



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

GEOMETRIE POHYBU VOZIDLA A ROZMĚRY PARKOVACÍCH PLOCH

GEOMETRY OF VEHICLE TRAJECTORY AND DIMENSIONS OF PARKING LOTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Výstup

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR HOLCNER, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Výstup
Název	Geometrie pohybu vozidla a rozměry parkovacích ploch
Vedoucí práce	doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací

ČSN 73 6056 Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel

ČSN 73 6058 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Popište způsob konstrukce a výpočtu trajektorie vozidla a vykreslení takzvaných vlečných křivek. Definujte předpoklady výpočtu a ověřte jejich splnění na reálném vozidle. Shromážděte normové požadavky a předpisy pro geometrii a rozměry parkovacích a odstavných ploch. Ověřte tyto požadavky vzhledem k současnému vozovému parku a vzhledem ke geometrii pohybu vozidel. Porovnejte prostorovou efektivitu různých způsobů parkování. Navrhněte možné úpravy a změny.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce řeší problematiku matematického odvození vlečných křivek na základě geometrických vlastností vozidla uvedených výrobcem. Takto zjištěná data porovnává s hodnotami naměřenými při reálném pohybu vozidla. Následně se zabývá návrhem rozměrů parkovacích ploch v závislosti na úhlu řazení vozidel a šířce přilehlého jízdniho pruhu a takto navržená parkovací stání porovnává z hlediska jejich plochy. Toho lze využít především pro optimalizaci využití prostoru určeného pro parkování.

KLÍČOVÁ SLOVA

vlečné křivky, rozměry parkovacích stání, plocha parkovacích stání

ABSTRACT

This bachelor thesis solves the problem of mathematical derivation of turning path boundaries based on the vehicle's geometrical properties specified by the manufacturer. It compares this data with the values measured on the real vehicle movement. Subsequently, it deals with the design of the dimensions of parking lots in relation to the angle of standing position of the vehicles and the width of the road. It compares the area of the parking spaces so designed in terms of their area. This can be used primarily to optimize the use of parking space.

KEYWORDS

turning path boundaries, parking space dimensions, parking space area

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jan Výstup *Geometrie pohybu vozidla a rozměry parkovacích ploch*. Brno, 2019. 55 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Geometrie pohybu vozidla a rozměry parkovacích ploch* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2019

Jan Výstup
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Holcnerovi, Ph.D. za poskytnuté rady a odborné vedení při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat mé rodině a známým, bez jejichž podpory by tato práce nemohla vzniknout.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	ROZMĚRY PARKOVACÍCH STÁNÍ V NORMÁCH A PŘEDPÍSECH	11
2.1	ZÁKLADNÍ ROZMĚRY VOZIDEL.....	11
2.1.1	Ověření základních rozměrů osobních vozidel vzhledem k současnému vozovému parku	13
2.2	NEJMENŠÍ DOVOLENÉ Odstupy vozidla od překážky či vedlejšího vozidla	14
2.3	VLEČNÉ KŘIVKY	15
2.4	NORMOVÉ ROZMĚRY PARKOVACÍCH STÁNÍ.....	16
2.4.1	Parkovací stání s podélným řazením pro osobní a lehká užitková vozidla.....	16
2.4.2	Parkovací stání s kolmým řazením pro jednotlivé a řadové garáže	16
2.4.1	Parkovací stání s kolmým a šikmým řazením vozidel pro osobní a lehká užitková vozidla	18
3	PŘEDPOKLADY VÝPOČTU VLEČNÉ KŘIVKY	20
4	POSTUP VÝPOČTU VLEČNÉ KŘIVKY	23
4.1	TRAJEKTORIE VEDENÉHO BODU	23
4.1.1	Pohyb bodu po přímce	24
4.1.2	Pohyb bodu po kružnici	25
4.2	ÚHEL VOZIDLA.....	26
4.3	NÁHLÁ ZMĚNA TRAJETORIE VEDENÉHO BODU	27
4.4	POLOHA VOZIDLA	27
4.5	OBALOVÉ KŘIVKY.....	28
5	POPIS VZNIKU VLEČNÉ KŘIVKY PŘI PARKOVÁNÍ	30
5.1	PARKOVÁNÍ JÍZDOU VPŘED.....	30
5.2	PARKOVÁNÍ COUVÁNÍM	33
6	POROVNÁNÍ VLEČNÝCH KŘIVEK ZJIŠTĚNÝCH SIMULACÍ A MĚŘENÍM	35
6.1	ÚDAJE O VOZIDLE POUŽITÉM PRO POROVNÁNÍ VLEČNÝCH KŘIVEK.....	35
6.2	SIMULACE VLEČNÝCH KŘIVEK VÝPOČTEM.....	35
6.2.1	Výsledky simulace pohybu vozidla po kružnici	36
6.2.2	Výsledky simulace pohybu vozidla při parkování pod úhlem 90°	37
6.3	MĚŘENÍ POHYBU VOZIDLA.....	38
6.3.1	Výsledky měření pohybu vozidla po kružnici	43
6.3.2	Výsledky měření pohybu vozidla při parkování pod úhlem 90°	44

6.4	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACE POHYBU VOZIDLA S VÝSLEDKY MĚŘENÍ	45
6.4.1	Porovnání pohybu vozidla po kružnici	45
6.4.2	Porovnání pohybu vozidla při parkování pod úhlem 90°	46
7	NÁVRH ROZMĚRŮ PARKOVACÍCH STÁNÍ.....	47
7.1	Postup návrhu rozměrů parkovacích stání	47
7.2	Navržené rozměry parkovacích stání pro osobní vozidlo	48
7.3	Porovnání využití prostoru parkovacích stání	50
8	ZÁVĚR	54
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55

1 ÚVOD

Současně platné normy poskytují tabelované rozměry parkovacích stání pouze pro vybrané způsoby parkování vozidel o základních rozměrech. V ostatních případech se odkazují na použití takzvaných vlečných křivek vozidla, které vycházejí z geometrie pohybu daného vozidla.

Tato bakalářská práce si klade za cíl především objasnění vzniku vlečných křivek při pohybu vozidla a sestavení výpočtů, které povedou k vykreslení vlečných křivek pro vozidlo zvolených rozměrů s libovolnou trajektorií jízdy. Výsledky výpočtů budou porovnány se skutečným průběhem vlečných křivek vozidla.

Dalším cílem je, na základě modelovaných vlečných křivek, navrhnout rozměry parkovacích stání s řazením vozidel pod zvolenými úhly a porovnat prostorovou efektivitu jednotlivých způsobů řazení.

2 ROZMĚRY PARKOVACÍCH STÁNÍ V NORMÁCH A PŘEDPÍSECH

Navrhováním odstavných a parkovacích ploch z hlediska jejich rozměrů a rozměrů přilehlých komunikací se přímo zabývá norma ČSN 73 6056 - *Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel*. Na ni navazuje norma ČSN 73 6058 – *Jednotlivé, řadové a hromadné garáže*.

Způsob, jakým jsou stanovovány rozměry parkovacích stání a přilehlých komunikací, je popsán v normě ČSN 73 6056 *odstavci 5.1.1 následovně*:

Šířka příjezdových komunikací a rozměry parkovacích stání jsou odvozeny od rozměrů směrodatných vozidel, nezbytných bezpečnostních odstupů od pevných překážek a okolních ploch, způsobu parkování (jízda vpřed, jízda vpřed s nadjetím, couvání), prostoru za vozidlem (manipulace s přepravovanými zavazadly) a bočních odstupů mezi vozidly pro nástup a výstup přepravovaných osob. [1]

2.1 ZÁKLADNÍ ROZMĚRY VOZIDEL

Základní rozměry vozidel, které jsou definovány v normě ČSN 73 6056, vychází ze složení vozového parku používaného v České republice. Vozidla jsou rozdělena do jednotlivých druhů a těm jsou následně přiřazeny odpovídající rozměry.

Druhy vozidel	Délka (m)	Šířka bez zpětných zrcátek (m)	Výška (m)
Osobní	4,75	1,75	1,80
Lehké užitkové (Dodávka)	6,00	2,00	2,80
Velké nákladní ^{*)}	18,75	2,50 ^{***)}	4,20
Autobus ^{**)}	15,00	2,50	4,00
Motocykl	2,50	1,10	1,20
Jízdní kolo	1,80	0,60	1,10

^{*)} Souprava motorového vozidla s jedním přívěsem podle příslušného právního předpisu.¹⁾
^{**)} Autobus se třemi a více nápravami podle příslušného právního předpisu.¹⁾
^{***)} Základní šířka vozidla pro návrh parkovacího stání; pokud je šířka vozidla větší než 2,60 m, šířka parkovacího stání se odpovídajícím způsobem zvětší.

Obrázek 1: Základní rozměry vozidel [1]

Technické podmínky TP 171 pak definují směrodatná vozidla, o nichž uvádějí podrobnější geometrické charakteristiky.

Směrodatná vozidla reprezentují rozměrovou skupinu (resp. kategorii) motorových vozidel a reflektují aktuální a očekávané složení vozového parku. Směrodatné vozidlo je vozidlo, jehož rozměry nepřekračuje 85 % vozidel příslušné skupiny, resp. 15 % překračuje. [2]

Druh vozidla	Vnější rozměry						
	Délka	Rozvor	Převisy		Šířka	Výška	Obrysový poloměr zatáčení vnější
			vpředu	vzadu			
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Osobní automobil:	4,74 (4,34)	2,70	0,94	1,10	1,76 (1,68)	1,51	5,85 (5,65)
Nákladní automobil:							
Dodávka / obytný automobil	6,89	3,95	0,96	1,98	2,17	2,70	7,35
Malý nákladní (2 nápravy)	9,46	5,20	1,40	2,86	2,29	3,80	9,77
Velký nákladní (3 nápravy) ¹⁾	10,10	5,30 ¹⁾	1,48	3,32	2,50 ¹⁾	3,80	10,05
Prívěsová souprava:	18,71						
Tažné vozidlo (3 nápravy) ¹⁾	9,70	5,287 ¹⁾	1,50	2,92	2,50 ¹⁾	4,00	10,30
Prívěs (2 nápravy)	7,45	4,84	1,35 ¹⁾	1,26	2,50	4,00	10,30
Návěsová souprava:	16,50						
Tažné vozidlo (2 nápravy)	6,08	3,80	1,43	0,85	2,50 ¹⁾	4,00	7,90
Návěs (3 nápravy)	13,61	7,75	1,61	4,25	2,50	4,00	7,90
Autobusy:							
Dálkový a linkový autobus 12,00 m ²⁾	12,00	5,80	2,85	3,35	2,50 ¹⁾	3,70 ¹⁾	10,50
Dálkový a linkový autobus 13,70 m ²⁾	13,70	6,35 ²⁾	2,87	4,48	2,50 ¹⁾	3,70 ¹⁾	11,25
Dálkový a linkový autobus 15,00 m ²⁾	14,95	6,95 ²⁾	3,10	4,90	2,50 ¹⁾	3,70 ¹⁾	11,95
Kloubový autobus ²⁾	17,99	5,98; 5,99	2,65	3,37	2,50 ¹⁾	2,95	11,80
Vozidla pro odvoz odpadu:							
2 nápravy	9,03	4,60	1,35	3,08	2,50 ¹⁾	3,55	9,40
3 nápravy	9,90	4,77 ¹⁾	1,53	3,60	2,50 ¹⁾	3,55	10,25
3 nápravy ²⁾	9,95	3,90	1,35	4,70	2,50 ¹⁾	3,55	8,60
Limity rozměrů podle vyhl. 341/2002 Sb.:							
Motorové vozidlo s výjimkou autobusu	12,00						
Prívěs	12,00						
Prívěsová souprava	18,75				2,55 ^{1) 5)}	4,00 ¹⁾	12,50
Návěsová souprava	16,50						
Autobus	15,00						
Kloubový autobus dvoučlankový	18,00						

Obrázek 2: Geometrické charakteristiky směrodatných vozidel [2]

2.1.1 Ověření základních rozměrů osobních vozidel vzhledem k současnému vozovému parku

Podle statistiky Svazu dovozců automobilů byla v roce 2018 nejčastěji nově registrovaná tato vozidla:

Tabulka 1: Nejčastěji registrovaná nová vozidla v ČR v roce 2018 [3]

Typ vozu	Počet nově registrovaných vozidel	Podíl na celkovém počtu nově registrovaných vozidel
Škoda OCTAVIA	25 834	9,88%
Škoda FABIA	21 080	8,06%
Škoda RAPID	14 353	5,49%

Rozměry a geometrické vlastnosti těchto vozidel uvádí tabulka 2.

Tabulka 2: Rozměry vozů Škoda OCTAVIA, Škoda FABIA a Škoda RAPID [4]

Škoda OCTAVIA COMBI

Délka	4 667 mm
Šířka	1 814 mm
Rozvor	2 667 mm
Poloměr zatáčení	5,3 m

Škoda FABIA COMBI

Délka	4 262 mm
Šířka	1 732 mm
Rozvor	2 455 mm
Poloměr zatáčení	5,2 m

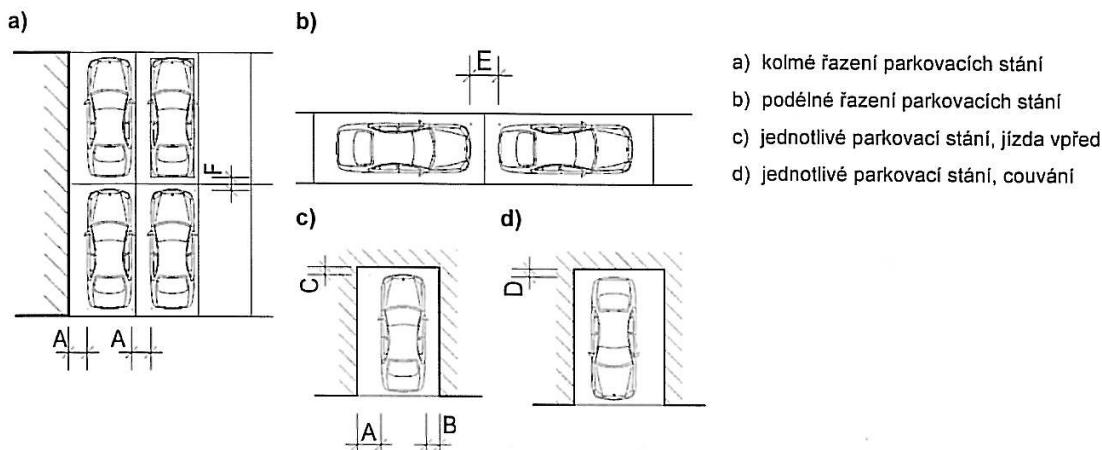
Škoda RAPID

Délka	4 483 mm
Šířka	1 706 mm
Rozvor	2 589 mm
Poloměr zatáčení	5,45 m

Porovnáním rozměrů uváděných vozidel s údaji v obrázcích 1 a 2 zjistíme, že základní rozměry svou šířkou překračuje pouze Škoda OCTAVIA COMBI a to konkrétně o 54 mm. Rozvor a poloměr otáčení pak nepřekračuje ani jedno z uvedených vozidel.

