

Zkoumání zranitelností elektronických bezpečnostních komponent vozidel

Jakub Hoffmann

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Hoffmann**
Osobní číslo: **A21383**
Studijní program: **B1032A020001 Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Zkoumání zranitelností elektronických bezpečnostních komponent vozidel**
Téma práce anglicky: **Investigation of vulnerabilities in electronic security components of vehicles**

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši zkoumající současný stav v oblasti bezpečnostních senzorů automobilů.
- Navrhněte prototypy bezpečnostních senzorů s využitím platformy Arduino.
- Navrhněte experimenty ověřující funkčnost a odhalující slabiny bezpečnostních senzorů.
- Ověřte získané výsledky experimentů na reálném produktu.
- Analyzujte a vyhodnoťte výsledky výzkumu.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Ing. VAVŘÍK, Jan. *Bezpečnostní prvky a vision systémy vozidel* [online]. 2010 [cit. 2023-11-08]. Dostupné z: https://home.zcu.cz/rcermak/opvk_cm/M_06.pdf
2. ZIMMER, Vojtěch Dis. *ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY PASIVNÍ A AKTIVNÍ BEZPEČNOSTI V SILNÍCH VOZIDLECH* [online]. Pardubice, 2021 [cit. 2023-11-09]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/77995/ZimmerV_ElektronickeSystemy_VL_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ing. Václav Lenoč, Ph.D.
3. GONTER, Mark; SEIFFERT, Ulrich W. *Integrated automotive safety handbook*. SAE international, 2013, ISBN 9780768064377
4. ROBERT BOSCH GMBH.; WINNER, H. *ACC adaptive cruise control*. Robert Bosch GmbH, 2003. ISBN 9780837610467
5. BLOCHER, Joseph a MILLER, Darrel A. H. *Automotive System Safety*. John Wiley And Sons, 2020. ISBN 9781119579625

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Stanislav Kovář, PhD.
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. prosince 2023

Termín odevzdání bakalářské práce:

28. května 2024

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 27. 5. 2024

Jakub Hoffmann, v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá popisem a zkoumáním elektronických bezpečnostních komponent vozidel, které jsou v dnešní době už standartním vybavením nových vozidel. Teoretická část popisuje využívané elektronické bezpečnostní komponenty vozidel, odhaluje základní principy a vysvětluje funkce, popřípadě pojedná o již povinných systémech. Jedním z cílů práce je vytvoření prototypu automobilu pomocí platformy Arduino, který bude obsahovat elektronické bezpečnostní systémy. Popisuje využití komponenty při tvorbě a vysvětluje kód. Dále praktická část popisuje provedení vymyšlených experimentů, které ověřují funkčnost vytvořených systémů a reálného modelu. V experimentech byla ověřena funkce daných systémů a ověřilo se, při jakých podmínkách systémy pracují. Experimenty bylo také ověřeno, jakým způsobem lze vybrané systémy ovlivnit nebo narušit jejich funkci.

Klíčová slova: Elektronické bezpečnostní systémy vozidel, asistenční systémy, Arduino, parkovací senzory, ultrazvukový senzor, mikrovlnný senzor, experimenty.

ABSTRACT

The bachelor's thesis focuses on the description and examination of electronic safety components in vehicles, which are now standard equipment in new vehicles. The theoretical part describes the electronic safety components used in vehicles, reveals the basic principles, and explains their functions, or discusses mandatory systems. One of the goals of the thesis is to create a car prototype using the Arduino platform, which will include electronic safety systems. It describes the components used in the creation and explains the code. Furthermore, the practical part describes the execution of designed experiments that verify the functionality of the created systems and a real model. The experiments verified the function of the given systems and determined the conditions under which the systems operate. The experiments also verified how selected systems can be influenced or disrupted in their function.

Keywords: Electronic vehicle safety systems, assistance systems, Arduino, parking sensors, ultrasonic sensor, microwave sensor, experiments.

