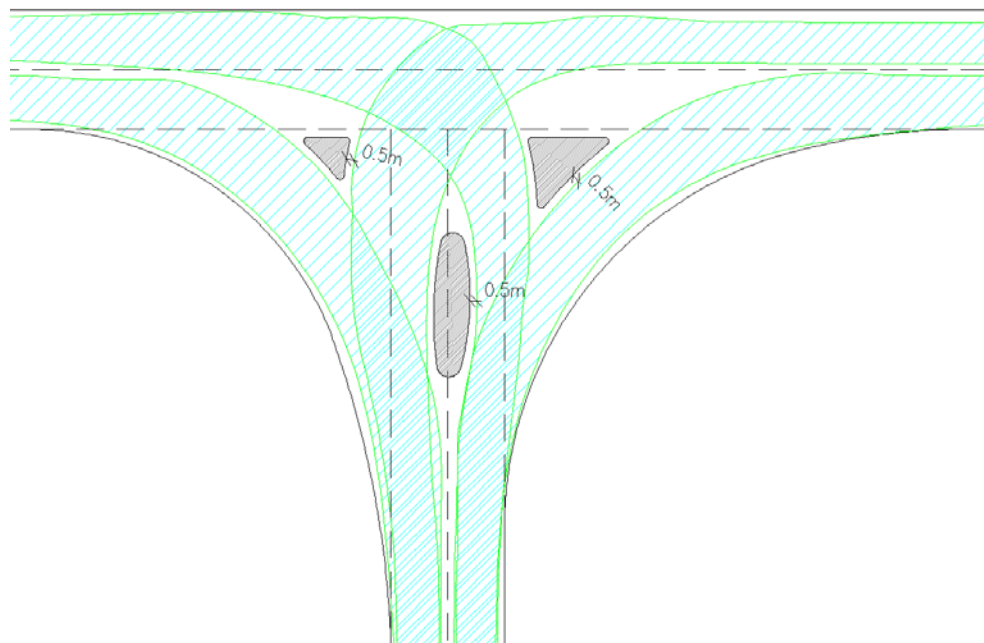
Při simulaci průjezdu směrovým obloukem je třeba vzít v potaz polohu vozidla vůči ose komunikace, hraně zpevnění či vodící čáře. Pro směrové oblouky v extravilánu a intravilánu se osa komunikace umísťuje zpravidla do středu jízdního pásu a nejmenší projížděný poloměr tak může být menší až o jednotky metrů, viz Obrázek 55.

8.3.1 Úrovňové křižovatky

Konstrukce nároží křižovatek a dopravních ostrůvků vychází z vlečných křivek. Pro správný návrh křižovatky by měly být nejprve navrženy dělicí a směrovací ostrůvky a až na jejich základě zkonstruováno nároží křižovatky. Opačný postup vede k tomu, že se nemusí podařit dopravní ostrůvky zkonstruovat se zohledněním jejich minimálních parametrů.

V první fázi se nakreslí jízdní pásy hlavní a vedlejší pozemní komunikace viz Obrázek 56. Poté se s pomocí vlečných křivek odpovídajícího návrhového vozidla zkonstruují všechny křižovatkové pohyby a jejich vlečné křivky, které vymezí plochy možných dopravních ostrůvků

(dělicí, směrovací, ochranné). Výsledné plochy dopravních ostrůvků jsou odsazeny od vlečných křivek o bezpečnostní odstup 0,5 m.



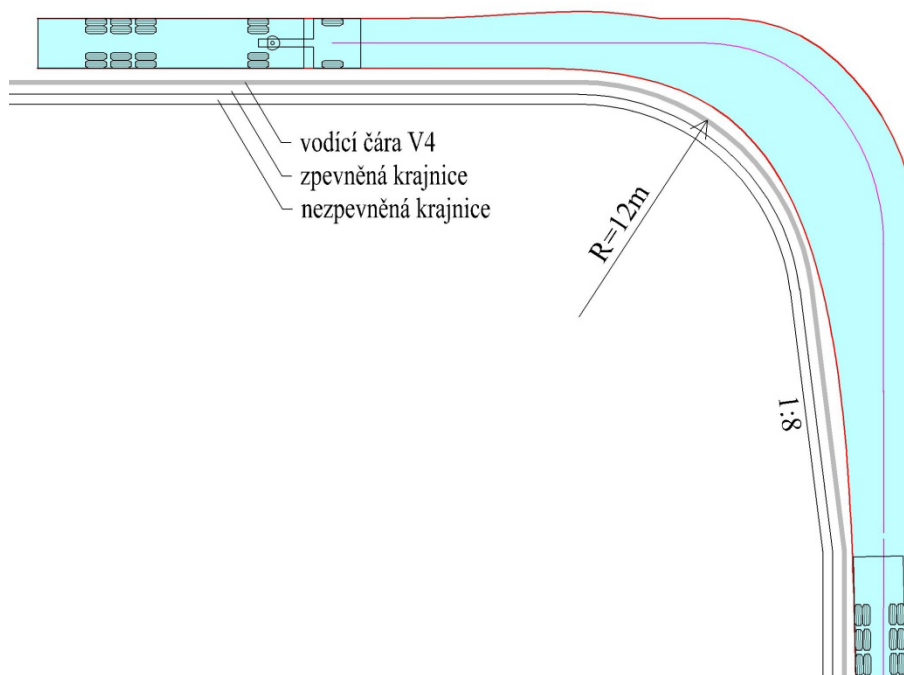
Obrázek 56 - Konstrukce dopravních ostrůvků

Zvláštním případem rozšíření v oblouku je nároží úrovnových křižovatek. Malý poloměr má vliv na šířku vlečné křivky a její průběh. Přibližně čtvrtina délky vlečné křivky kopíruje prostý kružnicový oblouk, dále se vozidlo srovnává do přímé a opouští kruhovou trajektorii. Tuto část vlečné křivky lze aproximovat lineárně, složeným kružnicovým obloukem, nebo kružnicovým obloukem s přechodnicí.

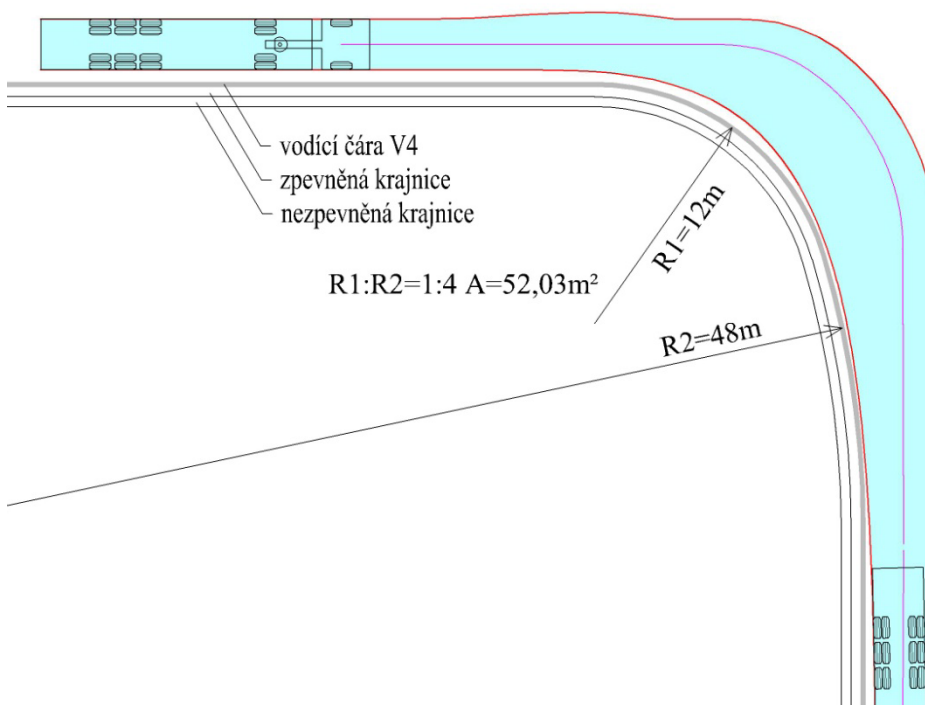
Konstrukce složeného kružnicového oblouku nároží křižovatky dle ČSN 73 6102, viz Obrázek 2 je komplikovaná a výsledný tvar nároží v některých částech nerespektuje potřebný bezpečnostní odstup.

Jako vhodnější a konstrukčně snazší se jeví prostý kružnicový oblouk s lineárním náběhem, viz Obrázek 57. Tato úprava současně redukuje potřebu většího poloměru směrového oblouku.

Dalším možným řešením je složený kružnicový oblouk o dvou poloměrech s poměrem cca 1:4, v závislosti na typu vozidla. Tato úprava není tak konstrukčně náročná, jako složený kružnicový oblouk dle ČSN 73 6102 a současně vystihuje průběh vlečné křivky lépe, než prostý kružnicový oblouk s lineárním náběhem, viz Obrázek 58.

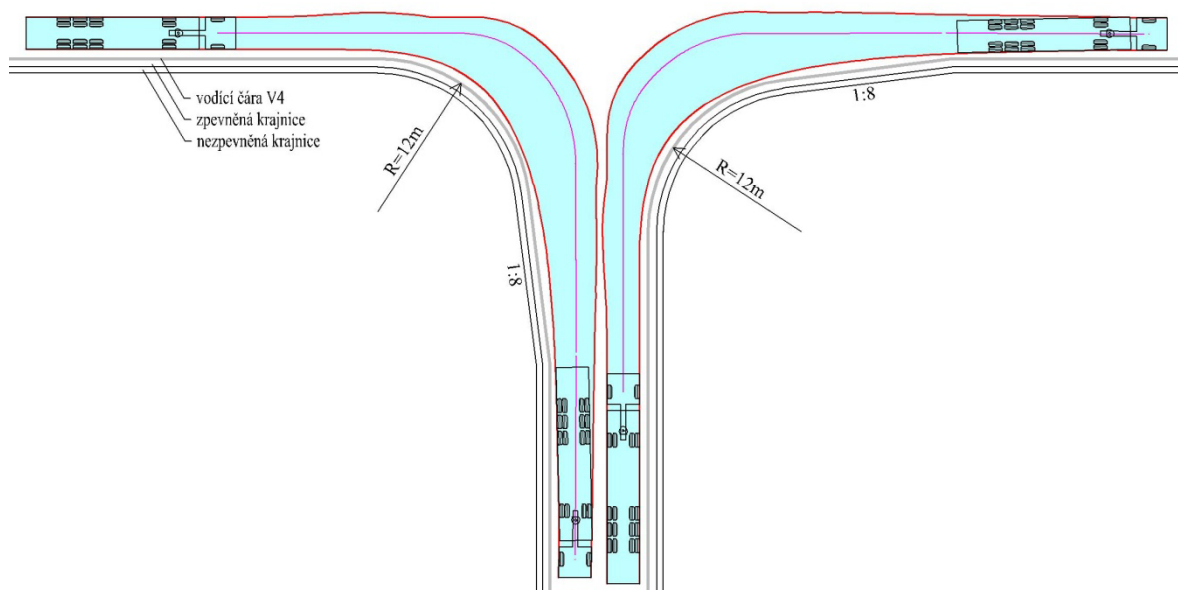


Obrázek 57 - Nároží křižovatky – prostý kružnicový oblouk s lineárním náběhem



Obrázek 58 - Nároží křižovatky – složený kružnicový oblouk, poměr 1:4

Důležitým detailem, který bohužel ČSN 73 6102 nezohledňuje, je asymetričnost vlečných křivek a z toho plynoucí potřeba asymetrické úpravy nárožních oblouků. Pokud uvažujeme křižovatku tvaru T, pak vozidlo odbočující z hlavní komunikace na vedlejší, kritický bod nárožního oblouku leží na vedlejší komunikaci. Ovšem pokud vozidlo odbočuje z vedlejší komunikace na hlavní, kritický bod se nachází na hlavní komunikaci, viz *Obrázek 59*.

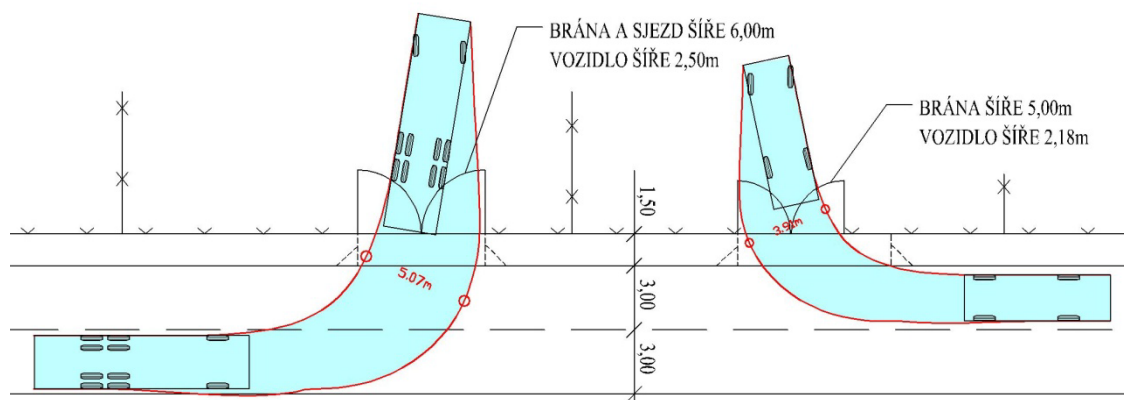


Obrázek 59 - Asymetrická úprava nároží křižovatky

8.3.2. Parkoviště, obratiště a sjezdy

Specifikem parkovišť a obratišť je manévrování vozidel při malých rychlostech, využití couvání a natáčení kol při stání. Tyto manévry výrazně přispívají k redukci potřebné plochy a lze je s výhodou využít při návrzích parkovišť, parkovacích domů, koncových obratišť apod.

Při navrhování sjezdů je třeba pečlivě prověřit prostorové nároky pro odbočení a na jejich základě stanovit šířku sjezdu, viz *Obrázek 60*. Minimální vnitřní poloměr otáčení návrhového vozidla O2 je 5,0 m, je tedy zřejmé, že kolmé odbočení z jízdního pruhu širé 3,0 m na sjezd širé 3,0 m je technicky neproveditelné.

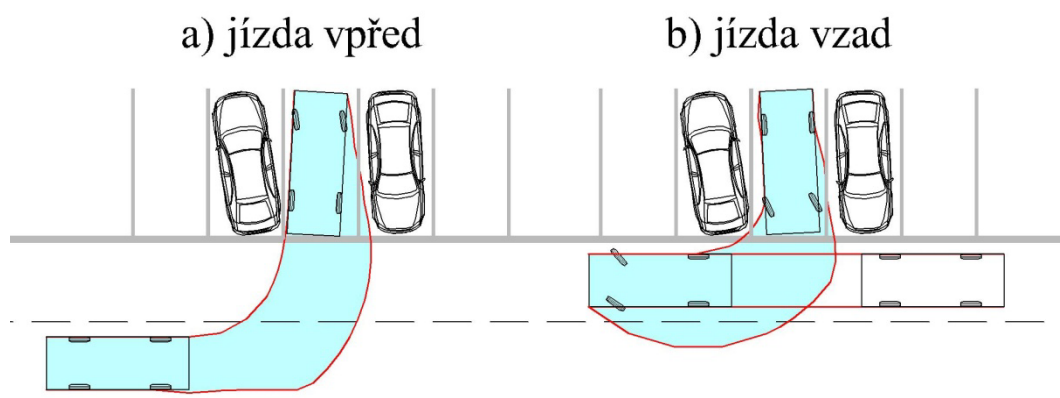


Obrázek 60 - Sjezdy

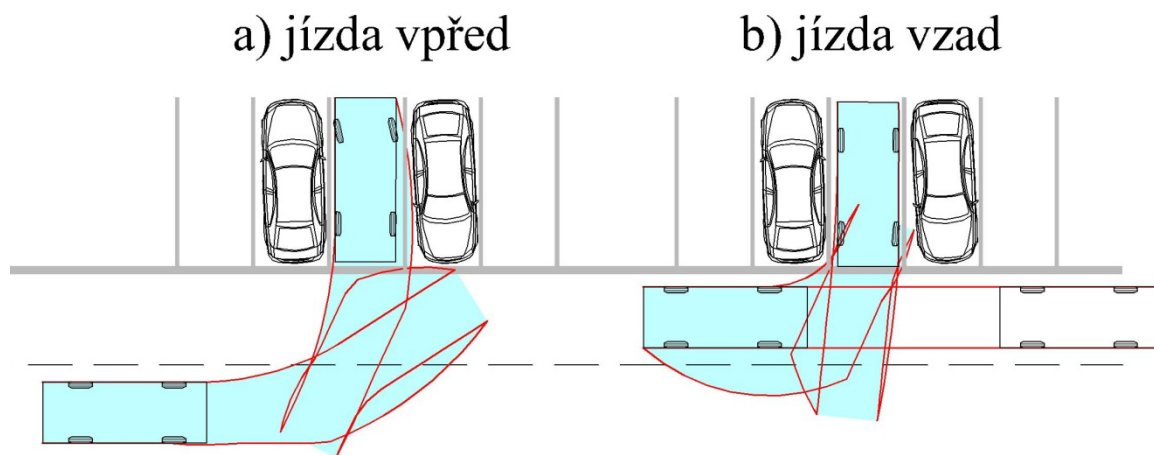
Při návrhu ploch je třeba pečlivě zvážit největší návrhové vozidlo, přesněji dva druhy návrhových vozidel – běžné a mimořádné. Běžné vozidlo je takové, pro které je určena daná parkovací plocha, typicky osobní automobil (O1), dodávka (O2), a na toto vozidlo se navrhují jednotlivá parkovací stání. Mimořádným vozidlem rozumíme vozidla HZS a technických

služeb, pro které je třeba navrhnout hlavní přístupové komunikace, přičemž se neuvažuje s využíváním parkovacích stání těmito vozidly.

Při konstrukci parkovacích stání lze zohlednit, zda se jedná o dlouhodobé parkování (u zaměstnání – doba stání více než 4 hod), příp. odstavení vozidel (v místě bydliště), viz *Obrázek 62*. Pro dlouhodobá stání lze umožnit více manévrů, pro zjetí do parkovacího stání, jelikož na takovýchto parkovacích stáních je nízká obrátkovost. Naopak parkovací stání u nákupních center by měla umožnit nájezd bez nutnosti manévrování (střídání jízdy vpřed a vzad), viz *Obrázek 61*.



Obrázek 61 - Krátkodobé parkování (nákupní centrum)



Obrázek 62 - Dlouhodobé parkování (celodenní)

9. ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo ověření, zda je návrh rozšíření vozovek ve směrovém oblouku dle českých předpisů vhodným řešením. Na základě rozboru chování vozidla, měření a simulací bylo konstatováno, že české předpisy zohledňují prostorové nároky vozidel při průjezdu směrovým obloukem pouze částečně. Důsledkem jsou pak poruchy okrajových částí vozovek v oblastech, kde geometrický návrh dopravní stavby neodpovídá potřebám vozidla.

V kapitole 8 NÁVRH ÚPRAVY NORMOVÝCH PARAMETRŮ je uvedeno několik návrhů na úpravu stávajících předpisů, které lze rozčlenit do těchto oblastí:

- velikost rozšíření v závislosti na návrhovém vozidle
- velikost rozšíření v závislosti na vrcholovém úhlu směrového oblouku
- geometrická úprava tvaru dělicích ostrůvků
- geometrická úprava tvaru nároží
- metodika pro práci se simulačními programy

Prvním dílčím cílem práce bylo ověření, na kolik přesně odpovídá simulovaná vlečná křivka reálné vlečné křivce. Za tímto účelem bylo provedeno zaměření vlečné křivky reálného vozidla za pomoci dvojice snímačů GPS. Výsledná vlečná křivka byla zkonstruována jako obalová křivka skutečného obrysu karoserie a takto získaná křivka byla porovnána s křivkou získanou simulací. Výsledky provedených měření lze shrnout následovně:

- Celková plocha simulované vlečné křivky je větší o 6-15 % ve srovnání se vlečnou křivkou skutečného vozidla. Tento závěr není překvapivý, jelikož měřící vozidlo má půdorysný průmět o 11,26 % menší ve srovnání s normovým vozidlem. Z vyhodnocení je jasně patrný vliv velikosti směrových oblouků; čím menší poloměr, tím větší rozdíl plochy vlečných křivek. Měřící vozidlo pak díky většímu úhlu natočení kol dokáže projet oblouky takového poloměru, které simulační program není schopen vyhodnotit.
- Pokud srovnáme plochu simulované a skutečně zaměřené křivky pro vozidla se stejným rozměrem, plocha vlečné křivky simulovaného vozidla je větší o 3-5 % opět v závislosti na poloměru směrového oblouku. Rezerva u simulované vlečné křivky je umístěna na vnitřní straně směrového oblouku, vnější strana vlečné křivky je shodná, viz *Obrázek 51* a *Obrázek 52*. Na základě provedených měření a jejich vyhodnocení lze konstatovat, že simulované vlečné křivky vystihují pohyb vozidla velmi přesně, rezerva obsažená v simulované vlečné křivce je zanedbatelná. Při návrhu geometrického tvaru je tedy třeba k vlečné křivce vždy připočíst hodnotu bezpečnostního odstupu.

Druhým dílčím cílem práce bylo srovnání různých simulačních programů mezi sebou. Simulace byla zadána parametricky (poloměr oblouku, vrcholový úhel a rychlost) pro průjezd prostým obloukem. U dvou programů bylo použito vozidlo dle TP 171, u třetího programu

vozidlo stejné kategorie, dle německé normy. Z vygenerované vlečné křivky byla následně odečtena její šířka. Porovnány byly 3 různé simulační programy, pro 10 různých poloměrů, každý pro 18 hodnot vrcholového úhlu a dále 8 různých rychlostí průjezdu.

- Z porovnání jasně vyplývá vliv použitého typu vozidla, a především jeho manévrovatelnosti. Vlečné křivky u programů používajících vozidlo dle TP 171 se odchylka šířky vlečné křivky pohybuje v rozmezí -2,0 až +6,0 %, v závislosti na poloměru směrového oblouku.
- Program používající vozidlo dle německé normy vykazuje odchylky v rozpětí +2,0% až +15,0 %, viz kapitoly 7.1.1 a 7.1.2.

Posledním dílčím cílem práce bylo odpovědět na otázku, jak aplikovat vlečné křivky při návrhu dopravních staveb. Pro odpověď na tuto otázku je klíčové zjištění, že vlečné křivky generované simulačními programy obsahují jen minimální rezervu. S vlečnými křivkami lze pracovat dvojím způsobem:

- ověřit průjezdnost stávajícího úseku komunikace daným vozidlem
- optimalizovat nový návrh dopravního řešení tak, aby byl hladce průjezdný pro dané vozidlo.

Simulaci vlečných křivek je možné využít jako nástroj umožňující minimalizovat plochu vozovek, což je výhodné zejména ve stísněných podmínkách. Tento přístup je také vhodné využít zejména pro ověření průjezdnosti např. nadrozměrným nákladem, případně vozidlem větším, než je návrhové. V takovémto případě ověřujeme fyzickou průchodnost, a je možné uvažovat i s řízením dopravy.

Pro návrh dopravní stavby má však minimalizace potřebných ploch svá omezení. Faktor, který je při návrhu dopravních staveb často opomíjen, je potřeba bočního odstupu, která zohledňuje různé schopnosti řidičů a tvoří „odpouštějící návrh“ dopravní stavby. Výsledný návrh by neměl být technickým minimem potřebným pro průjezd, ale optimalizovaným dopravním řešením, které bez potíží projede i méně zkušený řidič.

V literatuře se doporučuje navrhovat plochu vozovky o 25% větší než je plocha vlečné křivky. V praxi to znamená offset vlečné křivky cca 0,5m. Tento prostor rovněž zohledňuje některé faktory, které simulační program zohlednit neumí, např. vliv kluzkého povrchu či náledí. Simulovaná křivka taktéž nezohledňuje efekt vysokorychlostního offtrackingu, který vlivem odstředivých sil redukuje plochu vlečné křivky.

Aplikace simulovaných vlečných křivek klade určité požadavky na schopnosti a zkušenosti projektanta. Simulační programy umožňují různá nastavení, a pro stejný směrový motiv lze tedy získat rozdílné vlečné křivky, viz *Obrázek 23*. V kapitole 8. NÁVRH ÚPRAVY NORMOVÝCH PARAMETRŮ jsou uvedeny zásady, jak aplikovat vlečné křivky při návrhu řešení dopravních staveb.

Disertační práce vznikla jako součást výzkumného projektu *TA03031301 – Aktualizace návrhových prvků pozemních komunikací v intravilánu* financovaného Technologickou agenturou České republiky, programem na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA.

Jedním z výstupů výzkumného projektu je *Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel* (19), která zapracovává a rozšiřuje poznatky prezentované v disertační práci.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Poškození okrajových částí vozovky pojezdem vozidla	3
Obrázek 2 - Rozšíření nárožních oblouků; ČSN 73 6102.....	8
Obrázek 3 - Úprava úrovně křižovatky dle rakouského předpisu RVS	11
Obrázek 4 - Rozšíření vozovky u směrových oblouků malých poloměrů dle RAA	12
Obrázek 5 - Charakteristické rozměry vozidla	20
Obrázek 6 - Směrová úchylka.....	20
Obrázek 7 - Vlečná křivka vozidla v přímé	22
Obrázek 8 - Vlečná křivka vozidla ve směrovém oblouku	22
Obrázek 9 – Vlečná křivka osobního automobilu	23
Obrázek 10 - Vlečná křivka návěsové soupravy	23
Obrázek 11 – Geometrie zatáčejícího vozidla	24
Obrázek 12 – Sledované poloměry otáčení.....	25
Obrázek 13 - Offtracking	25
Obrázek 14 – Návěsová souprava při průjezdu směrovým obloukem malého poloměru.....	26
Obrázek 15 – Geometrie průjezdu směrovým obloukem u jednoduchého vozidla	27
Obrázek 16 - Průjezd vozidla směrovým obloukem; kloubový podvozek.....	28
Obrázek 17 - Průjezd vozidla směrovým obloukem; říditelná zadní náprava.....	29
Obrázek 18 - Geometrie průjezdu obloukem u vozidla s návěsem	30
Obrázek 19 - Vysokorychlostní offtracking	33
Obrázek 20 - Grafy pro stanovení hodnoty r/R pro 90° a 180°	35
Obrázek 21 - Schéma výpočetního modelu jízdního kola	37
Obrázek 22 - Schéma tvorby modelu vlečné křivky.....	38
Obrázek 23 - Různá nastavení simulačního programu	39
Obrázek 24 - AutoTURN, grafické prostředí	40
Obrázek 25 – Schéma vzájemných vztahů	41
Obrázek 26 - Porovnání směrového motivu a trajektorie průjezdu.....	42
Obrázek 27 - Trajektorie průjezdu směrovým obloukem; návěsová souprava.....	43
Obrázek 28 - Vrcholový úhel	47
Obrázek 29 - Porovnání požadované a simulované vlečné křivky	52
Obrázek 30 - Srovnání osobních vozidel dle českých a německých předpisů.....	53
Obrázek 31 - Porovnání obalových křivek AutoTURN a TP171 způsob 1.....	70
Obrázek 32 - Porovnání obalových křivek AutoTURN a TP171 způsob 2.....	71
Obrázek 33 - Porovnání obalových křivek Vehicle Tracking a TP171 způsob 1	72
Obrázek 34 - Porovnání obalových křivek Vehicle Tracking a TP171 způsob 2	73
Obrázek 35 - Rozměry měřicího a simulovaného vozidla	74
Obrázek 36 - Měřící vozidlo.....	75
Obrázek 37 - Detail umístění GPS roverů	75
Obrázek 38 - Referenční stanice.....	76
Obrázek 39 - Zaměřený obrys vozidla	76

Obrázek 40 - Průběh měření	76
Obrázek 41 - Výstupní soubory naměřených souřadnic.....	77
Obrázek 42 - Vykreslená trajektorie dle naměřených souřadnic - výřez	77
Obrázek 43 - Výpočet trajektorie přední a zadní nápravy	78
Obrázek 44 - Schéma rozmístění bodů na vozidle	79
Obrázek 45 - Výpočet poloměru a rychlosti přední nápravy	79
Obrázek 46 - Schéma výpočtu poloměru	80
Obrázek 47 - Obrys měřicího vozidla	81
Obrázek 48 - Vykreslení vlečné křivky a trajektorií přední a zadní nápravy	82
Obrázek 49 - Simulovaná a zaměřená vlečná křivka; střed přední nápravy.....	83
Obrázek 50 - Simulovaná a zaměřená vlečná křivka; střed zadní nápravy	83
Obrázek 51 - Simulovaná a měřená vlečná křivka; vozidlo dle TP 171	83
Obrázek 52 - Simulovaná a měřená vlečná křivka; měřící vozidlo	84
Obrázek 53 - Příčný řez komunikací	89
Obrázek 54 - Situace rozšíření ve směrovém oblouku	89
Obrázek 55 - Určení poloměru směrového oblouku v ose jízdního pruhu.....	90
Obrázek 56 - Konstrukce dopravních ostrůvků	93
Obrázek 57 - Nároží křižovatky – prostý kružnicový oblouk s lineárním náběhem.....	94
Obrázek 58 - Nároží křižovatky – složený kružnicový oblouk, poměr 1:4	94
Obrázek 59 - Asymetrická úprava nároží křižovatky.....	95
Obrázek 60 - Sjezdy	95
Obrázek 61 - Krátkodobé parkování (nákupní centrum)	96
Obrázek 62 - Dlouhodobé parkování (celodenní).....	96

Seznam grafů

Graf 1 – Závislost rychlosti a dráhy nutné pro dosažení plného offtrackingu.....	42
Graf 2 - Průběh hodnoty offtrackingu v závislosti na délce rozvoru	46
Graf 3 – Průběh hodnoty offtrackingu v závislosti na poloměru směřového oblouku.....	46
Graf 4 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=110m$	48
Graf 5 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=30m$	49
Graf 6 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=12m$	50
Graf 7 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=110m$, $v=10$ km/h)	58
Graf 8 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=250m$, $v=10$ km/h)	58
Graf 9 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=110m$, $v=30$ km/h)	59
Graf 10 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=250m$, $v=30$ km/h).....	59
Graf 11 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=110m$, $v=50$ km/h).....	60
Graf 12 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=250m$, $v=50$ km/h).....	60
Graf 13 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=4m$, $v=15$ km/h)	65
Graf 14 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=8m$, $v=20$ km/h)	65
Graf 15 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=14m$, $v=25$ km/h)	66
Graf 16 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=22m$, $v=30$ km/h)	66
Graf 17 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=32m$, $v=35$ km/h)	67
Graf 18 -Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=45m$, $v=40$ km/h)	67
Graf 19 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=82m$, $v=50$ km/h)	68
Graf 20 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů ($R=129m$, $v=60$ km/h).....	68
Graf 21 - Porovnání spočtených a měřených hodnot offtrackingu.....	81
Graf 22 - Srovnání ploch měřených a simulovaných vlečných křivek	85
Graf 23 - Srovnání přepočtených a simulovaných ploch vlečných křivek.....	85

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozšíření jízdního pruhu ve směrovém oblouku silnice se základní šířkou pruhu 2,75m; 3,00m; 3,25m a 3,50m dle ČSN 73 6101	6
Tabulka 2 - Nejmenší hodnoty šířky jízdních pruhů a_{ve} (včetně rozšíření) jednosměrné větve úrovně křižovatky v m dle ČSN 73 6102	7
Tabulka 3 - Poloměry nárožních oblouků, ČSN 73 6102	8
Tabulka 4 - Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích na větvích křižovatek Δ a v m dle ČSN 73 6102.....	10
Tabulka 5 - Rozšíření jízdních pruhů ve směrovém oblouku místních komunikací funkčních skupin B a C (při rekonstrukcích) dle ČSN 73 6110	11
Tabulka 6 - Hodnoty rozvoru normových vozidel (Slovensko)	13
Tabulka 7 - Hodnoty rozšíření ve směrovém oblouku dle AASHTO	16
Tabulka 8 - Závislost rychlosti a dráhy nutné pro dosažení plně rozvinutého offtrackingu	42
Tabulka 9 - Hodnota offtrackingu dle rozvoru vozidla a poloměru směrového oblouku	45
Tabulka 10 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=110m$	48
Tabulka 11 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=30m$	50
Tabulka 12 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; $R=12m$	51
Tabulka 13 - AutoTURN 10 km/h	54
Tabulka 14 - AutoTURN 30 km/h	54
Tabulka 15 - AutoTURN 50 km/h	55
Tabulka 16 - Vehicle Tracking 10 km/h.....	55
Tabulka 17 - Vehicle Tracking 30 km/h.....	56
Tabulka 18 - Vehicle Tracking 50 km/h.....	56
Tabulka 19 - Path Planner 10 km/h	56
Tabulka 20 - Path Planner 30 km/h	57
Tabulka 21 - Path Planner 50 km/h	57
Tabulka 22 - Šířka vlečných křivek pro poloměry dle ČSN 736102.....	64
Tabulka 23 - Porovnání spočtených a měřených hodnot offtrackingu	80
Tabulka 24 - Srovnání ploch měřených a simulovaných vlečných křivek.....	84
Tabulka 25 - Srovnání přepočtených a simulovaných ploch vlečných křivek.....	86
Tabulka 26 - Typ návrhového vozidla v závislosti na kategorii pozemní komunikace.....	87
Tabulka 27 - Hodnota bezpečnostního odstupu v závislosti na kategorii komunikace.....	89
Tabulka 28 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směrového oblouku pro vozidlo kategorie O2.....	90
Tabulka 29 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směrového oblouku pro vozidlo kategorie N2	91
Tabulka 30 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směrového oblouku pro vozidlo kategorie NS.....	91
Tabulka 31 - Šířky vlečných křivek dle poloměru a vrcholovém úhlu směrového oblouku pro vozidlo kategorie BUS 15	92

Seznam rovnic

Rovnice 1 - Výpočet rozšíření ve směrovém oblouku dle RAA	12
Rovnice 2 - Výpočet rozšíření ve směrovém oblouku dle slovinského předpisu	13
Rovnice 3 - Výpočet rozšíření ve směrovém oblouku dle RVS	13
Rovnice 4 - Výpočet šířky stopy vozidla v oblouku dle AASHTO	15
Rovnice 5 - Výpočet požadované velikosti rozšíření dle AASHTO	15
Rovnice 6 - Výpočet šířky stopy vozidla dle AASHTO	15
Rovnice 7 - Výpočet offtrackingu	27
Rovnice 8 - Výpočet offtrackingu u návěsové soupravy	30
Rovnice 9 - Výpočet poloměru zadní nápravy tahače	30
Rovnice 10 - Výpočet poloměru závěsu	31
Rovnice 11 - Výpočet poloměru zadní nápravy návěsu	31
Rovnice 12 - Výpočet hodnoty offtrackingu	31
Rovnice 13 - Offtracking jednoduché vozidlo	32
Rovnice 14 - Offtracking složené vozidlo	32
Rovnice 15 - Geometrická metoda	34
Rovnice 16 - Výpočet ekvivalentní délky jednoduchého vozidla	34
Rovnice 17 - Výpočet ekvivalentní délky návěsové soupravy	34
Rovnice 18 - Výpočet offtrackingu (Jindrova metoda)	35
Rovnice 19 - Výpočet úhlu natočení přední nápravy tahače	36
Rovnice 20 - Výpočet úhlu mezi tahačem a návěsem	36
Rovnice 21 - Výpočet offtrackingu dle lineární analýzy v závislosti na rychlosti	36
Rovnice 22 - Výpočet souřadnic zadní nápravy	37
Rovnice 23 - Výpočet vzdálenosti řídicího (tažného) bodu k poslední nápravě	37
Rovnice 24 - Výpočet úhlu natočení měřícího vozidla	78
Rovnice 25 - Výpočet souřadnice středu zadní nápravy měřícího vozidla	78
Rovnice 26 - Výpočet poloměru směrového oblouku	79
Rovnice 27 - Výpočet vzdálenosti jednotlivých bodů	79
Rovnice 28 - Výpočet rychlosti vozidla	80
Rovnice 29 - Výpočet požadované šířky jízdního pruhu	88
Rovnice 30 - Výpočet velikosti rozšíření	88

Seznam použitých zdrojů

1. **AASHTO.** *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* Washington D.C. : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.
2. **ČSN 73 6102.** *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích ed.2.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. ICS 93.080.10.
3. **TP 171.** *Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací.* Praha : Ministerstvo dopravy České republiky, 2004.
4. **ČSN 73 6101.** *Projektování silnic a dálnic, Změna Z2.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. ICS 93.080.10.
5. **ČSN 73 6110.** *Projektování místních komunikací.* Praha : Český normalizační institut, 2006. ICS 93.080.10.
6. **STN 73 6101.** *Projektovanie ciest a diaľnic.* Bratislava : Úrad pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR, 2008.
7. **STN 73 6102.** *Projektovanie križovatiek na pozemných komunikáciách.* Bratislava : Úrad pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR, 2004.
8. **RAA.** *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen.* Cologne : FGSV Verlag GmbH, 2011.
9. **PPC.** *Pravilnik o projektiranju cest.* Ljubljana : Minister za promet, 2005.
10. **RVS.** *Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen.* místo neznámé : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2001.
11. **DMRB.** *Design Manual for Roads and Bridges.* místo neznámé : The Highway Agency, 2005.
12. **Christensen, T., Blythe, W.** *Offtracking: History, Analysis, and Simulation.* Warrendale : SAE Technical Paper, 2000.
13. **Gillespie, Thomas D.** *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* Warrendale : Society of Automotive Engineers Inc, 1992.
14. **GDG.** *Geometric design guidelines for suburban high-speed curb and gutter roadways; Final report .* Arlington : Federal Highway Administration, 1995.
15. **de Pont, John.** *Offtracking of 23m HPMVs Compared to Standard Vehicles.* Auckland : Transport Engineering Research New Zealand, 2013.
16. *Development of a Dynamic Offtracking Model on Horizontal Curve Sections.* **Journal of Korean Society of Transportation.** místo neznámé : Korean Society of Transportation, 2001. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. str. 13.

17. **Billing, John a Jeff, Patten.** *A Discussion of the High-speed Offtracking Performance Standard.* Agincourt : National Research Council of Canada, 1986.
18. **Carrasco, Milton S.E.** Turning vehicle simulation: interactive computer-aided design and drafting application. *Transportation Research Record* . 1995.
19. **Čepil, Budík, Heinrich, Radimský, Matuszková, Smělý, Kosňovský.** *Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel.* Brno : autor neznámý, 2015. ISBN 978-80-214-5308-1.
20. **Bradáč, Albert.** *Soudní inženýrství.* Brno : CERM, 1999.
21. **ČSN 73 6101.** *Projektování silnic a dálnic.* Praha : Český normalizační institut, 2004.
22. **Fancher, P.S., a další.** *TRUCKING AND STABILITY OF MULTI-UNIT TRUCK COMBINATIONS.* Michigan : UMTRI, 1984.
23. **ČSN 73 6056.** *Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
24. **Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.**
25. **Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích.**
26. **Vyhláška č. 104/1997 Sb. kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích.**
27. **ČSN 73 0802.** *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
28. **ČSN 73 0804.** *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
29. **ČSN 73 6058.** *Jednotlivé, řadové a hromadné garáže.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
30. **ČSN 73 6108.** *Lesní dopravní síť.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
31. **ČSN 73 6109.** *Projektování polních cest.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
32. **ČSN 73 6101.** *Projektování silnic a dálnic, Změna Z1.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

Seznam příloh

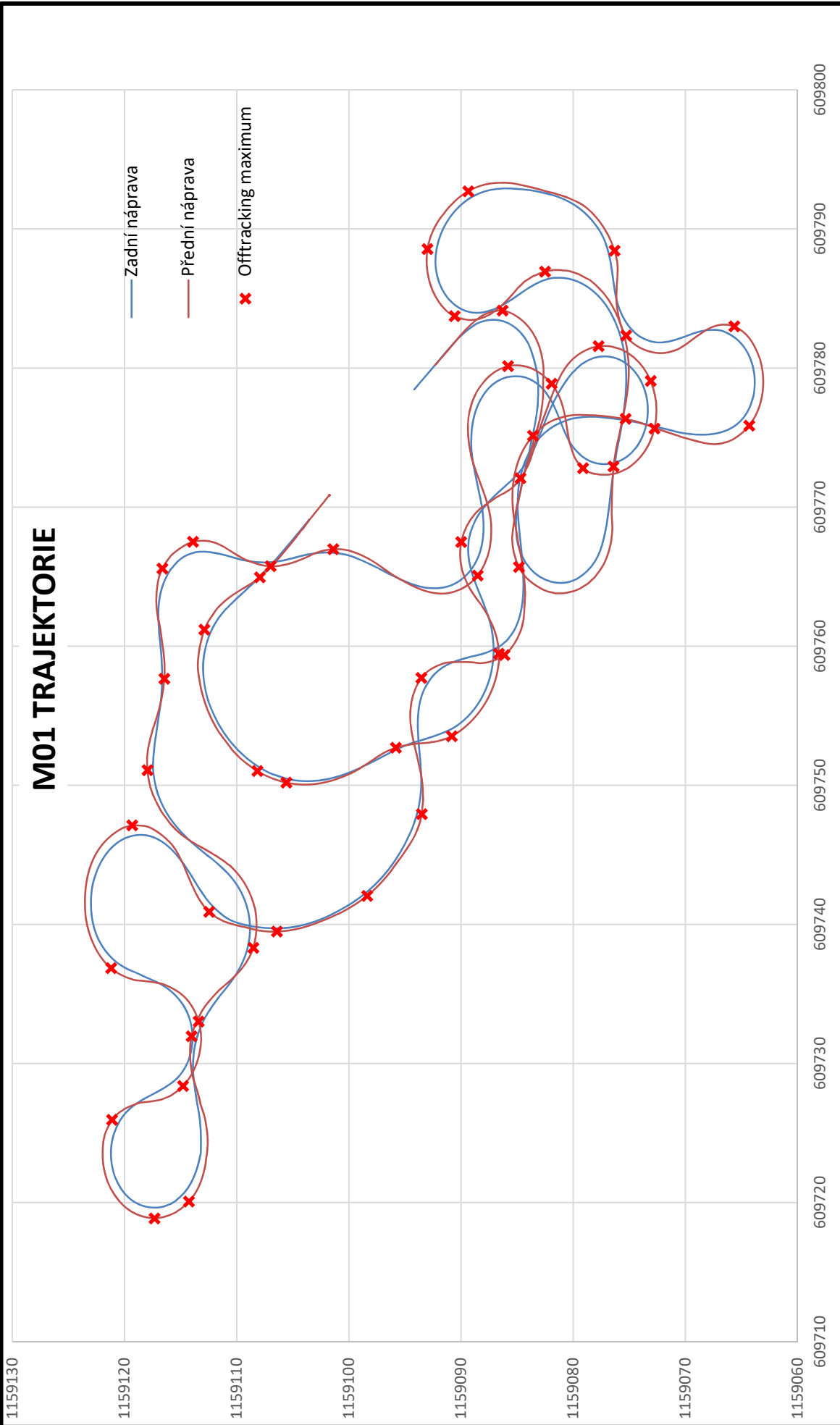
Příloha A – Vyhodnocení měřených vlečných křivek

Příloha B – Vyhodnocení offtrackingu

Příloha C – Srovnání měřených a simulovaných vlečných křivek

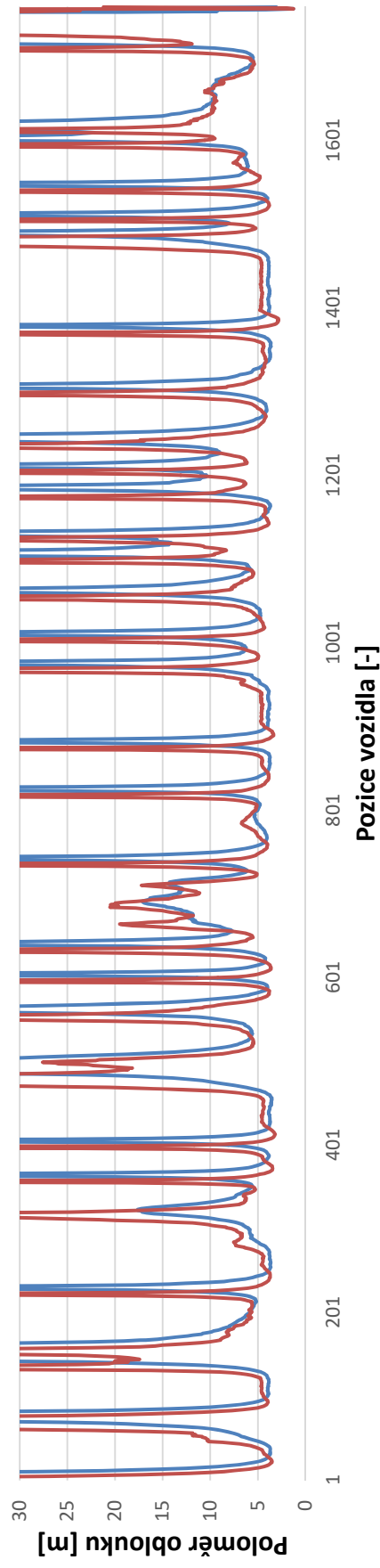
Příloha D – Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel

Příloha A – Vyhodnocení měřených vlečných křivek



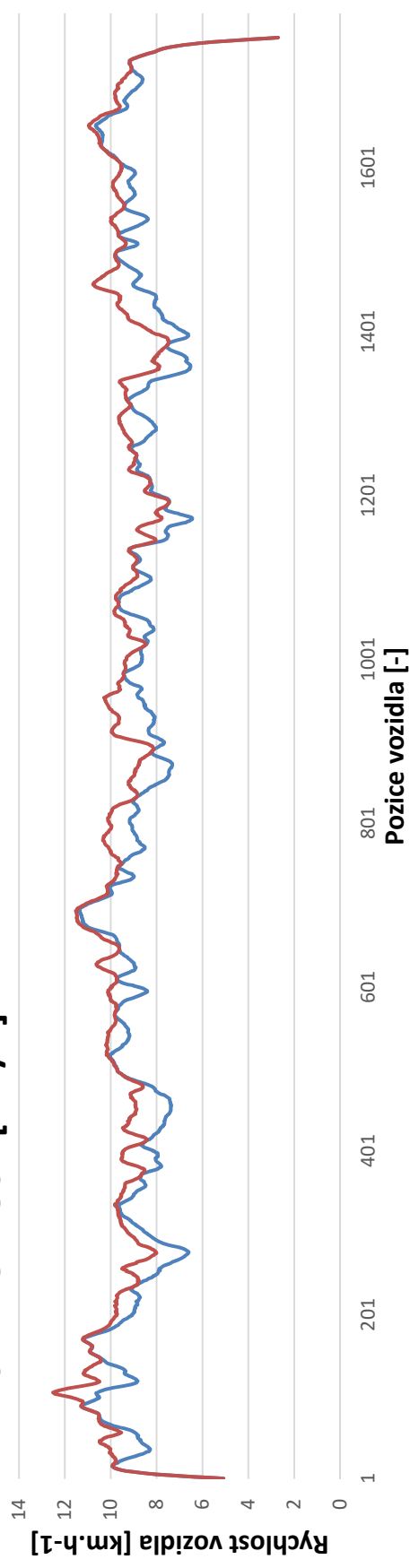
Graf 1 - Měření M01; trajektorie náprav a offtracking

