



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Jan Leistner

Simulace dráhy PLA parkovacího manévru vycházející z fyzicky  
naměřených dat

PLA parking manœuvre simulation based on physically measured values

**Diplomová práce**

**2023**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Jan Leistner**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – IS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Simulace dráhy PLA parkovacího manévru  
vycházející z fyzicky naměřených dat**

Název tématu (anglicky): PLA parking manoeuvre simulation based on physically  
measured values

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- zpracujte rešerši automatických parkovacích systémů
- zjistěte potřebné parametry konkrétního vozu nutné pro automatické parkování
- změřte z CAN sběrnice potřebné hodnoty parkovacího slotu nutné pro simulaci
- proveďte simulaci paralelního PLA parkovacího manévru
- vyhodnoťte získaná data z experimentu a simulace a na základě výsledků zpracujte závěry



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Vlk, F.: Automobilová elektronika: Asistenční a informační systémy, Brno, 2006  
Robert Bosh GmbH: Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics, Springer Vieweg, 2007, ISBN 987-3-658301783-5

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Josef Mík, Ph.D.**

**Ing. Zdeněk Zbudil**

Datum zadání diplomové práce:

**22. června 2022**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce:

**15. května 2023**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jan Leistner  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....22. června 2022

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucím práce panu Ing. Zdeňku Zbudilovi a panu Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. za jejich čas, odborné vedení a cenné rady při přípravě této závěrečné práce. Také bych chtěl poděkovat celému oddělení EED/5 ve Škoda Auto za jejich ochotu a pomoc při psaní této práce. Poděkování patří také mé rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze, Fakultě dopravní

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)

V Praze dne 15. května 2023

Bc. Jan Leistner

## **Abstrakt**

Diplomová práce obsahuje řešerši týkající se autonomních vozidel a asistenčních systémů, které k autonomii vozidel přispívají. Práce obsahuje rozdělení asistenčních systémů dle způsobu jejich funkce a efektu. Dále jsou rozebrána rozdělení autonomních vozidel dle organizací zabývající se touto problematikou. V praktické části jsou sestrojeny dvě simulace podélného parkovacího manévru na pravou stranu. První simulace představuje výpočet manévru podélného parkování na jeden pokus. Druhá simulace obsahuje výpočet trajektorie zaparkování do podélného parkovacího místa na pravou stranu na více manévru. Na algoritmus jsou nasazeny požadavky, které jsou kladeny na testování vozidel u výrobce automobilů Škoda Auto.

**Klíčová slova:** PLA parkovací asistent, simulace, parkovací manévr, parkovací mezera, autonomní vozidla, asistenční systémy, parkovací asistenti, ultrazvukové vzdálenosti.

## **Abstract**

The thesis contains a research on autonomous vehicles and assistance systems that contribute to vehicle autonomy. The thesis includes a classification of assistance systems according to their function and effect. Furthermore, the divisions of autonomous vehicles according to the organizations dealing with this issue are discussed. In the practical part, two simulations of a parallel right-hand parking manoeuvre are constructed. The first simulation represents the computation of the parallel parking maneuver in one trial. The second simulation involves the computation of the trajectory of parking into a right-hand side parallel parking space for multiple maneuvers. The algorithm is fitted with the requirements that are imposed on vehicle testing by the car manufacturer Skoda Auto.

Keywords: PLA parking assistant, simulation, parking manoeuvre, parking gap, autonomous vehicles, parking assistant systems, ultrasonic distances.

# Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíle práce .....	12
3. Asistenční systémy.....	13
3.1 Prvky aktivní bezpečnosti.....	13
3.2 Prvky pasivní bezpečnosti .....	14
3.3 Asistenční systémy podporující vozidlo .....	14
3.3.1. Systém proti blokování kol při brzdění (ABS) .....	15
3.3.2. ASR.....	17
3.3.3. ESC/ESP .....	17
3.3.4. Multi-kolizní brzda .....	17
3.4 Asistenční systémy podporující řidiče.....	18
3.4.1. Adaptivní tempomat (ACC).....	18
3.4.2. Systém udržování vozidla v jízdním pruhu (LKA).....	18
3.4.3. Sledování mrtvého úhlu (BSD – Blind Spot Detection).....	19
3.4.4. Front Assist .....	20
3.4.5. Parkovací asistenti .....	20
4. Pomoc při parkování.....	21
4.1 Ultrazvukové senzory .....	21
4.2 PDC systém.....	24
4.3 PLA (Park Lenk Assist).....	25
4.3.1. Trailer Assist.....	28
4.4 Automatický parkovací asistent PARKTRONIC.....	29
4.5 Remote park assist .....	29
4.6 Trénované parkování .....	30
5. Autonomie vozidel.....	31
6. Nezdary autonomních vozidel .....	37
6.1 Srážka autonomního vozidla s chodcem.....	37
6.2 Srážka autonomního vozidla s nákladním vozidlem .....	38
7. Praktická část .....	39
8. Měření s vozidlem Škoda Octavia.....	40
8.1 Měření s vozidlem Škoda Octavia za kontrolovaných podmínek .....	43
9. Simulace podélného zaparkování na jeden manévr.....	46



10.	Simulace podélného zaparkování na více manévrů .....	54
11.	Diskuze .....	69
12.	Parkovací asistent konkurenčních výrobců .....	70
12.1	Renault Megane .....	70
12.2	Renault Austral .....	73
13.	Porovnání výsledků měření .....	76
14.	Závěr .....	78
15.	Bibliografie .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
16.	Seznam obrázků .....	84
17.	Seznam tabulek .....	86

## Seznam zkratk a použitých symbolů

ABS	Anti-lock brake system
ACC	Adaptive Cruise Control
AEB	Automatic Emergency Braking
ASR	Anti-Slip Regulation
BSD	Blind Spot Detection
CAN	Controller Area Network
CANoe	Software na práci s CAN daty
ČSN	Česká Soustava Norem
deadzone	Vzdálenost od překážky, kterou vozidlo nesmí překročit
EMA	Evasive Maneuver Assist
ESC/ESP	Electronic Stability Control/Program
GPS	Global Positioning System
IPA	Intelligent Park Assist
LDW	Lane Departure Warning
LKA	Lane Keeping Assistant
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
PDC	Park Distance Control
PLA	Park Lenk Assist
RPA	Remote Park Assist
SAE	Society of Automotive Engineers
TTC	Time To Collision
Tracování	Způsob získávání dat z CAN sběrnice
VDA	Verband der Automobilindustrie

# 1. Úvod

V moderním světě 21. století zažívají technologie období obrovského rozvoje. Tento pokrok se nejvíce projevuje v odvětví výroby, výpočetní techniky, ale i dopravy. Vznikají vysokorychlostní tratě, automatizuje se řízení světelných signalizačních zařízení, zvyšuje se úroveň zabezpečení železnic. Pozadu nezůstává ani automobilový průmysl s vývojem autonomních vozidel.

Autonomní vozidlo je takové vozidlo, které dokáže samo, bez nutnosti zásahu řidiče vyhodnotit a zareagovat na situace, které mohou v provozu nastat. Společnost SAE autonomii vozidel rozděluje do 6 úrovní (0-5). S každou úrovní autonomie se zvyšují požadavky na asistenční systémy řidiče (angl. ADAS – Advanced Driver Assistance Systems). Klade se důraz na jejich spolehlivost a spolupráci. Pole působnosti asistenčních systémů se různí. Jedná se o jízdní asistenty, které udržují rychlost nebo vozidlo uvnitř jízdního pruhu, či asistenty tzv. „pomalé“ usnadňující parkování nebo bezpečný výstup z vozidla.

V této diplomové práci bude blíže rozebrána problematika autonomních vozidel a rozdělení jejich úrovní dle tří hlavních organizací v automobilovém průmyslu. Představeny budou asistenční systémy, které jsou pro provoz autonomních vozidel nezbytné se zaměřením na parkovací asistenty. Popsány budou jednotlivé prvky parkovacích asistentů a jednotlivé druhy parkovacích asistentů. V praktické části bude sestrojena simulace poloautomatického parkovacího asistenta pro situaci podélného parkování na pravou stranu. Na simulaci budou použita data z reálného měření délky parkovací mezery a poté budou porovnána s daty z CAN sběrnice natracovaných (způsob získávání dat z CAN sběrnice) při skutečném manévru parkování vozidla. Vozidlo, na kterém budou tato data pořízena a pro jehož rozměry bude připravena simulace, je Škoda Octavia RS čtvrté generace.

## 2. Cíle práce

V teoretické části budou popsány asistenční systémy, které jsou nezbytné pro autonomii vozidel. Asistenční systémy budou rozděleny do kategorií aktivní a pasivní bezpečnosti. Dále budou rozděleny na systémy podporující řidiče a podporující vozidlo. Práce bude blíže zaměřená na parkovací asistenty, jejich součásti a různé typy parkovací pomoci. Cílem teoretické části je seznámit čtenáře s problematikou autonomních vozidel, jejich rozdělením a asistenčních systémů, které k autonomii vozidel přispívají.

Praktická část bude obsahovat simulaci algoritmu na výpočet trasy vozidla pro podélné zaparkování na pravou stranu. Cílem simulace bude sestavení algoritmu a ověření, zda algoritmus dokáže vozidlo zaparkovat za podmínek stanovených interní metodikou pro testování parkovacích asistentů ve Škoda-Auto. Simulovaný manévr bude porovnán s naměřenými daty při parkování s vozidlem Škoda Octavia a s vozidly konkurenčního výrobce Renault.

### 3. Asistenční systémy

Velký rozvoj technologií a stále se zvyšující požadavek na komfort při cestování a řízení vozidla vedl k hledání různých typů řešení v oblasti automobilismu. Hledají se řešení, která by vedle zaručení komfortu řidiče vozidla a celé posádky poskytla i vyšší úroveň bezpečnosti jak pro posádku vozidla, tak i pro ostatní účastníky silničního provozu. Pro tento účel jsou vozidla osazována různými asistenty. Velké popularity mezi řidiči se v současné době těší kombinace adaptivního tempomatu (Adaptive Cruise Control) společně s asistentem udržování vozidla v jízdním pruhu (Lane Keeping Assistant). Kombinace těchto dvou asistentů společně se sledováním mrtvého úhlu se nazývá Travel assistant. Travel assistant poskytne řidiči komfort během jízdy a zároveň snižuje riziko vzniku nehody například na dálnicích, kde systém ACC dodržuje bezpečný odstup. K dalším hojně využívaným asistentům patří například sledování mrtvého úhlu (Blind Spot Detection), či asistent rozjezdu do kopce (Hill Hold Control). Tyto asistenti se dělí na asistenty podporující řidiče a asistenty podporující vozidlo. [1]

#### 3.1 Prvky aktivní bezpečnosti

Prvky aktivní bezpečnosti se snaží předejít vznikům dopravních nehod. Do této kategorie spadají asistenti pracující se senzory, například Front Assist, adaptivní tempomat (ACC), asistent udržování vozidla v jízdním pruhu (LKA), parkovací asistent a další. Mezi prvky aktivní bezpečnosti nepatří jen jízdní asistenti vozidla. Do této kategorie patří i konstrukční prvky, jako například správně fungující brzdy a přesné řízení. Prvkem aktivní bezpečnosti je také správný tlak v pneumatikách, který je již nyní sledován pomocí senzorů přímo na kolech. Sledování tlaku v pneumatikách lze provádět přímo nebo nepřímo. Přímé sledování tlaku v pneumatikách je prováděno pomocí snímačů tlaků ve ventilech kola, nebo na ráfku. Nepřímým způsobem se tlak v pneumatikách sleduje pomocí rychlosti otáčení kol, které měří senzor rychlosti otáčení kol ABS. Pokud je kolo podhuštěno, má rozdílnou rychlost otáčení, než bylo nastaveno při prvotní kalibraci, je řidič upozorněn a vyzván ke kontrole příslušného kola. [2] [3]

### 3.2 Prvky pasivní bezpečnosti

Prvky pasivní bezpečnosti mají za úkol zmírnit následky již vzniklé nehody. Zástupcem pasivní bezpečnosti z řady asistentů je multikolizní brzda. Při nárazu vozidla například do svodidla je vozidlo automaticky zabrzděno a tím je mu zabráněn přejezd do vedlejšího pruhu, či do protisměru. Multikolizní brzda je tedy prvkem pasivní bezpečnosti, protože zmirňuje následky nehody, ale její zásah do brzdné soustavy je aktivní. Z konstrukčních prvků patří do kategorie pasivní bezpečnosti například bezpečnostní pás s předpínáním, airbag a deformovatelná přídí. Všechny tyto prvky se snaží v případě vzniku nehody zmírnit její následky jak pro posádku, tak i pro okolní provoz.

### 3.3 Asistenční systémy podporující vozidlo

Pokud je to nutné, působí tyto systémy přímo, aniž by řidič mohl zabránit jejich působení. V případě asistentu ASR ho lze deaktivovat. Systémy podporující vozidlo působí tak, že řidič jejich účinky téměř nepozná, nebo je považuje za normální. Na tyto systémy se klade požadavek na rychlou a přesnou reakci v případě potřeby [1].

Asistenční systémy podporující vozidla mohou být například:

- ABS
- ASR
- ESC
- Multikolizní brzda

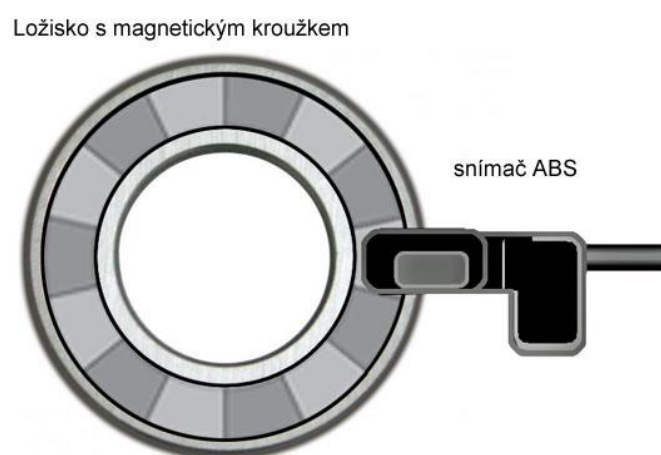
### 3.3.1. Systém proti blokování kol při brzdění (ABS)

Systém ABS předchází zablokování kol při prudkém brzdění. Vozidlo s ABS systémem při prudkém brzdění předejde zablokování kol a umožňuje ovládnutí vozidla.

Hlavními komponenty ABS systému jsou:

- Rychlostní senzory
- Ventily
- Čerpadlo
- Řídicí prvek

Systém ABS pomocí rychlostních senzorů zjišťuje rychlost otáčení každého kola. Senzory jsou umístěny buď přímo v kolech, nebo v některých případech, u diferenciálu. Zjišťování rychlosti otáčení kola je důležité pro aplikování správně velkého brzdného momentu. Rychlost otáčení kol se měří pomocí magnetického senzoru, který měří změnu polarity ložiska, ke kterému je připojen (Obr. 3.1). Magnetické senzory jsou využívány pro dvě hlavní výhody. První výhodou je vyšší přesnost při menších rychlostech, druhou, že magnetický senzor dokáže rozpoznávat směr otáčení kola. Rozpoznání směru otáčení kola je důležité pro další asistenty jako například asistent rozjezdu do kopce, aby se předešlo nechtěnému couvání vozidla při rozjezdu.



[4]

Obrázek 3.1 - Magnetický snímač rychlosti otáčení kola

Na brzdém potrubí je dvojice ventilů pro každé kolo, jeden napouštěcí a jeden vypouštěcí. Ventily mohou zajmout tři různé polohy

- zvýšení tlaku – Napouštěcí ventil je otevřený a spojuje hlavní brzdový válec a kolovým brzdovým válečkem a tlak v brzdě kola vzrůstá. Vypouštěcí ventil je zavřený.
- udržení tlaku – Napouštěcí ventil i vypouštěcí ventil je uzavřen a tím je brzda kola izolována od hlavního brzdového válce. Tlak v brzdě kola zůstává konstantní.
- snížení tlaku – Napouštěcí ventil je uzavřen, vypouštěcí otevřen. Dochází ke snížení tlaku v kolové brzdě a brzdová kapalina je přijata zásobníkem tlaku.

Stav snížení tlaku trvá tak dlouho, dokud se kolo nezačne pohybovat s určitým zrychlením. Tento cyklus se může opakovat až patnáctkrát za vteřinu. [1]

System ABS je na vozidlech vyrobených po roce 2004 vyžadován legislativou Evropské unie. [5]



### 3.3.2. ASR

Anti-Slip Regulation systém sleduje rychlost otáčení hnacích kol a porovnává je s rychlostí vozidla. Pokud dojde k nepoměru rychlostí kol a rychlosti vozidla tak ASR upraví otáčky motoru nebo hnací nápravy tak, aby bylo zamezeno prokluzu hnacích kol.

Anti-Slip Regulation systém má za úkol pozorovat rychlost otáčení kol za jízdy. Využívá k tomu senzory rychlosti kol ABS. Pokud dojde k situaci, že hnací kola se otáčejí rychleji, než je rychlost vozidla, ASR upraví točivý moment motoru, případně aplikuje brzdné síly na hnací nápravu. Cílem tohoto systému je předejít prokluzu hnacích kol vozidla. Systém ASR se běžně pojí se systémem ABS a systém ASR lze deaktivovat, ale ABS nikoli. Pokud je ABS v chybovém stavu, není aktivní ani ASR. [6]

### 3.3.3. ESC/ESP

Electronic Stability Control nebo také Electronic Stability Program je systém, který porovnává dvě hodnoty – úhel natočení kol a skutečný směr jízdy vozidla. Pokud směr jízdy vozidla neodpovídá úhlu natočení kol, systém ESP zasáhne tak, aby zajistil návrat vozidla do požadovaného směru jízdy. ESP sleduje rychlost otáčení kol, úhlovou rychlost vozidla a úhel natočení volantů pomocí 3D pohybového čidla. Pokud vyhodnotí, že je vozidlo ve smyku, účelným přibrzdováním kol se snaží vozidlo stabilizovat. Tento systém integruje funkční vlastnosti systému ABS a systému ASR do jedné funkce. Švédská studie uvádí, že při testování systému ESC docházelo při jeho použití ke snížení nehodovosti o 32 %. [7] [8] [9] [10]

### 3.3.4. Multi-kolizní brzda

Při nárazu vozidla se aktivují brzdné síly na kola vozidla, aby nedošlo k přejezdu poškozeného vozidla do vedlejšího pruhu či protisměru. Zamezením pohybu nabouraného vozidla se zvýší bezpečnost jak posádky, tak i ostatních účastníků provozu. V případě aktivace multikolizní brzdy, řídicí jednotka airbagu vyšle signál do ESP, vozidlo postupně zastaví a aktivují se brzdová a varovná světla. [11]

### 3.4 Asistenční systémy podporující řidiče

Tyto asistenční systémy mají za úkol předcházet vzniku nebezpečných situací pomocí zásahu do řízení, či informování řidiče. V současné době se jedná povětšinou o nouzové zasáhnutí do řízení nebo varování o obsazenosti mrtvého úhlu vozidla, ale cílem je, aby relevantní systémy monitorovaly okolí vozidla během jízdy a včas upozornily na možná nebezpečí. Mezi nejpoužívanější patří:

- Adaptivní tempomat
- Systém udržování vozidla v jízdním pruhu
- Sledování mrtvého úhlu
- Front assist
- Parkovací asistenti

#### 3.4.1. Adaptivní tempomat (ACC)

Technologie adaptivního tempomatu se skládá z řídicí jednotky a senzorů, kterými mohou být kamery, lasery, či radary a ovládacími prvky brzd a akcelerace. Pokud se řidič na dálnici rozhodne aktivovat adaptivní tempomat, aktivuje jeho funkci stiskem tlačítka. Rychlost, kterou se vozidlo v moment stisku tlačítka pohybuje, se nastaví jako požadovaná. Řidič má možnost nastavit požadovanou rychlost podle vlastního uvážení pomocí dalších ovládacích prvků adaptivního tempomatu. Vozidlo udržuje nastavenou rychlost do té doby, dokud pomocí radaru, kamery či laseru nezjistí vozidlo před sebou. Při zjištění vozidla před sebou systém sám upraví rychlost tak, aby udržel bezpečnou vzdálenost mezi vozidly, která je nastavitelná řidičem. Pokud systém nezjistí překážku před vozidlem, zrychlí zpět na nastavenou rychlost. [12]

#### 3.4.2. Systém udržování vozidla v jízdním pruhu (LKA)

Jízdní asistent starající se o udržování vozidla v jízdním pruhu. Pomocí kamery nebo soustavy kamer systém sleduje vodorovné dopravní značení na silnici znázorňující jízdní pruhy. Pokud by se vozidlo samovolně, nebo vinou řidiče (například únavou) blížilo k hranici jízdního pruhu, tento asistent dokáže převzít kontrolu nad volantem a nasměrovat ho tak, aby se vozidlo

vrátilo zpět do jízdního pruhu. Po zásahu systému LKA je řidič varován pomocí audiovizuálního signálu, aby věnoval větší pozornost řízení. Po opakovaném zásahu LKA asistenta se zintenzivní varovné audio signály a pokud ani tak nedojde k převzetí řízení řidičem, vozidlo pomocí systému Emergency Assistant (EMA) bezpečně zastaví v jízdním pruhu či u krajnice. EMA však ke správné funkčnosti požaduje automatickou převodovku vozidla a systém sledování mrtvého úhlu. Systém LKA dovolí řidiči změnu jízdního pruhu v případě, že řidič aktivuje směrový ukazatel. Pokud řidič nesouhlasí se zásahem systému LKA, může převzít řízení „hrubou silou“. Na převzetí kontroly nad volantem řidič potřebuje aplikovat moment síly o velikosti větší, než 5 Nm. U vozidel Škoda je LKA aktivní od rychlosti 65 km/h, řidič má i možnost ho zcela deaktivovat.