Poděkování patří Panu Ing. Stanislavu Kovářovi PhD., který práci vedl, byl nápomocen a vynaložil čas na konzultace v průběhu tvorby práce. Poděkování si zaslouží také moje rodina, která mě při studiu neustále podporovala. Poslední díky patří mé podporující přítelkyni.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 HISTORIE	11
2 AKTUÁLNÍ STAV	13
2.1 LEGISLATIVA.....	13
2.2 AKTIVNÍ A PASIVNÍ BEZPEČNOSTNÍ PRVKY	14
2.3 PARKOVACÍ SYSTÉMY	14
2.3.1 Pomocník při parkování	15
2.3.2 Optický parkovací systém	15
2.3.3 Automatické parkování	17
2.3.4 Doplňující systémy.....	17
2.4 SYSTÉM STAVU TLAKU V PNEUMATIKÁCH.....	18
2.5 HLÍDÁNÍ JÍZDY V PRUHU.....	19
2.6 NOUZOVÉ BRZDĚNÍ	20
2.7 FUNKCE HLÍDÁNÍ MRTVÉHO ÚHLU.....	20
2.8 ADAPTIVNÍ TEMPOMAT	21
2.9 ADAS.....	23
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 POPIS PROTOTYPU	27
3.1 POUŽITÉ SOUČÁSTKY PRO PROTOTYP	27
3.1.1 Arduino Uno.....	27
3.1.2 Nepájivé pole	28
3.1.3 Mikrovlnný senzor	29
3.1.4 Ultrazvukový senzor	30
3.1.5 H – můstek L298N	32
3.1.6 Bateriový box	33
3.1.7 Motory.....	35
3.1.8 Karoserie prototypu.....	36
3.1.9 Propojovací kabeláž	36
3.1.10 Bluetooth modul.....	37
3.2 VYTVOŘENÝ PROTOTYP	38
3.3 ZAPOJENÍ.....	40
3.4 PROGRAM PROTOTYPU	41
3.5 MODEL REÁLNÉHO AUTOMOBILU	41
4 EXPERIMENTY PROVEDENÉ NA PROTOTYPU	43
4.1 MĚŘENÍ EMI POMOCÍ GTEM KOMORY.....	43
4.2 MĚŘENÍ V SEMI-ANECHOICKÉ KOMOŘE.....	50

4.3	MĚŘENÍ EMI POMOCÍ SPECTRAN HF – 6065	53
4.4	MĚŘENÍ EMS VYUŽITÝCH SENZORŮ	55
4.4.1	Měření mikrovlnného detektoru.....	55
4.4.2	Měření ultrazvukového detektoru	58
4.5	MĚŘENÍ SCHOPNOSTI ABSORBOVAT VYSÍLANÝ SIGNÁL	60
4.5.1	Absorbéry	61
4.5.2	Molitan	62
4.5.3	Polystyrenový plát.....	63
4.5.4	Objekt s povrchovou úpravou z mědi	64
4.6	TEPLOTNÍ TESTOVÁNÍ.....	65
5	EXPERIMENTY PROVEDENÉ NA REÁLNÉM MODELU.....	69
5.1	PARKOVACÍ SENZORY A MATERIÁLY	69
5.1.1	Absorbéry	69
5.1.2	Molitanový hranol	70
5.1.3	Polystyrenový plát.....	70
5.2	MĚŘENÍ OKOLÍ POMOCÍ ZAŘÍZENÍ SPECTRAN	71
5.3	SIMULACE ZNEČIŠTĚNÍ SENZORŮ.....	73
5.4	NARUŠENÍ POLE PARKOVACÍCH SENZORŮ.....	77
	ZÁVĚR	79
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM TABULEK.....	90
	SEZNAM PŘÍLOH.....	91

ÚVOD

Bakalářská práce s tématem „Zkoumání zranitelnosti elektronických bezpečnostních komponent“ se zaměřuje na popis a ověření funkčnosti vytvořených i reálných bezpečnostních systémů. V moderních automobilech se bezpečnostní systémy stále zdokonalují a společnost na ně klade stále vyšší požadavky a má stále vyšší očekávání. Spousta lidí tyto systémy používá každodenně, ale mnohdy nemají dostatečné informace o základních vlastnostech systémů.