M01 POLOMĚRY SMĚROVÝCH OBLOUKŮ

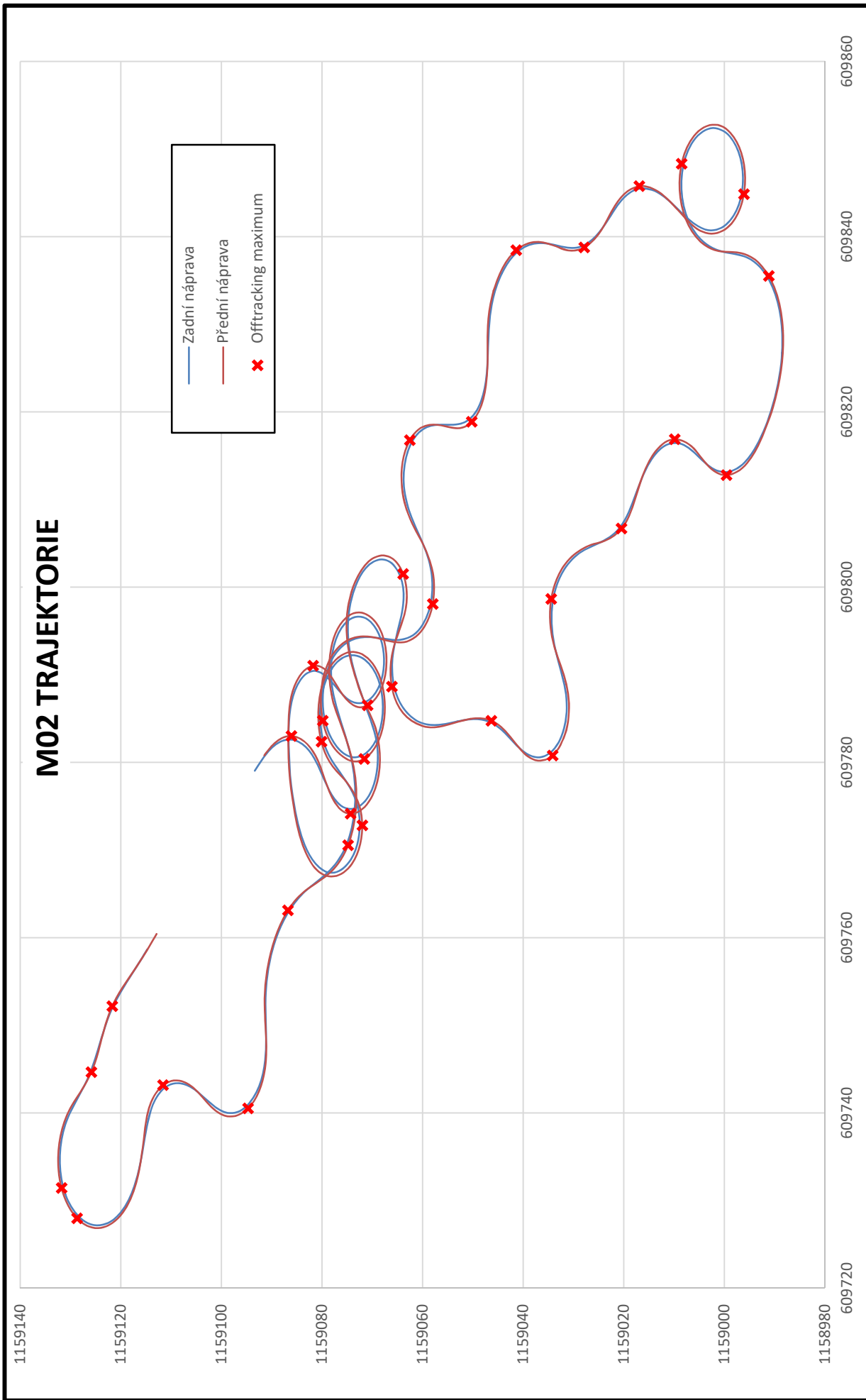


Graf 2 - Měření M01; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

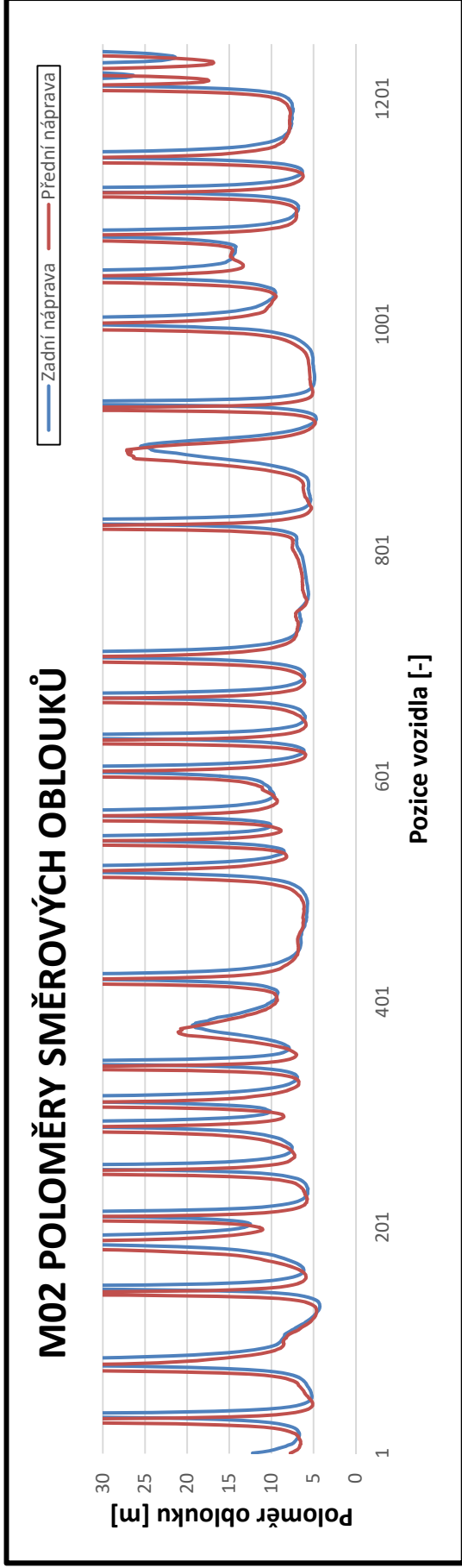
M01 RYCHLOST [km/h]



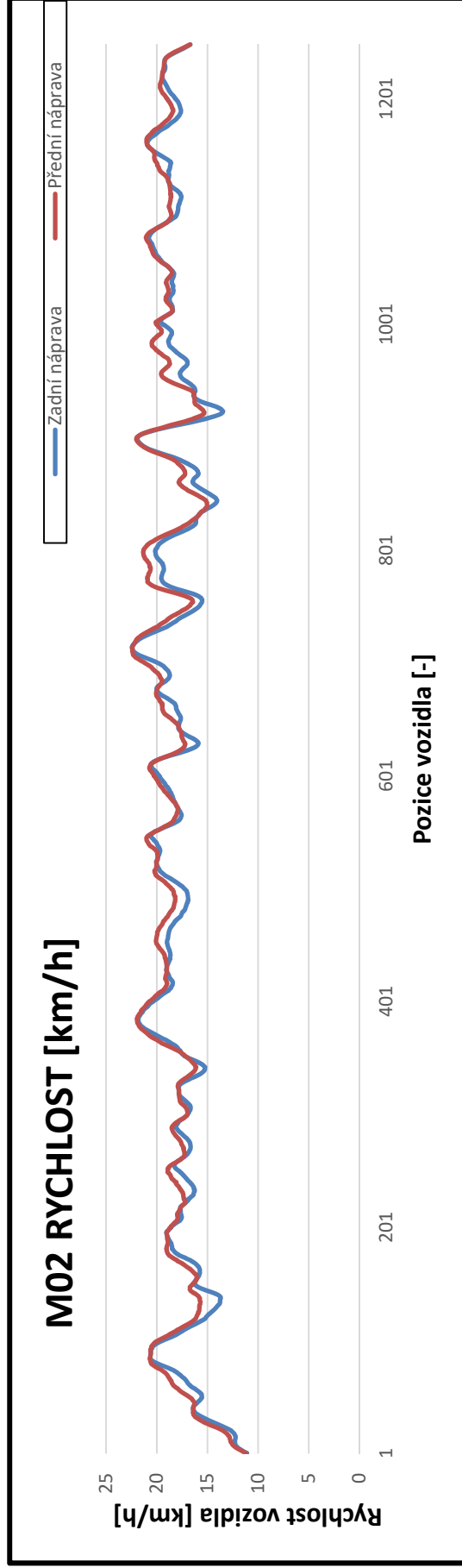
Graf 3 - Měření M01; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



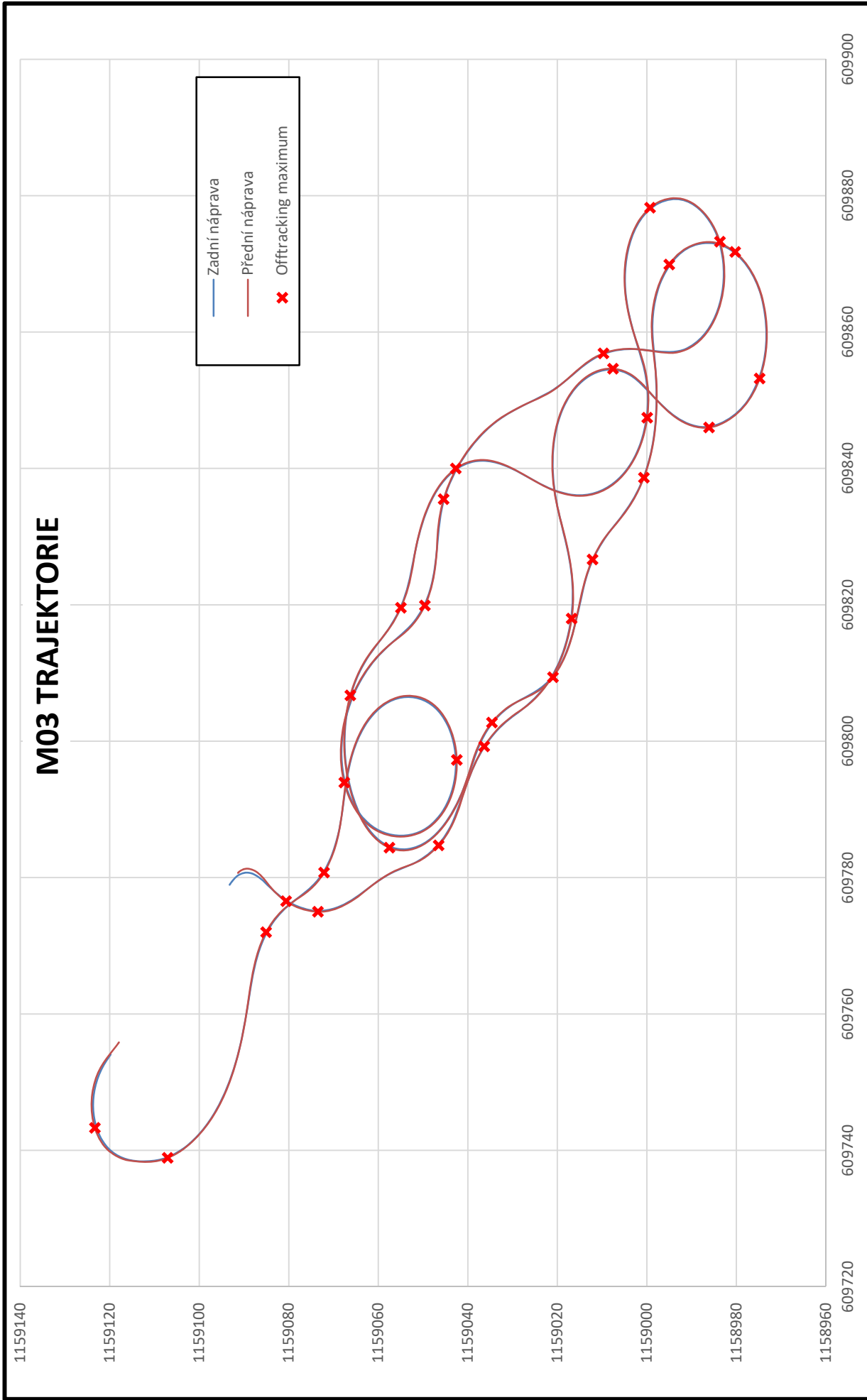
Graf 4 - Měření M02; trajektorie náprav a offtracking



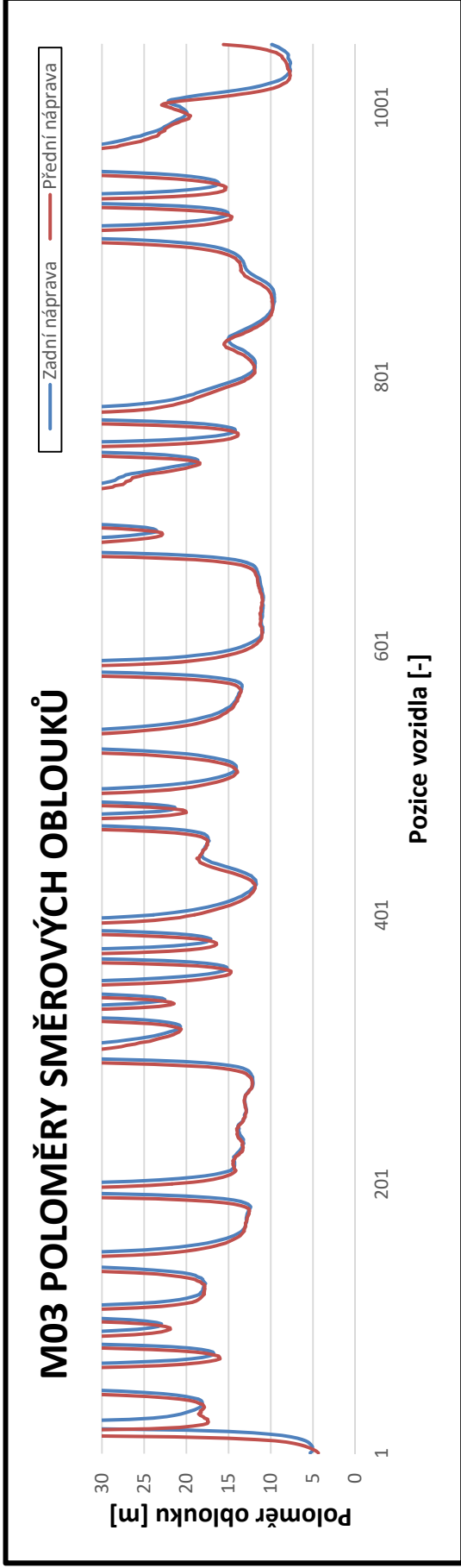
Graf 5 - Měření M02; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu



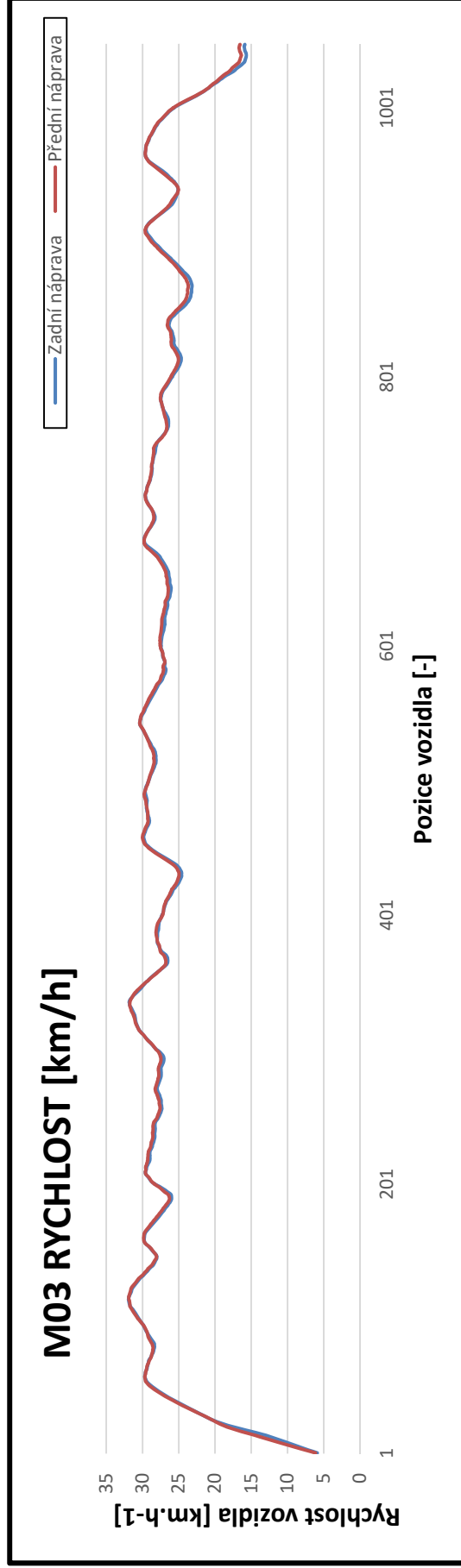
Graf 6 - Měření M02; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



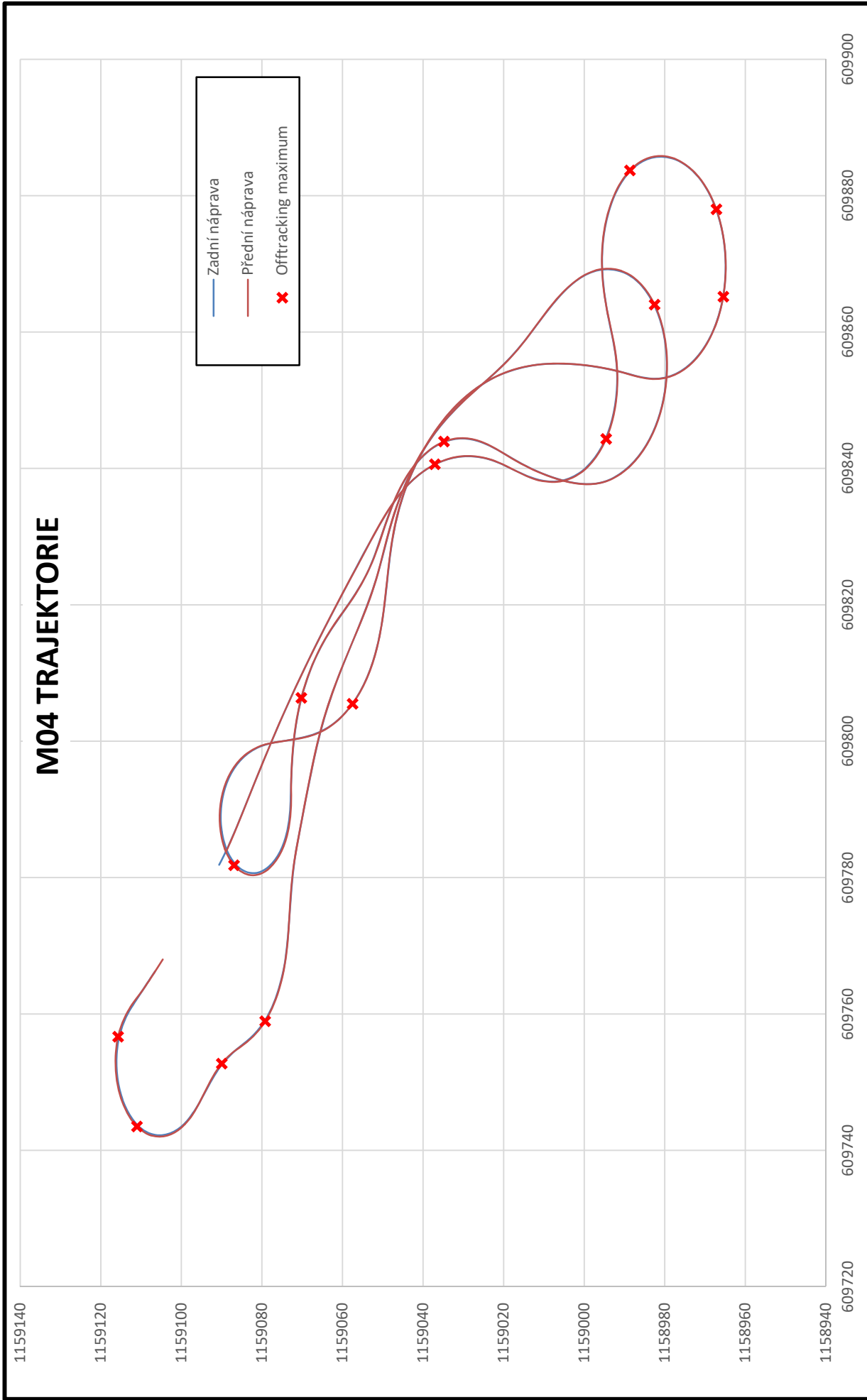
Graf 7 - Měření M03; trajektorie náprav a offtracking



Graf 8 - Měření M03; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

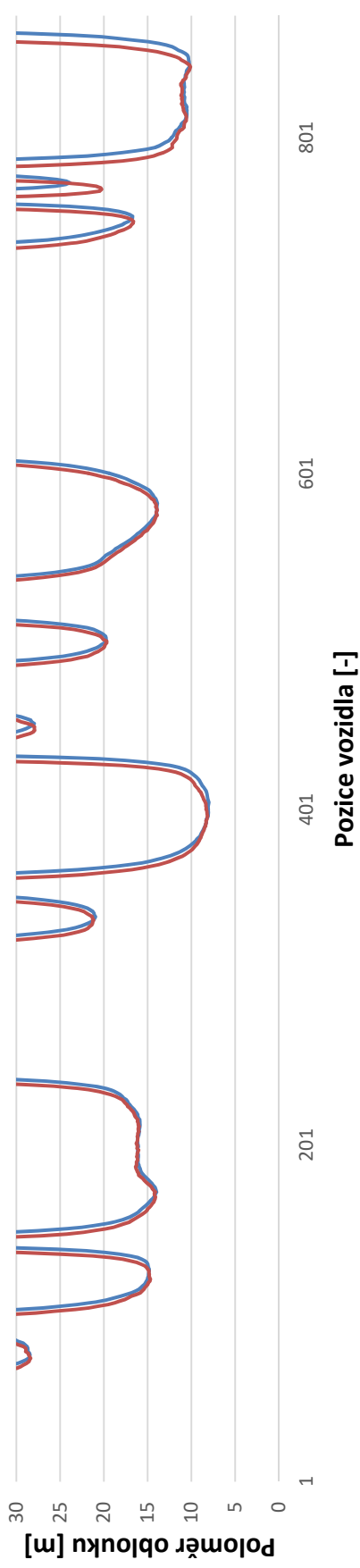


Graf 9 - Měření M03; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



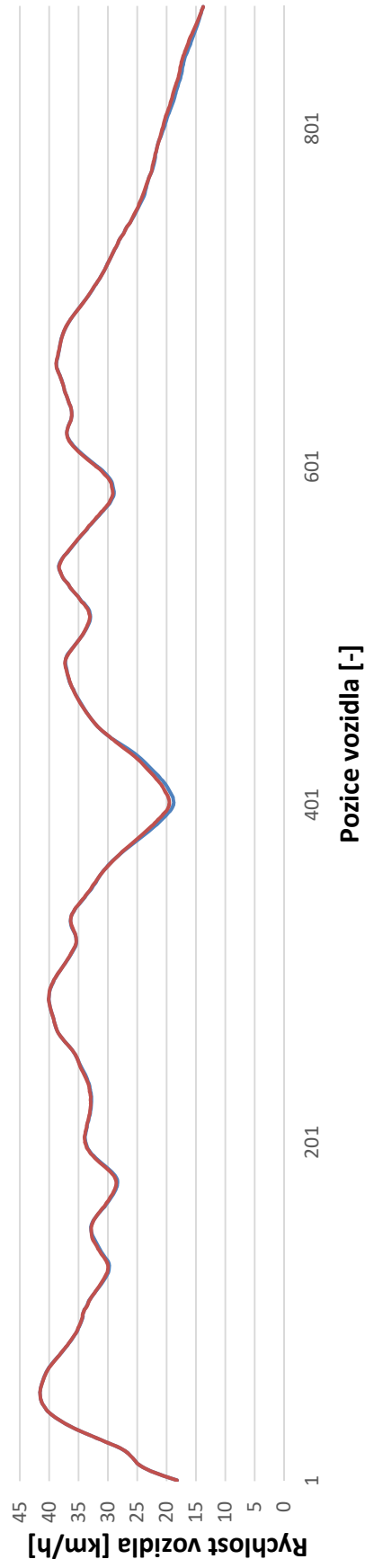
Graf 10 - Měření M04; trajektorie náprav a offtracking

M04 POLOMĚRY SMĚROVÝCH OBLOUKŮ

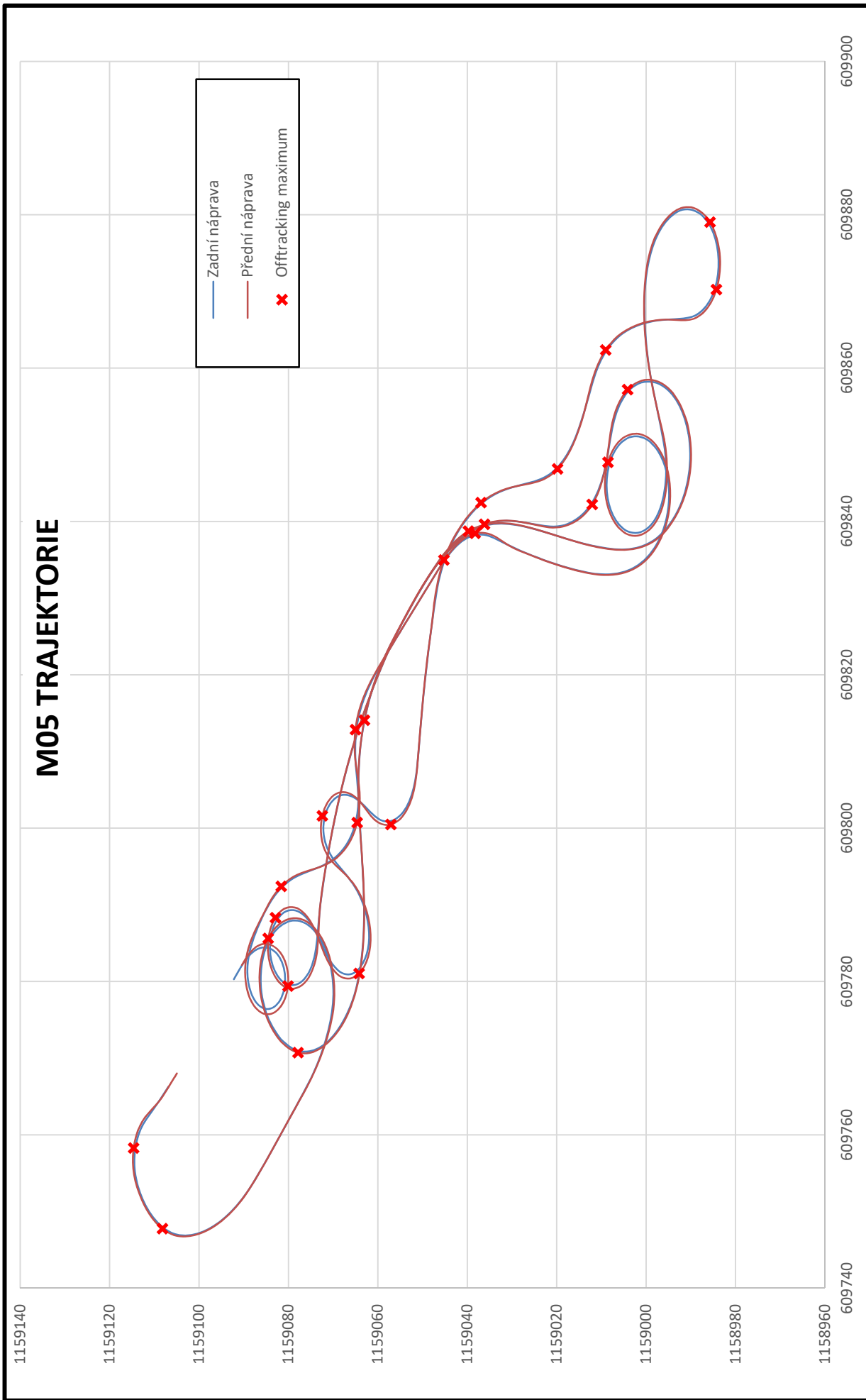


Graf 11 - Měření M04; vyhodnocení poloměru směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

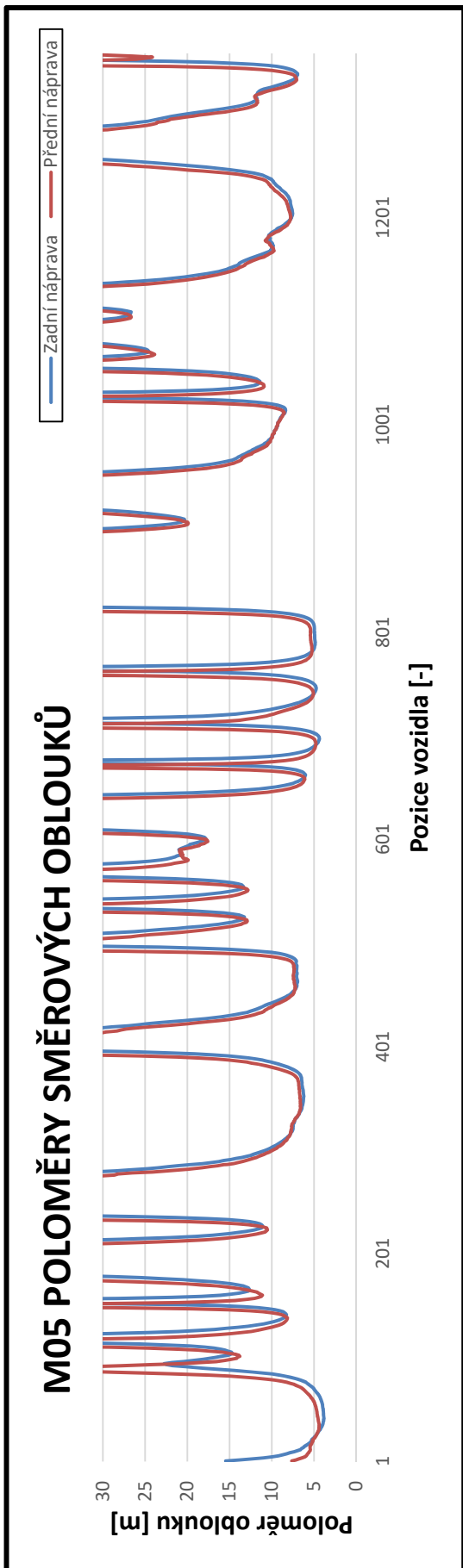
M04 RYCHLOST [km/h]



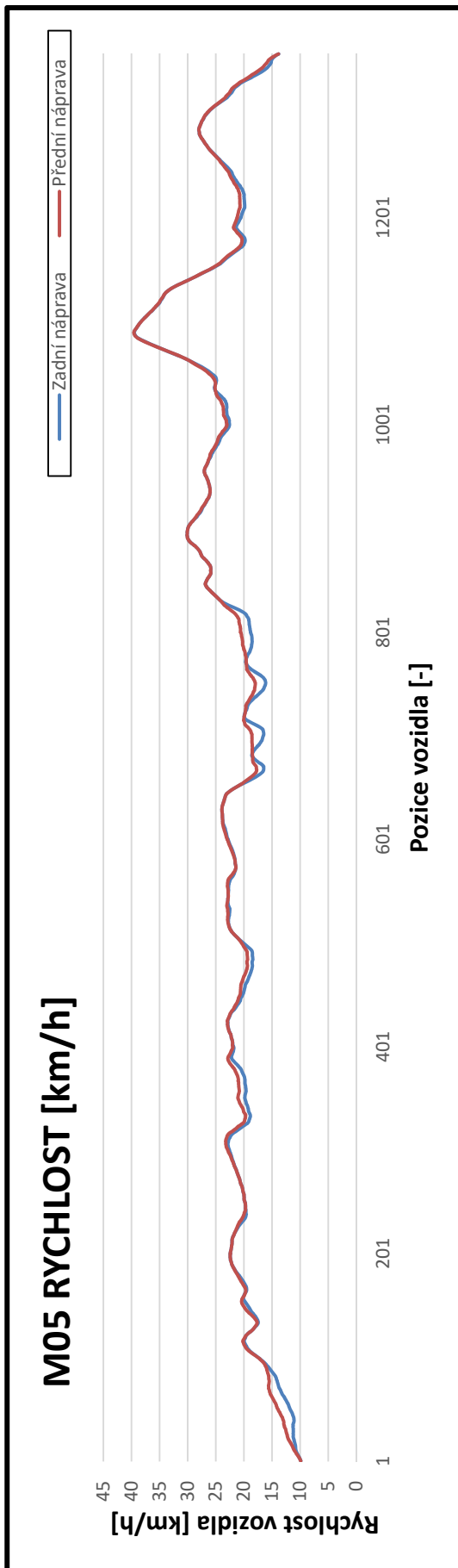
Graf 12 - Měření M04; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



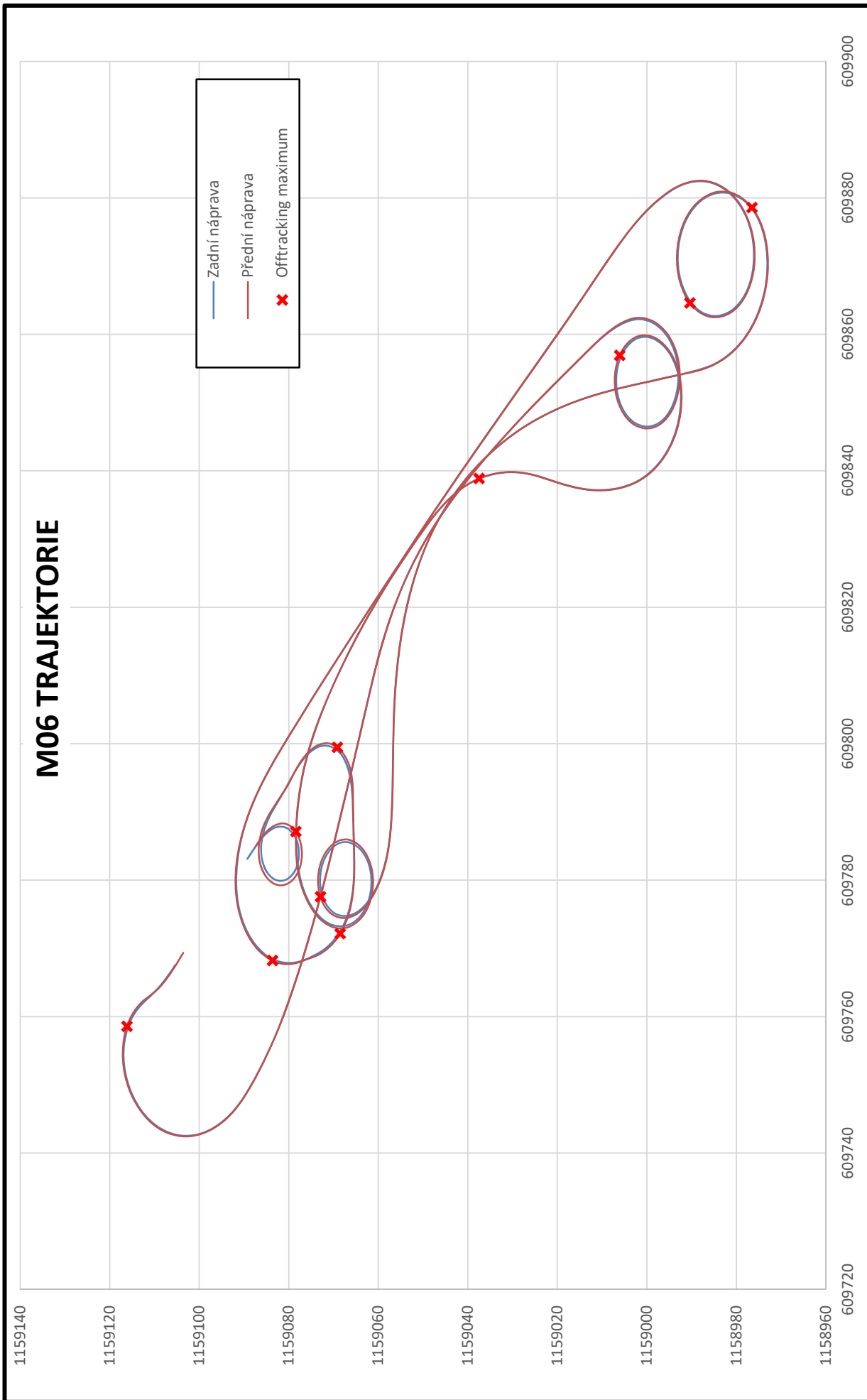
Graf 13 - Měření M05; trajektorie náprav a offtracking



Graf 14 - Měření M05; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

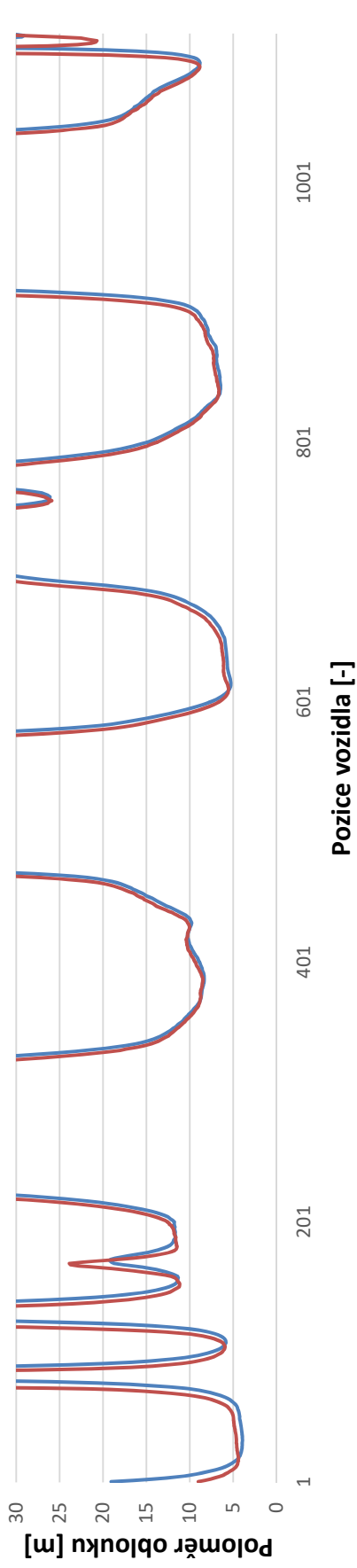


Graf 15 - Měření M05; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



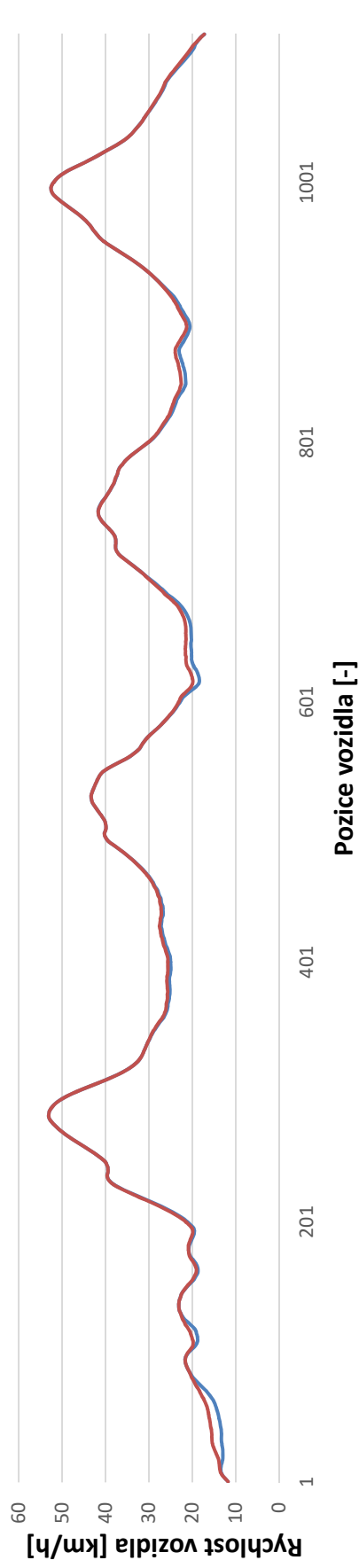
Graf 16 - Měření M06; trajektorie náprav a offtracking

M06 POLOMĚRY SMĚROVÝCH OBLOUKŮ

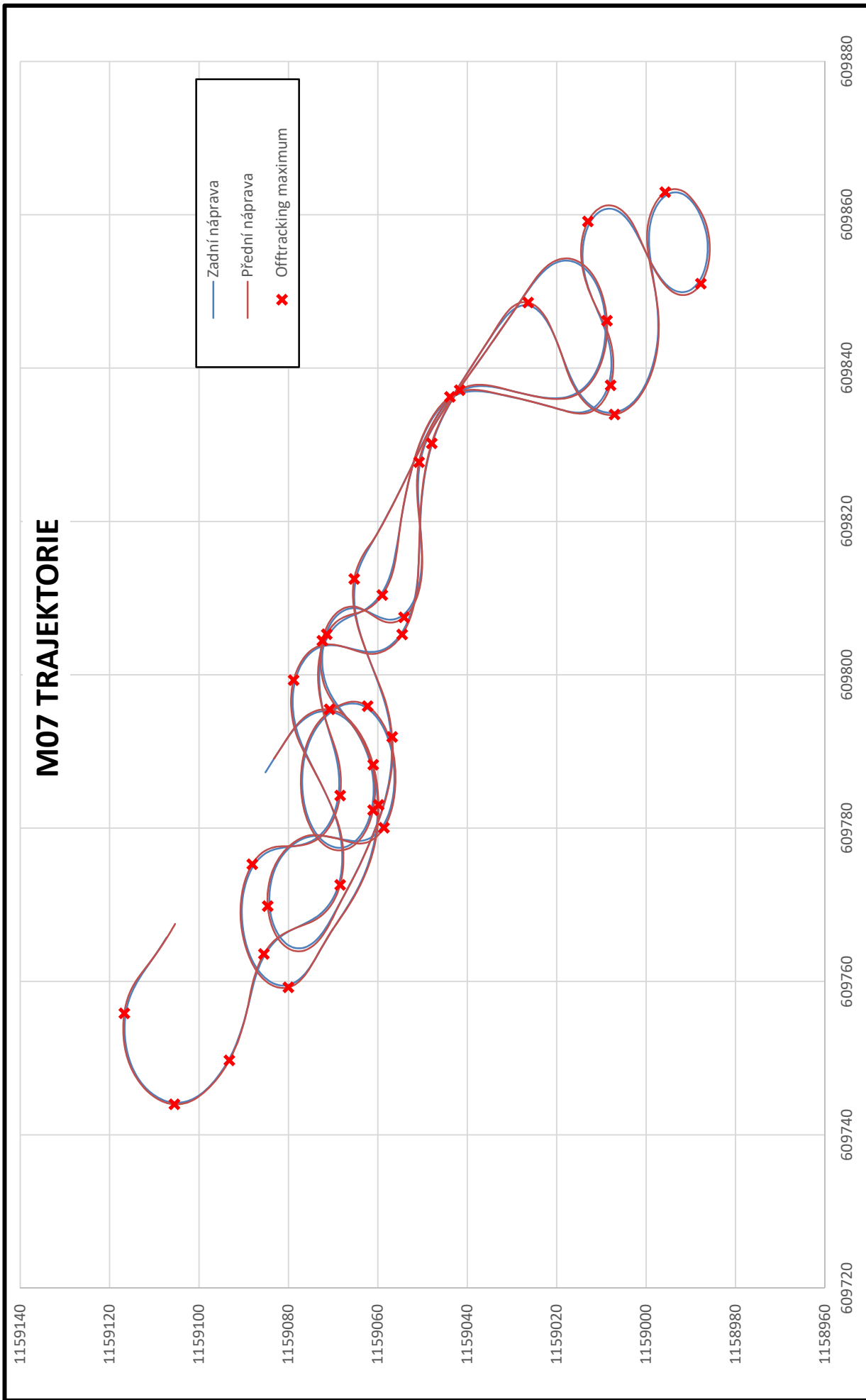


Graf 17 - Měření M06; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

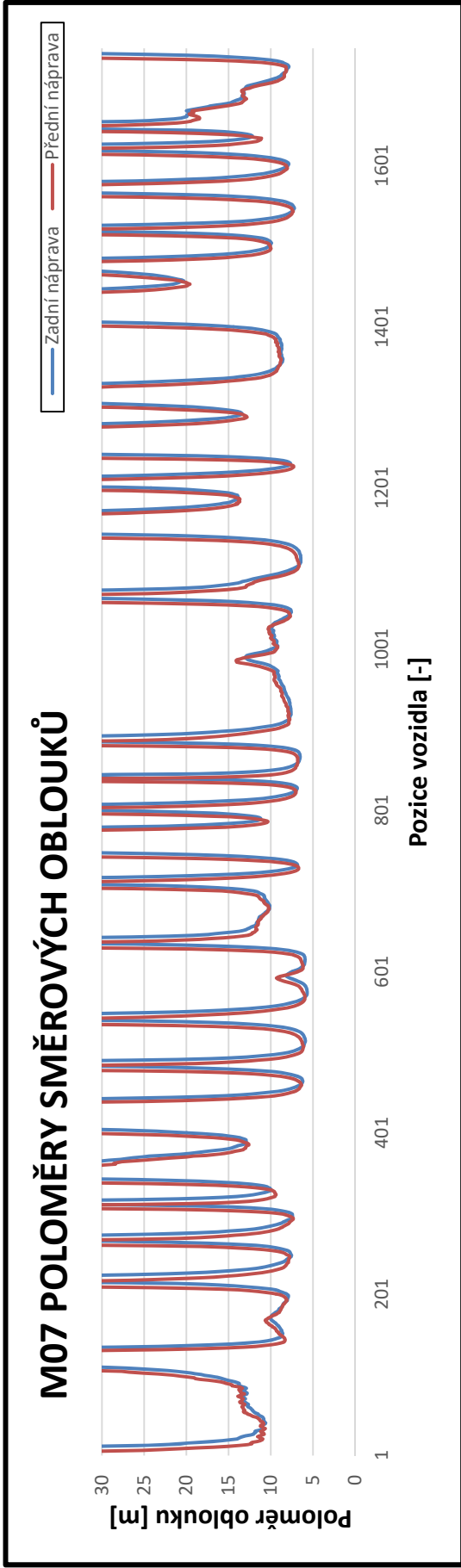
M06 RYCHLOST [km/h]



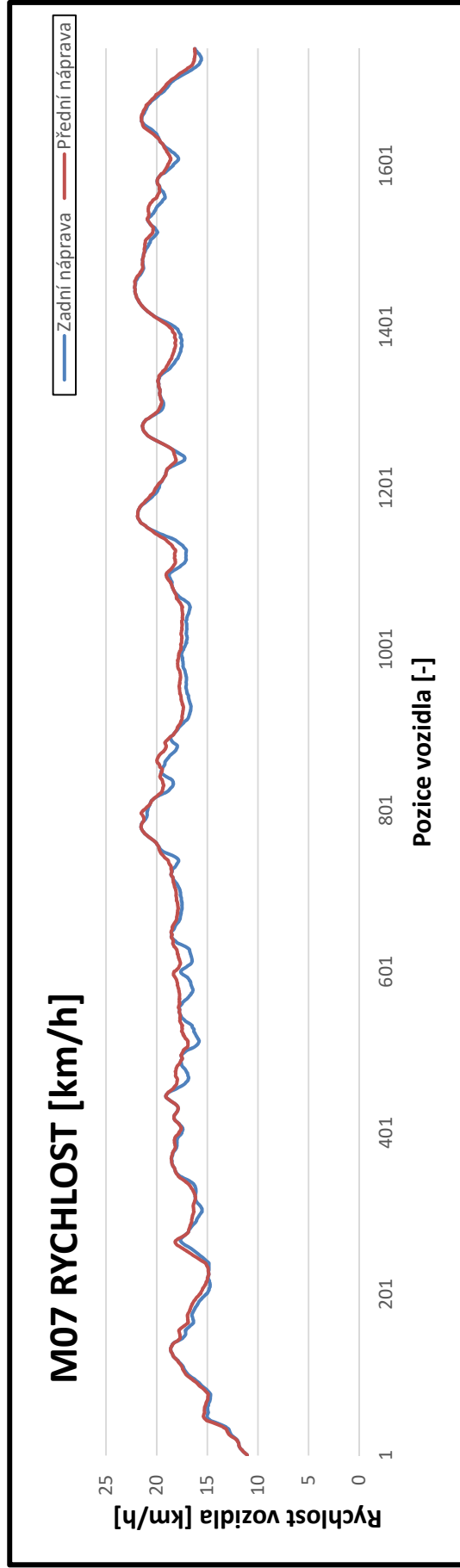
Graf 18 - Měření M06; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