2.2 NEJMENŠÍ DOVOLENÉ ODSTUPY VOZIDLA OD PŘEKÁŽKY ČI VEDLEJŠÍHO VOZIDLA

Dalším prvkem, který hraje roli při návrhu rozměru parkovacího stání, jsou nejmenší dovolené odstupy od pevné překážky či od sousedního vozidla. Tyto odstupy vytváří prostorovou rezervu pro provedení parkovacího manévru a také zajišťují možnost přístupu k zaparkovanému vozidlu.



Obrázek 3: Odstupy vozidla od pevné překážky a odstupy mezi vozidly [1]

Délka odstupu (m)		Kategorie vozidel				
		Osobní	Lehké užitkové (dodávka)	Nákladní	Autobus	Motocykl
Mezi pevnou překážkou a bokem vozidla na straně řidiče, mezi vozidly vedle sebe	A	0,75	0,75	1,00	1,00	0,50
Mezi pevnou překážkou a bokem vozidla na opačné straně řidiče	B	0,40	0,40	1,00	1,00	
Mezi čelem vozidla a pevnou překážkou	C	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25
Mezi koncem vozidla a pevnou překážkou	D	0,25	0,50	1,00	1,00	0,25
Mezi dvěma vozidly při podélném řazení	E	1,00	1,00	1,00	1,00	x
Mezi dvěma vozidly za sebou	F	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50

Obrázek 4: Nejmenší odstupy vozidla od pevné překážky a odstupy mezi vozidly [1]

2.3 VLEČNÉ KŘIVKY

Posledním prvkem nutným pro návrh rozměrů parkovacích stání jsou průběhy vlečných křivek. Ty jsou blíže definovány v *TP 171 – Vlečné křivky pro ověření průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací* v odstavci 1.1 takto:

Při průjezdu směrovým obloukem jsou přední kola motorového vozidla vedena převážně v linii, kterou řidič udává volantem, zatímco zadní kola se pohybují v závislosti na rozměrech motorového vozidla a způsobu jízdy po křivce bližší vnitřní straně oblouku. Tento průběh pohybu vede ke vzniku charakteristického srpovitého rozšíření plochy překrývané motorovým vozidlem při průjezdu směrovým obloukem. Tuto plochu nazýváme vlečnou křivkou. [2]

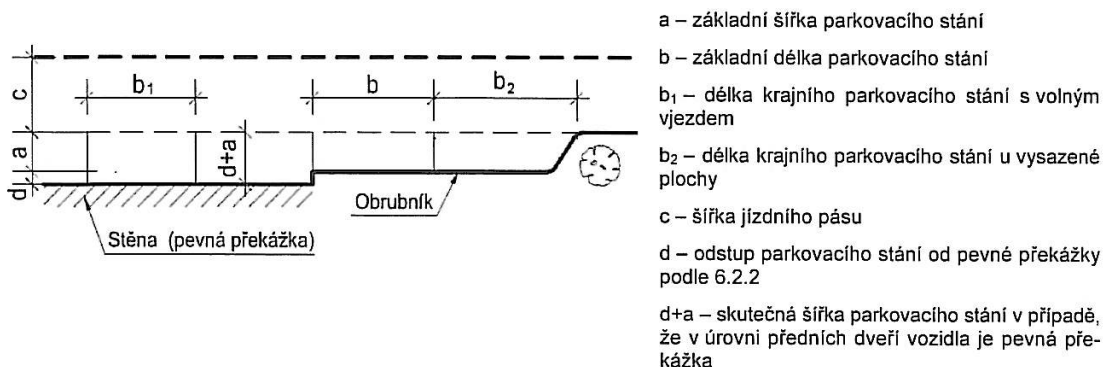
Vlečné křivky jsou ohraničeny obalovými křivkami, které vyplývají z vnějšího obrysu vozidla a polohy náprav. Jejich konkrétní tvar mimo jiné závisí na poloze a uspořádání náprav a v zásadní míře též na tom, jaké předpokládáme chování řidičů. [2]

Touto definicí však není zcela přesně vystihnuta podstata pohybu vozidla ve směrovém oblouku a z ní vyplývající vznik vlečných a obalových křivek. Pohyb vozidla při parkovacím manévru a z něj vyplývající tvar vlečných a obalových křivek, bude podrobněji popsán a vysvětlen v dalších kapitolách této práce.

2.4 NORMOVÉ ROZMĚRY PARKOVACÍCH STÁNÍ

Z rozměrů vozidla a průběhu vlečných křivek při parkovacím manévru následně vyplývají rozměry parkovacích stání a přilehlých komunikací.

2.4.1 Parkovací stání s podélným řazením pro osobní a lehká užitková vozidla



Obrázek 5: Parkovací stání s podélným řazením vozidel [1]

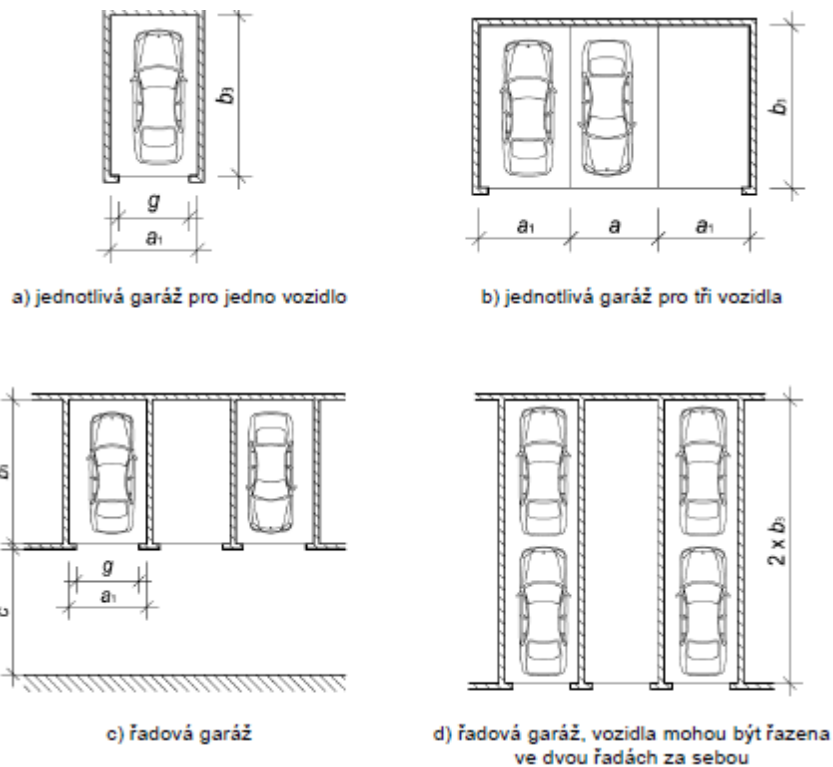
Skupina vozidel	Způsob parkování	Základní šířka stání ^{*)}	Odstup od pevné překážky	Délka stání	Délka krajního stání	Délka krajního stání	Šířka jízdního pruhu/pásu
		a (m)	d (m)	b (m)	b ₁ (m)	b ₂ (m)	c (m)
Osobní	jízda vpřed	2,00	0,40	6,75	5,25	7,75	3,25
	couvání			5,75	–	6,75	3,75
Lehké užitkové (dodávka)	jízda vpřed	2,25	0,40	8,25	6,50	9,00	3,50
	couvání			7,50	–	8,00	3,75

^{*)} Při vysoké intenzitě dopravy na pozemní komunikaci se doporučuje zvětšit základní šířku parkovacího stání o 0,25 m (omezení otevírání dveří vozidla do průjezdního profilu pozemní komunikace). Pokud je vedle parkovacího stání v místě předních dveří vozidla pevná překážka, zvětšuje se šířka parkovacího stání podle 6.2.2. Jednotlivé návrhové prvky parkovacích stání jsou uvedeny na obrázku 2.

Obrázek 6: Rozměry parkovacího stání pro osobní a lehká užitková vozidla při podélném řazení a šířka přilehlého jízdního pruhu/pásu [1]

2.4.2 Parkovací stání s kolmým řazením pro jednotlivé a řadové garáže

V případě jednotlivých a řadových garáží je přihlíženo ke stísněným podmínkám parkovacích stání z důvodu přilehlých stěn případně vjezdu na parkovací stání skrz vrata garáže, která jsou užší než stání samotné.



Legenda

- a šířka parkovacího stání podle ČSN 73 8056
- a_1 základní šířka garáže/stání podle tabulky 1
- b_3 základní délka garáže/stání podle tabulky 1
- c šířka jízdního pásu/komunikační plochy podle tabulky 3
- g šířka garážových vrat podle tabulky 3

Odstupy vozidel od překážek a odstupy mezi vozidly se navrhují podle přílohy B.

Obrázek 7: Příklad uspořádání jednotlivé a řadové garáže [5]

Skupina vozidel ¹⁾	Šířka a_1 (m)	Délka b_3 (m)
1a – osobní	2,90	5,25
1b – lehká užitková (dodávky)	3,15	6,75
2a – nákladní vozidla	4,50	13,50
2b – soupravy tahače s návěsem	4,50	18,00
2c – autobusy	4,50	16,50

¹⁾ Rozměry vozidel reprezentující danou kategorii jsou uvedeny v příloze B

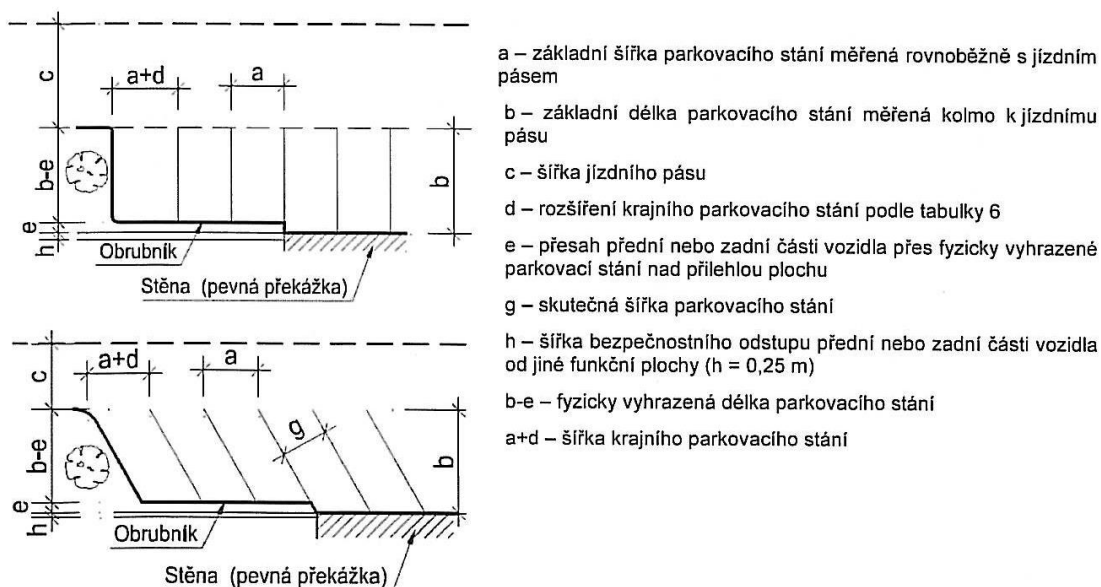
Obrázek 8: Základní vnitřní rozměry jednotlivé a řadové garáže určené pro jedno vozidlo [5]

Skupina vozidel	Základní šířka vrat garáže ¹⁾	Šířka jízdního pásu/komunikační plochy podle obrázku 2c)		
		jízda vpřed (bez nadjetí)	couvání	jízda vpřed s jedním nadjetím
	g (m)	c (m)	c (m)	c (m)
1a – osobní	2,25	7,00	4,75	5,50
	2,50	6,00	4,25	5,00
1b – lehká užitková (dodávky)	2,50	8,50	6,25	7,00
	2,75	8,00	6,00	6,50
2a – nákladní	3,50	15,00		13,00
	4,00	13,00		12,00
2b – soupravy tahače s návěsem	3,50	18,00		–
	4,00	16,00		–
2c – autobusy	3,50	18,50		16,00
	4,00	17,00		15,50

¹⁾ V prvním řádku pro danou kategorii vozidla je uvedena nejmenší šířka vrat. Ve druhém řádku pro danou kategorii vozidla je uvedena šířka vrat v závislosti na menší šířce jízdního pásu/ komunikační plochy.

Obrázek 9: Závislost šířky jízdního pásu pro manipulaci s vozidlem před vjezdem do garáže na šířce garážových vrat [5]

2.4.1 Parkovací stání s kolmým a šikmým řazením vozidel pro osobní a lehká užitková vozidla



Obrázek 10: Parkovací stání s kolmým a šikmým řazením vozidel [1]

Řazení vozidel	Skupina vozidel	Základní šířka stání ¹⁾	Skutečná šířka stání	Rozšíření krajního stání (bezpečnostní odstup)	Délka stání	Převis vozidla	Šířka jízdního pruhu/pásu ²⁾ – jízda vpřed (bez nadjetí)	Šířka jízdního pruhu/pásu ²⁾ – couvání
		a (m)	g (m)	d (m)	b (m)	e (m)	c (m)	c (m)
Kolmé	osobní	2,50	2,50	0,25	5,00	0,50	6,00	4,75
		2,65	2,65				5,75	4,25
		2,80	2,80				4,25	3,75
	lehká užitková (dodávka)	2,75	2,75	0,40	6,50	0,50	7,75	6,25
		2,90	2,90				7,00	6,00
		3,10	3,10				5,50	5,50
Šikmé 75°	osobní	2,60	2,50	0,25	5,30	0,50	5,00	
		2,75	2,65				4,25	
		2,90	2,80				3,25	
	lehká užitková (dodávka)	2,85	2,75	0,40	6,80	0,50	6,25	
		3,00	2,90				5,25	
		3,20	3,10				3,75	
Šikmé 60°	osobní	2,90	2,50	0,25	5,20	0,50	3,50	
		3,10	2,65				3,00	
	lehká užitková (dodávka)	3,20	2,75	0,40	6,60	0,50	4,25	
		3,35	2,90				3,50	
Šikmé 45°	osobní	3,55	2,50	0,25	4,80	0,50	3,00	
		3,75	2,65				2,50	
	lehká užitková (dodávka)	3,90	2,75	0,25	6,00	0,50	3,50	

*) Při návrhu parkovacích stání se s ohledem na místní podmínky upřednostňuje menší šířka stání a větší šířka jízdního pruhu.

