

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

**Testování parkovacích systémů v závislosti na
materiálním složení překážky**

Diplomová práce

Autor práce:

Bc. Štěpán Pícha

Vedoucí práce:

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Praha 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Štěpán Pícha

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Testování parkovacích systémů v závislosti na materiálním složení překážky

Název anglicky

Testing of parking systems depending on the material composition of obstacles

Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na testování parkovacích systémů v závislosti na materiálním složení překážky.

Hlavním cílem je provést testování parkovacích čidel v závislosti na druhu materiálu, ze kterého je daná překážka. Dílčím cílem diplomové práce je analýza současného stavu vývoje v oblasti komfortních a bezpečnostních mechatronických systémů v osobních vozidlech.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce – popis postupu měření/testování
4. Přehled řešené problematiky – studium a analýza odborných informačních zdrojů
5. Vlastní zpracování – testování parkovacích systémů v závislosti na materiálním složení překážky.
6. Výsledky a diskuse
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50 – 60 str. včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

parkovací systémy, ultrazvuk, materiál

Doporučené zdroje informací

EBEN LI, S. and all, Kalman filter-based tracking of moving objects using linear ultrasonic sensor array for road vehicles, Mechanical Systems and Signal Processing,

PARK, W.-J., KIM, B.-S., SEO, D.-E., KIM, D.-S., LEE, K.-H. Parking space detection using ultrasonic sensor in parking assistance system, 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 978-142442569-3

ROJAS, A.E., NIEDERKOFER, H., WILLBERGER, J. Comfort and safety enhancement of passenger vehicles with in-wheel motors, 2010, SAE Technical Papers

VLK, F. *Automobilová elektronika. 1, Asistenční a informační systémy : [EPS, DSC, AHS, PSM, VDC – elektronická stabilizace ASR, ASC, DTC, ETC, TCS – protikluzové systémy ABC, ACC, BAS, FLR, HDC, LDW ... a další systémy podporující řidiče]*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.

VLK, F. *Automobilová elektronika. 2, Systémy řízení podvozku a komfortní systémy : [systémy ABS/ASR/ESP, elektronické brzdové systémy, zádržné systémy, osvětlení vozidla, komfortní systémy]*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7062-3.

VLK, F. *Automobilová elektronika 3, Systémy řízení motoru a převodů : [benzinové motory, dieselové motory, výkon vozidla, vstřikovací systémy, zapalování, snímání dat]*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7063-1.

VLK, F. *Elektronické systémy motorových vozidel. Díl 1*. Brno: František Vlk, 2002. ISBN 80-238-7282-6.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2018

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 08. 2018

Čestné prohlášení

*„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **"Testování parkovacích systémů v závislosti na materiálním složení překážky"** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.*

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne: 30. 3. 2019

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval mému školiteli Ing. Veronice Hartové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady k vypracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval svému bratrovci Ing. Tomáši Píchovi za pomoc při měření a další odborné rady.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na testování parkování systémů v závislosti na materiálovém složení překážky. V teoretické části práce je zpracován literární přehled hlavních principů senzorů používaných ve vozidle nejen k parkování, ale i pro bezpečnější provoz na komunikacích. Dále jsou zpracovány některé příklady použití pokročilých asistenčních systémů řízení (ADAS) v současných automobilech. V práci je podrobněji provedeno teoretické zpracování funkce a principu ultrazvukových senzorů. Jsou uvedeny příklady využití ultrazvukových senzorů na vozidlech. V praktické části je provedeno otestování funkce parkovacích senzorů na třech vozidlech Škoda a jednom typu přídavných senzorů v závislosti na materiálu, ze kterého je vyrobena překážka (karton, polystyrén, čedičová vata, molitan, drátěné a okenní sklo, dva typy drátěných sítí a dřevěných desek a sítí typu perlínka). Bylo prokázáno, že čedičová vata a molitan nebyly senzory identifikovány vůbec, drátěné a skleněné překážky vykazovaly větší variaci naměřených hodnot a byly identifikovány jako vzdálenější oproti skutečnosti. Ostatní měření odpovídala velmi dobře realitě.

Klíčová slova: parkovací systémy, ultrazvuk, materiál

Abstract

The topic of the thesis is focused on testing of parking systems of vehicles in relations to the material of the barrier. The literary overview of main principles of sensors used not only for parking, but for more safe traffic systems as well is provided in the theoretical part. Next, some examples of practical utilization of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and their specific applications in recent cars are concluded. The ultrasonic sensor car systems including of physical principles are overviewed more precisely. The testing of the ultrasonic sensor system was accomplished on three cars Škoda and one supplementary equipment in practical part of the thesis. The measuring was performed in relation to the material from which barrier was manufactured - following materials were tested: carton, polystyrene, rock wool, foam, wire glass, window glass, two types of wire nets, two wood boards and the fibreglass mesh. It has been proven the rock wool and foam did not provide any back ultrasonic signal whereas the wire and glass barriers provided higher variability of measured values. These barriers were recognized by sensors as more distant than the reality was. Measuring of the other distances of the tested materials was homogeneous a relative accurate.

Key words: parking systems, ultrasonic, material

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika práce	4
4	Literární rešerše	5
4.1	<i>Základní principy technologií používaných při provozu vozidel</i>	5
4.1.1	Historie a rozdělní principů senzorů	5
4.1.2	Elektromagnetický signál.....	6
4.1.3	Infračervený signál.....	7
4.1.4	Radarové snímače	8
4.1.5	Laserový signál - lidary.....	10
4.1.6	Videosenzory - kamery	12
4.1.7	Vnější navigace	13
4.1.8	Komplexní systémy ADAS.....	13
4.2	<i>Technologie založená na principu ultrazvukového signálu</i>	17
4.2.1	Historie.....	17
4.2.2	Vlastnosti ultrazvukových vln.....	18
4.2.2.1	Podstata ultrazvukových vln.....	18
4.2.2.2	Chování ultrazvukových vln při odrazu	20
4.2.3	Měření vzdálenosti ultrazvukem	21
4.2.3.1	Ultrazvukové generátory	21
4.2.3.2	Princip ultrazvukového senzoru	23
4.2.3.3	Vyzařovací charakteristika senzoru	25
4.2.4	Zapojení ultrazvukového senzoru do měřicího okruhu	27
4.3	<i>Příklady řešení parkovacích systémů</i>	28
5	Praktická část práce	34

5.1	<i>Testovaná vozidla a zařízení</i>	34
5.1.1	Testovaná vozidla.....	34
5.2	<i>Měřicí zařízení</i>	36
5.2.1	Diagnostický systém VAG-COM	36
5.3	<i>Testované materiály</i>	37
5.4	<i>Měření - způsob a podmínky</i>	40
6	<i>Výsledky a diskuze</i>	41
6.1	<i>Výsledky</i>	41
6.1.1	Výsledky měření vozu Škoda Superb	41
6.1.2	Výsledky měření Škoda Rapid.....	45
6.1.3	Výsledky měření Škoda Octavia	47
6.1.4	Výsledky měření Škoda Octavia se systémem Valeo beep and park.....	49
6.1.5	Porovnání jednotlivých materiálů mezi sebou použitím statistiky	50
6.2	<i>Diskuze</i>	54
7	<i>Závěr</i>	59
8	<i>Seznam použitých zdrojů</i>	61
8.1	<i>Seznam obrázků</i>	66
8.2	<i>Seznam rovnic</i>	68
8.3	<i>Seznam zkratk</i>	68
9	<i>Přílohy</i>	I

1 Úvod

Asistenční technologie v automobilovém průmyslu se stávají nedílnou součástí sériově vyráběných automobilů. Hlavním důvodem jsou zvyšování jízdního komfortu a bezpečnosti automobilové dopravy. Zejména druhý motiv - bezpečnost - je významným stimulem pro vývoj pomocných systémů zlepšujících řízení vozidla. Drobné nehody se nejčastěji stávají z důvodu nepozornosti řidiče a při nepřehledném parkování. K tomuto typu nehod dochází většinou při relativně malé jízdní rychlosti, ale i přes to může dojít k menším poraněním posádky, například k poranění krční páteře. Podstatně více jsou však ohroženi chodci, a bohužel nejvíce děti, které díky malé tělesné výšce nemusí být mnohdy parkujícím řidičem zaznamenány. Přestože škody a závažnost jsou obvykle nízké, představují tyto nehody nemalou část všech dopravních komplikací na pozemních komunikacích.

K asistovanému parkování mohou být použity různé systémy - laserové, radarové a další. Avšak nejčastěji jsou používána čidla založená na bázi ultrazvukových (UZ) vln. Důvodem je jejich relativní spolehlivost, nízká cena a technická robustnost. Systém u zadních parkovacích senzorů funguje tak, že při zařazení zpětného převodového stupně dojde k jejich automatickému sepnutí, čímž je hlídán prostor za nimi. Aktivní část zařízení vyšle UZ signál, který se od dané překážky odrazí a putuje zpět do přijímací části senzoru. Ten vyhodnotí kvalitu a latenci odpovědi, výsledek je vrácen jako vzdálenost vozu od překážky.

Kvalita a intenzita přijímaného signálu - UZ echa - je významným způsobem ovlivněna vzdáleností, kterou musí UZ vlna urazit od emitoru k čidlu. Tato část detekčního systému je velmi dobře otestována výrobcem, její kalibrace je spolehlivá a přesná. Prakticky jediným možným arteficiálním zásahem, který může interferovat s výsledkem je mechanické znečištění čidla jako takového. Podle kvalitativní úrovně systému může být měřicí aparát vybaven systémem zpětné kontroly správné funkce. Druhou složkou systému je odrazové místo pro UZ, tedy překážka samotná. Spolehlivost měření není v tomto případě možné ze samotné podstaty zajišťovat standardními podmínkami, neboť tento prvek podléhá změnám v závislosti na provozu motorového vozidla. Detekční systém by tedy měl být již primárně navržen tak, aby zachytil co nejvíce typů, respektive kvalitativních variací povrchů, který

slouží jako odrazová plocha pro UZ. Lze předpokládat, plochy, které jsou homogenní, hladké a dobře odrážejí UZ, budou detekovány dobře. Problémem jsou ovšem překážky, jejichž povrch je různě pórovitý či jinak nehomogenní. V tu chvíli může UZ signál překážkou projít, odrazit se do různých směrů a nebo jí může být pohlcen. K cílovému detektoru není signálová odezva vrácena, což systém vyhodnotí nesprávně jako absenci překážky a může dojít k nehodě. Z tohoto důvodu je důležité věnovat pozornost parkovacím sensorům také po stránce jejich spolehlivosti v závislosti na materiálu dané překážky. Tyto systémy se v dnešní době montují do většiny vozidel už v základní výbavě, a proto je vhodné ověřit jejich spolehlivost pro detekci překážek z různého druhu materiálu.

Tuto otázku lze vyřešit například změnou použitého principu měřicí metody pro zjištění překážky, jako to mají například systémy automatického nouzového brzdění, které pracují s radarovou technologií v kombinaci s laserem. Ovšem je třeba vzít v úvahu, že v dopravě jsou nejčastěji používány ultrazvukové parkovací senzory a to i u parkovacích asistentů. Z tohoto důvodu je nutné znát jejich spolehlivost.

Experimentálním cílem diplomové práce je ověřit detekční schopnosti standardních parkovacích sensorů v závislosti na materiálu detekované překážky.

2 Cíl práce

Hlavním cílem diplomové práce je provést testování nejpoužívanějších parkovacích systémů – tedy těch, které jsou založeny na principu UZ – v závislosti na druhu materiálu, ze kterého je překážka, která má být detekována.

Teoretickým cílem je provedení rešerše a vypracování přehledu hlavních typů používaných asistenčních parkovacích systémů - tedy analýza současného stavu vývoje v oblasti komfortních a bezpečnostních mechatronických systémů v osobních vozidlech.

3 Metodika práce

Práce bude vypracována v souladu se zadáním:

1) Bude provedena literární rešerše s přednostním zaměřením na následující témata. Bude proveden literární přehled hlavních typů senzorů a principů, na kterých jsou založeny. Dále budou zpracovány hlavní způsoby jejich použití v současných automobilech a systémech pokročilých asistenčních systémů řízení (Advanced Driver Assistance System; ADAS). Bude provedeno teoretické zpracování principu a funkce ultrazvukových senzorů v automobilové dopravě spolu s přehledem některých jednoduchých příkladů jejich použití v praxi.

2) V experimentální části práce bude provedeno testování schopnosti detekce překážek z rozdílných materiálů u různých automobilů a přídatných senzorů. Měření bude probíhat v prostorách České zemědělské univerzity v Praze v dílnách Technické fakulty. Samotné měření bude prováděno na vozidlech Škoda Superb combi, Rapid a Octavia combi. Další měření bude prováděno s přídatnými senzory Valeo beep and park. Po naměření hodnot na voze Škoda Octavia bude nutné demontovat stávající senzory a poté nainstalovat přídatné senzory Valeo. Měření bude vždy probíhat 3 krát na každém vozidle (přídatných senzorech), materiálech a na předních a zadních senzorech. Vždy se budou měřit 2 prostřední senzory – v případě Škody Rapid, zadní prostřední senzor. A to vpředu i vzadu ve vzdálenostech 50 a 100 cm od nárazníků resp. senzorů. Jednotlivé měřené vzdálenosti se budou zaznamenávat pomocí diagnostiky VAG – COM a v případě přídatných senzorů budou hodnoty zaznamenávány přes obrazovku. Zhodnocení výsledků měření bude vyhodnoceno numericky i statisticky a provedena diskuze s porovnáním výsledků.

4 Literární rešerše

Pro větší cestovní komfort, bezpečnost posádky vozidla i ostatních účastníků silničního provozu je využívána řada moderních technologií. Jedná se například o zjišťování překážek v dráze vozidla, zvyšování přehlednosti v okolí automobilu. Další technické pomůcky jsou například využívány pro bezpečné parkování. Výrobci automobilů používají k dosažení těchto náležitostí často kombinace různých technologií.

4.1 Základní principy technologií používaných při provozu vozidel

V následující kapitole jsou uvedeny základní typy technologií, které jsou používány na vozidlech během jízdy, hlavně z důvodu zvýšení bezpečnosti provozu.

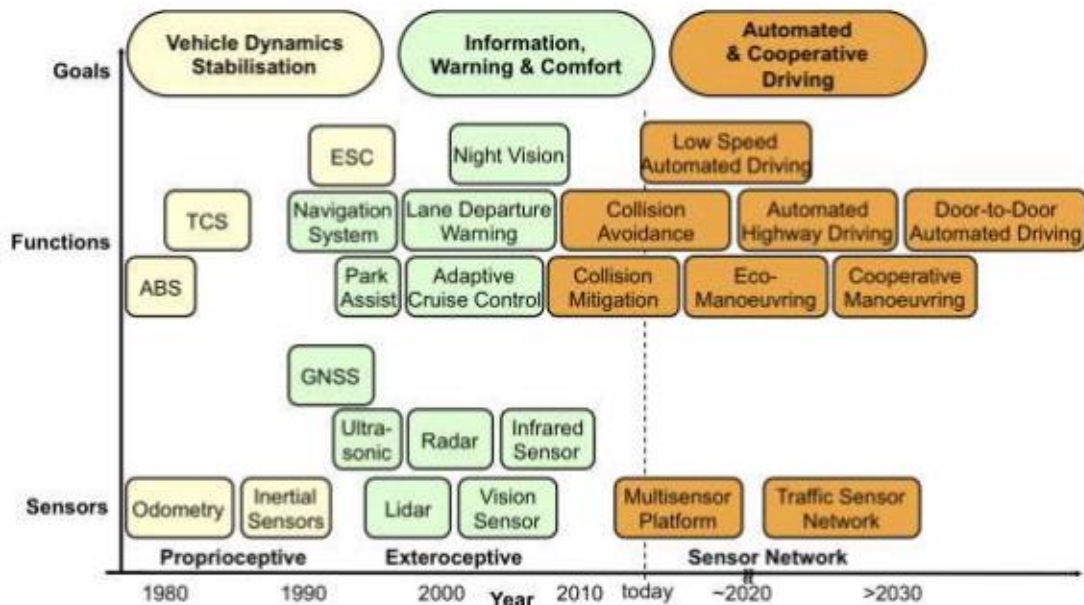
4.1.1 Historie a rozdělení principů senzorů

Historie používání elektronických zařízení - různých druhů senzorů v automobilech sahá do počátku 80. let. Nejprve se jednalo o senzory instalované za účelem sledování vnitřních funkcí vozu. Během 90. let začaly být instalovány senzory zajišťující různě komplexní informaci o poloze a pohybu vozidla, navigační systémy a další dílčí aparatury. Přibližně od roku 2010 jsou tato dílčí zařízení mezi sebou propojována do systémů optimalizujících a monitorujících komplexní funkce vozidla jako jsou kolizní reakce, pohyb vozu při pomalých úkonech jako je například parkování nebo zajíždění do garáže, automatická jízda po dálnici, napojení na dopravní senzory a další funkce [1].

V automobilovém průmyslu jsou nejčastěji používány senzory založené na níže uvedených principech:

- Ultrazvukový signál
- Elektromagnetický signál
- Infračervený signál
- Radiový signál
- Laserový signál
- Videosenzory

Jednotlivé systémy se mezi sebou liší v řadě parametrů a při jejich kombinovaném použití lze výhodně doplňovat jejich technické vlastnosti, jak ukazuje příklad (Obr. 1). UZ senzory patří k nejčastější výbavě automobilů. Důvodem je jejich relativně nízká cena a dobrá spolehlivost. Vzhledem k tomu, že testování UZ senzorů je hlavní náplní experimentální části práce, jsou tato zařízení podrobněji popsána v dalším textu (4.2.3.1).



Obr. 1 Vývoj asistenčních systémů je schematizován na obrázku [1]

4.1.2 Elektromagnetický signál

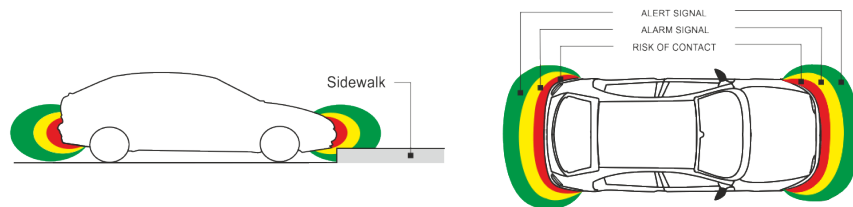
Jedná se o jiný - v porovnání s UZ relativně méně rozšířený způsob zjišťování překážky za a méně často před vozidlem. Zařízení se skládá z indukčního obvodu - analogie cívky. Lze ji umístit jednoduchým způsobem například do nárazníku, nebo jen prostou adhezivní páskou na jakýkoliv pevný podklad. Připojením do elektrického okruhu se vytvoří elektromagnetické pole okolo nárazníku a všechny předměty, které vstupují do této eliptické zóny (člověk či jiný objekt), změny parametry indukčnosti. Měřicí zařízení změnu indikuje a vysílá varovný signál. Nevýhodou může být skutečnost, že k detekci překážky dochází pouze v případě, že se pohybuje vozidlo nebo překážka. Na obrázku (Obr. 2) je příklad detekce elektromagnetického systému [2].

Výhody systému:

- jednoduchá mechanická a elektrická konstrukce
- snadná montáž na vozidlo - i jako dodatečná instalace
- uspokojivá citlivost
- nízká cena
- vysoká spolehlivost

Nevýhody:

- velmi nízká rozlišovací schopnost
- malý dosah
- velké riziko nežádoucích interferencí z vnějšího prostředí



Obr. 2 Příklad detekce elektromagnetického senzoru v nárazníku vozu [2]

4.1.3 Infračervený signál

Infračervené záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou $\sim 750 - 1400$ nm (hranice viditelnosti lidským okem $\sim 380 - 750$ nm), jedná se o tepelné záření [3].

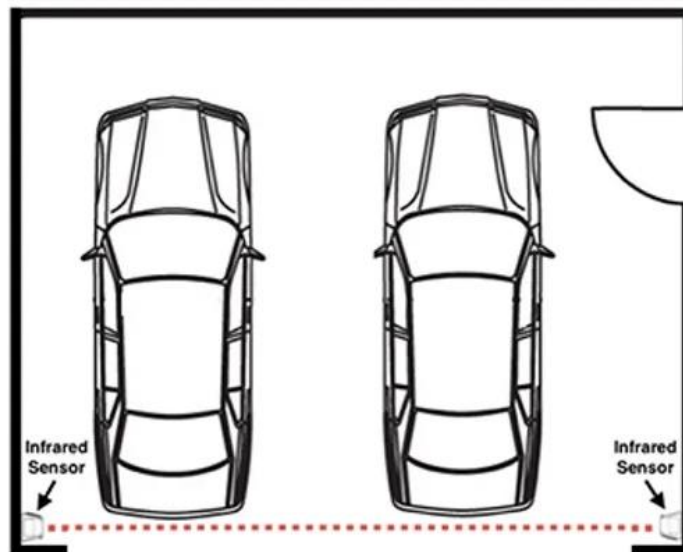
V případě infračerveného záření (termokamera) u automobilů se využívá ke sledování pozemní komunikace před vozidlem hlavně v noci nebo při snížených pozorovacích podmínkách. Vozidlo zobrazuje na obrazovce palubního počítače v reálném čase silnici před

vozidlem a indikuje možné překážky, které by člověk vlastními smysly v daný okamžik nebyl schopen rozeznat (viz. Obr. 3) [4].