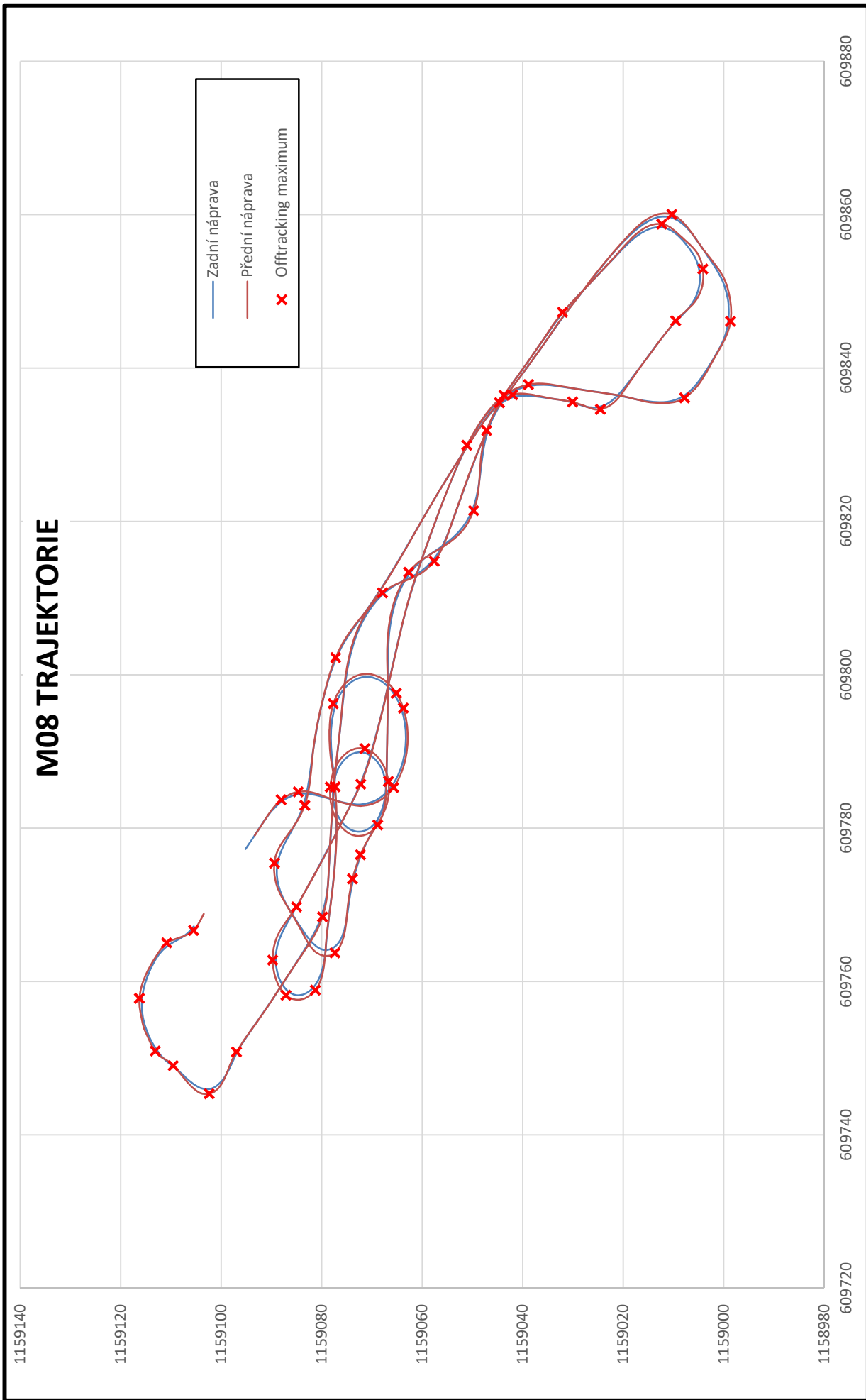
Graf 19 - Měření M07; trajektorie náprav a offtracking



Graf 20 - Měření M07; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

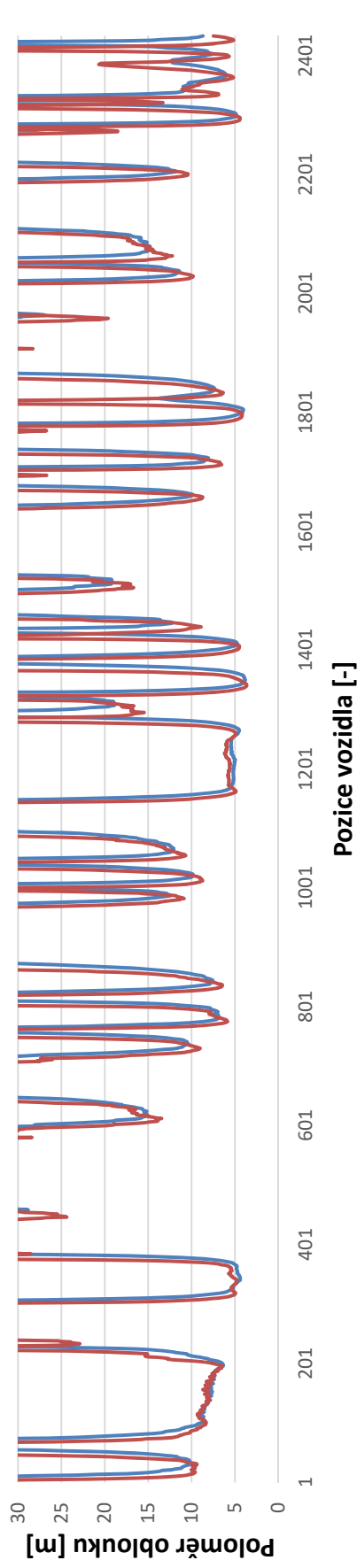


Graf 21 - Měření M07; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



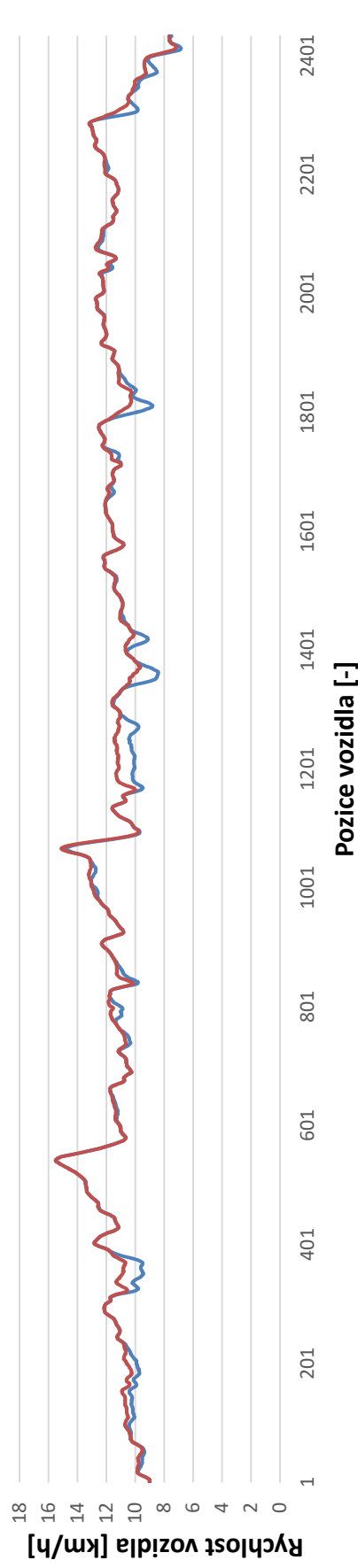
Graf 22 - Měření M08; trajektorie náprav a offtracking

M08 POLOMĚRY SMĚROVÝCH OBLOUKŮ

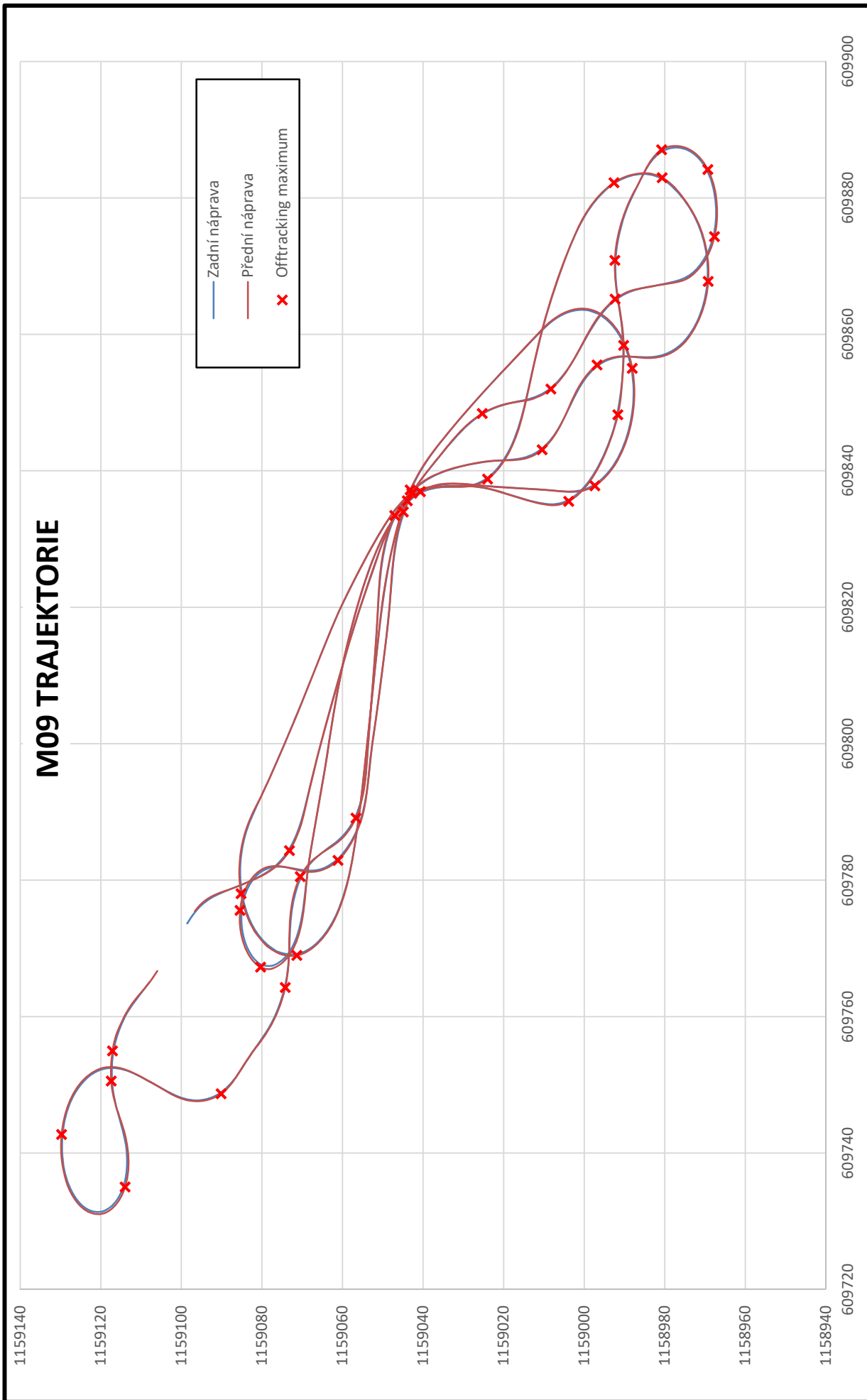


Graf 23 - Měření M08; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

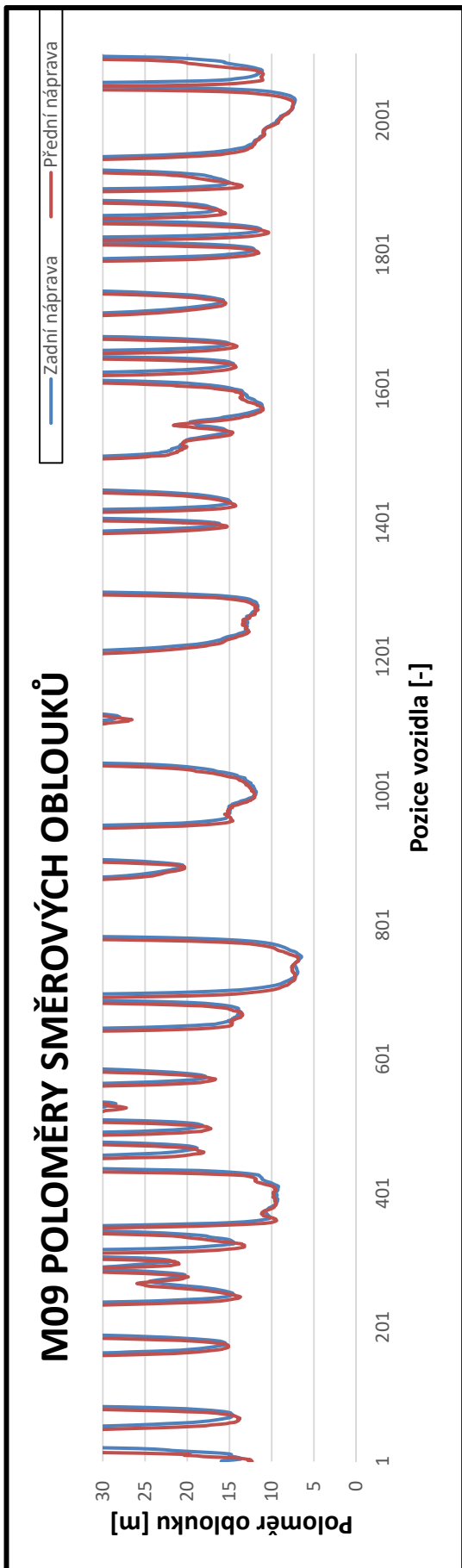
M08 RYCHLOST [km/h]



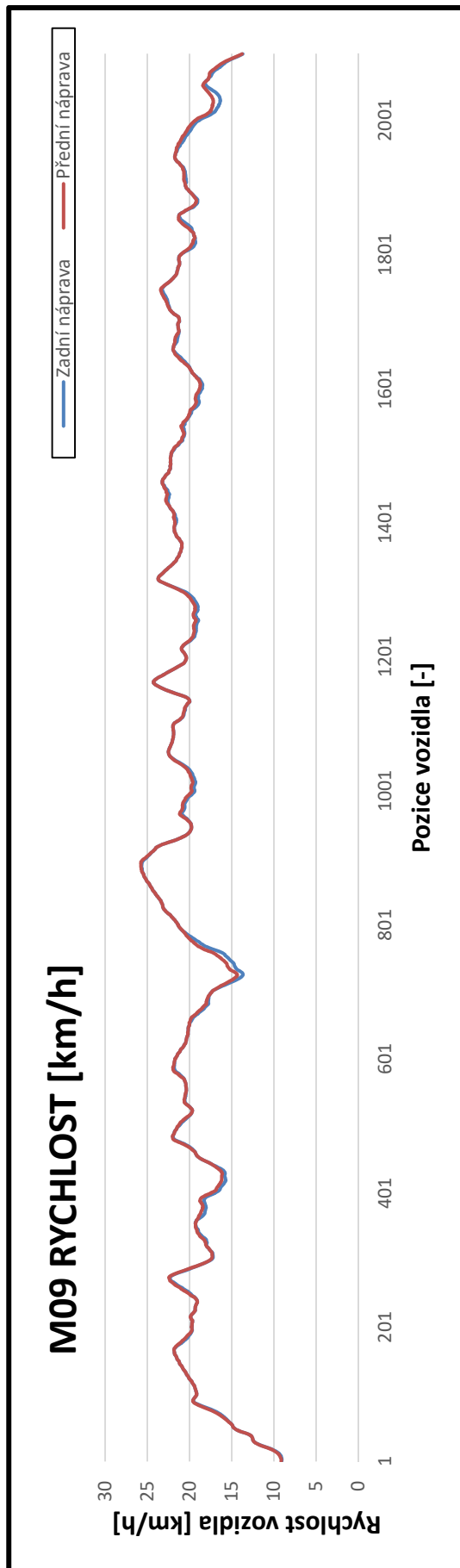
Graf 24 - Měření M08; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



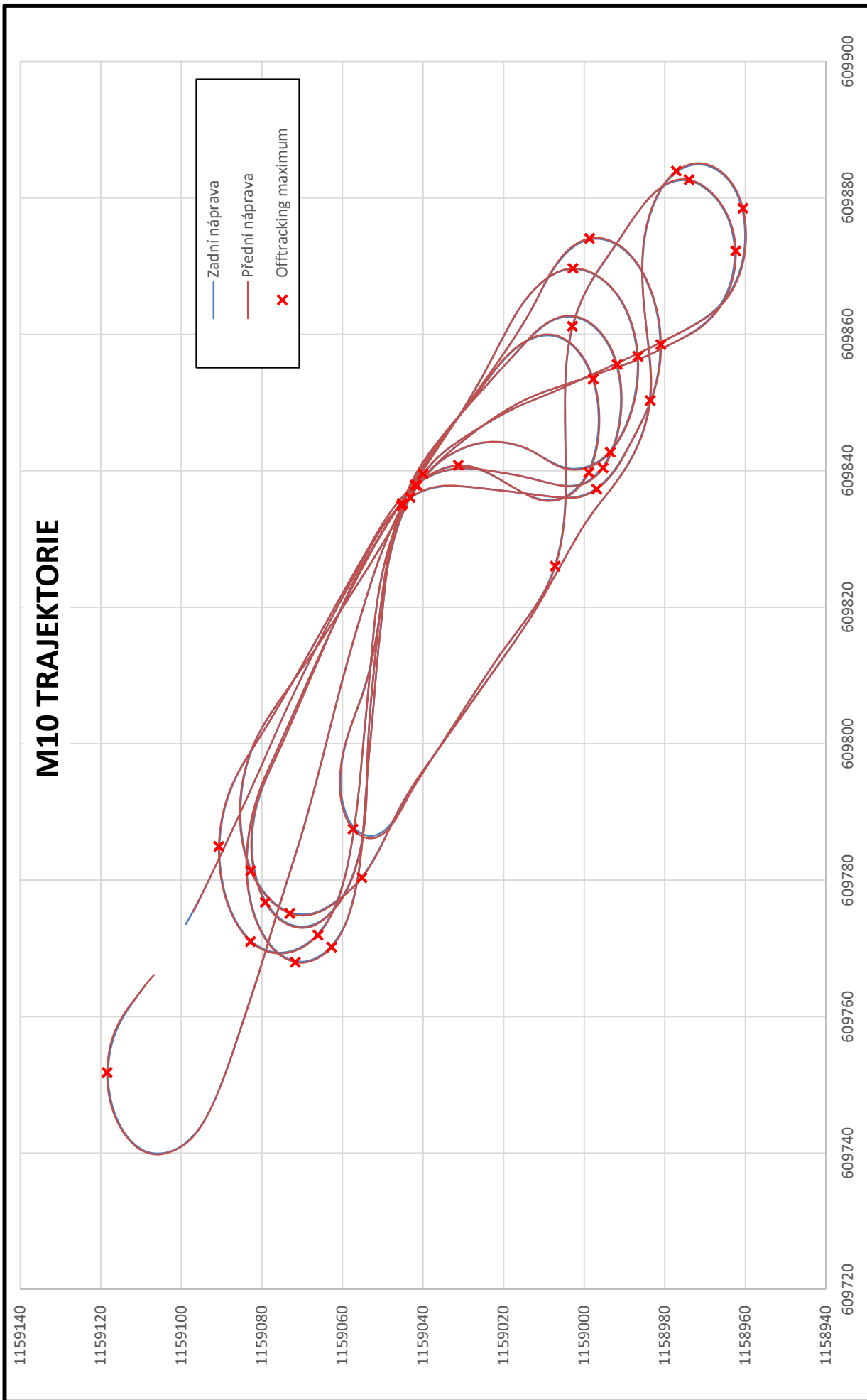
Graf 25 - Měření M09; trajektorie náprav a offtracking



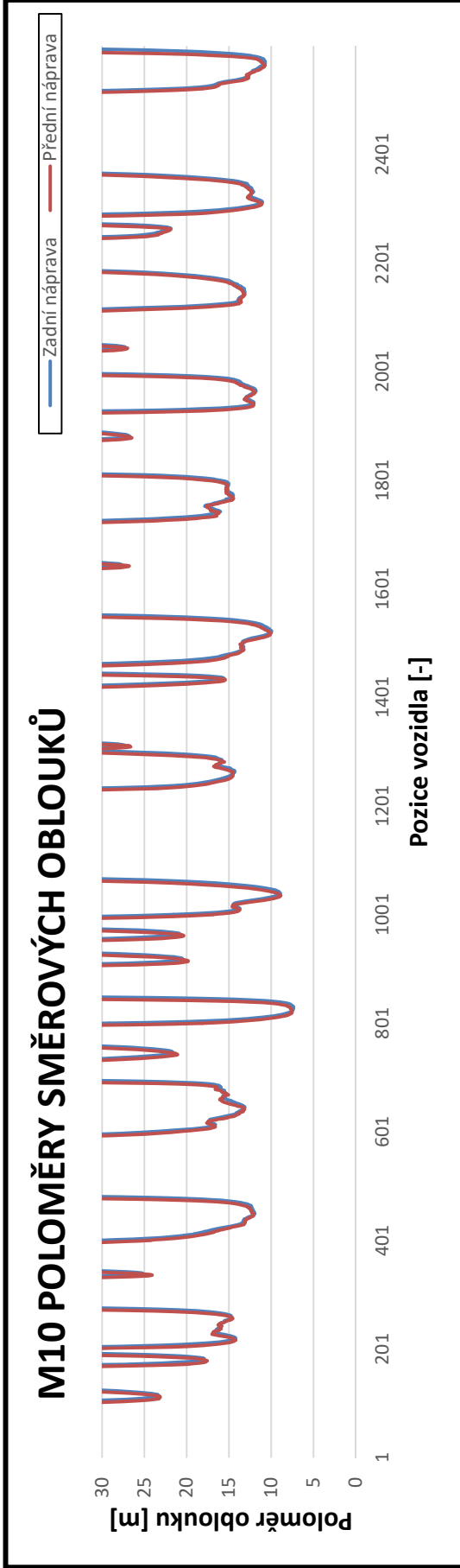
Graf 26 - Měření M09; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu



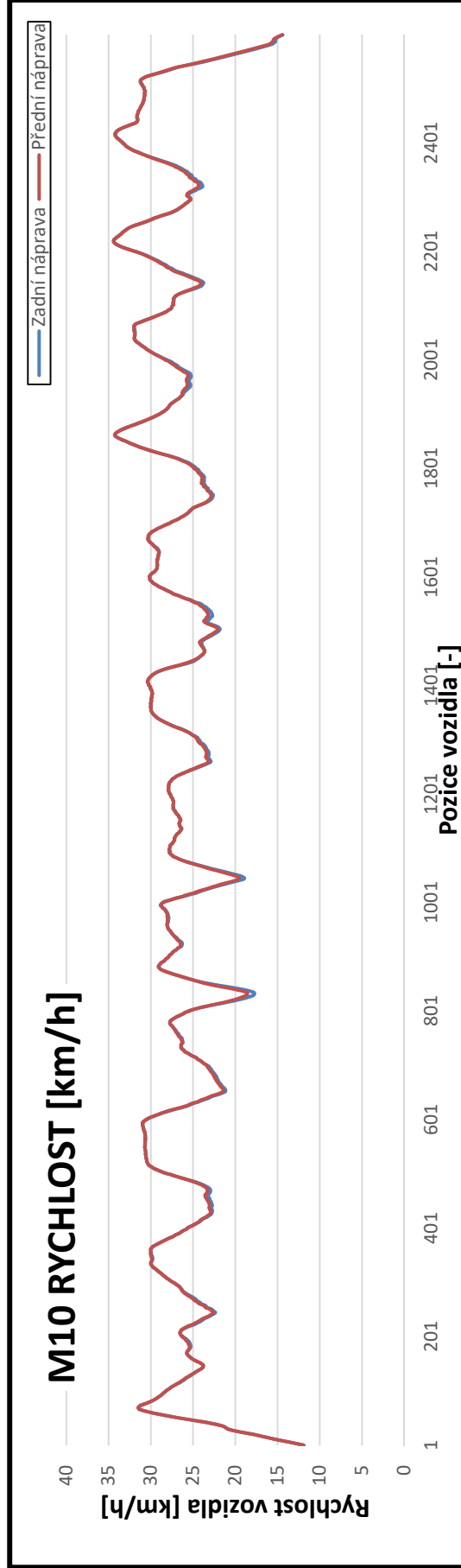
Graf 27 - Měření M09; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



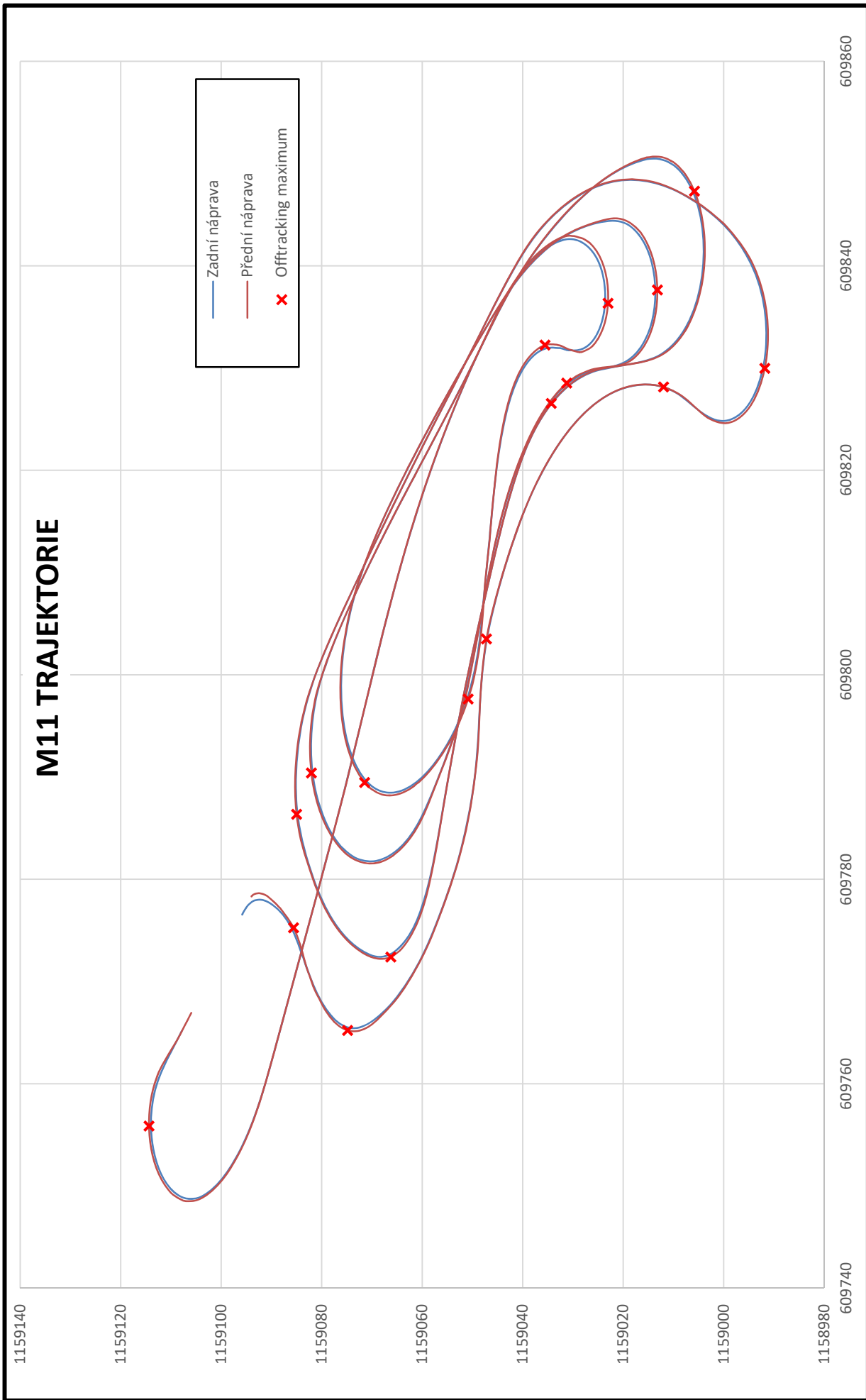
Graf 28 - Měření M10; trajektorie náprav a offtracking



Graf 29 - Měření M10; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

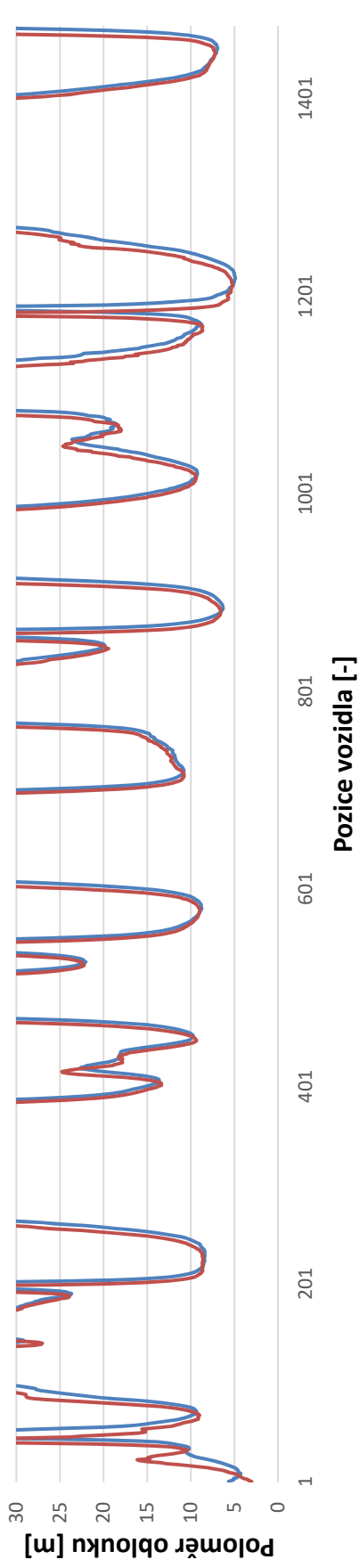


Graf 30 - Měření M10; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



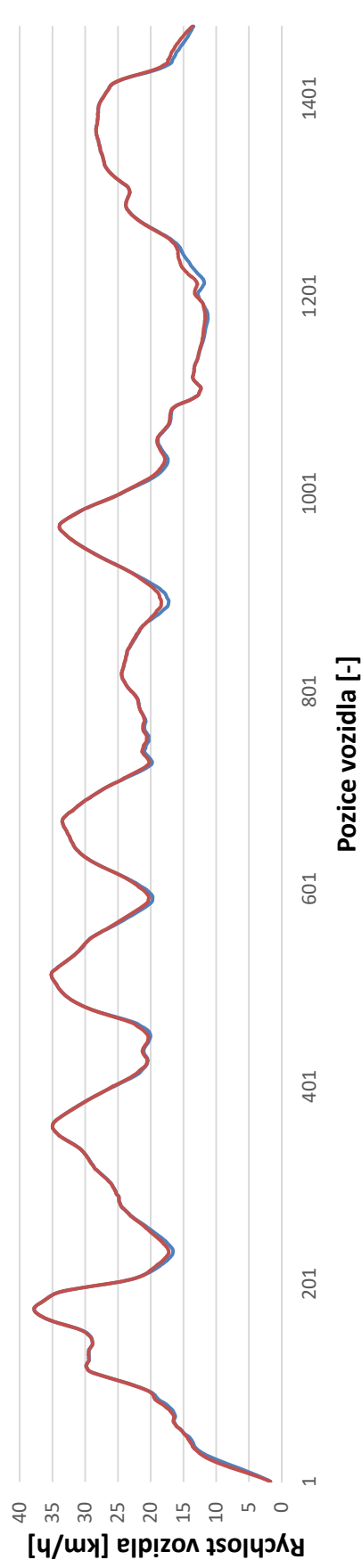
Graf 31 - Měření M11; trajektorie náprav a offtracking

M11 POLOMĚRY SMĚROVÝCH OBLOUKŮ

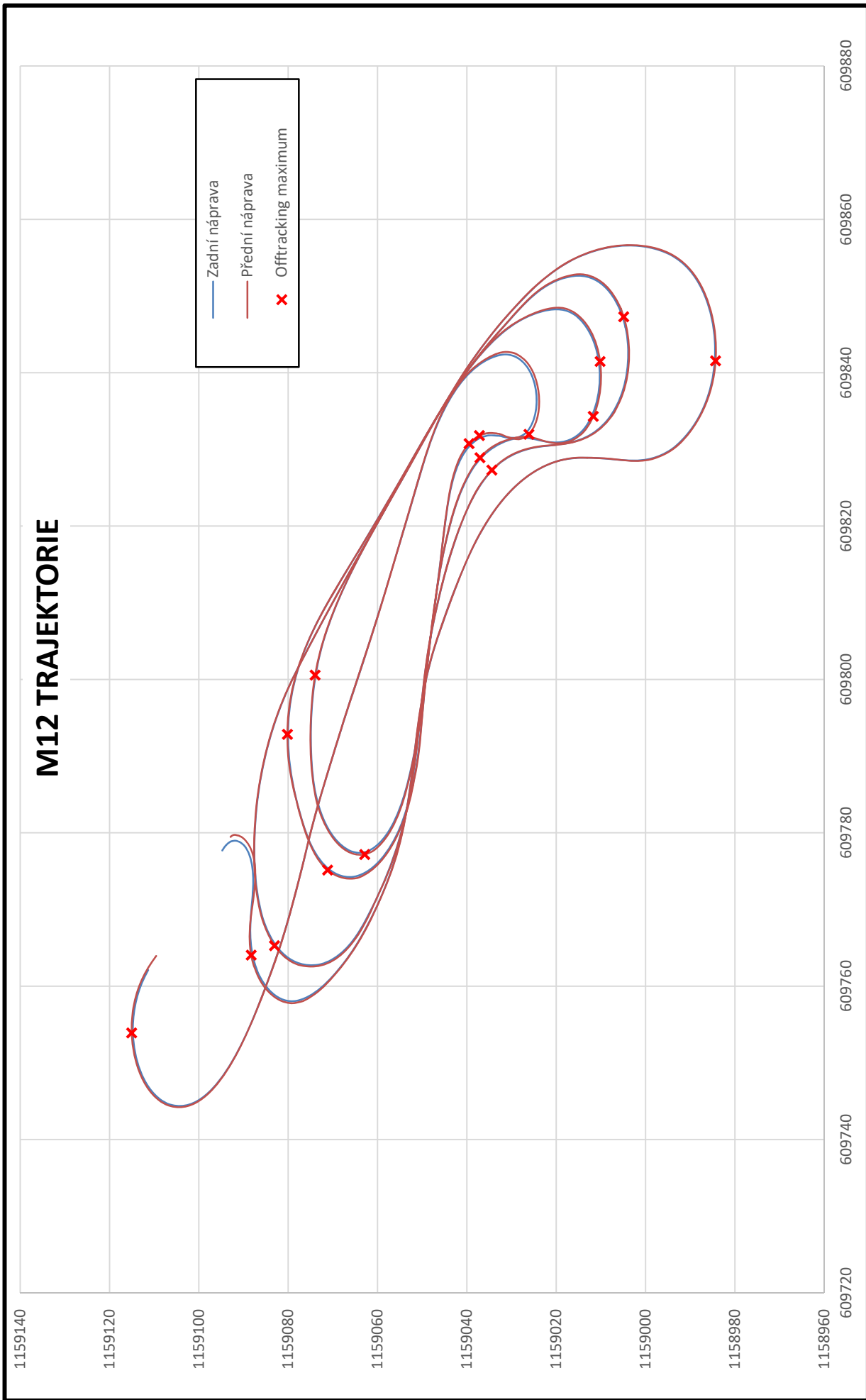


Graf 32 - Měření M11; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

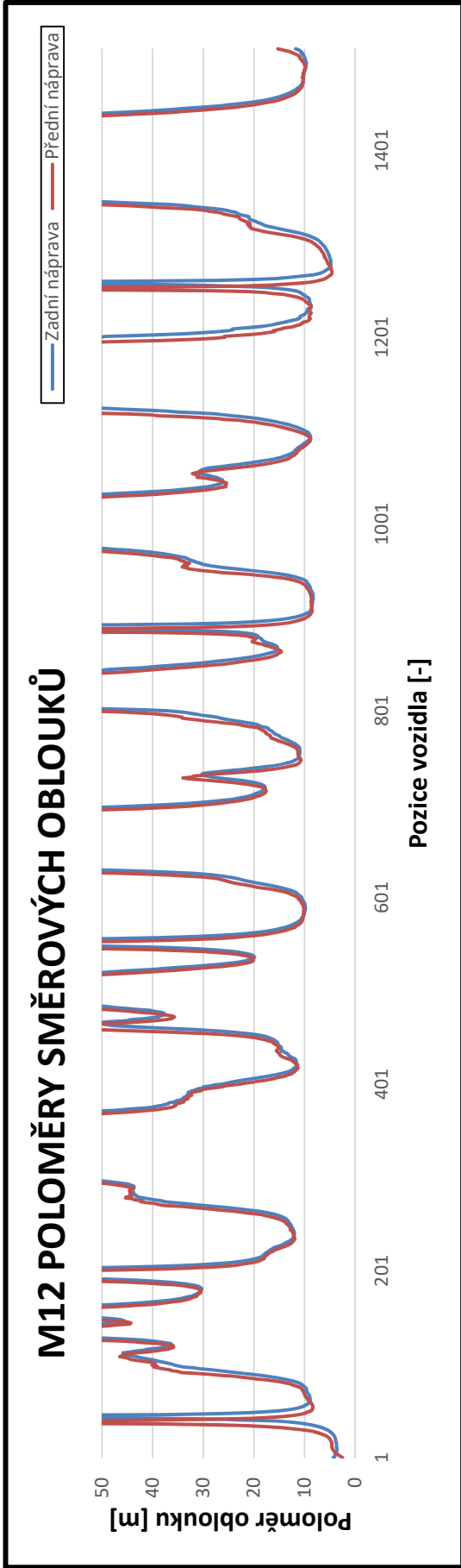
M11 RYCHLOST [km/h]



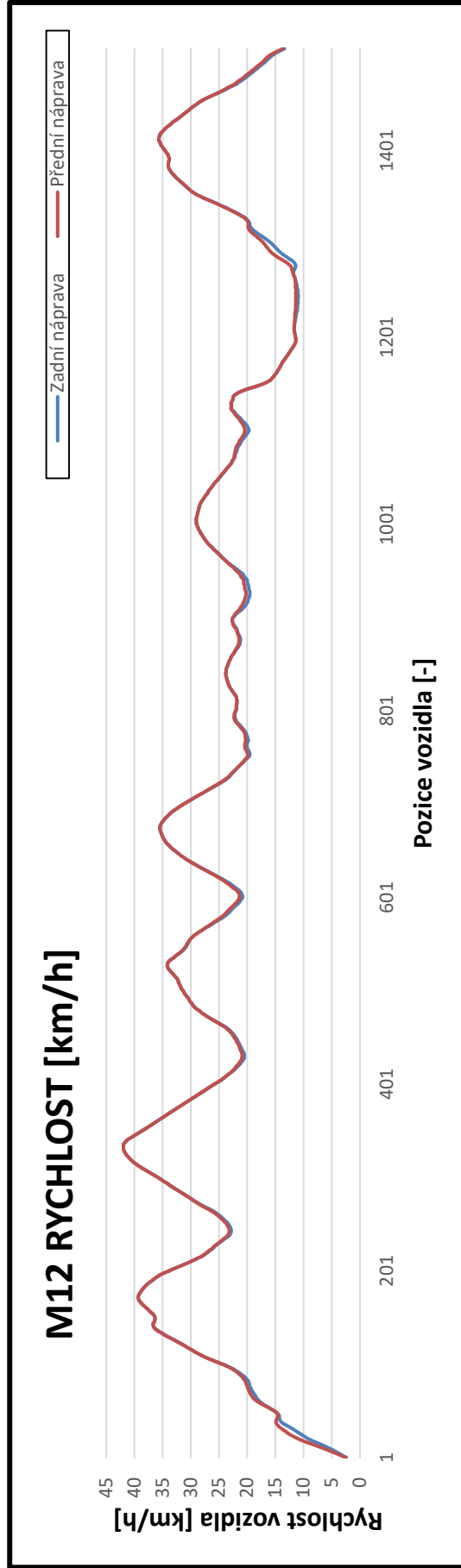
Graf 33 - Měření M11; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



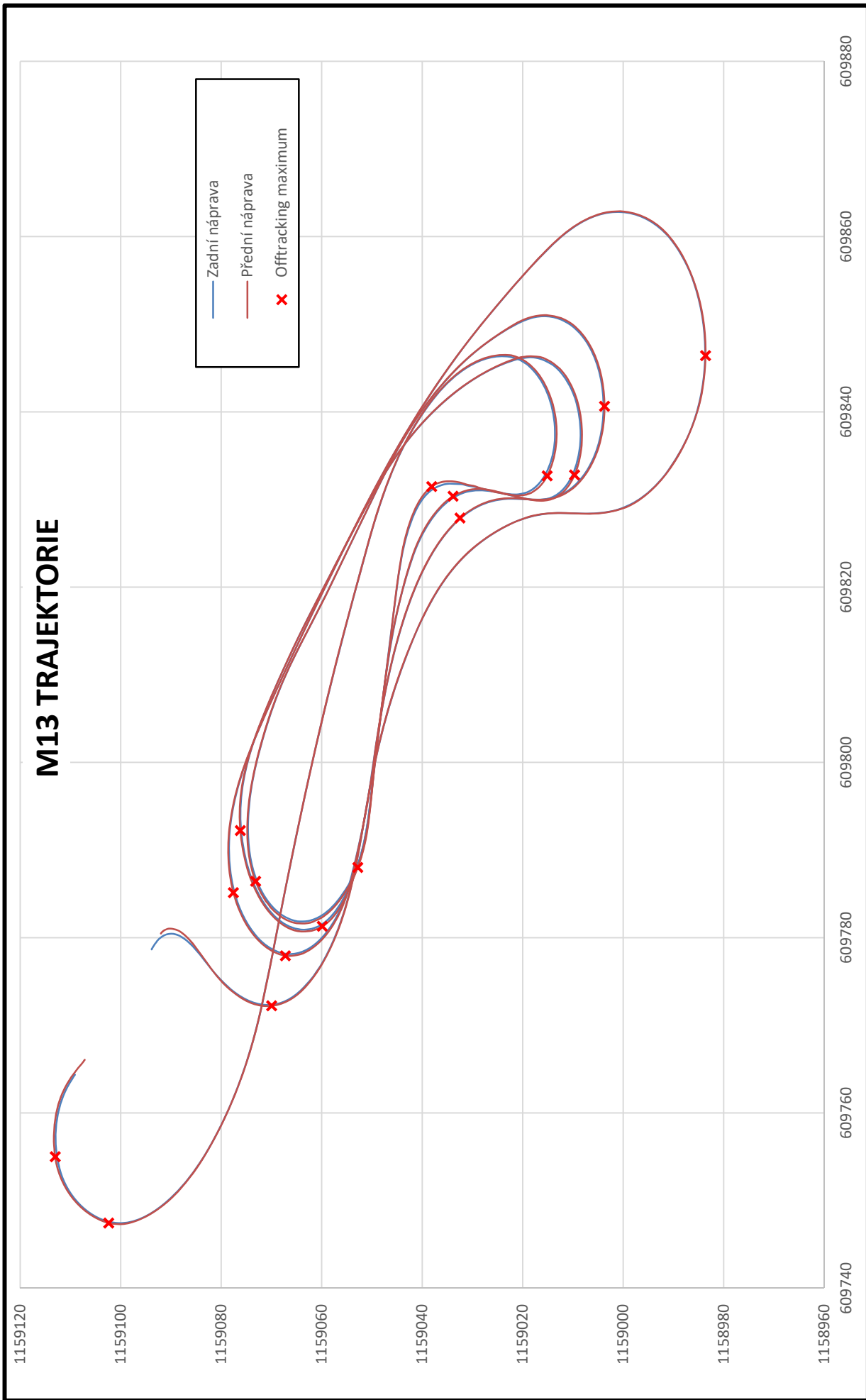
Graf 34 - Měření M12; trajektorie náprav a offtracking



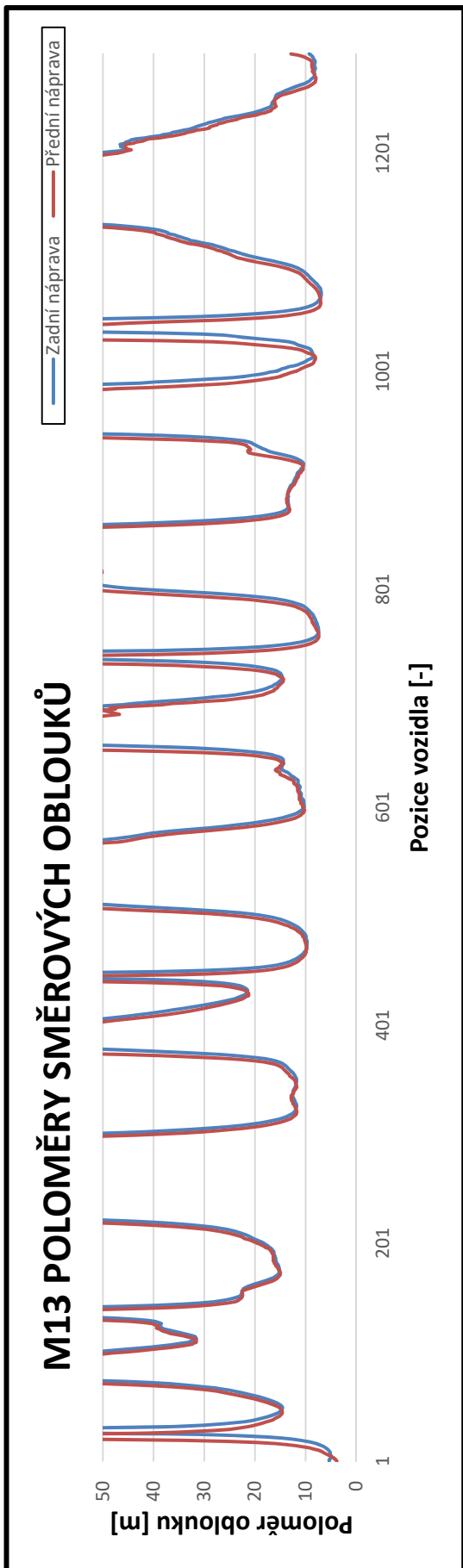
Graf 35 - Měření M12; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu



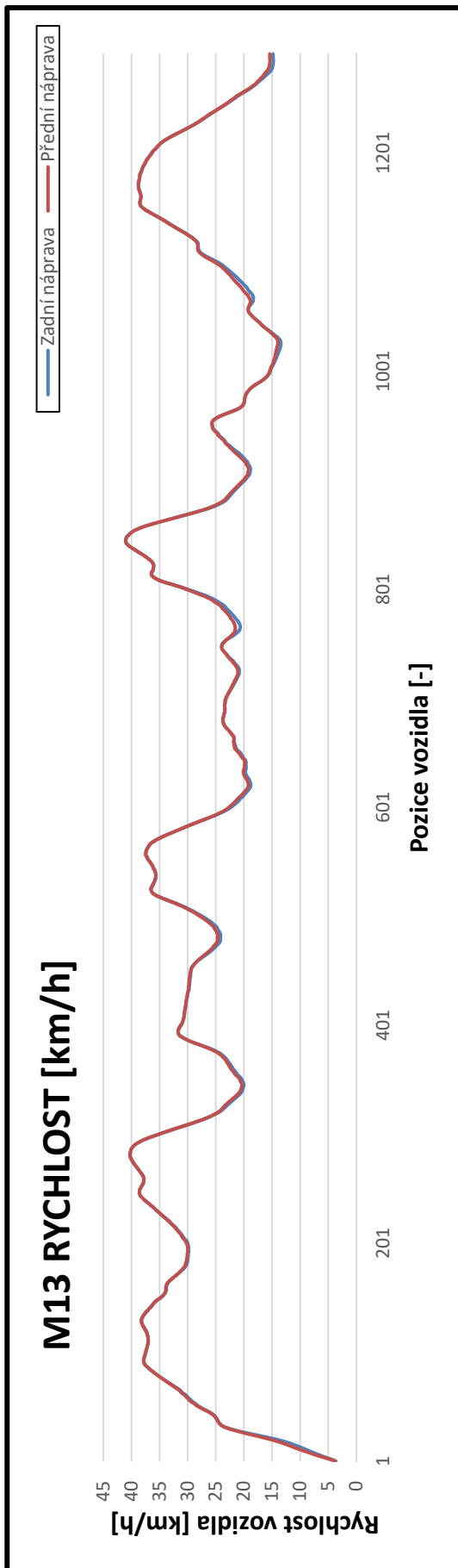
Graf 36 - Měření M12; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



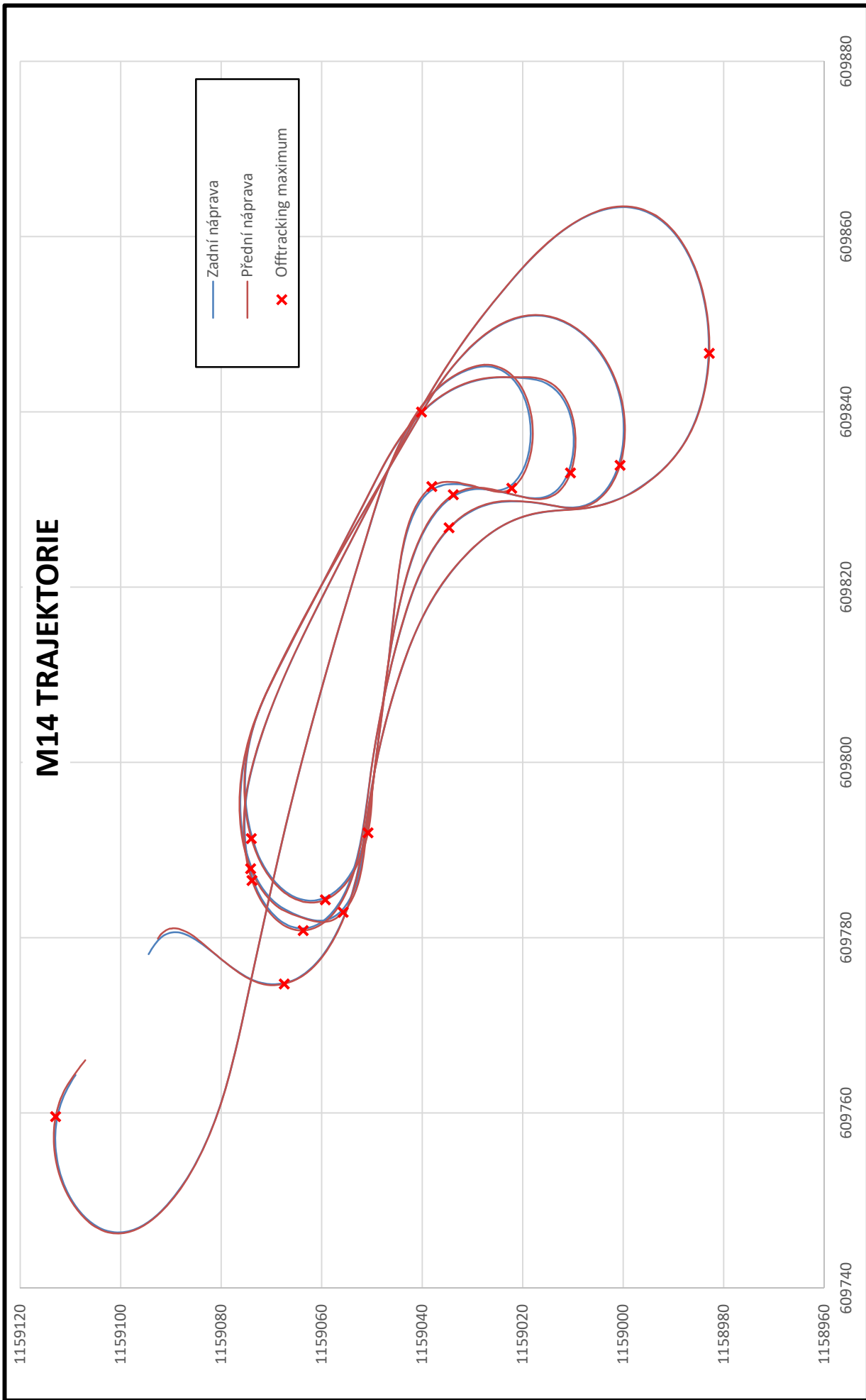
Graf 37 - Měření M13; trajektorie náprav a offtracking



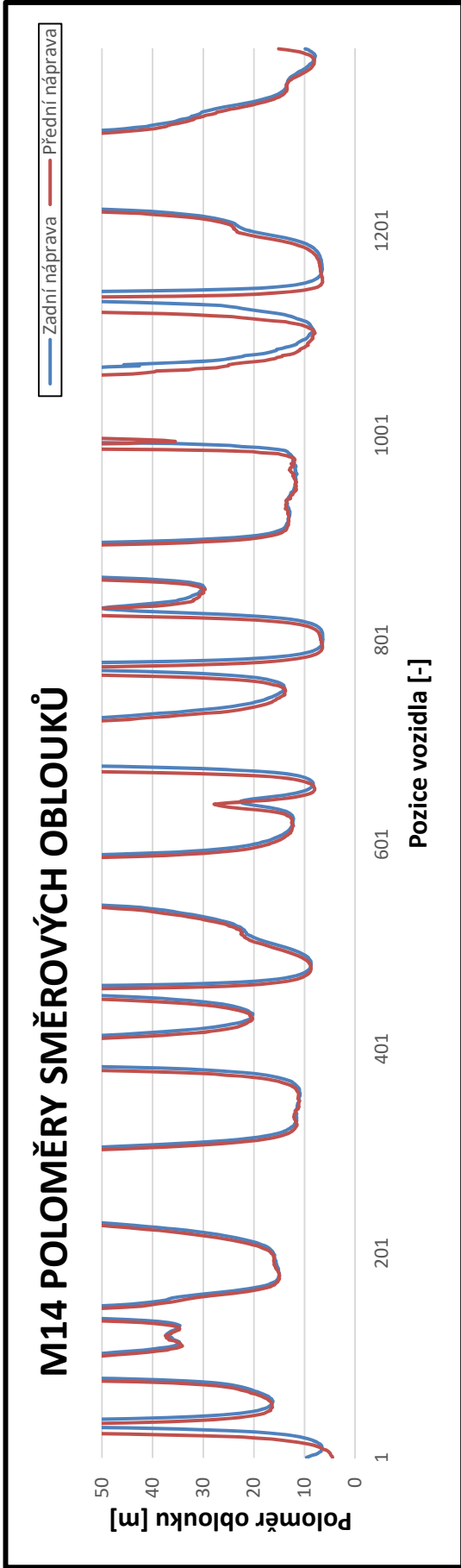
Graf 38 - Měření M13; vyhodnocení poloměru směrových oblouků pro přední a zadní nápravu



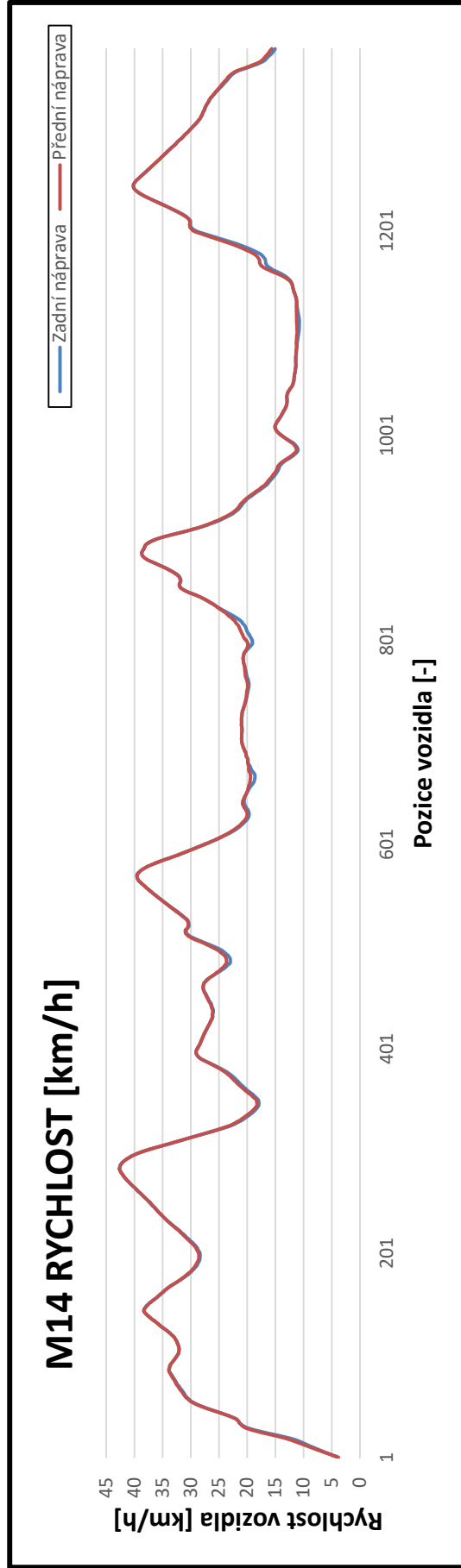
Graf 39 - Měření M13; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



Graf 40 - Měření M14; trajektorie náprav a offtracking

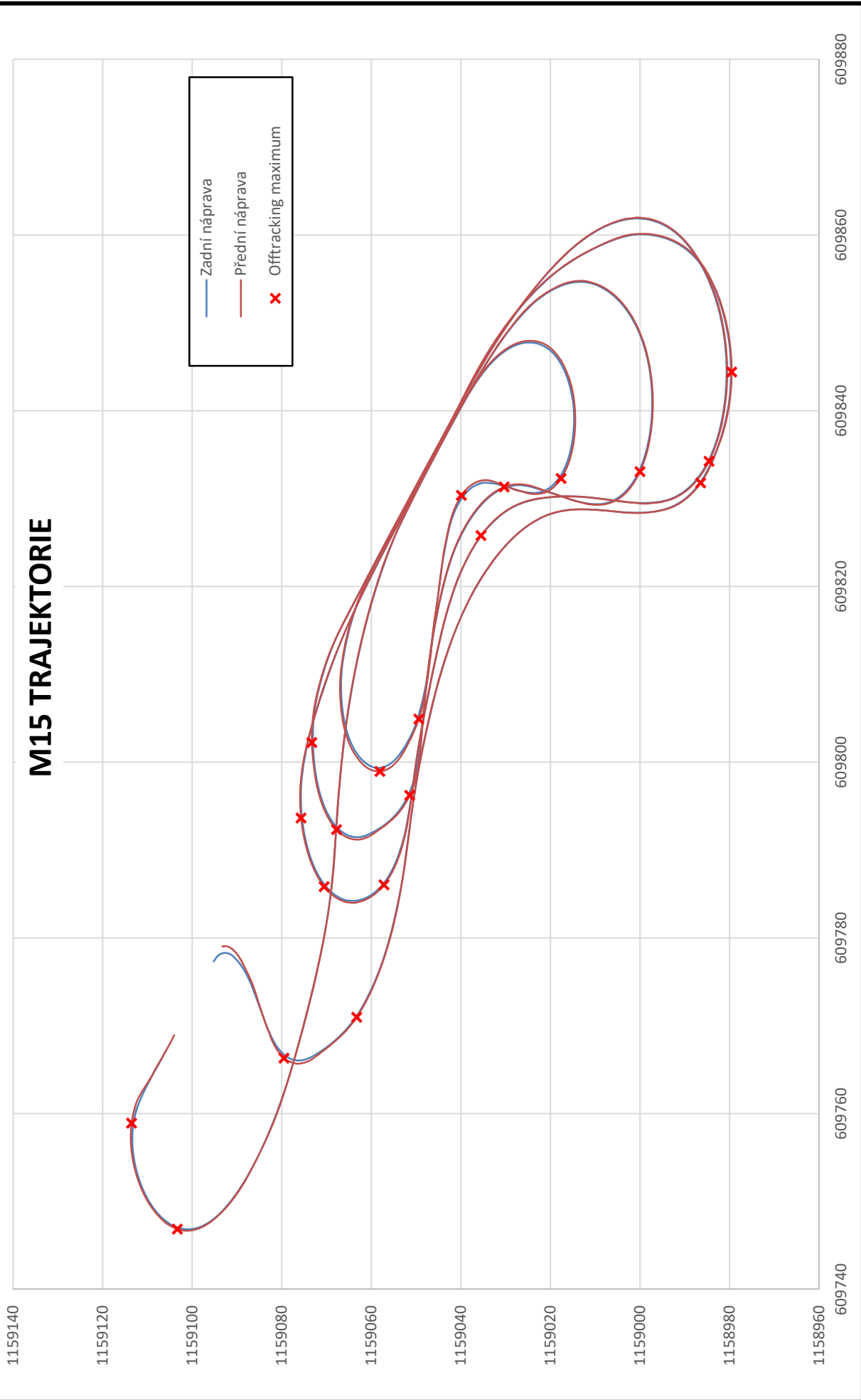


Graf 41 - Měření M14; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

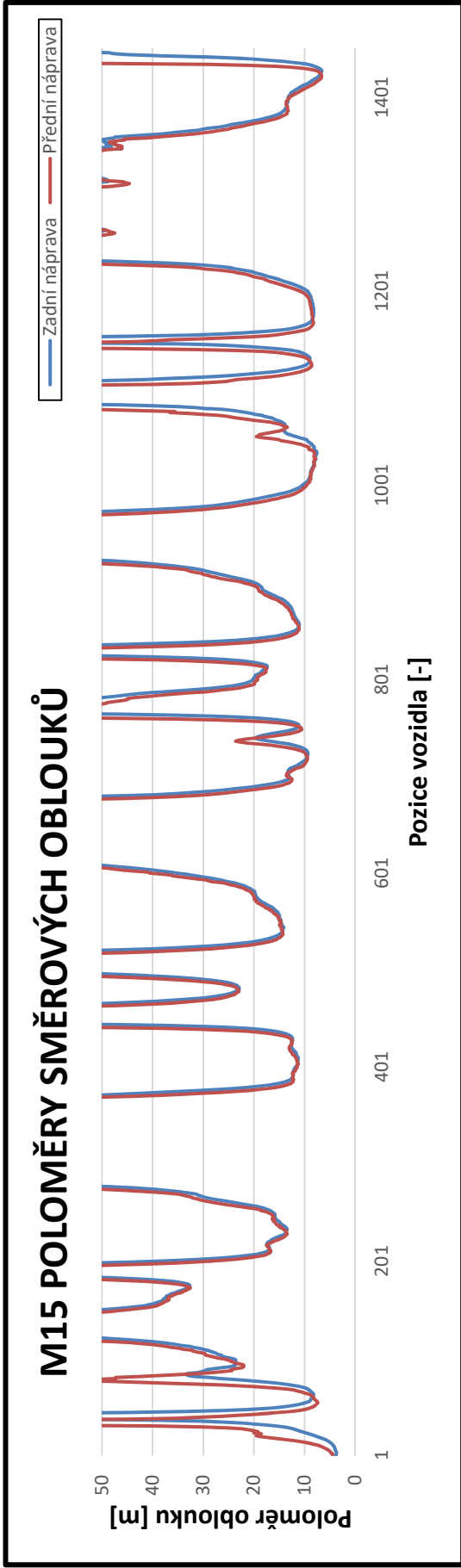


Graf 42 - Měření M14; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy

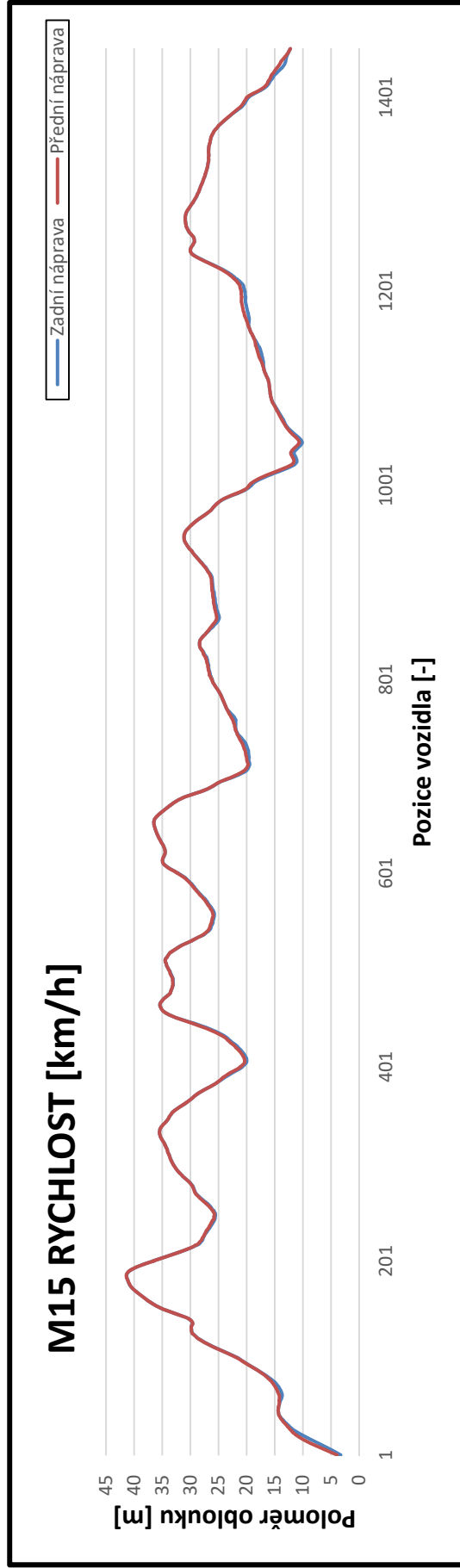
M15 TRAJEKTORIE



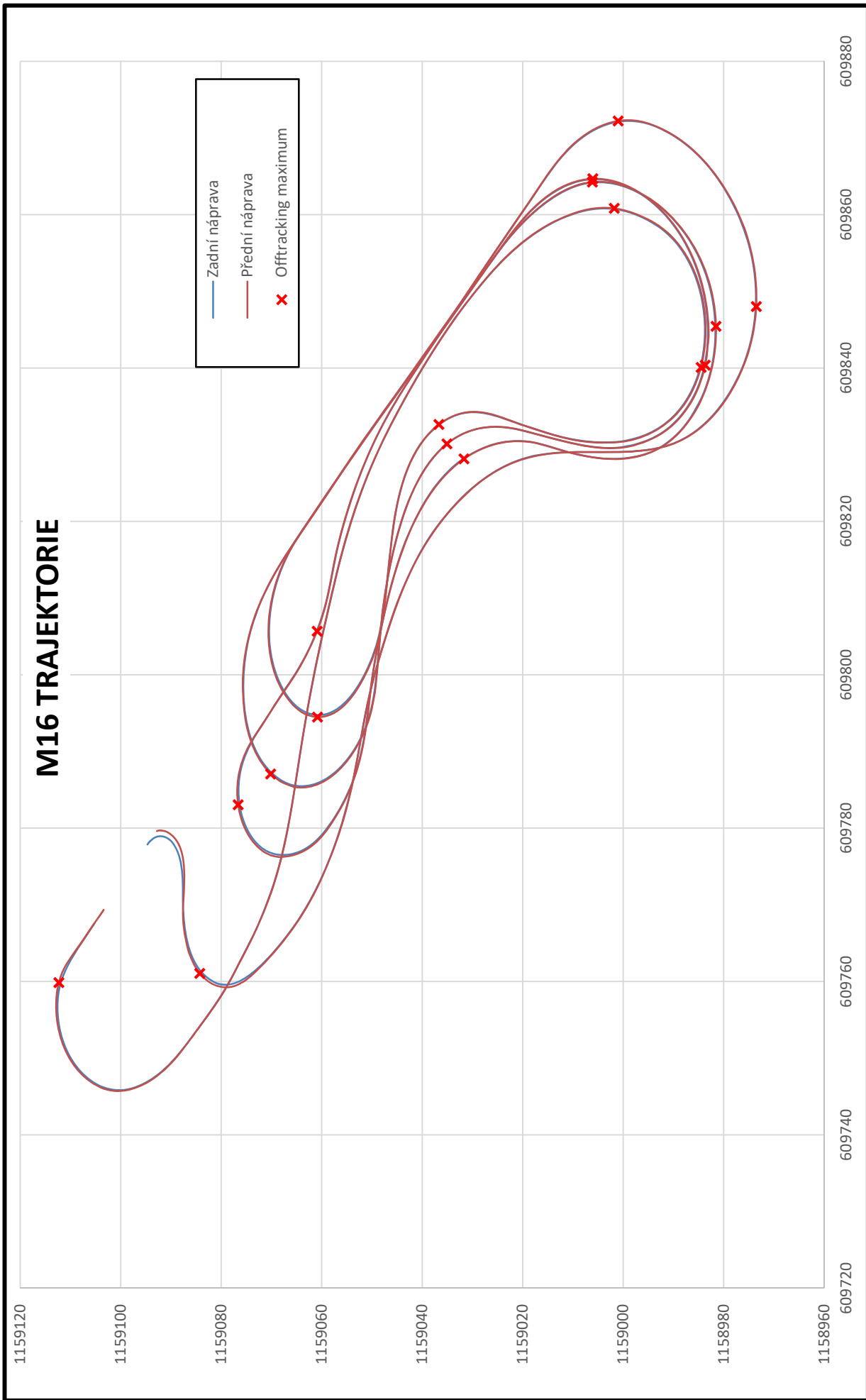
Graf 43 - Měření M15; trajektorie náprav a offtracking



Graf 44 - Měření M15; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

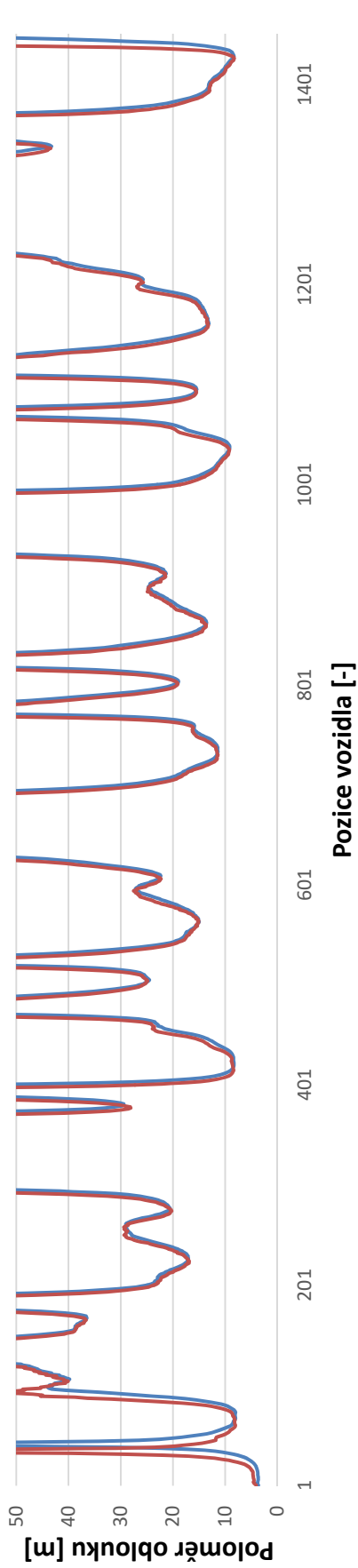


Graf 45 - Měření M15; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



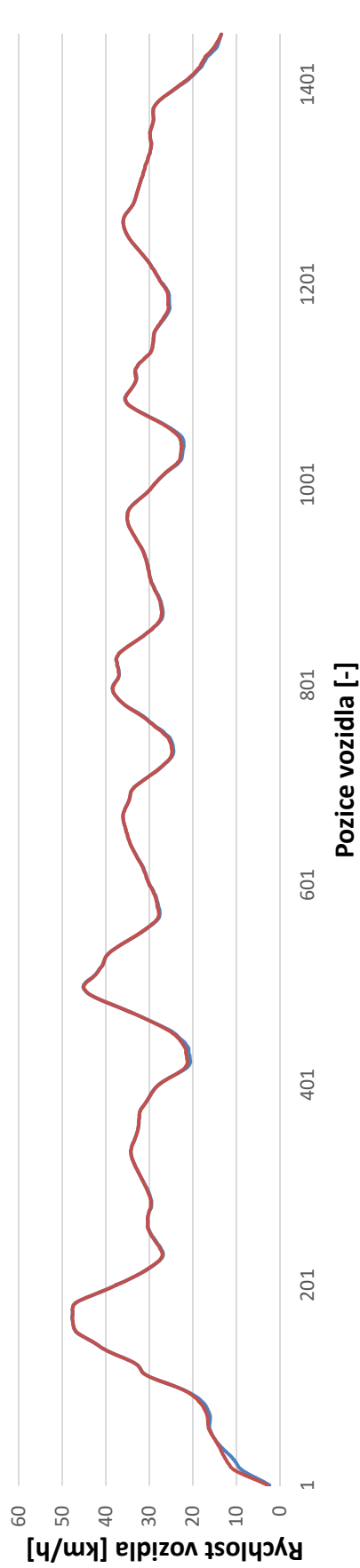
Graf 46 - Měření M16; trajektorie náprav a offtracking

M16 POLOMĚRY SMĚROVÝCH OBLOUKŮ

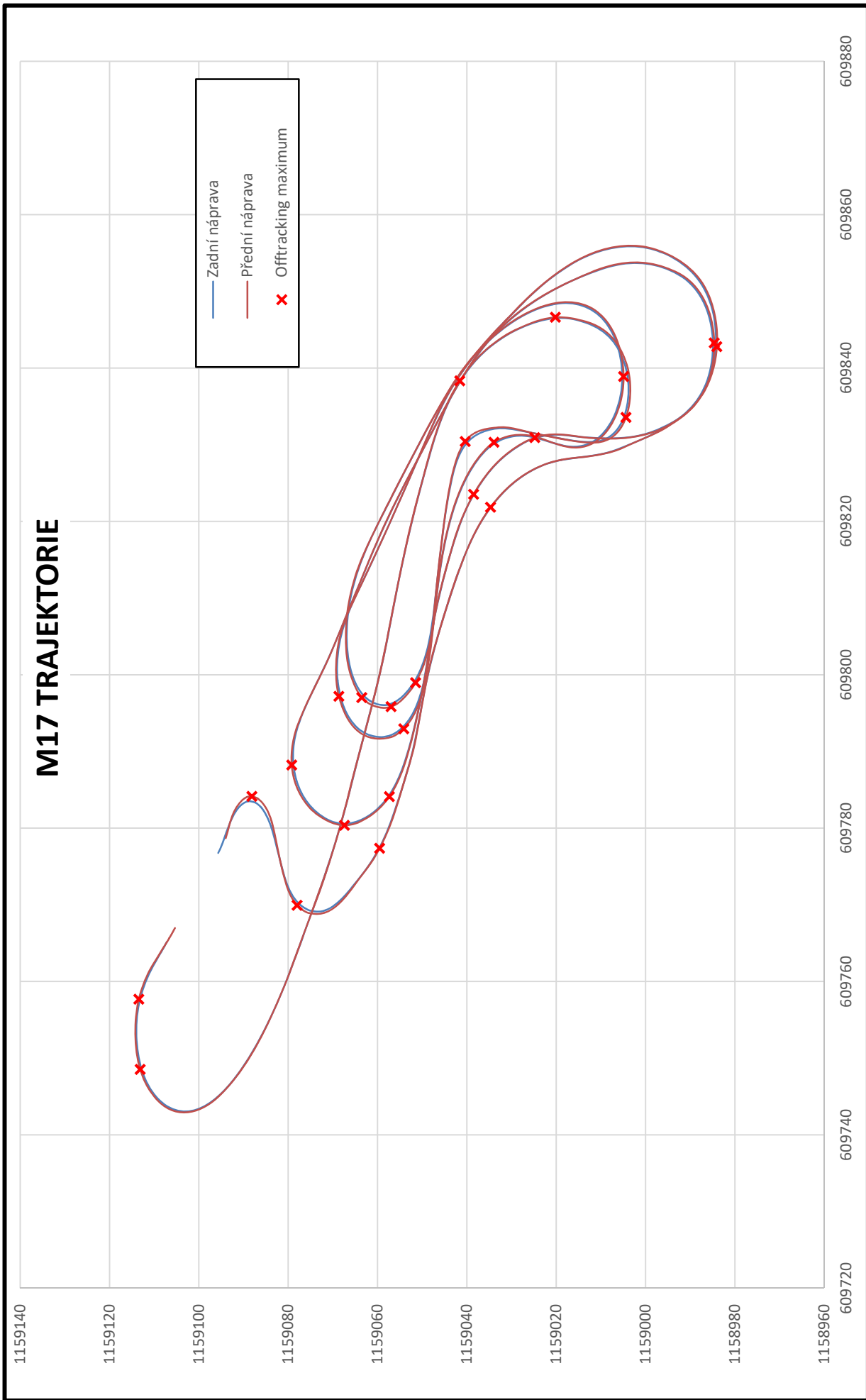


Graf 47 - Měření M16; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

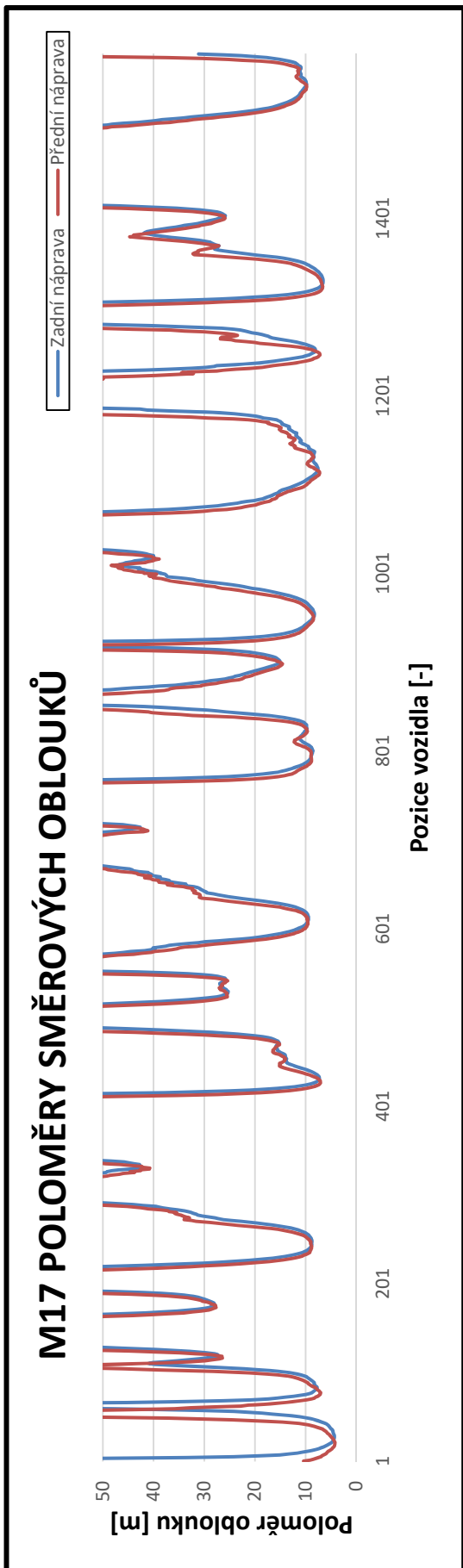
M16 RYCHLOST [km/h]



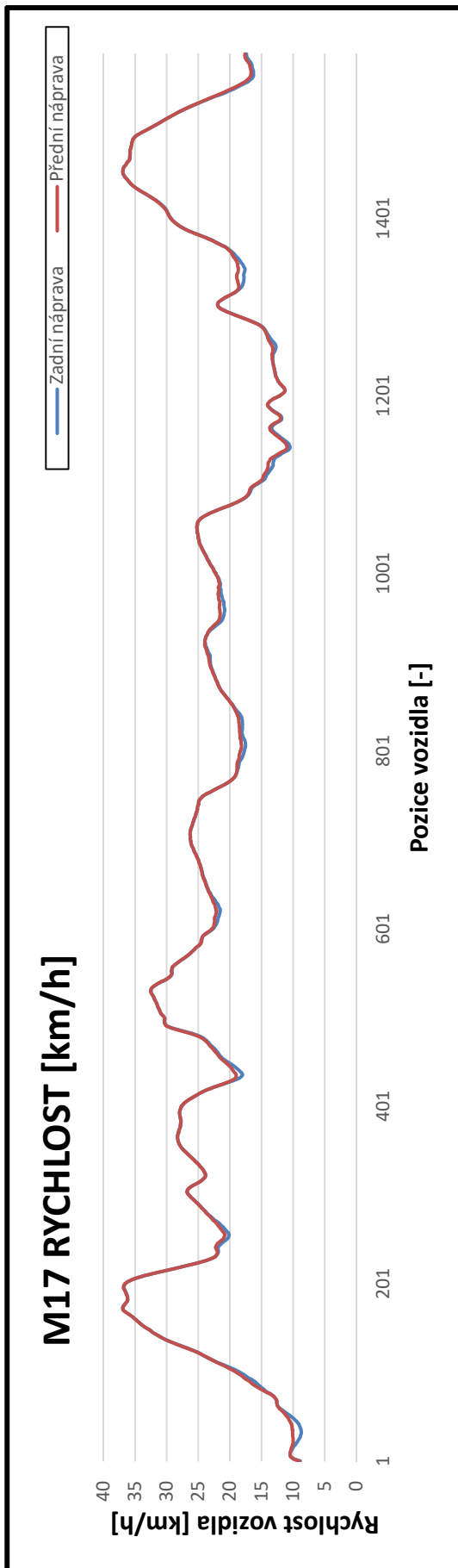
Graf 48 - Měření M16; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy



Graf 49 - Měření M17; trajektorie náprav a offtracking

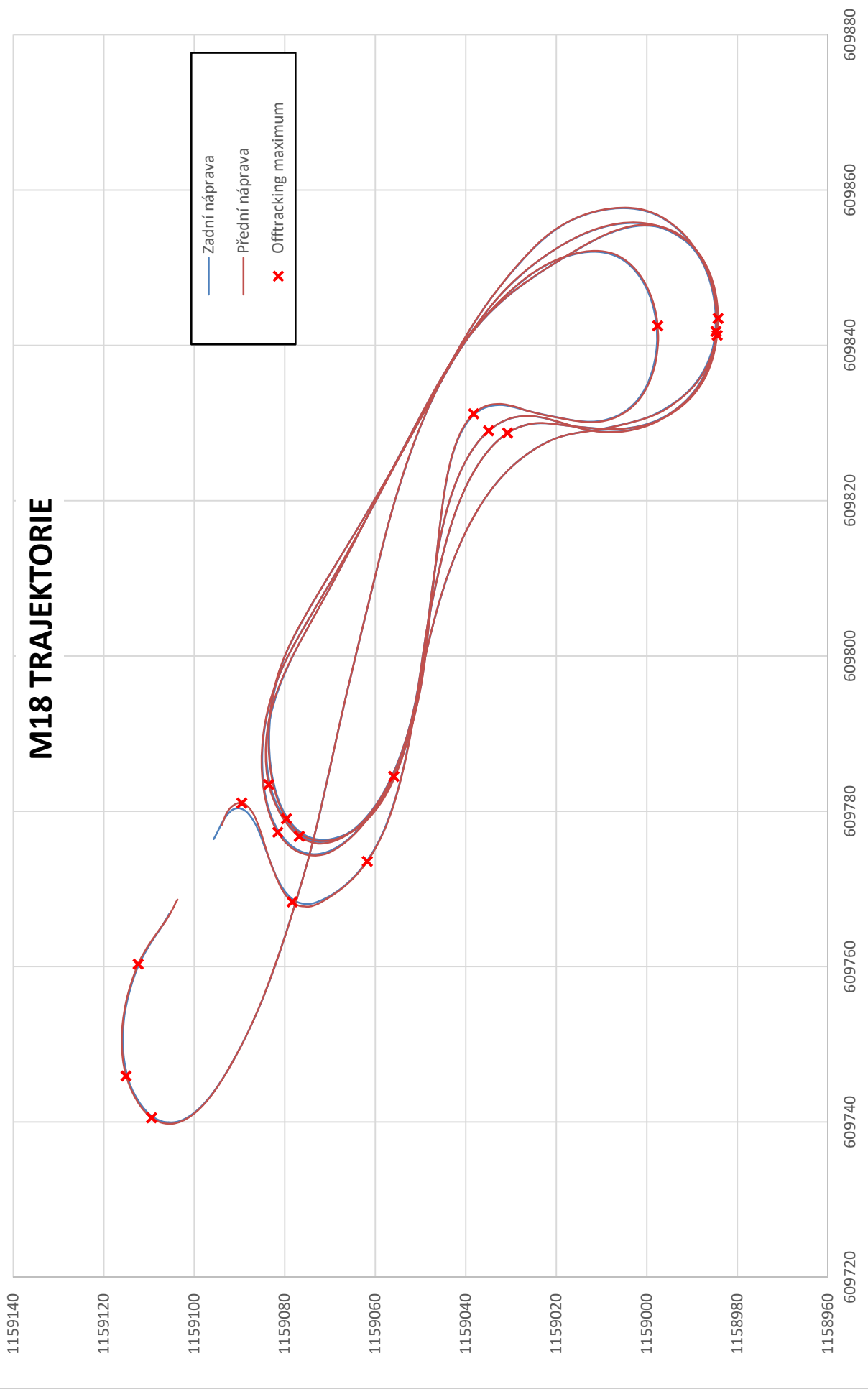


Graf 50 - Měření M17; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu

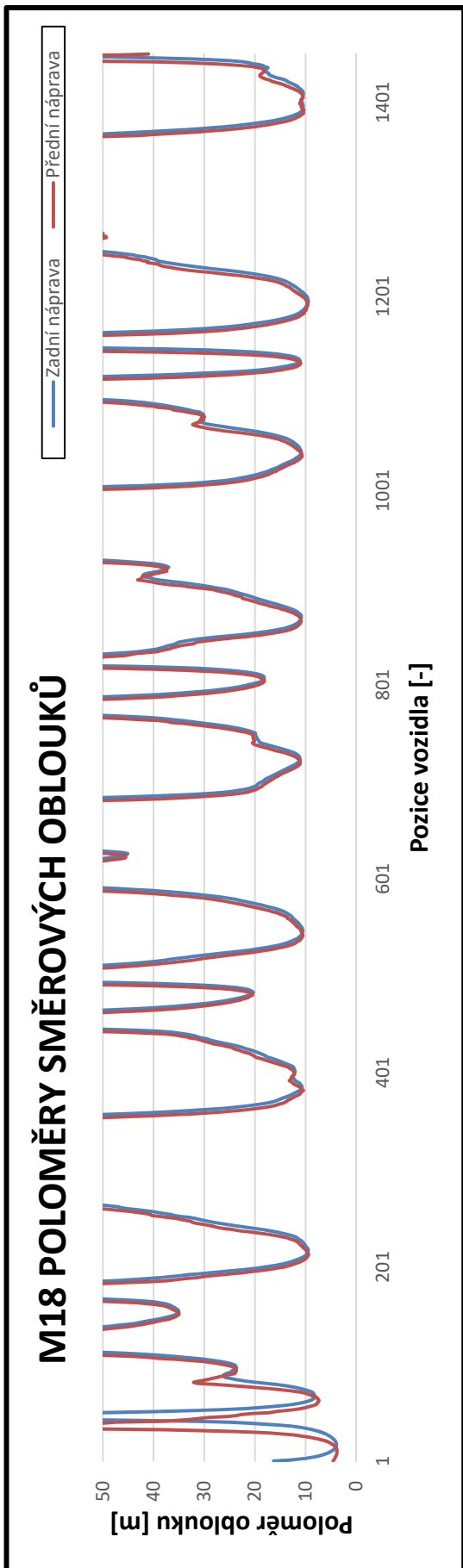


Graf 51 - Měření M17; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy

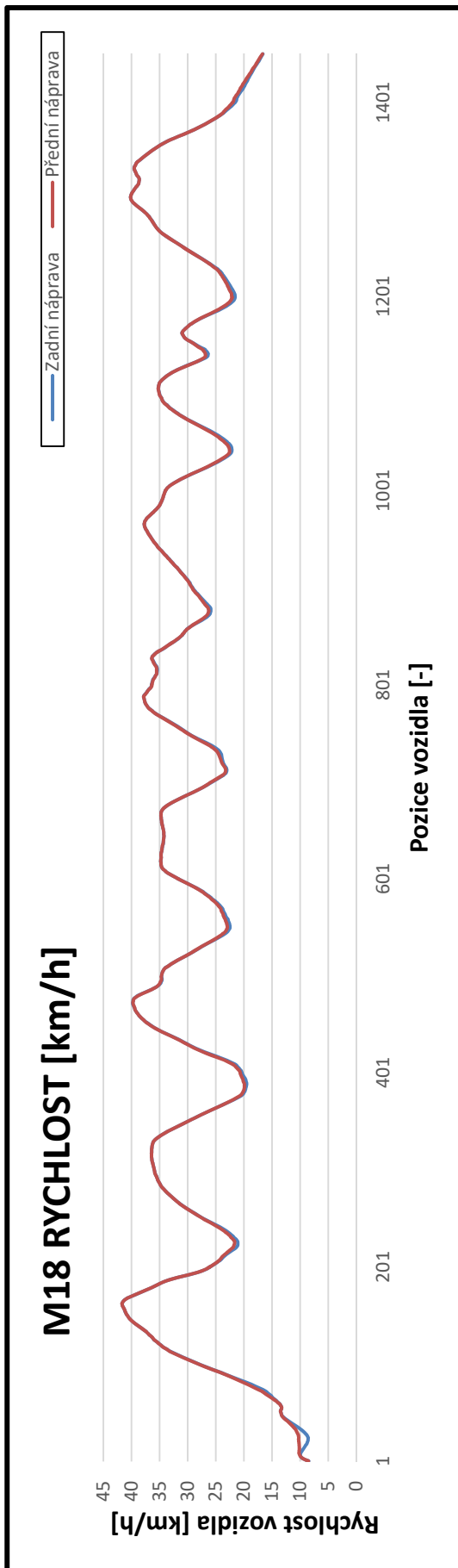
M18 TRAJEKTORIE



Graf 52 - Měření M18; trajektorie náprav a offtracking

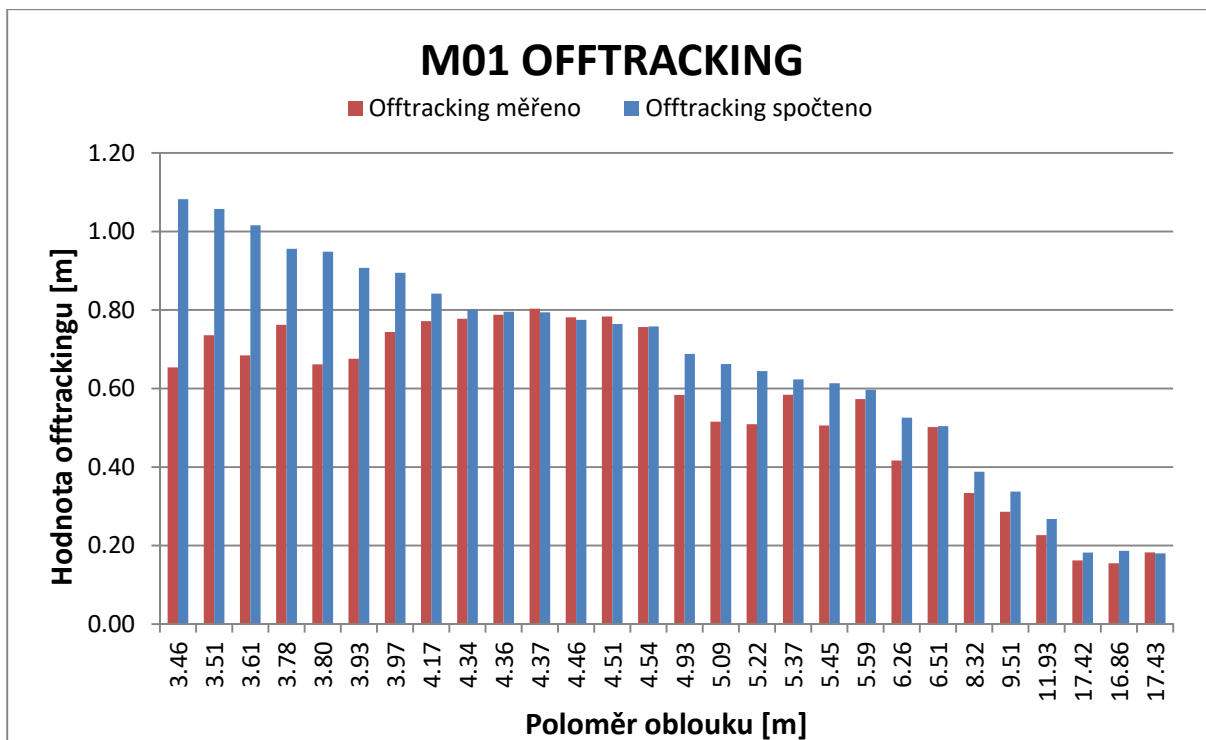


Graf 53 - Měření M18; vyhodnocení poloměrů směrových oblouků pro přední a zadní nápravu