V minulosti byl využíván předchůdce tohoto systému – Lane departure warning (LDW). Tento systém taktéž monitoroval vodorovné dopravní značení, díky čemuž identifikoval jízdní pruh. Pokud se vozidlo přiblížilo k hranici svého jízdního pruhu, asistent řidiče pouze varoval a nijak nezasáhl do řízení. Systému LDW se říká pasivní asistent, právě z důvodu nezasáhnutí do řízení. Osazení tohoto systému na vozidlech bylo ukončeno dokumentem UNECE R79.04. [13]

### 3.4.3. Sledování mrtvého úhlu (BSD – Blind Spot Detection)

Sledování mrtvého úhlu vozidla je zajištěno radarovými jednotkami, které jsou uloženy v zadní části vozidla. Radarové jednotky nepřetržitě sledují prostor za vozidlem a dokáží varovat řidiče na blížící se nebezpečí. Systém sledování mrtvého úhlu je především používán na dálnicích. Pokud se řidič rozhodne přejet do vedlejšího pruhu, ale v mrtvém úhlu vozidla se nachází jiné vozidlo, asistent řidiče varuje pomocí světelných signálů, které se zpravidla zobrazují v oblasti venkovních zpětných zrcátek. Pokud řidič zahájí přejezd mezi pruhy i přes varovný světelný signál, BSD začne vibrovat volantem, a poté zasáhne do řízení vozidla a zintenzivní varování o obsazenosti mrtvého úhlu.

#### 3.4.4. Front Assist

System předcházení nebezpečí kolize. V předním nárazníku se nachází radarové jednotky, které kontrolují přítomnost předmětů či chodců před vozidlem. Pokud se vozidlo přibližuje k jinému vozidlu, nebo k překážce či chodci, je vypočten tzv. TTC (Time To Collision). Pokud je TTC menší, než je výrobcem nastavená hranice, je zahájeno brzdění. Míra brzdného momentu závisí na rychlosti přibližování vozidla k překážce. Tento systém se testuje i v rámci nezávislých odborných testů společnosti EURONCAP. Systém front assist se pojí také se systémem nouzového brzdění (AEB). Testy front assist a AEB se skládají z testování reakce na chodce a cyklisty v podélném i příčném směru a reakce a brzdění při zjištění pomalu jedoucího nebo stojícího vozidla.

#### 3.4.5. Parkovací asistenti

V současné době jsou na trhu 3 hlavní typy parkovací pomoci. Prvním typem je pouze síť ultrazvukových senzorů, které řidiče varují pomocí audiovizuálních signálů na přibližování vozidla k překážce. Druhým typem jsou poloautomatické parkovací asistenty, které mají za úkol vybrat vhodnou parkovací mezeru a nasměrovat vozidlo do parkovacího místa pomocí ovládní volantu. Ovládní pedálu brzd a akcelérátoru je společně s řazením přenecháno řidiči, který dostává od asistenta instrukce. Třetím, nejnávýspělejším parkovacím asistentem je plně automatický parkovací asistent. V případě aktivace řidičem sám nalezne parkovací mezeru a plně automaticky zaparkuje vozidlo. Řidič je v tomto případě pouze povinen sledovat okolí a v případě potřeby zasáhnout a bezpečně zastavit vozidlo.

Parkovací asistenti využívají ultrazvukových senzorů a parkovacích kamer. Parkovací kamera může být zadní, přední, nebo systém kamer, který sleduje celé okolí vozidla v úhlu 360°, buď v režimu area view nebo top view.

## 4. Pomoc při parkování

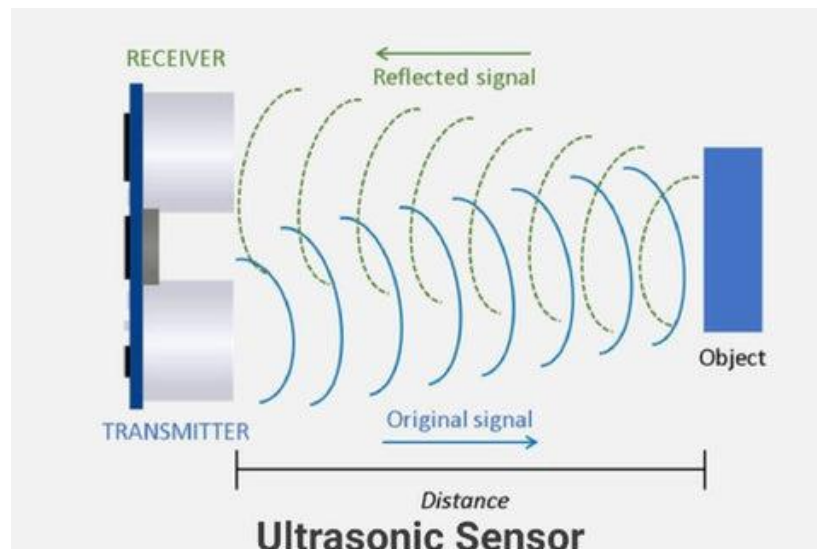
V roce 1991 francouzská společnost Valeo představila systém, který za pomoci ultrazvukových senzorů dokázal změřit vzdálenost od překážky. Návrh na použití tohoto senzoru byl v automobilovém průmyslu prvním na světě. Jelikož se Valeo zabývá pouze vývojem a výrobou dílů pro automobilový průmysl, nikoli produkcí samotných automobilů, tento senzor byl poprvé použit na vozidle od výrobce Toyota na modelu Prius druhé generace v roce 2003.

Toyota tento systém označila jako ultrasonic sonar, který byl součástí funkce park assist. Nejdříve byl systém navržen pouze pro podélné parkování couváním. Řidič musel funkci aktivovat, ta po vyhledání parkovacího místa vypsal na obrazovce rádia upozornění, že je možné zaparkovat. Asistent poté na základě dat z ultrazvukových senzorů a obrazu z přední a zadní kamery dokázal vozidlo navigovat pomocí otáčení volantu do parkovacího místa. Řidič měl za úkol pouze ovládat vozidlo pomocí pedálů. Jednalo se tak o úplně první systém poloautomatického parkování. [14]

### 4.1 Ultrazvukové senzory

V dnešní době je již standardem mít vozidlo osazeno ultrazvukovými parkovacími senzory. Ultrazvukový senzor sleduje vzdálenost mezi překážkou a senzorem samotným. S těmito daty se poté nadále pracuje a vyhodnocuje se vzdálenost, ale i výška překážek vozidla.

Princip práce ultrazvukového senzoru spočívá ve výpočtu odrazu zvukové vlny s frekvencí vyšší než 20 kHz od překážky. Senzor vyšle zvukovou vlnu a začne měřit čas do doby návratu vlny zpět do senzoru. Z toho tedy vychází, že senzor se skládá z vysílacího modulu, přijímacího modulu a modulu, který měří čas a vypočte vzdálenost překážky. Pro správnost měření vzdálenosti překážky je důležité, aby se naměřená data filtrovala a klasifikovala. (Obr. 4.1)



Obrázek 4.1 - Ultrazvukový senzor [15]

Rychlost šíření ultrazvukové vlny závisí na hustotě a objemové pružnosti prostředí, ve které se šíří. V případě parkování se vlna šíří ve vzduchu a to rychlostí 343 m/s.

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

Rov. 4.1

Kde  $K$  je modul objemové pružnosti prostředí a  $\rho$  je jeho hustota. [6]

Vlna se po vyslání z vysílací části senzoru začne šířit prostředím a spustí se časovač. Nyní je senzor v režimu poslechu odraženého signálu od překážky. Po dosažení odraženého signálu do přijímací části senzoru, je zastaven časovač a vypočtena vzdálenost překážky. Výpočet vzdálenosti vypadá následovně

$$d = \frac{(t * v)}{2}$$

Rov. 4.2

Kde  $t$  je čas, za který se odražený signál dostane zpět do senzoru a  $v$  je rychlost šíření ultrazvukové vlny. [6]

Přenos mechanické energie na elektrický signál zajišťuje piezokeramický snímač, který se vlivem nárazu vlny chvěje a tím převádí mechanickou energii vlny na elektrickou. [16] [17]

V dnešních vozidlech je využíváno až 12 ultrazvukových senzorů, které při jízdě měří vzdálenost vozidla od překážek. Tyto senzory jsou tak nepostradatelnou pomocí při parkování vozidla.

## 4.2 PDC systém

Park distance control systém využívá data získaná z měření senzorů vzdálenosti a upozorňuje řidiče na překážky nacházející se v jeho okolí. Systém PDC může být 4-kanálový, kde je senzor osazen pouze zadní nárazník a 8-kanálový, kde je kromě zadního nárazníku osazen senzor i ten přední. Evropská hospodářská komise OSN (UNECE) vydala nařízení, že vozidla vyrobená od roku 2024 musí mít 4-kanálový PDC systém. V Indii jsou však vozidla Škoda vybaveny 2 nebo 3-kanálovým systémem. [17]

Ultrazvukové senzory změří vzdálenost od překážky a pošlou data do parkovací jednotky. Ta na základě toho, kde se daný senzor, který data poslal, nachází, vypočte skutečnou vzdálenost vozidla od překážky a zobrazí informaci o vzdálenosti na displeji rádia. Zobrazování vzdálenosti se realizuje většinou pomocí čar znázorňující překážku, které se přibližují k vozidlu (obr. 4.3). V novějších vozech, které jsou osazeny barevným displejem rádia, čáry znázorňující překážku, mění barvu od zelené přes oranžovou až po červenou, která znázorňuje maximální množné přiblížení vozidla k překážce. (obr. 4.2)



Obrázek 4.2 - Sada na montáž parkovacího asistenta se zobrazováním okolních překážek na obrazovce rádia [18]





Obrázek 4.3 - Zobrazování vzdálenost překážek vozidla na černobílém displeji rádia [16]

#### 4.3 PLA (Park Lenk Assist)

Poloautomatický parkovací asistent dokáže navigovat vozidlo do podélného nebo příčného parkovacího místa. V momentě aktivace přebírá kontrolu nad volantem, řidič ovládá pedály akcelerace a brždění a mění rychlostní stupně.

Proces získávání informací o vzdálenosti překážky je stejný jako u PDC systému – senzor změří vzdálenost, pošle data do parkovací jednotky a ta vyhodnotí vzdálenost vozidla od překážky. U tohoto systému se k 8-kanálovým PDC sensorům přidávají další čtyři senzory na bočních stranách vozidla (obr. 4.4). Tyto senzory nejen kontrolují okolí vozidla na přibližující se překážky, ale mají za úkol změřit parkovací mezeru a ověřit, jestli je vhodná pro zaparkování vozidla. Proto se bočním sensorům říká PLA senzory. Liší se od ostatních tím, že mají rozdílný úhel snímání okolí. Rozdílné úhly snímání mají senzory proto, aby dokázaly rozeznat výšku překážky, která se může vyskytovat poblíž parkovacího místa.

Když se řidič rozhodne zaparkovat, aktivuje parkovacího asistenta pomocí tlačítka (Obr. 4.7). Parkovací asistent se aktivuje a pomocí bočních PLA sensorů začne vyhledávat vhodné parkovací místo. Když nalezne mezeru, do které je možné vozidlo zaparkovat, systém ukáže na displeji virtuálního kokpitu animaci zobrazující vozidlo parkující do mezery (Obr. 4.5). Řidič

započne manévrování zařazením zpětného chodu převodovky. Na displeji se zobrazí šipka znázorňující aktuální směr jízdy vozidla a progress bar ukazující vzdálenost, kterou vozidlo musí urazit před dalším manévrováním (obr. 5.6). Při manévrování se na displeji rádia zobrazí pohled z parkovací kamery, pokud je nainstalována, a zobrazení vzdáleností překážek od vozidla popsané v kapitole PDC (kap. 4.2). Systém tak převezme plnou kontrolu nad volantem a naviguje vozidlo do parkovacího místa.



Obrázek 4.4 - Škoda Octavia z boku, senzory PLA vyznačeny pomocí červených kružnic [19]



Obrázek 4.5 - Displej virtuálního kokpitu ukazující možnost zaparkování na levou stranu vozovky [19]



Obrázek 4.6 - Displej virtuálního kokpitu zobrazující požadovaný směr jízdy vozidla a progress bar ukazující, jak velkou dráhu musí vozidlo urazit [19]



Obrázek 4.7 - Tlačítko, které aktivuje PLA parkovací asistenci [20]

Při výpočtu dráhy vozidla se systém musí řídit předdefinovanými pravidly:

- Vozidlo se musí za každou cenu vyhnout kolizi s překážkou
- Vozidlo se nesmí přiblížit k překážce na vzdálenost menší, než je tzv. plný tón, který u vozidel Škoda dosahuje 30 cm od překážky
- Vozidlo se při parkování nesmí dotknout obrubníku
- Vozidlo musí zaparkovat 18 cm od obrubníku, pokud je obrubník zjištěn
- Pokud není obrubník zjištěn, vozidlo se musí zarovnat s vozidly před a za ním
- Pokud se vedle parkovacího místa vyskytuje překážka, která je vyšší než 40 cm, musí vozidlo zastavit tak, aby umožnilo bezpečný a pohodlný výstup všem členům posádky vozidla.
- Pokud parkování obsahuje více než 8 manévrů (jeden manévr znamená jedno přeřazení rychlostního stupně), parkovací asistent se ukončí a vypíše hlášku, že vozidlo nelze zaparkovat, či že rozměr parkovací mezery je příliš malý.

Po úspěšném zaparkování asistent automaticky zabrzdí vozidlo proti pohybu pomocí elektronické parkovací brzdy. V případě vozidla s ruční parkovací brzdou, je řidič požádán o zabrzdění vozidla.

Systém také obsahuje funkci vyparkování, kde je funkce asistenta stejná jako při parkování. K ukončení procesu dojde v momentě, kdy je vozidlo v takové pozici, že řidič dokáže vyjet z parkovacího místa na jeden manévr.

Při vyparkování se kontroluje okolní provoz, aby se předešlo případné kolizi s jedoucimi vozidly. Tuto funkci zajišťují zadní a přední radary, které monitorují okolí vozidla na větší vzdálenosti než ultrazvukové senzory. V případě zjištění možné kolize, vyparkované vozidlo zastaví pomocí systému AEB (Autonomous Emergency Braking – Autonomní nouzové brždění).

#### 4.3.1. Trailer Assist

Výrobce automobilů Volkswagen nabízí nastavbu na poloautomatický parkovací asistent, parkování s přívěsem. Tento systém pracuje shodně jako PLA systém, s rozdílem toho, že počítá s přívěsem při parkovacím manévru. Pro aktivaci parkovacího asistenta stačí zařadit zpátečku, stisknout tlačítko pro aktivaci parkovacího asistenta a pomocí ovladače natočení vnějších zpětných zrcátek zadat požadovaný směr, kterým chce řidič zacouvat. Systém pak

natočí volant do požadovaného úhlu a řidič je požádán k sešlápnutí příslušného pedálu či zařazení požadovaného rychlostního stupně. [21]

#### 4.4 Automatický parkovací asistent PARKTRONIC

Jedná se o parkovací asistent nejvyšší úrovně dostupný na trhu. Systém při parkování převezme plnou kontrolu nad volantem, pedály akcelérátoru i brzd a nad řazením. Princip sběru dat o vzdálenosti překážek je stejný jako u PDC a PLA systémů. Boční senzor nalezne vhodnou parkovací mezeru a po nalezení oznámí řidiči možnost zaparkování. Ten zvolí parkovací místo a parkovací proces započne. I přes to, že parkování je v této fázi již plně autonomní, je řidič povinen sledovat okolí vozidla a být připraven zahájit brždění. Asistent se při stisku brzdového pedálu přeruší, ale je schopen na nedokončený manévr navázat. Parkovací manévr se dá přerušit také převzetím kontroly nad volantem. Pokud si řidič přeje pokračovat v činnosti parkovacího asistenta, pustí volant a sešlápne a povolí brzdový pedál. Stejně tak jako u poloautomatického parkovacího asistenta (PLA), systém Parktronic dokáže vyparkovat vozidlo z parkovacího místa. Tento systém je dostupný na vozidlech Mercedes, konkrétně na modelu GLS 580. U vozidel značky Škoda se tento asistent nazývá Intelligent Park Assist (IPA) [22]

#### 4.5 Remote park assist

Asistent vzdáleného parkování je nástavbou automatického parkovacího asistenta. Průběh parkování je stejný – řidič aktivuje parkovacího asistenta a projede kolem parkovacího místa. Když asistent rozpozná parkovací mezeru vhodnou pro zaparkování vozidla, nabídne řidiči možnost zaparkování. Řidič poté zvolí možnost vzdáleného zaparkování a opustí vozidlo. V mobilní aplikaci poté zvolí vzdálené zaparkování a přidržetím tlačítka v telefonu zahájí parkovací manévr. Telefon je s vozidlem propojen pomocí Bluetooth rozhraní. Řidič je povinen být v blízkosti vozidla po dobu celého parkovacího procesu, pokud by došlo k přerušení spojení mezi telefonem řidiče a vozidlem, parkovací manévr se ihned přeruší. Tato funkce byla představena společností Valeo v rámci projektu Park4U. Škoda Auto pro tuto funkci plánuje začátek prodeje na první čtvrtletí roku 2024. Funkci Remote Park Assist mají i další výrobci vozidel, jako například BMW, Kia nebo Hyundai [23] [24]

## 4.6 Trénované parkování

Parkovací asistent s funkcí trénovaného parkování si dokáže zapamatovat manévr, který byl proveden v minulosti. Řidič zaparkuje vozidlo na parkovací místo a po dokončení manévru uloží parkovací pozici do paměti systému. Při další návštěvě stejného parkovacího místa systém sám obrazí pop-up hlášku na displej rádia, že je schopen zaparkovat, na základě již dříve provedeného parkování. Pokud řidič tuto možnost zvolí, systém převezme plnou kontrolu nad vozidlem a zaparkuje vozidlo do parkovacího místa. Tato funkce parkovacího asistenta je využitelná při parkování u domu nebo na vyhrazeném parkovacím místě. V tomto systému spolupracují s ultrazvukovými senzory kamerové systémy vozidla a GPS modul umístěný na střeše vozidla.

Parkovací asistent na základě dat z kamery rozezná známou oblast a dokáže zaparkovat vozidlo. Jedná se o spolupráci kamer a GPS (Global Positioning System) modulu. Systém GPS dokáže určit přesnou polohu vozidla a tím napodobit naučený manévr. Praktické omezení této funkce spočívá u parkování v podzemních prostorech, nebo místech, kde není dostatečný signál GPS, zde by naváděcí funkci mohl zastoupit systém parkovacích kamer a záběry, ze kterých parkovací jednotka dokáže rozpoznat podobnost prostředí naučeného manévru. Parkovací jednotka při učení manévru zaznamenává velké překážky a objekty, u kterých je nepravděpodobné, že by měnily svoji pozici. Jedná se například o sloupy veřejného osvětlení, zeleň, ale i budovy. [24]

## 5. Autonomie vozidel

Spoluprací asistentů uvedených v kapitole Asistenční systémy (kap. 3) se automobilový průmysl postupně posouvá směrem k plné autonomii vozidel. Cílem je vývoj vozidla, které bude schopno reagovat na podněty z okolí a to bez přičinění lidského zásahu. Vozidlo získává data z okolí pomocí technologií jako například GPS, radarové jednotky, měřící lasery a počítačové vidění. Důležitým zdrojem informací pro vozidlo je také komunikace vozidla s infrastrukturou (Vehicle 2 Infrastructure) a kooperativní komunikace mezi vozidly (Vehicle 2 Vehicle). Autonomie vozidel se rozděluje do úrovní, dle míry autonomie vozidla.

Jak již bylo uvedeno v úvodu, autonomní vozidla se většinou rozdělují na šest úrovní, od nulté do páté úrovně. Nultá úroveň je definována jako vozidlo zcela bez asistenčních systémů. Vozidlo nijak nezasahuje do řízení, nemá kontrolu nad žádným prvkem a případná přítomnost asistenčních systémů plní pouze informativní či varovnou funkci. Příkladem informativního asistenčního systému je například varování při opouštění jízdního pruhu (LDW – lane departure warning).

Při první úrovni autonomie již do řízení, dle definice organizace SAE, zasahuje jeden asistenční systém. Může se jednat o systém, který ovládá natočení volantu (příčný směr jízdy), například asistent udržování jízdního pruhu (LKA – Lane Keeping Assistant) nebo o systém, který má kontrolu nad pedály, například adaptivní tempomat (podélný směr jízdy). Na vozidle první úrovně autonomie musí být právě jeden takový asistenční systém.