Obr. 3 Ukázka zobrazení termokamery ve vozidle [4]

Infračervený senzor lze s úspěchem použít například pro parkování v garáži (Obr. 4), kde není příliš místa pro vůz a je nutné zaparkovat velmi natěsno [5].



Obr. 4 ukázka funkce infračerveného senzoru pro pomoc při parkování v garáži [5]

4.1.4 Radarové snímače

Radar (Radio Detecting And Ranging) neboli radiolokátor je přístroj sloužící k zjišťování polohy a rychlosti objektů, které jsou v dosahu. Princip radaru spočívá v pulzním vyslání radiového signálu a následného přijetí. Podle doby potřebné k návratu

odraženého signálu od objektu lze vypočítat vzdálenost předmětu. Pohyb detekovaného předmětu je důležitým faktorem pro měření rychlosti pohybu. Na základě Dopplerova jevu lze z rozdílu frekvence vyslaného a přijatého signálu tento údaj vypočítat. Jak je zmíněno u laserových snímačů, je dovolená frekvenční oblast pro silniční aplikace pásmo 76 – 77 GHz. Tyto radary se používají většinou pro uvedený rozsah měření [6]:

- krátkého dosahu – 0,5 - 20 m
- střední dosahu – 1 - 60 m
- dlouhého dosahu – 10 - 250 m

Radarové senzory mají následující výhody:

- pracují při jakýchkoliv povětrnostních podmínkách (teploty, vlhkost vzduchu, ...)
- mají relativně daleký dosah - 30 až 250 m
- zařízení, která jsou používána k montáži na vůz, obvykle neovlivňují funkci palubních systémů
- poskytují relativně přesné údaje o rychlosti, vzdálenosti a přesné poloze objektů
- radar je schopný detekovat objekty v zorném poli postupně, tedy několik objektů vedle sebe
- pokud je k dispozici kamerový systém, lze radarový signál fúzovat s kamerovým a tím poskytovat komplexnější resp. 3D informaci

Nevýhody radarových senzorů:

- krátkovlnnými radary se relativně obtížně detekují malé objekty
- obtížně se detekují statické objekty, jsou nutné speciální typy měření
- současné ADAS radary pracují nespolehlivě v uzavřených prostorech, jako jsou například tunely, obvykle přecházejí do stand-by režimu
- selhávají při podrobnějším zobrazení a klasifikaci objektů
- interference s ostatními radary komplikuje funkci a přesnost měření
- čas od zachycení signálu do měřené oblasti po vydání výstražného popudu je relativně dlouhý

Pro zvýšení přesnosti byly vyvinuty také radary na frekvenci 24 GHz [7].

4.1.5 Laserový signál - lidary

Light detection and ranging (LIDAR) případně laser detection and ranging (LADAR) - laserové skenery nebo laserové radary představují relativně levnou technologii založenou na principu detekce navraceného signálu - time of flight (ToF). Užívají se pro detekci překážek v jízdní dráze vozidla. Je založena na zdroji vysílající laserový paprsek a detektoru, který přijímá odražený signál. Délka optického pulzu trvá obvykle od několika nanosekund do několika mikrosekund [8].

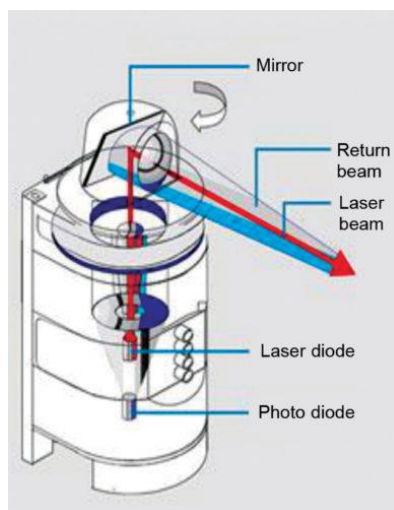
Výhody lidarů:

- Velmi dobrá rozlišovací schopnost
- Široký úhel záběru zorného pole, zejména u LIDARů s 360° rotací
- velmi dobré pole měření pro vertikální směr a úhlové rozlišení
- vysoká rozlišovací schopnost v noci
- nízká interference s ostatními senzory ADAS
- současný pokles cen zařízení

Nevýhody lidarů:

- rychlý pokles rozlišení za špatné viditelnosti - při dešti, sněhu, mlze
- značná velikost zařízení, v posledních letech se zmenšují
- v některých případech relativní složitost a zranitelnost zařízení (MEM lidarů)

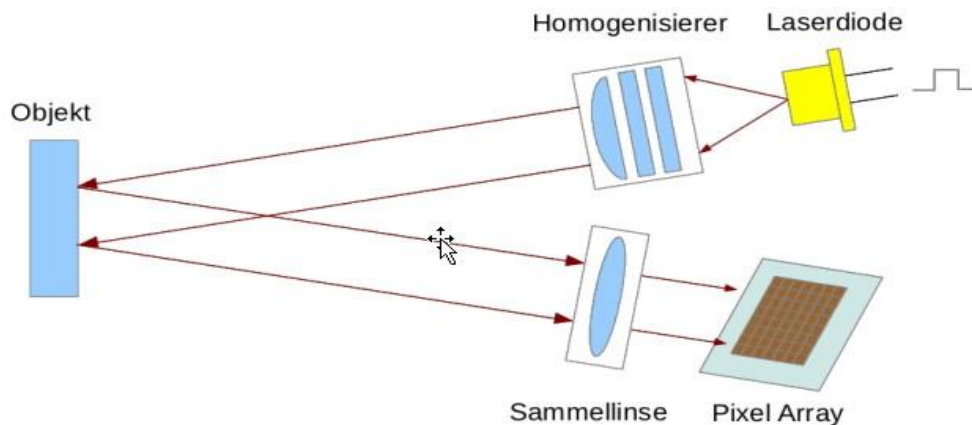
K základním konstrukcím pulzních lidarů patří dva typy - zařízení s otočným paprskem ("mechanické" lidary), které mají větší zorný úhel a systém stacionární, který má užší záběr. Mechanické lidary se skládají z optického zařízení a rotující komponenty vysílající laserový paprsek, odraz je zachycován senzorem a vyhodnocován (Obr. 5), stacionární lidar postrádá otočnou část [9].



Obr. 5 Schéma mechanického lidaru [9]

Stacionární lidary jsou levnější a lze jich použít paralelně více najednou, výsledný obraz je počítačově integrován. Jinou variantou je MEMS lidar, jeho princip spočívá ve vyklápěcím zrcadle, které změnou polohy vychyluje odražený paprsek laseru a vytváří tím prostorový obraz. Systém je relativně choulostivý na kalibraci a provozní podmínky (otřesy, teplota). Flash-lidary jsou svým principem velmi podobné digitální kameře. Pulzní laserový paprsek osvětluje skenovaný prostor a obraz je skládán podobně jako v kamerovém systému. Optical phase array (OPA) systémy pracují na analogickém principu fázových radarů - v zařízení jsou porovnávány odrazy několika paralelních paprsků a podle rozdílné doby odrazu je rekonstruován obraz objektů. Dosud uvedené lidary pracují na principu přerušovaného paprsku o jedné frekvenci (ToF), zatímco Frequency-modulated continuous wave (FMCW) LIDAR je založen na vysílání pulzů frekvenčně modulovaného laserového paprsku. Vyhodnocením odraženého signálu lze potom měřit současně jak rychlost, tak vzdálenost objektu [8].

DriMix Micro-3D-Camera je další aplikací ToF technologie lidaru. Jak je zřejmé ze schématu (Obr. 6), výsledný obraz je tvořen dvěma paralelními paprsky vysílanými jedním zdrojem. Po odrazu od objektu výsledný obraz poskytuje údaje o tvaru i vzdálenosti objektu [10].



Obr. 6 Příklad dvoupraskového laserového měřiče vzdálenosti [10]

4.1.6 Videosenzory - kamery

Paletu zařízení, které umožňují automatické zpracování obrazu v systémech ADAS, doplňují různé modifikace videokamer snímající obraz ve viditelné nebo infračervené oblasti spektra. Nejjednodušším přístupem je použití systému široce rozšířených kamer s CMOS senzorem. Lze ho použít například pro zobrazení prostoru za vozidlem při couvání. Postupně jsou vyvíjeny mnohem sofistikovanější systémy, které kromě toho, že poskytují obraz samotný, umožňují i další funkce, například měření vzdálenosti případné překážky. Kamery se také uplatňují v systémech ADAS pro udržování přímé dráhy vozidla. Variantou kamer pracujících ve viditelné oblasti spektra jsou zařízení pro infračervené záření nacházející uplatnění za špatných světelných podmínek (kap. 4.1.3).

Výhody kamer:

- velmi dokonalý obraz v reálném čase
- levná a dobře zavedená technologie, robustnost
- možnost dalšího počítačového zpracování tvaru a rychlosti překážky v jízdní dráze v aplikacích typu Adaptive cruise control (ACC)

Nevýhody kamer:

- závislost na světelných a povětrnostních podmínkách (noc, déšť, mlha ...)
- pokles rozlišovací schopnosti se vzdáleností

4.1.7 Vnější navigace

Výše popsané systémy poskytují informace o relativní poloze vozu vůči okolí i vůči ostatním vozidlům na silnici. Z více důvodů je účelné mít k dispozici také údaj o absolutní poloze automobilu vůči krajině. K tomuto účelu je využíván GPS systém, který ve spojení s digitální mapou poskytuje řadu let řidiči navigační informace. Bohužel dosud běžná přesnost GPS systému kolem 15 m neumožňuje přímé využití GPS pro kontrolu pohybu vozidla. Diferenciální GPS (GDPS) zlepšuje navigační přesnost na přibližně 2-4 m, pro bezpečné ovládání vozidla touto navigací je to ale stále málo [11, 12].

4.1.8 Komplexní systémy ADAS

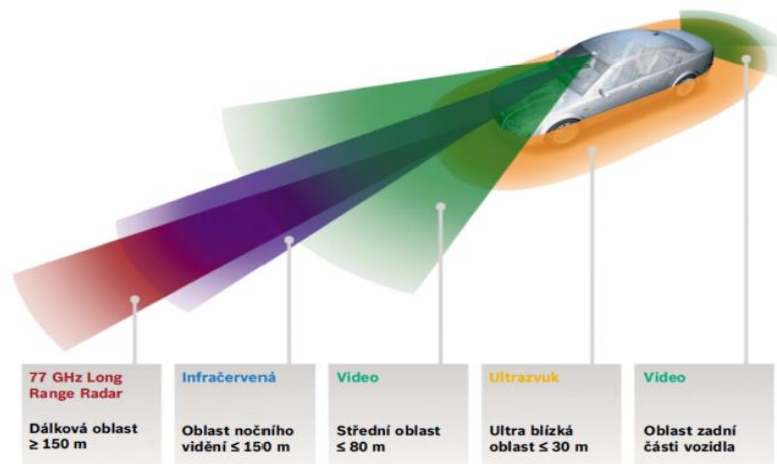
Bezpečné komplexní zabezpečení charakteru ADAS nemůže být dosaženo jedním typem senzoru. Aby byl vytvořen co nejkomplexnější a nejbezpečnější systém, je nutné použít více zařízení a jejich výstupy mezi nimi kombinovat. Cílem provázání jednotlivých senzorů je dosáhnout co nejdokonalějšího a nejpřesnějšího obrazu okolí pohybujícího se vozidla s minimalizací nežádoucích artefaktů, chyb a "šumu" pozadí. Konkrétní strategie fúze senzorů závisí na aktuálně požadované přesnosti vzhledem k cílové strategii na vozidle. Dále je samozřejmě odvislá od momentálně zvolených typů senzorů a dalších specifických aplikací. Celá oblast je intenzivně studována výzkumnými i vládními organizacemi i výrobci automobilů [13, 14].

Existuje mnoho možností kombinace jednotlivých typů senzorů a zařízení. Jednoduchým příkladem je kombinace radaru a kamery. Radar má dostačující přesnost k detekci na dálku, ale špatné boční rozlišení, zatímco u videokamery je tomu naopak. Během doby jsou vyvíjeny stále sofistikovanější systémy, které sdružují informace o pohybu vozidla a po jejich zpracování je předávají jednak řidiči a dále výkonným mechatronickým převodníkům. Ty vykonávají nezbytné úpravy dráhy a rychlosti vozidla.

Současné moderní automobily mohou být dále vybaveny celou řadou vnitřních senzorů, které umožňují monitorování základních parametrů stavu vozidla, jako jsou rychlost vozidla a kol, akcelerometr, gyroskopy a další. ADAS systémy využívají i další venkovní senzory detekující ostatní vozidla a dopravní infrastrukturu. Tyto vnější senzory zahrnují mimo jiné radary, lidary, silniční kamery a infračervené respektive UZ systémy.

V následujícím přehledu jsou uvedeny základní všeobecné informace, detailnější popis je uveden v citované literatuře [15].

Příkladem komplexního řešení monitorování prostoru v okolí vozu podle vzdálenosti může být na obrázku (Obr. 7). Je patrné, že ultrazvukový nebo elektromagnetický signál (videokamery) jsou převážně používány pro krátké vzdálenosti do 30 metrů (v praxi je však tato vzdálenost spíše do několika metrů). Videosenzory pracují v oblasti do 80 metrů, infračervený či radiový signál již zpracovává informace ve větší vzdálenosti a to do 150 metrů. Laserový signál lze využít ve vzdálenostech přibližně do 230 metrů [16].

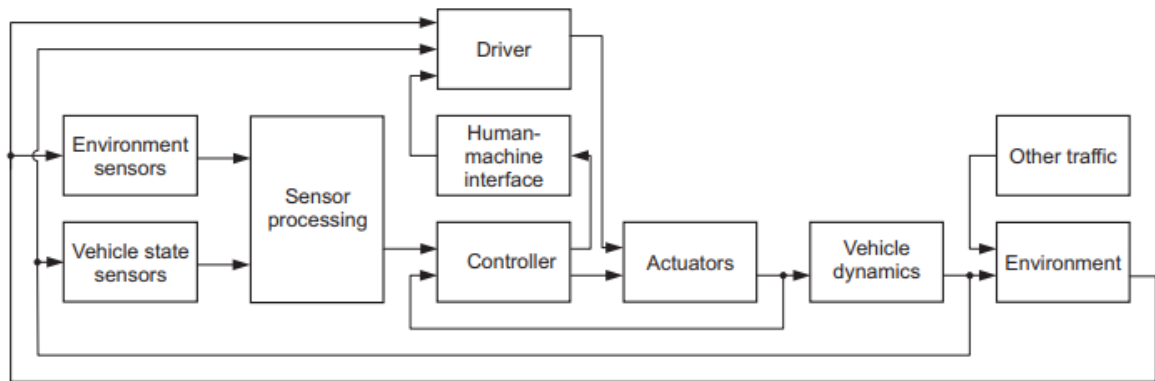


Obr. 7 Různé druhy získávání informací v závislosti na způsobu detekce [17]

Jednotlivé součásti ADAS tvoří:

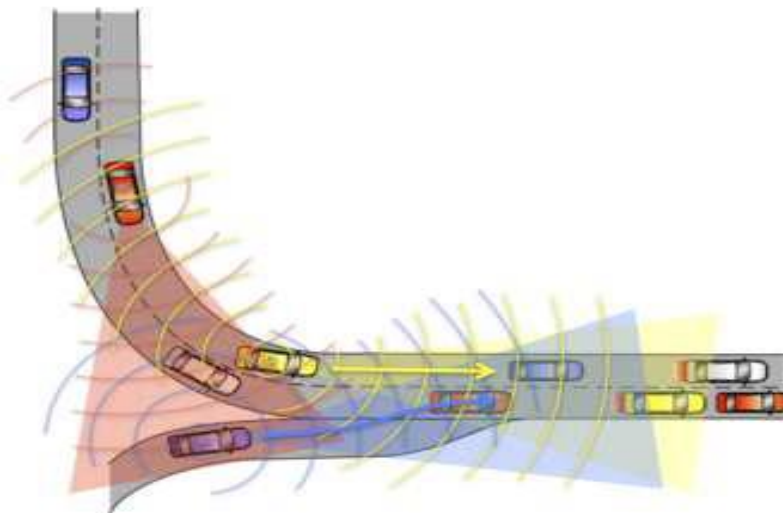
- Senzory k monitorování stavu vozidla a okolí
- Vyhodnocovací jednotka k fúzi informací senzorů, identifikaci a monitoraci pohybu a vypracování logického rozhodnutí řešení situace, vytvoření signálního povelu pro varovný display a mechatronické výstupy ke korekci pohybu vozidla
- Interface mezi člověkem a vozidlem, aby bylo posouzeno logické rozhodnutí systému a řidiče
- Vlastní mechanické vykonavatele jako jsou motor či brzdy k realizaci korekce pohybu
- Komunikace k výměně informací mezi jednotlivým funkčními bloky

Příklad systémového funkčního uspořádání je na (Obr. 8) [18].



Obr. 8 Systémové seskupení komponent ADAS a jejich zapojení v mechatronický systém [18]

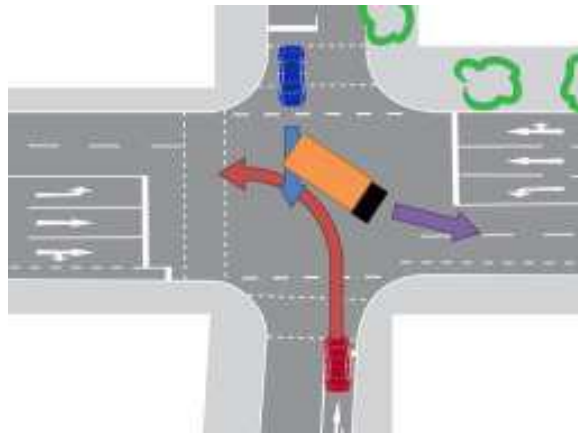
Asistenční systémy se nadále vyvíjejí a postupně umožňují jak automatické řízení automobilů samotných, tak vzájemnou automatickou interakci pohybujících se vozidel mezi sebou, jak je schematizováno na Obr. 9. Je zde znázorněn současný pohyb několika vozidel, mezi něž se zařazuje jiný automobil, který je detekován příjezdějícími vozy. Ty automaticky zpomalují, aby umožnily plynulý provoz. Žlutě označený vůz přitom indikuje vozidla před ním a brzdí [1].



Obr. 9 Příklad komunikace vozidel mezi sebou [1]

Dalším příkladem budoucích automatizovaných ADAS řešení je průběžné vyhodnocování pravděpodobného vývoje dopravní situace v okolí pohybujícího se vozidla,

jak je uvedeno na Obr. 10. Zde asistenční systém červeně značeného vozidla odbočujícího vlevo vyhodnocuje chování modře označeného vozu, který potenciálně kříží jeho dráhu.



Obr. 10 Další příklad komunikace vozidel v provozu [1]

Vytvářejí se také vyspělé technologie adresované specifickým skupinám uživatelů (např. mladí a starší lidé) nebo indikující bezprostřední záměry řidiče na základě předchozího charakteru jízdy či zdravotního stavu řidiče [1].

Možné budoucí trendy vývoje:

- asistenční funkce zaměřené na specifické skupiny uživatelů - pro mladé či starší řidiče
- asistenční funkce pro použití nouzového brzdění a funkce udržující nejvýhodnější dráhu vozu během havárie
- vývoj nových zařízení zlepšujících interakci mezi řidičem a automatizovanými systémy řízení
- rozpoznávání záměrů řidiče podle jeho předchozích rozhodnutí
- prostředky optimalizace kooperace mezi řidičem a vozem pohybujícím se v automatickém režimu
- zlepšování všeobecného přijetí automatizovaných řídicích systémů mezi uživateli konvenčních automobilů i mezi různými státy a kulturami

4.2 Technologie založená na principu ultrazvukového signálu

V následující kapitole je shrnuta historie UZ signálu, s celkovým vývojem. Dále princip funkce UZ signálu a matematické vzahy pro výpočet vzdálenosti od překážek.

4.2.1 Historie

Historie poznání UZ vln zřejmě sahá do roku 1790, kdy Lazzaro Spallanzani objevil, že netopýři se v letu více orientují sluchem než zrakem. V roce 1880 bratři Pierre a Jacques Curieové objevili piezoelektrický jev - vznik elektrického náboje při ohýbání krystalů. O rok později vyslovil Lippman předpoklad, že opačný postup, tedy přivedení elektrického náboje na krystal by mělo způsobit jeho prohnutí, což bratři Curieové potvrdili experimentálně. Prokázali tedy nepřímý piezoelektrický jev. Objevili také nové materiály pro použití v ultrazvukových převodnících a závislost mezi elektrickým napětím a tlakem na krystalickou strukturu materiálu. Byly tak položeny základy pro konstrukci přístrojů na bázi UZ (a pochopitelně mnohých dalších technologií). Potopení Titaniku podpořilo zájem i vývoj detektorů pro zjišťování podvodních překážek a Paul Langevin navrhl "hydrofon" pro detekci ledovců pod hladinou. V roce 1912 patentoval Richardson bezpečnostní zařízení na principu ultrazvuku, které bylo schopno odhalit překážky pod hladinou. UZ přístroje byly použity u ponorek za 1. i 2. světové války (zde pod názvem SONAR) [19, 20].