**) V závislosti na místních podmínkách (povolené/zakázané najetí vozidla do protisměru při parkování) se navrhne jeden nebo dva jízdní pruhy (jednosměrný nebo obousměrný provoz).

Pro návrh základní šířky parkovacího stání platí šířka jízdního pruhu ve stejném řádku tabulky.

Obrázek 11: Rozměry parkovacího stání pro osobní a lehká užitková vozidla při kolmém a šikmém řazení a šířka přilehlého jízdního pruhu/pásu [1]

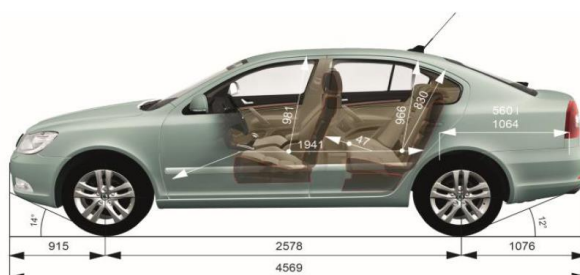
Obrázek 11 ukazuje, že norma stanovuje rozměry parkovacích stání osobních a lehkých užitkových vozidel pouze pro čtyři možné úhly řazení vozidel. S výjimkou kolmého řazení pak norma nerozlišuje šířku přilehlého jízdního pruhu/pásu pro parkování jízdou vpřed a couváním.

Doplněním tabelovaných rozměrů parkovacích stání i pro další úhly řazení a specifikací šířky přilehlého jízdního pruhu/pásu pro parkování jízdou vpřed a couváním, by mohlo dojít k zefektivnění využití prostoru pro parkování vozidel zejména ve stísněných podmínkách.

3 PŘEDPOKLADY VÝPOČTU VLEČNÉ KŘIVKY

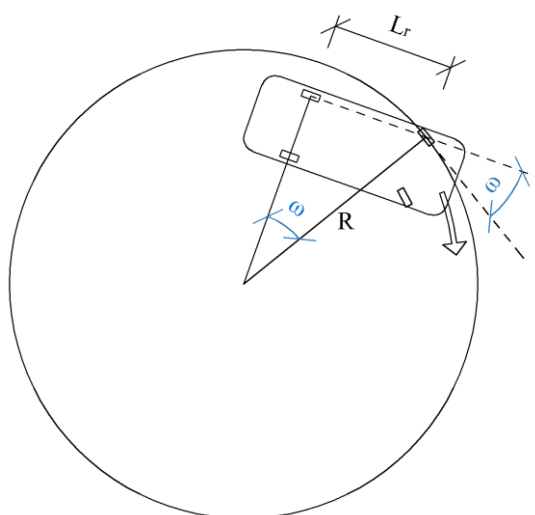
Základním předpokladem pro řešení vlečných křivek vozidla je znalost jeho geometrických vlastností. A to jak základních vnějších rozměrů (délka a šířka vozidla) tak i umístění náprav vzhledem k vozidlu (přední převis, zadní převis) a vzájemná vzdálenost kol (rozvor, rozchod). Další geometrickou vlastností nutnou pro řešení je pak rozměr kružnice, kterou opisuje bod vozidla nejvzdálenější od středu otáčení při největším možném zatočení volantem. Rozměr této kružnice je výrobcí uváděn jako *minimální poloměr otáčení* nebo *vnější průměr zatáčení* a podobně.

Délka	4569
Celková šířka	1769
Celková výška (P/PŠC/SP)	1462/1485/1449
Rozvor	2578
Rozchod (Přední/Zadní)	1541 / 1514 (1535/1508)
Světlá výška (P/PŠC/SP)	140 /164 / 125
Světlá výška (C/PŠC/SP)	107 /139 / 94
Nájezdový úhel přední (P/PŠC/SP)	14°/17°/13°
Nájezdový úhel zadní (P/PŠC/SP)	12°/13°/12°
Vnější průměr zatáčení (m)	10,8



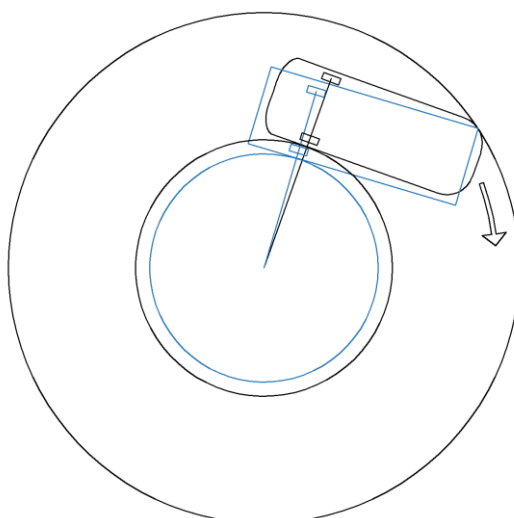
Obrázek 12: Základní rozměry automobilu Škoda Octavia M1 [6]

Základním předpokladem při simulaci pohybu vozidla v kruhovém oblouku je, že podélné osy kol jsou totožné s tečnami trajektorií jejich pohybu. Kola se tak během pohybu valí po svých trajektoriích bez toho, aby docházelo k jejich usmykování. Poloměry kružnic, po kterých se kola pohybují, je možné zjistit z rozvoru náprav (L_r) a úhlové odchylky podélné osy předních kol od podélné osy vozidla (ω). Tento předpoklad však ne zcela odpovídá realitě, kdy při vyšších rychlostech dochází k takzvané nedotáčivosti předních kol, které se příčně usmýkají směrem ke vnějšku směrového oblouku a tím zvětšují jeho poloměr. Při prudkém brzdění ve směrovém oblouku pak dochází k přetáčivosti zadních kol, zadní část vozidla je usmykována směrem ke vnějšku směrového oblouku a jeho výsledný poloměr je tak menší.



Obrázek 13: Trajektorie kola při pohybu ve směrovém oblouku

Půdorysný model vozidla bude pro potřeby tohoto výpočtu zjednodušen na tvar obdélníka. Ačkoli jeho ostré rohy neodpovídají skutečnému tvaru vozu a budou ve výsledku zvětšovat celkovou plochu vlečné křivky, jedná se o odchylku na stranu bezpečnou. Porovnáním vlečných křivek modelového vozidla se skutečnými průběhy vlečných se bude tato práce zabývat v dalších kapitolách.



Obrázek 14: Rozdíl vlečných křivek při zanedbání zakulacení rohů vozidla

Tvar vlečné křivky vozidla bude odvozen od pohybu zvoleného bodu po dané trajektorii. Tento bod je dále nazýván jako *vedený bod*. Pro tento výpočet byl za vedený bod vybrán přední roh vozidla, a to proto, že při plném rejdu se tento bod pohybuje po kružnici, jejíž poloměr je roven tzv. minimálnímu poloměru otáčení vozidla.

Dalším předpokladem výpočtu je nízká rychlost nebo úplné zastavení při změně směru jízdy. V trajektorii vedeného bodu tak bude docházet k lomu, kde na sebe budou úseky s různou křivostí navazovat přímo. Na přechod mezi těmito úseky tak nebudou použity křivky s proměnnou křivostí, ale pouze přímky a části kružnice.

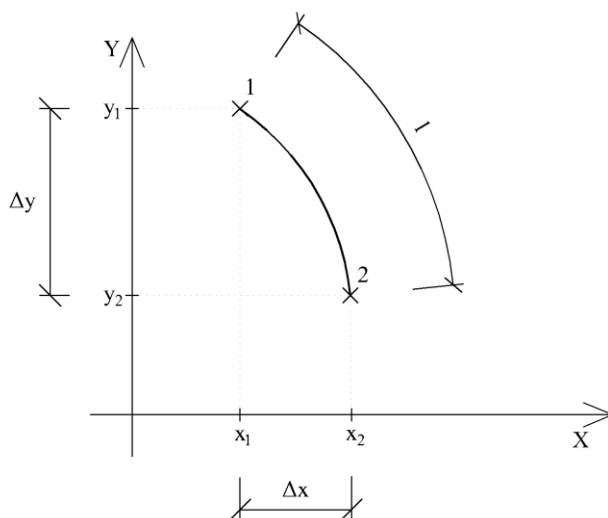
4 POSTUP VÝPOČTU VLEČNÉ KŘIVKY

Výpočet vlečné křivky se skládá z jednotlivých kroků, ve kterých zjišťujeme polohy bodů vozidla při pohybu vedeného bodu po dané trajektorii v pravouhlém systému souřadnic. Pohyb bodů v jednotlivých krocích výpočtu je aproximován pohybem po kružnici, případně pohybem po úsečce.

4.1 TRAJEKTORIE VEDENÉHO BODU

V první řadě je třeba určit trajektorii vedeného bodu. Ta může být tvořena pouze takovou křivkou, která jako celek splňuje geometrické vlastnosti vybraného vozidla zejména pak jeho minimální poloměr otáčení a s ním související maximální úhel, o který se může podélná osa předních kol odchýlit od podélné osy vozidla.

Podstatou pohybu vedeného bodu po trajektorii je sledování změny jeho souřadnic v jednotlivých krocích výpočtu. Tento pohyb je v jednotlivých krocích výpočtu aproximován na pohyb po kružnici, případně pohyb po úsečce. Na začátku výpočetního kroku jsou známy souřadnice $[x_1; y_1]$, křivka, po které se vedený bod bude pohybovat a vzdálenost l , kterou vedený bod během výpočetního kroku po této křivce urazí.



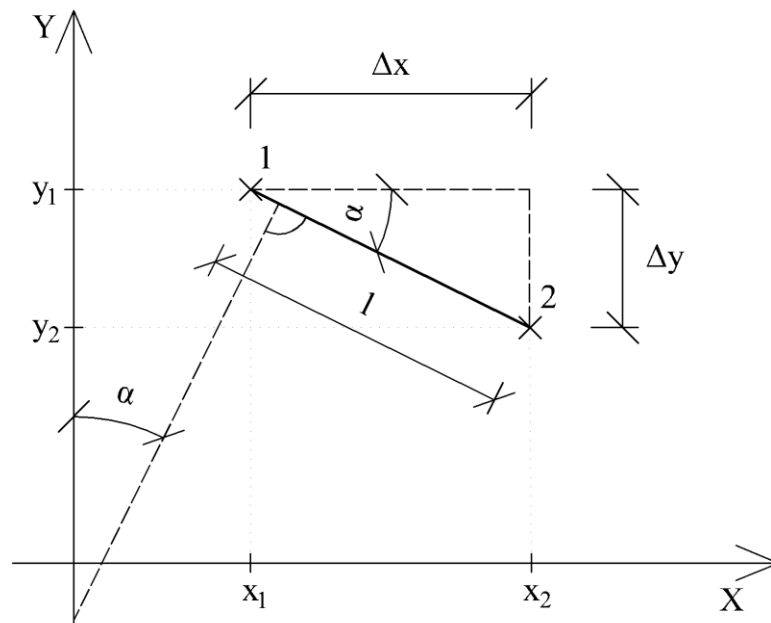
Obrázek 15: Pohyb vedeného bodu během výpočetního kroku

Abychom zjistili souřadnice vedeného bodu na konci kroku $[x_2; y_2]$, je třeba zjistit jeho posunutí během kroku ve směru x (Δx) a ve směru y (Δy).

$$x_2 = x_1 + \Delta x \quad (1)$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y \quad (2)$$

4.1.1 Pohyb bodu po přímce



Obrázek 16: Pohyb bodu po přímce

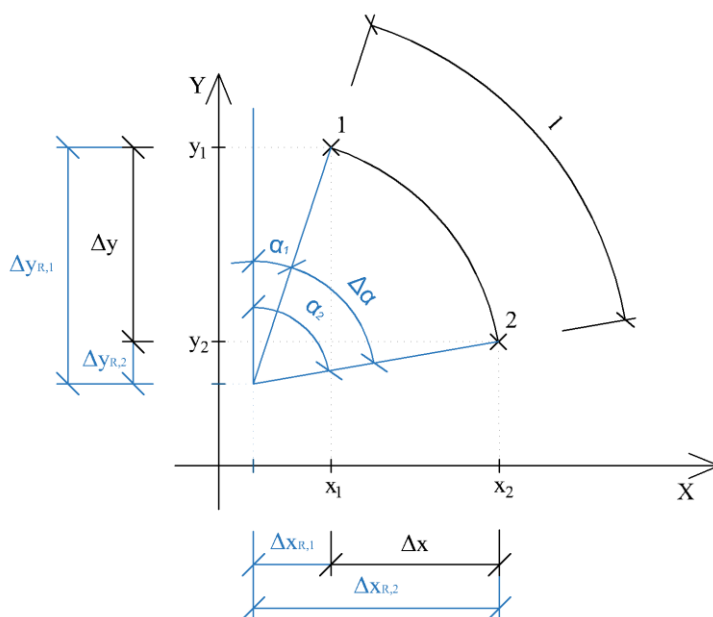
V případě pohybu bodu po přímce se potřebné hodnoty Δx a Δy určí za pomoci následujících vzorců

$$\Delta x = l \times \cos \alpha \quad (3)$$

$$\Delta y = l \times \sin \alpha \quad (4)$$

Z obrázku 16 a vzorců (3) a (4) je patrné, že je nutné znát také velikost úhlu α . Jedná se o úhel, který svírá normála trajektorie vedeného bodu s kladným směrem osy y .

4.1.2 Pohyb bodu po kružnici



Obrázek 17: Pohyb bodu po kružnici

Hodnotu Δx zjistíme z rozdílu vzdáleností bodů 1 a 2 od středu kružnicového oblouku ve směru osy x. Obdobným způsobem zjistíme také hodnotu Δy ve směru osy y.

$$\Delta x = \Delta x_{R,2} - \Delta x_{R,1} \quad (5)$$

$$\Delta y = \Delta y_{R,2} - \Delta y_{R,1} \quad (6)$$

$\Delta x_{R,1}$ označuje vzdálenost bodu 1 od středu kružnicového oblouku ve směru osy x. Analogicky k němu jsou pak označeny vzdálenosti $\Delta x_{R,2}$, $\Delta y_{R,1}$ a $\Delta y_{R,2}$. Hodnoty těchto vzdáleností jsou počítány následovně:

$$\Delta x_{R,i} = R \times \sin \alpha_i \quad (7)$$

$$\Delta y_{R,i} = R \times \cos \alpha_i \quad (8)$$

Velikost úhlu α_1 je známa z předchozího kroku výpočtu a úhel α_2 je dán součtem úhlového přírůstku $\Delta \alpha$ a počátečního úhlu normály trajektorie α_1 .