Úroveň autonomie druhého stupně již umožňuje kombinaci systémů, které ovládají právě dva směry jízdy vozidla. V nejčastějším případě se jedná o kombinaci ovládání rychlosti (akcelerace, brždění) a úhlu natočení volantu. Tyto veličiny společně ovládá systém adaptivního tempomatu (ACC – adaptive cruise control) a asistent udržování vozidla v jízdním pruhu (LKA). Všechny doposud vyjmenované úrovně vyžadují stoprocentní zúčastněnost řidiče a jeho plnou pozornost. [25]

Ve třetí úrovni autonomie vozidla se uvádí tzv. režim „eyes off“ ve volném překladu to znamená, že by řidič nemusel sledovat průběh jízdy vozidla. Vozidlo je schopno převzít plnou kontrolu nad řízením, ale pouze za předem definovaných podmínek. Tyto podmínky obsahují požadavky na typy komunikací, správnou viditelnost vodorovného a svislého dopravního

značení a příznivé povětrnostní podmínky. Pokud vozidlo narazí na situaci, která nespĺňuje požadavky pro autonomní řízení, požádá řidiče, aby převzal kontrolu nad řízením [25]

Autonomie čtvrté úrovně představuje nastavbu na třetí úroveň ve větší odolnosti vůči nepředvídatelným vlivům. Žádost vozidla o řidičovo převzetí kontroly nad jízdou se vyskytuje jen ojediněle, ale stále může nastat v případě extrémních podmínek počasí (silný vítr, extrémně nízká viditelnost atp.). [16]

Pátá úroveň autonomie vozidla představuje bezpodmínečnou a maximálně spolehlivou autonomní jízdu. Řidič již plní funkci pasažéra a není povinen se jakkoli věnovat jízdě vozidla. Společnost SAE dokonce uvádí, že ve vozidle už nebudou potřeba prvky ovládání vozidla, jako jsou volant a pedály akceleračtoru či brzdy. [16]

Společnost SAE však není jedinou, která rozřazuje autonomní vozidla dle stupně autonomie jízdy. Americký národní úřad pro bezpečnost silničního provozu (NHTSA) definuje úroveň autonomního řízení pouze do pěti úrovní (Tab. 5.1)



Tabulka 5.1 -Rozdělení úrovní autonomie vozidel dle NHTSA [26]

Úroveň	Popis
0	Úkolem řidiče je obsluhovat všechny systémy ve vozidle.
1	Vozidlo je vybaveno automatickými verzemi některých systémů (například ABS, automatické brzdění, ESC), které mohou být aktivovány spontánně bez řidičova vědomí. Řidičova povinnost je však plně sledovat okolí a být soustředěn na jízdu.
2	Vozidlo je vybaveno automatickými systémy, které nepotřebují řidičovu pozornost. Takové systémy zahrnují například udržování vozidla v jízdním pruhu a adaptivní tempomat.
3	Vozidlo je schopno autonomie za specifických podmínek, zatímco řidič kontroluje správnost jejich funkce.
4	Řidič cestuje jako pasažér a není potřeba, aby nijak zasahoval do řízení vozidla. Všechny funkce jsou plně automatizovány a vozidlo je plně autonomní.

Další klasifikace pochází z německého spolku automobilového průmyslu (VDA). Spolek definuje šest úrovní autonomního řízení (Tab. 5.2).

Tabulka 5.2 - Rozdělení úrovní autonomie dle německé společnosti VDA [27]

Úroveň	Popis
0	Ve vozidle není žádná automatizovaná funkce. Řidič musí ovládat vozidlo jak ve smyslu akcelerace a brždění, tak ve smyslu řízení. Do této kategorie spadají pouze systémy kontrolující kondici vozidla (stav oleje, teplota provozních kapalin, ...).
1	Vozidlo je vybaveno systémem, který dokáže ovládat buď podélný, nebo příčný směr jízdy. Řidič musí ovládat všechny ostatní funkce vozidla.
2	Vozidlo je částečně automatizováno. Řidič nemusí ovládat podélný ani příčný směr jízdy za určitých podmínek. Řidič musí monitorovat okolní provoz po dobu celé jízdy, aby byl v případě nebezpečí schopen zasáhnout.
3	Vozidlo ví o svých limitech fungování a v případě jejich dosažení, požádá řidiče o převzetí kontroly nad řízením. Řidič není povinen kontrolovat podélný ani příčný směr jízdy vozidla, ale musí zůstat ostražitý pro případ, že si vozidlo vyžádá převzetí řízení řidičem
4	Vozidlo je schopno samostatné jízdy, ale jen za určitých podmínek na určitých typech komunikací a za určité rychlosti. Pokud jsou

	tyto podmínky naplněny, řidič se stává pasažérem vozidla.
5	Vozidlo je plně autonomní. Je schopno jezdit na všech typech komunikací a za jakýchkoli podmínek. Řidič je pouze pasažérem.

Mezinárodní organizace automobilových inženýrů (SAE) definuje autonomii vozidel do 6 úrovní, od nulté až po pátou úroveň (Tab. 5.3).

Tabulka 5.3 - Rozdělení úrovní autonomie vozidel dle organizace SAE [28]

Úroveň	Popis
0	Na řidiči je plná kontrola nad vozidlem. Vozidlo je schopno informovat řidiče o možných nebezpečích. Řidič je povinen kontrolovat okolí vozidla po celý čas jízdy.
1	Vozidlo je vybaveno prvkem automatizace řízení nebo automatizace akcelerace. Řidič je zodpovědný za sledování okolí vozidla a musí být schopen zasáhnout.
2	Částečná automatizace vozidla. Vozidlo má kontrolu nad akcelerací či bržděním i ovládáním volantu. Řidič musí dohlížet na funkci těchto systémů.
3	Podmíněná autonomie vozidla. Vozidlo může za splnění podmínek převzít kontrolu nad řízením, ale řidič musí být připraven kdykoli převzít kontrolu nad vozidlem zpět.
4	Vozidlo je schopno převzít kontrolu nad vozidlem i přes to že řidič nereaguje na výzvy o převzetí řízení.
5	Plná automatizace vozidla – nezávislost na řidiči za jakýchkoli podmínek.

## 6. Nezdary autonomních vozidel

Testování autonomních vozidel v reálném provozu neskončí vždy úspěchem, i přes to tvoří nedílnou součást vývoje jakéhokoli produktu, právě za účelem odhalení nepředvídatelných situací a defektů systému. Pokud by byl odhalen nedostatek až po uvedení produktu na trh, mohlo by to mít následky jak na majetku, tak i, v některých případech, na lidském zdraví. Testování autonomních vozidel se sice provádí na polygonech, kde je testované vozidlo izolováno od okolní dopravy, ale ani ten nejlepší testovací polygon nedokáže plně napodobit dynamiku skutečného dopravního proudu, který se odehrává na městských či mimoměstských komunikacích. Proto je po úspěšném testování na polygonu vozidlo uvedeno do testování v reálném provozu.

Testování autonomních vozidel v reálném provozu je limitováno legislativně. Ve světovém měřítku se ujímají vedoucí pozice v testování autonomních vozidel Spojené státy americké, které mají legislativně povoleno testovat vozidla v 29 státech. Dále autonomní vozidla testují Japonsko a Čína. V české republice je povoleno provozovat vozidla první a druhé úrovně, za podmínky, že řidič může kdykoli deaktivovat autonomní řízení a zasáhnout do řízení vozidla. Dalšímu testování autonomních vozidel vyšších úrovní v České republice a Evropské unii brání Vídeňská a Ženevská úmluva o silničním provozu, která stanovuje povinnost, že každé vozidlo v pohybu musí mít řidiče. [29] [30] [31]

### 6.1 Srážka autonomního vozidla s chodcem

18. března roku 2018 ve městě Tempe, státu Arizona bylo testováno autonomní vozidlo od firmy Uber. Vzhledem k tomu, že autonomní vozidlo bylo v testovací fázi, bylo vyžadováno, aby za volantem vozidla seděl člověk, který bude monitorovat řízení vozidla a v případě potřeby zasáhne. Testování probíhalo v noci za účelem nižší intenzity provozu. Právě v důsledku tmy se stala první nehoda autonomního vozidla. Vozidlo se pohybovalo rychlostí 65 km/h po městské komunikaci a došlo ke střetu s chodcem, který komunikaci přecházel. Chodec utrpěl zranění, na které později zemřel. Celý případ nehody byl silně diskutovaným tématem a soudní rozhodnutí byla výrazně medializovaná. I přes to, že člověk v kabině vozidla, nesledoval, dle záznamů z palubní kamery, okolí vozidla, by dle odborných posouzení nebyl schopen vozidlo bezpečně zastavit v důsledku špatného osvětlení komunikace. Chodec

tak vkročil před vozidlo v takové blízkosti, že nebylo možné nehodě zabránit. Bližší analýza palubního počítače vozidla, které nehodu způsobilo, ukázala, že senzory vozidla chodce znamenaly, avšak software na filtraci tzv. „false positive“ případů, vyhodnotil situaci jako planý poplach. Důvodem bylo, že chodec vedl jízdní kolo, které znemožnilo správnou identifikaci objektu systémem. Systém se tedy rozhodl nebrzdit ani neměnit směr jízdy. [32] [33] [34]

## 6.2 Srážka autonomního vozidla s nákladním vozidlem

V květnu roku 2016 došlo k nehodě vozidla značky Tesla. Nehoda si vyžádala jednu oběť. Řidič s vozidlem cestoval po dálnici ve městě Winston, státě Florida se zapnutým systémem Tesla autopilot. Systém v té době splňoval kritéria potřebná k zařazení systému do třetí úrovně. Nehoda se stala důsledkem silného slunečního svitu do čočky kamery, která sledovala okolí vozidla při jízdě. Když komunikaci přejížděl nákladní kamion, systém v důsledku oslepení silným slunečním svitem nerozpoznal překážku v jízdě a nezahájil brždění. Při pozdější analýze palubních přístrojů vyšlo najevo, že v důsledku oslepení kamery systém mezeru mezi kamionem a vozovkou vyhodnotil jako podjezd pod silničním mostem. Řidič se, dle dostupných zdrojů, nevěnoval řízení, a tak nemohl včas zasáhnout. Nehoda skončila smrtelným zraněním řidiče. Společnost Tesla na základě této nehody začala vyvíjet systém pro komunikaci vozidel, tzv. fleet learning, který by mohl podobným situacím předejít. [35] [36]

## 7. Praktická část

Zadáním diplomové práce je simulace výpočtu parkovacího manévru PLA parkovacího asistenta při parkování do podélného řazení na pravou stranu. Simulace bude probíhat v prostředí software MATLAB a cílem bude ověřit, zda algoritmus výpočtu trajektorie na základě využití maximálního natočení kol bude schopen zaparkovat vozidlo do parkovacích mezer o délkách, které jsou popsány v interní metodice o testování parkovacích asistentů ve firmě Škoda Auto. Algoritmus bude aplikován na rozměry zvoleného vozidla a výsledky ze simulace budou porovnány s daty, která byla naměřena na současném parkovacím asistentu PLA.

PLA systém nepožaduje automatickou převodovku, protože úkony s řazením nejsou automatizovány. Požadavkem na vozidlo je, aby bylo osazeno parkovacími ultrazvukovými senzory (Kap. 4.1) na předním i zadním nárazníku a boku vozidla (u vozidel Škoda se jedná o 12-kanálový systém ultrazvukových senzorů). Vozidlo, které bylo vybráno pro toto měření je Škoda Octavia RS 4. generace. (Obr. 7.1)



Obrázek 7.1 - Škoda Octavia RS, 4. generace, 2020 [37]

Prvním krokem bylo testování PLA parkovacího systému. Tento krok je důležitý na pochopení způsobu výpočtu manévru potřebného k zaparkování. Výrobce parkovací jednotky, kde se výpočet manévru děje, neuvádí způsob výpočtu. Po zkušební jízdě bylo zahájeno měření za kontrolovaných podmínek, kde bylo provedeno tracování dat, které proudí přes CAN sběrnici vozidla. Při tracování se sbírají všechna data, která přes toto rozhraní proudí a v následné analýze jsou filtrována dle potřeby. Zadáním diplomové práce je simulace a výpočet parkovacího manévru při podélném parkování vpravo. Zkušební jízda zaměřena právě na tento způsob parkování.

## 8. Měření s vozidlem Škoda Octavia

Testování parkovacího asistenta probíhalo ve městě Mladá Boleslav krátce před 14. hodinou. Před 14. hodinou je ve městě nižší provoz a méně obsazených parkovacích míst.

Vzhledem k tomu, že měření probíhalo v městském provozu, nebylo možné zajistit rozměry parkovacího místa předepsané metodikou pro testování parkovacích asistentů. Vozidlo bylo zaparkováno do celkem 12 parkovacích mezer, z toho 7 z nich na pravou stranu s obrubníkem, 4 na pravou stranu bez obrubníku a 1 na levou stranu bez obrubníku.

(Tab. 8.1)



Tabulka 8.1 - Testování parkovacího asistenta Škoda Octavia 2019

Škoda Octavia 2019						
Poř. č.	Délka mezery [m]	Počet manévrů	kontakt?	Přední kolo [mm]	Zadní kolo [mm]	Poznámka
1	9,05	2	Ne	170	175	Pravá strana
2	7,71	2	Ne	105	150	Pravá strana
3	6,84	2	Ne	100	135	Pravá strana
4	5,80	4	Ne	120	170	Pravá strana
5	7,82	2	Ne	180	200	Pravá strana
6	7,41	2	Ne	-	-	Bez obrubníku, blízko překážky
7	6,70	2	Ne	-	-	Bez obrubníku
8	6,52	2	Ne	-	-	Bez obrubníku
9	8,47	2	Ne	180	180	Levá strana
10	6,49	2	Ne	95	100	Pravá strana
11	6,70	2	Ne	100	120	Pravá strana
12	6,78	2	Ne	-	-	Bez obrubníku

Z výše uvedené tabulky (Tab. 8.1) vyplývá průměrná délka parkovacích mezer > 7 m. Testování parkovacího asistenta probíhalo v obytných částech města, u domů, kde parkovací místa nebyla vyznačena vodorovným dopravním značením. Obyvatelé domů, před kterými parkování probíhalo, byli nejspíš v zaměstnání, a proto byla většina parkovacích míst volná.

Parkování s vozidlem Škoda Octavia bylo provedeno s poloautomatickým parkovacím asistentem. Poloautomatický parkovací asistent funguje shodně, jak bylo popsáno v kapitole PLA (Park Lenk Assist) (kap. 4.3). Řidič aktivuje parkovacího asistenta pomocí tlačítka na ovládacím panelu DIETa.

Níže následuje ověření funkčnosti parkovacího asistenta v různých situacích:

- 1) Pokud řidič chce zaparkovat vozidlo na pravou stranu, nemusí zapínat směrový signál, aby systém zahájil vyhledávání vhodné parkovací mezery. Směrový signál se doporučuje zapnout až před zahájením samotného parkování. Při nalezení volné parkovací mezery, je řidič upozorněn pomocí vizuálních signálů na obrazovce rádia. Pokud je k dispozici více parkovacích míst, řidič vybere požadované parkovací místo na displeji rádia. Po výběru parkovacího místa jsou instrukce pro zaparkování zobrazovány na displeji virtuálního kokpitu (obr. 8.1). Řidiči jsou poté zobrazovány instrukce o ovládní podélného směru jízdy vozidla. Pokud řidič dorazí do bodu, kde je potřeba přeredit z rychlostního stupně

na zpátečku (nebo naopak), systém řidiče upozorní pomocí audio-vizuálních signálů. Následují audio-vizuální instrukce směřující až k zaparkování vozidla.

2) Otestováno bylo také parkování poblíž překážky vyšší než 40 cm. Dle údajů dodavatele parkovací jednotky má vozidlo zaparkovat tak, aby byl umožněn pohodlný výstup všech členů posádky ze všech dveří vozidla. Při šestém parkování (Tab. 8.1) k tomu však nedošlo a dveře spolujezdce nebylo možné úplně otevřít. Možné příčiny zaparkování vozidla blízko překážky:

- Parkovací asistent nevyhodnotil překážku jako vysokou
- Parkovací asistent nezaznamenal překážku vůbec
- Parkovací asistent považoval překážku za irelevantní

3) Strategie zaparkování vozidla do mezery délky 5.8 metru spočívala v njetí vozidla do mezery velkým obloukem, za použití přibližně třetiny maximálního úhlu natočení kol. Následně pak vozidlo manévrovalo za pomoci úhlů natočení kol blížící se k maximu.

Nutno zmínit, že vozidlo neoznámilo mezeru vhodnou pro zaparkování, pokud nebyla ohraničená vozidly z obou stran.



Obrázek 8.1 - Instrukce zobrazované na displeji virtuálního kokpitu

## 8.1 Měření s vozidlem Škoda Octavia za kontrolovaných podmínek

Bylo provedeno měření poloautomatického parkovacího asistenta za kontrolovaných podmínek.

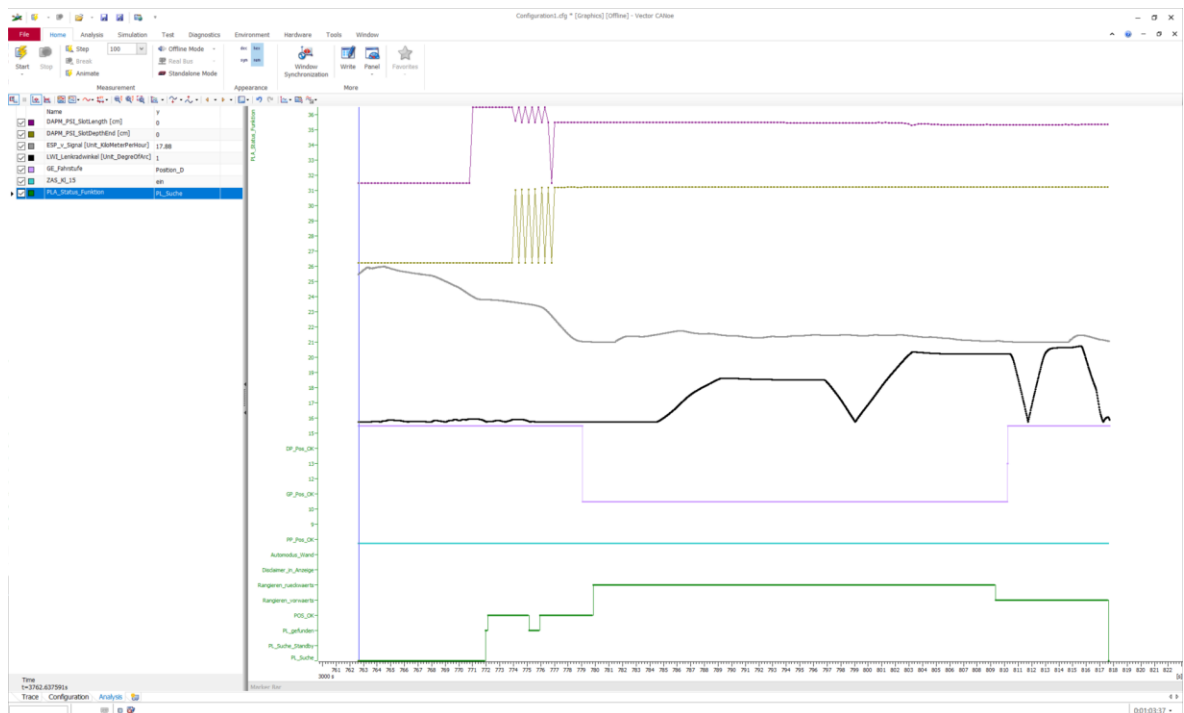
- Parkování probíhalo na testovacím polygonu Škoda Auto.
- Délka podélných parkovacích mezer byla nastavena na 7700 mm, 6700 mm a 5700 mm.
- Šíře parkovací mezery byla neměnná a to 2000 mm.
- Parkování probíhalo v podélném řazení na pravou stranu s obrubníkem.

Během parkování byla sbírána data na CAN sběrnici tracením.

Po zkoušce parkování byla zpracována natracovaná data pomocí software CANoe. Data získaná připojením na CAN sběrnici vozidla nemají sama o sobě žádnou informační hodnotu, aby bylo možné provést analýzu, je potřeba nejprve datům přiřadit význam. K tomuto účelu slouží tzv. data matice. Data matice je soubor popisů hodnot a jejich kódů. Během měření byly získány kódy, kterým je potřeba význam přiřadit pomocí data matice. Data matice byla poskytnuta výrobcem parkovací jednotky. V software CANoe byla načtena data z příslušného měření a byla zvolena data matice. Poté byla data vyfiltrována na potřebné veličiny (tzv. signály) s následujícím oborem hodnot. (Tab. 8.2)

Tabulka 8.2 - Sledované veličiny při zkoumání naměřených dat během testování

Název	Obor hodnot	[Jednotka]	Vysvětlivky
Rychlost vozidla	0 – 5	[km/h]	při parkování rychlost nepřesáhla 5 km/h
Úhel natočení volantu	0 – 766.8	[DEG]	maximálně 2,13 otáčky volantu
Zařazený rychlostní stupeň	R, D, 1	[-]	R – zpětný chod, D – jízda vpřed pro automatickou převodovku R – zpětný chod, 1 – jízda vpřed
Stav PLA jednotky	—	[-]	Standby, found, notFound, off, measuring, error
Zjištěná délka parkovacího slotu	0 – 450	[cm]	—
Zjištěná hloubka parkovacího slotu	0 – 450	[cm]	—



Obrázek 8.2 - Ukázka vizualizace natracovaných dat během zkoušky parkovacího asistenta do parkovací mezery o délce 6700 mm

Na obrázku (Obr. 8.2) je vyobrazená vizualizace dat získaných během zkoušky parkování. Křivky vykreslené v hlavní části okna programu představují hodnoty, kterých různé veličiny nabývaly. Pro představu strategie parkovacího manévru je důležitá černá křivka znázorňující úhel natočení volantu. V obrázku je vidět, že úhel volantu nejdříve dosáhne poloviny svého maximálního úhlu. To je způsobeno prvním manévrem při nájezdu vozidla do parkovací mezery. Dále křivka znázorňující úhel natočení volantu nabývá hodnot blížících se k maximu. V tomto momentě již vozidlo manévruje v parkovací mezeře a snaží se zarovnat dle předdefinovaných podmínek. (Kap. 6.3).