Ultrazvuk je dnes hojně využíván v různých oblastech lidské činnosti, jako například v lékařství (ultrasonografie, dopplerovská sonografie a další), čištění materiálů či ultrazvukové defektoskopii. Taktéž ve výrobě pomáhají ultrazvukové detektory snímat polohu předmětů, samotnou detekci pohybu nebo v případě montážních linek nastavení přesné pozice strojů. UZ lze využít ale také k určování vzdálenosti i v jiných oblastech lidské činnosti. Příkladem může být echolokace neboli sonar, který je používán v námořnictví k určování polohy a velikosti tuhých těles v okolí lodi. Na podobném základu se orientují v prostoru ale i různí živočichové (netopýři, či delfíni) [21].

Pro určování vzdálenosti překážek se začal využívat ultrazvuk v automobilovém průmyslu již před lety. Umožňuje řidiči předat informace o překážkách takřka kolem celého vozidla a tím zajistit hlavně bezpečnější, ale i jednodušší a rychlejší parkovací úkony a tím zlepšení plynulosti provozu na pozemních komunikacích [22].

4.2.2 Vlastnosti ultrazvukových vln

V následujících podkapitolách je vysvětlena podstata ultrazvukových vln, dále samotné chování UZ vln, doplněné o matematický popis chování UZ (rovnice).

4.2.2.1 Podstata ultrazvukových vln

UZ se šíří přímočaře ve všech skupenských stavech hmoty, přitom jeho částice mohou kmitat v závislosti na vlastnostech prostředí, vektoru a případné interferenci zvukových vln. Lze rozeznat *podélné vlnění* UZ, které je při usměrněném zdroji UZ dominující. Vidíme ho v tuhém, kapalném i plynném prostředí. Dalším typem šíření UZ je *vlnění příčné* - je kolmé na směr prostupu vlny a podmínkou jeho vzniku je schopnost prostředí přenášet smykové síly. Proto se šíří jen v tuhých látkách a jeho rychlost je vždy nižší než rychlost vlny podélné. U povrchu prostředí může vznikat *povrchové vlnění* (Rayleighovo), je omezeno hloubkou jedné vlnové délky. Jeho vektor je kolmý na směr šíření UZ a opisuje elipsu. V materiálech, které mají tloušťku srovnatelnou s vlnou délkou UZ mohou vznikat další typy vlnění (deskové - dělí se na dilatační a ohybové). Během šíření UZ mohou nastat situace, kdy mezi sebou zvukové vlny interagují - dochází k interferenci a výsledná amplituda UZ je dána vektorovým součinem [23].

Rychlost *šíření* ultrazvukových vln v tuhých látkách závisí na modulu pružnosti, měrné hmotnosti a Poissonově čísle. Pro konkrétní materiál a frekvenci vlnění je rychlost šíření ultrazvuku konstantní. V kapalinách se šíří pouze podélné vlnění, přičemž jeho rychlost odpovídá koeficientu adiabatické stlačitelnosti kapaliny, měrné hmotnosti kapaliny a do jisté míry teplotě. Z uvedeného vyplývá, že na šíření UZ má vliv materiál a jeho změny. Rychlost šíření UZ v pevných látkách je též ovlivněna teplotou. V plynném prostředí mohou nastat fluktuace díky změnám lokálních podmínek - lokálních teplotních gradientů nebo tlaku. Jejich důsledkem může být deformace vlnění a další interference až zániku zvukového signálu [19].

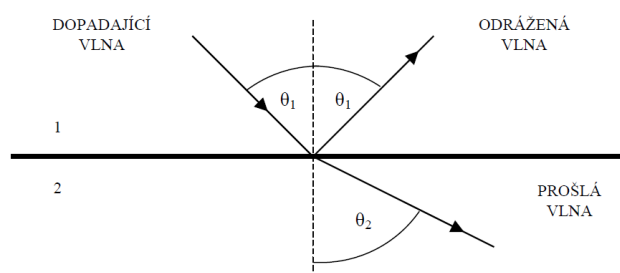
Šíření UZ podléhá základním zákonům o chování vlnění v prostředí o rozdílné hustotě. Pokud ultrazvuková vlna nedopadá na rozhraní kolmo, tak dochází k odrazu pod stejným úhlem a současně se soustava chová podle hustoty prostředí. V případě lomu dochází ke změně směru šíření procházejícího vlnění. Pro lom platí Snellův zákon:

$$\frac{\sin\beta}{v_2} = \frac{\sin\alpha}{v_2} \quad (4.1)$$

kde v je rychlost šíření ultrazvuku v daném prostředí

Pokud nastává lom od kolmice (šíření z akusticky hustšího do řidšího prostředí), tak nastává po překročení mezního úhlu dopadu už totální odraz a žádné vlnění za rozhraní neprochází (Obr. 11). Pokud bude měřený objekt umístěn nevhodně, například pod větším úhlem, může se stát, že se veškeré vlnění odrazí jiným směrem než k měřicí sondě. To má za následek nemožnost detekovat měřený objekt. Z uvedeného vyplývá, že měřicí soustava by měla být uspořádána tak, aby se co nejvíce UZ vln mohlo vrátit k sondě. Tím stoupá jak citlivost, tak přesnost měření. Na opačné straně se snažíme minimalizovat počet nežádoucích zpětných odrazů pod jinými úhly od měřeného objektu i interference způsobené pozadím. Při šíření UZ vlny se totiž spolu se zvětšující vzdáleností od sondy zmenšuje akustický tlak. Redukce způsobena jednak rozptýlením vlnění do většího prostoru, jednak energetickými ztrátami (rozptylem a absorpcí) [24].

Z uvedených důvodů je pro přesné měření vzdálenosti - na což je ve své podstatě redukován problém měření překážek u automobilových senzorů - velmi důležité minimalizovat interference v měřicím poli. Hlavní faktory jsou *rozptyl*, *absorpce* UZ vln a případně další faktory spojené *nehomogenitami* v prostředí mezi senzorem a překážkou (sníh, prach apod.).



Obr. 11 Zákon odrazu a lomu [24]

4.2.2.2 Chování ultrazvukových vln při odrazu

Na celkový ultrazvukový měřicí systém má vliv frekvence UZ a kvalita povrchu překážky. Při dopadu na povrch se část UZ energie odrazí, přičemž platí, že odražená část je menší. Podíl mezi odraženým a neodraženým zvukem je vyjádřen součinitelem odrazu, který lze vypočítat jako součinitel absorpce zvuku při odrazu α z následující rovnice [24]:

$$\alpha = \frac{I_0 - I}{I_0} \quad [-; Wm^{-2}; Wm^{-2}; Wm^{-2}] \quad (4.2)$$

Akusticky dokonale odrazivá plocha má koeficient roven $\alpha=0$, dokonale pohltivá $\alpha=1$. Reálné materiály mají koeficient v intervalu $0 < \alpha < 1$. Při nižší frekvenci je α také nižší, což je důvodem pro to, aby pro měřicí respektive automobilové senzory byly voleny frekvence blízké 40 kHz. Nízký koeficient mají tedy pevné materiály s lesklým povrchem (plech, sklo), zatímco malou odrazivost mají porézní materiály jako molitan, ale také látka (ošacení chodců) [25].

Ohyb UZ vln je další kvalitou, která ovlivňuje odraz. Nastává ve chvíli, kdy má překážka velikost srovnatelnou nebo menší než vlnová délka zvuku. V té chvíli se UZ vlna neodrazí, ale ohýbá se a prochází za překážku [25]. Délku vlny lze vypočítat podle vzorce:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m; ms^{-1}; Hz] \quad (4.3)$$

a v případě frekvence UZ 40 kHz vychází za pokojové teploty délka vlny 0,87 cm. Pokud bychom tedy použili ultrazvuk o kmitočtu 40 kHz při pokojové teplotě ($c = 347 \text{ ms}^{-1}$) vyjde délka vlny 0,87 cm [26].

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{347}{40 * 10^3} = 0,87 \text{ [cm]} \quad (4.4)$$

Tento fyzikální princip má dva důsledky. Jednak omezuje možnost měřit předměty, jejichž velikost se pohybuje v tomto řádu, ale naopak potlačuje odrazový signál pozadí všech překážek srovnatelné velikosti (například odraz prachových částic této velikosti bude potlačen) [27].

Teplota a tlak také ovlivňují šíření UZ. První hodnotu lze vypočítat ze vztahu:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa * p_0}{\rho_0}} * (1 + \gamma * t) \quad [ms^{-1}; -; Pa; kgm^{-3}; K^{-1}; ^\circ C] \quad (4.5)$$

kde p_0 je tlak vzduchu při 0 °C, ρ_0 je hustota vzduchu opět při teplotě 0 °C, t je teplota ve stupních Celsia, $\gamma = 1/273$ [K⁻¹] je činitel objemové roztažnosti plynu, κ je Poissonova konstanta, pro dvouatomové plyny (vzduch) je rovna 1,4. Hustota ρ_0 je při tlaku $p_0 = 1013$ hPa rovna 1,29 kgm⁻³ [24].

Šíření zvuku v plynu je ovlivňováno dalšími veličinami, jako jsou tlak a vlhkost vzduchu. Jejich působení je podstatně menší než je tomu u teploty a celkově mají všechny posledně uvedené podmínky minimální vliv na měření prováděná v rámci práce a proto nebyla zohledňována [24].

Slábnutí zvuku je zákonitým důsledkem jeho šíření. Ultrazvukové vlny generované bodovým vysílačem se kolem něj šíří v kulových vlnoplochách dle Huygensova principu. Amplituda klesá lineárně se vzdáleností od zdroje. Kromě toho se objevují další ztráty vyplývající z prostředí. Ztráty jsou významně ovlivněny frekvencí UZ, se stoupající frekvencí ztráty významně narůstají. Proto jsou k měření používána zařízení o nižší frekvenci (40 kHz). Celkový útlum je přímo úměrný vzdálenosti od zdroje a je vyjadřován v dB. Při zvýšení frekvence ze 40 kHz na 200 kHz se zmenší dosah z přibližně 10 m na 2 m. V práci je použito měření v konstantní vzdálenosti významně pod těmito hodnotami, a proto nebylo nutno uvedené vlastnosti zohledňovat [24].

4.2.3 Měření vzdálenosti ultrazvukem

V následujících podkapitolách je vysvětleno jakým způsobem jsou generovány UZ vlny.

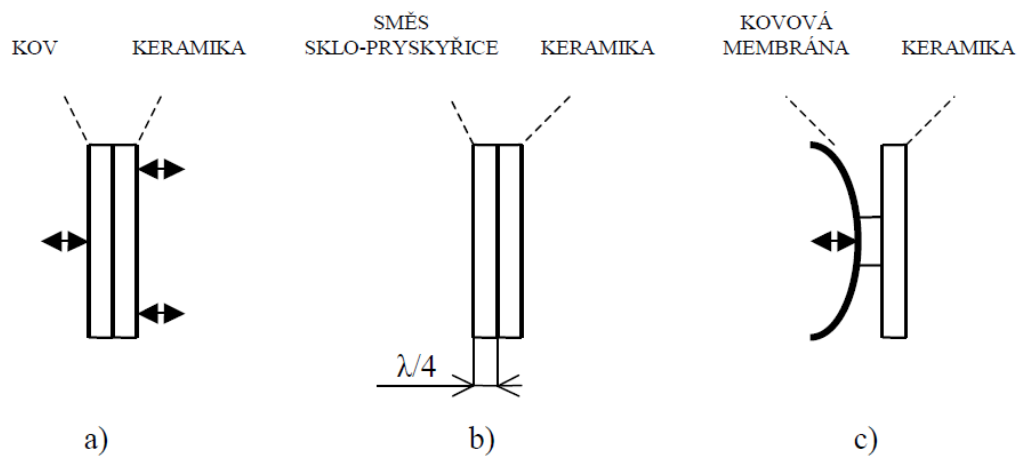
4.2.3.1 Ultrazvukové generátory

UZ vlny se šíří v homogenním prostředí od bodového zdroje přímočaře. Zdroje UZ jsou označovány jako generátory, emitory nebo vysílače. Přijímače UZ pracují na stejném principu jako vysílače, pouze opačným směrem. Pojem měnič používaný v české terminologii vyjadřuje tuto obousměrnou funkci velmi dobře. Jsou známy různé fyzikální generátory UZ:

- sondy využívající piezoelektrický měnič
- sondy s magnetostrikčním měničem
- sondy s elektrodynamickým měničem

Vzhledem k zadání práce budou dále krátce komentovány jen zařízení na piezoelektrickém principu.

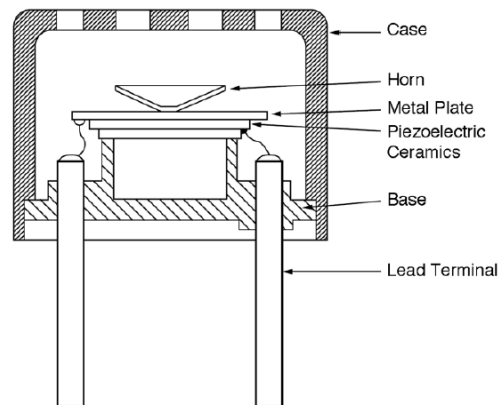
Základním prvkem měniče je piezoelektrická jednotka. Pro běžné použití se kvůli nižší ceně používají namísto dražších krystalů (např. olovnaté titaničitozirkoničity) sinitrované keramické směsi s piezoelektrickými vlastnosti. Pro konkrétní aplikaci je zapotřebí upravit frekvenčně/amplitudovou resp. impedanční charakteristiku měniče. U vzduchu je zapotřebí buzení piezoelektrického materiálu s velkou amplitudou a k tomuto účelu slouží UZ transformátory, některá uspořádání měničů jsou schematizována na Obr. 12 [28].



Obr. 12 Základní uspořádání je na obrázku varianta a) jednoduché spojení keramického materiálu a kovové destičky, varianta b) má upravený materiál s ohledem na požadovanou vlnovou délku a varianta c) obsahuje parabolický prvek, který zvyšuje účinnost, tato varianta je často používána [27].

4.2.3.2 Princip ultrazvukového senzoru

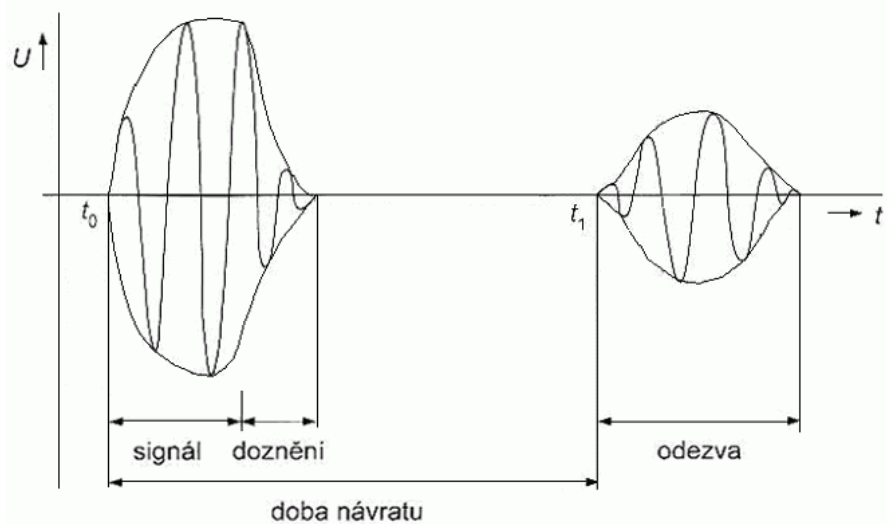
UZ senzor je zařízení určené pro vlastní měření, slouží dle konstrukce k vysílání, nebo přijímání UZ vln, případně obojímu. Obecné schéma je na Obr. 13 [29].



Obr. 13 Schéma UZ senzoru [29]

Zařízení je složeno z přívodních vodičů modulovaného elektrického proudu, piezoelektrické jednotky, kovové plošky, která zesiluje rezonanční vlastnosti parabolického prvku usměrňujícím UZ vlny. Jednotka je uložena v plášti, který mimo mechanické ochrany poskytuje též další směrování zvuku.

Zařízení funguje na principu vysílače a přijímače, vysílané UZ vlny se po odrazu od překážky vrací a v přijímači je vyhodnocována latence mezi vysláním a příjmem. Tento způsob detekce je analogický s radarem a je nazýván jako ToF systém (kap. 4.1.5). V konkrétních měřicích systémech jsou vysílány UZ signály jako salvy, kde vždy po vyslání jednotlivého UZ impulzu se vysílač odmlčí a vyčkává návratu echa. Tato latence je nastavena podle předpokládané doby odezvy, tedy předpokládané vzdálenosti překážky a jinými slovy též plánové oblasti skenování. Příklad charakteristiky jednoho cyklu je uveden na následujícím obrázku (viz. Obr. 14) [21, 29].



Obr. 14 Princip ultrazvuku [21]

Měření vzdálenosti l od překážky je realizováno jednoduchým výpočtem z doby návratu echa signálu podle rovnice:

$$l = \frac{t * c}{2} \quad [m; s; ms^{-1}] \quad (4.6)$$

kde t je doba odezvy, l vzdálenost od zdroje UZ, c rychlost šíření UZ v daném prostředí.

Pokud je k měření použita soustava odděleného vysílače a přijímače je pro přesnější měření zapotřebí provést korekci na vzdálenost obou prvků. Je možno použít rovnice:

$$v_s = \sqrt{v_m^2 - \left(\frac{v_{ms}}{2}\right)^2} \quad (4.7)$$

kde v_s je skutečná vzdálenost od zdroje, v_m je vzdálenost naměřená a v_{ms} je vzdálenost vysílače od přijímače [30]

Vzhledem k charakteru vlastního experimentu nebyly více zohledňovány parametry prostředí, ani výše uvedená korekce. Také pro zpracování naměřených dat byl použit systém implementovaný do vozidel. Z teoretického hlediska (a při zachování výše uvedených podmínek) tedy *přesnost měření* vzdálenosti překážky odpovídá přesnosti měření času.

Jak bylo výše uvedeno, každý senzor má vlivem fyzikálních vlastností daný minimální detekční limit velikosti překážky. Pro frekvenci 40 kHz byl vypočten přibližně

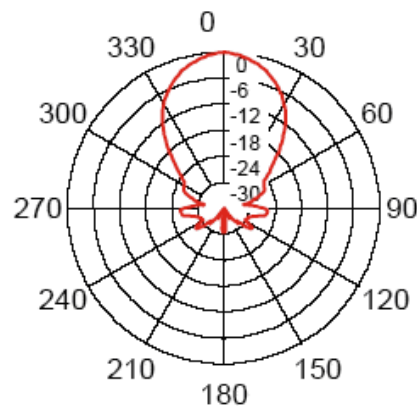
na 0,9 cm. Horní hranice citlivosti detekčního systému je dána mírou zeslabení signálu v daném médiu - vzduch. Dolní hranice závisí na citlivosti detektoru (přijímače).

Minimální vzdálenost pro měření za daných podmínek je dále dána dobou, po kterou vysílač UZ signálu dokmitává po vyslání jednoho pulzu, je nazývána mrtvou zónou. Je patrná jako interval doznění (Obr. 14). V této době není sonda (pokud je současně přijímačem) schopna přijímat UZ signál [27].

Protože výrobce vozidel neudává ani žádné charakteristiky použitých UZ sond ani pracovní frekvenci vyplyne detekční limit z provedeného experimentu.

4.2.3.3 Vyzařovací charakteristika senzoru

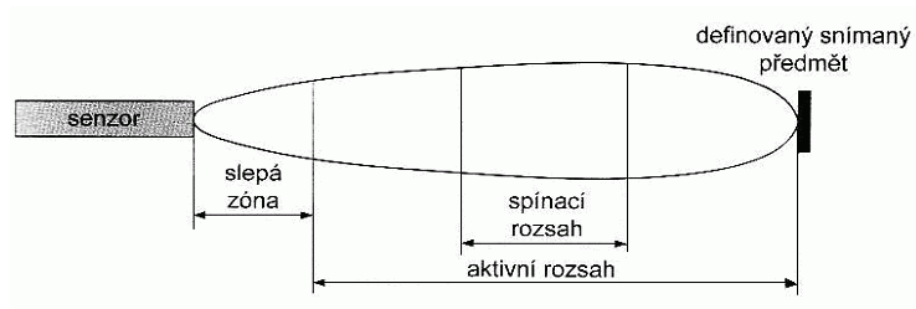
Další základní informaci v případě konkrétního senzoru je veličina označovaná jako vyzařovací charakteristika (Obr. 15),



Obr. 15 Příklad vyzařovací charakteristiky ultrazvukového senzoru [31]

která je definována dosahem (vzdáleností) a vyzařovacím úhlem. Vysílač musí mít úzkou směrovou vyzařovací charakteristiku, aby byl schopen měřit odraz od objektu pouze v určitém směru. Tuto vlastnost ovlivňuje více faktorů, jak bylo výše uvedeno. UZ vlny se šíří v prostoru radiálně, avšak v zájmu efektivní funkce je, aby paprsek byl směrován v prostoru. Podle konstrukce lze tedy získat směrovou charakteristiku podobnou jako na Obr. 15. Výkon je udáván v dB. Pro odhad základního dosahu, rozsahu či nevýhod

ultrazvukových senzorů, lze použít zjednodušený model vyzářovací charakteristiky (Obr. 16) [21].