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta \alpha \quad (9)$$

Úhlový přírůstek $\Delta \alpha$ je pak vypočten ze vzorce:

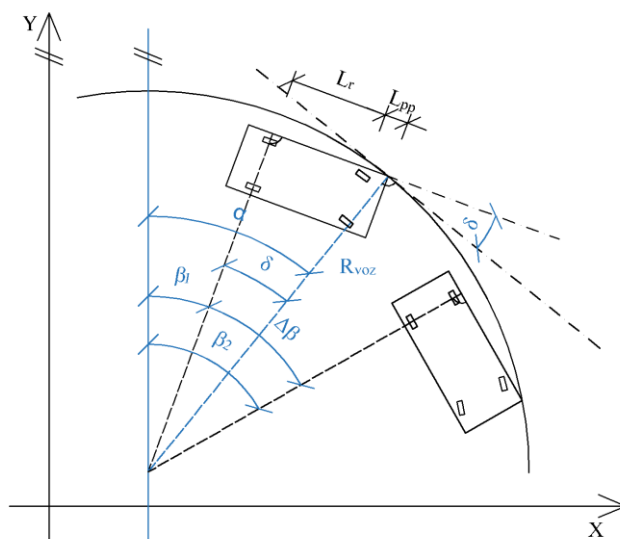
$$\Delta \alpha = \frac{l}{R} \quad (10)$$

Po dosažení rovnic (7) a (8) do rovnic (5) a (6) a vytknutí poloměru R získáme rovnice:

$$\Delta x = R \times (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) \quad (11)$$

$$\Delta y = R \times (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (12)$$

4.2 ÚHEL VOZIDLA



Obrázek 18: Úhel vozidla

Pro výpočet přesné polohy vozidla je třeba znát polohu jeho vlečného bodu a úhel, který vozidlo svírá vzhledem k souřadnicovým osám. Zde je počítáno s úhlem, který svírá normála k podélné ose vozidla s kladným směrem osy y . Tento úhel je označován β . Úhel vozidla na konci výpočetního kroku β_2 je dán vzorcem:

$$\beta_2 = \beta_1 + \Delta\beta \quad (13)$$

β_1 vyjadřuje velikost úhlu vozidla na začátku výpočetního kroku a $\Delta\beta$ pak přírůstek tohoto úhlu ve výpočetním kroku a je dán podílem délky výpočetního kroku a aktuálního poloměru vozidla R_{voz} .

$$\Delta\beta = \frac{L}{R_{voz}} \quad (14)$$

Pro výpočet aktuálního poloměru vozidla R_{voz} použijeme vzorec 15.

$$R_{voz} = \frac{L_r + L_{pp}}{\sin(\delta)} \quad (15)$$

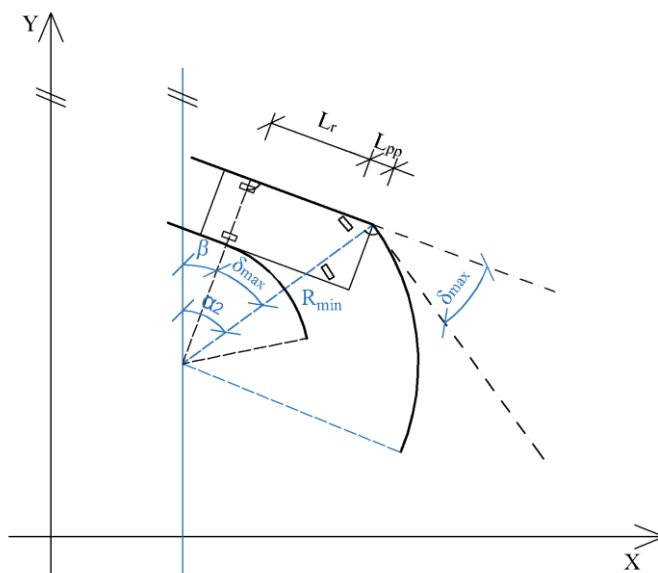
Kde L_r je délka rozvoru, L_{pp} je délka předního převisu. Úhel δ označuje úhel rejdu, který vyjadřuje rozdíl mezi úhlem trajektorie vedeného bodu a úhlem vozidla.

$$\delta = \alpha - \beta_1 \quad (16)$$

4.3 NÁHLÁ ZMĚNA TRAJEKTORIE VEDENÉHO BODU

Jedním z předpokladů výpočtu je náhlá změna směru jízdy při zastavení vozidla. Tato změna se projeví lomem trajektorie vedeného bodu. Maximální změna úhlu trajektorie vedeného bodu vychází z maximálního rejdu, který je dán geometrickými vlastnostmi vozidla. Výsledný úhel trajektorie při maximálním rejdu je tedy roven součtu úhlu vozidla (β) s maximální velikostí rejdu (δ_{max}).

$$\alpha_2 = \beta + \delta_{max} \quad (17)$$



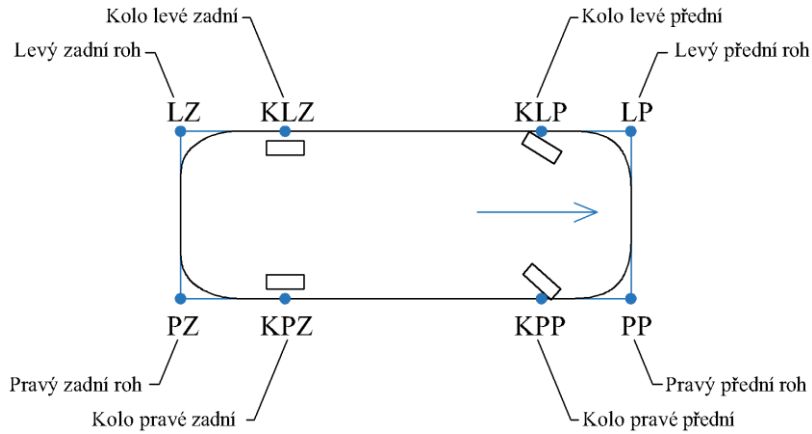
Obrázek 19: Lom trajektorie vedeného bodu při maximálním rejdu

Maximální úhel rejdu lze určit z minimálního poloměru otáčení (R_{min}) a ze vzdálenosti zadní nápravy od předku vozidla. Tato vzdálenost je dána součtem délek rozvoru (L_r) a předního převisu (L_{pp}).

$$\delta_{max} = \sin^{-1} \left(\frac{L_r + L_{pp}}{R_{min}} \right) \quad (18)$$

4.4 POLOHA VOZIDLA

Díky znalosti souřadnic vlečného bodu a úhlu, který vozidlo svírá vzhledem k souřadnicovým osám, je možné dopočítat souřadnice libovolného bodu vozidla pod podmínkou, že známe jeho umístění vzhledem k vlečnému bodu. Díky geometrickým vlastnostem vozidla, je možné zjistit polohu těchto bodů:

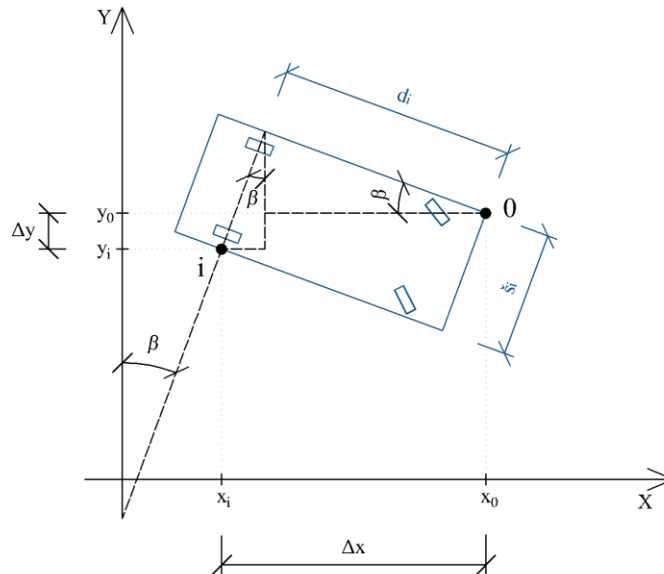


Obrázek 20: Okrajové body vozidla

Souřadnice těchto bodů se vypočítají vzorcem:

$$x_i = x_0 - \Delta x_i \quad (19)$$

$$y_i = y_0 + \Delta y_i \quad (20)$$



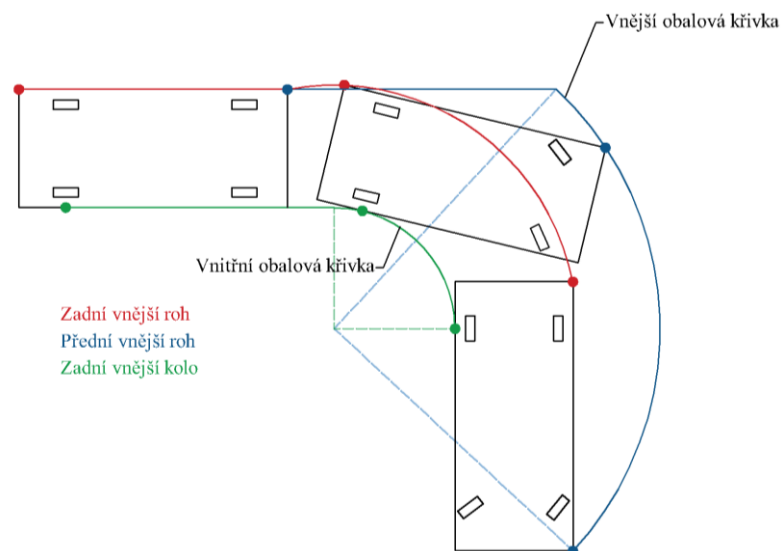
Obrázek 21: Určení souřadnic okrajového bodu

$$\Delta x_i = d_i \times \cos\beta + s_i \times \sin\beta \quad (21)$$

$$\Delta y_i = d_i \times \sin\beta - s_i \times \cos\beta \quad (22)$$

4.5 OBALOVÉ KŘIVKY

Obalové křivky ohraničují vlečnou křivku a jsou tvořeny trajektoriemi okrajových bodů vozidla. Obalová křivka na vnější straně směrového oblouku se skládá z trajektorií vnějších rohů vozidla. Vnitřní je pak tvořena trajektorií bodu na karoserii přilehlého k vnitřnímu zadnímu kolu.



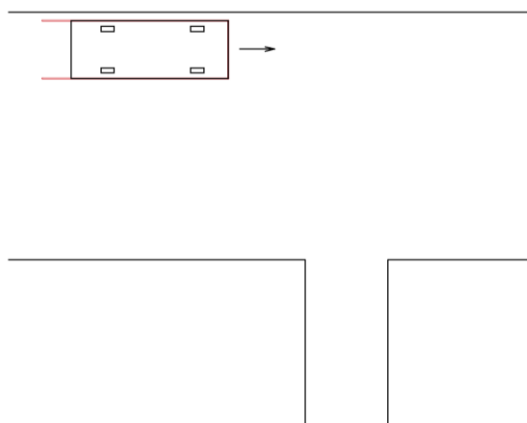
Obrázek 22: Obalové křivky

5 POPIS VZNIKU VLEČNÉ KŘIVKY PŘI PARKOVÁNÍ

Návrh rozměrů parkovacího místa vychází z rozměrů vlečné křivky při parkování. Ta je konstruována tak, aby její plocha byla co nejmenší. Zároveň je snaha parkovací manévr omezit na co nejméně úkonů, čímž se proces parkování zjednoduší a zkrátí se tím čas, po který parkující vozidlo omezuje provoz na přilehlé komunikaci. Dále je třeba zohlednit bezpečnostní odstupy od okolních vozidel či pevných překážek (viz Obrázek 4).

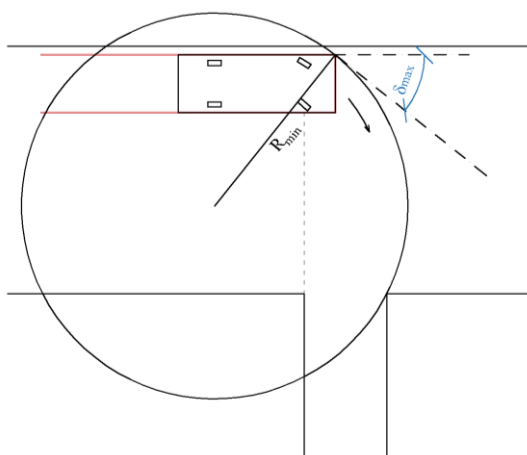
5.1 PARKOVÁNÍ JÍZDOU VPŘED

Parkování jízdou vpřed začíná u okraje vozovky vzdálenějšího od parkovacího místa. (Červená čára na obrázcích 22-26 ohraničuje vlečnou křivku vznikající pohybem vozidla při parkovacím manévru)



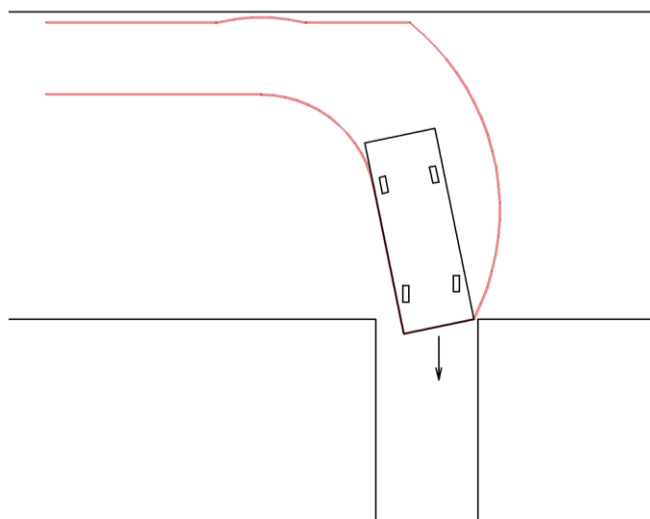
Obrázek 23: Začátek parkovacího manévru

Ve chvíli, kdy se přední kola vozidla dostanou zhruba do úrovně počátku parkovacího stání, dojde k maximálnímu zatočení směrem k parkovacímu místu.