Tabulka 8.3 - Výňatek z měření parkovacího asistenta PLA

Škoda Octavia				
Délka x hloubka mm x mm	Manévry	Obrubník?	Přední kolo [mm]	Zadní kolo [mm]
7700 x 2000	2	Ne	200	190
7700 x 2000	2	Ne	180	170
7700 x 2000	2	Ne	255	210
6700 x 2000	2	Ne	160	175
6700 x 2000	2	Ne	140	145
6700 x 2000	2	Ne	150	160
5700 x 2000	6	Ne	220	235
5700 x 2000	5	Ne	220	190
5700 x 2000	4	Ne	170	180

Tabulka (Tab. 8.3) obsahující výňatek z měření parkovacích manévrů do podélného parkovacího místa na pravou stranu s obrubníkem s vozidlem Škoda Octavia RS. Výňatek obsahuje škálu délek parkovacích míst od největší po nejmenší testovanou. Data o rozměru testovaného parkovacího místa ve formátu délka x hloubka jsou k nalezení v prvním sloupci. Druhý sloupec zobrazuje počet manévrů, který byl potřebný k zaparkování vozidla do mezery o příslušných rozměrech. Třetí sloupec indikuje, zda vozidlo přišlo, během manévrování, do kontaktu s obrubníkem. Poslední dva sloupce ukazují, jak vzdálené bylo příslušné kolo od obrubníku na konci parkovacího manévru.

## 9. Simulace podélného zaparkování na jeden manévr

Předlohou pro simulaci byl vědecký článek publikovaný francouzským výzkumným týmem na mezinárodním kongresu automatizovaného řízení v Miláně [37]. Článek pojednává o teorii výpočtu manévru vyparkování pro podélné řazení. Strategie vyparkování vozidla je stejná jako pro zaparkování, celý proces je potřeba jen zvrátit. Algoritmus navrhovaný v článku pracuje s maximálním úhlem natočení kol a počítá algoritmus, kde je možné vozidlo zaparkovat na jeden manévr. Tento algoritmus však shledává limitace. První limitací je velikost parkovacího místa. Na základě veličin rozvor náprav, maximální úhel natočení kol a celková délka a šíře vozidla je vypočtena velikost nejmenší možné délky parkovací mezery pro zaparkování na jeden manévr (Tab. 9.1). Ta však jen zřídka dosahuje rozměrů, které se dají pozorovat v městském provozu. Druhou limitací je nutnost paralelního postavení vozidla k parkovacímu místu. Algoritmus není odolný vůči otočení výchozí pozice vozidla kolem svislé osy.

Tabulka 9.1 - Veličiny potřebné k výpočtu manévru

Parametr	Značení	Hodnota
Délka vozidla	L	4702 mm
Šíře vozidla	W	1829 mm
Rozvor náprav	e	2681 mm
Zadní přesah	pz	1114 mm
Přední přesah	pp	908 mm
Maximální úhel natočení kol	$\beta$	35.56 ° [deg]

V prvním kroku přípravy simulace byly vypočteny poloměry kružnic znázorňující trajektorii vozidla. Všechny poloměry kružnic vycházejí z maximálního úhlu natočení kol. Maximální úhel natočení kol závisí na způsobu konstrukce řízení, které může být buď lineární, nebo progresivní. U vozidla Škoda Octavia RS 4. generace je řízení progresivní, což znamená, že otočení volantu není v lineárním vztahu s natočením kol. Progresivní řízení pro řidiče představuje výhodu v menším potřebném úhlu natočení volantu, než je u lineárního řízení. Vzhledem k tomu, že tento algoritmus využívá maximálních úhlů natočení kol, není rozdíl mezi lineárním či progresivním řízením.

První poloměr kružnice naznačující trajektorii vozidla je kružnice značící pohyb vnitřního zadního kola (Rov. 9.1).

$$R_i = \frac{e}{(\tan(\beta))} - \left(\frac{W}{2}\right) \quad \text{Rov. 9.1}$$

Kde  $e$  je rozvor náprav,  $\beta$  je úhel natočení kol a  $W$  je šíře vozidla bez zrcátek.

Jako další byl spočten poloměr kružnice značící trajektorii předního vnějšího kola vozidla, označen  $R_e$ . Poloměr této kružnice je důležitý pro kontrolu, jestli vozidlu při manévru nehrozí kolize s překážkou před parkovacím místem.

$$R_e = \sqrt{(R_i + W)^2 + (e + pp)^2} \quad \text{Rov. 9.2}$$

Kde  $R_i$  je poloměr kružnice značící trajektorii zadního vnitřního kola,  $W$  je šíře vozidla,  $e$  je rozvor náprav a  $pp$  je přední přesah vozidla.

Posledním poloměrem potřebným pro výpočet trajektorie podélného zaparkování je poloměr kružnice značící trajektorii středu zadní osy vozidla, označen  $R_s$ .

$$R_s = R_i + \left(\frac{W}{2}\right) \quad \text{Rov. 9.3}$$

Kde  $R_i$  je trajektorie pohybu vnitřního zadního kola vozidla a  $W$  je šíře vozidla.

Ze dvou vypočtených poloměrů  $R_e$  a  $R_i$  byla spočtena minimální možná velikost parkovacího místa pro příslušné vozidlo, tak aby bylo možné zaparkovat na jeden manévr, označeno  $L_{min}$ .

Výpočet velikosti parkovacího místa  $L_{min}$  je nutné doplnit o tzv. *deadzone*. *Deadzone* znamená vzdálenost, kterou nelze překročit ve smyslu přiblížení se vozidla k překážce a u vozidla, vybraného pro simulaci, dosahuje 30 cm od překážky.

$$L_{min} = pz + \sqrt{R_e^2 - R_i^2} + 2 * deadzone \quad \text{Rov. 9.4}$$

Kde  $pz$  je zadní přesah vozidla,  $R_e$  je poloměr kružnice značící trajektorii vnějšího předního kola,  $R_i$  je poloměr kružnice značící trajektorii vnitřního zadního kola vozidla a *deadzone* značí minimální vzdálenost, na kterou se vozidlo může přiblížit k překážce.

Nyní je potřeba určit střed kružnice pro cílovou pozici zaparkování. Algoritmus výpočtu trajektorie začíná výpočtem od cílové pozice a pomocí matematické geometrie dopočítá potřebnou startovní pozici vozidla před začátkem manévru.

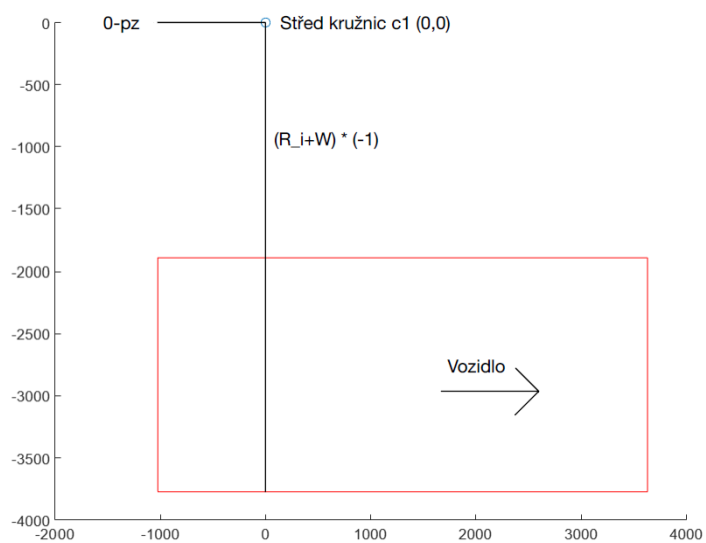
Střed kružnic pro cílovou pozici byl zvolen na počátku rovinného souřadného systému  $(x, y)$ , tedy na souřadnicích  $(0,0)$ . Dále bylo vykresleno vozidlo v cílové pozici. Pravý zadní roh vozidla začíná na souřadnicích (Obr. 9.1)

$$rohPZx = 0 - pz \quad \text{Rov. 9.5}$$

$$rohPZy = R_i + W * (-1) \quad \text{Rov. 9.6}$$

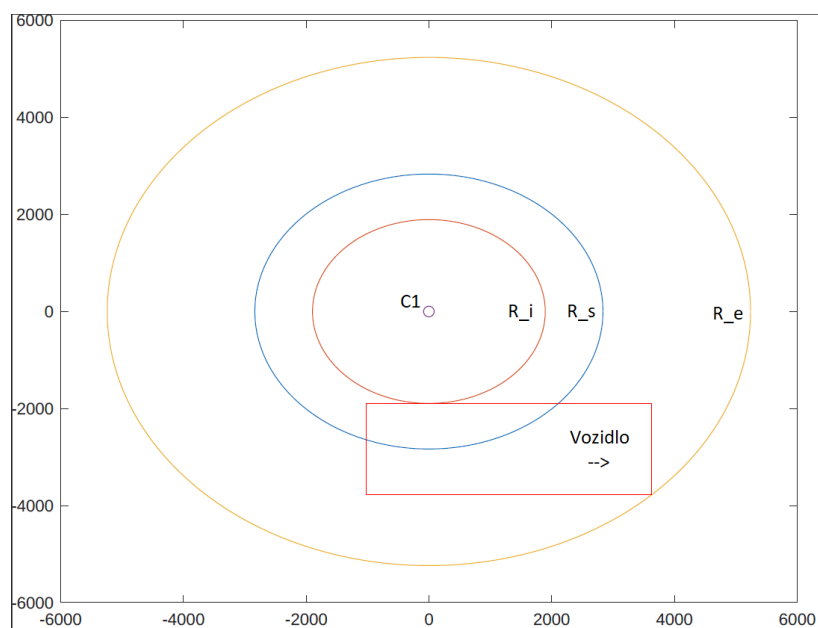
Kde 0 značí x souřadnici středu kružnic pro cílovou pozici a  $pz$  je zadní přesah vozidla.  $R_i$  značí poloměr kružnice pro pohyb zadního levého kola a  $W$  je šíře vozidla.





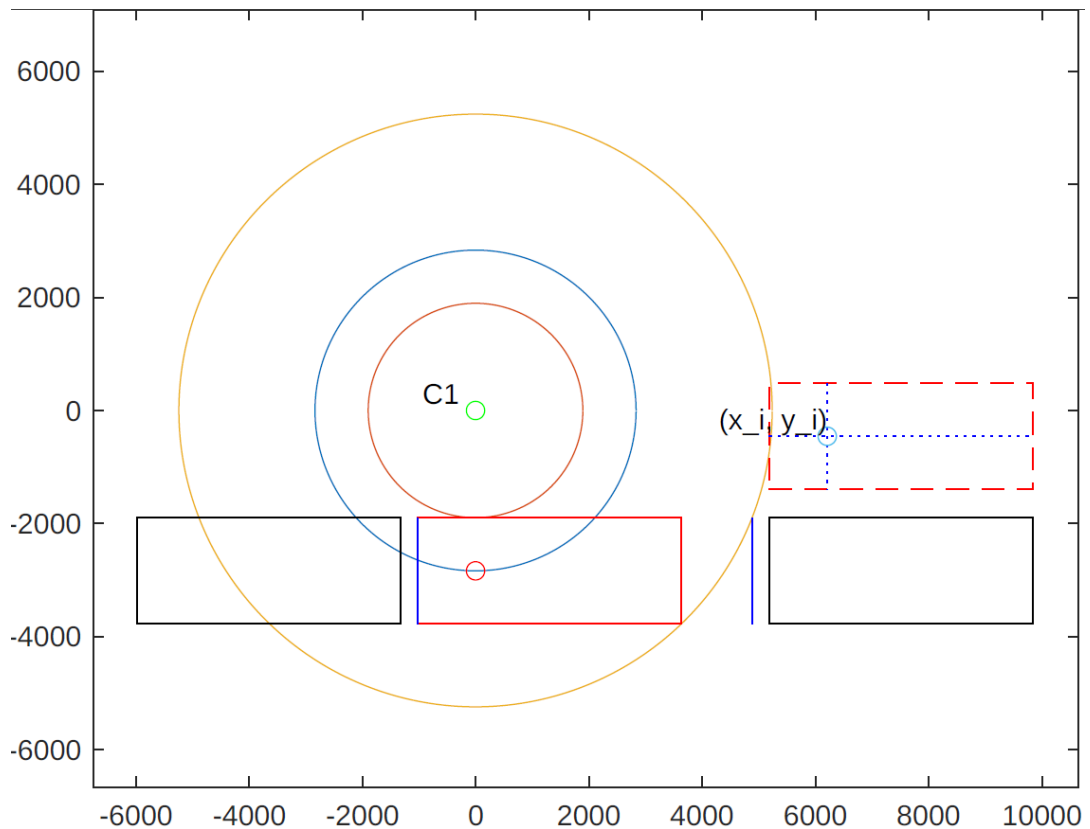
Obrázek 9.1 - Zobrazení výpočtu souřadnic pravého zadního rohu vozidla, šipka indikuje před vozidla

Na vypočtených souřadnicích byl vykreslen obdélník znázorňující vozidlo v cílové pozici (Obr. 9.1). Dále byly vykresleny kružnice s vypočtenými poloměry  $R_e$ ,  $R_i$  a  $R_s$ . (Obr. 9.2)



Obrázek 9.2 - Kružnice znázorňující trajektorii vozidla při maximálním úhlu natočení kol vlevo

Následně, byla přidána vozidla před a za cílovou pozici pro vytvoření parkovacího místa. Vyznačeny byly také čáry znázorňující tzv. *deadzone*. Do simulace bylo přidáno i vozidlo znázorňující výchozí pozici.



Obrázek 9.3 - Situace simulovaného scénáře podélného parkování na pravou stranu

Vozidla znázorněna černým obrysem (Obr. 9.3) tvoří parkovací místo a lze je v simulaci posouvat, tak aby parkovací místo mělo požadovanou délku. Modré svislé přímky značí hranice deadzone. Červený obrys vozidla plnou čarou znázorňuje cílovou pozici vozidla po zaparkování, červený obrys čárkovanou čarou znázorňuje výchozí pozici vozidla.

Střed zadní osy vozidla na výchozí pozici parkovacího manévru má souřadnice  $(x_i, y_i)$  (Obr. 9.3). Střed kružnic  $C2$  leží na kolmici, která je kolmá na podélnou osu vozidla ve výchozí pozici. Souřadnice  $C2_x$  je tedy shodná se souřadnicí  $x_i$ . Souřadnice  $C2_y$  byla dopočtena pomocí následující rovnice

$$C2_y = y_i - R_s \quad \text{Rov. 9.7}$$

Kde  $y_i$  je souřadnice středu zadní osy vozidla na výchozí pozici a  $R_s$  je poloměr kružnice značící trajektorii středu zadní osy vozidla.

Spojením vypočtených souřadnic  $C2_x$  a  $C2_y$  vznikne bod středu kružnice pro startovní pozici vozidla (Obr. 9.4).

#### *Bod obratu*

V dalším kroku byly vypočteny souřadnice bodu obratu  $(x_t, y_t)$ . Bod obratu značí změnu směru natočení kol vozidla. Souřadnice bodu obratu  $y_t$  vychází ze symetrie mezi středy  $C1$  a  $C2$

$$y_t = \frac{(y_{c1} + y_{c2})}{2} \quad \text{Rov. 9.8}$$

Kde  $y_{c1}$  je y souřadnice středu kružnic pro cílovou pozici manévru a  $y_{c2}$  je y souřadnice středu kružnic pro výchozí pozici manévru.

Souřadnice  $x_t$  pro bod obratu byla doložena pomocí Pythagorovy věty

$$x_t = x_{c1} + \sqrt{R_s^2 - (y_t - y_{c1})^2} \quad \text{Rov. 9.9}$$

Kde  $x_{c1}$  je souřadnice x středu kružnic pro cílovou pozici,  $R_s$  je poloměr kružnice značící trajektorii středu zadní osy vozidla,  $y_t$  je souřadnice y bodu obratu a  $y_{c1}$  je souřadnice y středu kružnic cílové pozice.

*x souřadnice středu zadní osy vozidla ve startovní pozici*

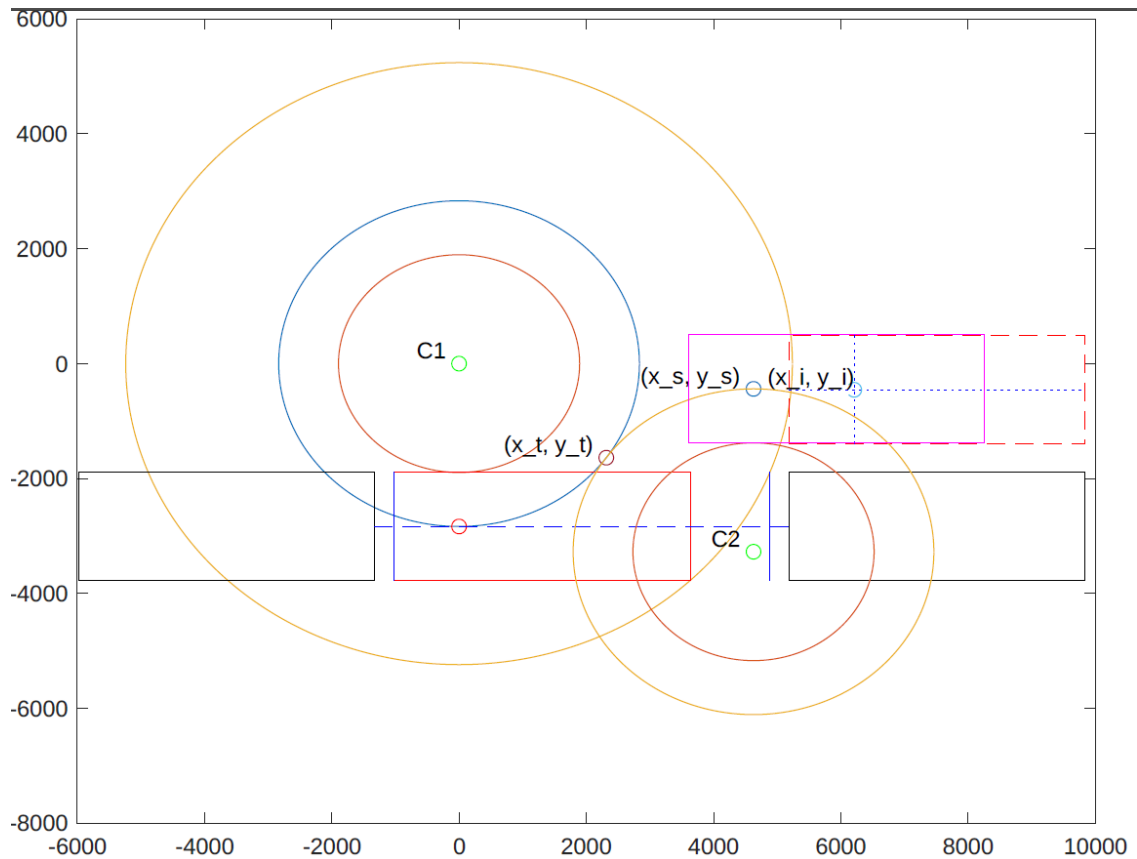
Nakonec byly spočteny x souřadnice středu zadní osy vozidla, ze které je zahájen parkovací manévr. Souřadnice  $x_s$  se liší od souřadnice středu zadní osy vozidla ve výchozí pozici ( $x_i$ ), kdežto souřadnice  $y_i$  odpovídá souřadnici  $y_s$ .

$$y_s = y_i \quad \text{Rov. 9.10}$$

$$x_s = 2 * x_t - x_{c1} \quad \text{Rov. 9.11}$$

Kde  $y_i$  je souřadnice středu zadní osy vozidla ve startovací pozici,  $x_t$  je souřadnice bodu obratu a  $x_{c1}$  je souřadnice středu kružnic pro cílovou pozici.

Po vypočtení souřadnice středu kružnic pro startovní pozici C2 byla spuštěna simulace parkovacího manévru v prostředí MATLAB.(Obr. 9.4)



Obrázek 9.4 - Výsledná situace, vypočtený manévr potřebný pro zaparkování

Obrys vozidla v růžové barvě značí startovní pozici manévru. Kružnice se středem v bodě C2 a žlutým znázorněním značí pohyb středu zadní osy vozidla a v bodě obratu  $(x_t, y_t)$  přechází do kružnice se středem C1 se shodným poloměrem a modrým znázorněním (Obr. 9.4).

Vozidlo v této simulaci může přijet do výchozí pozice v libovolném posunu jak v podélném, tak příčném směru. Ve smyslu posunu v příčném směru dojde k vygenerování kružnice trajektorie a bodu obratu tak, aby bylo možné zaparkovat vozidlo na jeden manévr. V případě podélného posunu výchozí pozice vozidla, je potřebný přesun vozidla do startovní pozice pro manévrování (růžový obrys na obr. 9.4) pouze pomocí zacouvání.