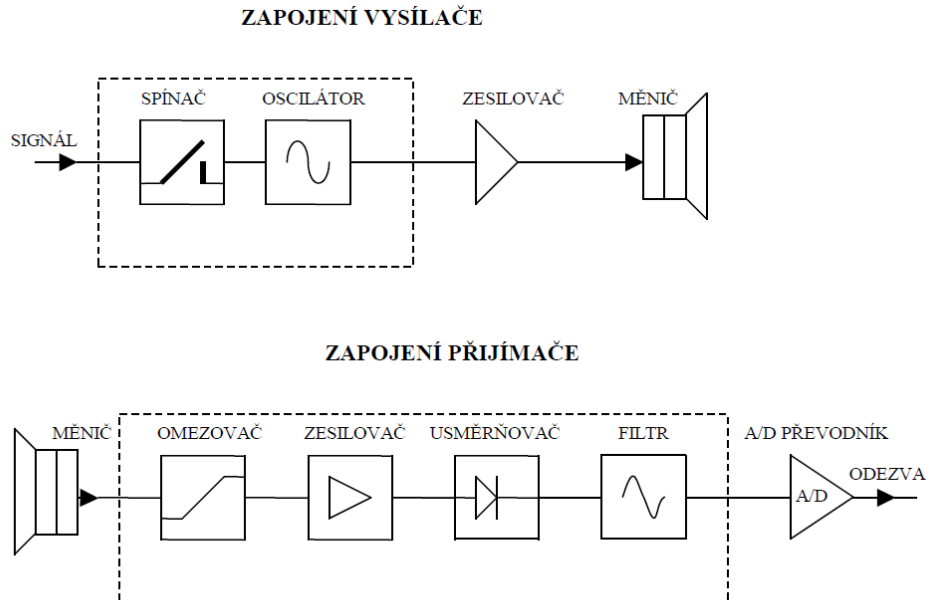


Obr. 16 Zjednodušená vyzářovací charakteristika UZ senzoru [21]

- Aktivní rozsah – maximální dosah senzoru, uvnitř kterého je možné detekovat předmět, dle normy udávané výrobcem [32].
- Slepá zóna – oblast mezi senzorem a oblastí snímacího rozsahu, kde v důsledku dokmitu měniče není možné přijímat informace do senzoru [21].
- Snímací rozsah – určitá část (spodní mez) aktivního rozsahu, ve které dojde k aktivaci výstupu, jestliže dojde k zjištění překážky [21].
- Spínací rozsah – část aktivního rozsahu, ve které je zaručena detekce běžně odrazivého předmětu s přiměřenou rezervou funkce. Tato oblast se používá pro detekci předmětů [32].

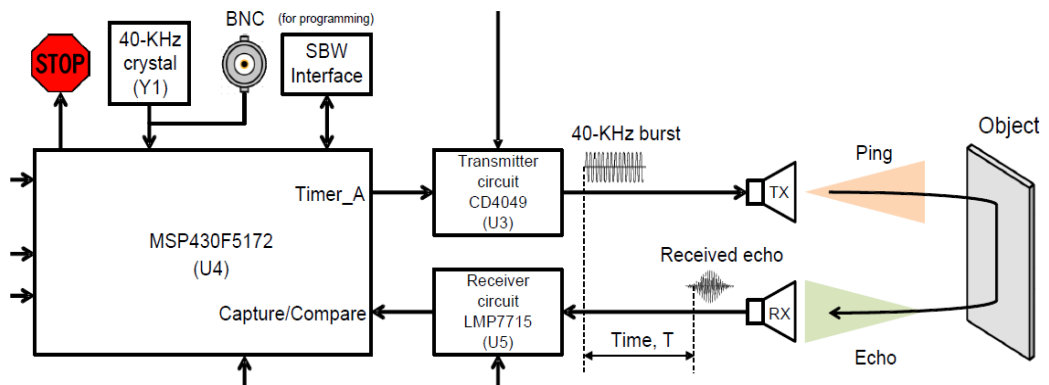
4.2.4 Zapojení ultrazvukového senzoru do měřicího okruhu

UZ senzor je zapojen do měřicího okruhu tak, jak je uvedeno na příkladu blokového schématu na Obr. 17, [27]:



Obr. 17 Zapojení vysílače a přijímače [27]

Vstup a výstup do těchto okruhů je řízen připojením na centrální procesorovou jednotku (na obrázku značena MSP430F5172) (Obr. 18) [29].



Obr. 18 Schéma zapojení UZ senzoru [29]

Tato část měřicí aparatury byla zajištěna standardní výbavou automobilů, na kterých bylo prováděno experimentální měření.

4.3 Příklady řešení parkovacích systémů

Hlavní náplní experimentální části práce je měření funkce senzorů primárně určených k parkování. Z tohoto důvodu jsou v dalším textu uvedeny některé příklady praktického využití takových zařízení. Pro názornost jsou vybrány některé aplikace, které se liší principem. Řada aplikací přitom není určena jen pro parkování, v současné době jsou tyto technologie používány i pro jiný účel např. sledování prostoru před vozidlem na delší vzdálenosti. Avšak je možné je využít i pro potřebu parkování. To potenciálně může snížit nákladnost zařízení - díky instalaci pouze jediné technologie do automobilu.

V nejjednodušším pojetí je cílem parkovacích systémů co nejvíce usnadnit řidičům parkování vozidel a celý proces parkování vytvořit co možná nejbezpečnější pro ostatní vozidla, ale hlavně pro chodce, kteří se mohou v okolí pohybovat. Současným trendem jsou stále zvětšující se vozidla a tím větší nutnost použití externích pomocných prvků pro parkování. Jelikož vozidel stále přibývá a v rodinách bývají nejméně dva automobily, dochází ke stále většímu problému nalezení parkovacího místa a s tím spojené parkování v co možné nejmenším prostoru. I z tohoto důvodu jsou v současné době základní parkovací systémy implementovány do mnoha vozidel již v základní výbavě.

V automobilech jsou používány různé koncepce parkovacích systémů.

- Parkovací senzory umístěné v zadním nárazníku
- Parkovací senzory v zadním rámečku na RZ
- Parkovací senzory umístěné v předním i zadním nárazníku
- Zadní parkovací kamera
- 360° kamery
- Parkovací asistenti

Parkovací senzory umístěné v zadním nárazníku

Zadní parkovací senzory (Obr. 19) jsou dnes montovány téměř do všech vozidel v základní výbavě. Tyto systémy ulehčují parkování, snižují riziko vzniku škod, jak na vozidlech kde jsou instalovány, tak na okolí. Senzory indikují řidiči překážku buď pouze

akustickým zvukovým výstupem, nebo v kombinaci s obrazovkou, kde řidič může vizuálně vyhodnocovat polohu vozidla vůči překážce [33].



Obr. 19 Ukázka zadních parkovacích senzorů [34]

Parkovací senzory v zadním rámečku na RZ

Významným zjednodušením zejména při dodatečné montáži parkovacích senzorů je instalace rámečku na registrační značku (Obr. 20), který je již vybaven několika ultrazvukovými senzory. Zvuková signalizace je řidiči předávána pomocí reproduktoru, který je umístěn uvnitř kabiny a intenzita zvukové signalizace se mění s přibližováním vozidla k překážce [35].

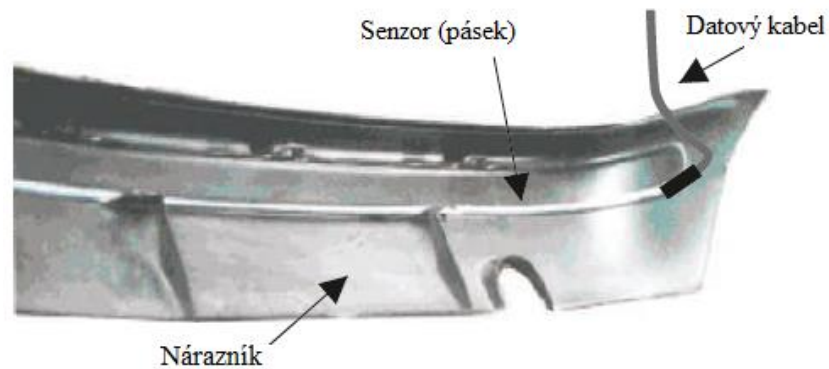


Obr. 20 Rámeček na registrační značku s třemi ultrazvukovými senzory [35]

Parkovací senzory umístěné v předním i zadním nárazníku

Tato varianta je pouhým rozšířením varianty parkovacích senzorů umístěných v zadním nárazníku, kdy je systém doplněn o senzory umístěné v předním nárazníku. Přední senzory pro vozidla nejsou příliš potřebné, jelikož přední část vozidla řidič může lehce sledovat. V některých případech je však nutné parkovat velmi těsně a tudíž využití parkovacích

senzorů je zde výhodné. Zařízení může být založeno na různých principech, nejčastější jsou zařízení UZ a elektromagnetická viz Obr. 21.



Obr. 21 Ukázka elektromagnetického senzoru [2]

Zadní parkovací kamera

Některá vozidla jsou vybavena pouze zadní parkovací kamerou (Obr. 22), která umožňuje řidiči reálný přehled o situaci za vozidlem v průběhu parkování. Dokonalejší systém představuje případ, kdy řidič na obrazovce vidí nejenom reálný obraz, ale i kam vozidlo bude směřovat při otáčení volantem a kolik místa za vozidlem ještě má. Použití zadní couvací kamery je od května 2018 v USA povinné pro vozidla pod 5 tun. Hlavním důvodem je bezpečnost chodců. Statistiky v USA ukazují, že ročně zemře během couvání výše uvedených vozidel 210 chodců a 15000 chodců je zraněno. Realizace předpisu by mělo zachránit život až 69 lidem [36].



Obr. 22 Zadní parkovací kamera [37]

Širokoúhlé - 360° kamery

Vozidla vybavená systémem umožňující reálný pohled z ptačí perspektivy na vozidlo (Obr. 23) bývá nejčastěji implementováno v kombinaci s dalšími prvky parkovacích zařízení a tento pohled slouží k lepšímu zhodnocení parkovacího manévru a zvýšení bezpečnosti. Systém bývá vybaven několika kamerami, které umožňují vytvořit celkový obraz. Některé systémy disponují i funkcí krátkého video záznamu v případě, že G-senzor zaznamená pohyb (otřes) zaparkovaného vozidla [38].



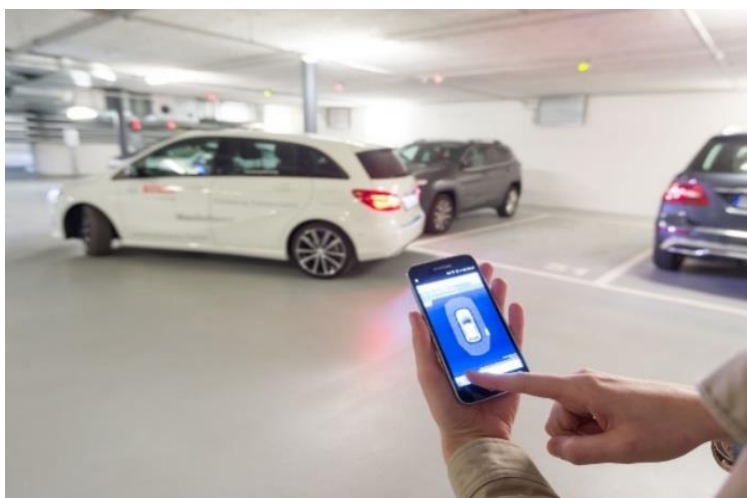
Obr. 23 Pohled na vozidlo shora [39]

Parkovací asistenti (Park assist)

Parkovací asistent se v současné době jeví jako nejdokonalejší způsob parkování vozidla. Vyžaduje minimální účast od řidiče pro zaparkování i do úzkých prostorů. Velikost volného prostoru je délka vozidla a k té se připočítává, dle výrobce, kolem 80 centimetrů, aby byl asistent schopný dobře zaparkovat. V případě, že řidič hodlá na určitém místě zaparkovat, stačí aktivovat parkovacího asistenta a v tu chvíli zařízení hledá vhodné parkovací místo. V okamžiku, kdy systém najde vhodné místo pro zaparkování, vyzve řidiče k zastavení vozidla a dále pomocí hlasových nebo vizuálních podnětů navádí, co má řidič dělat. U většiny asistentů řidič ovládá akcelerační a brzdový pedál nebo řadí rychlosti dopředu či dozadu. V průběhu celé této operace se vyžaduje, aby řidič sledoval okolí, aby nedošlo k potenciálně nebezpečné situaci. Řidič vždy nese odpovědnost za případnou nehodu způsobenou nepozorností. Systémy jsou v dnešní době velmi pokročilé a zvládají, jak podélné, tak příčné parkování, velmi dobře. V případě potřeby je možné parkovacího asistenta využít i pro vyjetí vozidla z parkovacího stání [40].

Parkovací asistent pro garážové stání (Garage park assist)

Parkovacího asistenta je možné používat i v případě, že se řidič nachází mimo vozidlo a je pohodlnější parkovat tímto způsobem, například do garáže či úzkého parkovacího místa viz. Obr. 24. Řidiči stačí pouze aplikace do mobilního telefonu. Vozidlo je zastaveno před garáží či parkovacím stáním a řidič drží příslušné tlačítko v aplikaci. Parkovací asistent se poté sám stará o zatáčení vozidla či o zrychlování nebo brzdění. Stejným způsobem je možné s automobilem vyjet z garáže ven. Řidič sleduje okolí, tak aby nedošlo k potenciálně nebezpečné situaci [41].



Obr. 24 Ukázka použití Garage park assist [42]

Parkovací asistent pro couvání s přípojným vozidlem (Trailer assist)

Pro řidiče, kteří nejsou zbláhli v couvání s přípojným vozidlem (Obr. 25), v současnosti existuje asistent. Pokud řidič potřebuje zacouvat do určitého prostoru, stačí aktivovat asistenta a poté pouze pohybuje tlačítkem, na jakou stranu se má vozík pohybovat. Míru zatočení vozíku, je zobrazeno na obrazovce. Dále si řidič pouze přidává rychlost či brzdí. Při celé parkovací operaci je řidič povinen sledovat okolí kolem sebe [43].



Obr. 25 Ukázka systému Trailer assist [43]

5 Praktická část práce

Podstatou této části práce je měření vzdálenosti pomocí ultrazvukových senzorů na různých vozidlech v závislosti na materiálovém složení překážky. Byla vybrána vozidla různých roků výroby. Materiály byly zvoleny dle předpokladu výskytu v běžném provozu nebo při parkování vozidla na soukromém pozemku. Měření probíhalo na 3 vozidlech z koncernu Volkswagen – Škoda Mladá Boleslav a se senzory od firmy Valeo s vlastní montáží na vozidle.

5.1 Testovaná vozidla a zařízení

Všechna vozidla byla vybavena 4 ultrazvukovými senzory vpředu i vzadu, kromě vozidla Škoda Rapid, kde v zadní části byly senzory 3. Informace o překážce se zobrazují buď na obrazovce, nebo pomocí zvukových signálů. Samotné měření vzdálenosti bylo zaznamenáváno pomocí diagnostického systému VAG-COM.

5.1.1 Testovaná vozidla

Pro měření byla použita následující vozidla:

- Škoda Superb combi (model 2018)



Obr. 26 Testované vozidlo Škoda Superb combi 2018

- Škoda Rapid (model 2016)



Obr. 27 Testované vozidlo Škoda Rapid 2016

- Škoda Octavia combi (model 2004)



Obr. 28 Testované vozidlo Škoda Octavia combi 2004

Přídavné senzory Valeo beep and park (Obr. 29) byly zvoleny jako relativně nezávislá zařízení analogické funkce od jiného výrobce. Senzory byly nainstalovány do vozidla Škoda Octavia combi (modelový rok 2004), kde nejprve došlo k demontáži stávajících standardních senzorů a poté byl namontován blok senzorů zcela v souladu s pokyny výrobce (na místo registrační značky). Tyto měřicí jednotky se skládají ze 4 předních a 4 zadních senzorů. Indikace překážky je provedena pomocí reproduktoru, obrazovky nebo kombinací obojího.



Obr. 29 Testované přídatné senzory (uživatelská obrazovka)

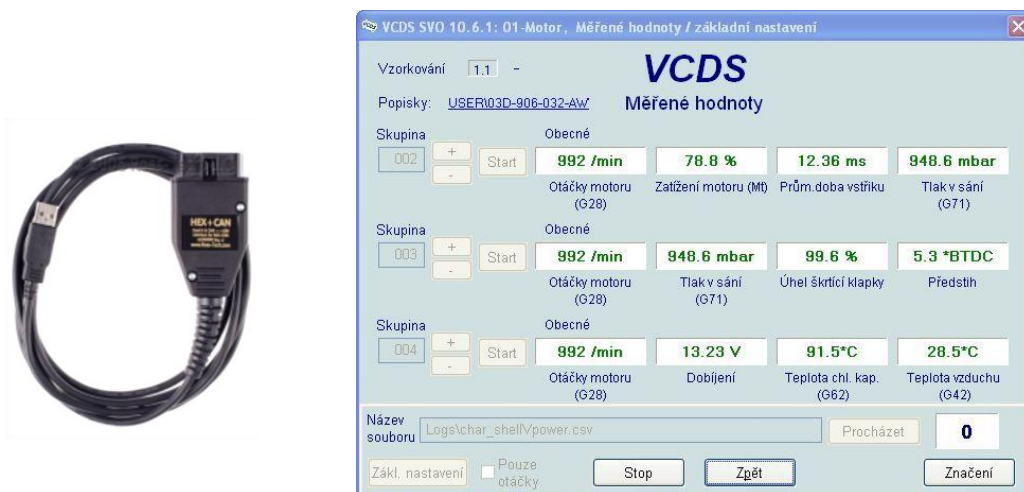
5.2 Měřicí zařízení

Pro samotné měření a zaznamenávání dat byl nutný diagnostický systém.

5.2.1 Diagnostický systém VAG-COM

Pro komunikaci s řídicí jednotkou motoru je využíváno diagnostického systému VAG-COM, který umožňuje průběžné ukládání měřených hodnot. Systém se skládá z datového kabelu VAG-COM HEXCAN – interface, zakončený na jedné straně standardizovanou

diagnostickou zástrčkou OBD-2 a na straně druhé rozhraním USB. Dále je součástí systému programové vybavení v podobě programu VCDS (Vag-comdiagnostic system). Viz. Obr. 30















Obr. 30 Diagnostický systém VAG-COM (rozhraní, program VCDS)

5.3 Testované materiály

Překážky (Tab. 1) ve skenovaném prostoru parkovacích senzorů byly simulovány plošnou bariérou 50 x 50 cm, která byla umístěna ve stojánku a přemísťována podle potřeby kolmo před jednotlivé senzory. Volba materiálu byla přizpůsobena fyzikálním vlastnostem UZ vln tak, aby byly zastoupeny překážky z dobře, průměrně a minimálně odrazivých materiálů, a současně byly v běžném provozu reálné.

- Karton - běžný obalový papírový karton hladký
- Polystyren - extrudovaný polystyren Isover EPS 100; (Divize ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., Praha) (<https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-100>)
- Skelná vata - Čedičová vata Isover N (Divize ISOVER, Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., Praha) (<https://www.isover.cz/produkty/isover-n>)
- Plech černý (bez koroze), tloušťka 2 mm, výrobce neznámý
- Sklo drátěné tl. 6 mm, velikost ok drátěné mřížky 10x10 mm
- Okenní sklo čiré tl. 3 mm, hladké
- Drátěná síť – velikost oka 30 x 30 mm; síla drátu 3 mm

- Drátěná síť – velikost oka 2 x 2 mm, síla drátu 2 mm
- OSB deska tl. 18 mm; Egger Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co. KG Am Haffeld 1 23970, Wismar Deutschland
- MDF Dřevotřísková deska lamino bílá hladká (též deska lamino); Kronospan CR, spol. s.r.o, IČ 62417690 Sídlo: Jihlava, Na hranici 6
- Perlinka fasádní, velikost ok 4 x 4 mm, Vertex R 117, tloušťka vlákna 2 mm; Saint-Gobain Construction Products CZ, Praha
- Molitan rovný, hladký tl. 30 mm, výrobce neudán

Vzorky měřených materiálů		
Karton		
Polystyren		
Plech		
Molitan		
Čedičová vata		
Sklo - drátěné		
Okenní sklo		
Drátěná síť – 2x2		
Drátěná síť – 30x30		
Osب deska		
Deska lamino		
Perlinka fasádní		

Tab. 1 Vzorky měřených materiálů

5.4 Měření - způsob a podmínky

Celé měření bylo realizováno ve zkušební hale katedry Vozidel a silniční pozemní dopravy Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Hala byla zvolena pro dostatečný prostor pro samotné měření a pro standardní podmínky při testování. Byla běžná pokojová *vlhkost vzduchu*, *teplota* místnosti v rozmezí 20-24°C. Byly vyloučeny *jiné zdroje zvuku* (UZ), motor vozidla byl vypnutý. Prostředí bylo bezprašné.