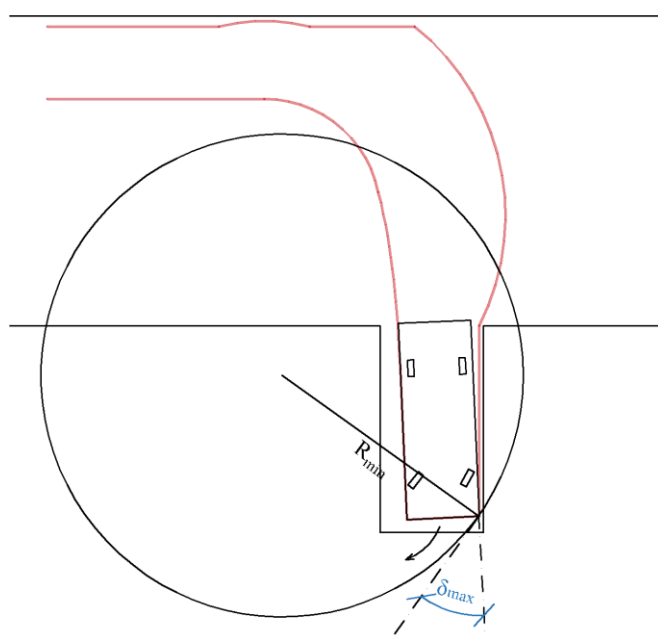
Obrázek 24: Maximální rejď

Následuje jízda ve směrovém oblouku při plném rejdu. Až do okamžiku, kdy je celá přední část vozidla v úrovni parkovacího místa.



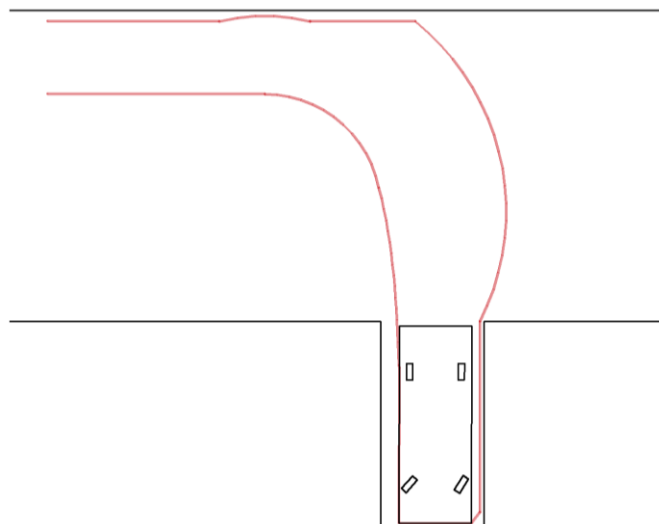
Obrázek 25: Srovnání směru jízdy s úhlem parkovacího stání

Vozidlo v jízdě pokračuje tak, že přední roh vozidla na vnější straně oblouku je veden po okraji parkovacího stání. Tím dochází k postupnému zajištění na parkovací místo spolu se srovnáváním úhlu vozidla s úhlem parkovacího stání. Jedná se tedy o pohyb vedeného bodu po přímce, přičemž úhel přímky, po které je bod veden, je shodný s úhlem parkovacího stání.



Obrázek 26: Zajištění do parkovacího stání

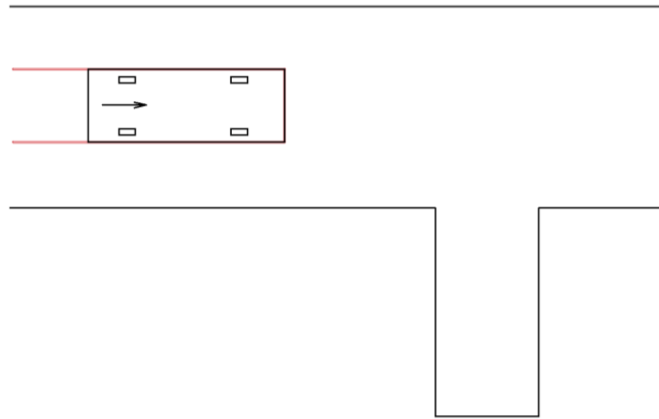
Posledním úkonem parkovacího manévru je srovnání vozidla do středu parkovacího stání. Toho je nejrychleji dosaženo otočením volantu do maximálního rejdu a následnou jízdou po kruhovém oblouku.



Obrázek 27: Dokončení parkovacího manévru

5.2 PARKOVÁNÍ COUVÁNÍM

Při parkování couváním je vozidlo ve výchozí pozici postaveno zhruba uprostřed vozovky. Couváním, rovnoběžně s podélnou osou vozovky, se svou zadní částí přibližuje k parkovacímu stání.



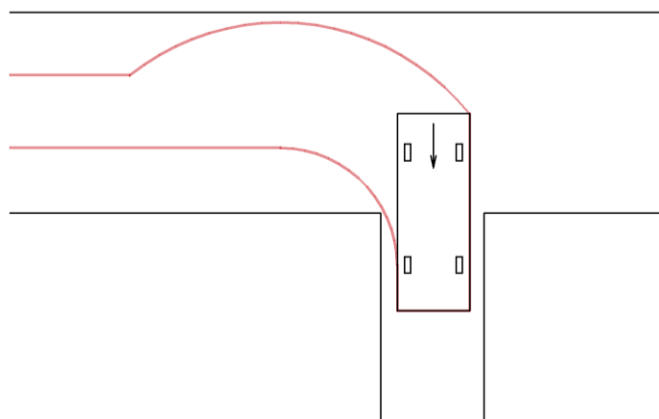
Obrázek 28: Začátek parkovacího manévru

Ve chvíli, kdy je zadní část vozidla vzdálena od úrovně parkovacího stání stejně jako od okraje vozovky, otočí řidič volant do plného rejdu.



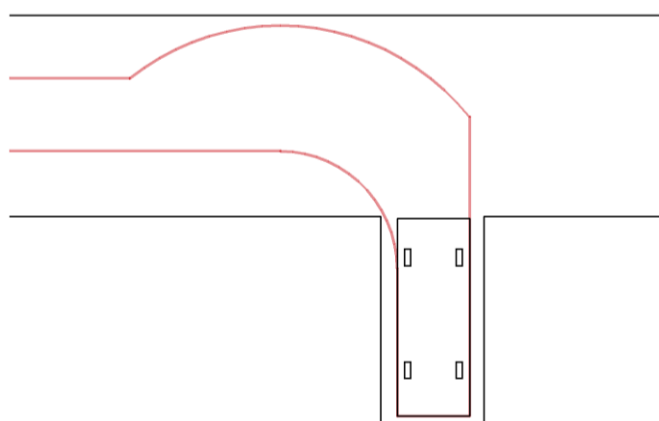
Obrázek 29: Začátek couvání v plném rejdu

Dalším couváním při plném rejdu vozidlo postupně zajíždí na parkovací místo, čímž se zároveň dostává do požadovaného úhlu. Ve chvíli, kdy se úhel vozidla shoduje s úhlem parkovacího stání, dojde ke srovnání kol s podélnou osou vozu.



Obrázek 30: Srovnání vozidla s úhlem parkovacího stání

Vozidlo dál pokračuje v couvání bez změny jeho úhlu, dokud zcela nezajede na parkovací místo.



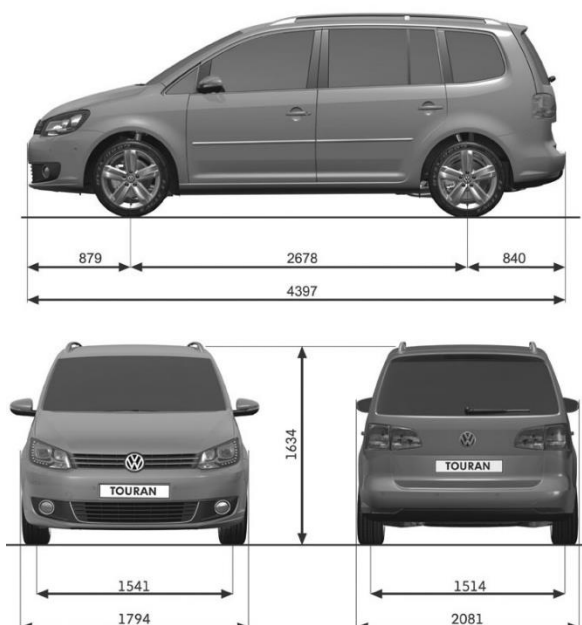
Obrázek 31: Přímé zacouvání na parkovací stání

6 POROVNÁNÍ VLEČNÝCH KŘIVEK ZJIŠTĚNÝCH SIMULACÍ A MĚŘENÍM

Aby mohly být vlečné křivky, zjištěné výpočtem popsaným v předchozích kapitolách, považovány za relevantní, je třeba je porovnat s vlečnými křivkami, které vznikají při skutečném pohybu vozidla. Pro porovnání byly zvoleny vlečné křivky, které vznikají při jízdě vozidla v plném rejdu a při parkování pod úhlem 90°. V obou variantách byl pohyb vykonán jízdou vpřed i couváním.

6.1 ÚDAJE O VOZIDLE POUŽITÉM PRO POROVNÁNÍ VLEČNÝCH KŘIVEK

Pro výpočet vlečných křivek je třeba znát geometrické vlastnosti vozidla, jehož vlečné křivky budou následně zjišťovány měřením. Pro účely tohoto porovnání bylo použito vozidlo Volkswagen Touran.



Obrázek 32: Rozměry vozidla Volkswagen Touran [7]

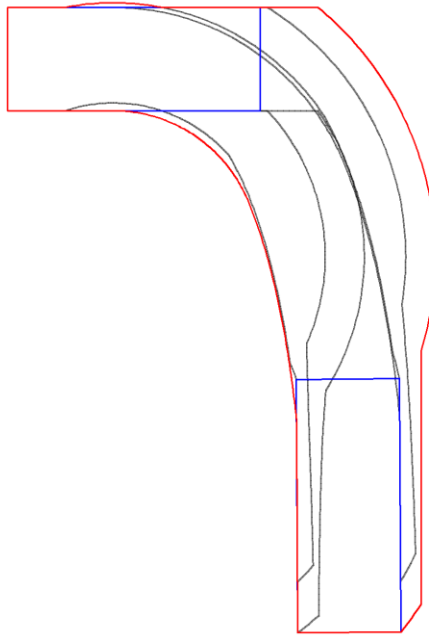
Šířka (\check{S}):	1,794 m
Délka předního převisu (L_{pp}):	0,879 m
Rozvor (L_r):	2,678 m
Délka zadního převisu (L_{zp}):	0,840 m
Minimální poloměr zatáčení (R_{min}):	5,600 m

6.2 SIMULACE VLEČNÝCH KŘIVEK VÝPOČTEM

Výpočet byl proveden dle výše popsaného postupu s využitím tabulkového editoru excel s délkou výpočetního kroku 0,1 m. V každém kroku výpočtu byly zjištěny souřadnice okrajových bodů vozidla (Obrázek 20). Vzhledem

k dostatečně jemnému výpočetnímu kroku je postačující taková aproximace, kdy jsou polohy bodů v jednotlivých krocích spojeny úsečkami. Dále byly spojeny okrajové body vozidla v prvním a posledním kroku výpočtu.

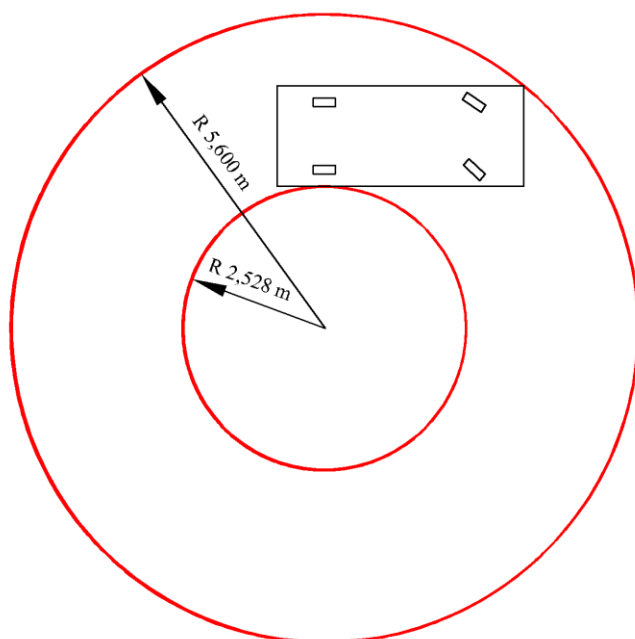
Vlečná křivka pak odpovídá ploše, která je tvořena spojnicemi bodů po obvodu získaného obrazce.



Obrázek 33: Spojnice okrajových bodů vozidla (černě), obvod vozidla v prvním a posledním kroku (modře), vlečná křivka (červeně)

6.2.1 Výsledky simulace pohybu vozidla po kružnici

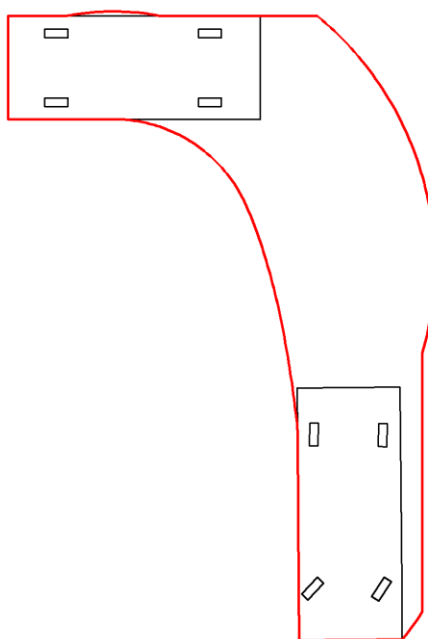
Simulace pohybu po kružnici jízdou vpřed a couváním jsou totožné a tvoří proto stejnou vlečnou křivku. Obalové křivky jsou tvořeny kružnicemi, přičemž poloměr vnější obalové křivky je shodný s minimálním poloměrem otáčení.



Obrázek 34: Obalová křivka vozu Volkswagen Touran při plném rejdu

6.2.2 Výsledky simulace pohybu vozidla při parkování pod úhlem 90°

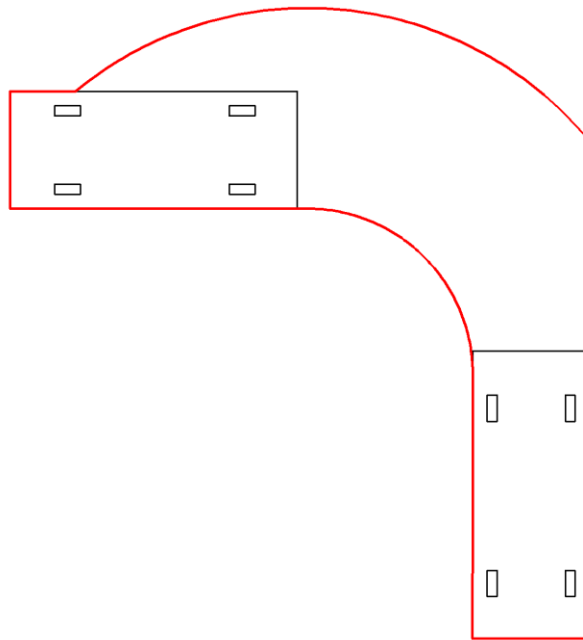
Pro simulaci vlečných křivek při parkování pod úhlem 90° byly použity parkovací manévry popsané v 5. kapitole.