Předložený algoritmus (Rov. 9.1 - 9.11) dokáže teoreticky vypočítat trasu, kterou lze zaparkovat vozidlo na jeden manévr do parkovací mezery, která je větší nebo rovna hodnotě  $L_{min}$ . Hodnota  $L_{min}$  však ukazuje délku parkovací mezery větší, než jsou parkovací místa, běžně používaná v městské zástavbě. Dle normy ČSN 73 6056 je nejmenší povolená délka podélného parkovacího stání stanovena na 5750 mm. Tato hodnota je menší než vypočtená hodnota  $L_{min}$ , a proto bylo navrženo řešení simulace parkování na více manévrů. [38]

## 10. Simulace podélného zaparkování na více manévrů

Byla navržena simulace podélného zaparkování vozidla do parkovacího místa s podélným řazením. Cílem této simulace bylo ověřit, zda algoritmus dokáže naplánovat trasu vozidla do parkovací mezery o délce 5700 mm a šířce 2000 mm. Jedná se o nejmenší rozměr parkovací mezery, na kterých Škoda-Auto testuje své vozy a proto byly pro simulaci vybrány tyto rozměry.

Pro výpočet parkovacích manévrů zaparkování vozidla bylo v simulaci přistoupeno v obráceném pořadí, tzn., bylo řešeno vyprakování vozidla, které lze jednoduše aplikovat na zaparkování vozidla pomocí obrácení kroků vyparkování. Strategie manévrování při výjezdu z parkovacího místa:

- vozidlo při jízdě vpřed natočí kola na maximální úhel směrem doleva
- při couvání natočí kola na maximální úhel doprava.

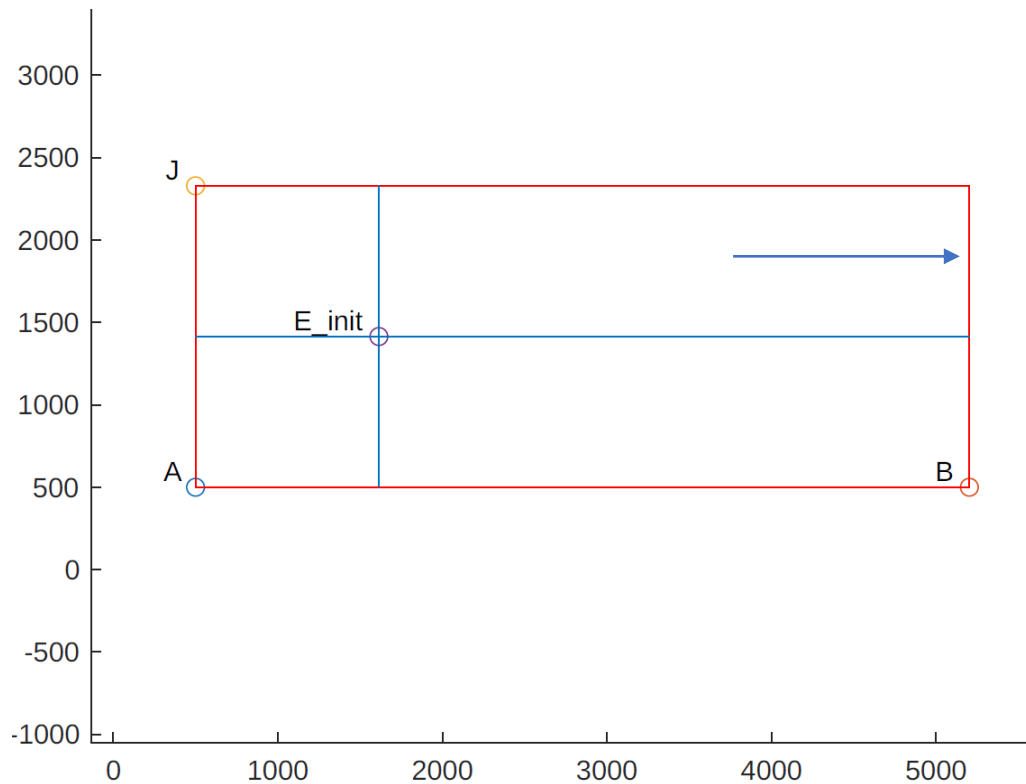
Vozidlo se pohybuje oběma směry až do plného tónu ultrazvukového senzoru (v případě simulace, do momentu, kdy se vozidlo dotkne hranice znázorňující *deadzone*). Tato strategie zaručuje, že vozidlo může být zaparkováno bez rizika kolize s okolím.

Před tvorbou simulace byla vytvořena tabulka sumarizující rozměry vozidla použité v simulaci. (Tab. 10.1)

Tabulka 10.1 - Sumarizace rozměrů a veličin použitých v simulaci

Parametr	Značení	Hodnota
Šíře vozidla	W	1829 mm
Délka vozidla	L	4702 mm
Rozvor náprav	e	2681 mm
Rozchod kol	u	1545.5 mm
Přední přesah	pp	908 mm
Zadní přesah	pz	1114 mm
Maximální úhel natočení kol	$\beta$	36.65 ° [deg]

Důležitým bodům na modelu vozidla byla přiřazena písmena, po snazší orientaci.  
(Obr. 10.1)



Obrázek 10.1 - Přiřazení bodů modelu vozidla

Důležité body modelu vozidla byly označeny pomocí písmen pro lepší orientaci. Šipka v obrázku (Obr. 10.1) indikuje před' vozidla.

- Bod *A* značí pravý zadní roh vozidla
- Bod *J* značí levý zadní roh vozidla
- Bod *B* značí pravý přední roh vozidla.
- Bod *E\_init* značí střed zadní nápravy vozidla.

Levý přední roh vozidla nebyl označen, protože v případě podélného parkování na pravou stranu není relevantní pro výpočty.

Obdobně jako u simulace parkování jedním manévrem, byly spočteny velikosti poloměrů kružnic

- $R_e$  - trajektorie středu zadní osy nápravy vozidla (Rov. 10.1)
- $R_b$  - trajektorie pravého předního rohu vozidla (Rov. 10.2)
- $R_a$  - trajektorie pravého zadního rohu vozidla (Rov. 10.3)
- $R_j$  - trajektorie levého zadního rohu vozidla (Rov. 10.4)

$$R_e = \frac{e}{\tan(\beta)} \quad \text{Rov. 10.1}$$

$$R_b = \sqrt{\left(R_e + \frac{W}{2}\right)^2 + (e + pp)^2} \quad \text{Rov. 10.2}$$

$$R_a = \sqrt{\left(R_e + \frac{W}{2}\right)^2 + (pz)^2} \quad \text{Rov. 10.3}$$

$$R_j = \sqrt{\left(R_e - \frac{W}{2}\right)^2 + (pz)^2} \quad \text{Rov. 10.4}$$

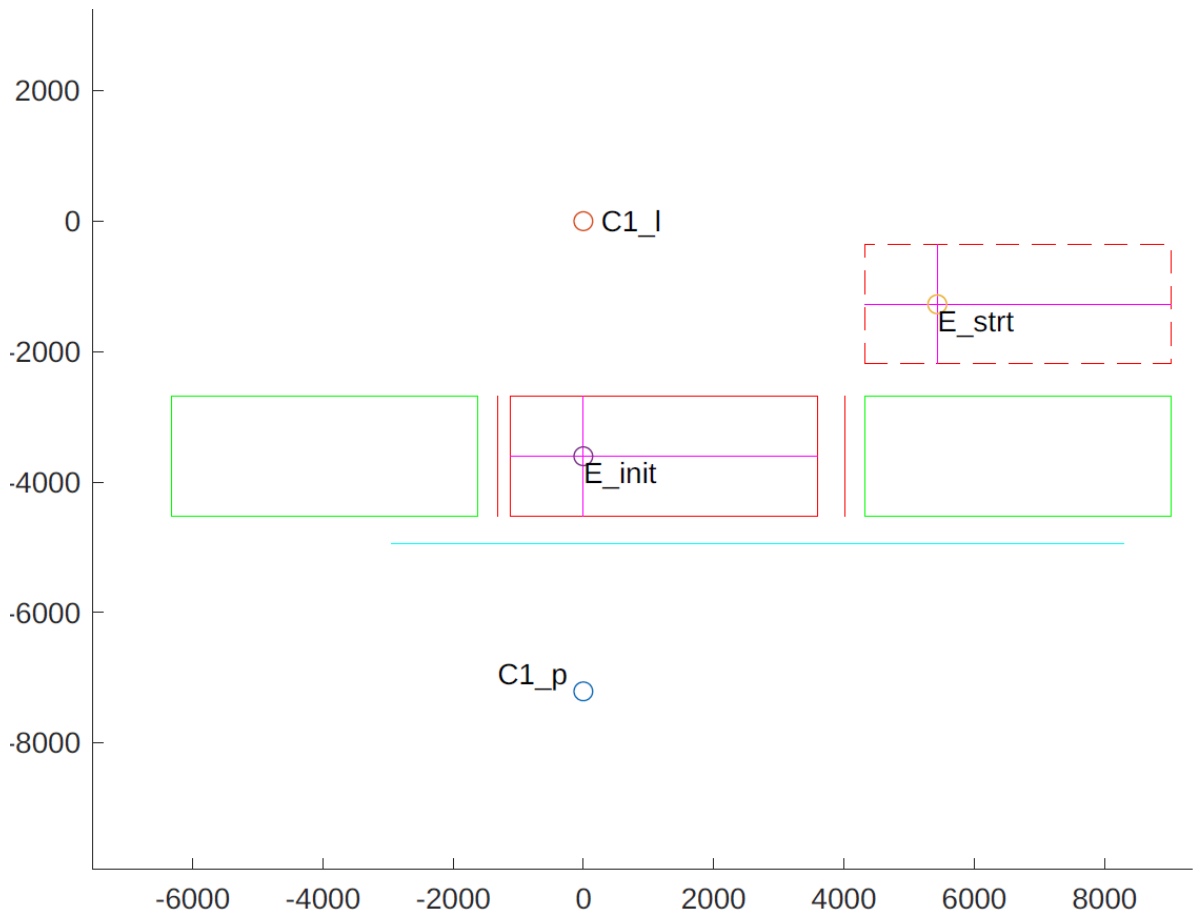


Střed kružnic po cílovou pozici vozidla zůstává, stejně jako u simulace parkování pomocí jednoho manévru, na stejných souřadících, a to  $C1_l = (0,0)$  (Obr. 10.2). Tento střed se nachází na levé straně vozidla ve směru jízdy vpřed. Pro simulování manévrování při parkování, je potřeba model vozidla otáčet dle možností reálné předlohy v podobě Škody Octavie RS. Aby simulace správně ukazovala pohyb vozidla v parkovacím místě, bylo využito rotačních matic. Vzhledem k tomu, že vozidlo manévruje jak na levou, tak i pravou stranu, jsou potřeba dva středy rotace modelu vozidla. Prvním středem je  $C1_l$  a druhým, protějším středem rotace je  $C1_p$ , který je symetrický přes podélnou osu vozidla (Obr. 10.2).

$$C1_{px} = C1_{lx} \quad \text{Rov. 10.5}$$

$$C1_{py} = C1_{ly} - (2 * R_e) \quad \text{Rov. 10.6}$$

Situace parkovacího stání v simulaci byla převzata z kapitoly o parkování na jeden manévr (Kap. 9). Přidán byl pouze obrubník, ohraničující parkovací stání. (Obr 10.2)



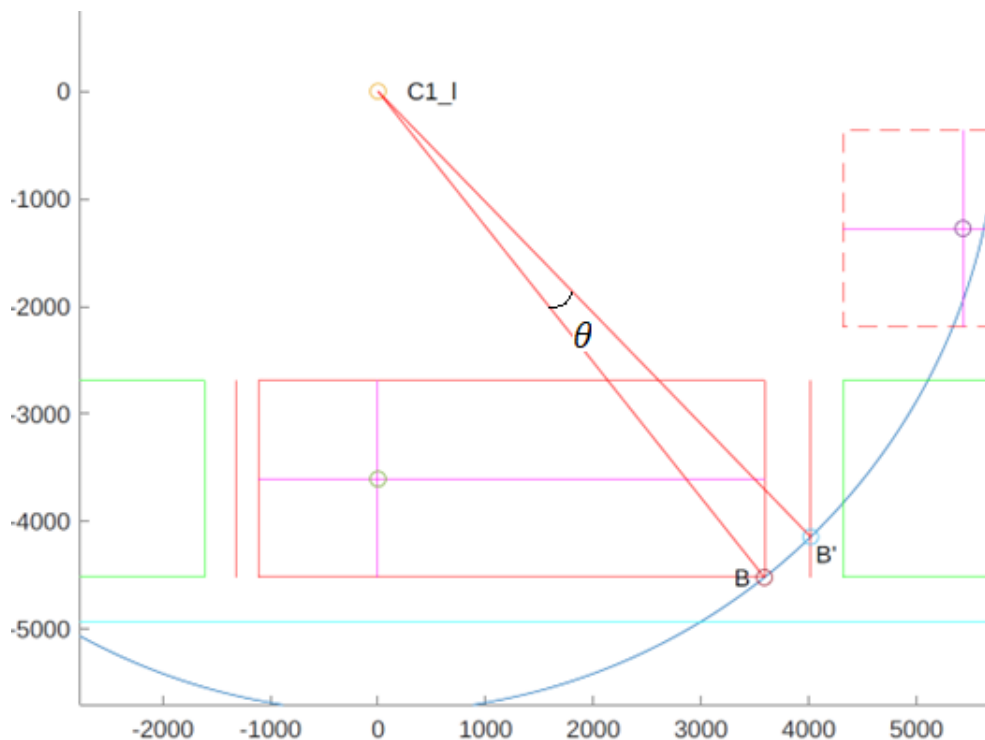
Obrázek 10.2 - Situace scénáře simulace parkování

Zelené obrysy vozidel značí zaparkovaná vozidla tvořící parkovací mezeru, červený obrys plnou čarou značí cílovou pozici, červený obrys čárkovanou čarou značí výchozí pozici, modrá přímka ve spodní části situace značí obrubník a červené svislé přímky značí hranice *deadzone*. Celá situace simuluje podélné parkování vozidla na pravou stranu pozadu. Obrysy vozidel jsou orientovány tak, že jejich předí míří na pravou stranu. (Obr. 10.2)

Algoritmus na vyparkování má následující kroky

- 1) Pro začátek výpočtu manévru je potřeba znát  $C1_l, C1_p, R_a, R_b, R_j$  a rozměry parkovací mezery, společně s velikostí vzdálenosti *deadzone*
- 2) Jestliže  $R_b \leq dC1_l \text{ deadzone}$  (vzdálenost  $d$   $C1_l$  od *deadzone*), lze vozidlo vyparkovat jedním manévrem
- 3) Jestliže  $R_b > dC1_l \text{ deadzone}$ , vozidlo nelze vyparkovat jedním manévrem. Vozidlo se začne pohybovat dopředu s maximálním úhlem natočení kol doleva, dokud nedojde ke kontaktu vozidla s hranicí *deadzone*
- 4) Vozidlo nyní couvá s maximálním úhlem natočení kol doprava, pohybuje se vzad, dokud nedojde ke kolizi zadní části vozidla s *deadzone* nebo dokud se obrys vozidla nedotkne obrubníku
- 5) Body 3) a 4) jsou opakovány, dokud není splněna podmínka  $R_b \leq dC1_l \text{ deadzone}$ .

Před použitím rotační matice je nutné zjistit úhel  $\theta$ , o který se model vozidla otočí. Při každé rotaci kolem středu  $C1_l$  se úhel, který je tvořen body  $B, C1_l$  a průsečíkem přímky hranice *deadzone* s kružnicí se středem v  $C1_l$  a poloměrem  $R_b$ . (Obr. 10.3)



Obrázek 10.3 - Výpočet úhlu theta pro první rotaci

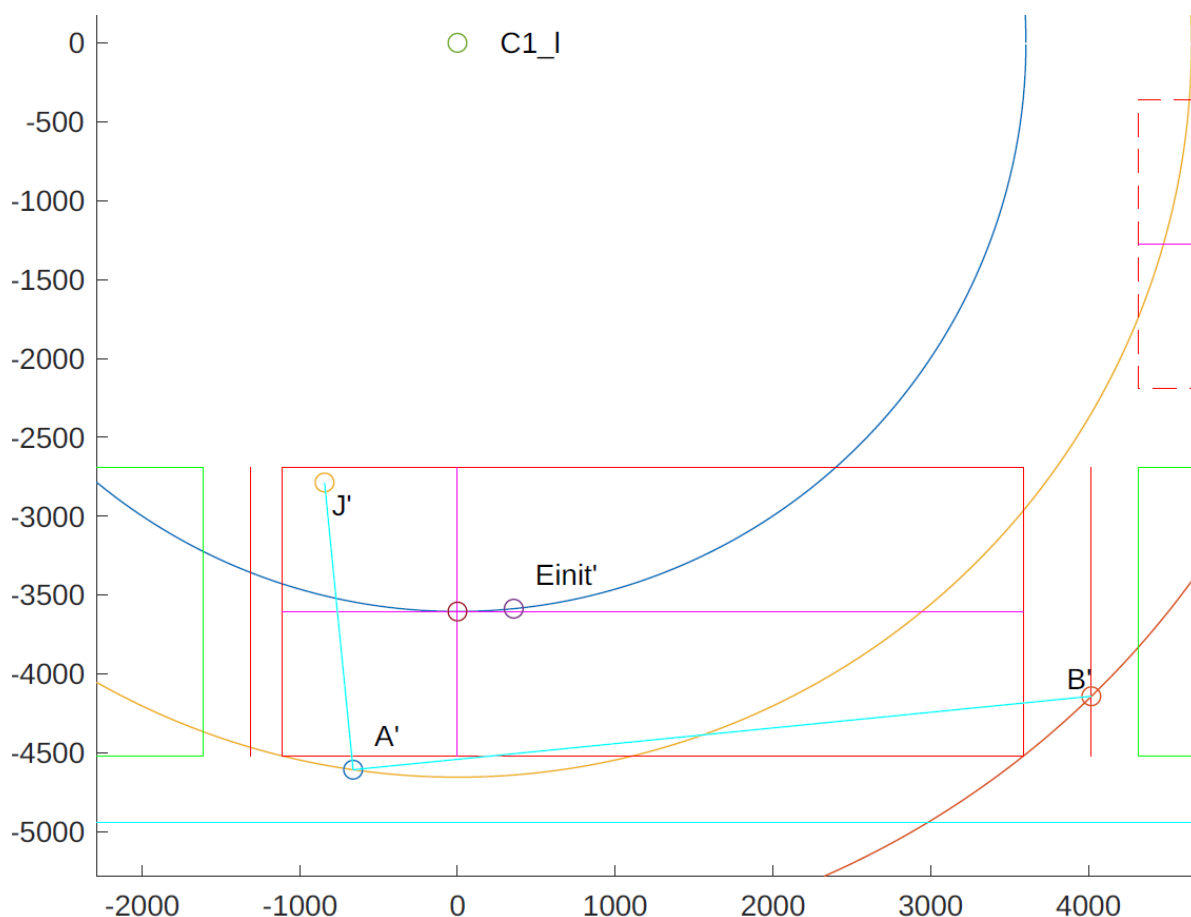
Na simulaci pohybu vozidla vpřed byla použita rotační matice se středem otáčení v bodě  $C1_l$  (Obr. 10.4)

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = C1_l + \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} * \left( \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - C1_l \right) \quad \text{Rov. 10.7}$$

Kde  $x_n$  a  $y_n$  jsou nové souřadnice po použití rotační matice,  $\theta$  je úhel, o který byl model vozidla otočen a  $x, y$  značí souřadnice bodu, který je otáčen.

Rotační matice musí být použita na všechny body vozidla, včetně rotačních středů. Vzhledem k tomu, že  $C1_l$  je středem rotace, je rotace tohoto bodu nulová.