Samotné měření probíhalo postupně na výše uvedených vozidlech a přídavných senzorech. Měření proběhlo 3 krát pro každý materiál, vzdálenost i vozidlo. Vždy se měřily pouze 2 prostřední senzory nejbliže k ose vozidla, a to z důvodu zajištění nejpřesnějšího umístění testovaných materiálů ke středu (nasměrování) senzorů. Překážky byly umístěny ve dvou vzdálenostech - 50 a 100 cm od nárazníku (senzorů) a byly vždy umístěny od úrovně podlahy - tedy v pracovní oblasti senzorů, také z důvodu reprodukovatelnosti měření. Pro každé měření byla zaznamenána vzdálenost přes diagnostický systém VAG-COM. V případě přídavných senzorů bylo nejprve nutné demontovat stávající senzory na vozidle Škoda Octavia combi a poté namontovat přídavné senzory Valeo beep and park. U těchto senzorů byla zaznamenávána vzdálenost zobrazená na obrazovce, která je dodávána k těmto senzorům.

6 *Výsledky a diskuze*

V následující kapitole jsou shrnuty výsledky naměřených hodnot. Dále je zde uvedeno statistické zhodnocení a diskuze.

6.1 *Výsledky*

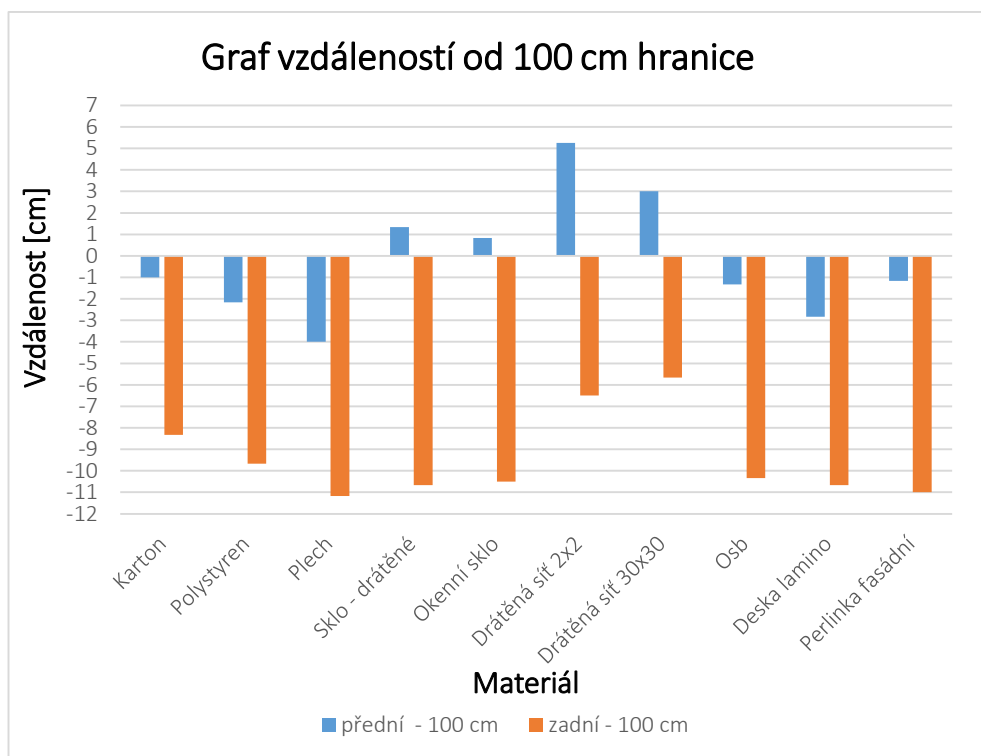
Měření funkce senzorů byla provedena na všech 3 vozidlech a přídavných senzorech, přičemž byla měřena odrazová doba všech testovaných materiálů. Zde jsou shrnuty výsledky naměřených hodnot. Konkrétní naměřené hodnoty vzdáleností senzorů od překážky jsou kompletně uvedeny v tabulkách v příloze (kap. 9). Data v tabulkách jsou zpracována tak, že pro každou naměřenou vzdálenost (50 a 100 cm) a pro každý jednotlivý senzor byla provedena tři měření a z nich byl vypočítán aritmetický průměr. Tato hodnota je uvedena ve výsledných tabulkách směrodatných odchylek (kap. 9).

6.1.1 *Výsledky měření vozu Škoda Superb*

Výsledky konkrétních měření vzdáleností a jejich směrodatné odchylky jsou v tabulkách a grafech (viz příloha a další text). Z hodnot naměřených senzory v jednotlivých vzdálenostech - tedy 50 a 100 cm je zřejmé, že **molitan ani skelná vata nebyly detekovány vůbec** ani jedním ze systémů. Dva další materiály byly hůře detekovatelné - jednalo se o drátěnou síť s hrubým a jemným vzorem. V některých měřeních nedošlo k detekci přístrojem a bylo nutné měření opakovat. Při opakovaných měřeních bylo sice měření úspěšné, avšak data u těchto materiálů vykazují větší směrodatné odchylky měření. Výsledná směrodatná odchylka uvedená v tabulce (Příloha. I) je však vypočítána z naměřených hodnot, měření s nulovou odpovědí nejsou do výpočtu zahrnuta. Pokud se týká vypočtených hodnot směrodatných odchylek lze říci, že hodnoty se pohybovaly v intervalu 0 - 4,97. Při jejich porovnání je zřejmé, že jednotlivé hodnoty odchylek se liší jak u jednotlivých materiálů, tak u jednotlivých senzorů i vzdáleností, aniž by byla patrná jakákoliv širší souvislost.

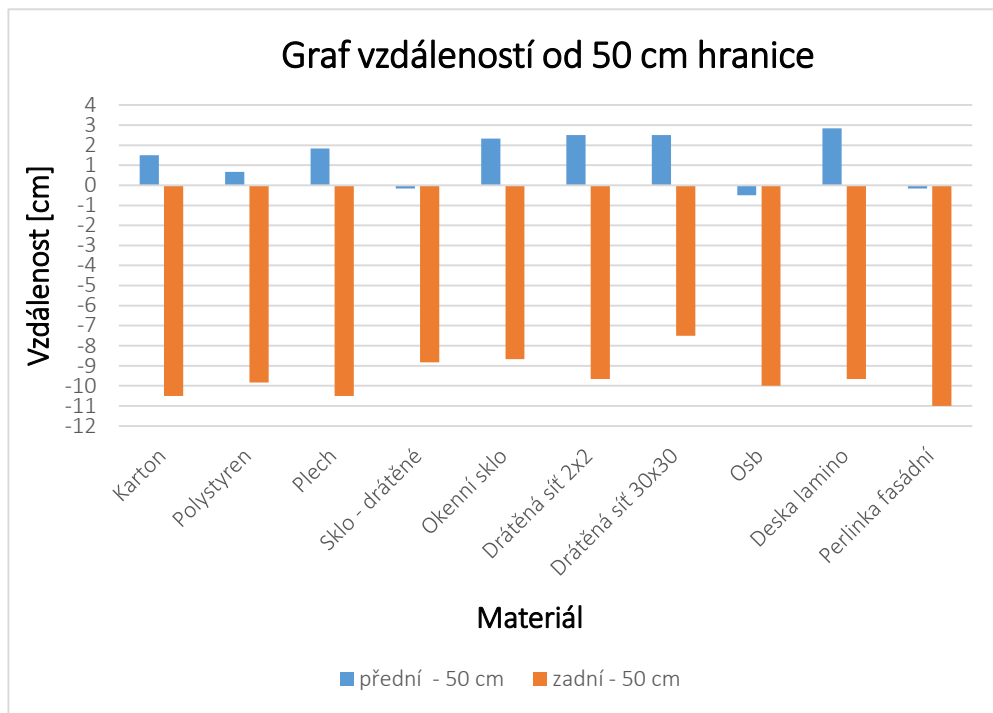
Všechny ostatní materiály poskytly homogennější výsledky vzdáleností, které se mezi sebou příliš neliší. U předního nárazníku prakticky všechny hodnoty jsou součástí intervalu 95 - 105 cm (pouze jediná hodnota u drátěného pletiva jemného činí 105,5 cm), tedy odchylka do 5 %.

V grafech na Obr. 31 a Obr. 32 jsou vyjádřeny odchylky naměřených vzdáleností od skutečné vzdálenosti překážky. U překážky vzdálené 100 cm, byly nejvyšší vzdálenosti naměřeny u obou typů drátěných překážek ve smyslu plus. Druhá nejvyšší odchylka byla u překážky z plechu a hladké lakované MDF desky, v tomto případě jsou měřené hodnoty nižší než skutečná vzdálenost (nulová hladina = skutečná vzdálenost).



Obr. 31 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 100 cm od překážky u vozidla Škoda Superb, 0=100 cm

U překážky ve vzdálenosti 50 cm se hodnoty poněkud lišily od měření ve 100cm vzdálenosti. Prakticky všechny hodnoty byly delší než skutečnost, maximální odchylka byla 4 cm, rozdíly mezi materiály byly minimální.



Obr. 32 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 50 cm od překážky u vozidla Škoda Superb, $0=50$ cm

Vyjádření systémové chyby měření u vozu Škoda Superb

Z naměřených hodnot vzdáleností je zřejmé, že senzory na předních a zadních náraznících udávají rozdílné hodnoty měření se systémovou chybou. Již prostým odhadem je vidět, že u všech zadních senzorů je hodnota přibližně o 10 cm nižší, než skutečnost. Z tohoto důvodu bylo provedeno ověření této hypotézy následujícím postupem.

Stanovení základní detekční vzdálenosti

Z důvodu nastavení základní hodnoty vzdálenosti, kterou senzor vrací jako měřenou hodnotu, byl proveden následující zvolený postup.

Za výchozí byly zvoleny hodnoty naměřené u plechu a desky laminované (MDF), protože jsou to materiály s ideální odrazivostí pro UZ. Z těchto měření byla aritmetickým průměrem stanovena pracovní referenční hodnota R_i , aby bylo možno relativně porovnat výsledky měření poskytované danými senzory a tím odrazivost materiálů mezi sebou - rovnice (6.8).

$$R_{100} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_{MFD \text{ pravý}} + l_{MFD \text{ levý}}}{2} + \frac{l_{MFD \text{ pravý}} + l_{plech \text{ levý}}}{2} \right) \quad (6.8)$$

l vzdálenost naměřená senzorem (MDF – deska laminovaná)

Z rovnice (6.8) byly vypočteny hodnoty:

- 1) přední senzor $R_{P100} = 96,58$ cm
- 2) přední senzor $R_{P50} = 52,33$ cm
- 3) zadní senzor $R_{Z100} = 89,08$ cm
- 4) zadní senzor $R_{Z50} = 39,91$ cm

Z vypočtených pracovních referenčních hodnot byla odvozena následující porovnání.

Naměřené pracovní referenční hodnoty na předním nárazníku byly ve vzdálenosti 100 cm ve skutečnosti o 3,42 nižší než skutečnost. Naopak u překážky vzdálené 50 cm byla hodnota naměřená zařízením o 2,33 cm vyšší.

Naměřené hodnoty ze senzorů zadního nárazníku se lišily více. Ve vzdálenosti 100 cm byla z měření zařízení vypočtena referenční hodnota 89,08 cm, což je o 10,92 méně než činila skutečná vzdálenost. Také u překážky vzdálené 50 cm byla měřená hodnota menší - a to o 10,09 cm. Z tohoto důvodu byla provedena ještě následující srovnání jednotlivých hodnot vzdáleností od překážky, která jsou relativní. Za referenční veličiny byly použity opět průměry R_{P100} a R_{P50} .

Při měření odrazivosti na voze Superb - *přední nárazník ve vzdálenosti 100 cm* vykazovala měření u všech materiálů větší vzdálenost, než je pracovní referenční hodnota $R_{P100} = 96,58$ cm. Všechny hodnoty byly ale nižší než 5 cm tj. 5 % měřené vzdálenosti, kromě překážky z drátu s hrubými i jemnými oky. U prvního materiálu byla průměrná hodnota z obou senzorů (103,0 cm) o 1,42 cm vyšší než 5% hladina, u drátu jemného o 3,67 cm. *Ve vzdálenosti 50 cm* byly zjištěné hodnoty ve všech případech kratší než $R_{P50} = 52,33$ cm, v relativní hodnotě 5% odchylka obnáší 2,62 cm, což odpovídá absolutní vzdálenosti překážky 49,71 cm. Tato hodnota byla podkročena pouze u skla drátěného 48,67 cm (jen přední pravý senzor) a OSB desky 47,67 cm. Pokud ale použijeme za srovnávací

údaj průměr obou senzorů, byla zjištěna pouze jediná vzdálenost pod hladinou 5% intervalu u OSB desky - a to 49,5 cm. To činí rozdíl 0,21 cm.

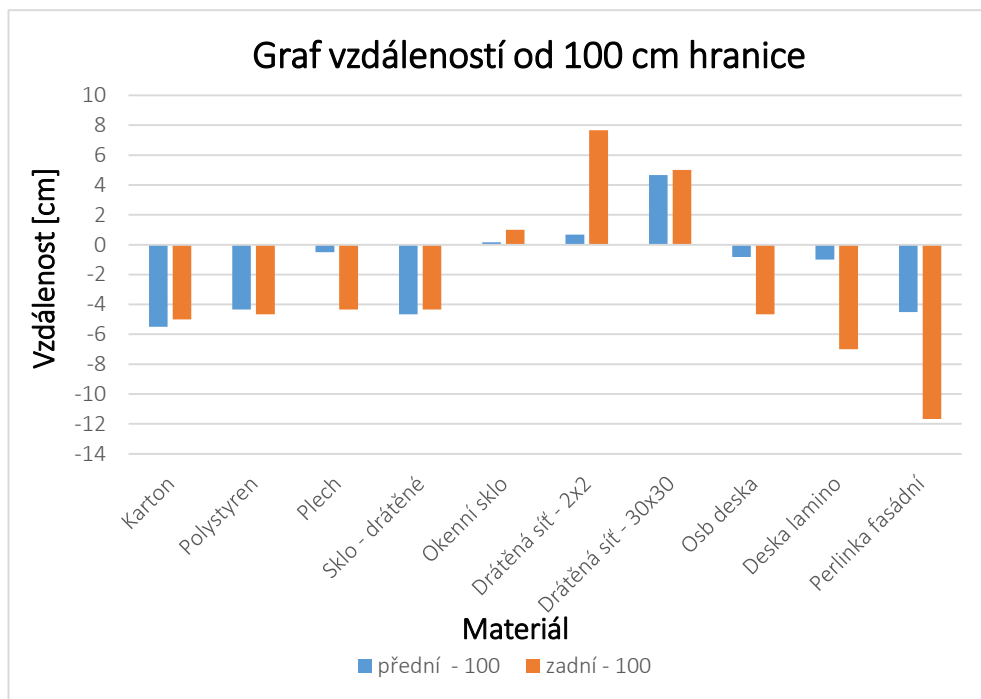
6.1.2 Výsledky měření Škoda Rapid

Výsledky měření u vozu Škoda Rapid jsou shrnuty v příloze (Příloha. II). Při měření ve 100 cm u předních senzorů, byly naměřeny nejvyšší vzdálenosti u překážek ze skla čirého a obou drátěných překážek (100,0 - 106,7 cm). Nejnižší hodnota se vyskytla u kartónu (93,7 cm). Rozložení hodnot u překážky ve vzdálenosti 50 cm (přední senzory) bylo následující. Výsledná měření byla rozložena prakticky do dvou skupin. Překážky ze skla (drátěné i čiré) a drátěného pletiva (husté i jemné) poskytly výsledky v intervalu 45,0 - 53,7 cm. U ostatních překážek byla vzdálenost 35,7 - 43,0 cm. Již prostým odhadem je vidět, že uvedené dvě skupiny materiálů poskytují rozdílná měření vzdálenosti překážky. Při statistickém porovnání je tento rozdíl prokázán na hladině vyšší než 5 % (kap. 6.1.5).

U zadních senzorů při měření ve 100 cm byly nejvyšší hodnoty u obou drátěných překážek (105,0 a 107,7 cm). Nejnižší vzdálenost byla u perlíčky (88,3 cm). Ostatní hodnoty byly navzájem velmi podobné (93,0 - 95,7 cm). Při měření ve vzdálenosti 50 cm, byly opět jako nejvzdálenější indikovány překážky drátěné (49,3 a 55,7 cm) a nejbližší překážka z perlíčky (39,0 cm) a skla drátěného (40,0). Ostatní měření byla podobná v intervalu 42,0 - 44,7 cm.

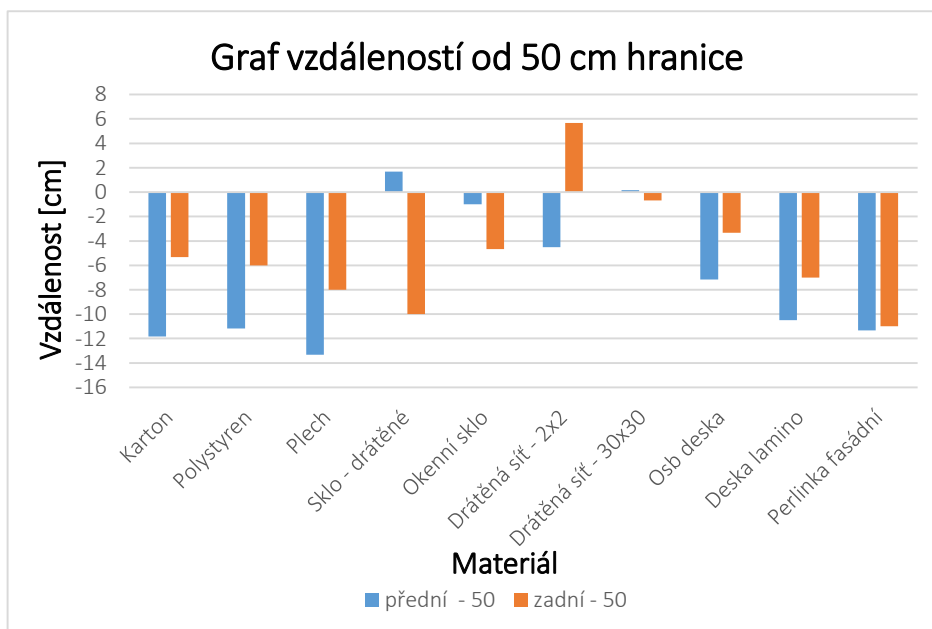
Výpovědní hodnotu jednotlivých měření přibližuje výpočet směrodatné odchylky, který je pro tento vůz uveden v tabulce (Příloha. II). Její hodnota kolísala od 0,0 do 10,34. Nejvyšší hodnoty směrodatných odchylek se vyskytly v případě zadních senzorů u obou skleněných a drátěných překážek. Když pomíneme měření u drátěného skla a OSB desky ve 100 cm, byly konkrétní hodnoty 1,89 - 10,34.

Výše uvedené výsledky měření jsou graficky vyjádřeny v následujících grafech (Obr. 33, Obr. 34). Většina měření u překážky 100 cm ukazuje vzdálenosti nižší než skutečné - maximální rozdíl je u perlíčky. Vyšší než skutečné byly zaznamenány jen u obou drátěných překážek.



Obr. 33 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 100 cm od překážky u vozidla Škoda Rapid, 0=100 cm

V případě překážky vzdálené 50 cm je grafické vyjádření poměrně homogenní (Obr. 34). Prakticky všechny hodnoty jsou nižší než skutečnost (kromě zadního senzoru - jemné pletivo). Většina zadních senzorů indikuje kratší vzdálenost než je skutečná.



Obr. 34 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 50 cm od překážky u vozidla Škoda rapid, 0=50 cm

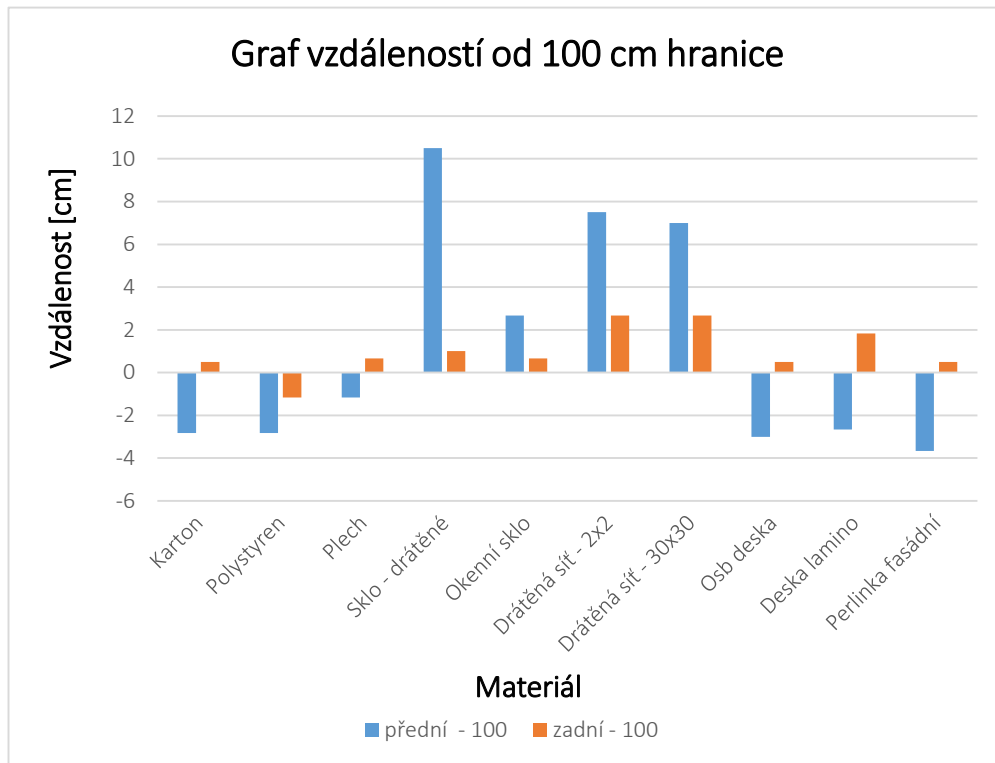
6.1.3 Výsledky měření Škoda Octavia

Při měření na voze Škoda Octavia jsou výsledky celkově velmi málo variabilní a velmi blízké skutečné hodnotě vzdálenosti. Většina hodnot naměřených levými a pravými senzory byla prakticky totožná.