Graf 54 - Měření M18; vyhodnocení rychlosti přední a zadní nápravy

Příloha B – Vyhodnocení offtrackingu

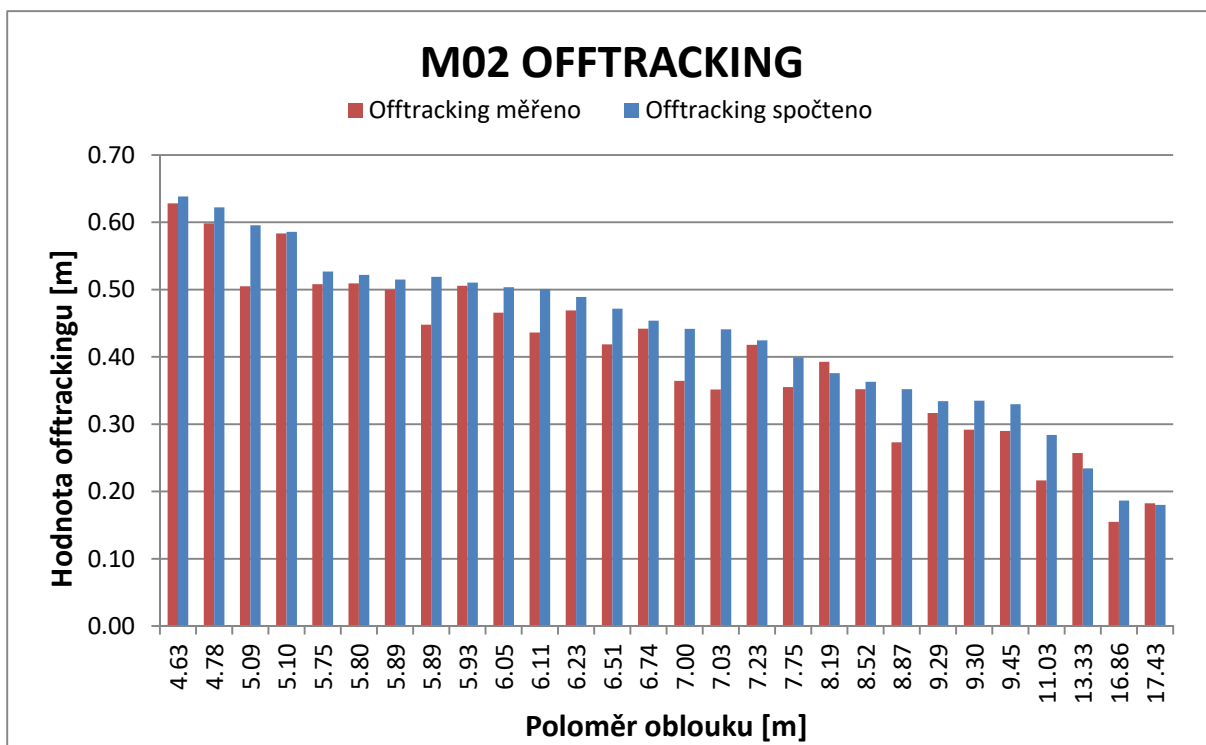


Graf 55 – M01, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
3.457	0.654	1.082	0.428	39.57
3.513	0.736	1.057	0.322	30.42
3.614	0.684	1.016	0.332	32.64
3.779	0.762	0.956	0.194	20.26
3.800	0.662	0.949	0.287	30.26
3.930	0.676	0.908	0.232	25.51
3.973	0.744	0.895	0.151	16.88
4.169	0.772	0.842	0.070	8.34
4.338	0.778	0.801	0.024	2.95
4.363	0.788	0.796	0.008	1.00
4.370	0.803	0.794	-0.009	-1.13
4.459	0.781	0.775	-0.006	-0.83
4.511	0.784	0.764	-0.020	-2.55
4.540	0.756	0.758	0.002	0.27
4.929	0.584	0.688	0.105	15.20
5.095	0.515	0.662	0.147	22.17
5.220	0.509	0.644	0.135	20.98
5.374	0.584	0.623	0.039	6.29
5.449	0.506	0.614	0.108	17.58
5.585	0.573	0.597	0.024	3.97
6.263	0.417	0.526	0.109	20.76
6.512	0.502	0.504	0.002	0.45

8.323	0.334	0.388	0.054	14.01
9.514	0.286	0.338	0.052	15.29
11.927	0.227	0.268	0.041	15.25
17.418	0.162	0.182	0.020	10.95
16.862	0.155	0.186	0.031	16.89
17.425	0.182	0.180	-0.002	-1.24

Tabulka 1 - M01, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

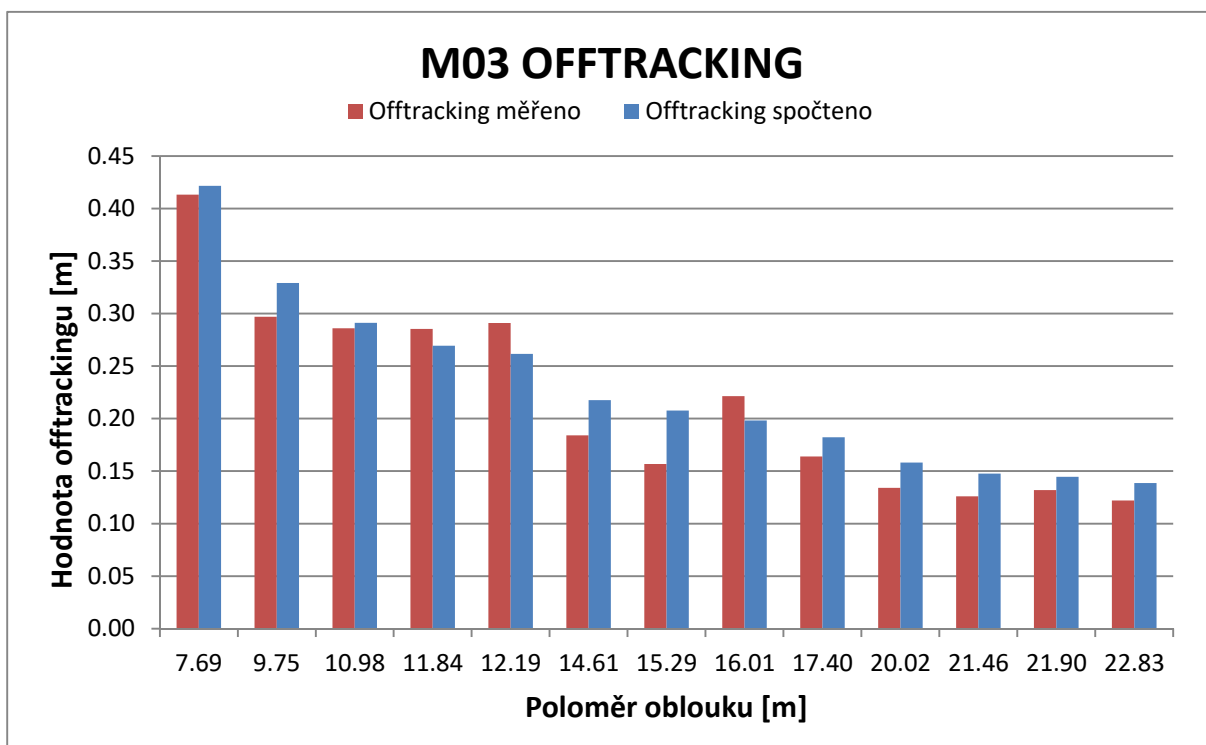


Graf 56 - M02, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
4.633	0.628	0.638	-0.010	-1.60
4.783	0.598	0.622	-0.024	-3.83
5.092	0.505	0.595	-0.090	-15.20
5.096	0.583	0.586	-0.002	-0.42
5.746	0.508	0.527	-0.019	-3.55
5.798	0.509	0.522	-0.013	-2.40
5.887	0.500	0.515	-0.015	-2.91
5.891	0.448	0.519	-0.071	-13.68
5.932	0.506	0.510	-0.005	-0.93
6.054	0.466	0.503	-0.038	-7.49
6.114	0.436	0.501	-0.065	-12.89
6.228	0.469	0.489	-0.020	-4.10
6.508	0.419	0.472	-0.053	-11.21
6.737	0.442	0.454	-0.012	-2.63
7.000	0.364	0.442	-0.077	-17.53

7.025	0.352	0.441	-0.089	-20.25
7.227	0.418	0.425	-0.007	-1.58
7.745	0.355	0.399	-0.044	-11.07
8.192	0.393	0.376	0.017	4.54
8.524	0.352	0.363	-0.011	-3.01
8.869	0.273	0.352	-0.079	-22.42
9.293	0.317	0.334	-0.018	-5.27
9.297	0.292	0.335	-0.043	-12.87
9.446	0.290	0.330	-0.040	-12.08
11.035	0.216	0.284	-0.068	-23.79
13.333	0.257	0.234	0.023	9.81
16.862	0.155	0.186	-0.031	-16.89
17.425	0.182	0.180	0.002	1.24

Tabulka 2 - M02, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

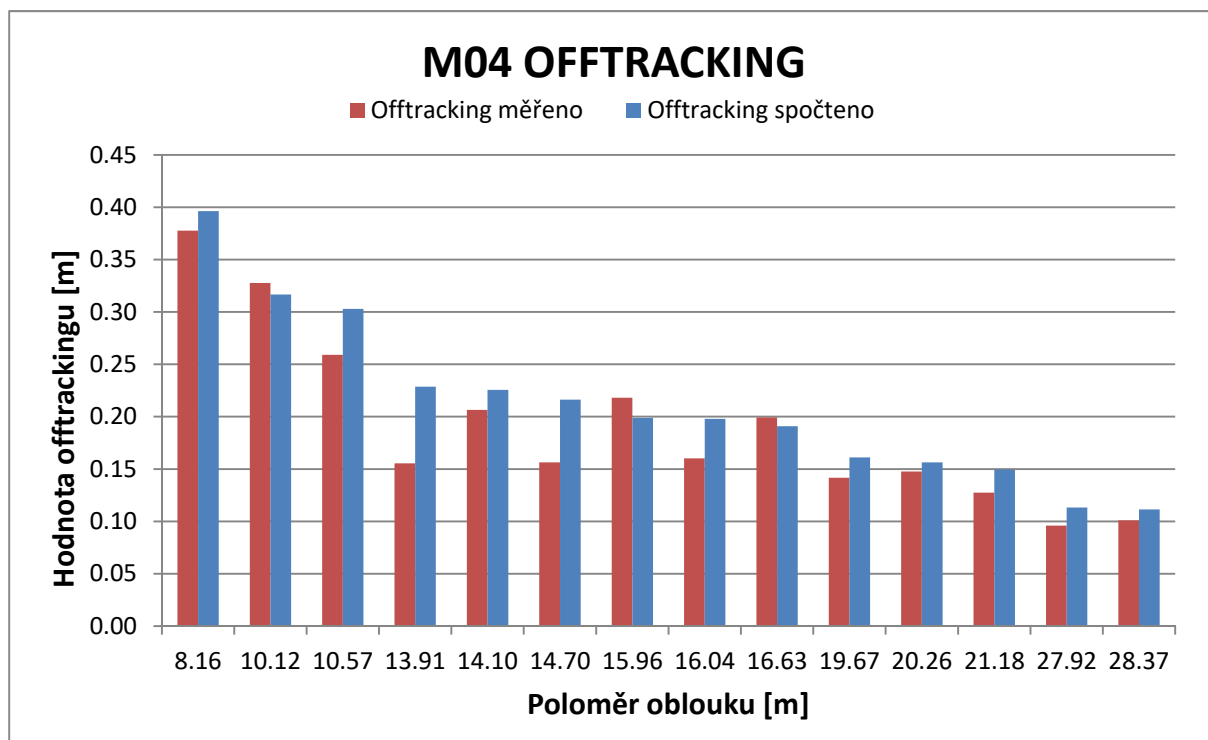


Graf 57 - M03, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
7.693	0.413	0.422	-0.008	-1.99
9.751	0.297	0.329	-0.032	-9.76
10.977	0.286	0.291	-0.005	-1.81
11.843	0.285	0.269	0.016	5.92
12.191	0.291	0.262	0.030	11.28
14.611	0.184	0.218	-0.034	-15.43
15.290	0.157	0.208	-0.051	-24.51
16.011	0.221	0.198	0.023	11.64

17.398	0.164	0.182	-0.018	-10.04
20.022	0.134	0.158	-0.024	-15.23
21.455	0.126	0.148	-0.022	-14.61
21.903	0.132	0.145	-0.013	-8.67
22.827	0.122	0.139	-0.017	-12.00

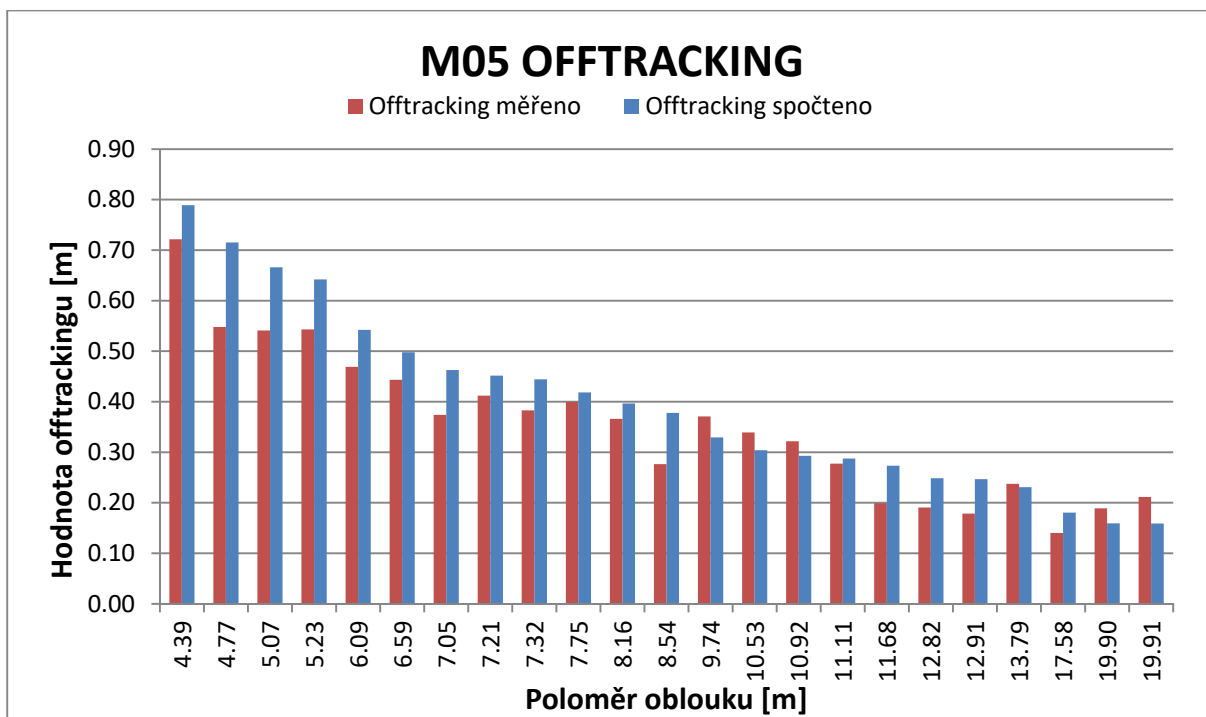
Tabulka 3 - M03, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 58 - M04, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
8.159	0.378	0.396	-0.019	-4.69
10.121	0.328	0.317	0.011	3.46
10.568	0.259	0.303	-0.044	-14.45
13.910	0.155	0.229	-0.073	-32.07
14.100	0.207	0.226	-0.019	-8.44
14.696	0.156	0.216	-0.060	-27.69
15.963	0.218	0.199	0.019	9.68
16.040	0.160	0.198	-0.038	-19.06
16.625	0.199	0.191	0.008	4.39
19.675	0.142	0.161	-0.019	-12.01
20.260	0.148	0.156	-0.009	-5.60
21.179	0.128	0.150	-0.022	-14.72
27.923	0.096	0.113	-0.017	-15.28
28.373	0.101	0.111	-0.010	-9.35

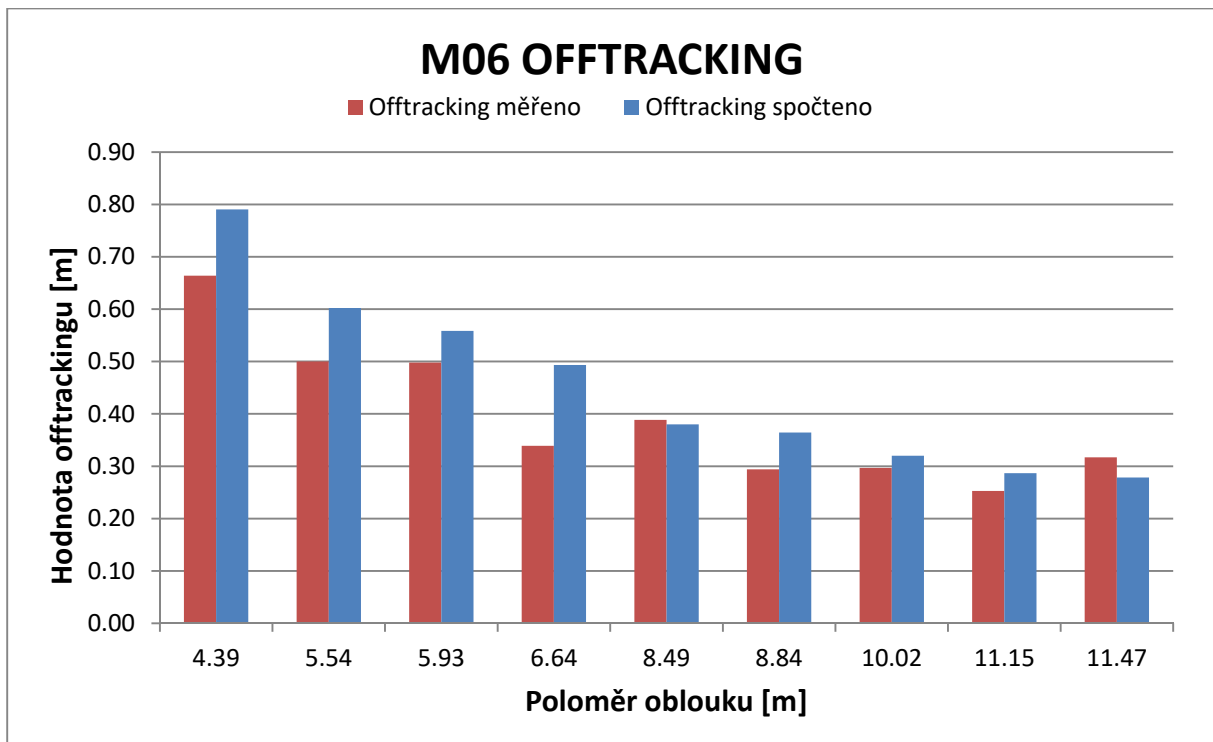
Tabulka 4 - M04, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 59 - M05, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
4.393	0.722	0.789	-0.068	-8.56
4.769	0.548	0.715	-0.167	-23.37
5.069	0.541	0.666	-0.125	-18.77
5.235	0.543	0.642	-0.099	-15.38
6.091	0.469	0.542	-0.073	-13.49
6.585	0.443	0.498	-0.055	-10.96
7.051	0.374	0.463	-0.089	-19.14
7.210	0.412	0.452	-0.040	-8.77
7.322	0.383	0.444	-0.061	-13.83
7.752	0.400	0.418	-0.019	-4.44
8.158	0.366	0.396	-0.030	-7.64
8.536	0.277	0.378	-0.101	-26.82
9.743	0.371	0.329	0.042	12.63
10.527	0.339	0.304	0.035	11.58
10.922	0.322	0.293	0.029	9.90
11.114	0.277	0.288	-0.010	-3.57
11.680	0.199	0.273	-0.074	-27.09
12.824	0.191	0.248	-0.058	-23.24
12.908	0.179	0.247	-0.068	-27.65
13.790	0.237	0.231	0.007	2.91
17.580	0.140	0.180	-0.040	-22.32
19.899	0.189	0.159	0.030	18.79
19.915	0.212	0.159	0.053	33.03

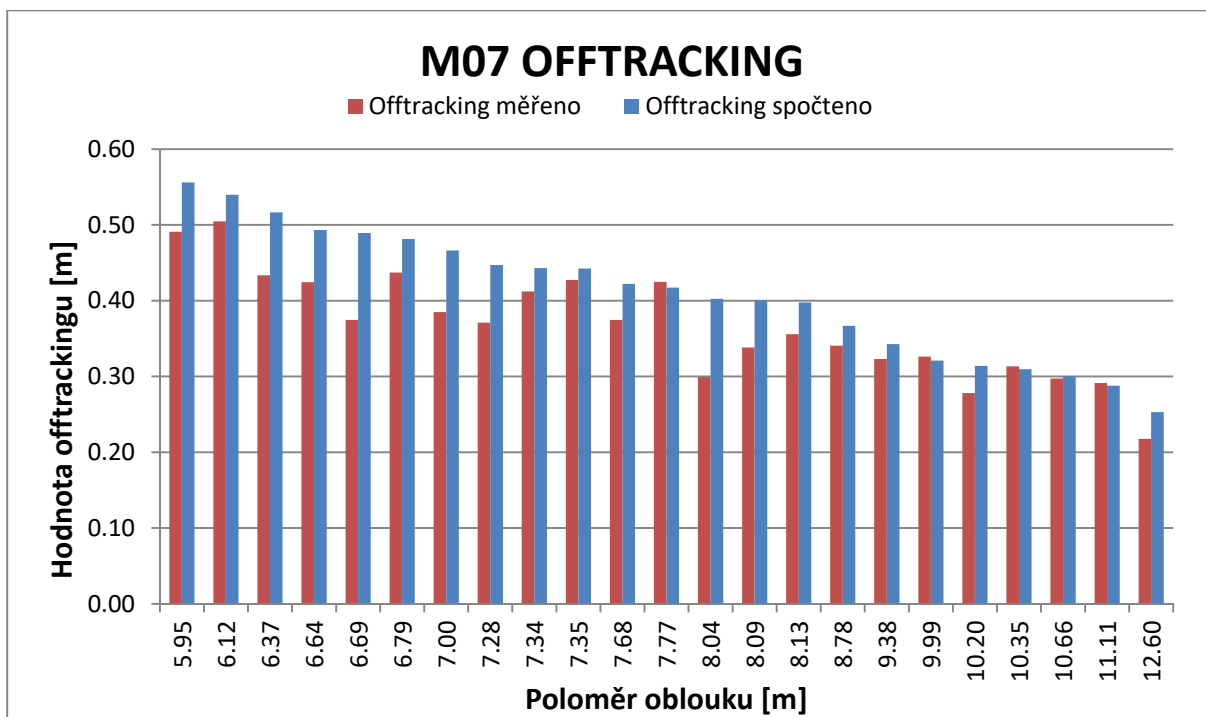
Tabulka 5 - M05, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 60 - M06, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
4.385964	0.664	0.791	-0.127	-16.01
5.540549	0.500	0.602	-0.102	-16.96
5.929674	0.498	0.558	-0.061	-10.84
6.642187	0.339	0.493	-0.154	-31.29
8.490890	0.389	0.380	0.008	2.22
8.839235	0.294	0.364	-0.070	-19.29
10.018368	0.297	0.320	-0.023	-7.24
11.153268	0.253	0.287	-0.034	-11.78
11.474191	0.317	0.278	0.039	13.86

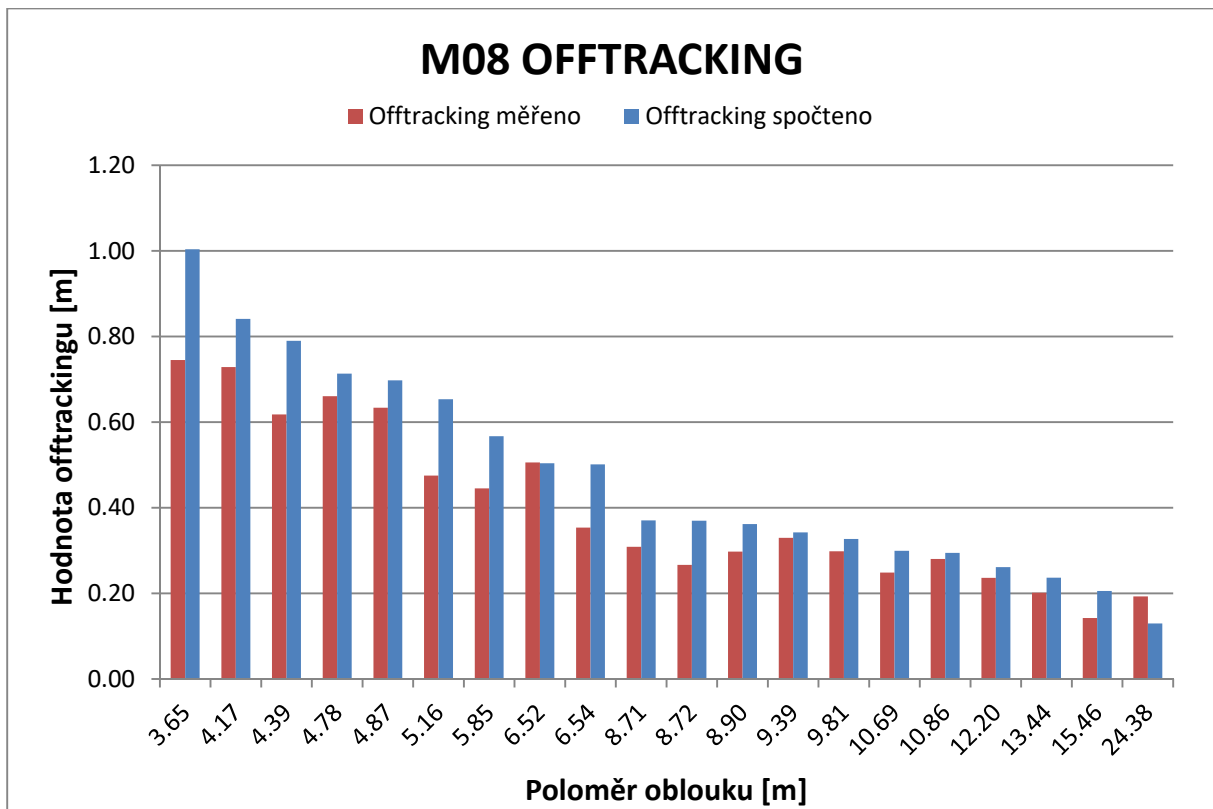
Tabulka 6 - M06, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 61 - M07, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
5.952	0.491	0.556	-0.065	-11.69
6.116	0.505	0.540	-0.035	-6.51
6.366	0.433	0.517	-0.083	-16.10
6.644	0.425	0.493	-0.069	-13.92
6.693	0.375	0.489	-0.115	-23.45
6.793	0.437	0.482	-0.045	-9.25
7.001	0.385	0.466	-0.081	-17.44
7.283	0.371	0.447	-0.076	-16.97
7.343	0.412	0.443	-0.031	-6.97
7.353	0.427	0.442	-0.015	-3.38
7.684	0.375	0.422	-0.048	-11.29
7.770	0.425	0.417	0.008	1.82
8.041	0.299	0.402	-0.103	-25.63
8.086	0.338	0.400	-0.062	-15.43
8.133	0.356	0.398	-0.042	-10.53
8.783	0.340	0.367	-0.026	-7.19
9.380	0.323	0.343	-0.020	-5.72
9.989	0.326	0.321	0.005	1.62
10.205	0.278	0.314	-0.036	-11.44
10.347	0.313	0.310	0.004	1.25
10.657	0.297	0.300	-0.003	-1.03
11.110	0.291	0.288	0.004	1.26
12.603	0.218	0.253	-0.035	-13.93

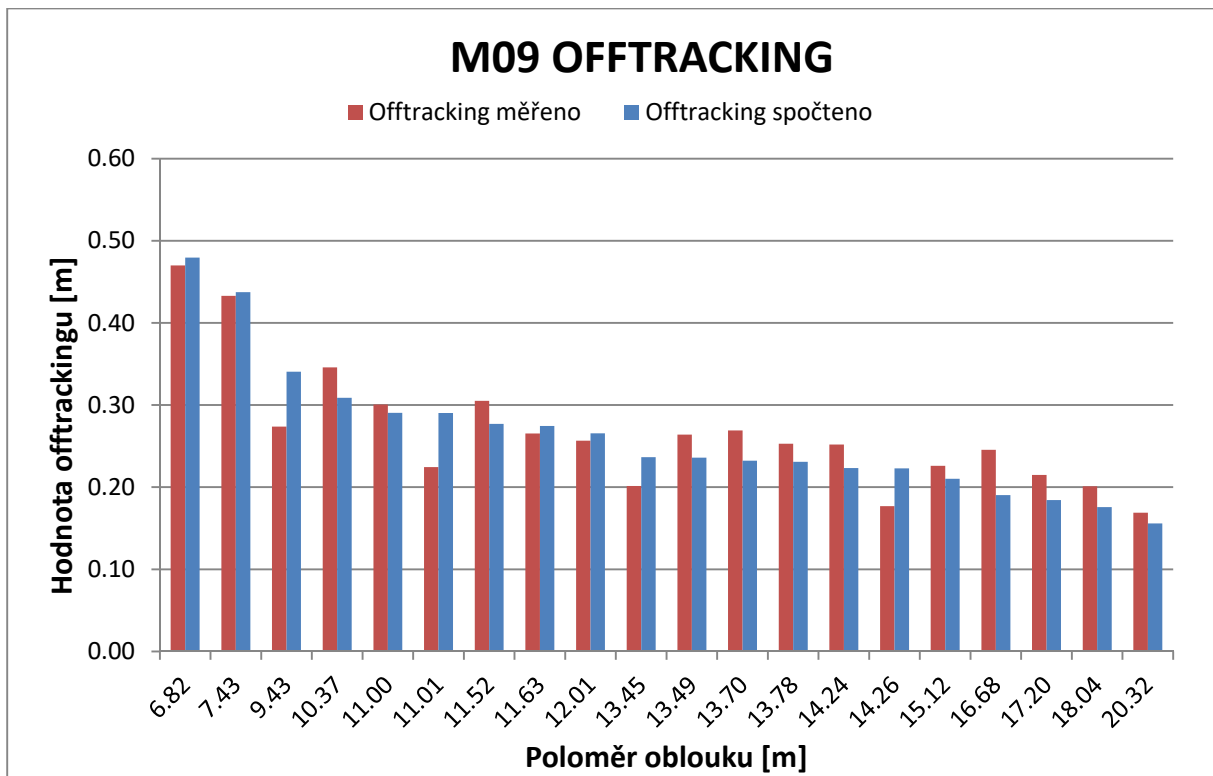
Tabulka 7 - M07, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 62 - M08, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
3.645	0.745	1.004	-0.259	-25.76
4.172	0.728	0.841	-0.113	-13.41
4.390	0.618	0.790	-0.172	-21.78
4.780	0.660	0.713	-0.053	-7.41
4.873	0.633	0.697	-0.064	-9.16
5.156	0.475	0.653	-0.178	-27.26
5.848	0.445	0.567	-0.122	-21.48
6.516	0.506	0.504	0.002	0.39
6.544	0.353	0.501	-0.148	-29.50
8.707	0.309	0.370	-0.061	-16.56
8.724	0.267	0.369	-0.103	-27.86
8.904	0.298	0.362	-0.064	-17.74
9.385	0.330	0.342	-0.013	-3.76
9.808	0.298	0.327	-0.029	-8.83
10.689	0.249	0.299	-0.051	-16.94
10.863	0.280	0.294	-0.014	-4.77
12.199	0.236	0.261	-0.025	-9.59
13.445	0.202	0.237	-0.035	-14.83
15.460	0.142	0.205	-0.063	-30.71
24.383	0.193	0.130	0.063	48.63

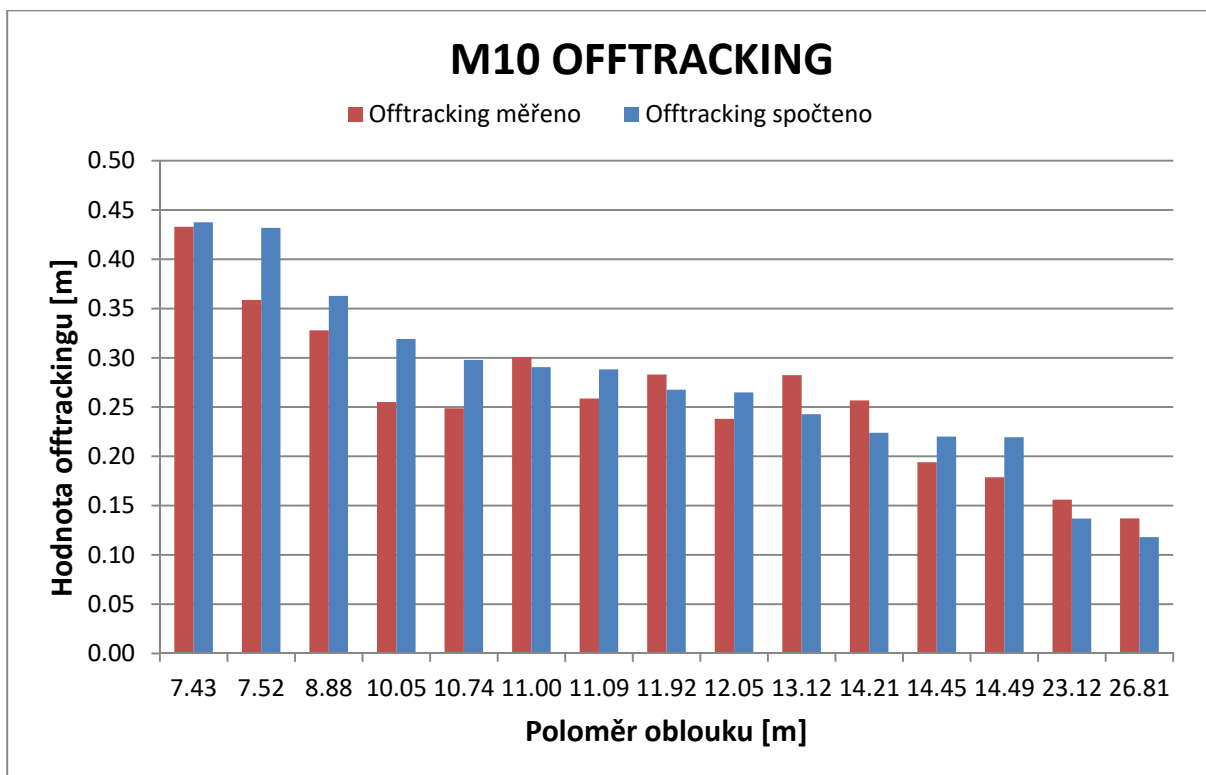
Tabulka 8 - M08, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 63 - M09, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
6.817	0.470	0.480	-0.010	-2.01
7.430	0.433	0.437	-0.005	-1.05
9.434	0.274	0.341	-0.067	-19.63
10.370	0.346	0.309	0.037	12.02
11.004	0.301	0.291	0.010	3.47
11.014	0.224	0.290	-0.066	-22.68
11.523	0.305	0.277	0.028	10.14
11.627	0.265	0.275	-0.009	-3.32
12.013	0.257	0.266	-0.009	-3.37
13.454	0.201	0.237	-0.035	-14.87
13.494	0.264	0.236	0.028	11.92
13.705	0.269	0.232	0.037	15.86
13.776	0.253	0.231	0.022	9.54
14.241	0.252	0.223	0.029	12.85
14.261	0.177	0.223	-0.046	-20.67
15.115	0.226	0.210	0.016	7.52
16.675	0.245	0.190	0.055	28.98
17.203	0.215	0.184	0.031	16.60
18.039	0.201	0.176	0.025	14.36
20.318	0.169	0.156	0.013	8.41

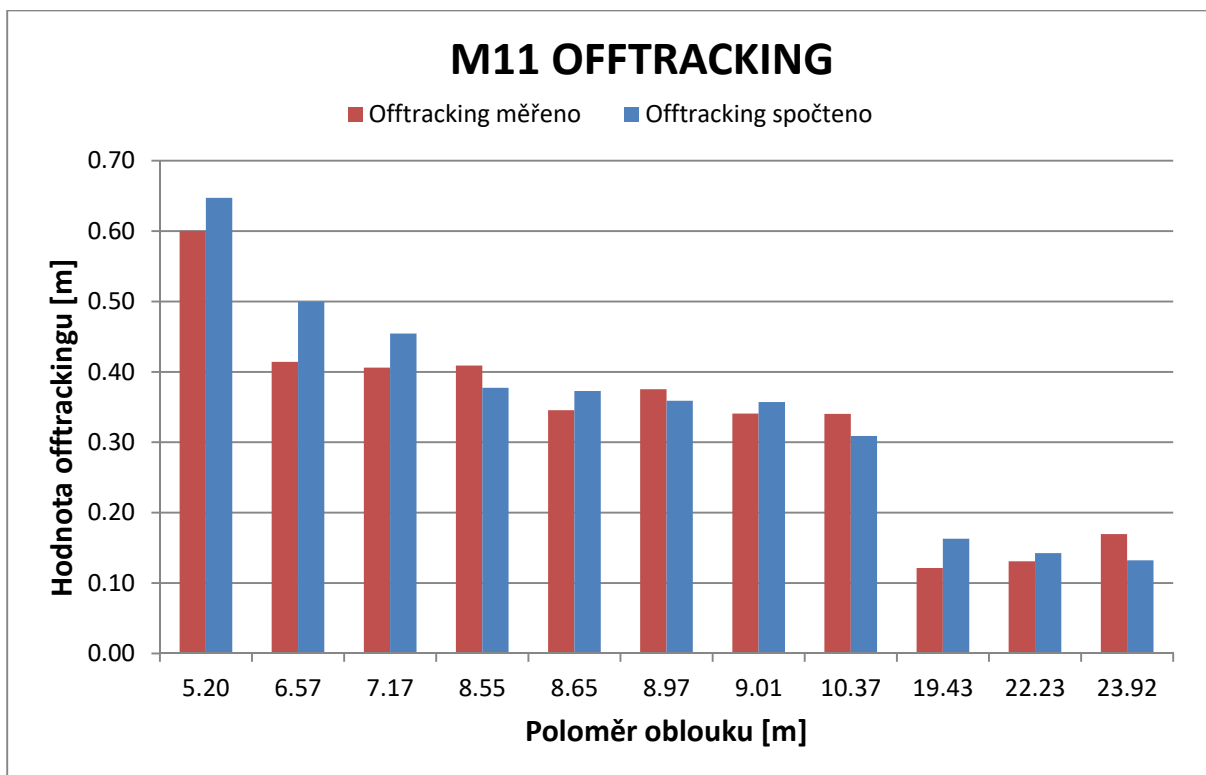
Tabulka 9 - M09, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 64 - M10, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
7.430	0.433	0.437	-0.005	-1.05
7.524	0.359	0.432	-0.073	-16.92
8.878	0.328	0.363	-0.035	-9.65
10.047	0.255	0.319	-0.064	-20.07
10.742	0.249	0.298	-0.049	-16.47
11.004	0.301	0.291	0.010	3.47
11.091	0.259	0.288	-0.030	-10.25
11.921	0.283	0.268	0.015	5.72
12.048	0.238	0.265	-0.027	-10.12
13.116	0.282	0.243	0.040	16.33
14.207	0.257	0.224	0.033	14.69
14.454	0.194	0.220	-0.026	-11.80
14.489	0.179	0.219	-0.041	-18.56
23.122	0.156	0.137	0.019	13.99
26.809	0.137	0.118	0.019	16.15

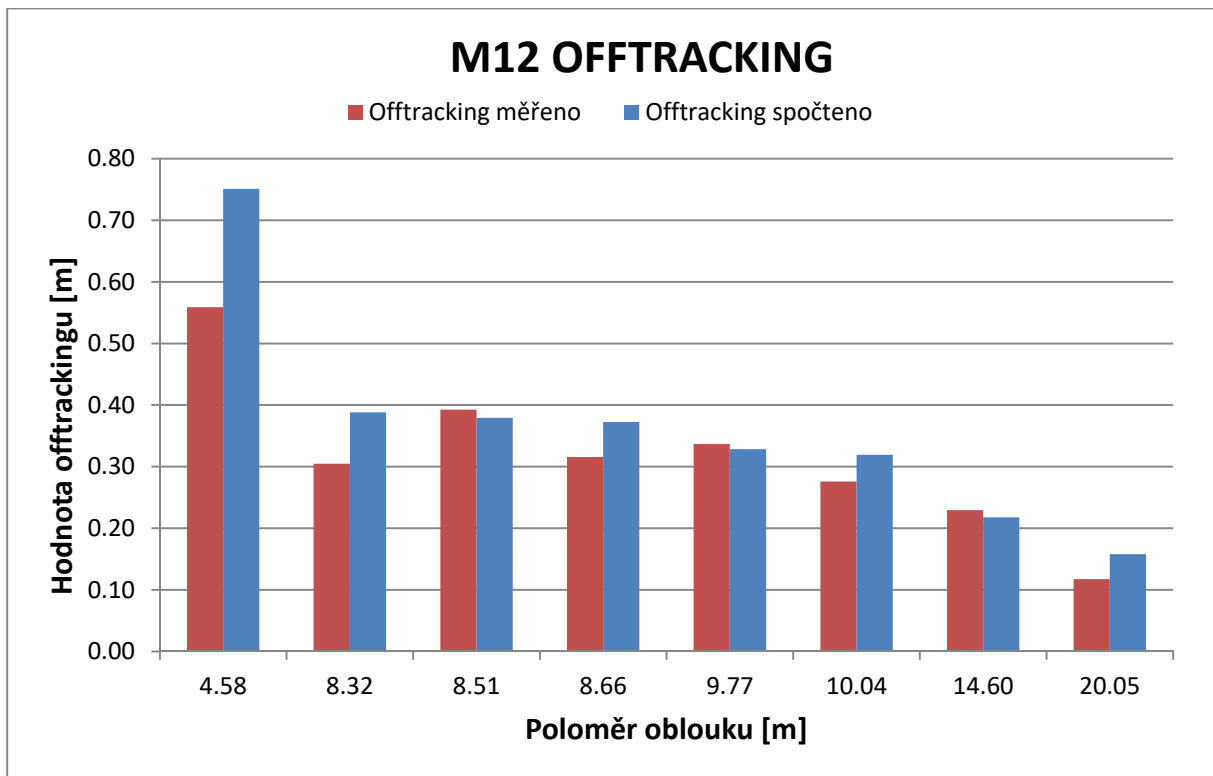
Tabulka 10 - M10, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 65 - M11, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
5.197	0.600	0.647	-0.047	-7.26
6.567	0.414	0.499	-0.085	-17.08
7.170	0.406	0.454	-0.049	-10.68
8.549	0.409	0.377	0.032	8.38
8.648	0.346	0.373	-0.027	-7.33
8.968	0.375	0.359	0.016	4.58
9.011	0.341	0.357	-0.017	-4.62
10.368	0.340	0.309	0.031	10.17
19.431	0.121	0.163	-0.042	-25.61
22.231	0.131	0.142	-0.012	-8.12
23.919	0.169	0.132	0.037	28.11

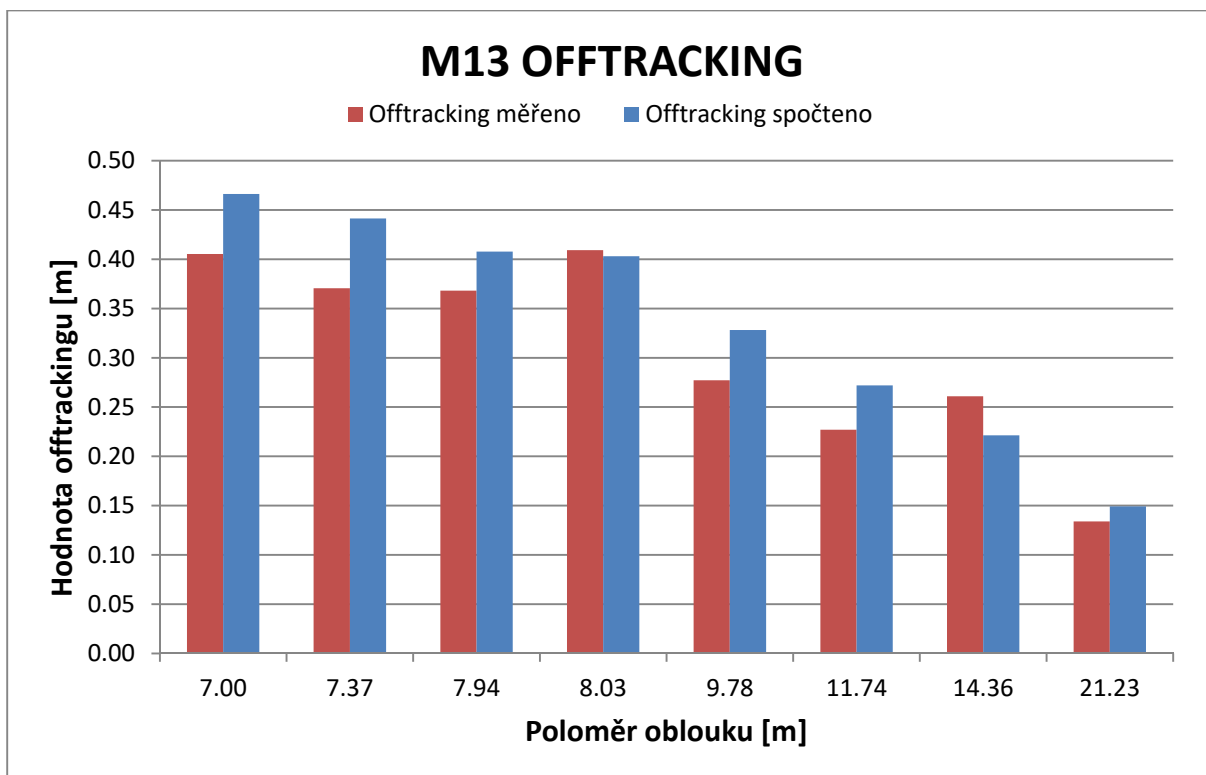
Tabulka 11 - M11, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 66 - M12, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
4.577	0.559	0.751	-0.192	-25.60
8.320	0.305	0.388	-0.083	-21.50
8.507	0.393	0.379	0.013	3.52
8.657	0.316	0.372	-0.057	-15.23
9.770	0.337	0.328	0.008	2.50
10.043	0.276	0.319	-0.043	-13.61
14.603	0.229	0.218	0.012	5.38
20.053	0.117	0.158	-0.040	-25.63

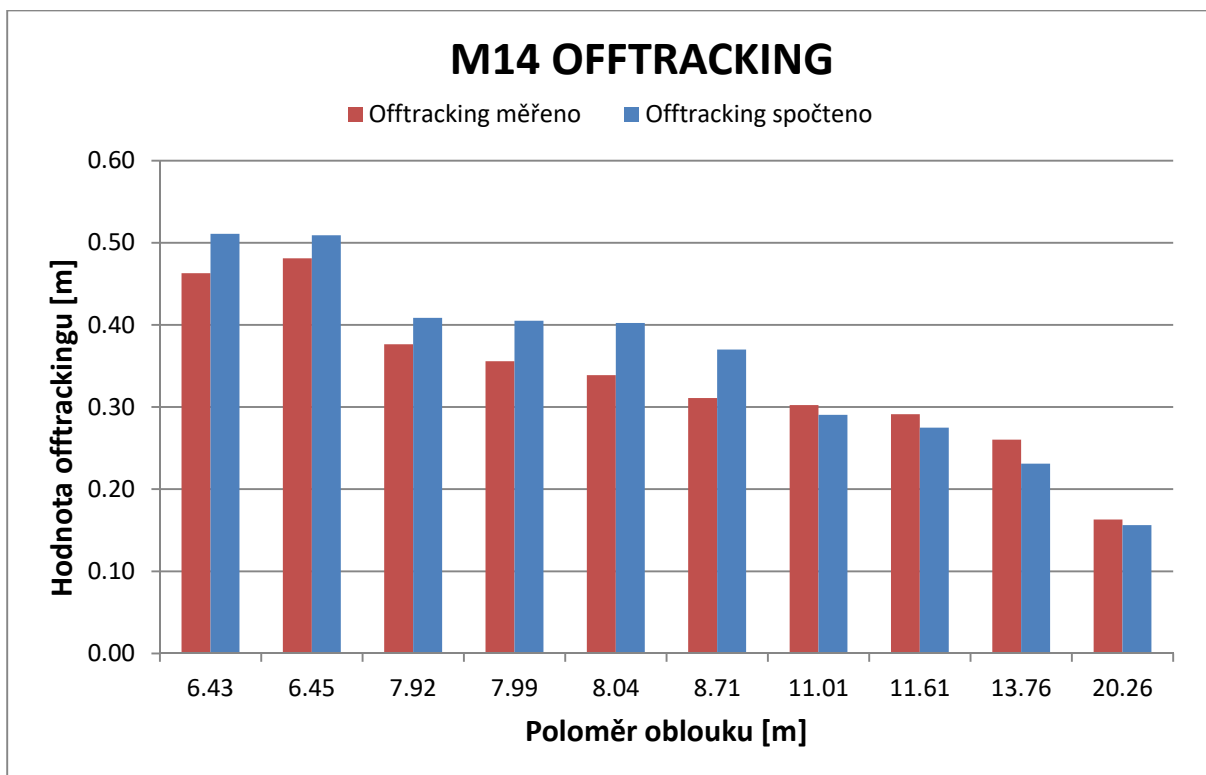
Tabulka 12 - M12, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 67 - M13, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
7.001	0.405	0.466	-0.061	-13.06
7.369	0.371	0.441	-0.071	-16.03
7.941	0.368	0.408	-0.040	-9.72
8.029	0.409	0.403	0.006	1.52
9.778	0.277	0.328	-0.051	-15.53
11.737	0.227	0.272	-0.045	-16.53
14.362	0.261	0.221	0.040	17.89
21.226	0.134	0.149	-0.015	-10.17