- $C1_p$  – rotační střed C1 na pravé straně
- $A$  – bod značící pravý zadní roh vozidla
- $B$  – bod značící pravý přední roh vozidla
- $J$  – bod značící levý zadní roh vozidla
- $E_{init}$  – střed zadní osy nápravy vozidla v cílové pozici



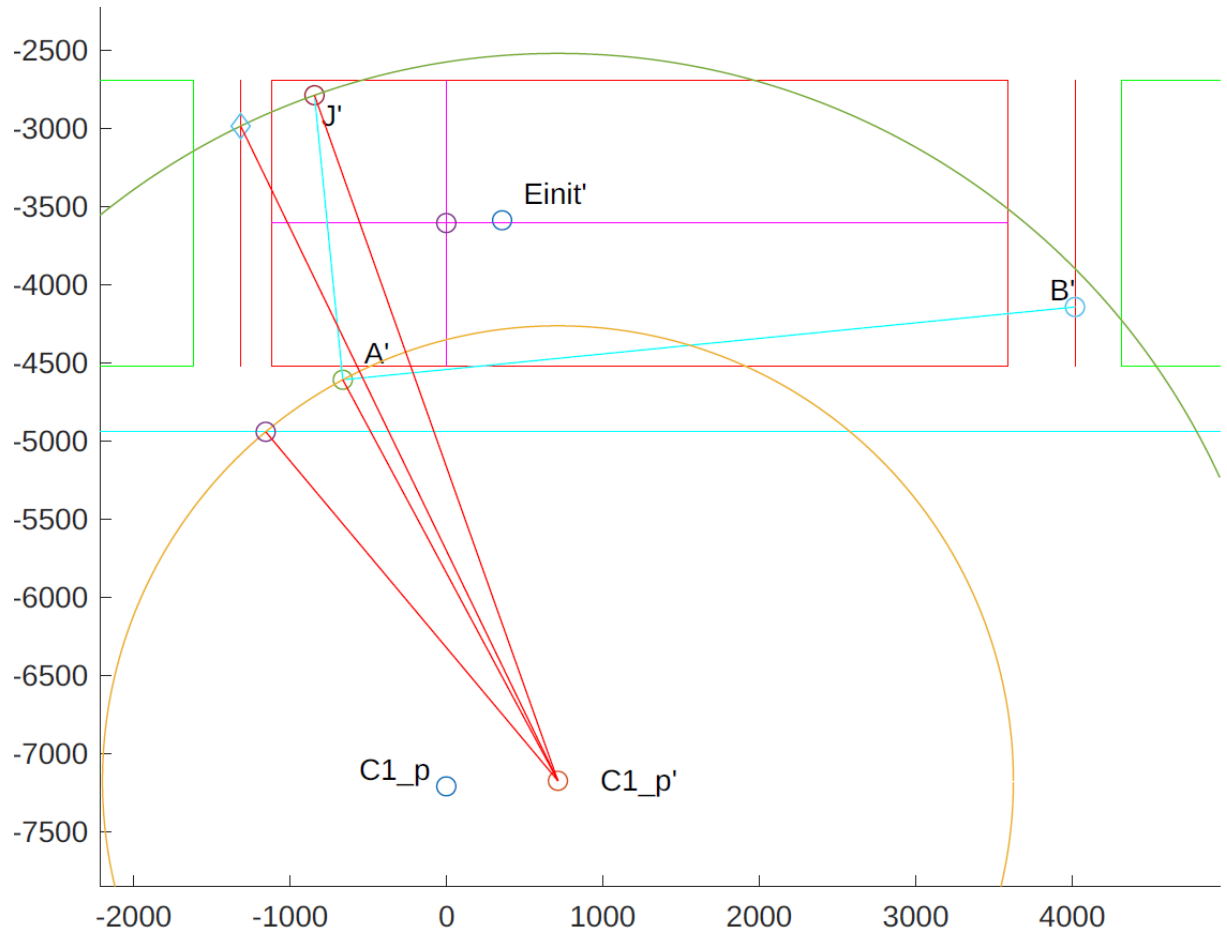
Obrázek 10.4 - Situace po prvním použití rotační matice

Po provedení rotace modelu vozidla, která odpovídá jednomu manévru, byla ověřena podmínka  $R_b \leq dC1_l deadzone$ . Jak je již z obrázku patrné, vozidlo není možné v současné poloze vyparkovat. Druhá rotační matice byla vytvořena (Rov. 10.9). Model vozidla je nyní otočen kolem rotačního středu  $C1_p$ . Před použitím rotační matice byly zjištěny úhly otáčení. První úhel, který je tvořen body  $J'$ ,  $C1_p$  a průsečíkem kružnice se středem v bodě  $C1_p$ , procházející bodem  $J'$  s  $deadzone$ . Druhý úhel je tvořen body  $A'$ ,  $C1_p$  a průsečíkem kružnice, se středem v bodě  $C1_p$  se shodným poloměrem, jako poloměr  $R_j$ , s přímkou znázorňující obrubník. Po zjištění úhlů rotace byly vypočteny délky kruhových oblouků  $L_{arc}$ .

$$L_{arc} = \theta * r \quad \text{Rov. 10.8}$$

Kde  $\theta$  je úhel a  $r$  je poloměr kružnice

Následně byly délky kruhových oblouků porovnány a byl použit úhel, který tvoří menší z nich. Tato podmínka je důležitá, aby nedošlo ke kolizi buď s obrubníkem nebo s *deadzone*. (Obr. 10.5)



Obrázek 10.5 - Znáznornění výpočtu úhlu pro druhou rotační matici

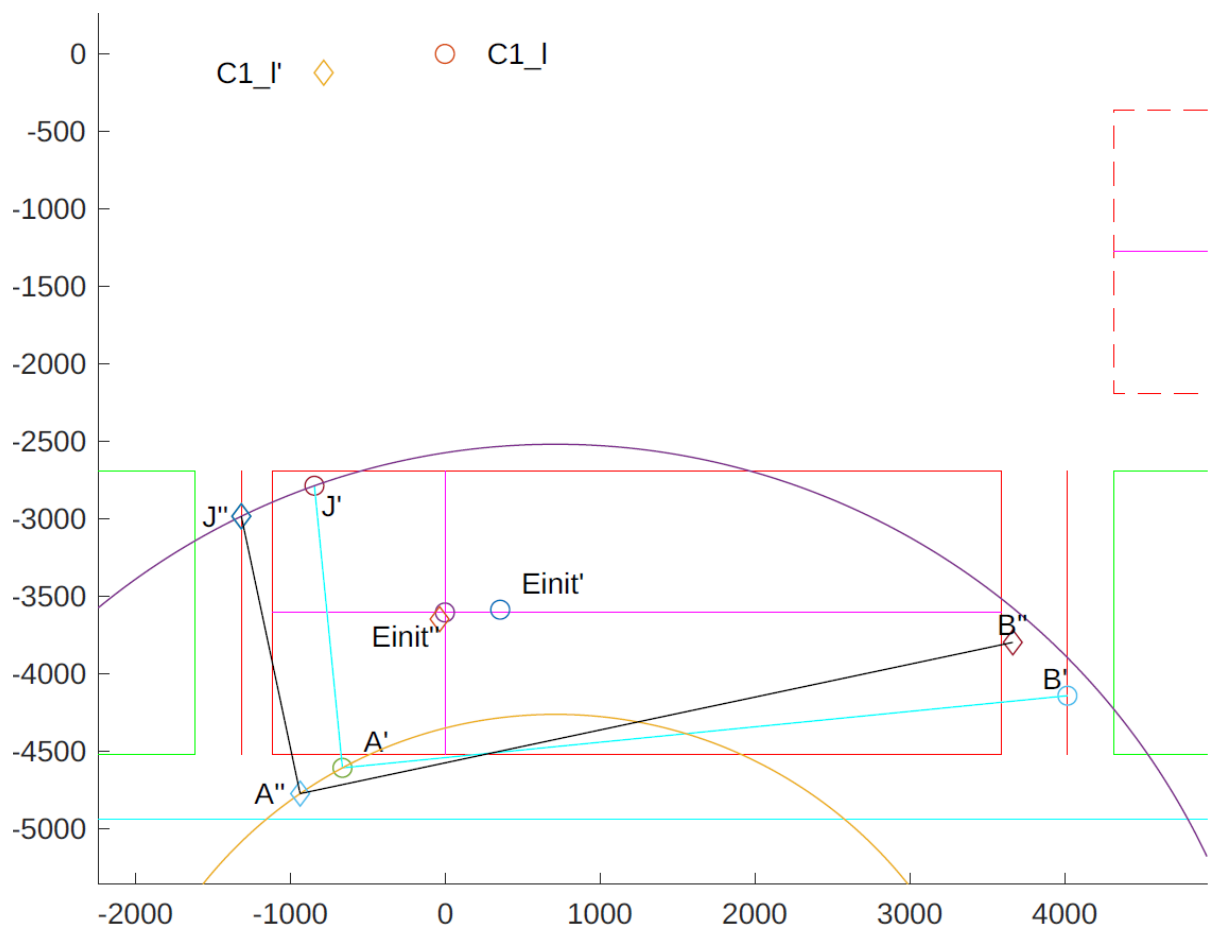
Po zvolení úhlu, který tvoří kratší délku oblouku kružnice, byl dosazen do rotační matice. Střed rotační matice je, v tomto kroku, bod  $C1_p$  a rotace simuluje pohyb vozidla vzad s maximálním natočením kol na pravou stranu.

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = C1_{p'} + \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} * \left( \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - C1_{p'} \right) \quad \text{Rov. 10.9}$$

Rotační matice byla aplikována na všechny body vozidla a střed rotace  $C1_l$

- $A'$  – bod značící pravý zadní roh vozidla
- $B'$  – bod značící pravý přední roh vozidla
- $J'$  – bod značící levý zadní roh vozidla
- $E_{init'}$  - bod středu osy zadní nápravy vozidla v cílové pozici
- $C1_l$  – střed otáčení C1 na levé straně

Bod  $C1_l$  nebyl v předchozím kroku otočen, protože zastával roli středu rotace. Teprve při druhé iteraci rotace byl otočen a vznikl bod  $C1_l'$ . (Obr. 10.6)

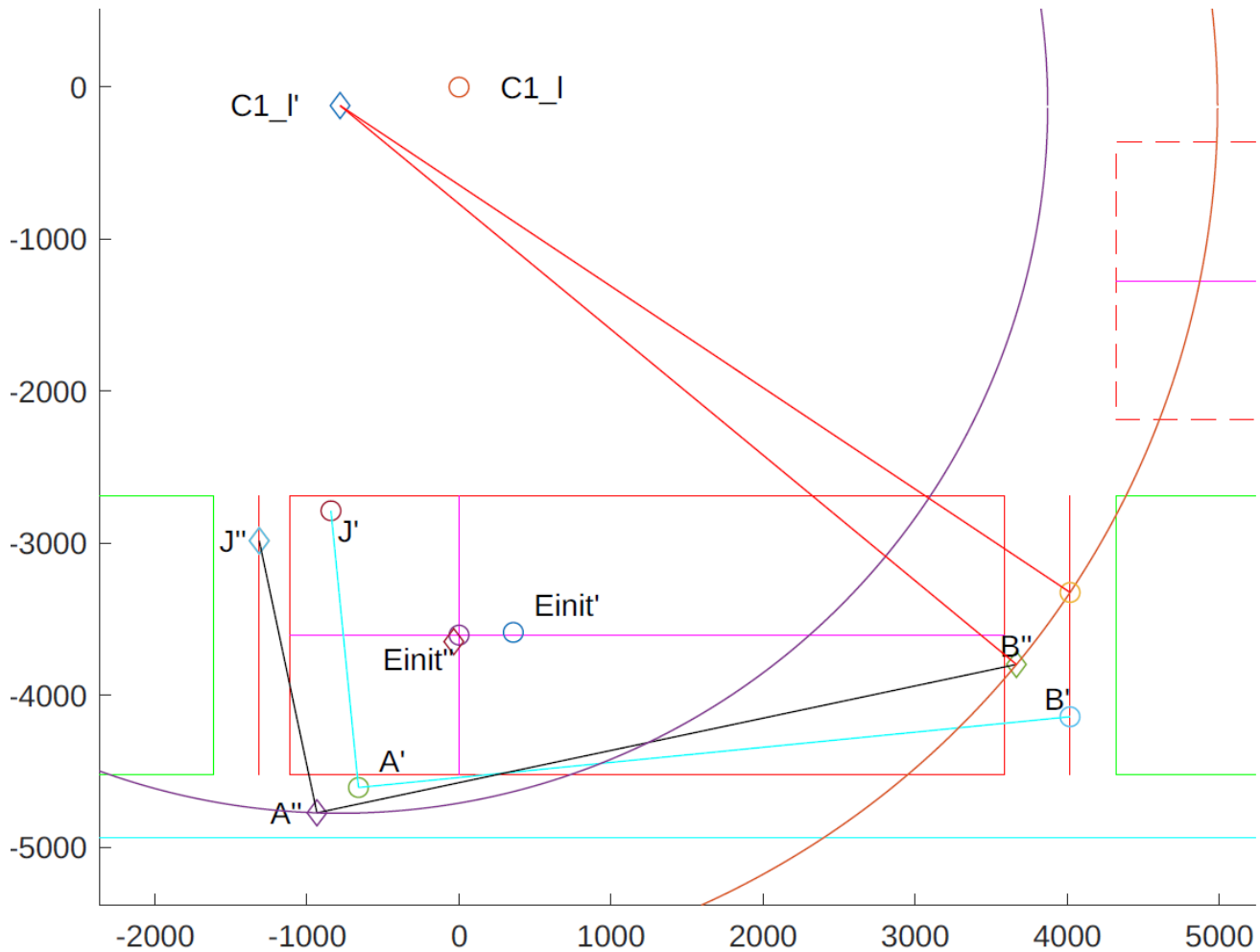


Obrázek 10.6 - Situace po druhém použití rotační matice

Po dokončení rotace bylo provedeno ověření, zda-li je možné vozidlem opustit parkovací mezeru. Na obrázku (Obr. 10.7) lze vidět kružnici značící trajektorii bodu  $B''$  (druhý manévr)

a lze usoudit, že vozidlo musí před vyparkováním dále manévrovat, aby se předešlo kolizi s *deadzone*.

V další iteraci rotace modelu vozidla, se stává středem rotace bod  $C1_l'$ . Porovnávání délek oblouků není v tomto kroku relevantní, protože jak je vidět na obrázku (Obr. 10.7) kružnice procházející bodem  $A''$  (druhý manévr) se neprotíná s přímkou značící obrubník. Úhel mezi body  $B''$  a průsečíkem kružnice s *deadzone* byl vypočítán a dosazen do rotační matice.

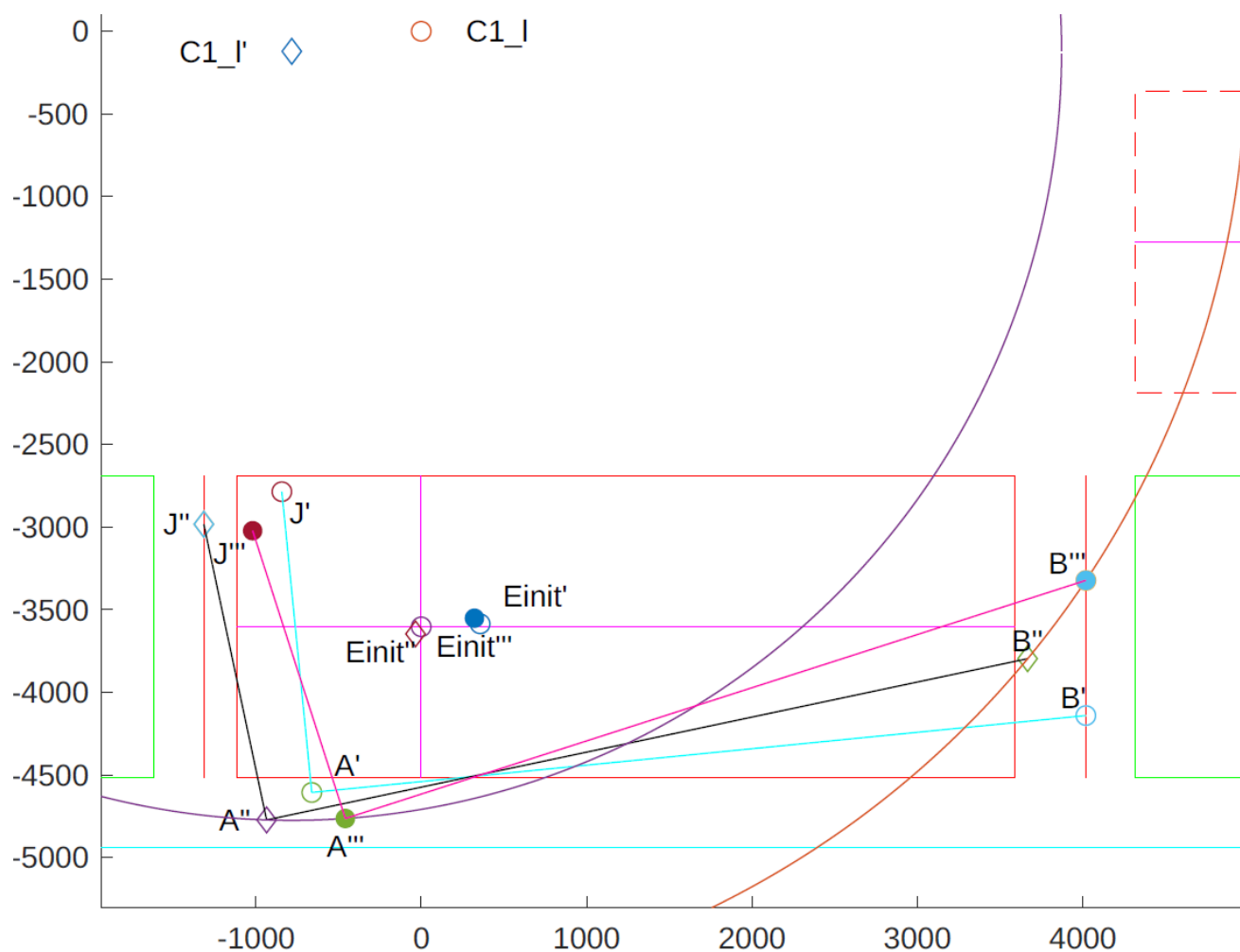


Obrázek 10.7 - Znáznornění výpočtu úhlu pro třetí rotační matici

Rotační matice se středem v bodě  $C1_l'$ , musí být opět aplikována na všechny body vozidla i aktuální střed rotace  $C1_p'$ ,

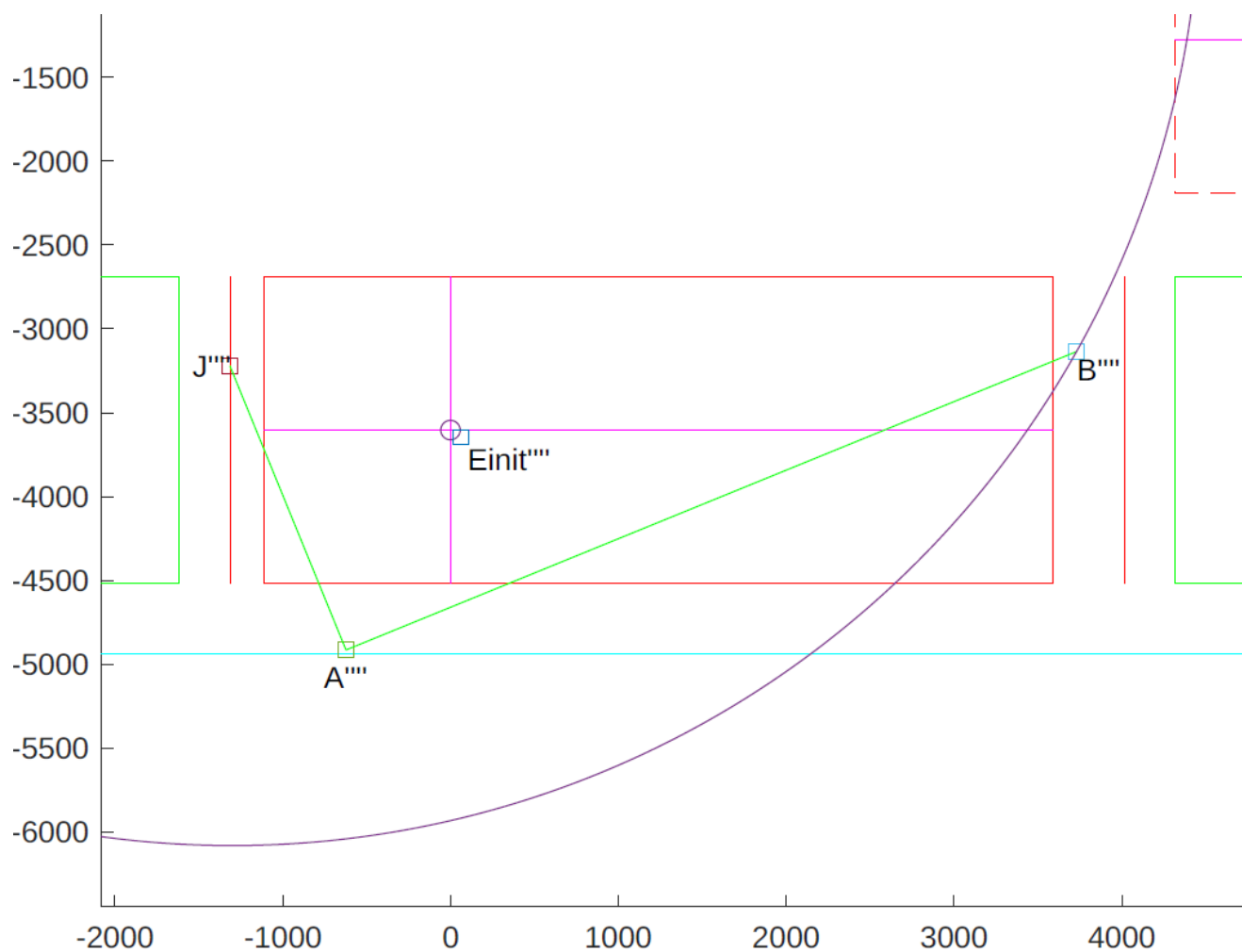
$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = C1_{l'} + \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - C1_{l'} \quad \text{Rov. 10.10}$$