Obrázek 35: Vlečná křivka vozu Volkswagen Touran při parkování jízdou vpřed pod úhlem 90°

Obalová křivka na vnější straně oblouku je v převážné míře tvořena pohybem předního vnějšího rohu vozidla. Pouze při zatočení do plného rejdu, na začátku parkovacího manévru, je vnější obalová křivka tvořena pohybem zadního vnějšího rohu vozidla. Obalová křivka na vnitřní straně vozidla je během jeho pohybu

vykreslována vnitřním zadním kolem. Na začátku a konci parkovacího manévru je pak chybějící obalová křivka doplněna obrysem vozidla.



Obrázek 36: Vlečná křivka vozu Volkswagen Touran při parkování couváním pod úhlem 90°

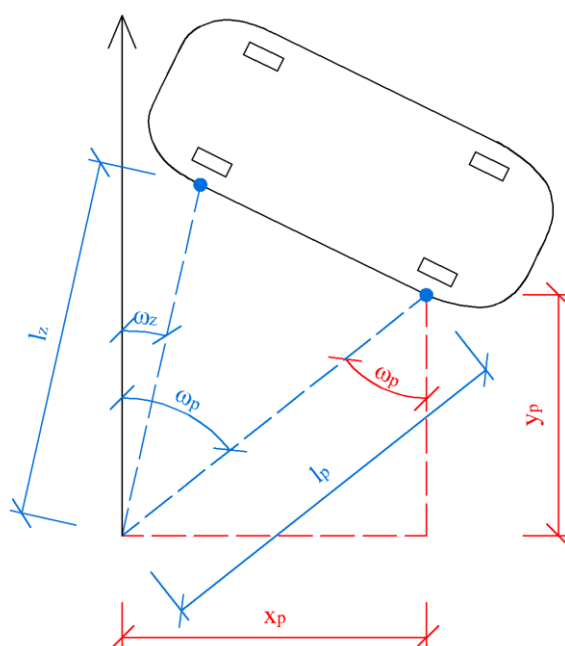
Obalová křivka na vnější straně oblouku je převážně tvořena pohybem předního vnějšího rohu vozidla. Pouze před koncem pohybu v plném rejdu přesahuje zadní vnější roh vozu přes trajektorii předního vnějšího rohu. Na vnitřní straně oblouku je obalová křivka tvořena trajektorií vnějšího zadního kola. Chybějící obvod vlečné křivky je doplněn obrysem vozidla na začátku a na konci parkovacího manévru.

6.3 MĚŘENÍ POHYBU VOZIDLA

Během pohybu vozidla byly za pomoci teodolitu a pásma měřeny polární souřadnice (úhel ω a délka l) dvou bodů na karoserii. Konkrétně se jednalo o body umístěné nad osou předního a zadního kola na vnitřní straně oblouku.



Obrázek 37: Vyznačení měřných bodů na karoserii vozidla

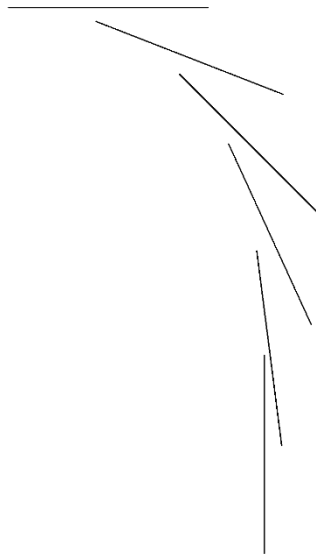


Obrázek 38: Polární (modře) a pravouhlé (červeně) souřadnice měřných bodů

$$x_i = \sin(\omega_i) \times l_i \quad (23)$$

$$y_i = \cos(\omega_i) \cdot l_i \quad (24)$$

Poloha vozidla byla během jeho pohybu zaměřena v několika místech. Získané polární souřadnice byly následně převedeny do kartézské soustavy souřadnic vyneseny a dvojice bodů z každého kroku měření byly spojeny úsečkou.



Obrázek 39: Vynesené spojnice bodů

V každém měřeném kroku pohybu tak byly známy dva body na obvodu vozidla. Pro zjištění vlečných křivek je však nutné znát polohy bodů po celém obvodu vozidla v jednotlivých krocích měření. Proto bylo nutné zjistit přesné rozměry půdorysného průmětu vozidla. Toho bylo dosaženo zakreslením obvodu vozidla na vozovku za pomoci olovnice a následným změřením jeho rozměrů.

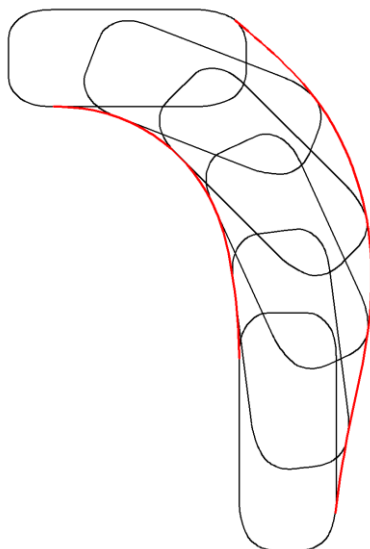


Obrázek 40: Přenesení půdorysného průmětu karoserie vozidla na vozovku



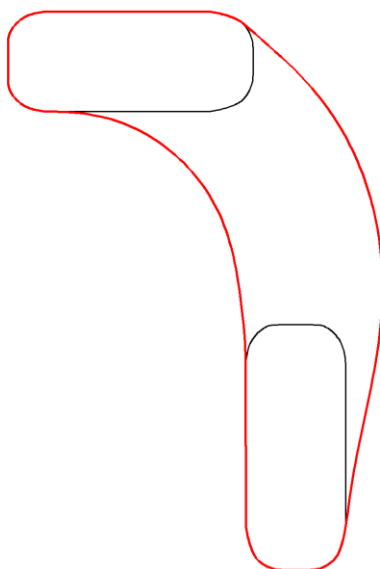
Obrázek 41: Obrys přední části vozidla

Takto zjištěný půdorysný obraz vozidla byl následně přiřazen ke každé zaměřené dvojici bodů v jednotlivých krocích měření. Následným spojením nejvzdálenějších bodů obvodu vozidla od středu otáčení, v jednotlivých krocích měření, vznikla vnější obalová křivka. Vnitřní obalová křivka pak vznikla spojením bodů na obvodu vozidla, které byly, nejbližší ke středu otáčení. Ke spojení těchto bodů byla využita funkce SPLINE grafického programu AutoCAD.



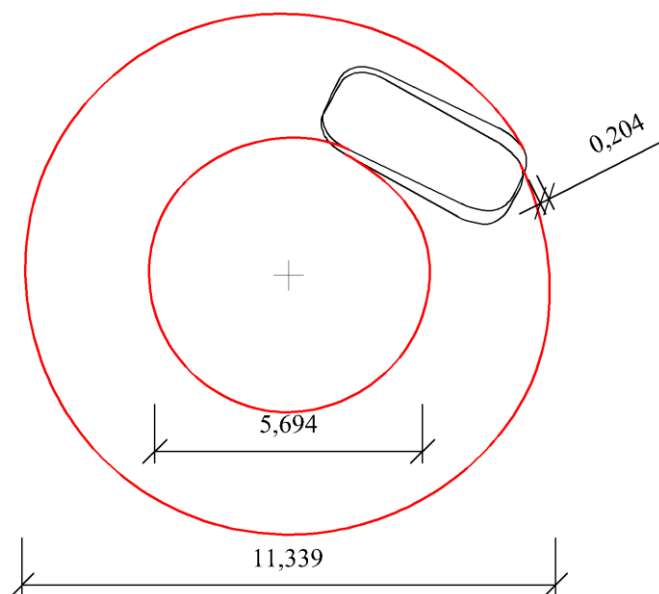
Obrázek 42: Vykreslení vnější a vnitřní obalové křivky

Chybějící části obalové křivky kopírují vnější obvod vozidla v prvním a posledním kroku měření.



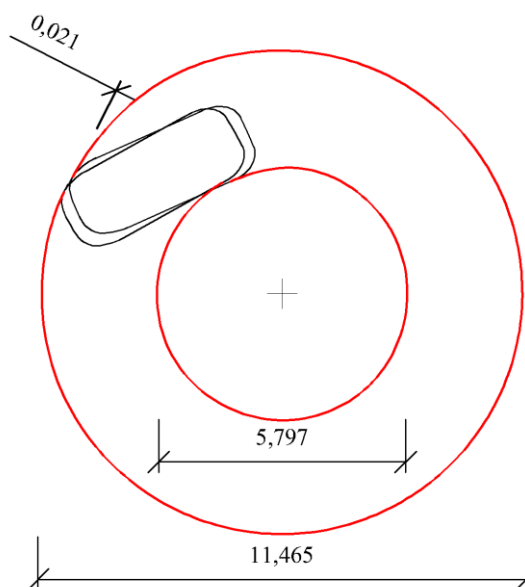
Obrázek 43: Obalová křivka vozidla

6.3.1 Výsledky měření pohybu vozidla po kružnici



Obrázek 44: Vlečná křivka, která vznikla pohybem vozidla po kruhovém oblouku jízdou vpřed při plném rejdu

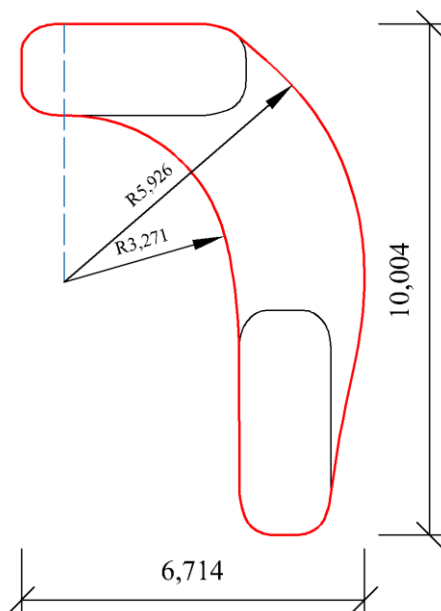
Měřením pohybu vozidla po kruhovém oblouku jízdou vpřed při plném rejdu, byl zjištěn průměr vnější obalové křivky, jehož velikost v nejširším místě byla 11,339 m. Průměr vnitřní obalové křivky byl v nejužším místě 5,694 m. Poté, co vozidlo dokončilo obrat o 360°, se poloměr vnější obalové křivky zvětšil o 0,204 m. To bylo pravděpodobně způsobeno nedůsledným držením volantu v jeho krajní poloze během pohybu vozidla.



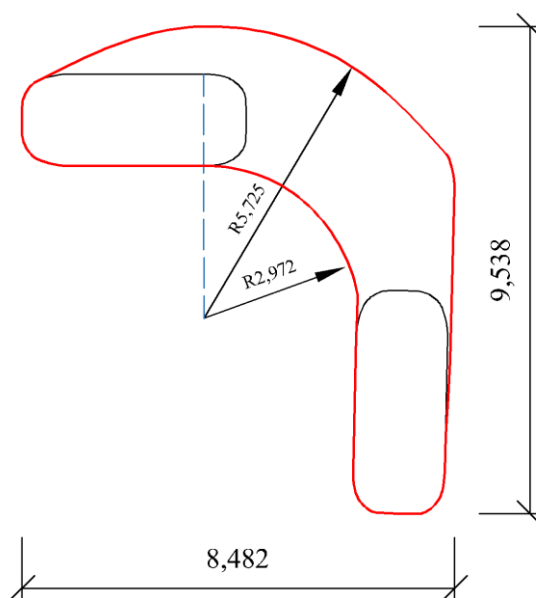
Obrázek 45: Vlečná křivka, která vznikla pohybem vozidla po kruhovém oblouku couváním při plném rejdu

Při pohybu vozidla po kruhovém oblouku couváním při plném rejdu, byl měřením zjištěn největší průměr vnější obalové křivky 11,465 m a nejmenší průměr vnitřní obalové křivky 5,797 m. Rozdíl poloměru vnější obalové křivky na začátku a na konci pohybu vozidla je 0,021 m.