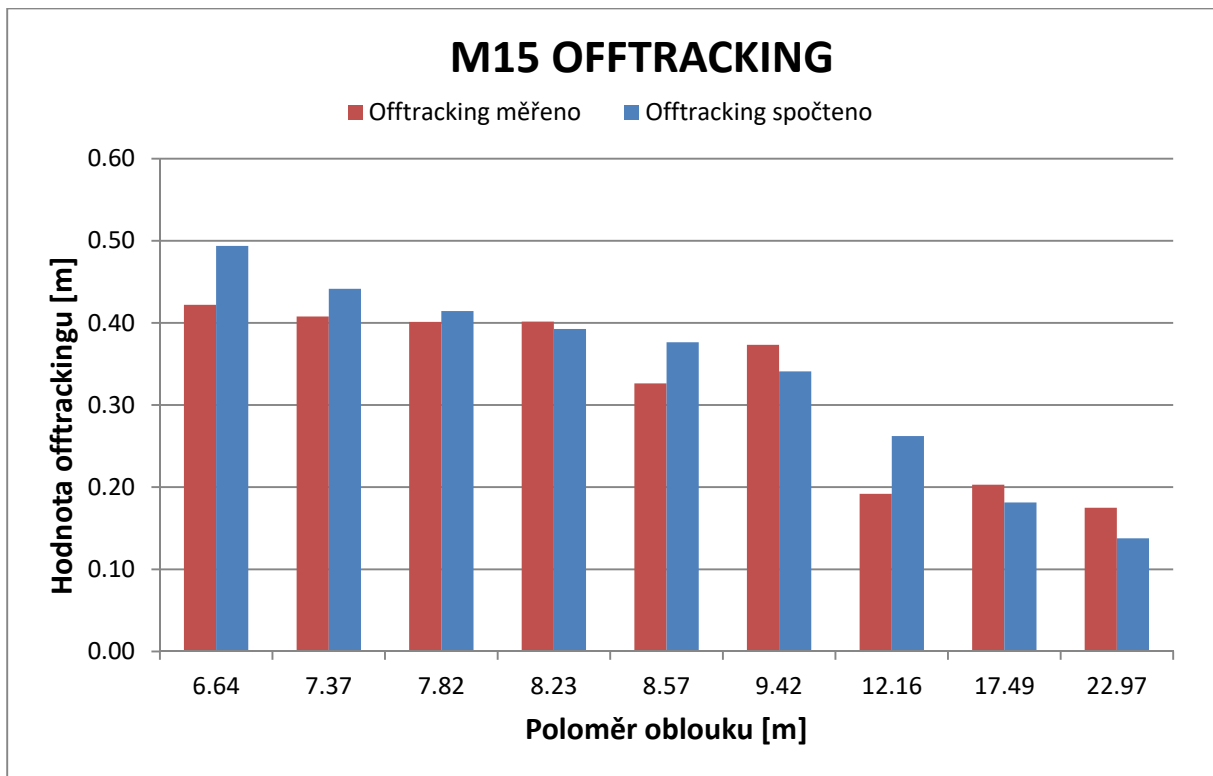
Tabulka 13 - M13, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 68 - M14, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
6.431	0.463	0.511	-0.048	-9.38
6.452	0.481	0.509	-0.028	-5.48
7.924	0.376	0.409	-0.032	-7.89
7.992	0.356	0.405	-0.049	-12.16
8.041	0.339	0.402	-0.064	-15.79
8.713	0.311	0.370	-0.059	-15.94
11.008	0.302	0.290	0.012	4.15
11.609	0.291	0.275	0.016	5.94
13.764	0.260	0.231	0.029	12.57
20.261	0.163	0.156	0.007	4.27

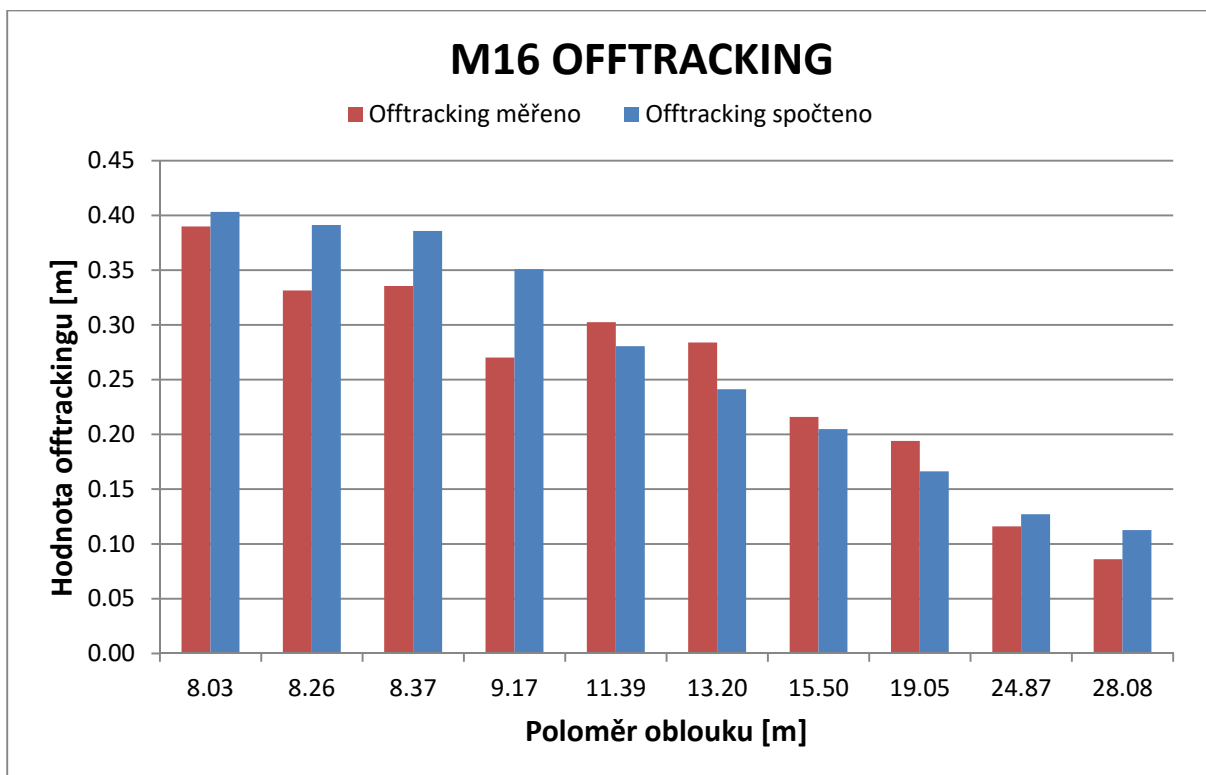
Tabulka 14 - M14, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 69 - M15, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
6.636	0.422	0.494	-0.072	-14.54
7.365	0.408	0.442	-0.034	-7.65
7.819	0.401	0.414	-0.013	-3.21
8.233	0.402	0.393	0.009	2.30
8.567	0.326	0.377	-0.050	-13.33
9.423	0.373	0.341	0.032	9.50
12.158	0.192	0.262	-0.070	-26.83
17.490	0.203	0.181	0.022	11.95
22.967	0.175	0.138	0.037	27.01

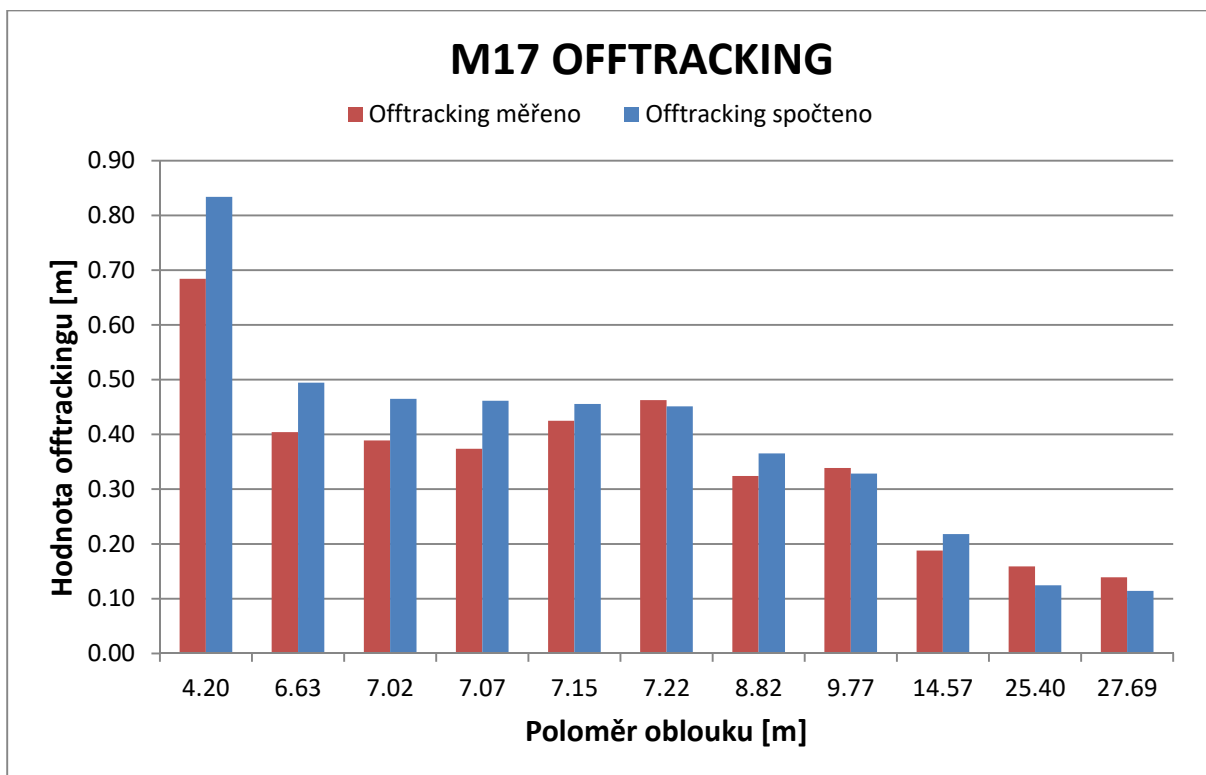
Tabulka 15 - M15, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 70 - M16, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
8.025	0.390	0.403	-0.013	-3.31
8.258	0.332	0.391	-0.060	-15.28
8.371	0.336	0.386	-0.050	-13.00
9.166	0.270	0.351	-0.081	-22.99
11.386	0.303	0.281	0.022	7.86
13.199	0.284	0.241	0.043	17.72
15.500	0.216	0.205	0.011	5.42
19.051	0.194	0.166	0.028	16.63
24.874	0.116	0.127	-0.011	-8.78
28.076	0.086	0.113	-0.027	-23.62

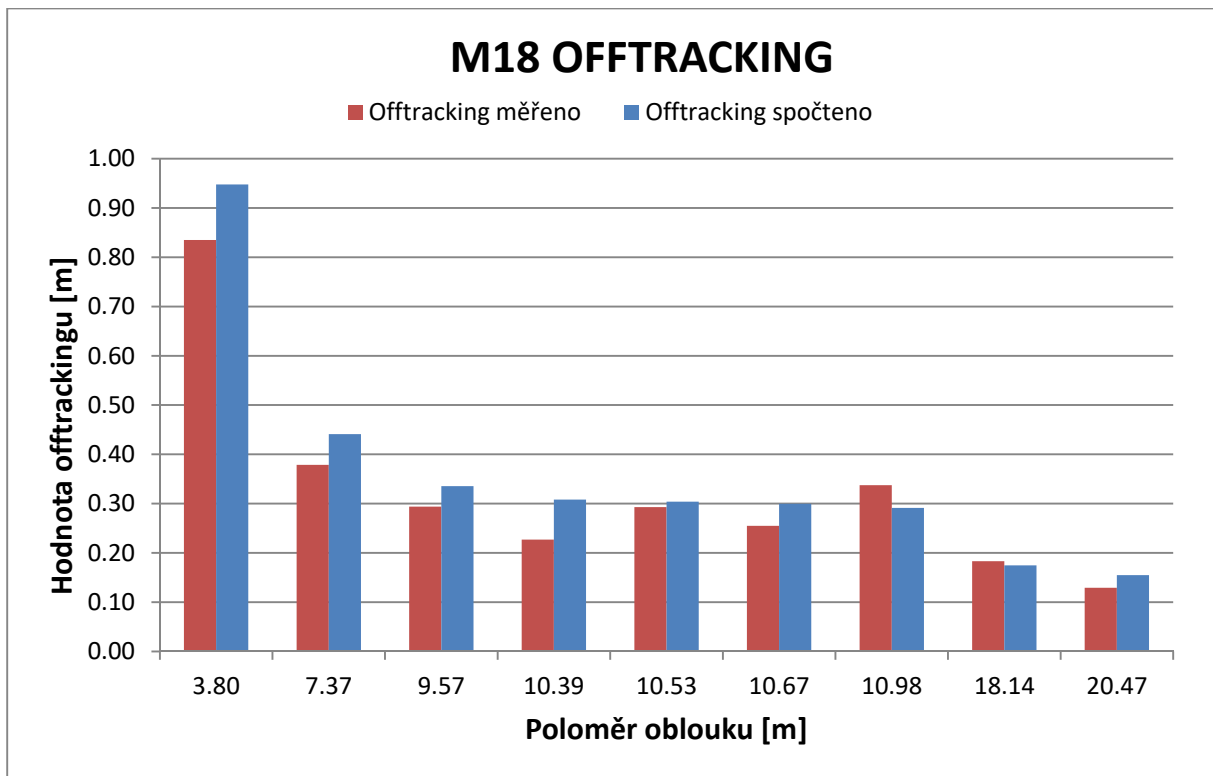
Tabulka 16 - M16, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



Graf 71 - M17, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
4.200	0.684	0.834	-0.150	-17.94
6.628	0.404	0.494	-0.090	-18.28
7.017	0.389	0.465	-0.076	-16.32
7.065	0.374	0.462	-0.088	-19.01
7.152	0.425	0.456	-0.031	-6.73
7.215	0.463	0.451	0.011	2.53
8.822	0.324	0.365	-0.041	-11.25
9.768	0.339	0.329	0.010	3.09
14.574	0.188	0.218	-0.030	-13.90
25.399	0.159	0.125	0.034	27.69
27.686	0.139	0.114	0.025	21.72

Tabulka 17 - M17, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu



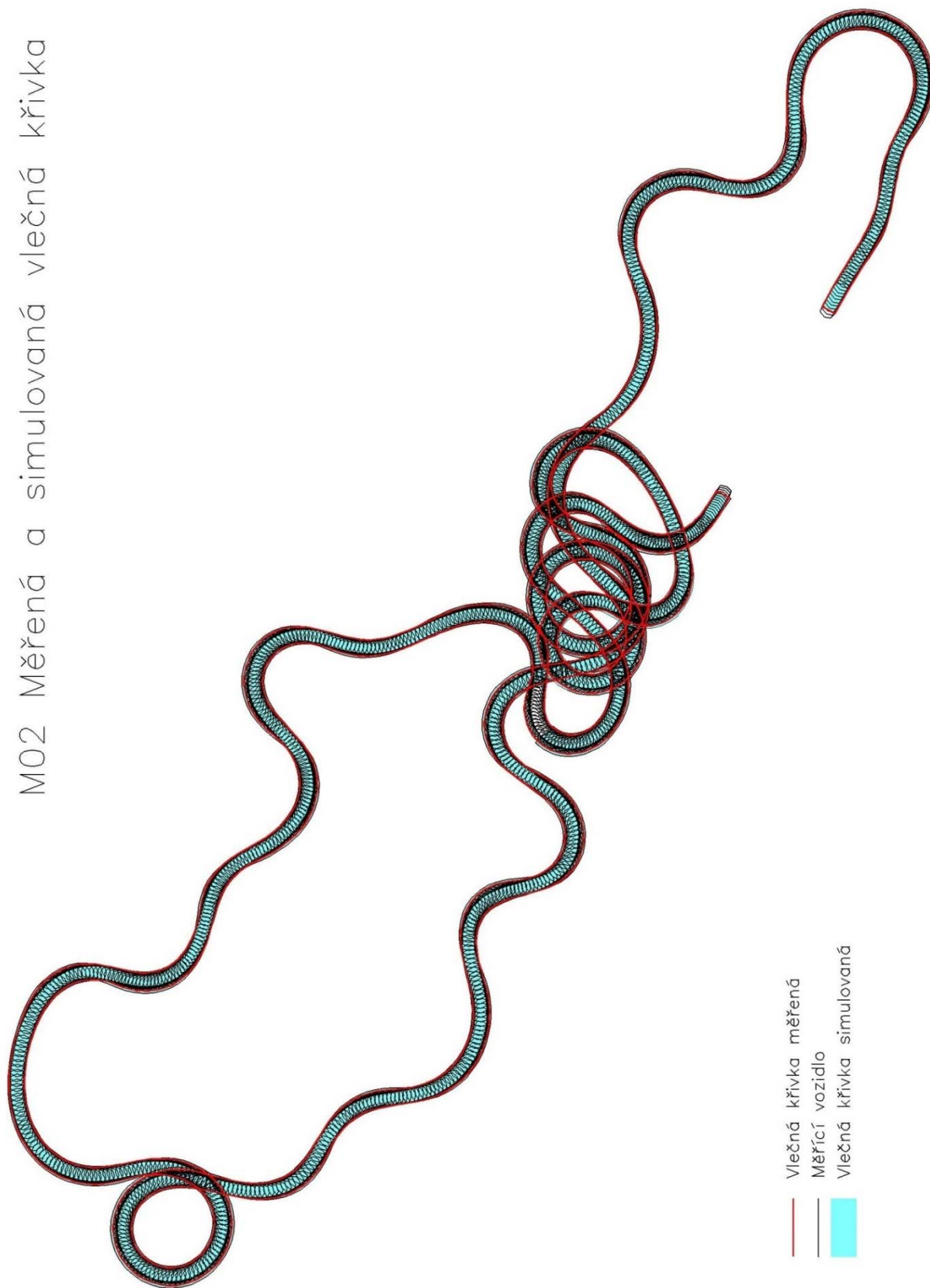
Graf 72 - M18, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

R [m]	Offtracking		Δ [m]	%
	měřeno [m]	spočteno [m]		
3.803	0.835	0.948	-0.113	-11.89
7.373	0.379	0.441	-0.063	-14.19
9.574	0.294	0.335	-0.041	-12.35
10.390	0.227	0.308	-0.081	-26.36
10.532	0.293	0.304	-0.011	-3.61
10.675	0.255	0.300	-0.045	-14.96
10.975	0.338	0.291	0.046	15.85
18.141	0.183	0.175	0.008	4.71
20.466	0.129	0.155	-0.026	-16.64

Tabulka 18 - M18, srovnání měřeného a spočteného offtrackingu

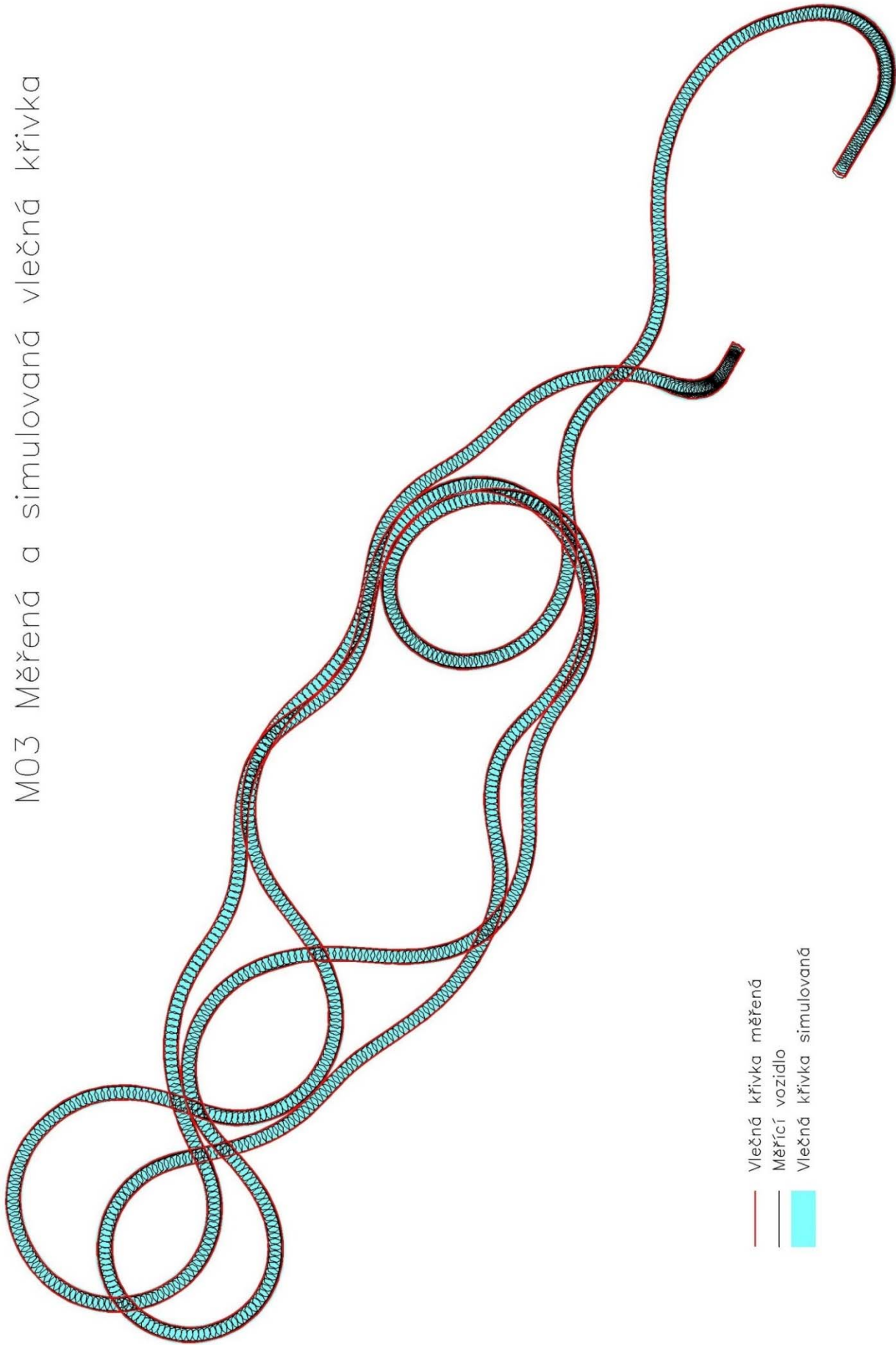
Příloha C – Srovnání měřených a simulovaných vlečných křivek

M02 Měřená a simulovaná vlečná křivka



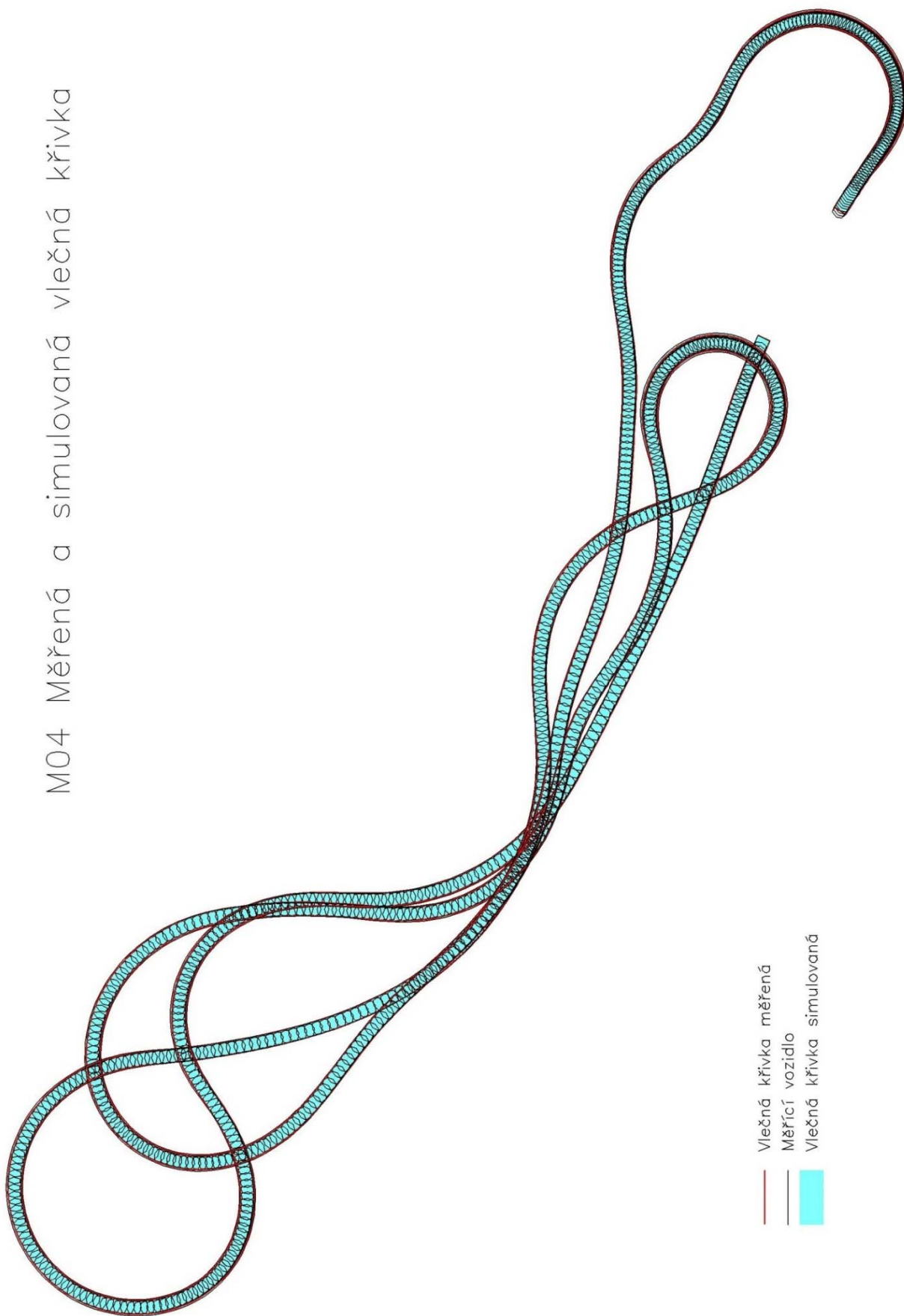
Obrázek 1 - Měření M02, srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M03 Měřená a simulovaná vlečná křivka



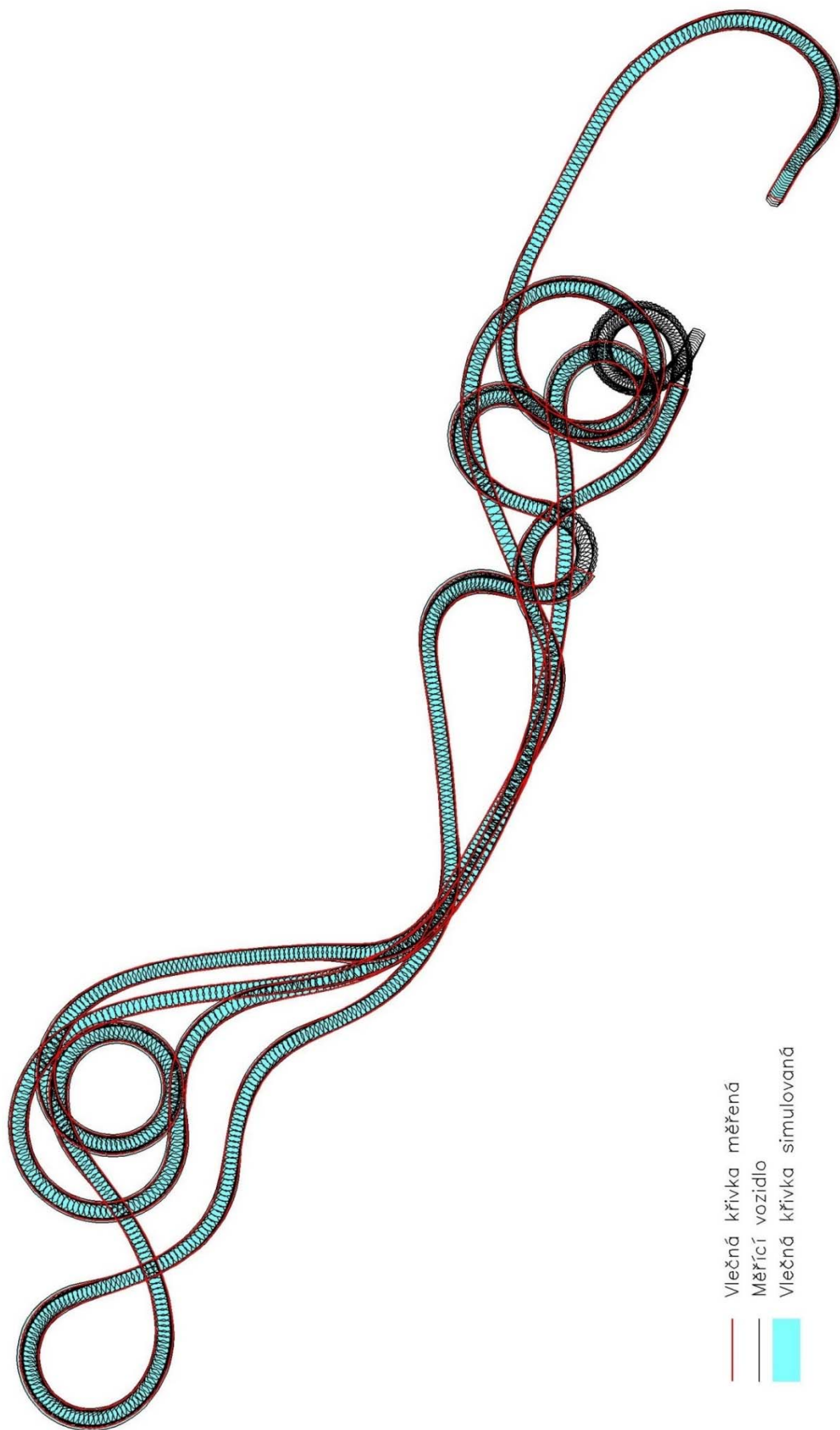
Obrázek 2 - Měření M03; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M04 Měřená a simulovaná vlečná křivka



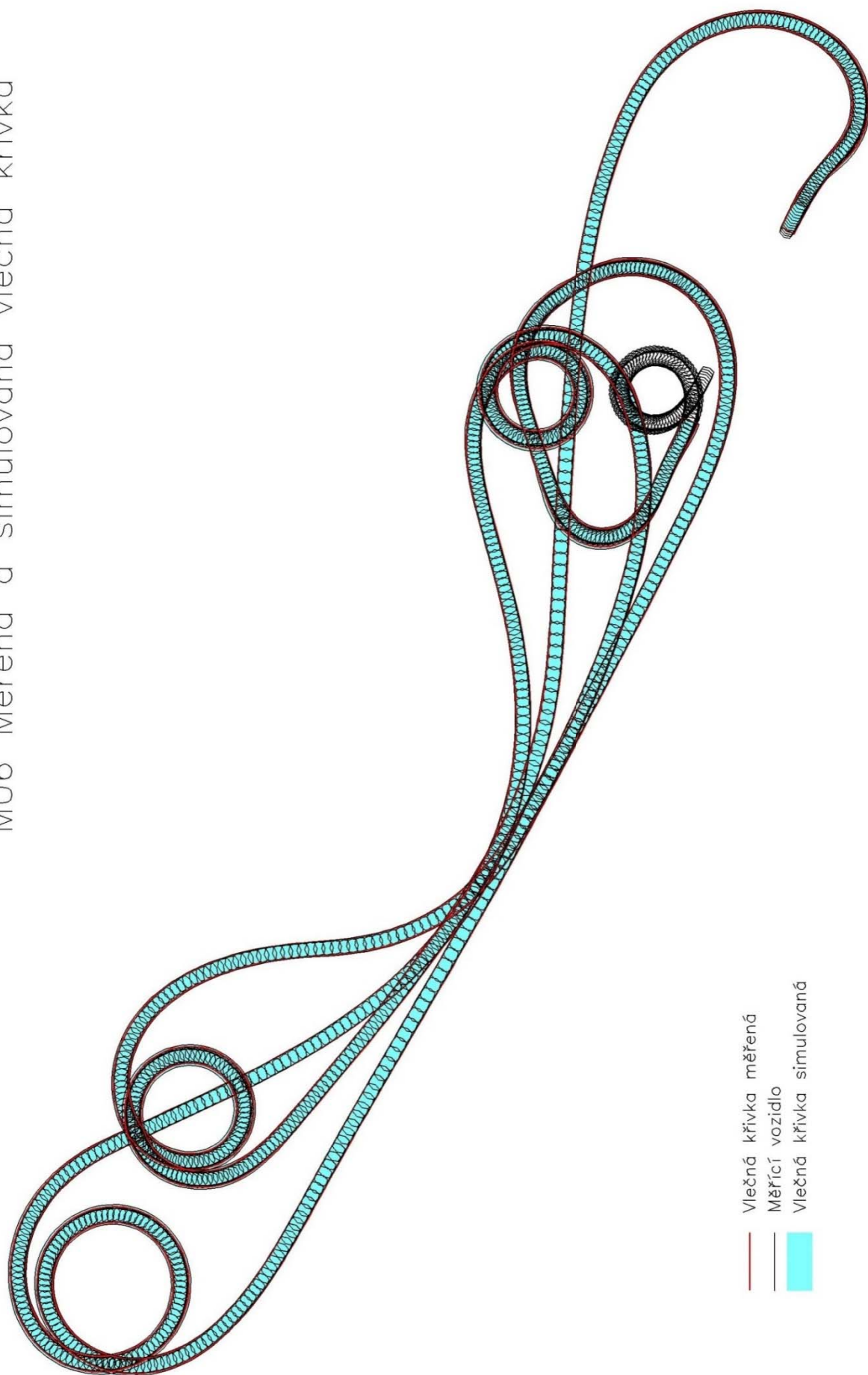
Obrázek 3 - Měření M04; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M05 Měřená a simulovaná vlečná křivka



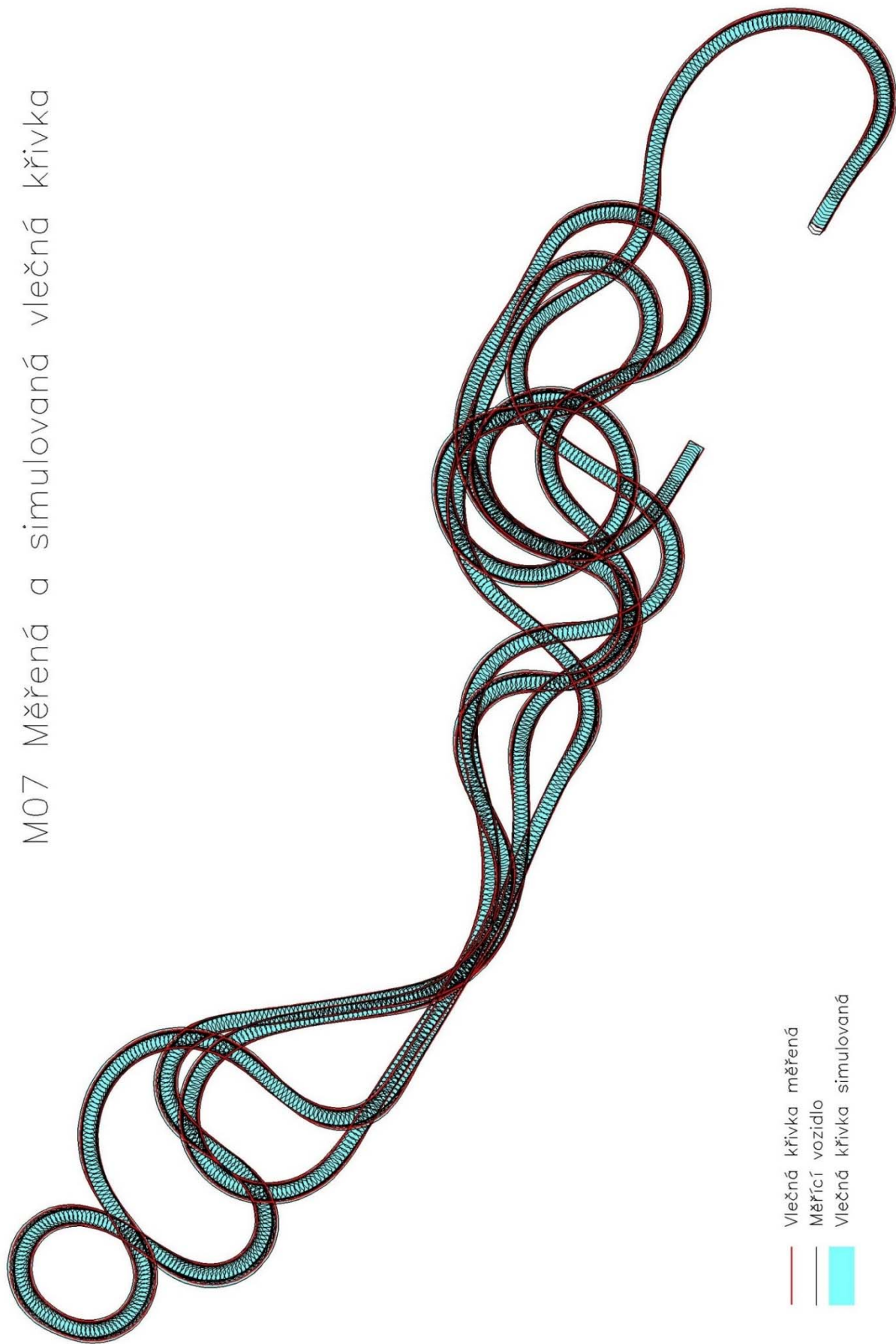
Obrázek 4 - Měření M05; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M06 Měřená a simulovaná vlečná křivka



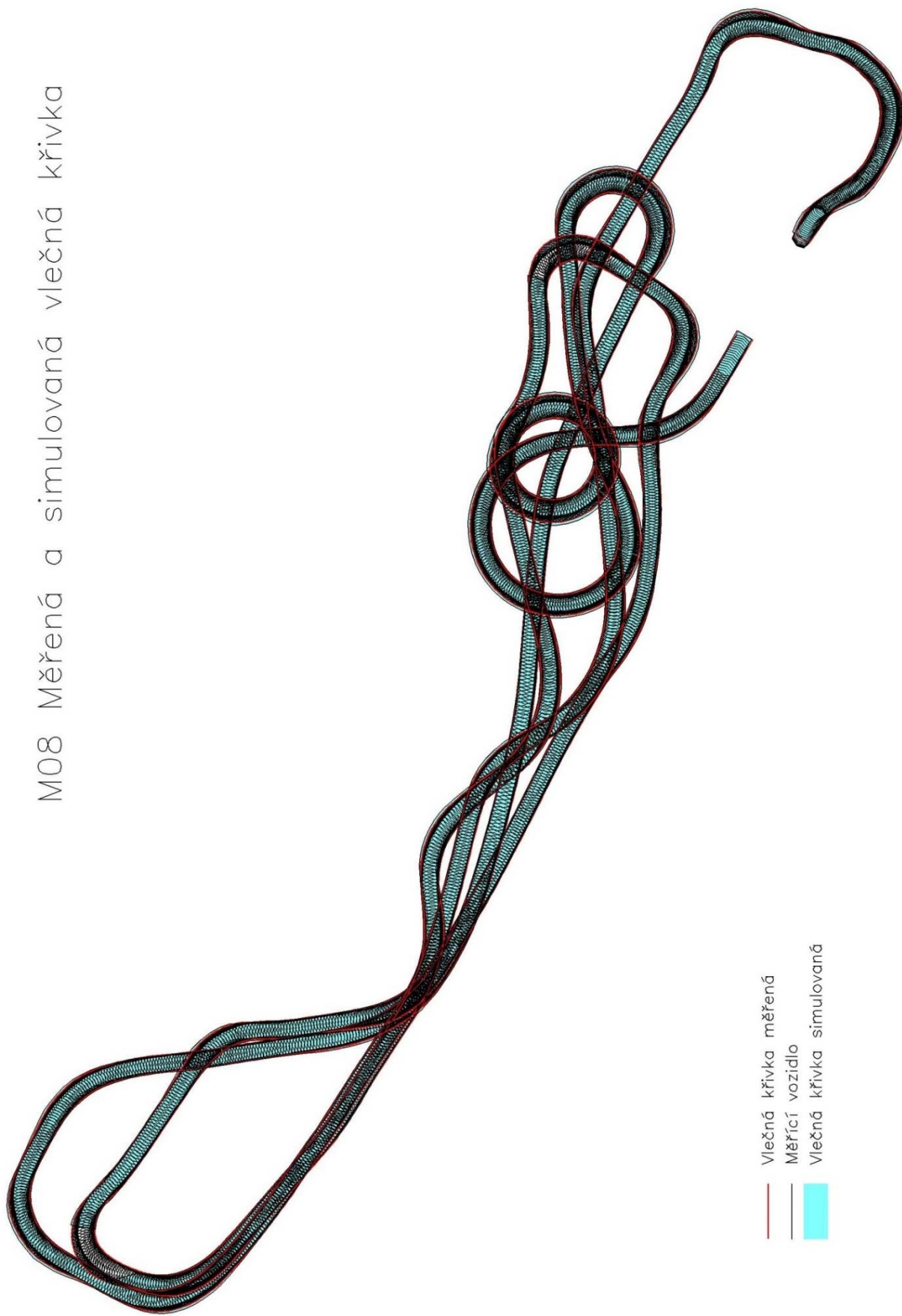
Obrázek 5 - Měření M06; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M07 Měření a simulovaná vlečná křivka



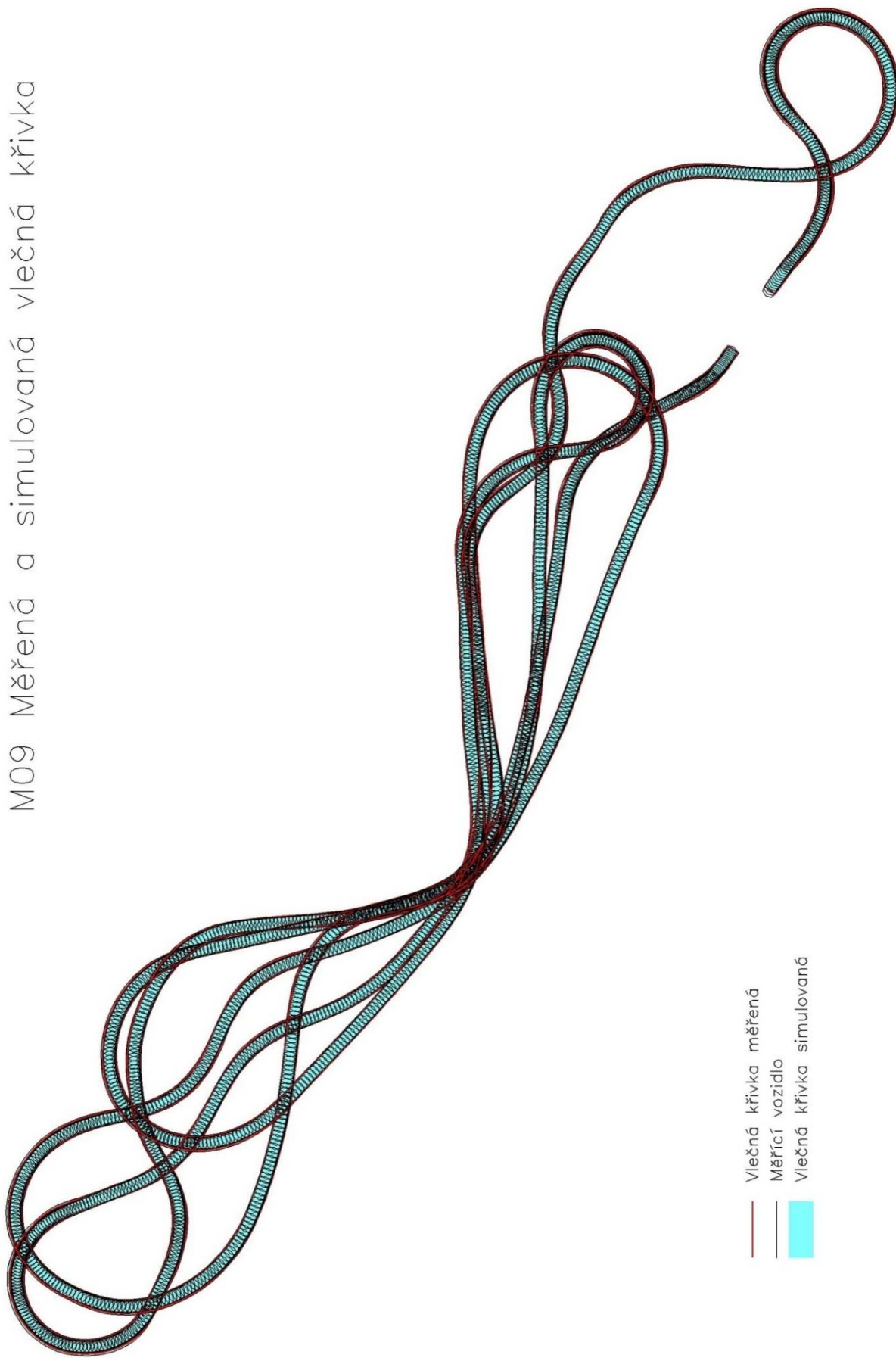
Obrázek 6 - Měření M07; srovnání měření a simulované vlečné křivky

M08 Měřená a simulovaná vlečná křivka



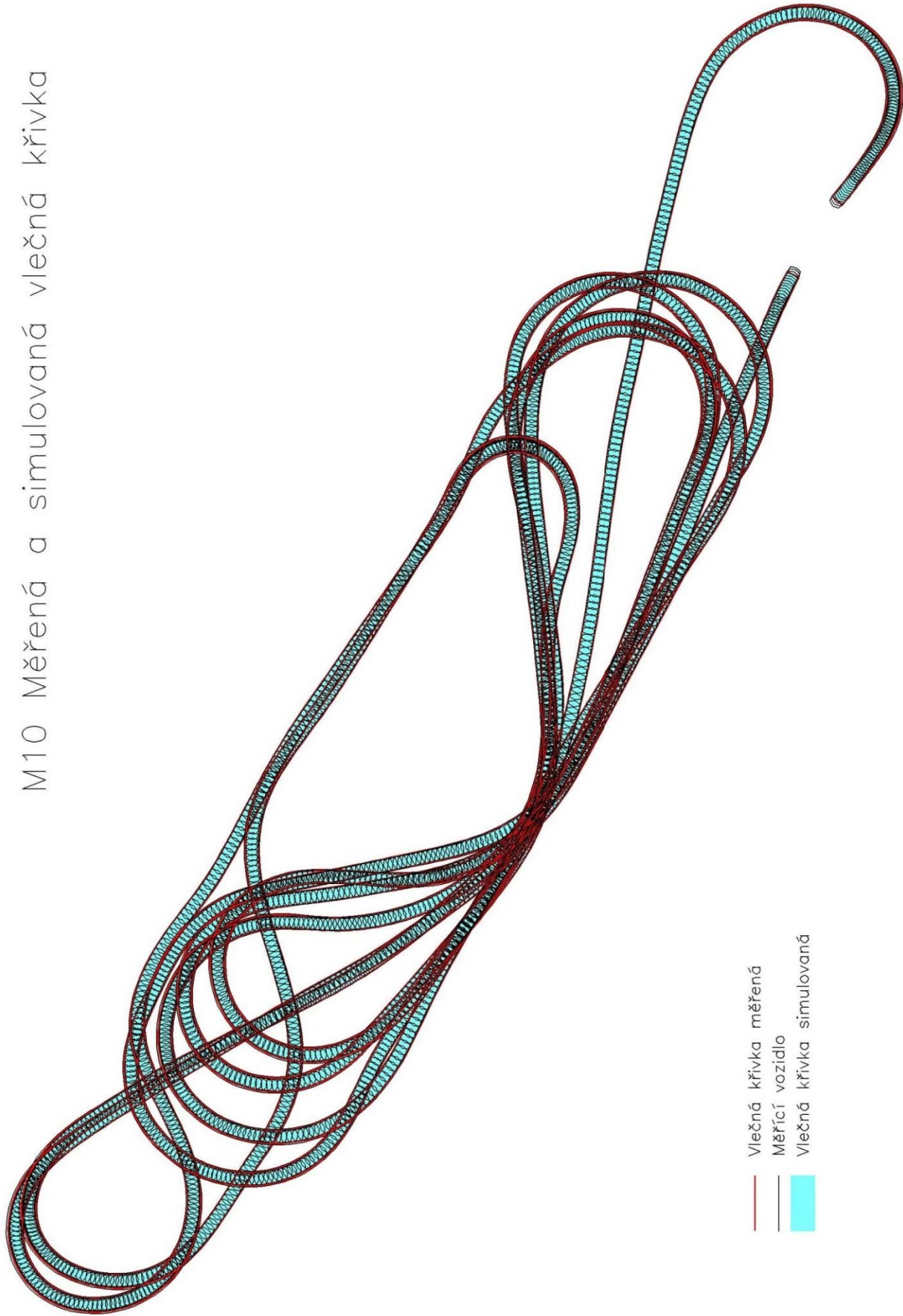
Obrázek 7 - Měření M08; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M09 Měřená a simulovaná vlečná křivka