Obrázek 10.8 - Třetí manévr – jízda vpřed za maximálního natočení kol vlevo

Vzhledem k tomu, že se bod  $B'''$  (třetí manévr) dotýká hranice *deadzone*, není možné vozidlo vyparkovat a je nezbytné pokračovat v manévrování (obr. 10.8). Manévrování probíhá obdobným způsobem, jak je popsáno výše. Následný manévr je jízda vzad s maximálním úhlem natočení kol na pravou stranu. Rotační matice má rotační střed v bodu  $C1_{p'''}$  (Obr. 10.9)



Obrázek 10.9 - Výsledek poslední aplikace rotační matice – vozidlo může opustit parkovací místo

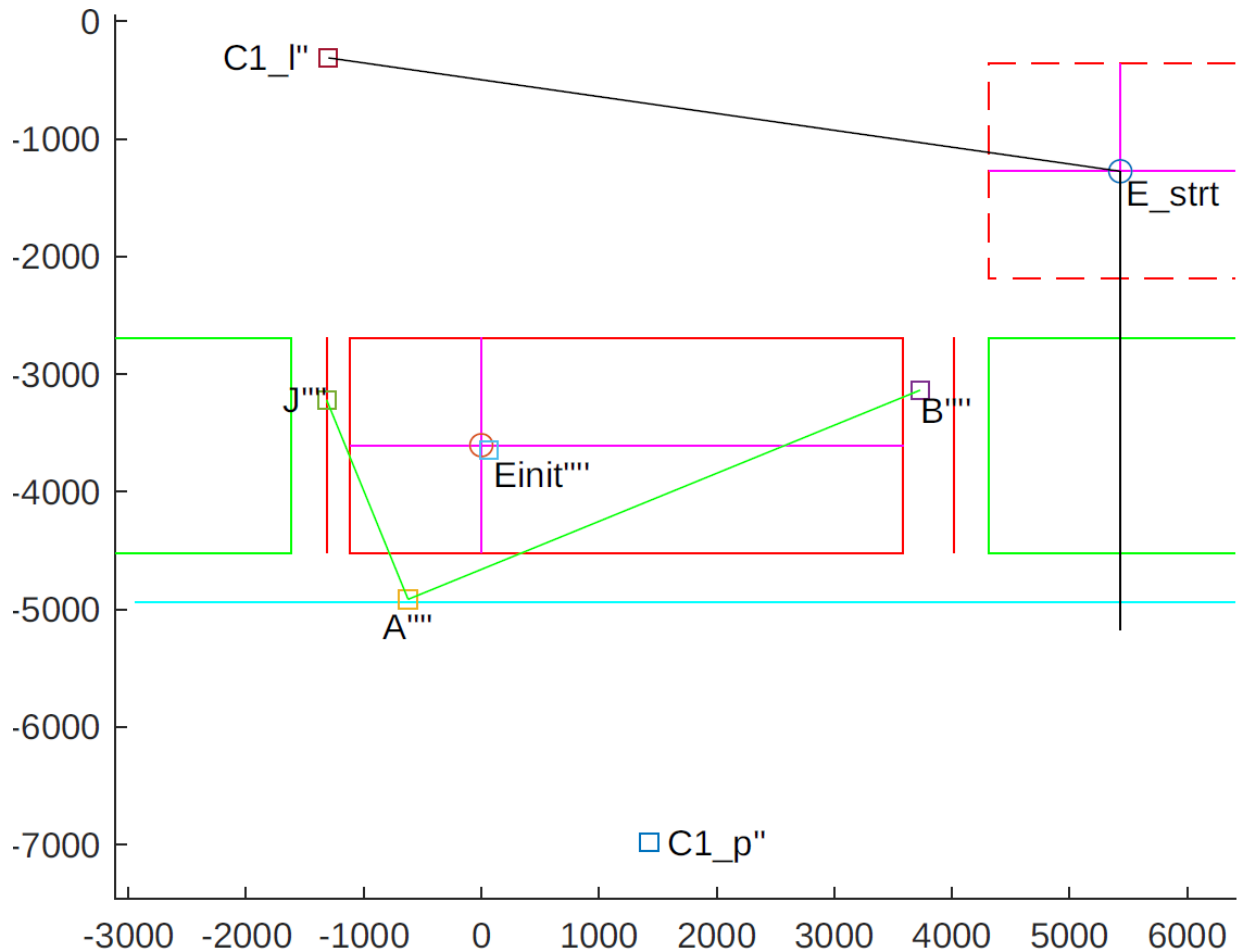
Čtvrté použití rotační matice ukazuje, že je možné vozidlo vyparkovat bez rizika kolize. Podmínka  $R_b \leq dC1_l deadzone$  je splněna a vozidlo lze vyparkovat.

Po dokončení fáze manévrování v parkovacím místě, bylo přistoupeno k poslední fázi, a to napojení vypočteného manévru na výchozí pozici vozidla (červeně čárkovaný obrýs na obr. 10.2).

Nejdříve byla vypočtena poloha středu kružnice  $C2$ . Souřadnice středu  $C2$  závisí na vzdálenosti otočeného středu otáčení  $C1_l$ , a bodu  $E_{strt}$  (Obr. 10.10), značící střed zadní osy nápravy vozidla ve výchozí pozici (Rov. 10.11).

$$dC1_{l''''}E_{strt} = \sqrt{(C1_{lx''''} - E_{strrt_x})^2 + (C1_{ly''''} - E_{strty})^2} \quad \text{Rov. 10.11}$$

Také závisí na úhlu úseček tvořeným body  $C1_{l''''}$ ,  $E_{strt}$  a kolmicí, který svírá pravý úhel s podélnou osou vozidla ve výchozí pozici. (Obr. 10.10)



Obrázek 10.10 - Vizualizace počítaného úhlu (černé přímky)

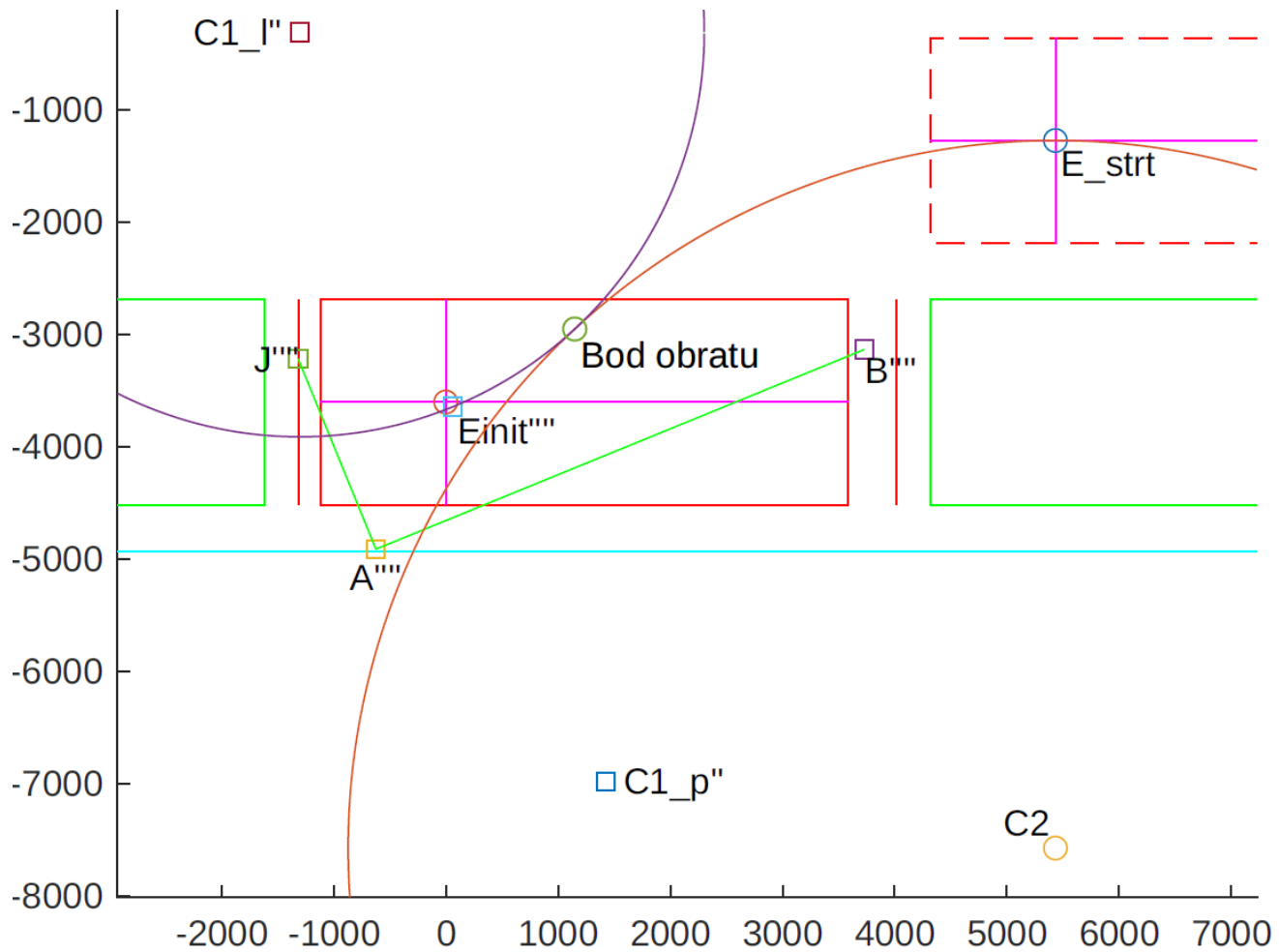
Souřadnice středu kružnice  $C2_x$  je shodná se souřadnicí  $E_{strt_x}$ . Souřadnice  $C2_y$  zatím není známa, ale pro výpočet úhlu, který tyto přímky svírají, není relevantní. Po výpočtu, byl úhel dosazen do rovnice na výpočet souřadnice  $C2_y$ . Přesná poloha středu kružnice  $C2$  je nyní známa. (Obr. 10.11)

$$R_{Estrtr} = \frac{d_{C1''''Estrt}^2 - R_e^2}{2 * R_e + 2 * d_{C1Estrt} * \cos(\alpha)} \quad \text{Rov. 10.12}$$

$$C2_x = E_{strt_x} \quad \text{Rov. 10.13}$$

$$C2_y = E_{strt_y} - R_{Estrtr} \quad \text{Rov. 10.14}$$

V posledním kroku simulace byla sestrojena kružnice se středem v bodě C2 a poloměrem  $E_{strtr}$ , která má s kružnicí se středem v bodě C1<sub>l''</sub>, a poloměru o velikosti  $R_e$  společný, tangenciální bod.



Obrázek 10.11 - Propojení kružnic trajektorie středu zadní osy nápravy vozidla

Vozidlu ve startovní pozici systém natočí kola na  $2/3$  maximálního úhlu natočení kol vpravo. Řidič zařadí zpátečku a začne s vozidlem couvat, dokud nedorazí do bodu obratu (Obr. 10.11). V bodě obratu řidič zastaví vozidlo a systém přetočí kola na maximální úhel na levou stranu. Jízda vozidlem vzad pokračuje až do bodu  $E_{init}$  (při parkování/vyparkování se jedná o čtyřikrát otočný bod  $E_{init}$ ). V tomto bodě je řidič vyzván, aby zařadil první rychlostní stupeň (v případě automatické převodovky stupeň D) a systém otočí kola na maximální úhel natočení na pravou stranu. Tímto způsobem systém následuje vypočtenou dráhu a zaparkuje vozidlo.

## 11. Diskuze

Kapitoly 9 a 10 představují algoritmus pro podélné zaparkování vozidla na pravou stranu. Základní strategie výpočtu manévru do parkovací mezery byla provedena na základě odborných článků [37] [39]. Algoritmus předkládaný v těchto dokumentech byl doplněn o atributy, které uvádí metodika testování parkovacích asistentů Škoda Auto. Teorie uváděné v těchto dokumentech byly podrobeny simulacím a bylo provedeno jejich ověření proveditelnosti. Simulace se zaměřuje na parkování do mezery nejmenšího přípustného rozměru. Koncern Volkswagen uvádí, že vozidla by měla být schopna zaparkovat do parkovací mezery o délce o jeden metr větší, než je délka vozidla. Po aplikaci teoretických poznatků získaných z uvedených dokumentů, bylo zjištěno, že vozidlo, které bylo předmětem simulace, je schopno zaparkovat do parkovací mezery o velikosti odpovídající požadavkům metodik. Měření za kontrolovaných podmínek ukázalo, že současný systém, který je instalován na vozidlech Škoda, dokáže vozidlo zaparkovat se stejnými výsledky. Proto je možné, že výrobce parkovacích jednotek požívá právě tento algoritmus k výpočtu manévru navigování vozidla do parkovací mezery.

Autor měl záměr správnost simulace ověřit nasazením algoritmu na vozidlo a aplikovat ho na parkovací scénář. Bohužel, po konzultaci se zodpovědnými osobami ve Škoda-Auto bylo zjištěno, že nasazení předkládaného algoritmu by obnášelo mnohem více práce v oblasti kódování parkovacích jednotek a tvorby grafického prostředí, které by bylo zobrazováno na displeji rádia. Tato možnost zůstává otevřena k pokračování v případných dalších akademických pracech.

## 12. Parkovací asistent konkurenčních výrobců

Pro srovnání bylo navrženo měření poloautomatického parkovacího asistenta, který lze koupit na vozidlech značky Renault. Celkem byly testovány dva modely značky Renault s rozdílnými verzemi parkovací pomoci.

### 12.1 Renault Megane

Prvním testovaným vozidlem byl Renault Megane 2018 s parkovacím asistentem EASY PARK ASSIST. Funkce Easy Park Assist je poloautomatickým parkovacím asistentem, který sám vyhledá parkovací místo a upozorní řidiče na možnost parkování. Easy Park Assist dokáže zaparkovat vozidlo jak do podélného parkovacího stání, příčného parkovacího stání tak i do šikmého parkovacího stání. Z těchto typů parkovacích míst systém Easy Park Assist dokáže i vyparkovat.

Pokud se řidič rozhodne zaparkovat vozidlo, aktivuje parkovacího asistenta, který začne vyhledávat vhodnou parkovací mezeru. Řidič před průjezdem kolem parkovací mezery zapne směrovku indikující stranu vozovky, na kterou si přeje zaparkovat. Pokud vozidlo nalezne vhodnou parkovací mezeru, upozorní řidiče pomocí audiovizuálních signálů na možnost zaparkování. Samotný parkovací manévr započne tím, že řidič zařadí zpětný chod převodovky a stiskne plynový pedál. Vozidlo v tom okamžiku převezme kontrolu nad volantem. Řidič je informován o procesu parkování a požadavcích na řazení pomocí obrazovky rádia. Na obrazovce rádia se zobrazuje progress bar znázorňující zbývající dráhu, kterou musí vozidlo urazit do další instrukce (Obr. 12.1). Vozidlo instruuje řidiče o potřebě zařazení příslušného rychlostního stupně a potřeby brždění či akcelerace. Při parkování se na displeji rádia, kromě instrukcí, zobrazil i obraz ze zadní parkovací kamery, kterou bylo testované vozidlo osazeno. Pokud řidič sáhne parkovacímu asistentu do řízení, dojde k přerušení parkování a v manévru nelze dále pokračovat.

Tabulka (Tab. 12.1) zobrazuje statistiku provedeného měření na modelu Megane. Měření bylo provedeno na parkovacích mezerách stejných rozměrů, jaké se používají při testování vozidel Škoda.

Pro každý testovaný rozměr parkovací mezery byla provedena tři měření. Sledovanými parametry bylo:

- Počet manévrů potřebných k zaparkování
- Sloupec indikující kontakt s obrubníkem během manévru
- Vzdálenost předního kola od obrubníku po dokončení manévru
- Vzdálenost zadního kola od obrubníku po dokončení manévru

Tabulka 12.1 - Statistika parkování s vozidlem Renault Megane

Renault Megane				
Délka x Hloubka mm x mm	Manévry	Obrubník?	Přední kolo [mm]	Zadní kolo [mm]
7700 x 2000	1	Ne	245	240
7700 x 2000	1	Ne	260	215
7700 x 2000	1	Ne	260	155
6700 x 2000	2	Ne	285	245
6700 x 2000	2	Ne	235	255
6700 x 2000	2	Ne	305	255
5700 x 2000	3	Ne	250	270
5700 x 2000	4	Ne	75	180
5700 x 2000	3	Ne	270	270

Jak tabulka (Tab.12.1) uvádí, parkování do nejdelší parkovací mezery proběhlo na jeden manévr. To je způsobeno tím, že se Megane nezarovná doprostřed parkovací mezery. Vozidlo pouze zaparkuje a nehledí na prostor, který je po dokončení manévru za vozidlem. To může představovat problém, pokud řidič potřebuje přístup do zavazadlového prostoru vozidla. Za pozornost stojí také počet manévrů při nejmenším rozměru parkovací mezery, model Megane zaparkuje za použití menšího počtu manévrů než parkovací asistent na modelu Austral (Tab. 12.2). Průměrná výsledná vzdálenost předních a zadních kol od obrubníku se pohybuje kolem 237 mm. Při měření nedošlo ke kontaktu s obrubníkem.



Obrázek 12.1 - Obrazovka rádia zobrazující zvolený parkovací manévr - Renault Megane



Obrázek 12.2 - Fotografie zadního PLA senzoru na vozidle Renault Megane 2018



## 12.2 Renault Austral

Druhé vozidlo, na kterém byl testován parkovací asistent je Renault Austral, který byl uveden na český trh v prvním čtvrtletí 2023. Austral je vybaven nástavbou na parkovacího asistenta EASY PARK ASSIST. Parkovací asistent již nepožaduje sešlápnutí plynového pedálu, na řidiči je tedy přerazování zpětného či dopředného chodu a brzdění. Nástavba parkovacího asistenta nabízí, stejně jako u staršího modelu Megane, zaparkování a vyparkování vozidla, ale jen pro podélná a příčná parkovací stání.

Popis práce parkovacího asistenta je téměř shodný s činností parkovacího asistenta na modelu Megane. Řidič aktivuje parkovacího asistenta a zapne směrovku indikující směr, kterým si přeje vozidlo zaparkovat. Řidič projede kolem parkovací mezery rychlostí nanejvýš 30 km/h a vozidlo po vyhodnocení vhodnosti rozměru parkovací mezery řidiče upozorní. Pro zahájení parkování řidič již nemusí sešlápnout pedál akcelérátoru, ale stačí stisknout tlačítko START na displej rádia. Vozidlo poté řidiče vyzve k zařazení zpětného chodu převodovky a převezme kontrolu nad volantem. Na základě směru jízdy byl zobrazován obraz z příslušné kamery společně s top view pohledem. Pokud se řidič dotkne volantu, parkovací manévry se přeruší. Po přerušení je vozidlo schopno pokračovat v parkovacím manévru.

Tabulka (Tab. 12.2) zobrazuje statistiku provedeného měření na modelu Austral. Měření bylo provedeno na parkovacích mezerách stejných rozměrů, jaké se používají při testování vozidel Škoda. Pro každý testovaný rozměr parkovací mezery byla provedena tři měření. Sledovanými parametry bylo:

- Manévry – počet manévrů potřebných k zaparkování
- Obrubník? - sloupec indikující kontakt s obrubníkem během manévru
- Přední kolo – vzdálenost předního kola od obrubníku po dokončení manévru
- Zadní kolo - vzdálenost zadního kola od obrubníku po dokončení manévru

Tabulka 12.2 - Statistika parkování s vozidlem Renault Austral

Renault Austral				
Délka x Hloubka mm x mm	Manévry	Obrubník?	Přední kolo [mm]	Zadní kolo [mm]
7700 x 2000	2	Ne	170	140
7700 x 2000	2	Ne	195	170
7700 x 2000	2	Ne	85	111
6700 x 2000	2	Ne	120	135
6700 x 2000	2	Ne	170	135
6700 x 2000	2	Ne	160	105
5700 x 2000	6	Ne	180	175
5700 x 2000	3	Ne	230	170
5700 x 2000	4	Ne	160	130

Oproti statistice naměřené při parkování s modelem Megane (Tab. 12.1), lze pozorovat, že model Austral s nástavbou parkovacího asistenta parkuje do největší parkovací mezery na dva manévry. Toto je způsobeno skutečností, že model Austral se snaží umístit do středu parkovací mezery v podélném směru. Dále lze oproti modelu Megane pozorovat zmenšení vzdáleností předního i zadního kola od obrubníku. Průměr vzdáleností předního a zadního kola od obrubníku se u modelu Austral pohybují cca 150 mm. Při měření nedošlo ke kontaktu s obrubníkem.



Obrázek 12.3 - Situace zkoušky parkování s vozidly Renault



Obrázek 12.4 - Fotografie předního PLA senzoru na vozidle Renault Austral 2023

## 13. Porovnání výsledků měření

Srovnána byla data z měření s vozidly Škoda Octavia RS, Renault Megane a Renault Austral. Parkování do mezery o délkách 7700 mm a 6700 mm bylo zvládnuto modely Octavia i Austral na dva manévry. Vozidlo Megane zaparkovalo do parkovací mezery délky 7700 mm na jeden manévr. Jak již bylo zmíněno v kapitole Renault Megane (Kap. 12.1), parkovací systém vozidlo dokázal zaparkovat na jeden manévr, ale neproběhlo zarovnání vozidla do středu mezery. Proto vozidla Octavia i Austral zaparkovala do mezery délky 7700 mm na dva manévry. Předkládaná simulace (Kap. 9) vypočetla manévr shodný s manévrem naměřeným na vozidle Megane. V případě parkovací mezery o délce 6700 mm všechna testovaná vozidla zaparkovala se shodným počtem manévrů. Nutno zmínit, že vozidlo Megane zaparkovalo ve větší vzdálenosti od obrubníku, než ostatní testovaná vozidla.