Z uvedeného vybočují dvě skupiny odchylek, obě na předních senzorech. První je zachycena u překážek ze skla drátěného a obou drátěných překážek - měření ve vzdálenosti 100 cm. Shodně ukazují o 6,7 - 10,7 cm více, než skutečnost (tj. 106,7 - 110,7 cm). Přitom záznamy na **obou** předních senzorech vykazují minimální rozdíly mezi sebou. Druhá skupina odlišných výsledků spočívá v rozdílných měřeních na materiálech: karton, polystyrén, plech, OSB, deska lamino, perlinka. Senzory na levé straně ukazují přibližně o 6 cm (6 - 6,3 cm) nižší hodnoty než pravostranné (99,0 - 101,0 cm). Jak je patrné z tabulky (Příloha. III) i z následně komentovaného grafického vyjádření (Obr. 35, Obr. 36) Jsou v ostatních případech kolísání rozdílů mezi oběma stranami opravdu minimální (kap. 6.1.5).

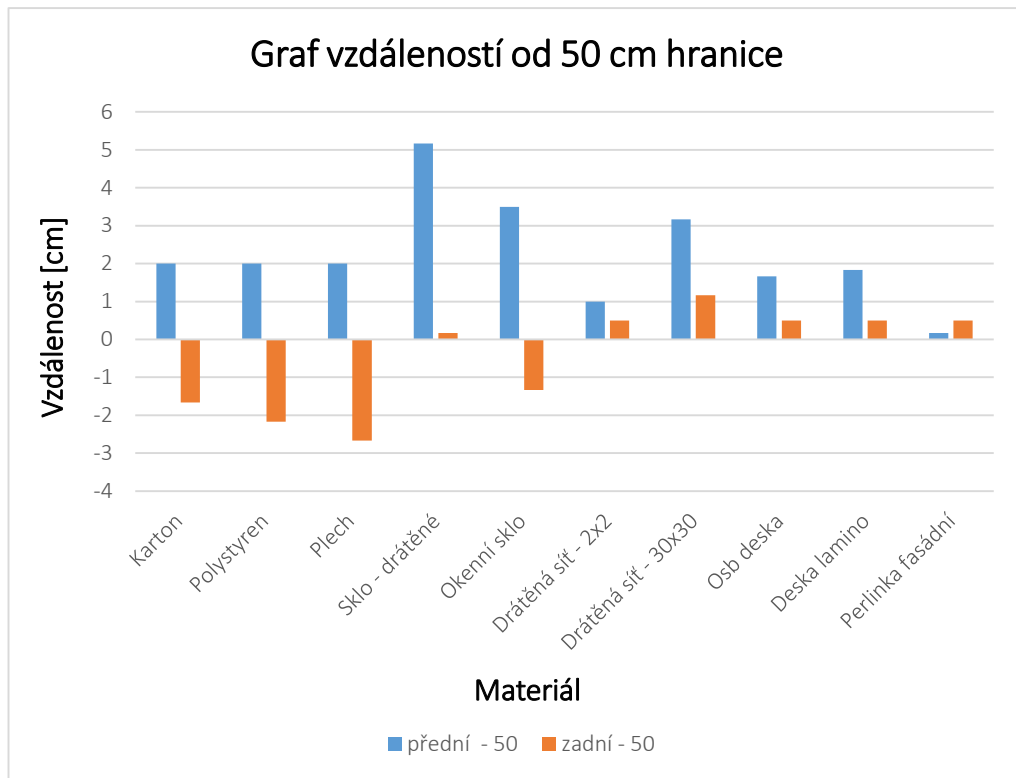
Také vypočtené směrodatné odchylky ukazují na vysokou homogenitu dat - zjištěny minimální rozdíly (Příloha. III). Nejvyšší zachycené - podobně jako u předchozích vozů - jsou u materiálů sklo drátěné a obě drátěné překážky ve 100 cm (0,94 - 4,32).

Grafy (Obr. 35, Obr. 36) vyjadřují popsané skutečnosti velmi dobře. U vzdálenosti 100 cm jsou nejvyšší odchylky u předních senzorů v případě drátěného skla a drátěných sítí. Ostatní materiály v této vzdálenosti mají odchylku menší a mají opačnou polaritu. Všechny ostatní materiály mají odchylky velmi nízké.



Obr. 35 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 100 cm od překážky u vozidla Škoda Octavia. 0=100 cm

U překážky 50 cm (Obr. 36), jsou odchylky kvalitativně shodné, ostatní měření mají menší odchylku a jsou si navzájem podobná.



Obr. 36 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 50 cm od překážky u vozidla Škoda Octavia. 0=50 cm

6.1.4 Výsledky měření Škoda Octavia se systémem Valeo beep and park

Měření vzdálenosti překážky se systémem Valeo beep and park je proti předchozím měření poznamenáno dvěma zásadními odchylkami. Předchozí zařízení poskytovala spojité hodnoty naměřené vzdálenosti v centimetrech. Tento systém (při nastavení na vysokou i nízkou citlivost) poskytoval hodnoty nespojitě - vždy v odstupu 10,0 cm. Při shrnutí výsledků naměřených při nastavení na vysokou citlivost (Příloha. IV) je zřejmé, že data z větší části materiálů (karton, polystyren, plech, OSB, deska lamino, perlinka) byla ucelená. Naměřené hodnoty odpovídaly přesně skutečné vzdálenosti. Z této skupiny vybočovaly překážky ze skla a drátěného pletiva (obě modalities vzdáleností), přičemž u drátěného pletiva obsahovalo každé měření nějakou odchylku od skutečnosti. Bohužel vzhledem ke konstrukci zařízení je absolutní vyjádření odchylek modifikováno průměrem z jednotlivých měření - tedy například výsledek 103,33 cm znamená, že 2 měření ze 3 byla na úrovni 100 cm, a jedno na hladině 110 cm. U předních senzorů se vyskytly výsledky odlišné od skutečnosti

v případě obou pletiv ve všech případech a byly jediné odchylky na přední straně vozidla. U stejných materiálů byly nalezeny odchylné hodnoty ve všech případech kromě jednoho.

Z ostatních materiálů byla jediná odchylka zjištěna u perlinky v zadních senzorech (46,7 cm).

Hodnocení směrodatné odchylky měření systému Valeo - vysoká senzitivita se kryje s kolísání naměřených odchylkami vzdálenosti - tj. hodnoty směrodatných odchylek kopírují odlišné vzdálenosti vyjádřené v centimetrech. Vyplývá to z podstaty metodiky měření.

Výsledky měření při nastavení přístroje na nízkou citlivost se téměř shodují s předchozími (vysoká citlivost) kromě jednoho případu. Deska lamino v případě zadního senzoru u vzdálenosti 100 cm poskytla hodnotu 113,3 cm.

Hodnocení směrodatné odchylky se opět kryje s odchylkami v naměřené vzdálenosti. Grafické vyjádření měření systému Valeo nevyžaduje zvláštní komentář, grafy jsou součástí přílohy (Příloha. V, Příloha. VI).

6.1.5 Porovnání jednotlivých materiálů mezi sebou použitím statistiky

Podklady pro statistické vyhodnocení

V předchozím kapitolách byly shrnuty výsledky měření vzdáleností překážek u jednotlivých vozů. V dalším textu bude provedeno srovnání materiálů jako takových. Z již uvedených výsledků je zřejmé, že naměřené hodnoty vzdáleností překážek jsou ovlivněny více faktory, byly vázány na konkrétní detekční systémy na použitých vozech. Jedná se například o skupinový posun naměřených vzdáleností u zadních senzorů vozu Škoda Superb (kap.6.1.1), nebo rozdílné výsledky měření u levých a pravých senzorů Škoda Octavia (kap. 6.1.3). Protože základním cílem práce je vyhodnocení schopnosti detekce překážky podle materiálu (odrazivosti pro UZ), byl učiněn pokus o minimalizaci vlivu použité měřicí aparatury na výsledné vzdálenosti. Bylo provedeno následující statistické zhodnocení.

Z testovaných materiálů byly vybrány dva jako referenční - plech a deska lamino, protože z fyzikálních důvodů mají oba materiály optimální předpoklady pro nejvyšší úroveň odraženého signálu: rovnost povrchu a vysoká odrazivost (kap. 4.2.3). Z důvodu zmenšení individuální variability výsledků u jednotlivých měření byl vypočítán aritmetický průměr obou materiálů v případě měření u každého jednotlivého senzoru.

Následující tabulka (Tab.2) shrnuje všechny tyto referenční hodnoty vypočtené dle rovnice (6.8).

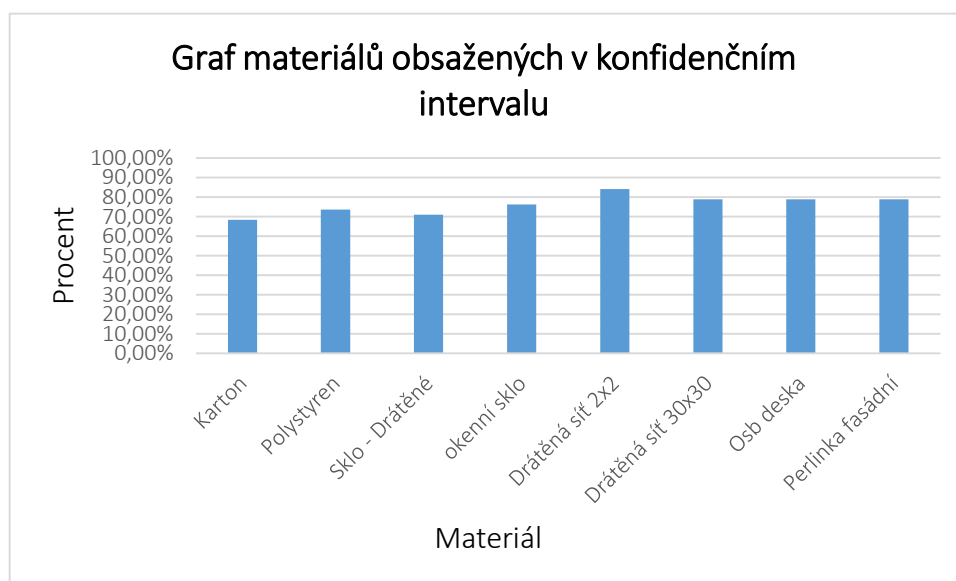
	Referenční hodnoty pro statistické zhodnocení [cm]							
	Rp100 - levý	Rp100 - pravý	Rp50 - levý	Rp50 - pravý	Rz100 - levý	Rz100 - pravý	Rz50 - levý	Rz50 - pravý
Superb	96,33	96,83	53,17	51,50	88,33	89,83	39,67	40,17
Octavia	99,00	99,50	38,50	37,67	94,33		42,50	
Rapid	95,33	100,83	51,83	52,00	101,00	101,50	48,17	49,67
ValeoN	100,00	100,00	50,00	50,00	106,67	106,67	50,00	50,00
ValeoV	100,00	100,00	50,00	50,00	100,00	100,00	50,00	50,00

Tab.2 Tabulka vypočtených referenčních hodnot

Konečné statistické hodnocení bylo provedeno pomocí výpočtu konfidenčního intervalu na hladině významnosti 5 %. S jeho pomocí byla porovnávána konkrétně naměřená hodnota vzdálenosti překážky u jednotlivých materiálů a každého jednotlivého senzoru (měření) s vypočtenou referenční hodnotou (Tab.2). Všechny hodnoty, které jsou mimo uvedený interval, byly vyhodnoceny jako statisticky významně odlišné.

Výsledky statistiky

Statistickým vyjádřením pomocí konfidenčního intervalu se soubor rozdělil do tří oblastí. Hodnocení výsledků, které se nacházely uvnitř tohoto intervalu, je nejlépe patrné v grafu (Obr. 37). V něm jsou porovnány výsledky měření u kartonu, polystyrénu, skla drátěného, skla okenního, obou drátěných sítí, OSB desky a perlinky. Z pochopitelných důvodů chybí oba materiály, které byly použity jako referenční (deska lamino a plech) a čedičová vata a molitan (bez akustického odrazu). O naměřených hodnotách lze s vysokou pravděpodobností souhrnně říci, že se mezi sebou liší jen velmi málo. Vzájemné rozdíly odrazivosti nepřevyšují 12 % - odrazivost je velice podobná. Jinými slovy 68-84 % naměřených hodnot spadalo do konfidenčního intervalu na hladině významnosti 5 %. Je nutno podotknout, že použitá metoda nezohledňuje přímo vzdálenost překážky od senzoru v absolutní jednotce, ale kolísání hodnot od vypočtené referenční hodnoty, neboli vlastní homogenitu dat.



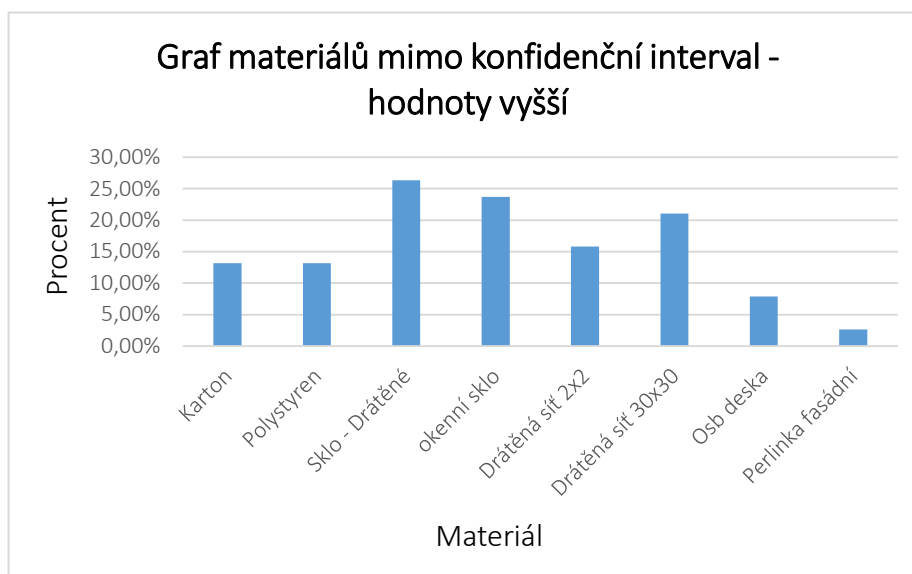
Obr. 37 Graf hodnot materiálů obsažených v konfidenčním intervalu

Abychom zjistili, zdali měření konkrétních materiálů vykazují větší odchylku ve smyslu plus nebo minus, bylo provedeno následující statistické vyhodnocení (Obr. 38, Obr. 39). Výsledky byly vyjádřeny opět ve formě konfidenčního intervalu s hladinou významnosti 5 %, avšak statistika vyjadřovala hodnoty, které byly vyšší nebo nižší než konfidenční interval. Oblast maximálních hodnot je přehledná z grafu (Obr. 38).

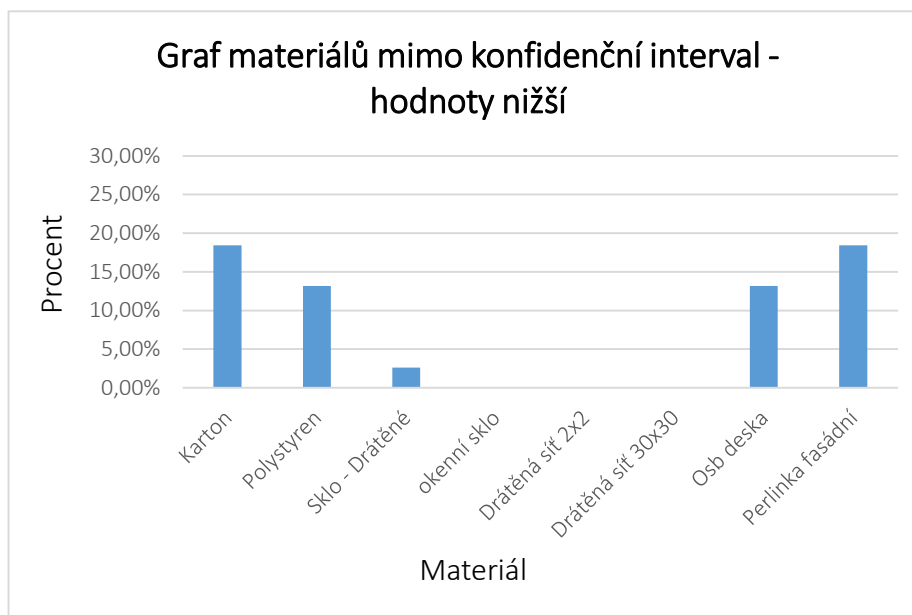
Nejvyšší procento hodnot přesahující jednotlivé referenční vzdálenosti se nacházelo u skla drátěného (vůbec nejvyšší hodnota 26,32 %) a skla okenního (23,68 %). Podobně se chovala i měření u drátěné sítě jemné (15,79 %) a hrubé (21,05 %).

Oblast hodnot menších než konfidenční interval zobrazuje graf (Obr. 39). Nejvíce se odlišovaly výsledky u skla okenního, a obou drátěných sítí – žádný z výsledků nespadal do tohoto intervalu. Těmto výsledkům se velmi blížilo sklo drátěné - 2,63 % hodnot pod uvedenou mez. Zbylé materiály (karton, polystyrén, OSB a perlinka) se pohybovaly v rozsahu 13,16 – 18,42 %.

Z hodnocení měření v grafech (Obr. 38, Obr. 39) je dobře patrné, že obě skla i sítě poskytly hodnoty vzdáleností statisticky významně vyšší než konfidenční interval i než ostatní testované materiály. Tuto skutečnost dokládají i výsledky u všech čtyř materiálů v grafu (Obr. 37).



Obr. 38 Graf hodnot materiálů mimo konfidenční interval – hodnoty vyšší



Obr. 39 Graf hodnot materiálů mimo konfidenční interval – hodnoty nižší

6.2 Diskuze

Diskuze k problematice použití senzorů v současné automobilové dopravě

Z literárního přehledu je vidět, že používání senzorů ve výbavě automobilů se stává standardní záležitostí. Tento rozvoj je umožněn jak rapidním snižováním ceny detekčních technologií, tak rutinním vybavováním vozů výkonnými palubními výpočetními jednotkami. Ty zajišťují zpracování informací poskytovaných senzory a jejich předání řidiči vozidla.

K základním detekčním technologiím patří zejména UZ systémy, což je dáno jejich nízkou cenou a minimálním ekologickým případně dalším negativním dopadem na zdraví či životní prostředí. UZ systémy jsou používány nejdéle, a ve spojení s kvalitním vyhodnocením signálu poskytují dobrou informaci o pohybu vozidla.

Složitější systémy jsou založeny na principu radarů, lidarů, případně videokamer a termokamer. Tato zařízení jsou dražší a vyplatí se je proto instalovat do vozidel střední a vyšší cenové třídy. Největší uplatnění nacházejí v automatizovaných systémech dopravy. Tyto detekční přístupy jsou rozvíjeny u řady vozů nové generace, z nichž některé jsou již dnes schopny více samostatných automatizovaných úkonů. Zvládnutí této problematiky umožňuje další stupeň automatické dopravních systémů. Jedná se o navázání automatických řídicích prvků vozidla na okolní automatizované navigační systémy (křižovatkové návěsti apod.) i na okolní vozidla. Tím jsou vytvářeny základy pro budoucí automatické řízení vozidel i dopravy. Malým příkladem (uvedeným v práci) jsou i možnosti automatického parkování mezi vozidla i do garážových stání.

Diskuze k vlastnímu měření

K testování jednotlivých materiálů byly použity celkem 3 systémy komerčně dodávaných senzorů v automobilech (Škoda Superb, Rapid a Octavia) a jeden přídatný systém (Valeo beep and park). Data byla odečítána napojením na řídicí jednotku pomocí diagnostického systému VAG-COM. Toto vlastní připojení pracovalo bez potíží a data byla odečítána digitálně. K vlastnímu měření je zapotřebí dodat, že tak jak je uvedeno v metodice a výsledcích, se každý krok sestával z 3 měření, a výsledné hodnoty použité pro pozdější vyhodnocení byly vypočteny aritmetickým průměrem. V některých případech došlo u materiálů, které poskytovaly horší UZ odraz (např. drátěná pletiva) k tomu, že v jednom

cyklu měření nebyla získána odpověď. V takovém případě bylo měření opakováno, ale tento chybný cyklus nebyl v aritmetickém průměru zohledněn. Pokud by tomu tak nebylo, byla by výsledná měření podstatným způsobem ovlivněna. V praxi by ovšem taková situace znamenala nenalezení překážky.