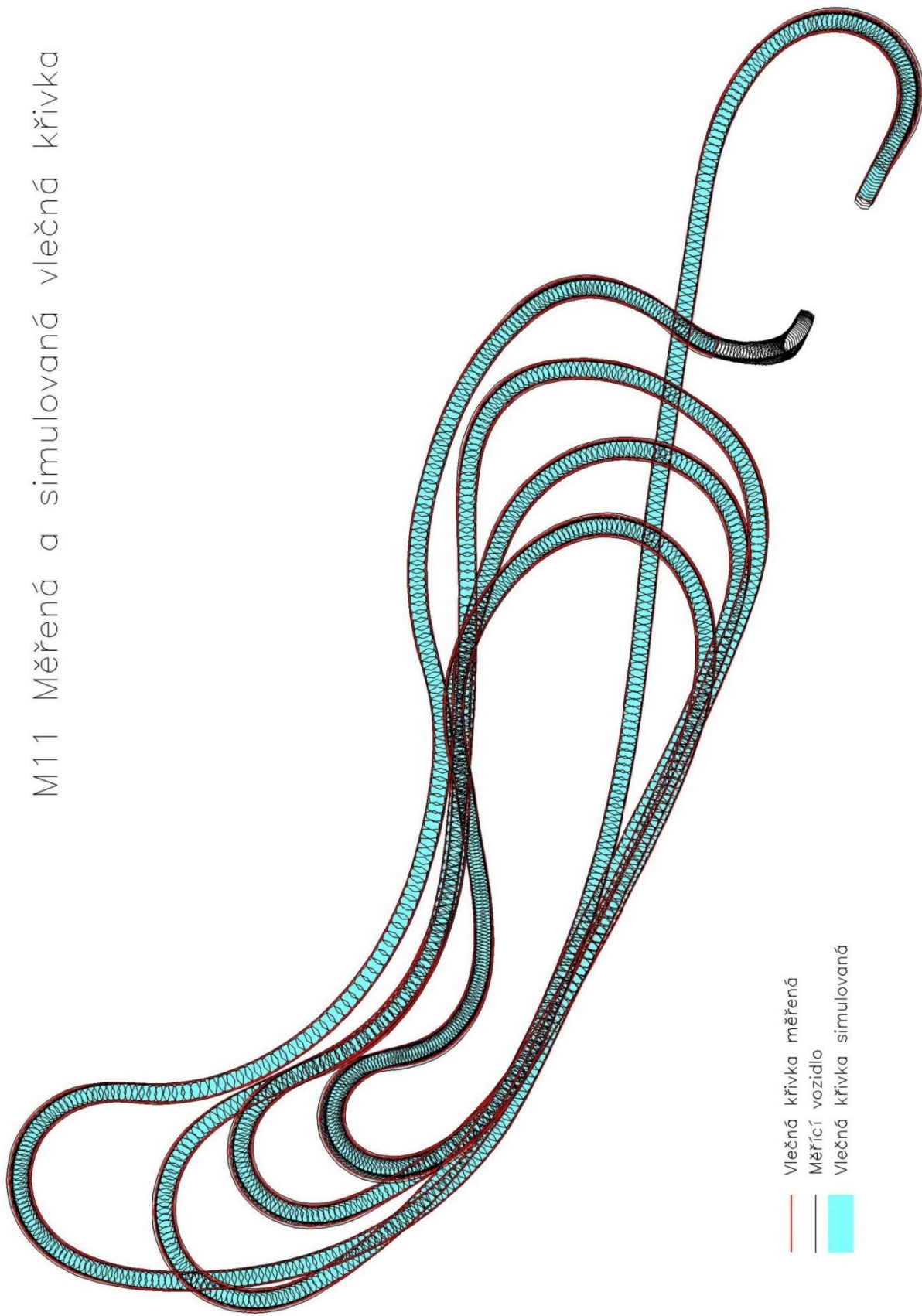
Obrázek 8 - Měření M09, srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M10 Měřená a simulovaná vlečná křivka



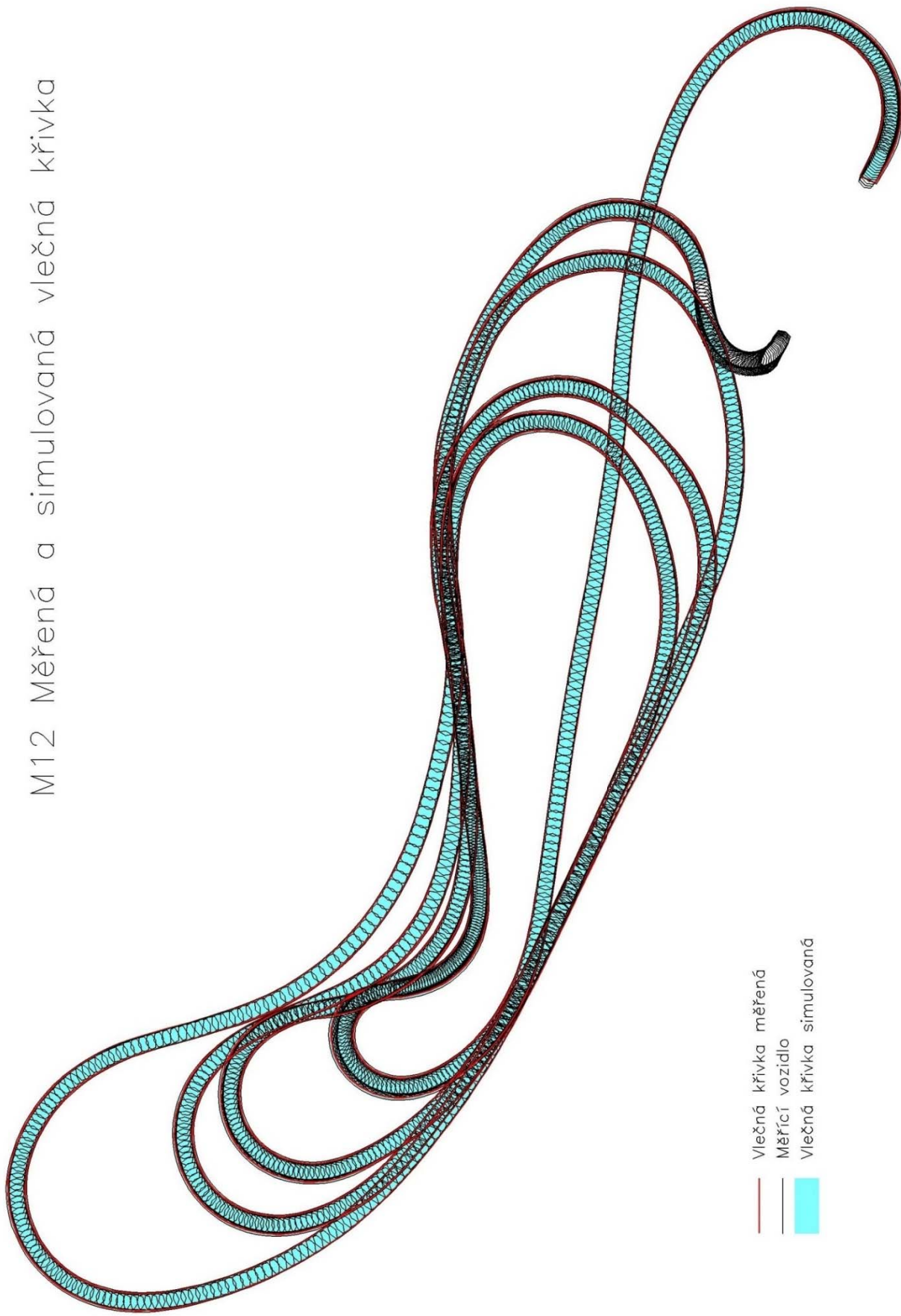
Obrázek 9 - Měření M10; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M11 Měřená a simulovaná vlečná křivka



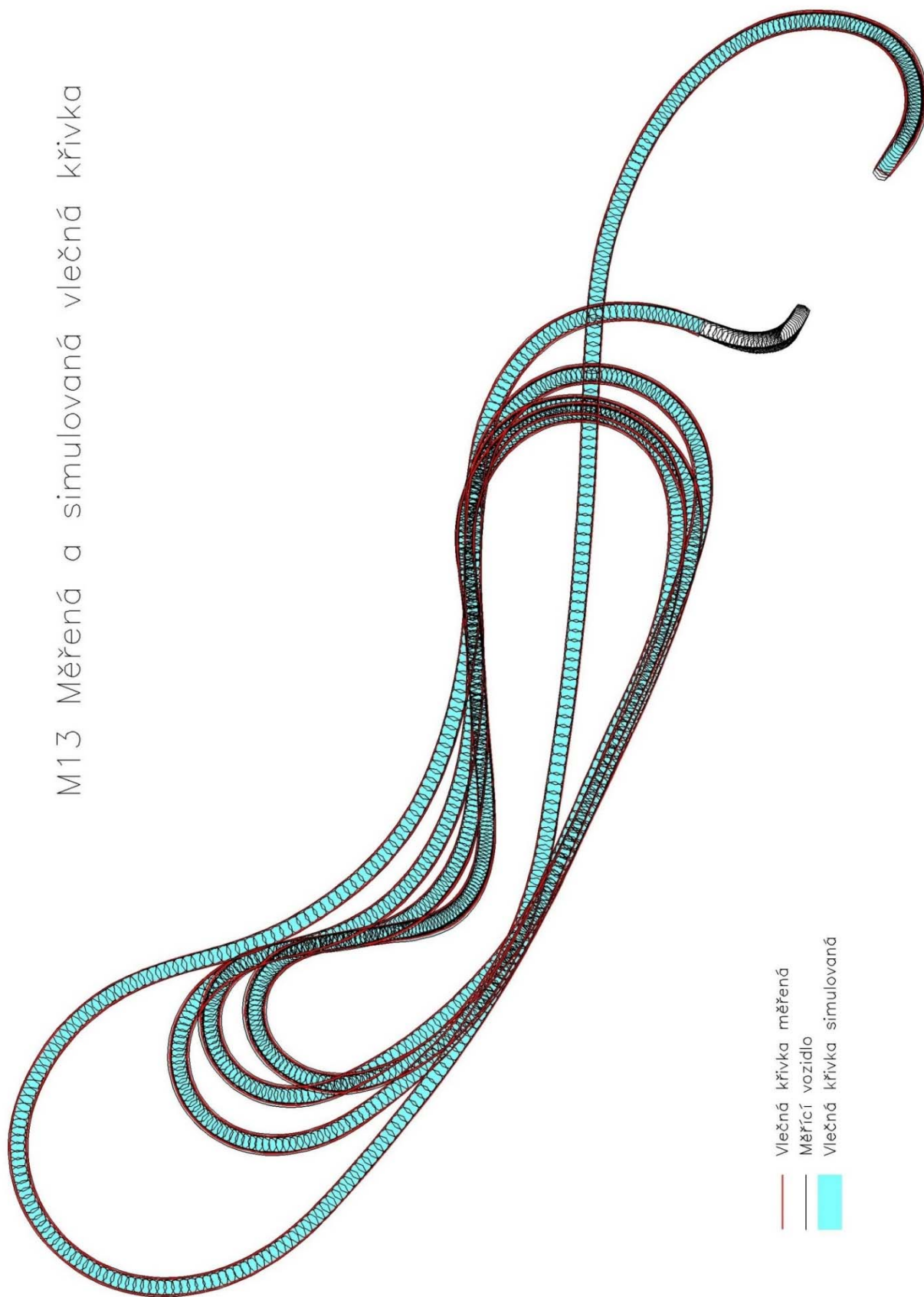
Obrázek 10 - Měření M11; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M12 Měření a simulovaná vlečná křivka



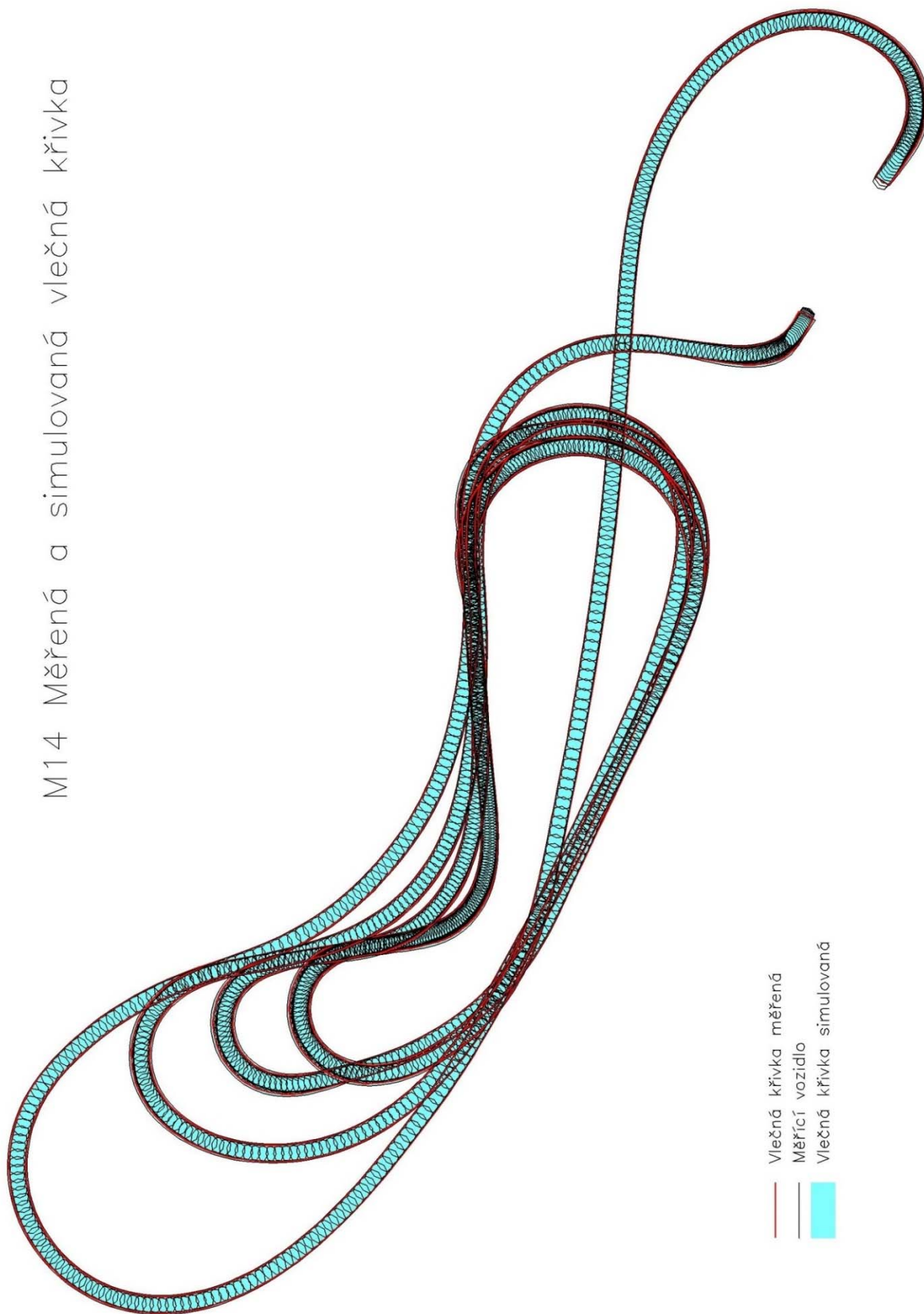
Obrázek 11 - Měření M12; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M13 Měření a simulovaná vlečná křivka



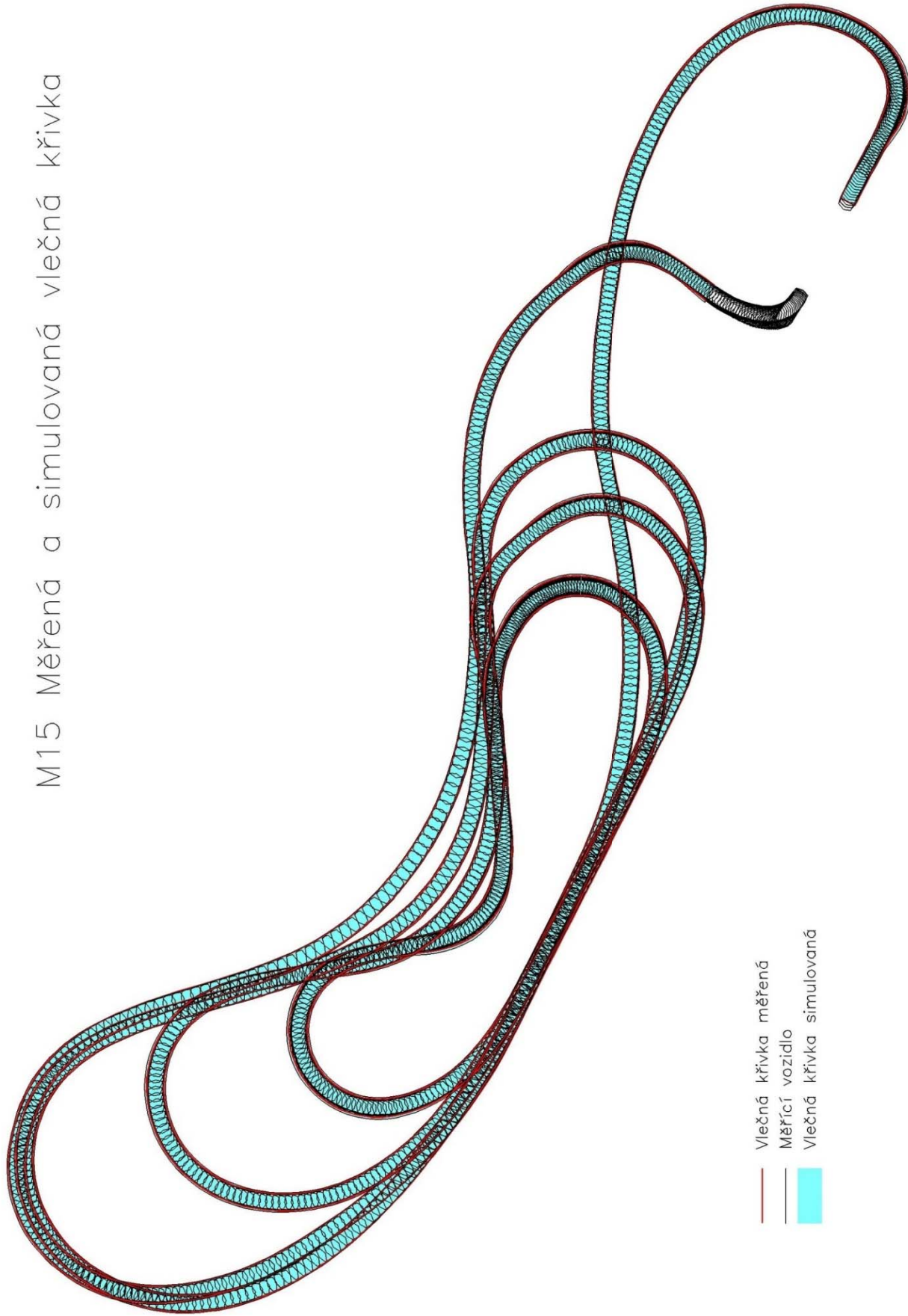
Obrázek 12 - Měření M13; srovnání měření a simulované vlečné křivky

M14 Měřená a simulovaná vlečná křivka



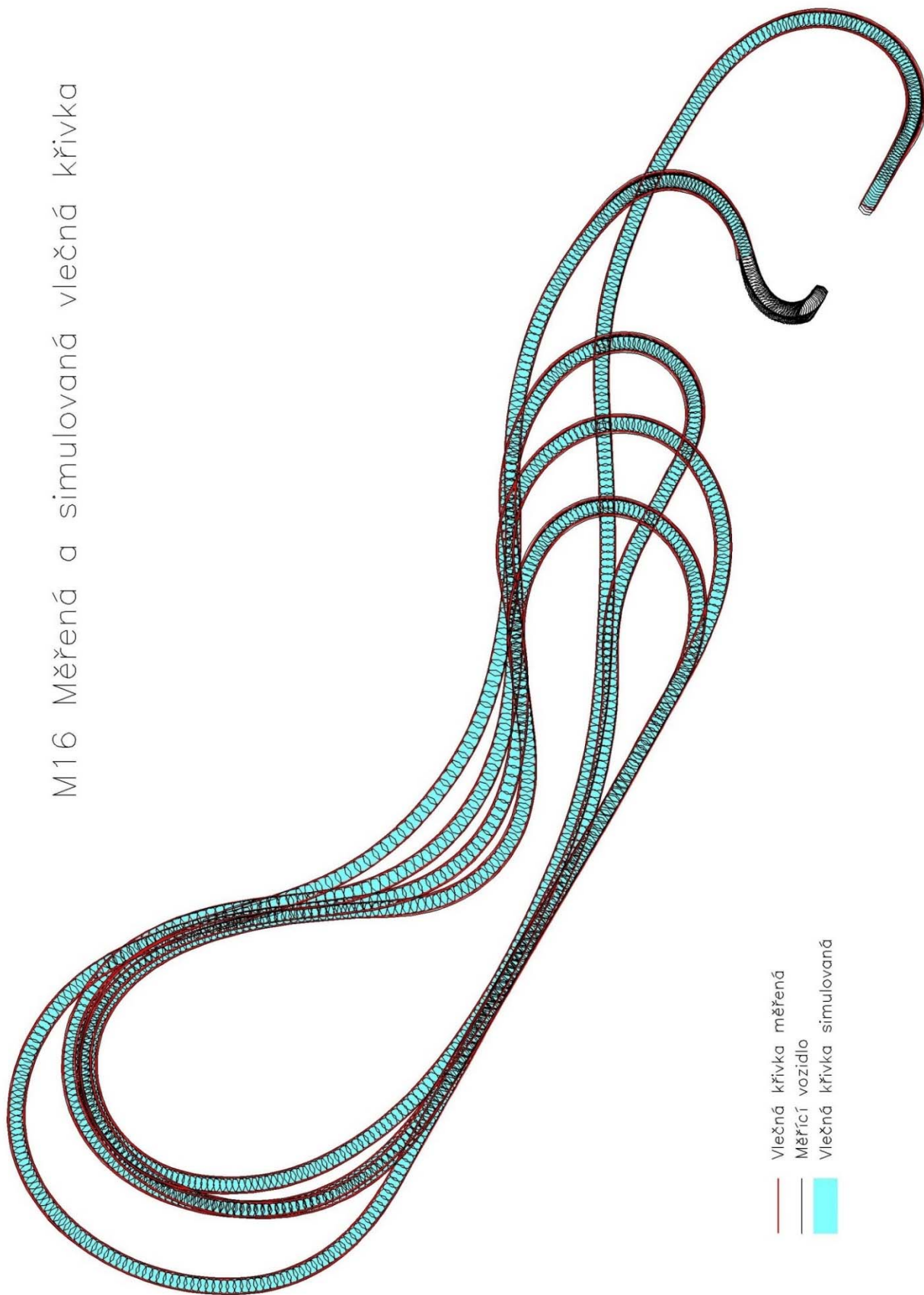
Obrázek 13 - Měření M14; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M15 Měřená a simulovaná vlečná křivka



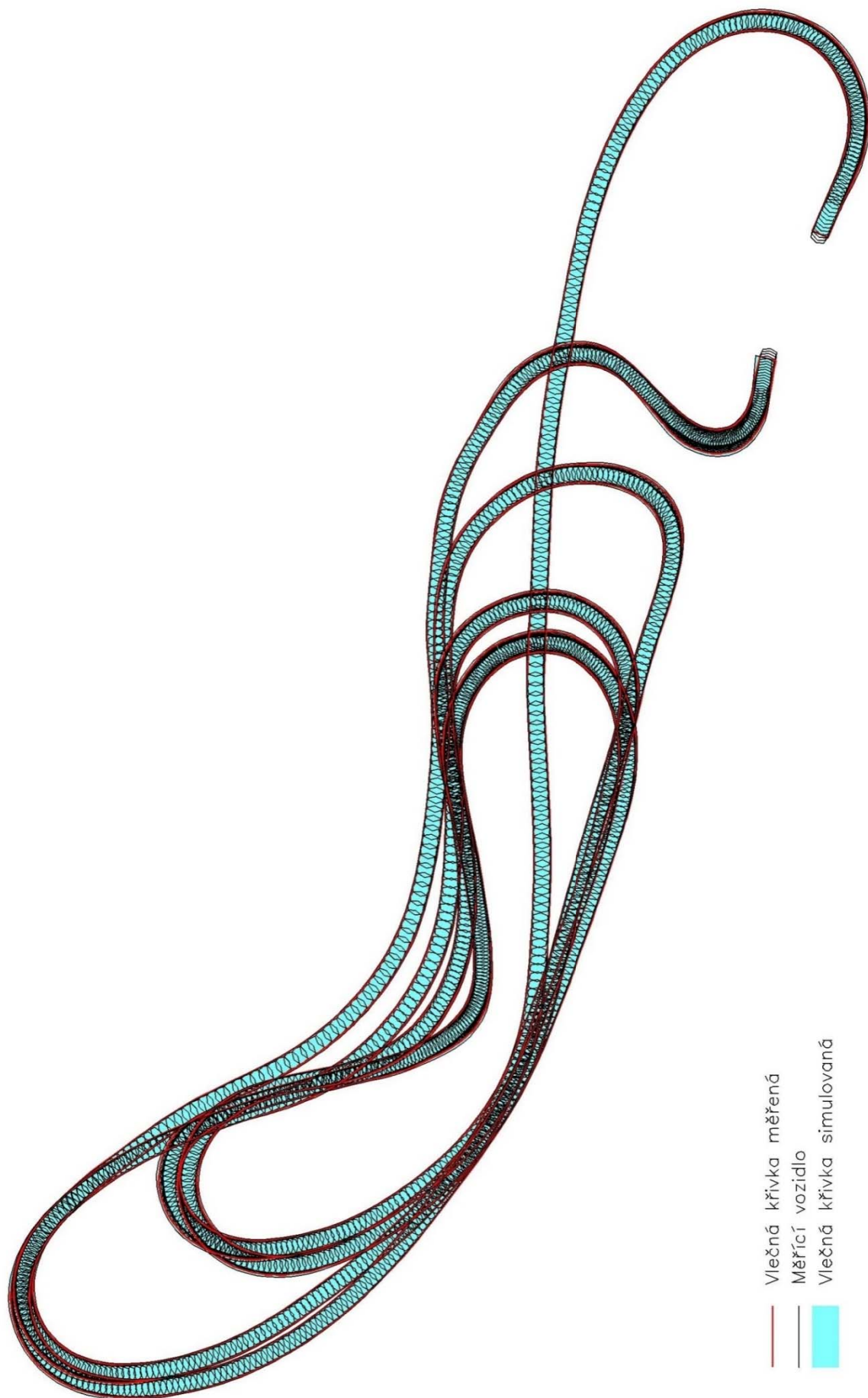
Obrázek 14 - Měření M15; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M16 Měřená a simulovaná vlečná křivka



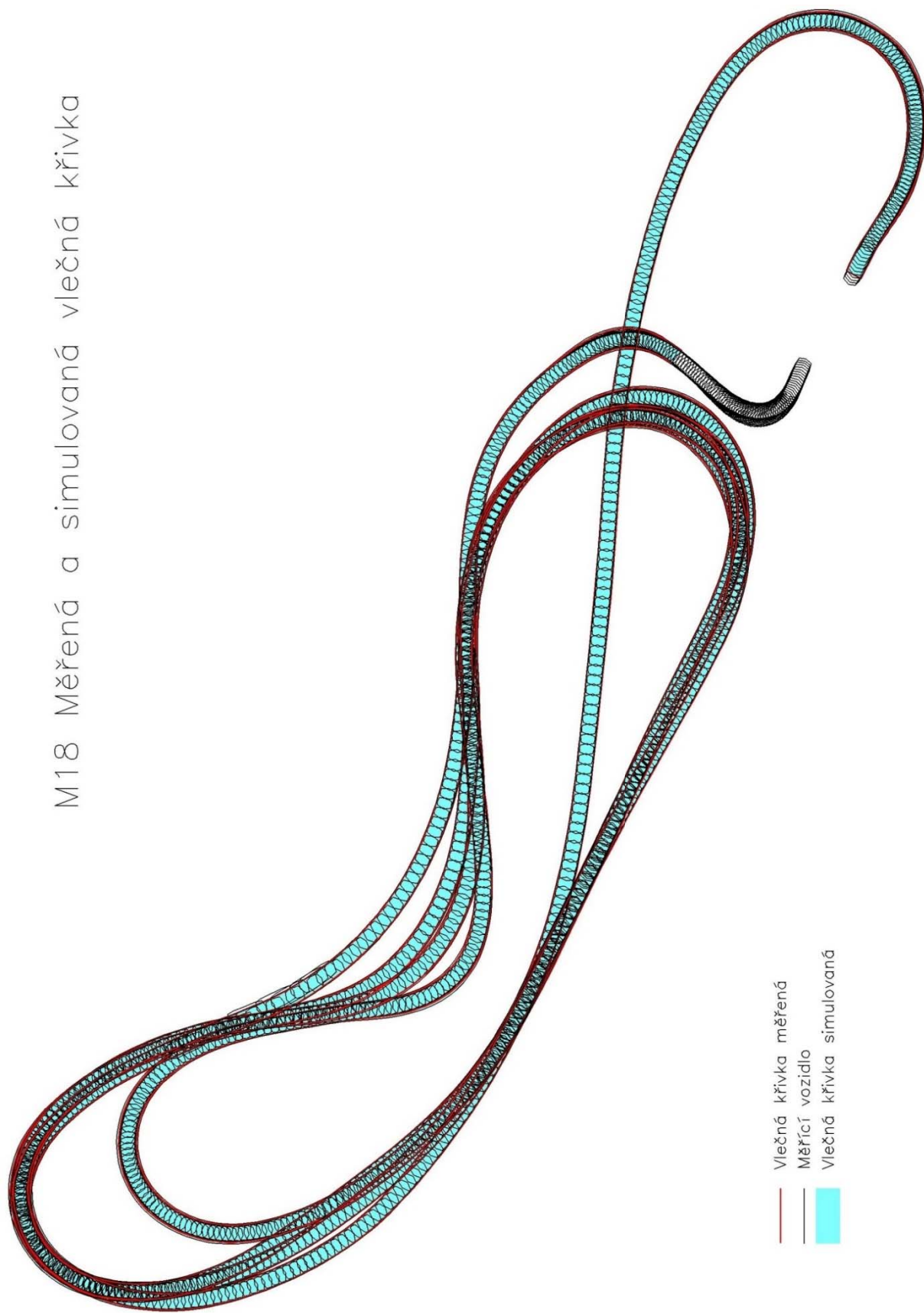
Obrázek 15 - Měření M16; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M17 Měřená a simulovaná vlečná křivka



Obrázek 16 - Měření M17; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

M18 Měřená a simulovaná vlečná křivka



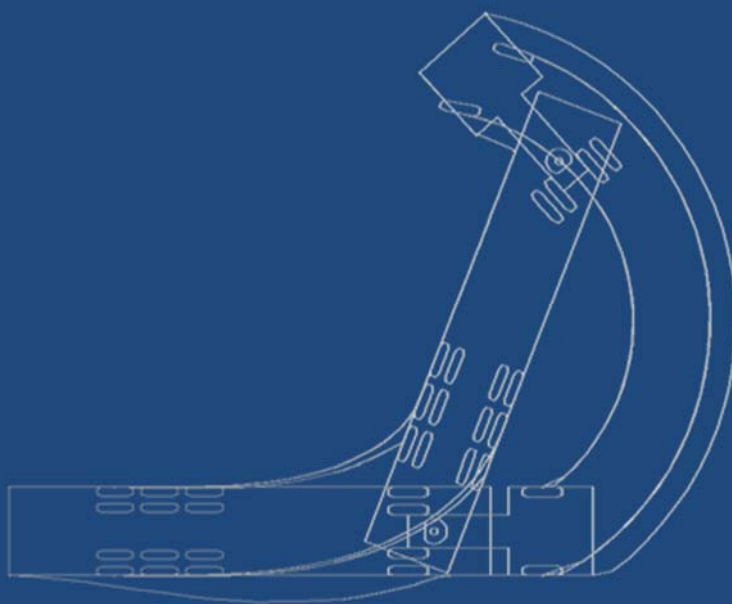
Obrázek 17 - Měření M18; srovnání měřené a simulované vlečné křivky

Příloha D – Metodika pro rozšíření jízdnic pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ

HBH PROJEKT SPOL. S R.O.

METODIKA PRO ROZŠÍŘENÍ JÍZDNÍCH PRUHŮ VE SMĚROVÝCH OBLOUCÍCH A APLIKACI VLEČNÝCH KŘIVEK VOZIDEL



BRNO, 2015

Metodika vznikla v rámci výzkumného projektu TA03031301 – Aktualizace návrhových prvků pozemních komunikací v intravilánu financovaného Technologickou agenturou České republiky, programem na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA.

Název: Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel

Autoři:

HBH projekt spol. s r.o.

Ing. Jiří Čepil, Ing. Ondřej Budík, Ing. Jaroslav Heinrich

Vysoké učení technické v Brně

Ing. Michal Radimský, Ph.D., Ing. Radka Matuszková, Ing. Martin Smělý, Ing. Michal Kosňovský

Recenzenti:

Ing. Petr Kumpošt, Ph.D. (ČVUT Fakulta dopravní)

Ing. Michal Caudr (Ředitelství silnic a dálnice ČR)

Brno 2015

ISBN 978-80-214-5308-1

OBSAH

ÚVOD	84
1. PŘEDMĚT METODIKY	85
2. SOUVISEJÍCÍ PŘEDPISY	85
3. TERMÍNY A DEFINICE	86
4. NÁVRHOVÁ VOZIDLA	87
5. ROZŠÍŘENÍ JÍZDNÍCH PRUHŮ VE SMĚROVÝCH OBLOUCÍCH.....	88
5.1 Výpočet rozšíření jízdních pruhů	88
5.2 Bezpečnostní odstup	88
5.3 Šířka vlečných křivek.....	90
5.4 metody rozšíření ve směrových obloucích	92
6. VLEČNÉ KŘIVKY A JEJICH APLIKACE.....	94
6.1 Pozemní komunikace.....	95
6.2 Křižovatky	95
6.3 Parkoviště, garáže, obratiště, sjezdy	101
6.4 Zásady pro použití SW	102

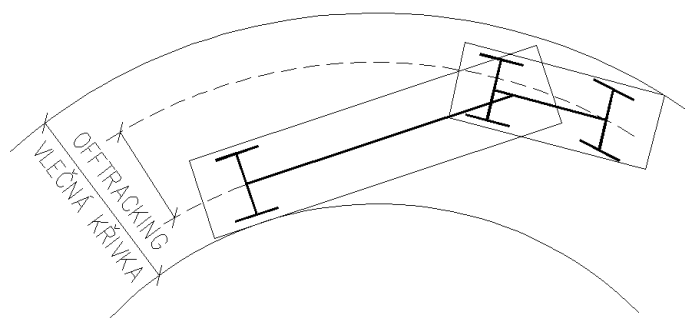
ÚVOD

Cílem metodiky je definovat rozšíření ve směrových obloucích v závislosti na dopravním významu pozemní komunikace a na středovém úhlu směrového oblouku. Dále pak definovat aplikaci vlečných křivek vozidel v křižovatkách, na parkovištích, v garážích apod.

Byť je metodika zaměřena na návrh pozemních komunikací v půdorysu (2D), je při návrhu nutné v přiměřené míře zohlednit také výškové řešení. Jedná se zejména o místa s velkým rozdílem podélných sklonů a současně malým nebo žádným poloměrem výškového oblouku (rampy v garážích a parkovacích domech, samostatné sjezdy apod.).

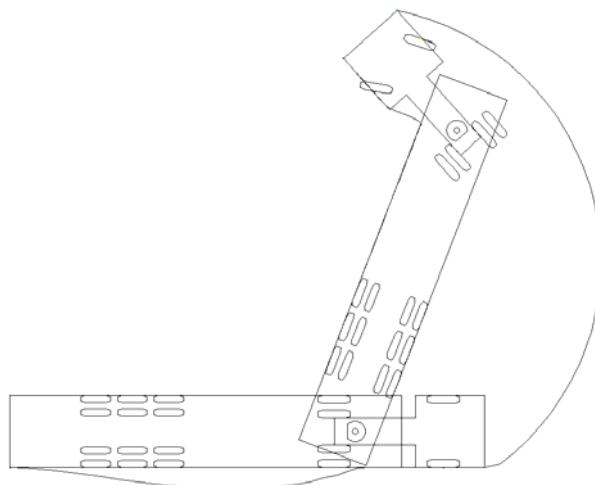
Šířka vlečné křivky vozidla v přímé je rovna šířce vozidla. Rozšíření vlečné křivky ve směrových obloucích je způsobeno jevem, který se v anglické literatuře nazývá „offtracking“. Jedná se o chování vozidla při průjezdu směrovým obloukem, kdy střed první nápravy vozidla opisuje křivku jiného poloměru než střed poslední nápravy. Důsledkem tohoto jevu je rozšíření vlečné křivky při průjezdu směrovým obloukem.

Hodnota offtrackingu je hlavním parametrem pro stanovení šířky vlečné křivky. Šířku vlečné křivky ovlivňuje poloměr směrového oblouku, středový úhel, konfigurace podvozku. Výslednou šířku vlečné křivky pak definují obalové křivky vnějšího obrysu pohybujícího se vozidla, viz obrázek 1.



Obr. 1 Průjezd vozidla směrovým obloukem – šířka vlečné křivky

Vlečné křivky vozidel (viz obrázek 2) se používají pro prověření průjezdu návrhového vozidla úrovnovými křižovatkami, zastávkami hromadné dopravy, přestupními terminály, parkovišti, garážemi, kolem dopravních ostrůvků. Dále pro posouzení směrových oblouků pozemních komunikací na jiná návrhová vozidla, než jsou uvedena v tabulce 1.



Obr. 2 Vlečná křivka

1. PŘEDMĚT METODIKY

Tato metodika platí pro návrh rozšíření jízdních pruhů silnic, místních komunikací a účelových komunikací ve směrových obloucích a ve větvích mimoúrovňových křižovatek.

Tato metodika dále platí pro prověření průjezdu vozidel pomocí vlečných křivek křižovatkami, zastávkami hromadné dopravy, přestupními terminály, parkovišti, garážemi, kolem dopravních ostrůvků apod.

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích se provádí podle ČSN 73 6101, ČSN 73 6102, ČSN 73 6108, ČSN 73 6109 a ČSN 73 6110 a TP 171. V těchto předpisech je však rozšíření definováno obecně.

Metodika oproti zmiňovaným předpisům při aplikaci rozšíření ve směrových obloucích zohledňuje středový úhel směrového oblouku, různá návrhová vozidla a dopravní význam pozemní komunikace.

2. SOUVISEJÍCÍ PŘEDPISY

- Zákon 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích
- Zákon 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích
- Vyhláška 104/1997 Sb. kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích
- ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty
- ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty
- ČSN 73 6056 Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel
- ČSN 73 6058 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže
- ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic
- ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích
- ČSN 73 6108 Lesní dopravní síť
- ČSN 73 6109 Projektování polních cest
- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
- TP 171 Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací

3. TERMÍNY A DEFINICE

Vlečná křivka – plocha ohraničená obalovými křivkami, které vyplývají ze směrodatného vnějšího obrysu vozidla a polohy náprav.

Vlečná plocha – přesnější, avšak nepoužívaný termín pro vlečnou křivku.

Rozšíření v oblouku – rozšíření jízdního pruhu vyplývající z vlečné křivky vozidla při průjezdu směrovým obloukem.

Obalová křivka – čára spojující směrodatný vnější obrys pohybujícího se vozidla.

Offtracking – chování vozidla při průjezdu směrovým obloukem, kdy střed první nápravy vozidla opisuje křivku jiného poloměru než střed poslední nápravy.

Bezpečnostní odstup – nezbytný bezpečnostní prostor mezi skladebními prvky různých druhů navzájem, mezi protisměrnými prvky, nebo mezi skladebními prvky a pevnou překážkou nebo zvýšenou obrubou; pro potřeby rozšíření jízdních pruhů a aplikaci vlečných křivek vozidel se jedná o toleranci při průjezdu vlečnou křivkou, která zahrnuje „boční pohybovou vůli při jízdě vozidla“, což je prostorová rezerva obrysu vozidla zahrnující vliv klopení vozovky a rozkmit konstrukce vozidla.

Středový úhel – úhel sevřený kolmicemi spuštěnými ze středu oblouku na strany směrového polygonu; je roven vnějšímu úhlu směrového polygonu

Směrodatná rychlost – je očekávaná rychlost osobních automobilů umožněná dopravně-technickým stavem určitého úseku silnice nebo dálnice, kterou nepřekračuje 85 % jinak neomezovaných řidičů na mokré vozovce – ČSN 736102. Rychlost pro posouzení návrhových prvků pozemních komunikací. Dovolená rychlost – nejvyšší rychlost stanovená zvláštním předpisem nebo místní či přechodnou úpravou provozu na pozemních komunikacích.

Mezní rychlost (dosažitelná) – rychlost, kterou lze dosáhnout při průjezdu daným motivem; aplikuje se v místech, kde je takové dopravně technické uspořádání, které nutí řidiče snížit rychlost.

Mimořádný průjezd – průjezd nadrozměrného, či takového vozidla, které vyžaduje zvláštní organizaci dopravy, či dočasné úpravy stavebního charakteru.

Nároží, nárožní oblouk - plocha trojúhelníkového tvaru mezi obloukem okraje vozovky úroňové křižovatky a vnějšími okraji přilehlých křižujících se jízdních pruhů, která umožňuje plynulé odbočení vpravo.

4. NÁVRHOVÁ VOZIDLA

Pro účely této metodiky se pro návrh pozemních komunikací uvažují návrhová vozidla podle tabulky 1:

Tabulka 1 – Návrhová vozidla

Označení	Návrhové vozidlo*	Délka (m)	Rozvor (m)	Převis vpředu (m)	Převis vzadu (m)	Šířka (m)	Výška (m)	Obrysový poloměr zatáčení vnější (m)
O1***	Osobní automobil	4,74	2,70	0,94	1,10	1,76	1,51	5,85
N2	Velký nákladní automobil (vozidlo pro odvoz odpadu, nákladní automobil, vozidlo HZS)	10,10	5,30	1,48	3,32	2,50**	3,80	10,05
NS	Návěsová souprava	16,50				2,5**		
	Tažné vozidlo	6,08	3,80	1,43	0,85	2,50	4,00	7,90
	Návěs	13,61	7,75	1,61	4,25	2,50	4,00	7,90
BUS15****	Dálkový a linkový autobus	14,95	6,95	3,10	4,90	2,50**	3,70	11,95
*Návrhová vozidla s parametry dle TP 171								
**Bez vnějších zrcátek								
***Pro parkoviště, garáže apod.								
****Pro zastávky hromadné dopravy, pro přestupní terminály apod.								

Rozměry vozidel a jejich manévrovací schopnosti definuje TP171.

Tabulka 2 – Návrhová vozidla v závislosti na kategorii pozemní komunikace

Kategorie pozemní komunikace*	Návrhové vozidlo
silnice I. třídy evropského významu (E)	NS
silnice I. třídy, místní rychlostní komunikace funkční skupiny A	NS
silnice II. a III. třídy, místní sběrné komunikace funkční skupiny B	NS
místní obslužné komunikace funkční skupiny C, místní komunikace funkční skupiny D1 a veřejné účelové komunikace	N2, NS**
*u rekonstrukcí je návrhové vozidlo voleno dle dopravního významu pozemní komunikaci a možností stávajícího stavu, alespoň však N2, doporučuje se NS	
**v průmyslových zónách a v jejich blízkosti	

Pro volbu návrhového vozidla v případě intravilánových komunikací je třeba vzít v potaz charakter okolní zástavby a předpokládaný účel dané komunikace. Pro místní/účelové komunikace v průmyslové zóně je nezbytné uvažovat s návrhovým vozidlem typu návěsová souprava, u intravilánových komunikací v obytné zástavbě uvažujeme jako největší vozidlo nákladní vozidlo N2 (svoz odpadu, vozidlo HZS).

V případě extravilánových komunikací se jako návrhové vozidlo uvažuje návěsová souprava, na silnicích I. třídy a silnicích evropského významu se doporučuje zohlednit možnost pohybu nadrozměrných vozidel.

Minimální šířka průjezdního prostoru je s ohledem na přístup vozidel hasičského záchranného sboru (HZS) rovna 3,5 m.

5. ROZŠÍŘENÍ JÍZDNÍCH PRUHŮ VE SMĚROVÝCH OBLOUCÍCH

S ohledem na větší prostorové nároky vozidel při průjezdu směrovým obloukem (viz obrázek 1 a 2) než při průjezdu přímým úsekem je zpravidla nutné ve směrových obloucích malých poloměrů ($R \leq 250$ m) rozšiřovat šířku jízdního pruhu.

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích se provádí na silnicích, místních a účelových komunikacích a větších mimoúrovňových křižovatek pro jízdní pruhy šířky $\leq 3,50$ m.

Bezpečná a ekonomická šířka jízdního pruhu je dána návrhovým vozidlem, přesněji šířkou vlečné křivky návrhového vozidla zvětšenou o bezpečnostní odstup.

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích se podle této kapitoly provádí pro návrhová vozidla, viz tabulka 1.

Pro pozemní komunikace, kde se předpokládá jízda vozidel s většími prostorovými nároky, než jaká jsou uvedena v tabulce 1 (např. nejdelší vozidlo dle zvláštního předpisu, kloubový autobus) se rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích provádí pomocí vlečných křivek.

5.1 VÝPOČET ROZŠÍŘENÍ JÍZDNÍCH PRUHŮ

Při návrhu vycházejícího ze simulace pohybu návrhového vozidla se šířka každého rozšířeného jízdního pruhu ve směrovém oblouku spočítá podle vzorce:

$$a_R = a_{VK} + b_{OVK} \quad (1)$$

a_R šířka rozšířeného jízdního pruhu [m]

a_{VK} šířka vlečné křivky [m], viz tabulky 4 – 6; a_{VK} v přímé = šířka vozidla

b_{OVK} bezpečnostní odstup [m], viz tabulka 3

Pozn.: Pokud je vyjde šířka rozšířeného jízdního pruhu menší než šířka jízdního pruhu odpovídající návrhové kategorii, považuje se kategoriální šířka za rozhodující.