V případě délky parkovací mezery 5700 mm, do které byla testovaná vozidla zaparkována, byly počty potřebných manévrů k zaparkování zprůměrovány pro každé vozidlo. Nejmenší počet manévrů k zaparkování potřebovalo vozidlo Megane, následně vozidlo Austral a nejvíce manévrů potřebovalo vozidlo Octavia. Předkládaná simulace (Kap. 10), která vypočte trajektorii manévru do parkovací mezery o délce 5700 mm, dokáže vozidlo zaparkovat na 5 manévrů.

Tabulka 13.1 - Výňatek z měření PLA parkovacího asistentu na vozidle Škoda Octavia RS 4. generace

Škoda Octavia				
Délka x hloubka mm x mm	Manévry	Obrubník?	Přední kolo [mm]	Zadní kolo [mm]
7700 x 2000	2	Ne	200	190
7700 x 2000	2	Ne	180	170
7700 x 2000	2	Ne	255	210
6700 x 2000	2	Ne	160	175
6700 x 2000	2	Ne	140	145
6700 x 2000	2	Ne	150	160
5700 x 2000	6	Ne	220	235
5700 x 2000	5	Ne	220	190
5700 x 2000	4	Ne	170	180

Tabulka 13.2 - Data naměřená během testování PLA parkovacího asistenta na vozidle Renault Megane

Renault Megane				
Délka x Hloubka mm x mm	Manévry	Obrubník?	Přední kolo [mm]	Zadní kolo [mm]
7700 x 2000	1	Ne	245	240
7700 x 2000	1	Ne	260	215
7700 x 2000	1	Ne	260	155
6700 x 2000	2	Ne	285	245
6700 x 2000	2	Ne	235	255
6700 x 2000	2	Ne	305	255
5700 x 2000	3	Ne	250	270
5700 x 2000	4	Ne	75	180
5700 x 2000	3	Ne	270	270

Tabulka 13.3- Data naměřená během testování PLA parkovacího asistenta na vozidle Renault Austral

Renault Austral				
Délka x Hloubka mm x mm	Manévry	Obrubník?	Přední kolo [mm]	Zadní kolo [mm]
7700 x 2000	2	Ne	170	140
7700 x 2000	2	Ne	195	170
7700 x 2000	2	Ne	85	111
6700 x 2000	2	Ne	120	135
6700 x 2000	2	Ne	170	135
6700 x 2000	2	Ne	160	105
5700 x 2000	6	Ne	180	175
5700 x 2000	3	Ne	230	170
5700 x 2000	4	Ne	160	130

## 14. Závěr

V Teoretické části byla provedena rešerše asistenčních systémů, které napomáhají k autonomii vozidel. Bylo představeno rozdělení asistenčních systémů do skupin asistentů aktivní a pasivní bezpečnosti. Další rozdělení představovalo klasifikaci asistenčních systémů na systémy podporující vozidlo a systémy podporující řidiče. Byly rozebrány některé příklady asistenčních systémů a byla popsána jejich funkčnost. Větší pozornost byla věnována parkovacím asistentům, u kterých byly vysvětleny jednotlivé části se zaměřením na ultrazvukové senzory. Představeny byly také druhy parkovací pomoci od parkování s ultrazvukovými senzory až po trénované parkování nebo parkování pomocí mobilní aplikace. Rozebrány byly také vybrané nehody autonomních vozidel ve fázi testování.

V praktické části byla naměřena data z parkovacích asistentů aktuálně používaných na vozidlech Škoda a Renault. Při měření parkování s vozidlem Škoda byla naměřena data, ze kterých byl vytvořen graf vývoje úhlu natočení volantu při parkování. Vzhledem k tomu, že strategie parkování vozidla je know-how společnosti, jež dodává parkovací jednotky výrobcům automobilů Škoda, není přístupný jednoznačný dokument popisující tuto strategii. Data ukazující vývoj úhlu natočení volantu při parkování sloužila jako porovnání s navrhovanou simulací.

Simulovány byly dva scénáře parkování se stejnou situací, ale s rozdílnou strategií a rozdílnými délkami parkovacích míst. První simulace obsahuje parkování do podélného parkovacího místa na pravé straně na jeden manévr. Do algoritmu byla zapracována kritéria, která hrají klíčovou roli při testování parkovacích asistentů ve Škoda-Auto. Do simulace byly přidány hranice tzv. *deadzone*, které značí prostor, do kterého vozidlo nesmí vjet. Hranice *deadzone* dosahuje 30 cm od překážky. Vozidlo při manévrování nesmí překročit hranici obrubníku žádnou jeho částí, je druhé kritérium.

Druhý scénář simulace obsahoval výpočet manévru zaparkování do nejmenší možné parkovací mezery. Délka parkovací mezery, na které byl PLA parkovací asistent testován automobilkou Škoda-Auto dosahovala 5700 mm. Stejná délka byla nastavena i na simulaci prováděnou kapitole 10 (Kap. 10). V simulaci byla opět vytvořena hranice, kterou nesmí vozidlo překročit při přibližování k překážce, pozornost byla věnována i prevenci kontaktu s obrubníkem. S algoritmem na zaparkování vozidla do mezery délky 5700 mm bylo potřeba

celkem 5 manévrů. Při porovnání s daty v tabulce (Tab. 8.3) bylo zjištěno, že tento algoritmus dokáže zaparkovat vozidlo s podobným počtem manévrů. Aplikace algoritmu na výpočet parkovacího manévru nebyla uskutečněna z důvodu složitosti provedení. Na aplikaci algoritmu by bylo zapotřebí přepsat celý algoritmus do jazyka čitelného pro parkovací jednotku, naprogramování činnosti servomotorů, které otáčejí volantem a navržení grafického rozhraní, které by bylo zobrazováno na displeji rádia. Možnost aplikace zůstává otevřená do dalších akademických publikací.

Pro porovnání bylo naměřeno parkování s poloautomatickým parkovacím asistentem na vozidle konkurenčního výrobce Renault. Měření byly podrobeny dva modely Megane 2018 a Austral 2023. Každý model vozidla byl osazen jinou generací poloautomatického parkovacího asistenta. Na modelu Austral nelze navázat na přerušovaný parkovací manévr i přes to, že se, dle reklamních materiálů, jedná o vyšší generaci poloautomatického parkovacího asistenta. Dalším zajímavým rozdílem je možnost šikmého parkování na modelu Megane, kterou Austral nenabízí.

Provedeno bylo také porovnání počtu manévrů při parkování testovaných vozidel do třech různě dlouhých parkovacích mezer (Kap. 13). V případě mezery o délce 7700 mm dokázal parkovací asistent na vozidle Megane zaparkovat na jeden manévr. Vozidla Austral a Octavia zaparkovala do stejně velké mezery na dva manévry. Větší počet manévrů je následkem toho, že Octavia i Austral zarovnali vozidlo doprostřed parkovací mezery. Při parkování do mezery o délce 6700 mm všechna vozidla zaparkovala na stejný počet manévrů však s tím, že vozidlo Megane zaparkovalo výrazně dál od obrubníků než ostatní vozidla. V případě mezery o délce 5700 mm vozidlo Megane potřebovalo nejméně manévrů k zaparkování. Vozidlo Octavia naopak zase nejvíce.

V případě porovnání výsledků simulací s reálně naměřenými daty bylo dospěno k závěru, že simulace podává srovnatelné výsledky s aktuálně prodávanými asistenty. Cíl sestrojení simulace výpočtu podélného parkovacího manévru byl tedy splněn i za podmínek daných metodikou pro testování parkovacích asistentů používanou ve Škoda Auto.

## 15. Bibliografie

- [1] VLK, František. *Automobilová elektronika*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.
- [2] Aktivní bezpečnost. In: *Autolexicon* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/aktivni-bezpecnost/>
- [3] Tyre pressure. In: *Barum-tyres* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.barum-tyres.com/cz/cs/car/experts-advice/tyre-pressure.html>
- [4] ABS senzor. In: <https://www.mjauto.cz/wp-content/uploads/2013/02/magneticky-krouzek-loziska.jpg> [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.mjauto.cz/wp-content/uploads/2013/02/magneticky-krouzek-loziska.jpg>
- [5] How ABS Works. In: *How Stuff Works* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/anti-lock-brake.htm>
- [6] LEISTNER, Jan. *Autonomní vozidla a asistenční systémy*. Praha, 2021. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Josef Mík, Ph.D., Ing. Přemysl Toman.
- [7] ESC. In: *Europa.eu* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: [https://road-safety.transport.ec.europa.eu/statistics-and-analysis/statistics-and-analysis-archive/esafety/electronic-stability-control\\_en](https://road-safety.transport.ec.europa.eu/statistics-and-analysis/statistics-and-analysis-archive/esafety/electronic-stability-control_en)
- [8] LIE, Andres, Claes TINGVALL, Maria KRAFFT a Anders KULLGREN. The Effectiveness of Electronic Stability Control (ESC) in Reducing Real Life Crashes and Injuries. *Traffic Injury Prevention* [online]. 2006, **2006**(15), 38-43 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1080/15389580500346838>
- [9] Electronic Stability Program. In: *BOSCH-MOBILITY* [online]. BOSCH: BOSCH, <https://www.bosch-mobility.com> [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/driving-safety/electronic-stability-program/>
- [10] Asistenční systém ESC. In: *Besip* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_7EGd\\_U5ZpA](https://www.youtube.com/watch?v=_7EGd_U5ZpA)
- [11] ŠKODA Octavia Multikolizní brzda. In: *Multikolizní brzda* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OPCiWEB0kyY>
- [12] Adaptive Cruise Control. In: *Ford Motor Company* [online]. Ford Motor Company: Ford Motor Company, 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.ford.co.uk/support/how-tos/ford-technology/driver-assist-features/how-does-adaptive-cruise-control-work>



- [13] *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to steering equipment*. In: . Evropská unie: UNECE, 2018, ročník 2018, R 78.04. Dostupné také z: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2018/R079r4e.pdf>
- [14] 2003 inventions. In: *Time.com* [online]. Time.com, 2003 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20031118184707/http://www.time.com/time/2003/inventions/invprius.html>
- [15] Ultrasonic sensor. In: *Shopify* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0559/1970/6265/files/Principle\\_of\\_ultrasonic\\_sensor\\_480x480.jpg?v=1662816132](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0559/1970/6265/files/Principle_of_ultrasonic_sensor_480x480.jpg?v=1662816132)
- [16] *Autonomní vozidla a asistenční systémy* [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/97423>. Bakalářská. České vysoké učení technické v Praze.
- [17] *Bosch automotive electrics and automotive electronics: systems and components, networking and hybrid drive*. 5th edition. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. Bosch professional automotive information. ISBN 978-3-658-01784-2.
- [18] *Uniform provisions concerning the approval of devices for reversing motion and motor vehicles with regard to the driver's awareness of vulnerable road users behind vehicles*. In: . Evropská unie: UNECE, 2021, ročník 2021, R 158. Dostupné také z: [https://unece.org/sites/default/files/2021-07/R158e\\_0.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-07/R158e_0.pdf)
- [19] Sensors on vehicle. In: *Webshopapp* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://cdn.webshopapp.com/shops/121960/files/65741042/450x450x2/aps-audi-parking-system-plus-front-retrofit-audi-a.jpg>
- [20] ŠKODA OCTAVIA RS iV. In: *Skoda-storyboard* [online]. Mladá Boleslav: Škoda-Auto, 2020 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://www.skoda-storyboard.com/cs/octavia\\_rs\\_iv\\_05/](https://www.skoda-storyboard.com/cs/octavia_rs_iv_05/)
- [21] PLA parking assistant. In: *Youtube* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=mnd0WJ4v6rs>
- [22] Tlačítko PLA. In: *Skodahome* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: [https://forum.skodahome.cz/uploads/monthly\\_2018\\_11/large.skoda-scala-interier-2018-004.jpg.100fb8216b1ea7f2417a5cf2dd08c14e.jpg](https://forum.skodahome.cz/uploads/monthly_2018_11/large.skoda-scala-interier-2018-004.jpg.100fb8216b1ea7f2417a5cf2dd08c14e.jpg)
- [23] Asistent pro couvání s přívěsem. In: *Volkswagen* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/znacka-a-technologie/asistencni-systemy/asistent-pro-couvani-s-privesem-trailer-assist>
- [24] Mercedes GLS 580 automatic parking. In: *Youtube* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=vLohsi6VoXI>

- [25] Valeo park4U Automated Parking. In: *Valeo* [online]. Valeo [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.valeo.com/en/park4u-automated-parking/>
- [26] Trained Parking. In: *Continental-automotive* [online]. Continental-automotive [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Autonomous-Mobility/Functions/Low-Speed-Maneuvering/Automated-Parking/Trained-Parking>
- [27] CZECH, Piotr. Autonomous vehicles: basic issues. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport* [online]. 2018, **100**, 15-22 [cit. 2023-04-19]. ISSN 02093324. Dostupné z: doi:10.20858/sjsutst.2018.100.2
- [28] Automated vehicles safety. In: *Nationa Highway Traffic Safety Administration* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- [29] Automation From Driver Assistance Systems to Automated Driving. In: *Adacemia* [online]. Verband der Automonilindustrie [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/25152124/Automation\\_From\\_Driver\\_Assistance\\_Systems\\_to\\_Automated\\_Driving](https://www.academia.edu/25152124/Automation_From_Driver_Assistance_Systems_to_Automated_Driving)
- [30] Standard j3016\_201806. In: *SAE.org* [online]. SAE.org [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201806/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/)
- [31] *Sdělení Ministerstva zahraničních věcí o sjednání Úmluvy o silničním provozu, přijaté ve Vídni dne 8. listopadu 1968*. In: . Praha, 2013, ročník 2013, 83/2013 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/ms/2013-83#f5690436>
- [32] *Vzie rozvoje autonomní mobility*. In: . Praha: Ministerstvo dopravy, 2017, ročník 2017. Dostupné také z: <https://www.mdcr.cz/Uzitecne-odkazy/Autonomni-mobilita>
- [33] USA. *Autonomous Vehicles Enacted Legislation*. In: . National Conference of State Legislatures, 2020, ročník 2020. Dostupné také z: <https://www.ncsl.org/transportation/autonomous-vehicles>
- [34] Uber's self-driving car saw the pedestrian but didn't swerve – report. In: *The Guardian* [online]. The Guardian, 2018 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2018/may/08/ubers-self-driving-car-saw-the-pedestrian-but-didnt-swerve-report>
- [35] Uber driver charged in self-driving crash that left woman dead in Tempe in 2018. In: *Youtube* [online]. 12 News, 2020 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=cRSMYIFqUEA>

- [36] 'I'm the Operator': The Aftermath of a Self-Driving Tragedy. In: *Wired* [online]. wired, 2022 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.wired.com/story/uber-self-driving-car-fatal-crash/>
- [37] Tesla driver dies in first fatal crash while using autopilot mode. In: *The Guardian* [online]. 2016 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2016/jun/30/tesla-autopilot-death-self-driving-car-elon-musk>
- [38] The driver who died in a Tesla crash in Florida ignored at least 7 safety warnings. In: *Jacksonville* [online]. 2016 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://eu.jacksonville.com/story/news/nation-world/2017/06/20/driver-who-died-tesla-crash-florida-ignored-least-7-safety-warnings/15760312007/>
- [39] Škoda Octavia RS. In: *Skoda-storyboard* [online]. Mladá Boleslav: Škoda-Auto, 2022 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-rs-experience-tiskova-mapa/modely-skoda-rs-tradicne-sportovni/attachment/25\\_octavia\\_rs\\_c6dcb987/](https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-rs-experience-tiskova-mapa/modely-skoda-rs-tradicne-sportovni/attachment/25_octavia_rs_c6dcb987/)
- [40] CHOI, Sungwoo, Clément BOUSSARD a Brigitte D'ANDRÉA-NOVEL. Easy Path Planning and Robust Control for Automatic Parallel Parking. *IFAC Proceedings Volumes* [online]. 2011, **44**(1), 656-661 [cit. 2023-05-09]. ISSN 14746670. Dostupné z: doi:10.3182/20110828-6-IT-1002.01458
- [41] ČSN 73 6056. *Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel: ČSN 73 6056*. 2. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2011.
- [42] VOROBIEVA, Hélène, Sébastien GLASER, Nicoleta MINOIU-ENACHE a Saïd MAMMAR. Geometric Path Planning for Automatic Parallel Parking in Tiny Spots. *IFAC Proceedings Volumes* [online]. 2012, **45**(24), 36-42 [cit. 2023-05-09]. ISSN 14746670. Dostupné z: doi:10.3182/20120912-3-BG-2031.00008

## 16. Seznam obrázků

Obrázek 3.1 - Magnetický snímač rychlosti otáčení kola .....	15
Obrázek 4.1 - Ultrazvukový senzor [15] .....	22
Obrázek 4.2 - Sada na montáž parkovacího asistenta se zobrazováním okolních překážek na obrazovce rádia [18].....	24
Obrázek 4.3 - Zobrazování vzdálenost překážek vozidla na černobílém displeji rádia [16] ....	25
Obrázek 4.4 - Škoda Octavia z boku, senzory PLA vyznačeny pomocí červených kružnic [19]	26
Obrázek 4.5 - Displej virtuálního kokpitu ukazující možnost zaparkování na levou stranu vozovky [19] .....	26
Obrázek 4.6 - Displej virtuálního kokpitu zobrazující požadovaný směr jízdy vozidla a progress bar ukazující, jak velkou dráhu musí vozidlo urazit [19] .....	27
Obrázek 4.7 - Tlačítko, které aktivuje PLA parkovací asistenci [20].....	27
Obrázek 7.1 - Škoda Octavia RS, 4. generace, 2020 [37] .....	39
Obrázek 8.1 - Instrukce zobrazované na displeji virtuálního kokpitu .....	42
Obrázek 8.2 - Ukázka vizualizace natracovaných dat během zkoušky parkovacího asistenta do parkovací mezery o délce 6700 mm .....	44
Obrázek 9.1 - Zobrazení výpočtu souřadnic pravého zadního rohu vozidla, šipka indikuje před vozidla.....	49
Obrázek 9.2 - Kružnice znázorňující trajektorii vozidla při maximálním úhlu natočení kol vlevo .....	49
Obrázek 9.3 - Situace simulovaného scénáře podélného parkování na pravou stranu .....	50
Obrázek 9.4 - Výsledná situace, vypočtený manévr potřebný pro zaparkování.....	53
Obrázek 10.1 - Přiřazení bodů modelu vozidla .....	55
Obrázek 10.2 - Situace scénáře simulace parkování .....	58
Obrázek 10.3 - Výpočet úhlu theta pro první rotaci .....	59
Obrázek 10.4 - Situace po prvním použití rotační matice .....	61
Obrázek 10.5 - Znázornění výpočtu úhlu pro druhou rotační matici.....	62
Obrázek 10.6 - Situace po druhém použití rotační matice.....	63
Obrázek 10.7 - Znázornění výpočtu úhlu pro třetí rotační matici.....	64
Obrázek 10.8 - Třetí manévr – jízda vpřed za maximálního natočení kol vlevo .....	65

Obrázek 10.9 - Výsledek poslední aplikace rotační matice – vozidlo může opustit parkovací místo.....	66
Obrázek 10.10 - Vizualizace počítaného úhlu (černé přímky).....	67
Obrázek 10.11 - Propojení kružnic trajektorie středu zadní osy nápravy vozidla.....	68
Obrázek 12.1 - Obrazovka rádia zobrazující zvolený parkovací manévr - Renault Megane ....	72
Obrázek 12.2 - Fotografie zadního PLA senzoru na vozidle Renault Megane 2018 .....	72
Obrázek 12.3 - Situace zkoušky parkování s vozidly Renault .....	74
Obrázek 12.4 - Fotografie předního PLA senzoru na vozidle Renault Austral 2023 .....	75

## 17. Seznam tabulek

Tabulka 5.1 - Rozdělení úrovní autonomie vozidel dle NHTSA [26] .....	33
Tabulka 5.2 - Rozdělení úrovní autonomie dle německé společnosti VDA [27] .....	34
Tabulka 5.3 - Rozdělení úrovní autonomie vozidel dle organizace SAE [28] .....	36
Tabulka 8.1 - Testování parkovacího asistenta Škoda Octavia 2019 .....	41
Tabulka 8.2 - Sledované veličiny při zkoumání naměřených dat během testování.....	43
Tabulka 8.3 - Výňatek z měření parkovacího asistenta PLA.....	45
Tabulka 9.1 - Veličiny potřebné k výpočtu manévru.....	46
Tabulka 10.1 - Sumarizace rozměrů a veličin použitých v simulaci .....	54
Tabulka 12.1 - Statistika parkování s vozidlem Renault Megane.....	71
Tabulka 12.2 - Statistika parkování s vozidlem Renault Austral .....	74
Tabulka 13.1 - Výňatek z měření PLA parkovacího asistentu na vozidle Škoda Octavia RS 4. generace .....	76
Tabulka 13.2 - Data naměřená během testování PLA parkovacího asistenta na vozidle Renault Megane.....	77
Tabulka 13.3- Data naměřená během testování PLA parkovacího asistenta na vozidle Renault Austral .....	77