6.3.2 Výsledky měření pohybu vozidla při parkování pod úhlem 90°



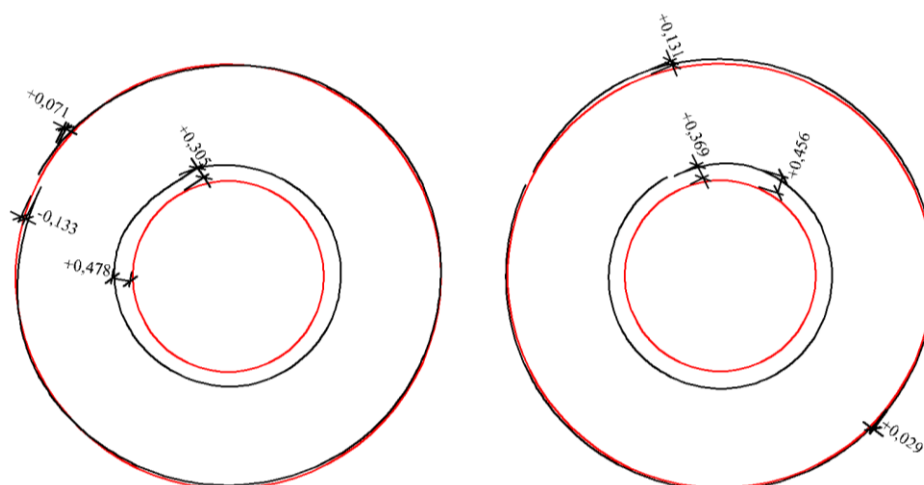
Obrázek 46: Vlečná křivka, která vznikla pohybem vozidla při parkování pod úhlem 90° jízdou vpřed



Obrázek 47: Vlečná křivka, která vznikla pohybem vozidla při parkování pod úhlem 90° couváním

6.4 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACE POHYBU VOZIDLA S VÝSLEDKY MĚŘENÍ

6.4.1 Porovnání pohybu vozidla po kružnici



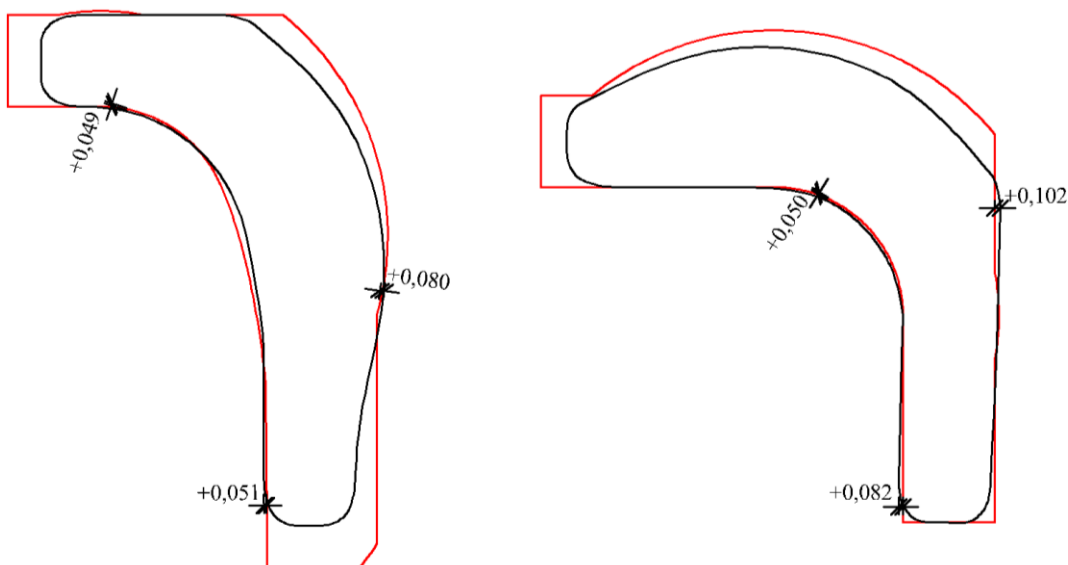
Obrázek 48: Porovnání vlečných křivek při pohybu vozidla po kruhovém oblouku za plného rejdu jízdou vpřed (vlevo) a couváním (vpravo), výsledky simulace pohybu vozidla (červeně), výsledky měření (černě)

Při porovnání vlečných křivek bylo zjištěno, že odchylka poloměru vnější obalové křivky se při jízdě vpřed pohybuje v rozmezí $-0,133$ m až $+0,071$ m a při couvání nabývá hodnot $+0,029$ m až $0,131$ m. Z hlediska porovnávání je důležitější kladná odchylka vnější obalové křivky, která vyjadřuje, že okraj karoserie v těchto místech přesahuje vlečnou křivku stanovenou výpočtovou simulací. Velikost této odchylky je však plně kompenzována nejmenšími dovolenými odstupy vozidla od překážky či vedlejšího vozidla, které tvoří rezervu, o kterou jsou rozměry parkovacích míst zvětšována.

Odchylka poloměru vnitřní obalové křivky se pak při jízdě vpřed pohybuje v rozmezí $+0,305$ m až $+0,478$ m a při couvání $+0,369$ m až $+0,456$ m. Kladná odchylka poloměru vnitřní obalové křivky vyjadřuje, že vozidlo se na vnitřní straně oblouku ve skutečnosti pohybuje po větším poloměru, než jaký předpokládá výpočetní simulace.

Vlečná křivka skutečného pohybu vozidla je tak užší než vlečná křivka simulovaného pohybu. Tato odchylka je způsobena zanedbáním zaoblení rohů vozidla ve výpočetním modelu, kterou blíže popisuje Obrázek 14.

6.4.2 Porovnání pohybu vozidla při parkování pod úhlem 90°



Obrázek 49: Porovnání vlečných křivek při parkování vozidla pod úhlem 90° jízdou vpřed (vlevo) a couváním (vpravo), výsledky simulace pohybu vozidla (červeně), výsledky měření (černě)

Z porovnání vlečných křivek je patrné, že při skutečném provádění parkovacího manévru řidič nevyužívá plného rejdu, ale poloměr otáčení volí spíše intuitivně. Výsledný pohyb vozidla se tak kopíruje spíše vnitřní obalovou křivku simulované vlečné křivky. Kladné odchylky, které vyjadřují přesah skutečných vlečných křivek oproti simulovaným, dosahují maximální hodnoty +0,102 m a budou tedy plně kompenzovány nejmenšími dovolenými odstupy vozidla od překážky či vedlejšího vozidla.

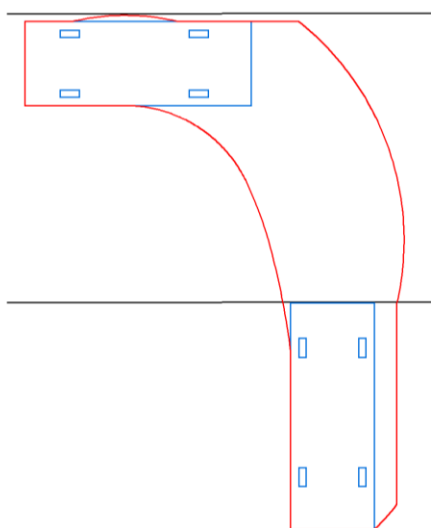
Z výsledků porovnání vlečných křivek vyplývá, že výpočetní simulace pohybu vozidla je dostatečně přesná, a jí vytvořené vlečné křivky tak mohou sloužit jako podklad pro navrhování rozměrů parkovacích stání.

7 NÁVRH ROZMĚRŮ PARKOVACÍCH STÁNÍ

7.1 Postup návrhu rozměrů parkovacích stání

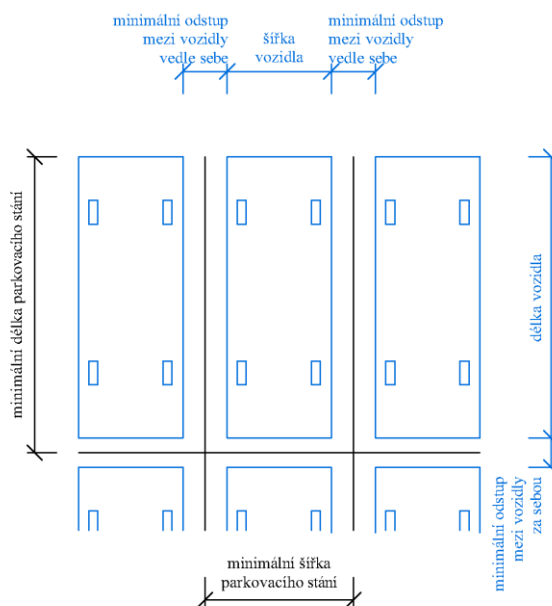
Při návrhu rozměrů parkovacích stání je v první řadě nutné určit rozměry parkovaného vozidla. Ty je možné zjistit z tabulky uvádějící základní rozměry vozidel na základě jejich druhu (viz Obrázek 2). Dále je nutné rozhodnout, zda bude docházet k parkování jízdou vpřed, či couváním, zvolit úhel, který bude svírat zaparkované vozidlo s podélnou osou přilehlého jízdního pásu a jakou šířku bude přilehlý jízdni pás mít.

Na základě těchto podmínek a postupu uvedeného v kapitole 0 je možné výpočtovou simulací pohybu vozidla vytvořit vlečnou křivku, kterou vozidlo při parkování svým pohybem vytvoří.



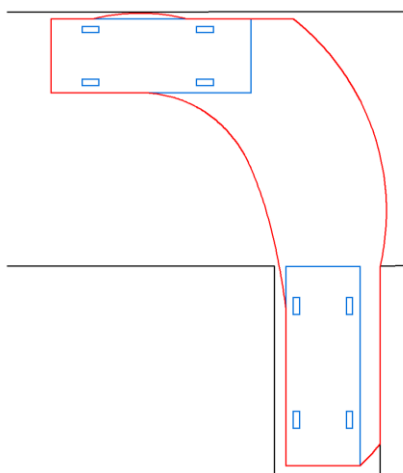
Obrázek 50: Vlečná křivka osobního automobilu základních rozměrů, úhel parkovacího stání 90°, šířka přilehlého jízdního pásu 6 m

Dalším krokem je určení minimální šířky a délky parkovacího stání. Ty se stanoví přičtením nejmenších dovolených odstupů vozidla od překážky či sousedního vozidla (viz Obrázek 3) k základním rozměrům vozidla.



Obrázek 51: Minimální rozměry parkovacího stání

Parkovací místo s minimálními rozměry je pak přiloženo ke konci vlečné křivky tak, aby jeho okraje do vlečné křivky nezasahovaly a aby se vozidlo nacházelo uprostřed parkovacího místa. Pokud není možné parkovací místo tímto způsobem umístit, je nutné jej rozšířit nebo zvětšit šířku přilehlého jízdniho pásu.



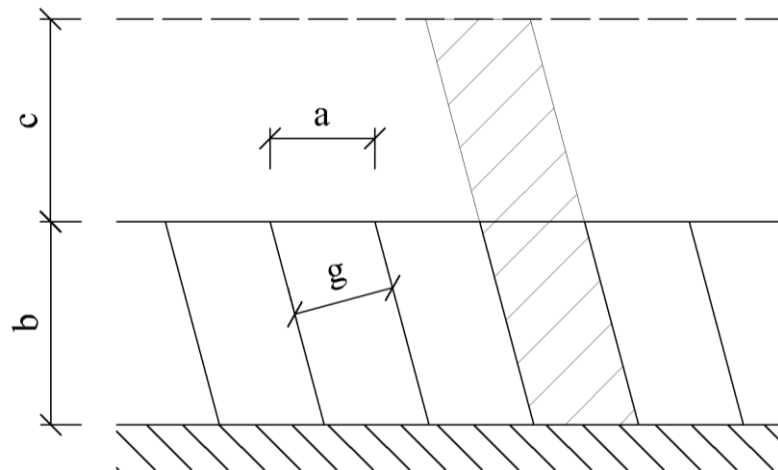
Obrázek 52: Umístění parkovacího stání v závislosti na poloze a tvaru vlečné křivky

7.2 Navržené rozměry parkovacích stání pro osobní vozidlo

Dle výše uvedeného postupu byly navrženy minimální rozměry parkovacích stání pro úhly řazení vozidel od 90° po 45° s odstupem 5° . Minimální šířka parkovacího stání byla zvětšována po 0,15 m a šířka přilehlého jízdniho pruhu po 0,25 m. Rozměry byly navrženy, jak pro parkování jízdou vpřed, tak pro parkování couváním. Zároveň byla spočtena plocha, kterou zabírá jedno parkovací stání spolu s přilehlým jízdniím pruhem.

Tabulka 3: Rozměry a plocha parkovacích stání a přilehlých jízdniích pruhů/pásů pro osobní vozidla při kolmém a šikmém řazení

Úhel řazení vozidel	Základní šířka	Kolmá šířka stání	Délka stání	Šířka jízdního pruhu/pásu – jízda vpřed	Šířka jízdního pruhu/pásu – couvání	Plocha pro jedno parkovací stání	
						Jízda vpřed	Couvání
						(m ²)	(m ²)
90°	2,50	2,50	5,00	5,75	4,75	26,88	24,38
	2,65	2,65		5,25	4,25	27,16	24,51
	2,80	2,80		4,50	3,75	26,60	24,50
85°	2,55	2,50	5,15	5,25	4,00	26,52	23,33
	2,70	2,65		4,75	3,75	26,73	24,03
	2,85	2,80		4,25	3,50	26,79	24,65
80°	2,55	2,50	5,25	5,25	3,75	26,78	22,95
	2,70	2,65		4,75		27,00	24,30
	2,85	2,80		4,25		3,50	27,08
75°	2,60	2,50	5,30	4,75	3,50	26,13	22,88
	2,75	2,65		4,25		26,26	24,20
	2,90	2,80		3,75		3,25	26,25
70°	2,70	2,50	5,30	4,25	3,50	25,79	23,76
	2,85	2,65		4,00	3,25	26,51	24,37
	3,00	2,80		3,50		26,40	25,65
65°	2,80	2,50	5,30	4,00	3,50	26,04	24,64
	2,95	2,65		3,50	3,25	25,96	25,22
	3,10	2,80		3,25		26,51	26,51
60°	2,90	2,50	5,20	3,50	3,25	25,23	24,51
	3,10	2,65		3,25	3,00	26,20	25,42
	3,25	2,80		3,00		26,65	26,65
55°	3,10	2,50	5,15	3,25	3,00	26,04	25,27
	3,25	2,65		3,00		26,49	26,49
	3,45	2,80		2,75		2,75	27,26
50°	3,30	2,50	5,00	3,00	2,75	26,40	25,58
	3,50	2,65		2,75		27,13	27,13
	3,70	2,80		2,50		27,75	28,68
45°	3,55	2,50	4,80	3,00	2,75	27,69	26,80
	3,75	2,65		2,50		27,38	28,31
	4,00	2,80		2,25		28,20	30,20



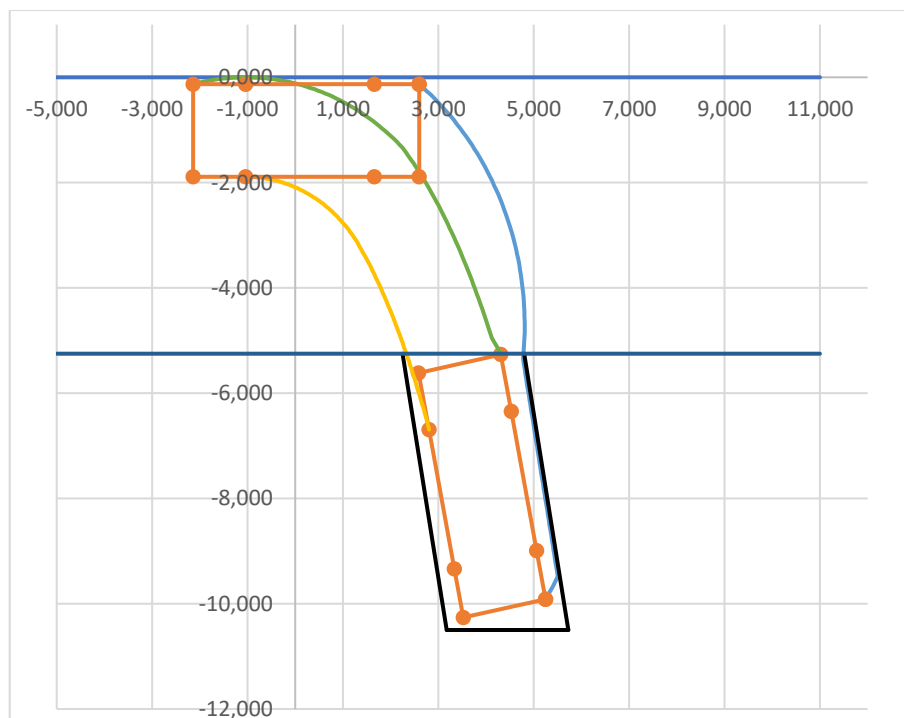
Obrázek 53: Rozměry a plocha parkovacího stání a přilehlého jízdního pruhu