Ve většině případů byly k měření použity dva vnitřní senzory ze čtveřice v nárazníku (v případě vozu Škoda Rapid – prostřední senzor v zadní části vozidla), jejichž osové směrování v předozadní rovině bylo výrobcem pravděpodobně optimálně nastaveno. Vzhledem k této skutečnosti nebyly použity senzory krajové, protože lze předpokládat nastavení jejich optimálního pracovního úhlu směrem zevně vozidla a protože výrobce tuto hodnotu neudává. Souhrnně lze říci, že souběžnost hodnot naměřených z levého a pravého senzoru byla velmi dobrá, jak je patrné z výsledkových tabulek (kap. 9). Konkrétní hodnoty korelace měření z levého a pravého senzoru nebyly vypočítávány, protože, jak bude dále uvedeno, nebyly k závěrečnému vyhodnocení zapotřebí. Od uvedeného se poněkud výrazněji lišily pouze výsledky měření levého a pravého předního senzoru na voze Škoda Octavia. Tento jev byl ale zaznamenán pouze u vzdálenosti 100 cm a jen u některých materiálů. Jednalo se o lépe odrazivé překážky (karton, polystyrén, plech, OSB a lamino desky, perlinka), zatímco u skla a drátěných sítí nebyl zjištěn. Skutečnost se za daných podmínek nepodařilo vysvětlit. Uvedená nerovnováha v měření mezi jednotlivými senzory se vyskytla zcela ojediněle několikrát i u jiných měření, protože ale nebyla nalezena žádná systémová závislost, lze se domnívat, že šlo o nahodilé fluktuace měření.

Kvalita měření byla plošně kontrolována výpočtem směrodatné odchylky, vždy ze třech po sobě jdoucích měření (s výše uvedenou výjimkou při nulové odpovědi měření). Celkově lze říci, že absolutní hodnoty směrodatných odchylek se mezi sebou lišily velmi málo. U jednotlivých vozů jsou uvedeny ve výsledkové části jako interval mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou. U vozu Škoda Superb bylo maximum 4,97, Rapid 10,34 a Octavia 4,32. U zařízení Valeo beep není výpočet směrodatné odchylky korektním ukazatelem fluktuace jednotlivých měření, jak bylo poukázáno ve výsledcích (kap. 6.1.4). Lze vysledovat, že hodnota směrodatné odchylky byla vyšší v případech, kdy bylo nutno měření opakovat z důvodu absence signálové odpovědi. Přestože nebyly tyto nulové odpovědi zahrnuty do výpočtu, větší kolísání výsledků ukazují nepřímě na problémy z identifikací daného materiálu měřicím zařízením. To se vyskytlo nejčastěji u obou typů drátěných překážek a

skel. Nejmenší kolísání směrodatných odchylek bylo zjištěno u vozu Škoda Octavia, a protože nebyla nalezena jiná příčina, mohlo by jít o lépe technicky zajištěný měřicí systém.

Za nejdůležitější výsledek experimentální části lze považovat skutečnost, že skelná vata ani molitan neposkytly ani v jednom případě detekovatelnou odpověď. Překážka tohoto druhu tedy zůstává v okolí automobilu senzory neidentifikována. Tento údaj je ve shodě s manuálem vozu Škoda Superb, přímo upozorňuje na možné riziko tohoto typu [44].

S přihlédnutím k celkovému uspořádání pokusu, bylo relativně obtížné podat souhrnnou informaci o porovnání výsledků měření senzorů na jednotlivých vozech. Jak je patrné z naměřených hodnot a jak bude i dále uvedeno, výsledky byly zatíženy určitými chybami. Některé z nich se podařilo identifikovat pomocí jednoduchého výpočtu. Jednalo se například o modifikaci výsledků měření vzdálenosti u Škody Superb na zadních senzorech. Na tomto voze byly detekované vzdálenosti přibližně o 10 cm menší, než skutečnost. Podobná situace se vyskytla u vozu Škoda Rapid, kde korekce činila přibližně 5 cm. Tato skutečnost může být způsobena prodloužením délky vozu o namontované tažné zařízení. Kromě popsaného jevu se výsledky měření z předních a zadních senzorů nijak významně systémově nelišily (kap. 9).

Měření byla prováděna ve vzdálenosti 50 a 100 cm. V zásadě byly výsledky po kvalitativní stránce podobné. Při podrobnějším hodnocení bylo zjištěno, že výsledky měření ve vzdálenosti 50 cm kolísají poněkud méně, jak lze dokumentovat na příkladu zadních senzorů u vozu Škoda Superb (Příloha. I). Jev by mohl souviset s fyzikálním principem měření na podkladě UZ (menší možnost interferencí při kratší měřené vzdálenosti). Protože ale nebylo toto sledování cílem práce, nebyly výsledky podrobněji statisticky hodnoceny.

Systém Valeo beep se odlišoval způsobem vyhodnocení od všech tří vozů Škoda. Výsledky byly vyhodnocovány skokově v 10cm intervalech. Přestože zde bylo v některých ohledech obtížnější kvantifikovat vlastní vzdálenost od překážky, lze říci, že měřicí zařízení poskytlo poměrně dobré výsledky. Vzhledem k provozní praxi se jeví přesnost jako dostatečná, respektive srovnatelná s ostatními zařízeními. Všechny materiály, které daly v předchozích pokusech dobré UZ odpovědi (karton, polystyrén, plech, OSB a MDF lamino deska i perlinka - zde mimo jediné měření), poskytly i zde jednoznačné výsledky měření (na obou hladinách - 50 a 100 cm). Naopak již dříve zmiňované materiály s kolísavou odezvou (obě skla a síta), měly i v tomto případě do jisté míry variabilní odpovědi. To ve skutečnosti znamenalo, že jeden nebo 2 výsledky z cyklu se lišily od skutečnosti o jedno pásmo. Pouze

jedenkrát byla zachycena situace, kdy všechny 3 hodnoty byly o pásmo výše (110 cm namísto 100 u drátěné sítě jemné). I přes relativní metodickou odlišnost výsledky tedy byly zahrnuty do závěrečného zhodnocení měření jednotlivých překážek.

Porovnání odpovědí u jednotlivých typů materiálů

Základním cílem experimentální části práce bylo testování funkce parkovacích čidel v závislosti na materiálu překážky. V předchozím textu bylo do jisté míry provedeno zhodnocení chování jednotlivých sensorových uspořádání. Popisem výsledků měření byla zřejmě prokázána dostatečná homogenita i reprodukovatelnost měření. To se týká jak umístění na vozidle (přední - zadní), tak měřené vzdálenosti (50, 100 cm). Také byly podle výsledků nalezeny důvody pro porovnatelnost měřících zařízení na jednotlivých vozech za daných okolností. Proto bylo provedeno závěrečné statistické zhodnocení.

Zcela zvláštní místo zaujímají skelná (čedičová) vata a molitan. Nejsou detekovány vůbec. Evidentně to vyplývá z fyzikální podstaty principu měření. UZ vlny jsou kompletně tlumeny v měkké překážce, která neposkytuje odraz o dostatečně silné intenzitě, který by mohl být detekován. Výsledky proto nemohly být zahrnuty do statistického hodnocení. Dále ve statistickém porovnání nejsou uvedeny další dva materiály - plech a lamino deska, protože byly použity jako referenční k porovnání s ostatními.

Při výběru statistiky bylo zváženo následující. Z důvodu eliminace případného vlivu různých měřících zařízení na výsledek, byly porovnávány mezi sebou hodnoty měření vždy u jednotlivého senzoru a jedné konkrétní vzdálenosti. Za základní porovnávací (referenční hodnotou) byl zvolen průměr měření odrazu u plechu a MDF desky lamino. Důvod k tomuto rozhodnutí byl fyzikální - tyto materiály mají z akustického hlediska nejkvalitnější povrch (hladký) a nejsou zdrojem dodatečných odrazů (ech) (kap. 4.2.2). Z porovnání měření obou těchto materiálů bylo zřejmé, že poskytují prakticky shodné výsledky. Závěrečná statistika je vyjádřena pomocí konfidenčního intervalu na hladině 5% významnosti. Dále bylo provedeno odlišení okrajových hodnot - ve smyslu plus i minus – pomocí stejného statistického výpočtu. Jinými slovy to znamená, že jako abnormní byly považovány výsledky, které jsou mimo uvedený konfidenční interval.

Jak je uvedeno již ve výsledkové části, takových měření respektive materiálů, které by se statisticky významně lišily od referenčních, bylo velmi málo. Naopak vyjádřeno, většinu

materiálů detekují sensorové systémy kvalitativně dobře s nízkou variabilitou. Lze říci, že kolísání přesnosti měření u dobře detekovatelných materiálů nepřekročilo 3-4 cm. Pro praxi je tato hodnota více než dostatečná. Toto je patrné z uživatelské příručky k vozidlu Škoda Superb, kde je uvedeno, že řídicí jednotka začne signalizovat řidiči souvislým tónem nebo na obrazovce, že nemá pokračovat, a to ve vzdálenosti 30 cm od překážky [44]. Vyjádření, které bylo použito, však nevyhodnocuje přímo vzdálenost překážky od senzoru, ale relativní vzdálenosti, kterými se od sebe liší měření jednotlivých překážek.

Jak je uvedeno ve výsledkové části, 68,42 – 84,21 % naměřených vzdáleností se u jednotlivých materiálů statisticky neliší od stanovených referenčních hodnot (Obr. 37). Z uvedeného grafu je vidět, že všechna měření vykazují výchyly plus i minus oproti zvoleným referenčním hodnotám. Odchyly v oblasti maxima a minima, které jsou dále vyhodnoceny v grafech (Obr. 38, Obr. 39) ukazují odlišnou odrazivost některých materiálů. Obě skla i drátěné sítě vykazaly vyšší naměřené hodnoty proti referenčním. Důvodem může být variabilita UZ echa způsobená nestandardním odrazem od drátů sítě. Jak bylo uvedeno v teoretické části (kap. 4.2.2.2), pokud se blíží frekvence UZ k jisté hraniční velikosti překážky, nedochází k odrazu zvukových vln ale k jejich ohybu. Pro 40 kHz činí tato limitní hodnota 0,87 cm. Překážky takového rozměru se sice přímo v měření nevyskytovala, ale například v některých uzlových bodech se velikost mohla k limitní hodnotě blížit. Navíc mohly být výsledky ovlivněny mnohočetnými odrazy UZ. Může docházet vlivem křížení odrazů k interferencím signálů, což má v některých případech za následek vektorovou redukci (a samozřejmě i navýšení) jejich amplitudy. Tím je snížena amplituda pod citlivost detektoru, nebo jsou vyhodnoceny výsledky jako vyšší. Také dochází k nepřesnému vyhodnocení signálů i vlivem snížené reprodukovatelnosti měření a tím i následně vyjádřených vzdáleností. Je to v případě sítí patrné u všech typů senzorů (vozů) včetně nespojitě pracujícího zařízení firmy Valeo. Toto vysvětlení podporuje i prokazatelně vyšší variace naměřených hodnot u obou drátěných překážek. Do problematiky však zasahuje více faktorů, jak je vidět na chování odrazu u perlínky. Přestože se jedná také o síťovaný materiál, jsou výsledky měření v tomto případě prokazatelně kratší.

7 Závěr

Cílem práce bylo provést literární rešerši zařízení a fyzikálních principů, které jsou nejčastěji používány k automatizované detekci, monitoraci a zvýšení bezpečnosti při provozu v automobilové dopravě. Byl podán základní přehled fyzikálních a technických principů, na kterých jsou založeny UZ senzory. Byly v jednoduchém přehledu zmíněny i další technologie používané pro jednodušší a bezpečnější parkování. Na příkladech byly demonstrovány některé možnosti použití senzorů při parkování a v automatizovaných systémech řízení dopravy. Podobně bylo poukázáno na inovativní technologie používané pro parkování. Byly použity příklady systémů, které ovládá řidič z větší části sám a senzory dodávají pomocné informace, ale také složitější zařízení, kdy automatická jednotka provádí celý parkovací úkon víceméně sama a řidič převážně kontroluje její průběh. V každém případě ale nese plnou odpovědnost za jedoucí vozidlo.

Experimentální část práce byla zaměřena na otestování vybraných parkovacích sensorových systémů v závislosti na materiálovém složení překážky. Toto testování bylo provedeno na čtyřech systémech založených na principu UZ – Škoda Superb, Rapid, Octavia a na přídatných senzorech Valeo beep and park. Všechna zařízení byla schopna indikovat překážku před a za vozidlem. Pomocí těchto zařízení bylo testováno, jakým způsobem budou zařízení reagovat na překážky vyrobené z následujících materiálů: karton, polystyrén, plech, molitan, skelná (čedičová) vata, sklo drátěné, okenní sklo, drátěná síť (2x2 a 30x30 mm), OSB a MDF lamino deska a perlina. Materiály byly zvoleny dle možnosti pravděpodobného výskytu v běžném provozu. Měření probíhalo ve dvou vzdálenostech od nárazníku resp. od senzorů vozidel, v 50 a 100 cm.

Bylo prokázáno, že ani jeden detekční systém nebyl schopen rozpoznat překážky z molitanu a skelné vaty. Ostatní materiály byly indikovány, ale s různou přesností. Všechny, kromě obou drátěných sítí vykazovaly malé kolísání hodnot, většinou v rozmezí konfidenčního intervalu na hladině významnosti 5 %. Odchytky byly indikovány zhruba se stejnou četností jako kratší i delší vzdálenosti, až na oba typy drátěných sítí. U těch se vyskytl vyšší počet naměřených hodnot v delší vzdálenosti než skutečně změřená.

V práci bylo provedeno statistické zhodnocení vzdálenosti překážek z různých materiálů. Statisticky významně přesahovala konfidenční interval měření při detekci

překážky z drátěných sítí (oba typy). Měření zde byla zatížena větší nepřesností, což ukazovala vyšší hodnota směrodatné odchylky měření a také hodnoty vzdáleností byly častěji falešně vyšší než u jiných překážek. Byla vyslovena hypotéza, že jev je způsoben variabilitou odrazů UZ vln od drátů a dále možnými vektorovými interferencemi UZ signálu.

Při závěrečném zhodnocení statistického výpočtu je patrné, že jednotlivé porovnávané materiály se od sebe výrazně neliší kromě překážek z molitanu, skelné vaty a obou drátěných sítí. Bylo tedy možné konstatovat, že kromě uvedených materiálů jsou detekční zařízení dostatečně citlivá, aby indikovala překážku v pracovním poli sensorů s dostatečnou přesností pro provoz vozidla.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] BENGLER, Klaus, Klaus DIETMAYER, Berthold FARBER, Markus MAURER, Christoph STILLER a Hermann WINNER. Three Decades of Driver Assistance Systems: Review and Future Perspectives. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* [online]. 2014, 6(4), 6–22 [vid. 2019-03-09]. ISSN 1939-1390. Dostupné z: doi:10.1109/MITS.2014.2336271
- [2] *Proxel - Principle of operation of parking sensor EPS ®* [online]. [vid. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://www.proxel.com/en/parking-sensor-features.html>
- [3] THAKUR, Rajeev. Infrared Sensors for Autonomous Vehicles. In: *Recent Development in Optoelectronic Devices* [online]. B.m.: InTech, 2018 [vid. 2019-01-28]. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.70577
- [4] *Termokamera FLIR PathFindIR | Termokamera FLIR* [online]. [vid. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.termokamery-flir.cz/termokamera-flir-pathfind-ir/>
- [5] *Park-Daddy Garage Parking Aid* [online]. [vid. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://invis-a-beam.com/park-daddy>
- [6] *Understanding Radar for automotive (ADAS) solutions - PathPartnerTech* [online]. [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.pathpartnertech.com/understanding-radar-for-automotive-ad-as-solutions/>
- [7] ROHDE & SCHWARZ. *Automotive Radar Echo Generator | Rohde & Schwarz* [online]. [vid. 2019-03-13]. Dostupné z: https://www.rohde-schwarz.com/cz/products/test-and-measurement/radar-echo-generation/automotive-radar-echo-generator-_234352.html?WT.mc_id=site_com_sea_132_google_19-02_i_areg100a_aut-radar_search_text-ad_reu__&cid=site_com_sea_132_google_19-02_i_are
- [8] KHADER, Motaz a Samir CHERIAN. *An Introduction to Automotive LIDAR* [online]. 2018 [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/wp/slyy150/slyy150.pdf>
- [9] *Beyond The Six Senses | Sensors for Military Applications* [online]. [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://electronicsforu.com/technology-trends/must-read/beyond->

six-senses-military-sensors/2

- [10] *Lehrstuhl Integrierte Sensorsysteme: Research Projects* [online]. [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: https://www.eit.uni-kl.de/koenig/gemeinsame_seiten/projects/3DKM.html
- [11] VENHOVENS, P. J. Th., J. H. BERNASCH, J. P. LÖWENAU, H. G. RIEKER a M. SCHRAUT. The Application of Advanced Vehicle Navigation in BMW Driver Assistance Systems. In: [online]. 1999 [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: doi:10.4271/1999-01-0490
- [12] *What is the maximum Theoretical accuracy of GPS? - Geographic Information Systems Stack Exchange* [online]. [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://gis.stackexchange.com/questions/43617/what-is-the-maximum-theoretical-accuracy-of-gps>
- [13] ZIEBINSKI, Adam, Rafal CUPEK, Hueseyin ERDOGAN a Sonja WAECHTER. A Survey of ADAS Technologies for the Future Perspective of Sensor Fusion. In: [online]. 2016 [vid. 2019-03-09], s. 135–146. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-45246-3_13
- [14] HERPEL, Thomas, Christoph LAUER, Reinhard GERMAN a Johannes SALZBERGER. Multi-sensor data fusion in automotive applications. In: *2008 3rd International Conference on Sensing Technology* [online]. B.m.: IEEE, 2008, s. 206–211 [vid. 2019-03-09]. ISBN 978-1-4244-2176-3. Dostupné z: doi:10.1109/ICSENST.2008.4757100
- [15] LI LI, von. *A MULTI-SENSOR INTELLIGENT ASSISTANCE SYSTEM FOR DRIVER STATUS MONITORING AND INTENTION PREDICTION Ein multisensorisches intelligentes Assistenzsystem für die Überwachung des Fahrerzustands und die Vorhersage der Fahrerhandlungsabsicht* [online]. B.m., 2016 [vid. 2019-03-09]. b.n. Dostupné z: https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/4549/file/_Li_Li_PhD_Thesis_Final_ISE.pdf
- [16] VLK, František. *Automobilová elektronika 1 - Asistenční a informační systémy*. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-6462-3.