Hodnota rozšíření pro každý jízdní pruh se počítá podle vzorce:

$$\Delta a = a_R - a = (a_{VK} + b_{OVK}) - a \quad (2)$$

Δa hodnota rozšíření [m]

a_R šířka rozšířeného jízdního pruhu [m] podle vzorce (1)

a šířka jízdního pruhu podle kategorie komunikace [m]

Rozšíření jízdního pruhu se provádí podle kapitoly 5.3.

5.2 BEZPEČNOSTNÍ ODSUP

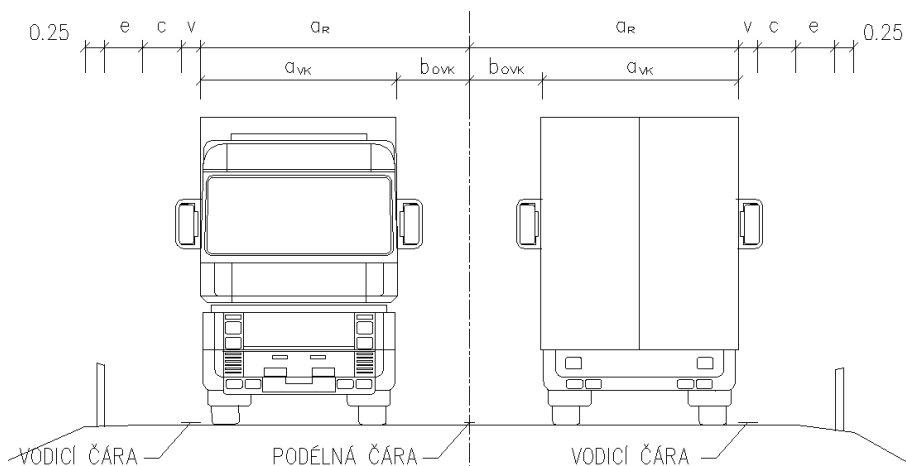
Bezpečnostní odstup (b_{OVK}) je nezbytný bezpečnostní prostor mezi skladebními prvky různých druhů navzájem, mezi protisměrnými prvky, nebo mezi skladebními prvky a pevnou překážkou nebo zvýšenou obrubou.

Pro potřeby rozšíření jízdních pruhů se jedná o toleranci při průjezdu vlečnou křivkou, která zahrnuje i „boční pohybovou vůli při jízdě vozidla“, což je prostorová rezerva obrysu vozidla zahrnující vliv klopení vozovky a rozkmit konstrukce vozidla.

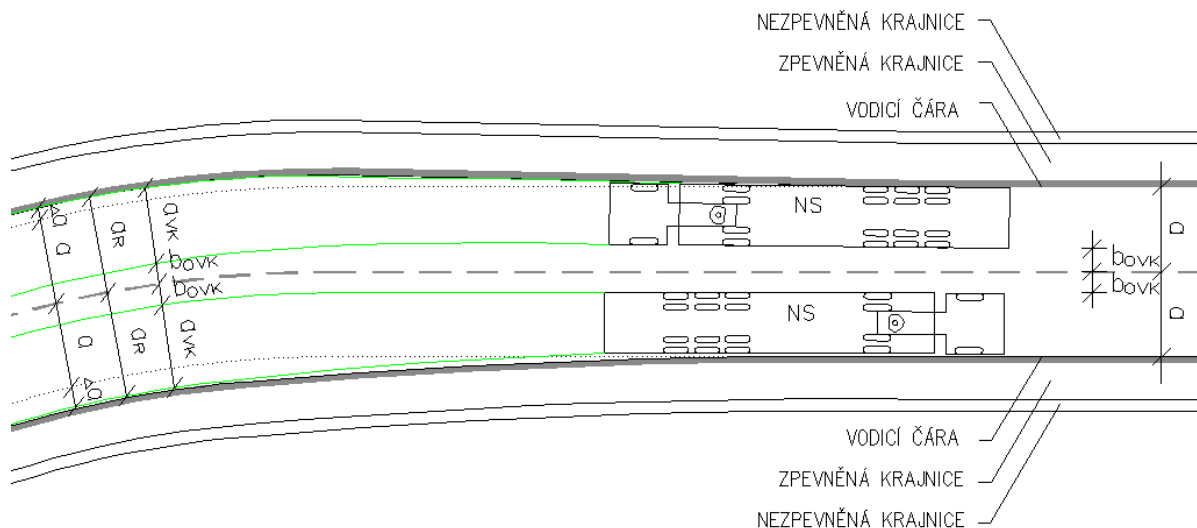
Tabulka 3 – Hodnota bezpečnostního odstupu (b_{OVK}) podle kategorie pozemní komunikace

Kategorie pozemní komunikace	Bezpečnostní odstup b_{OVK} *	
silnice I. třídy evropského významu (E)	1,00 m	
silnice I. třídy, místní rychlostní komunikace funkční skupiny A	0,75 m	
silnice II. a III. třídy, místní sběrné komunikace funkční skupiny B	0,50 m	
místní obslužné komunikace funkční skupiny C, místní komunikace funkční skupiny D1 a veřejné účelové komunikace	jednopruhové	0,25 m
	Dvou a vícepruhové	0,25 m**
* v odůvodněných případech lze hodnotu b_{OVK} snížit na 50 % (např. při omezení zástavbou, okolními pozemky, nevhodným terémem).		
** vlečné křivky v jednotlivých jízdních pruzích se mohou překrývat. Vždy musí být zajištěn alespoň průjezd vozidla N2 jízdním pásem.		

Bezpečnostní odstup b_{OVK} se při výpočtu rozšíření ve směrových obloucích vynáší na levou stranu, jelikož dle zákona 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích se na pozemních komunikacích jezdí vpravo, při pravém okraji vozovky.



Obr. 3 Příčný řez pozemní komunikací



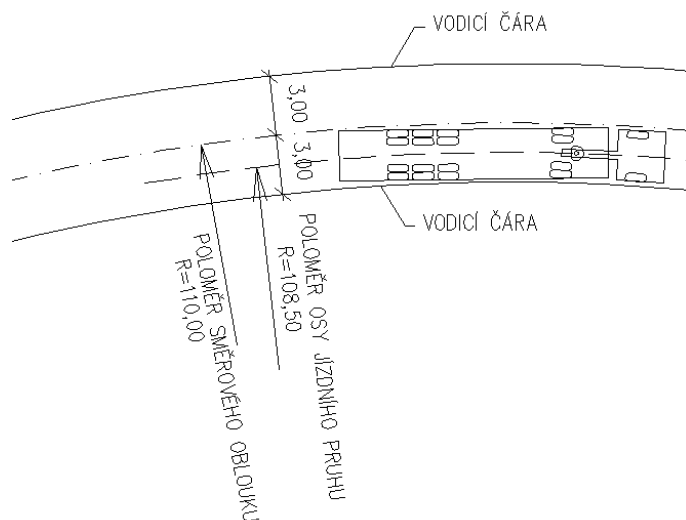
Obr. 4 Situace rozšíření ve směrovém oblouku

5.3 ŠÍŘKA VLEČNÝCH KŘIVEK

Vlečná křivka je plocha ohraničená obalovými křivkami, které vyplývají ze směrodatného vnějšího obrysu vozidla a polohy náprav. Šířka vlečné křivky (a_{VK}) je měřena v nejširším místě vlečné křivky, která je ovlivněna poloměrem směrového oblouku a středovým úhlem směrového oblouku.

Vlečná křivka se celou svou plochou musí vejít do jízdního pruhu ve směrovém oblouku, tj. od podélné čáry po vnitřní hranu vodící čáry, pokud není vodící čára, tak po hranu zpevnění/obrubu.

Poloměr oblouku vlečné křivky se určuje v ose jízdního pruhu, viz obrázek 5.



Obr. 5 Příklad určení poloměru oblouku v ose jízdního pruhu

Tabulka 4 – Šířky vlečných křivek (a_{vk}) v závislosti na poloměru a středovém úhlu směrového oblouku pro návrhové vozidlo N2

Středový úhel α	Poloměr oblouku v ose jízdního pruhu [m]												
	8,14	10	15	20	25	30	40	50	75	100	150	200	250
0°	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
5°	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,65	2,65	2,60
10°	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,95	2,80	2,75	2,70	2,65	2,60
20°	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,25	3,10	2,95	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60
30°	3,70	3,70	3,70	3,60	3,40	3,25	3,10	3,00	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60
40°	4,00	4,00	3,90	3,60	3,40	3,25	3,10	3,00	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60
50°	4,30	4,30	3,95	3,60	3,40	3,25	3,10	3,00	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60
60°	4,55	4,50	3,95	3,65	3,40	3,25	3,10	3,00	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60
70°	4,75	4,60	4,00	3,65	3,40	3,25	3,10	3,00	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60
80°	4,95	4,65	4,00	3,65	3,40	3,25	3,10	3,00	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60
90°	5,10	4,65	4,00	3,65	3,40	3,25	3,10	3,00	2,85	2,75	2,70	2,65	2,60

Tabulka 5 – Šířky vlečných křivek (a_{vk}) v závislosti na poloměru a středovém úhlu směrového oblouku pro návrhové vozidlo NS

Středový úhel α	Poloměr oblouku v ose jízdního pruhu [m]												
	6,02	10	15	20	25	30	40	50	75	100	150	200	250
0°	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
5°	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,80	2,75	2,70	2,70
10°	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,15	3,10	3,00	2,90	2,80	2,75	2,70
20°	3,80	3,80	3,80	3,75	3,65	3,55	3,40	3,30	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70
30°	4,35	4,35	4,25	4,05	3,90	3,75	3,50	3,35	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70
40°	4,85	4,85	4,60	4,25	4,05	3,85	3,55	3,40	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70
50°	5,35	5,30	4,80	4,40	4,15	3,90	3,60	3,40	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70
60°	5,85	5,60	4,95	4,50	4,20	3,95	3,60	3,40	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70
70°	6,35	5,85	5,10	4,60	4,25	4,00	3,60	3,40	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70
80°	6,85	6,10	5,20	4,65	4,25	4,00	3,60	3,40	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70
90°	7,30	6,30	5,30	4,70	4,30	4,00	3,60	3,40	3,10	2,95	2,80	2,75	2,70

Tabulka 6 – Šířky vlečných křivek (a_{vk}) v závislosti na poloměru a středovém úhlu směrového oblouku pro návrhové vozidlo BUS15

Středový úhel α	Poloměr oblouku v ose jízdního pruhu [m]												
	8,62	10	15	20	25	30	40	50	75	100	150	200	250
0°	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
5°	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
10°	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
20°	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,10	3,40	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
30°	5,00	5,00	5,00	4,90	4,65	4,35	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
40°	5,75	5,75	5,65	5,20	4,70	4,35	3,55	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
50°	6,50	6,50	5,95	5,25	4,70	4,35	3,60	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
60°	7,20	7,10	6,10	5,25	4,70	4,35	3,60	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
70°	7,90	7,55	6,10	5,25	4,70	4,35	3,60	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
80°	8,40	7,80	6,10	5,25	4,70	4,35	3,60	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
90°	8,75	7,95	6,10	5,25	4,70	4,35	3,60	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50

5.4 METODY ROZŠÍŘENÍ VE SMĚROVÝCH OBLOUCÍCH

Rozšíření jízdního pruhu se provádí vždy napravo ve směru jízdy, tj. vnitřní jízdní pruh se rozšiřuje na vnitřní stranu a vnější jízdní pruh na vnější stranu směrového oblouku.

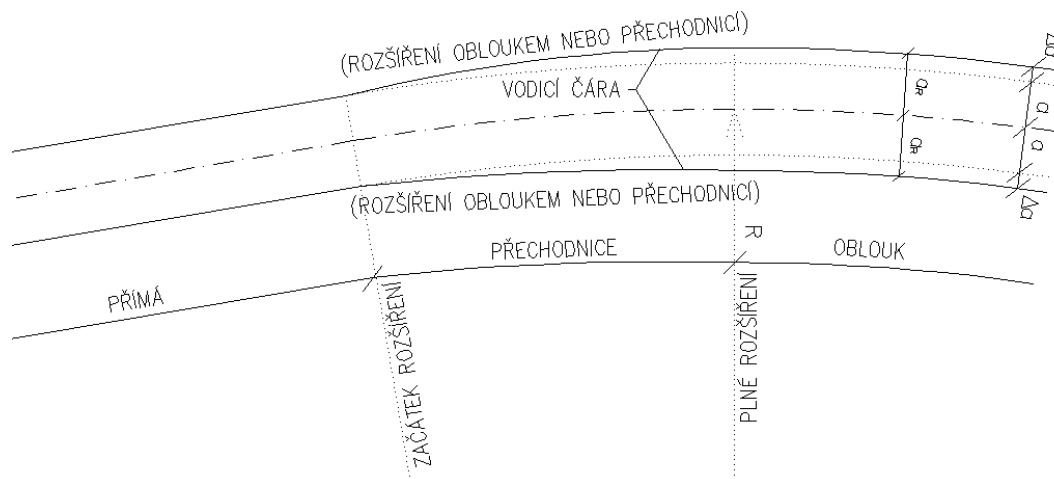
Po celé délce směrového oblouku má být jízdní pruh rozšířen dle kapitoly 5.1. Rozšíření se provádí lineárně, obloukem nebo po přechodnicí.

Přůběh rozšíření jízdních pruhů na vnější straně oblouku nesmí však být pohledově patrné, a to i v případě, že plné rozšíření nebude zcela zachováno ve stanovené hodnotě na začátku nebo na konci části oblouku.

Nejčastější způsoby konstrukce rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích jsou patrné z kapitol 5.4.1 a 5.4.2.

5.4.1 ROZŠÍŘENÍ KRUŽNICOVÉHO OBLOUKU S PŘECHODNICEMI

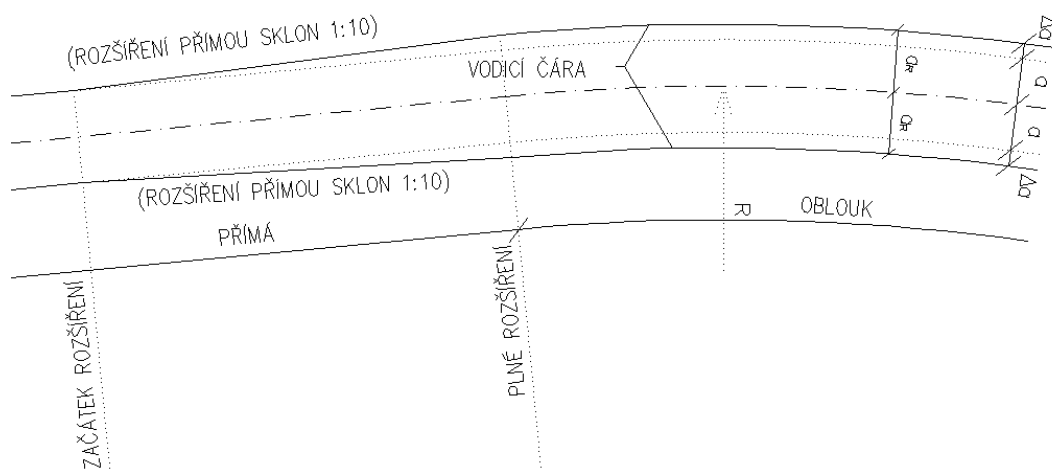
Rozšíření se provádí zpravidla na délku přechodnice. V případě přechodnic delších než 100 m lze provést rozšíření na délku $10 \times \Delta a$ od místa začátku rozšíření viz obrázek 7.



Obr. 6 Rozšíření jízdního pásu ve směrovém oblouku

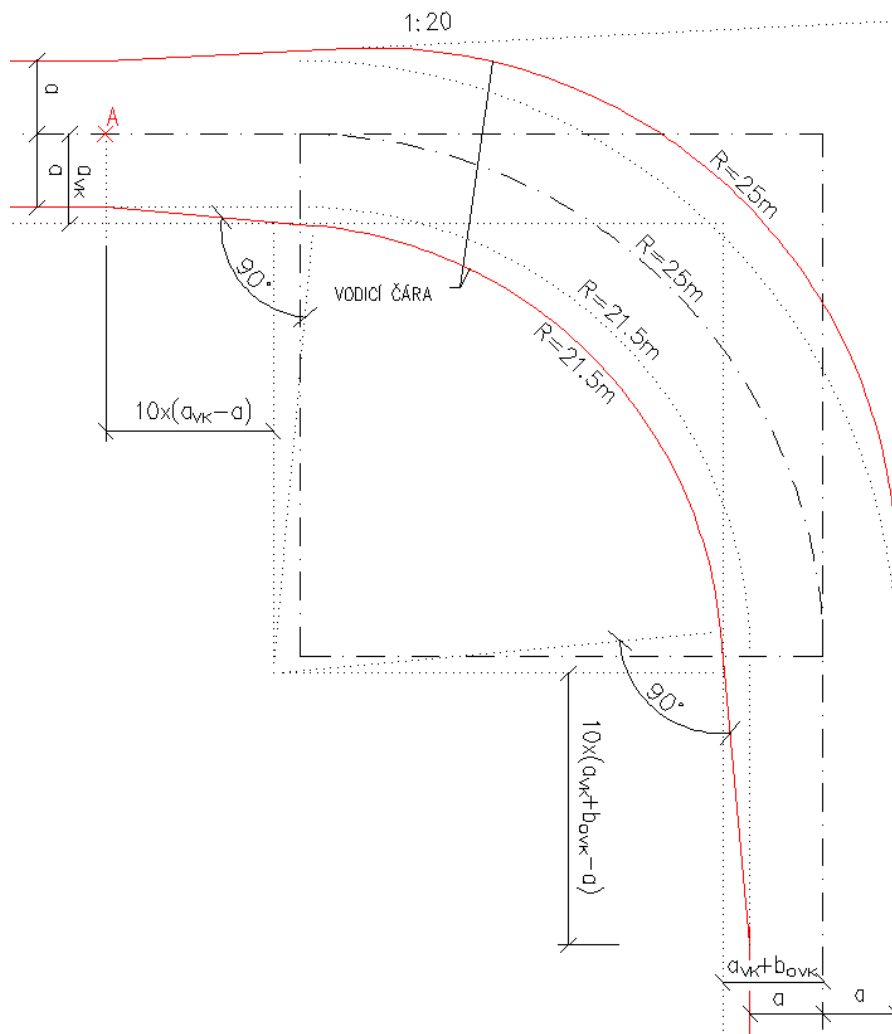
5.4.2 ROZŠÍŘENÍ PROSTÉHO KRUŽNICOVÉHO OBLOUKU

Rozšíření se provádí zpravidla na délku, která odpovídá sklonu rozšíření 1:10, tj. délka rozšíření je $10 \times \Delta a$ a končí na začátku směrového oblouku, viz obrázek 7.



Obr. 7 Rozšíření jízdního pásu ve směrovém oblouku

Optimální rozšíření jízdních pruhů v prostém kružnicovém směrovém oblouku je patrné z obrázku 8. Návrh rozšíření vychází z vlečných křivek a hodnota rozšíření se v průběhu směrového oblouku mění (není konstantní). Poloměry vnitřní a vnější vodící čáry (na obrázku červeně) mají různé vrcholy tečného polygonu. Konstrukce rozšíření začíná určením polohy bodu „A“, od kterého začínají náběhy rozšíření.

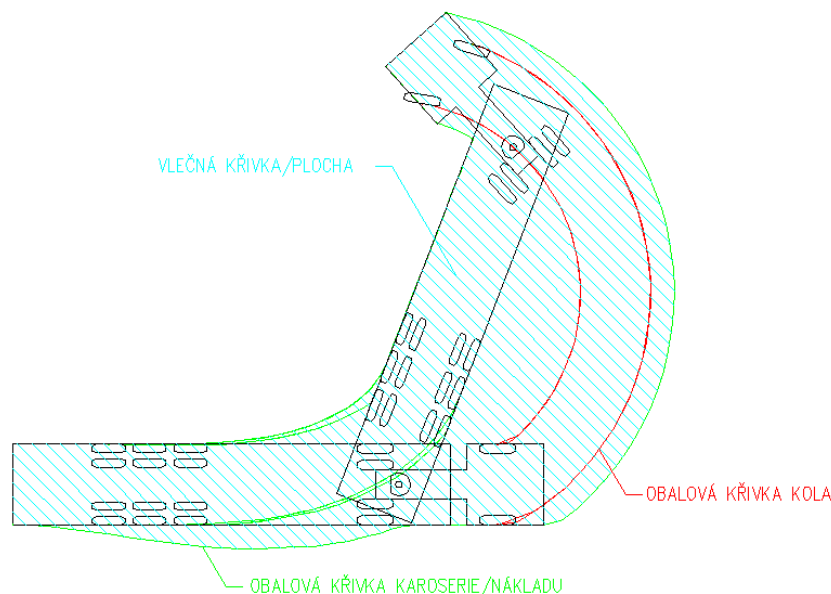


Obr. 8 Optimální rozšíření podle vlečných křivek (příklad směrového oblouku $R = 25 \text{ m}$, úhel 90°)

6. VLEČNÉ KŘIVKY A JEJICH APLIKACE

Pro posouzení průjezdu návrhového vozidla křižovatkami, zastávkami hromadné dopravy, přestupními terminály, parkovišti, garážemi, kolem dopravních ostrůvků apod. se používají vlečné křivky vozidel. Dále se vlečné křivky používají pro posouzení průjezdu a určení rozšíření ve směrových obloucích pro jiná vozidla, než jsou vozidla popsána v tabulce 1 (O1, N2, NS, BUS15).

Vlečná křivka je vnějším obalem jednotlivých obalových křivek hran karoserie, nákladu a kol/náprav viz obrázek 2 a reprezentuje prostorové nároky vozidla při průjezdu/manévru.



Obr. 9 Vlečná křivka vozidla

6.1 POZEMNÍ KOMUNIKACE

Rozšíření vozovky na pozemních komunikacích se pomocí vlečných křivek vozidel prověřuje v případech, kdy se na pozemní komunikaci předpokládá jízda vozidla s většími prostorovými nároky, než jaká jsou uvedena v tabulce 1 (např. nejdelší vozidlo dle zvláštního předpisu, kloubový autobus).

Rozšíření jízdního pásu se provádí obdobně jako v kapitole 5. Při aplikaci vlečných křivek platí bezpečnostní odstupy (b_{ovk}), viz tabulka 3.

Důležitým faktorem pro správný návrh pozemní komunikace je také intenzita dopravy. Pro místní komunikace funkční skupiny C a v odůvodněných případech také skupiny B, u silnic II. a III. třídy lze ve stísněných podmínkách spolu s nízkou výhledovou intenzitou nákladních vozidel připustit, aby část plochy vlečných křivek, ve směrových obloucích a křižovatkách, zasahovala do protisměrného jízdního pruhu, za předpokladu zajištěného rozhledu.

Při simulaci průjezdu směrovým obloukem je třeba vzít v potaz polohu vozidla vůči ose komunikace, hraně zpevnění či vodící čáře. Pro směrové oblouky v extravilánu a intravilánu se osa komunikace umísťuje zpravidla do středu jízdního pásu a nejmenší projížděný poloměr tak může být menší až o jednotky metrů, viz obrázek 10.

6.2 KŘÍŽOVATKY

Konstrukce nároží křižovatek a dopravních ostrůvků vychází z vlečných křivek.

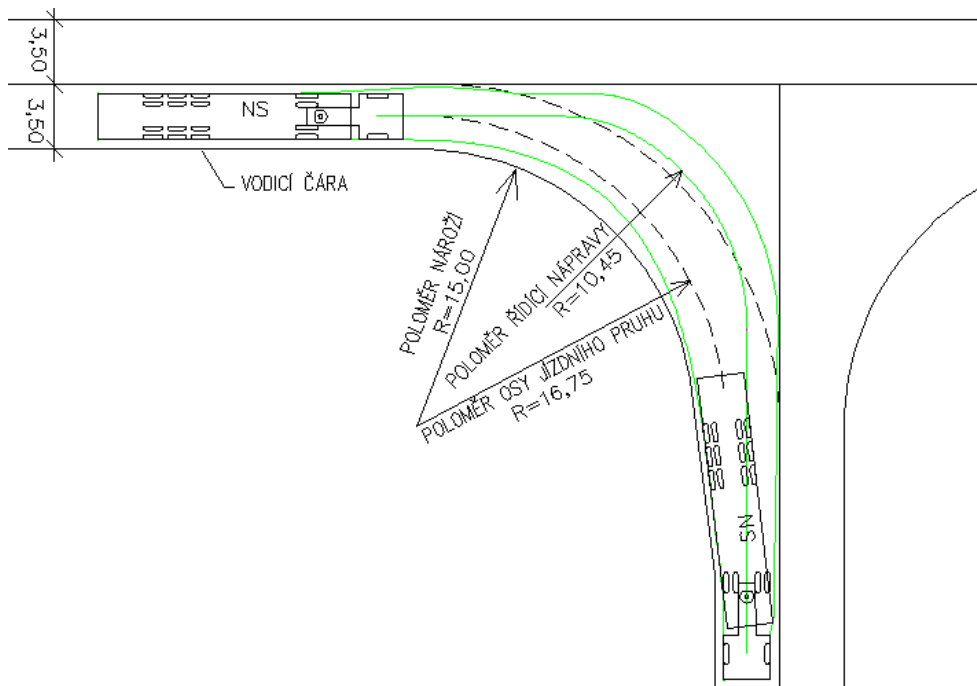
6.2.1 NÁROŽÍ ÚROVNĚVÝCH KŘÍŽOVATEK

Zvláštním případem rozšíření v oblouku je nároží úrovněvých křižovatek. Malý poloměr má vliv na šířku vlečné křivky a její průběh. Přibližně do poloviny manévru vlečná křivka na vnitřní straně kopíruje prostý kružnicový oblouk, při dokončování manévru se vlečná křivka (vozidlo) srovnává do přímé pozvolna. Toto srovnání lze

vést lineárně, prostým kružnicovým obloukem cca 4x většího poloměru než je poloměr nároží křižovatky nebo po přechodnici.

Poloměr směrového oblouku v nároží křižovatky by se měl pohybovat minimálně mezi 6 a 12 m.

U nárožních oblouků je obvykle uváděn poloměr v místě vodícího proužku, či obrubníku a projížděný poloměr je jiný. Z toho důvodu je při aplikaci vlečných křivek nutné zohlednit správný poloměr oblouku, viz obrázek 10.

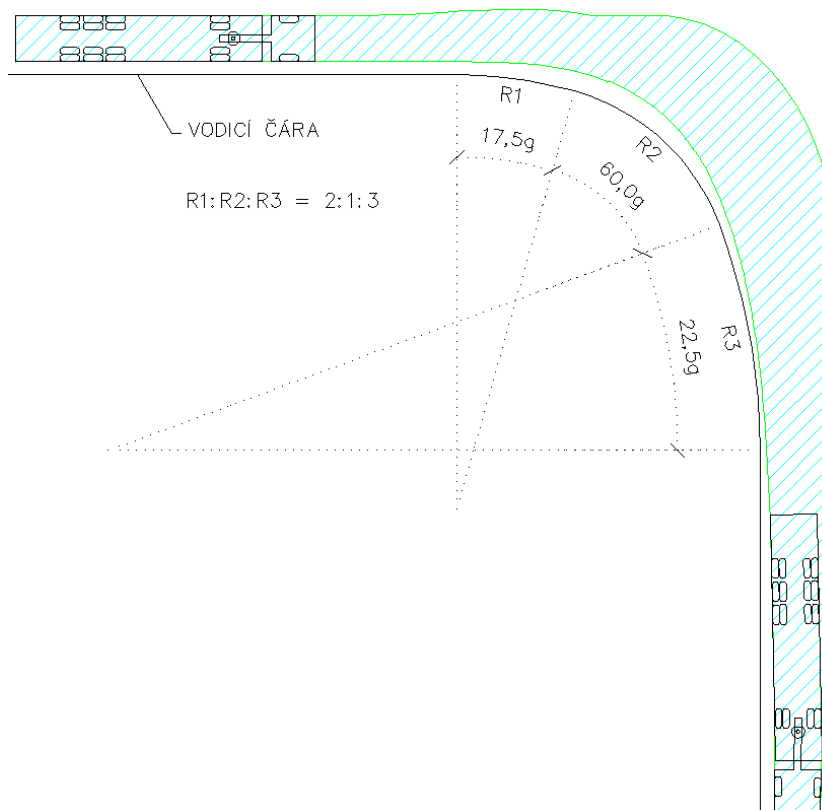


Obr. 10 Ilustrativní obrázek poloměrů při průjezdu nárožním obloukem

Poloměr nároží křižovatky ovlivňuje rychlost vozidel. Principem nároží křižovatek je vozidlo zpomalit malým poloměrem na vjezdu do křižovatky a naopak větším poloměrem vozidlu umožnit rychle křižovatku opustit.

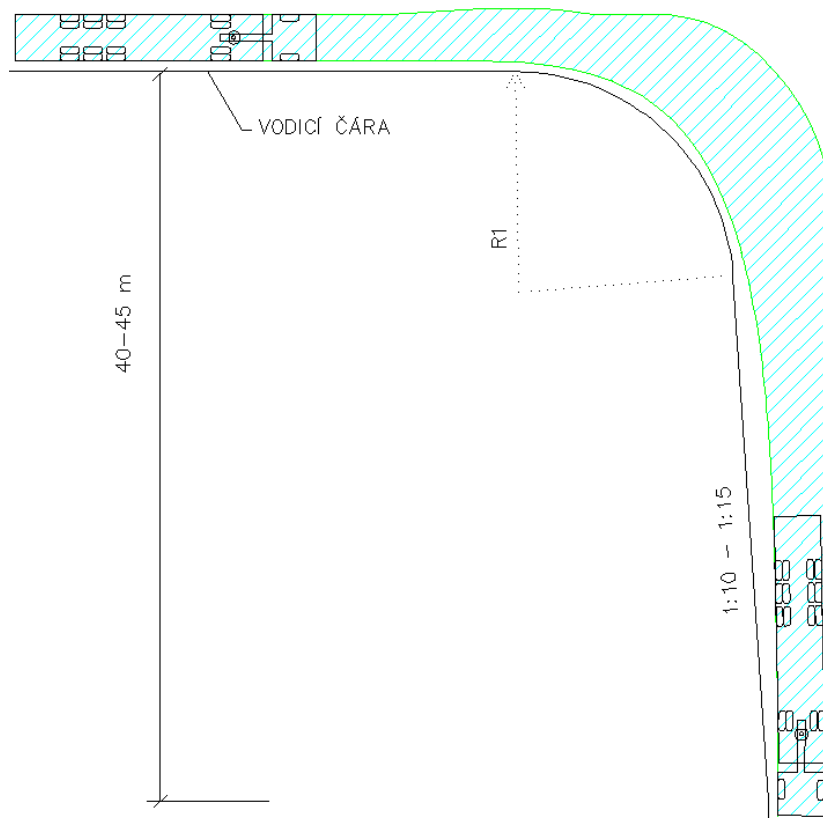
Pro takto malé poloměry se neprovádí rozšíření jako u větších poloměrů, nároží je pouze zaobleno příslušným poloměrem. ČSN 73 6102 připouští prostý kružnicový oblouk, složený kružnicový oblouk (viz obrázek 11), případně kružnicový oblouk s přechodnicemi. Prostý kružnicový oblouk však neodpovídá tvaru vlečné plochy a pro zajištění průjezdu je třeba volit oblouk většího poloměru, což není efektivní.

Doporučeným typem je nároží složené ze dvou prostých kružnicových oblouků, viz obrázek 13.



Obr. 11 Nároží křižovatky – složený oblouk $R_1:R_2:R_3 = 2:1:3$ (ČSN 73 6102)

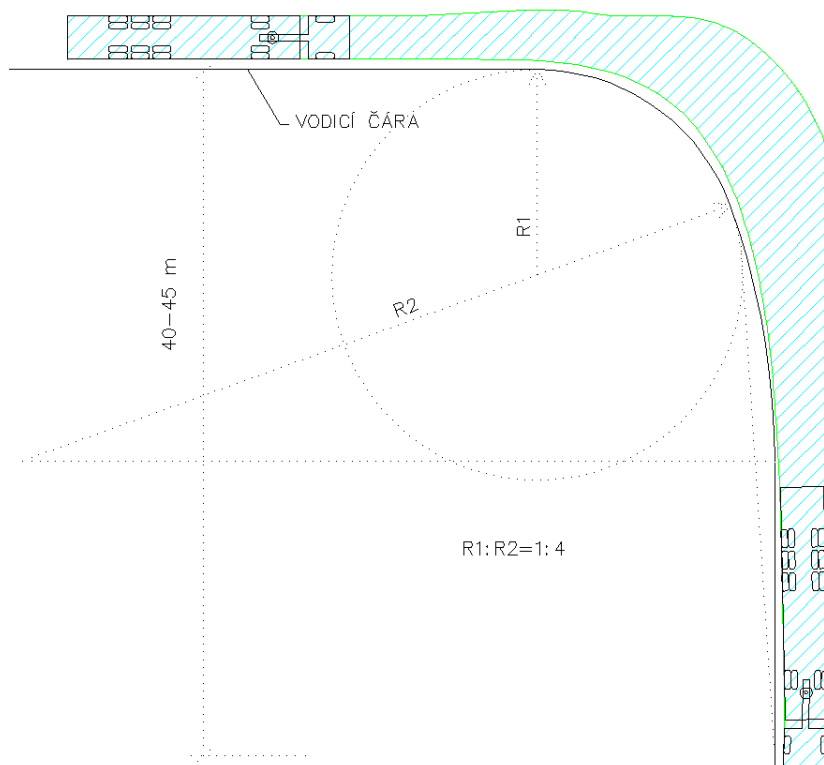
Efektivním způsobem jak navrhnout nároží křižovatky je kombinace prostého kružnicového oblouku a lineárního rozšíření. Tato úprava je konstrukčně méně náročná než složený kružnicový oblouk ze tří poloměrů (ČSN 73 6102) a současně dobře reflektuje tvar vlečné plochy, viz obrázek 12.



Obr. 12 Nároží křižovatky – prostý kružnicový oblouk s lineárním rozšířením

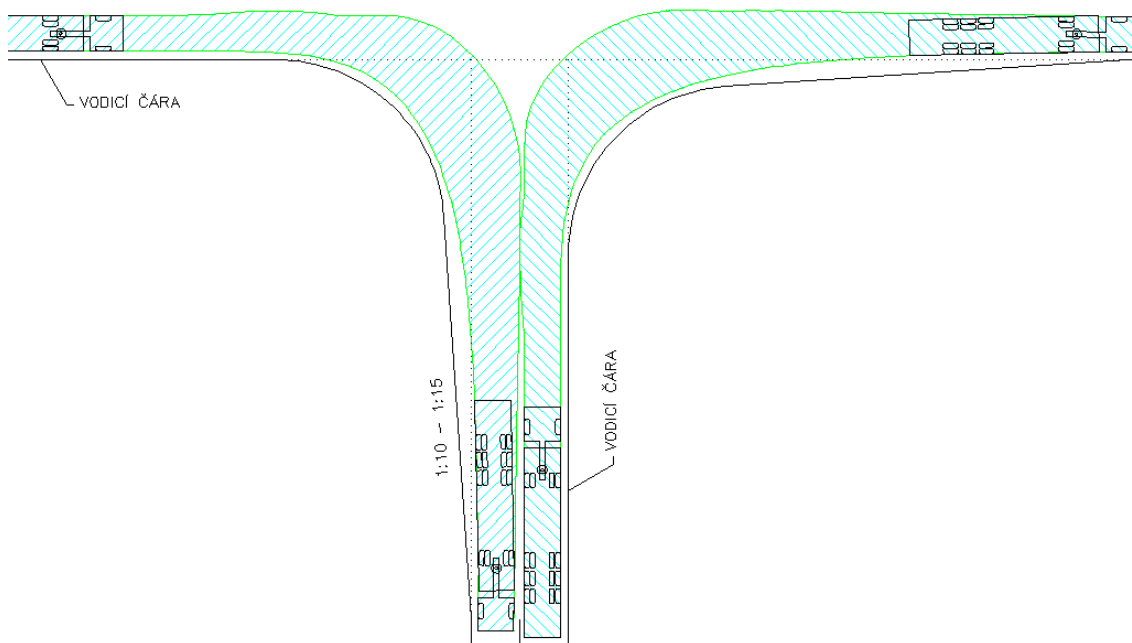
Z pohledu vlečných křivek je vhodnější navrhnout složený oblouk z poloměrů R_1 a R_2 , kdy $R_1:R_2 = 1:4$. Tento způsob konstrukce hrany nároží je patrný z obrázku 13.

Pro konstrukci tohoto motivu je nutné nejdříve navrhnout nároží s lineárním rozšířením, viz obrázek 12. Následně se místo lineárního náběhu vloží kružnicový oblouk (R_2).



Obr. 13 Nároží křižovatky – složený oblouk $R1:R2 = 1:4$

Při zohlednění směru jízdy je tak zřejmé, že nároží křižovatky není symetrické, viz obrázek 14.



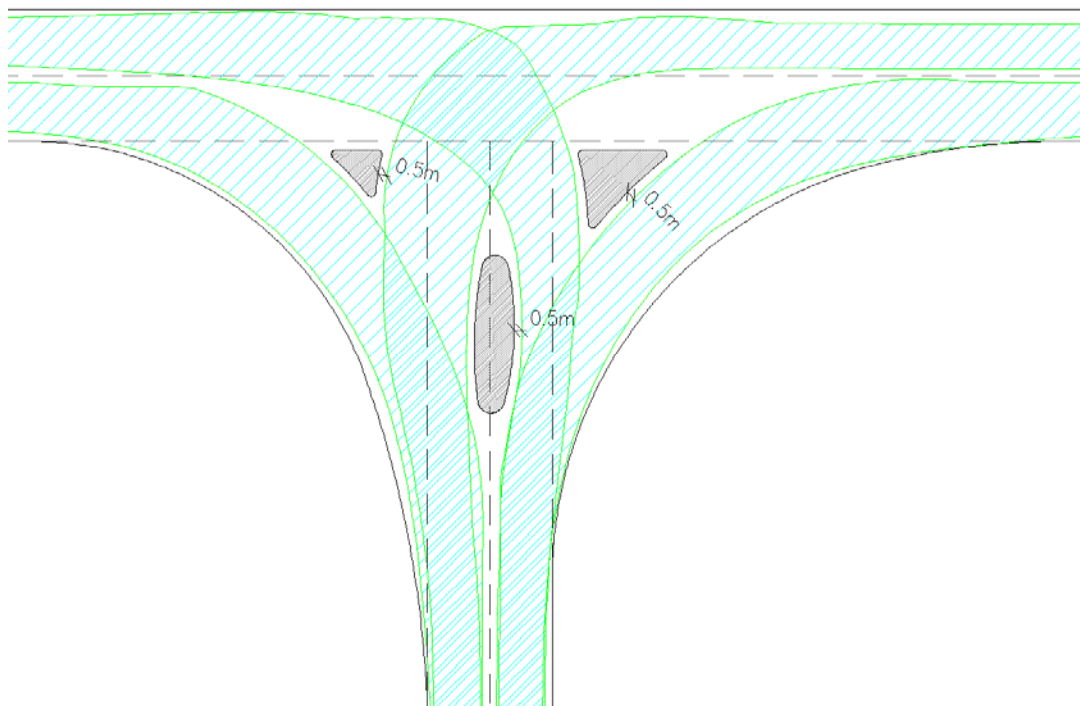
Obr. 14 Nároží křižovatky

6.2.2 DOPRAVNÍ OSTRŮVKY ÚROVŇOVÝCH KŘIŽOVATEK

Pro správný návrh křižovatky se doporučuje nejprve navrhnout dopravní ostrůvky (pokud se s nimi a vedlejší pozemní komunikací uvažuje) a až na jejich základě konstruovat nároží křižovatky.

V první fázi se nakreslí jízdní pásy hlavní a vedlejší pozemní komunikace (viz obrázek 15). Poté se s pomocí vlečných křivek odpovídajícího návrhového vozidla zkonstruují všechny křižovatkové pohyby a jejich vlečné křivky, které vymezí plochy možných dopravních ostrůvků (dělicí, směrovací, ochranné).

Výsledné plochy dopravních ostrůvků jsou odsazeny podle vlečných křivek o bezpečnostní odstup 0,5 m. Následně se navrhne nároží křižovatky podle bodu 6.2.1.



Obr. 15 Konstrukce dopravních ostrůvků a nároží křižovatky

Vždy je nezbytné dodržet odstup vlečné křivky od pevné překážky minimálně 0,50 m.

V odůvodněných případech a na komunikacích s nižším dopravním významem se připouští přesah vlečné křivky obrysu vozidla pro kategorie N2, NS a BUS15 přes vodicí čáru. Obalová křivka kol vozidla však vodicí čáru přesahovat nesmí.

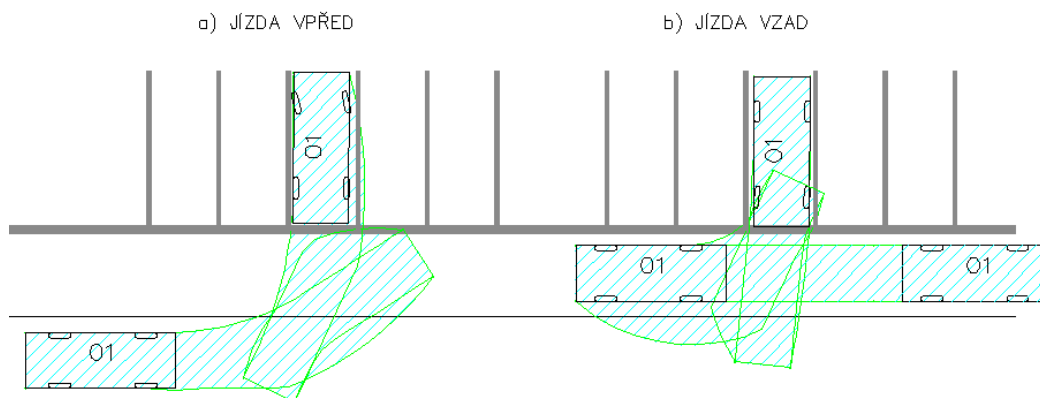
Důležitým faktorem pro správný návrh pozemní komunikace je také intenzita dopravy. Pro místní komunikace funkční skupiny C a v odůvodněných případech také skupiny B, u silnic II. a III. třídy lze ve stísněných podmínkách spolu s nízkou výhledovou intenzitou nákladních vozidel připustit, aby část plochy vlečných křivek, ve směrových obloucích a křižovatkách, zasahovala do protisměrného jízdního pruhu, za předpokladu zajištěného rozhledu.

6.3 PARKOVIŠTĚ, GARÁŽE, OBRATIŠTĚ, SJEZDY

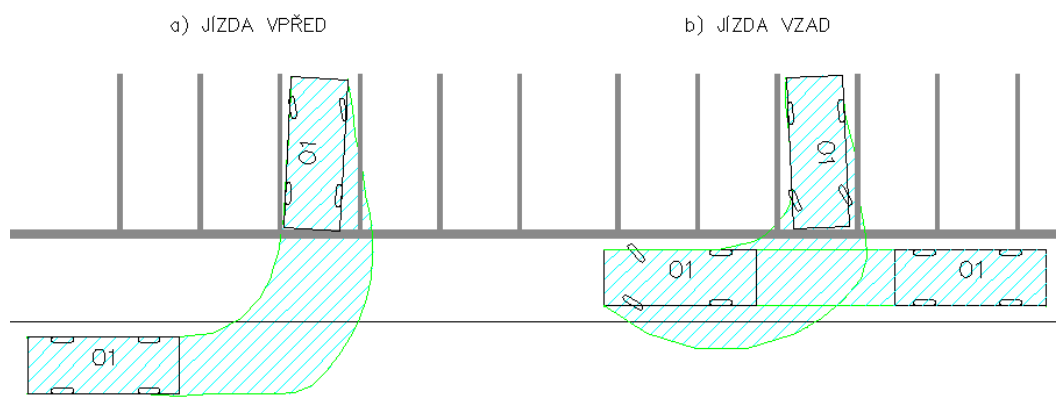
Specifikem parkovišť a obratišť je manévrování vozidel při malých rychlostech, využití couvání a natáčení kol při stání. Tyto manévry výrazně přispívají k redukci potřebné plochy a lze je s výhodou využít při návrzích parkovišť, parkovacích domů, koncových obratišť apod.

Při návrhu těchto ploch je třeba pečlivě zvážit největší návrhové vozidlo, přesněji dva druhy návrhových vozidel – běžné a mimořádné. Běžné vozidlo je takové, pro které je určena daná parkovací plocha, typicky osobní automobil (O1), dodávka (O2), a na toto vozidlo se navrhuje jednotlivá parkovací stání. Mimořádným vozidlem rozumíme vozidla HZS a technických služeb, pro které je třeba navrhnout jízdní pás hlavní přístupové komunikace, přičemž se neuvažuje s využíváním parkovacích stání těmito vozidly. Vozidlo HZS (kategorie N2) musí mít možnost přiblížení se k zásahu a vzdálenost od místa příjezdu k nejvzdálenějšímu bodu možného zásahu se řídí platnými předpisy.

Při konstrukci parkovacích stání lze zohlednit, zda se jedná o dlouhodobé parkování (u zaměstnání – doba stání více než 4 hod), příp. odstavování vozidel (v místě bydliště) nebo jde o parkoviště pro krátkodobé parkování (nákupní centra apod.). Pro dlouhodobá stání lze umožnit více manévrů, pro zajištění do parkovacího stání, jelikož na takovýchto parkovacích stáních je nízká obrátkovost. Naopak parkovací stání u nákupních center by měla umožnit nájezd bez nutnosti manévrování (střídání jízdy vpřed a vzad).



Obr. 16 Celodenní/dlouhodobé parkování – možnost užší přístupové komunikace a užších parkovacích stání



Obr. 17 Krátkodobé parkování

Při navrhování sjezdů je třeba pečlivě prověřit prostorové nároky pro odbočení a na jejich základě stanovit šířku sjezdu.

6.4 ZÁSADY PRO POUŽITÍ SW

Hlavní zásadou při simulaci průjezdu je snaha o co nejpřesnější nastavení simulovaných podmínek, výsledkem je pak přesnější představa o možnostech průjezdu navrženým motivem. Vedle potřeby prokázat, že daný motiv lze daným vozidlem projet, je důležité nalézt a eliminovat potenciální konflikty, které mohou při průjezdu vzniknout a těmto podmínkám přizpůsobit stavební stav.

Volba minimálního návrhového vozidla pro danou lokalitu vychází z tabulky 2; dále je nutné vybrat vhodnou metodu simulace pro danou úlohu. S výjimkou parkovišť, obratišť a obdobných ploch se doporučuje použít pro simulaci rychlost vyšší než 10 km/h. Možnost zastavení a statické natočení kol při vedení vozidla „z bodu do bodu“ používat pouze v odůvodněných případech, jelikož jízdními pruhy, vzniklými z takto vytvořených vlečných křivek, lze po realizaci stavby jen velmi těžko projíždět návrhovými vozidly.

Řidič při průjezdu nárožím či křižovatkou nemůže předpokládat potřebu nestandardního manévru a tvar nároží či uspořádání motivu by mělo v maximální míře průjezd usnadňovat. Z tohoto důvodu se doporučuje využívat standardních nástrojů simulačních programů.

Důležitou součástí zadání simulace je volba vhodného simulačního nástroje pro danou situaci (směrový oblouk v trase, nárožní oblouk, nárožní oblouk s nadjetím, atd.). V případě složených oblouků zpravidla vyhovuje simulace zadaná nejmenším poloměrem vodícího proužku/čáry/obruby; složený oblouk reflektuje linii vlečné křivky a SW simuluje průjezd prostým obloukem.