Plocha pro jedno parkovací stání se spočítá následujícím vzorcem

$$S = a \times (b + c) \quad (25)$$

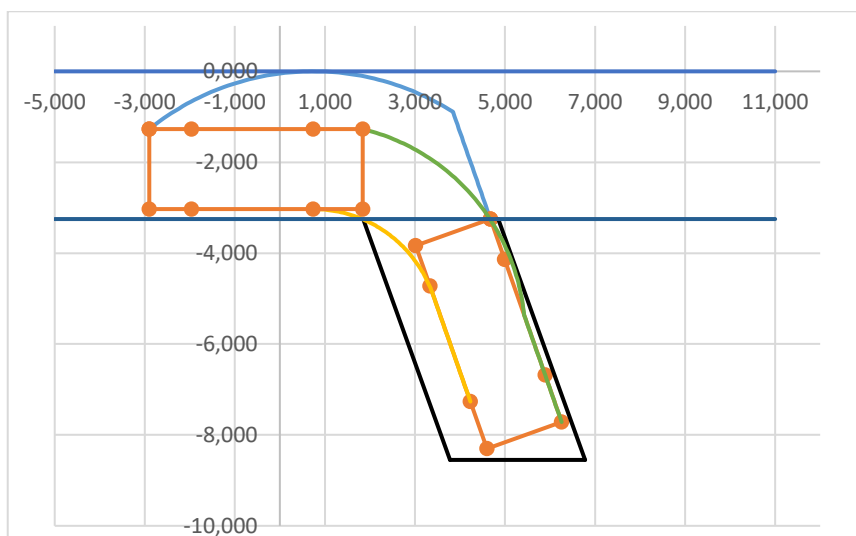
7.3 Porovnání využití prostoru parkovacích stání

Z tabulky 1 je patrné, že prostorově úspornější je převážně parkování couváním. Při parkování jízdou vpřed nemá totiž vozidlo při vjíždění do parkovacího stání potřebný úhel a vlečná křivka je tak v tomto místě širší než v případě parkování couváním.



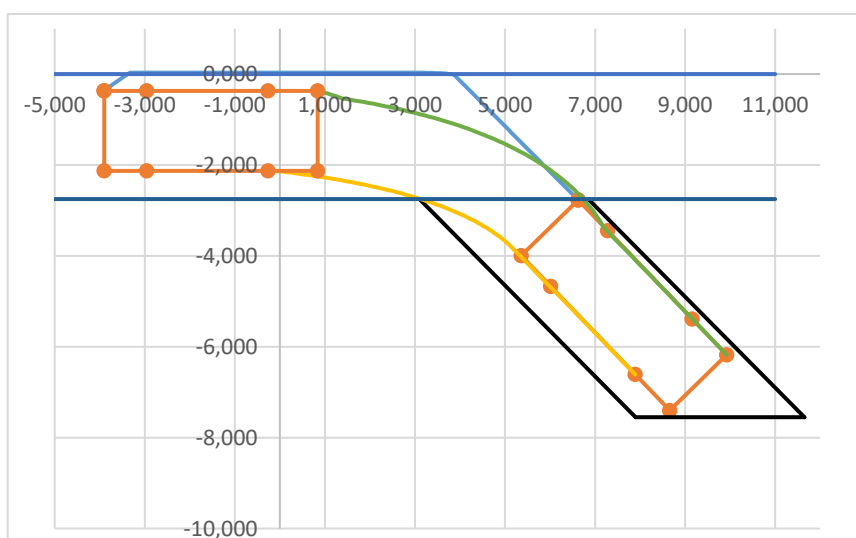
Obrázek 54: Návrh parkovacího místa (úhel řazení 80°, šířka jízdního pruhu 5,25 m, délka parkovacího stání 5,25 m, základní šířka parkovacího stání 2,55 m)

Při parkování couváním se vlečná křivka nejvíce rozšiřuje v místě jízdního pruhu, který vozidlu poskytuje dostatek prostoru pro získání potřebného úhlu pro parkování. Vlečná křivka se pak v místě parkovacího stání výrazně zužuje.



Obrázek 55: Návrh parkovacího místa (úhel řazení 70°, šířka jízdního pruhu 3,25 m, délka parkovacího stání 5,3 m, základní šířka parkovacího stání 3,0 m)

Situace se však obrací v případě, že je přilehlý jízdní pruh užší než 3 m a není zde již dostatek prostoru pro provedení parkovacího manévru v plném rejdu. Tím se výrazně zvětšuje vlečná křivka a s ní také potřeba rozšiřování parkovacího stání. Při šířce vozovky užší než 2,75 m se již parkování couváním jeví jako velmi neefektivní, a proto s ním již není uvažováno.

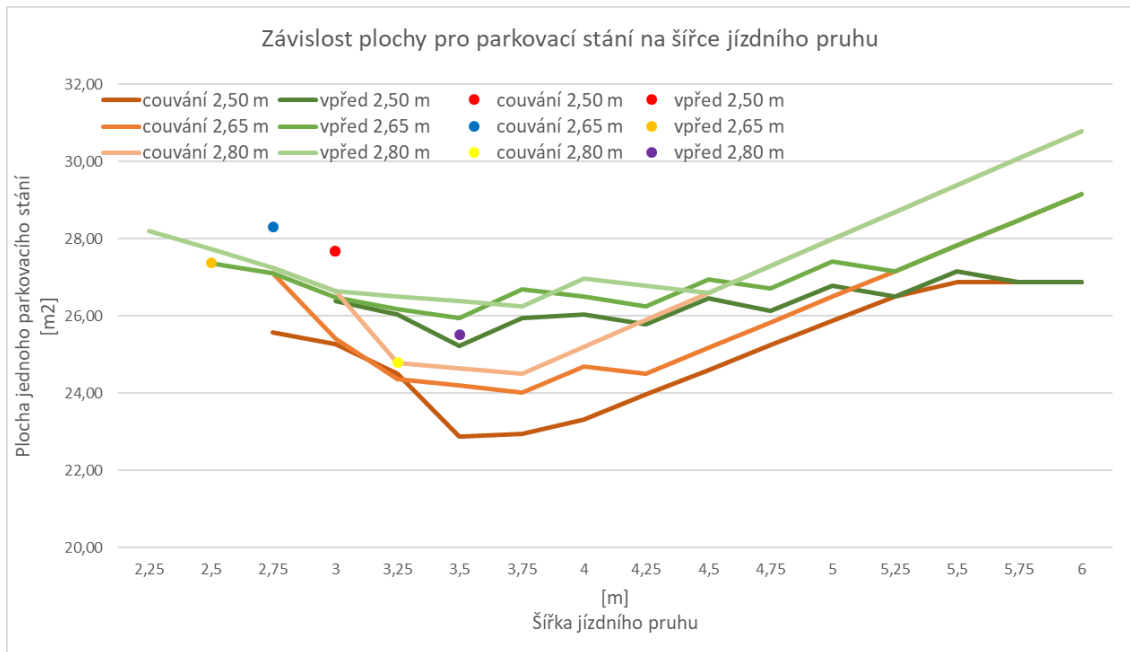


Obrázek 56: Návrh parkovacího místa (úhel řazení 45°, šířka jízdního pruhu 2,75 m, délka parkovacího stání 4,8 m, základní šířka parkovacího stání 3,75 m)

Plocha pro jedno parkovací stání vyjadřuje plochu, která je vymezena šířkou parkovacího stání, šířkou přilehlého jízdního pruhu a délkou parkovacího stání. Její hodnota může posloužit jako jeden z parametrů při volbě druhu parkovacího stání v závislosti na ploše. Platí zde přitom nepřímá úměrnost, čili čím menší je

velikost plochy pro jedno parkovací stání, tím více parkovacích stání se do daného prostoru vejde.

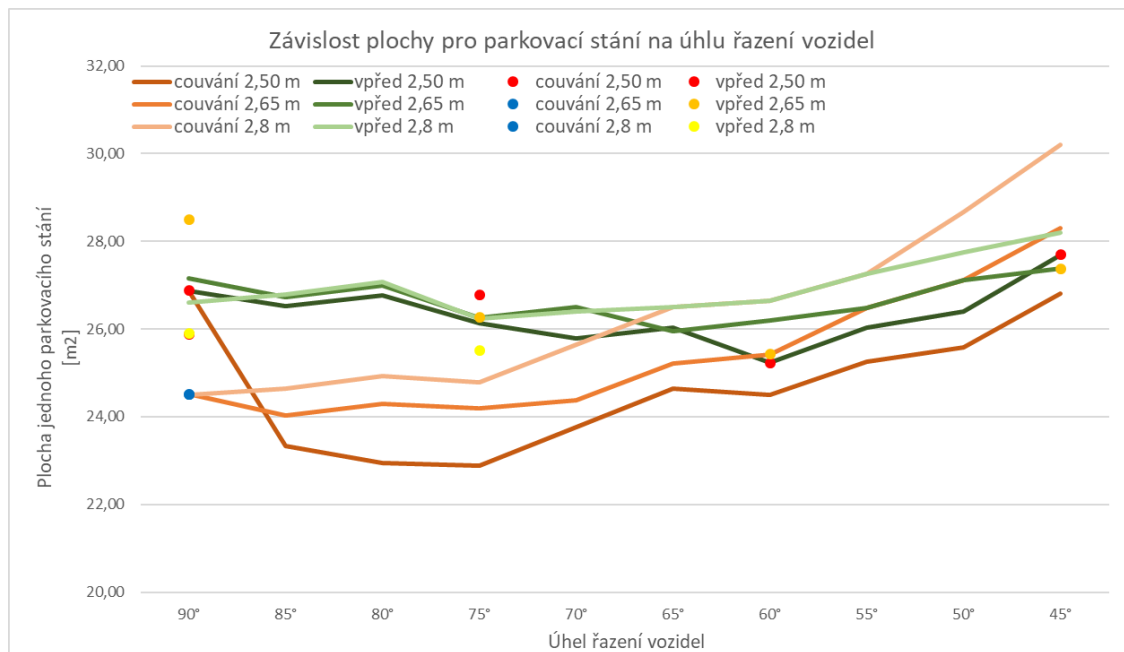
Následující graf zobrazuje minimální plochu pro jedno parkovací stání v závislosti na šířce přilehlého jízdního pruhu. Spojnicí jsou zobrazeny plochy navrhovaných rozměrů parkovacích stání, body zase zobrazují plochu parkovacích stání daných normou ČSN 75 6056.



Obrázek 57: Graf zobrazující závislost plochy pro jednoho parkovací stání na šířce jízdního pruhu

Z grafu je patrné, že prostorově nejúspornější je parkování v případě, že se šířka přilehlého jízdního pruhu pohybuje zhruba v rozmezí 3,25 m až 4,25 m. Zároveň je možné vidět, že závislost na šířce jízdního pásu se výrazněji projevuje u parkování couváním.

Následující graf znázorňuje minimální plochu pro jedno parkovací stání v závislosti na úhlu řazení vozidel. Lomenou čarou jsou vyznačeny plochy navržených rozměrů parkovacích stání, body pak označují plochu parkovacích stání, jejichž rozměry jsou uvedeny v normě ČSN 75 6056.



Obrázek 58: Graf zobrazující závislost plochy pro jedno parkovací stání na úhlu řazení vozidel

Z grafu vyplývá, že pro parkování jízdou vpřed se minimální prostor pro jednotlivé úhly řazení jeví nejmenší při úhlu okolo 65°. Závislost však není tak výrazná jako v případě parkování couváním, kdy dochází k výraznější úspoře prostoru při řazení vozidel pod úhlem 75° až 85°.

8 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo pochopení a popsání způsobu vzniku vlečných křivek. K tomuto účelu byly shromážděny podklady v podobě norem a technických podmínek, které se danou problematiku zabývají.

Na základě těchto podkladů byly popsány předpoklady výpočtu vlečných křivek a samotný postup jejich výpočtu. Následně byl vysvětlen průběh vlečných křivek při parkování, a to jak při parkování jízdou vpřed, tak při parkování couváním.

Dalším krokem bylo porovnání vlečných křivek získaných výpočtem se skutečnými vlečnými křivkami, které vznikají při pohybu reálného vozidla. Bylo zvoleno porovnání vlečných křivek při pohybu vozidla v kruhovém oblouku s volantem otočeným do krajní polohy a při parkování pod úhlem 90° . Vyhodnocením tohoto porovnání se zabývá kapitola 6.4, která také popisuje příčiny vzniklých odchylek.

Následně byly navrženy minimální rozměry parkovacích míst vzhledem k úhlu řazení vozidel. Minimální šířka přilehlého jízdniho pruhu byla volena na základě minimální kolmé šířky parkovacího stání rozšiřované o 0,15 m. Pro takto navržená parkovací stání byly rovněž spočteny plochy, které zabírají spolu s přilehlými jízdniemi pruhy. Takto zjištěné plochy byly následně porovnávány z hlediska závislosti na šířce přilehlého jízdniho pásu a také z hlediska závislosti na úhlu řazení vozidel. Z vyhodnocení vyplývá, že úspornější je vesměs parkování couváním. U tohoto způsobu parkování se zároveň výrazněji projevuje závislost potřebné plochy na šířce přilehlého jízdniho pruhu a na úhlu řazení vozidel.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN 73 6056. *Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 28 s.
- [2] TP 171. *Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti prvků pozemních komunikací*. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2004, 14 s.
Dostupné také z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_171.pdf
- [3] Registrace nových vozidel v roce 2018. *Svaz dovozců automobilů* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?n#rok=2018&mesic=12&kat=OA&vyb=mod&upr=dlereg&obd=r&jine=false&lang=CZ&str=nova>
- [4] ŠKODA auto [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/modely/>
- [5] ČSN 73 6058. *Jednotlivé, řadové a hromadné garáže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 48 s.,
- [6] Škoda Octavia Combi - Základní technická data. In: *Autosalon Klokočka* [online]. 3.10.2011 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: http://www.klokočka.cz/data/file/o/c/Octavia_Combi_TD.pdf
- [7] *Návod k obsluze: Touran*. Přetisk. Německo: Volkswagen, 2008, 166 s.