- [17] BLAŽEK, Jakub. *Pokročilé asistenční systémy řidiče*. B.m., 2011. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] GIETELINK, Olaf. *Design and Validation of Advanced Driver Assistance Systems* [online]. 2007 [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: http://www.dcsc.tudelft.nl/~bdeschutter/research/phd_theses/phd_gietelink_2007.pdf
- [19] KOPEC, Bernard. a ČESKÁ SPOLEČNOST PRO NEDESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí : (nauka o materiálu IV)*. 1. vydání. B.m.: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 9788072045914.
- [20] THAKUR, Anshul. *Ultrasonic (UV) Sensors or Ultrasound Sensors* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/articles/ultrasonic-sensors>
- [21] VOJÁČEK, Antonín. *Ultrazvukové senzory přiblížení - funkce, provedení, použití | Automatizace.HW.cz* [online]. 2017 [vid. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- [22] BARTOŠ, Dalibor. *URČOVÁNÍ VZDÁLENOSTI A POZICE POMOCÍ ULTRAZVUKU* [online]. B.m., 2018. b.n. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173139
- [23] CHUTNÝ, Pavel. *Fem model ultrazvukového senzoru hladiny oleje* [online]. B.m., 2017 [vid. 2019-03-10]. b.n. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=148621#page=76&zoom=100,0,621
- [24] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vydání. B.m.: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 8073001144.
- [25] BERNAT, Petr. *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: https://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [26] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík. BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoku a výšky*

- hladiny*. 1. vydání. B.m.: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 807300156X.
- [27] GIEMZA, Michal. *Ultrazvukové měření vzdálenosti* [online]. B.m., 2013 [vid. 2019-03-10]. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/27110/xgiemz00.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [28] *PI Ceramic Piezo Technology* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: https://www.piceramic.com/en/piezo-technology/?_ga=2.251820617.1151535133.1552216266-2008516388.1552216266
- [29] *Ultrasonic distance measurement boosterpack* [online]. 2015 [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: www.ti.com.
- [30] JANŮ, Přemysl a Stanislav VANĚK. *Ultrazvukový dálkoměr* [online]. 2015 [vid. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/ultrazvukovy-dalkomer--ultrasonic-rangefinder-/>
- [31] PLŠEK, Stanislav. Ověření funkčnosti ultrazvukového detektoru vzdálenosti [online]. 2010, (1338-0087) [vid. 2019-02-23]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=9411>
- [32] ENGEL, Michal. *Využití senzorů pro měření vzdálenosti jako čidla pro počítání osob* [online]. B.m., 2013. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=69249
- [33] *Zadní parkovací asistent | ŠKODA E-shop* [online]. [vid. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://eshop.skoda-auto.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10051&langId=-11&productId=152005&storeId=10001&krypto=uhs0dLWRpCszsgm62rGpikrgSbm0IPyQoCAU4cvdmx3EtkwivcfpM7MTAiVaQp33ObbIyBmHj3HVt32OqbQhyImmydn2q6sZRpf9e1ZMx%252FAiStTovV3mx%25>
- [34] *Zadní parkovací senzory s displejem do vozidla Peugeot 308 SW* [online]. [vid. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://telcar.cz/zadni-parkovaci-senzory-displejem-vozidla-peugeot-308-sw/>
- [35] *KEETEC BS 150 Akustický parkovací asistent v držáku SPZ – www.keetec.cz* [online]. [vid. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.keetec.cz/produkt/bs-150/>
- [36] STEWART, Kim, Sarah KARUSH a Steve EWENS. *Quick work Better autobrake*

- helps more models earn top IIHS ratings for front crash prevention* [online]. 2014 [vid. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.iihs.org/externaldata/srdata/docs/sr4904.pdf>
- [37] *Zadní parkovací kamera Octavia III | ŠKODA E-shop* [online]. [vid. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://eshop.skoda-auto.com/cz/cs/b2c/zadni-parkovaci-kamera-5e5054634x>
- [38] *360° SURROUND VIEW CAMERA SYSTEM* [online]. [vid. 2019-02-16]. Dostupné z: https://www.gazer.com/surround_view_system/us.html
- [39] *Cars with 360 camera | BuyaCar* [online]. [vid. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.buyacar.co.uk/cars/reversing-camera/880/cars-with-360-camera>
- [40] *ŠKODA OCTAVIA - Snadné parkování | ŠKODA AUTO a.s.* [online]. [vid. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia/octavia-snadne-parkovani>
- [41] *Garage parking functions* [online]. [vid. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/automated-driving/garage-parking-functions/>
- [42] *Bosch technology makes parking a piece of cake - Bosch Media Service* [online]. [vid. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-technology-makes-parking-a-piece-of-cake-44809.html>
- [43] *Trailer Assist | Blog | Autocentrum Jan Šmucler, s.r.o.* [online]. [vid. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/trailer-assist/>
- [44] *Uživatelský manuál ŠKODA SUPERB* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: https://ws.skoda-auto.com/OwnersManualService/Data/cz/Superb_3V/11-2018/Manual/Superb/B8_Superb_OwnersManual.pdf?_ga=2.125488394.1881181826.1553192252-736961bb-24d5-49a7-9c8f-148867148620

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Vývoj asistenčních systémů je schematizován na obrázku [1]	6
Obr. 2 Příklad detekce elektromagnetického senzoru v nárazníku vozu [2].....	7
Obr. 3 Ukázka zobrazení termokamery ve vozidle [4].....	8
Obr. 4 ukázka funkce infračerveného senzoru pro pomoc při parkování v garáži [5]..	8
Obr. 5 Schéma mechanického lidarů [9]	11
Obr. 6 Příklad dvoupráskového laserového měřiče vzdálenosti [10].....	12
Obr. 7 Různé druhy získávání informací v závislosti na způsobu detekce [17]	14
Obr. 8 Systémové seskupení komponent ADAS a jejich zapojení v mechatronický systém [18]	15
Obr. 9 Příklad komunikace vozidel mezi sebou [1].....	15
Obr. 10 Další příklad komunikace vozidel v provozu [1]	16
Obr. 11 Zákon odrazu a lomu [24]	19
Obr. 12 Základní uspořádání je na obrázku varianta a) jednoduché spojení keramického materiálu a kovové destičky, varianta b) má upravený materiál s ohledem na požadovanou vlnovou délku a varianta c) obsahuje parabolický prvek, který zvyšuje účinnost, tato varianta je často používána [27].	22
Obr. 13 Schéma UZ senzoru [29].....	23
Obr. 14 Princip ultrazvuku [21].....	24
Obr. 15 Příklad vyzařovací charakteristiky ultrazvukového senzoru [31]	25
Obr. 16 Zjednodušená vyzařovací charakteristika UZ senzoru [21]	26
Obr. 17 Zapojení vysílače a přijímače [27].....	27
Obr. 18 Schéma zapojení UZ senzoru [29]	27
Obr. 19 Ukázka zadních parkovacích senzorů [34]	29
Obr. 20 Rámeček na registrační značku s třemi ultrazvukovými senzory [35]	29

Obr. 21 Ukázka elektromagnetického senzoru [2]	30
Obr. 22 Zadní parkovací kamera [37]	30
Obr. 23 Pohled na vozidlo shora [39].....	31
Obr. 24 Ukázka použití Garage park assist [42].....	32
Obr. 25 Ukázka systému Trailer assist [43].....	33
Obr. 26 Testované vozidlo Škoda Superb combi 2018.....	34
Obr. 27 Testované vozidlo Škoda Rapid 2016.....	35
Obr. 28 Testované vozidlo Škoda Octavia combi 2004.....	35
Obr. 29 Testované přídavné senzory (uživatelská obrazovka).....	36
Obr. 30 Diagnostický systém VAG-COM (rozhraní, program VCDS).....	37
Obr. 31 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 100 cm od překážky u vozidla Škoda Superb, 0=100 cm.....	42
Obr. 32 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 50 cm od překážky u vozidla Škoda Superb, 0=50 cm.....	43
Obr. 33 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 100 cm od překážky u vozidla Škoda Rapid, 0=100 cm.....	46
Obr. 34 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 50 cm od překážky u vozidla Škoda rapid, 0=50 cm.....	46
Obr. 35 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 100 cm od překážky u vozidla Škoda Octavia. 0=100 cm.....	48
Obr. 36 Graf naměřených hodnot předních a zadních senzorů ve vzdálenosti 50 cm od překážky u vozidla Škoda Octavia. 0=50 cm.....	49
Obr. 37 Graf hodnot materiálů obsažených v konfidenčním intervalu	52
Obr. 38 Graf hodnot materiálů mimo konfidenční interval - hodnoty vyšší	53
Obr. 39 Graf hodnot materiálů mimo konfidenční interval - hodnoty nižší	53

8.2 Seznam rovnic

Snellův zákon (4.1)	19
Součinitel absorpce (4.2).....	20
Délka vlny (4.3).....	20
Délka vlny při frekvenci 40 kHz (4.4)	20
Rychlost šíření UZ vlny v daném prostředí (4.5).....	20
Vzdálenost od překážky (4.6).....	24
Skutečná vzdálenost od zdroje (4.7)	24
Výpočet referenční hodnoty (6.8)	44

8.3 Seznam zkratek

UZ	ultrazvuk
ADAS	advanced driver assistance system
Radar	radio detecting and ranging
LIDAR	light detection and ranging
LADAR	laser detection and ranging
ToF	time of flight
MEM lidary	microelectromechanical
MEMS lidar	microelectromechanical systems
OPA	optical phase array
FMCW	frequency-modulated continuous wave
ACC	adaptive cruise control
RZ	registrační značka (vozidla)
GPS	global positioning system
OBD	on-board diagnostics

OSB	oriented strand board
MDF	medium density fibre board

9 Přílohy

Příloha. I Tabulky s naměřenými hodnotami u vozidla Škoda Superb a vypočtené směrodatné odchylky

Škoda Superb													
	Karton	Polystyren	Plech	Molitan	Čedičková vata	Sklo - drátěné	Okenní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osbo deska	Deska lamino	Perlinka fasádní	
přední levý - 100cm	99,33	98,67	96,33	N	N	101,00	100,33	105,50	103,67	98,67	96,33	98,33	
přední pravý - 100cm	98,67	97,00	95,67	N	N	101,67	101,33	105,00	102,33	98,67	98,00	99,33	
přední levý - 50cm	51,67	50,67	52,33	N	N	51,00	52,00	52,67	51,67	51,33	54,00	49,33	
přední pravý - 50cm	51,33	50,67	51,33	N	N	48,67	52,67	52,33	53,33	47,67	51,67	50,33	
zadní levý - 100cm	92,00	90,67	87,67	N	N	88,33	92,00	92,67	89,00	89,67	89,00	88,67	
zadní pravý - 100cm	91,33	90,00	90,00	N	N	90,33	87,00	94,33	92,67	89,67	89,67	88,33	
zadní levý - 50cm	39,00	40,33	39,00	N	N	40,00	41,67	39,67	40,00	40,00	40,33	39,33	
zadní pravý - 50cm	40,00	40,00	40,00	N	N	42,33	41,00	41,00	45,00	40,00	40,33	38,67	

Škoda Superb													
	Karton	Polystyren	Plech	Molitan	Čedičková vata	Sklo - drátěné	Okenní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osbo deska	Deska lamino	Perlinka fasádní	
přední levý - 100cm	0,47	0,47	3,86	N	N	0,82	0,47	2,16	1,25	1,25	1,70	0,94	
přední pravý - 100cm	1,25	2,16	3,30	N	N	0,47	1,25	2,45	0,94	1,25	0,82	2,87	
přední levý - 50cm	0,47	0,47	1,89	N	N	0,82	2,83	1,25	1,25	0,47	3,56	2,62	
přední pravý - 50cm	0,94	0,47	0,47	N	N	4,19	1,25	1,25	0,47	3,40	0,47	1,70	
zadní levý - 100cm	1,41	0,47	2,87	N	N	2,49	1,41	1,25	4,90	0,47	1,41	1,25	
zadní pravý - 100cm	0,47	2,16	0,82	N	N	0,94	4,97	1,70	1,89	0,47	0,47	0,47	
zadní levý - 50cm	2,16	0,47	2,16	N	N	0,82	1,70	2,05	1,41	0,82	0,47	1,25	
zadní pravý - 50cm	0,00	0,00	0,82	N	N	4,64	0,82	2,16	4,97	0,82	0,47	1,25	

Příloha. II Tabulky s naměřenými hodnotami u vozidla Škoda Rapid a vypočtené směrodatné odchytky

Škoda Rapid													
	Karton	Polystyren	Plech	Molitan	Čedičová vata	Sklo - drátěné	Okerní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osb deska	Deska lamino	Perlinka fasádní	
přední levý - 100cm	95,33	95,33	99,00	N	N	97,67	100,00	102,00	102,67	99,33	99,00	95,67	
přední pravý - 100cm	93,67	96,00	100,00	N	N	93,00	100,33	99,33	106,67	99,00	99,00	95,33	
přední levý - 50cm	39,33	39,00	37,67	N	N	49,67	51,33	46,00	52,00	42,67	39,33	38,00	
přední pravý - 50cm	37,00	38,67	35,67	N	N	53,67	46,67	45,00	48,33	43,00	39,67	39,33	
Zadní - 100cm	95,00	95,33	95,67	N	N	95,67	101,00	107,67	105,00	95,33	93,00	88,33	
Zadní - 50cm	44,67	44,00	42,00	N	N	40,00	45,33	55,67	49,33	46,67	43,00	39,00	

Škoda Rapid													
	Karton	Polystyren	Plech	Molitan	Čedičová vata	Sklo - drátěné	Okerní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osb deska	Deska lamino	Perlinka fasádní	
přední levý - 100cm	3,09	1,25	0,00	N	N	1,89	0,82	0,82	2,05	0,47	0,00	2,82	
přední pravý - 100cm	3,40	0,82	0,00	N	N	2,94	1,25	1,70	2,49	0,00	0,00	2,36	
přední levý - 50cm	0,47	0,00	2,62	N	N	1,25	0,47	2,16	1,63	5,19	1,25	1,63	
přední pravý - 50cm	3,56	0,47	5,44	N	N	2,36	5,56	1,63	1,25	5,66	1,70	1,25	
Zadní - 100cm	0,00	0,94	0,94	N	N	0,47	7,07	10,34	1,41	0,47	2,16	2,05	
Zadní - 50cm	0,47	0,82	2,16	N	N	6,00	4,11	7,32	8,58	1,89	2,83	0,82	

Příloha. III Tabulky s naměřenými hodnotami u vozidla Škoda Octavia a vypočtené
směrodatné odchytky

Škoda Octavia													
	Karton	Polystyren	Plech	Molitan	Čedčicová vata	Sklo - drátěné	Okenní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osb deska	Deska lamino	Perlinka fasádní	
přední levý - 100cm	94,00	94,00	96,67	N	N	110,67	102,67	108,00	107,33	94,00	94,00	93,67	
přední pravý - 100cm	100,33	100,33	101,00	N	N	110,33	102,67	107,00	106,67	100,00	100,67	99,00	
přední levý - 50cm	52,00	52,00	52,00	N	N	55,67	53,33	50,67	52,67	51,67	51,67	50,00	
přední pravý - 50cm	52,00	52,00	52,00	N	N	54,67	53,67	51,33	53,67	51,67	52,00	50,33	
zadní levý - 100cm	100,00	98,67	100,67	N	N	100,67	100,33	102,67	102,67	100,33	101,33	100,33	
zadní pravý - 100cm	101,00	99,00	100,67	N	N	101,33	101,00	102,67	102,67	100,67	102,33	100,67	
zadní levý - 50cm	48,33	47,67	47,33	N	N	49,00	48,67	50,00	50,67	50,00	49,00	50,67	
zadní pravý - 50cm	48,33	48,00	47,33	N	N	51,33	48,67	51,00	51,67	51,00	52,00	50,33	

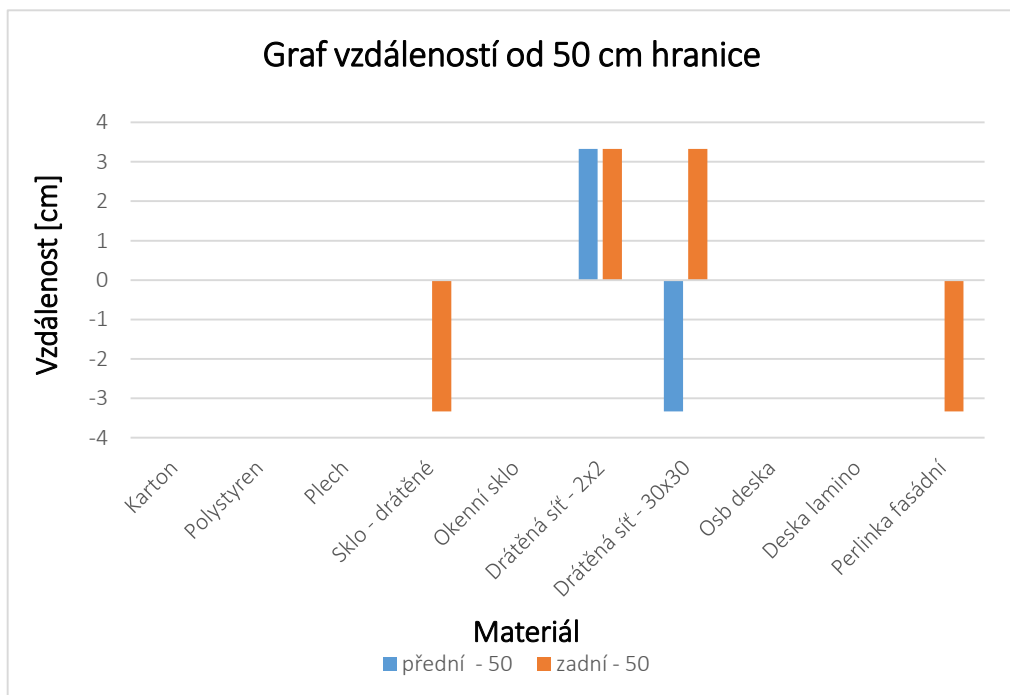
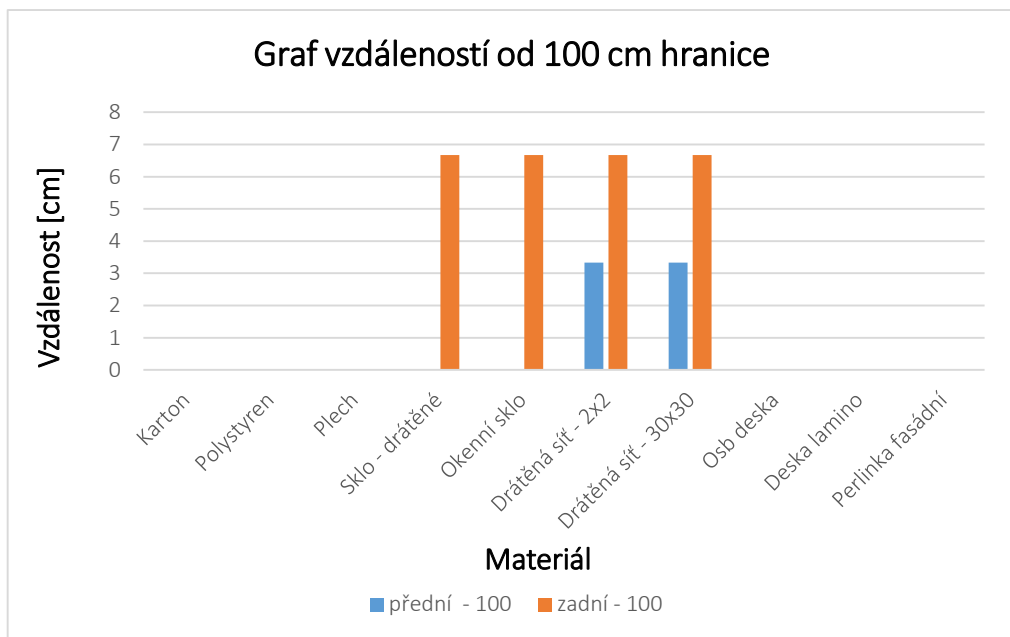
Škoda Octavia													
	Karton	Polystyren	Plech	Molitan	Čedčicová vata	Sklo - drátěné	Okenní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osb deska	Deska lamino	Perlinka fasádní	
přední levý - 100cm	0,00	0,00	3,09	N	N	1,70	1,25	4,32	0,94	0,00	0,00	0,47	
přední pravý - 100cm	0,47	0,47	0,00	N	N	2,05	0,47	2,16	1,89	0,00	0,47	0,82	
přední levý - 50cm	0,00	0,00	0,00	N	N	0,94	0,47	1,25	4,78	0,47	0,47	0,82	
přední pravý - 50cm	0,00	0,00	0,00	N	N	0,47	0,47	0,47	5,44	0,47	0,00	0,47	
zadní levý - 100cm	0,00	1,25	0,47	N	N	0,47	0,47	1,89	0,94	0,47	0,47	0,47	
zadní pravý - 100cm	0,00	1,41	0,47	N	N	0,94	0,82	1,89	0,94	0,94	0,47	0,47	
zadní levý - 50cm	0,47	0,47	1,25	N	N	0,00	0,47	0,82	2,36	0,82	0,00	0,47	
zadní pravý - 50cm	0,47	0,82	1,25	N	N	1,70	0,47	0,82	2,05	1,41	0,00	3,09	

Príloha. IV Tabulky s naměřenými hodnotami u přídavných senzorů Valeo beep and park s nastavením na nízkou a vysokou senzitivitu

Valeo beep and park - Nízká senzitivita												
	Karton	Polystyren	Plech	Molitán	Čedivová vata	Sklo - drátěné	Okenní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osb. deska	Deska lamino	Perlinka fasádní
přední levý - 100cm	100	100	100	N	N	100	100	103,33	106,67	100	100	100
přední pravý - 100cm	100	100	100	N	N	100	100	103,33	106,67	100	100	100
přední levý - 50cm	50	50	50	N	N	43,33	50	50	56,67	50	50	50
přední pravý - 50cm	50	50	50	N	N	43,33	50	50	56,67	50	50	50
zadní levý - 100cm	100	100	100	N	N	103,33	103,33	110	103,33	100	113,33	100
zadní pravý - 100cm	100	100	100	N	N	103,33	103,33	110	103,33	100	113,33	100
zadní levý - 50cm	50	50	50	N	N	43,33	46,67	53,33	50	50	50	46,67
zadní pravý - 50cm	50	50	50	N	N	43,33	46,67	53,33	50	50	50	46,67

Valeo beep and park - Vysoká senzitivita												
	Karton	Polystyren	Plech	Molitán	Čedivová vata	Sklo - drátěné	Okenní sklo	Drátěná síť - 2x2	Drátěná síť - 30x30	Osb. deska	Deska lamino	Perlinka fasádní
přední levý - 100cm	100	100	100	N	N	100	100	103,33	103,33	100	100	100
přední pravý - 100cm	100	100	100	N	N	100	100	103,33	103,33	100	100	100
přední levý - 50cm	50	50	50	N	N	50	50	53,33	46,67	50	50	50
přední pravý - 50cm	50	50	50	N	N	50	50	53,33	46,67	50	50	50
zadní levý - 100cm	100	100	100	N	N	106,67	106,67	106,67	106,67	100	100	100
zadní pravý - 100cm	100	100	100	N	N	106,67	106,67	106,67	106,67	100	100	100
zadní levý - 50cm	50	50	50	N	N	46,67	50	53,33	53,33	50	50	46,67
zadní pravý - 50cm	50	50	50	N	N	46,67	50	53,33	53,33	50	50	46,67

Příloha. V Grafy vzdáleností pro senzory Valeo beep and park s vysokou senzitivitou



Příloha. VI Grafy vzdáleností pro senzory Valeo beep and park s nízkou senzitivitou