Teoretická část popisuje běžně využívané bezpečnostní systémy, které se dají standardně najít v automobilech. Zmiňuje a vysvětluje každý systém zvlášť, kde z popisu lze jednoduše pochopit, jak systémy fungují. Byla zmíněna i část o legislativě a povinných systémech, kdy Evropská unie se snaží o obecné zvýšení bezpečnosti na evropských cestách. Tudíž vznikají vyhlášky, které stanovují povinné systémy, jak v osobních automobilech, tak i v nákladních vozech. Pozornost byla věnována i autonomním vozidlům, jelikož se zvyšující se implementací bezpečnostních a asistenčních systémů se zvyšuje úroveň autonomního řízení, ve kterém je budoucí vize automobilového průmyslu a autodopravy. V praktické části se následně věnuje představení a popisu vyvíjeného prototypu vozidla, které je opatřeno bezpečnostními systémy na platformě Arduino. Popsány jsou všechny využité součástky, včetně ukázky a vysvětlení kódu, na kterém prototyp funguje. Následně je zbytek práce věnován popisu průběhu a výsledků experimentů, které byly vymyšleny a provedeny. Experimenty byly vyzkoušeny na prototypu pomocí GTEM komory a semi-anechoické komory, kde se provádělo testování elektromagnetické interference (EMI) a elektromagnetické susceptibility (EMS). Zjišťovalo se, jakým způsobem systémy fungují a jestli existuje nějaký způsob, jak systémy narušit a ovlivnit výsledky. Se stejným cílem probíhalo měření reálného automobilu, kde bylo využito ručního spektrometru k měření EMI. Systémy byly podrobeny i fyzickým experimentům, kdy bylo zkoušeno, jak senzory reagují na jednotlivé druhy materiálů, popřípadě jak mohou různé scénáře zmařit systém. V potaz bylo bráno i běžně vyskytující se prvky na cestách, a to usedání prachu a špíny na samotné senzory. Bylo zjišťováno, jak ultrazvukové senzory reagují na různé formy zašpinění.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE

První automobily se začaly objevovat na počátku 20. století. V té době nebyla ovšem bezpečnost vozidel nikterak hluboce zkoumána či řešena. Konstrukce nebyla navržena pro bezpečný provoz, což vedlo ke smrtelným nehodám již při rychlosti 40 km/h, tedy na dnešní poměry nízké rychlosti. [1]

Při pohledu zpět na historii a vývoj bezpečnostních komponent se dá zjistit, že první snahy o zvýšení bezpečnosti automobilů byly pasivní systémy, které se začaly využívat okolo 50. let minulého tisíciletí. V té době byly automobily hlavně mechanická záležitost a elektroniku bychom hledali těžko. Ta se v podstatě využívala na osvětlení vozidla. Jako jeden z prvních prvků byl vynalezen bezpečnostní pás. O tomto konceptu se již uvažovalo v 19. století, kde mělo mít využití v bezmotorových kluzácích. Pak následně v první polovině 20. století bylo pár pokusů o využití pásů v automobilech. Většina těchto pokusů byla buď nevhodně fungujících, nebo nebyly implementovány do sériových vozidel, a tudíž nebyl tento vynález v povědomí širší veřejnosti. [1]



Obrázek 1 - První sériově vyráběné pásy [2]

S fungujícím konceptem bezpečnostních pásů, které byly implementovány do sériového vozu přišla jako první automobilka Volvo. Ta je považována za průkopníka bezpečnostních systémů vozidel, a do dnešní doby je brána jako jedna z nejvíce bezpečných automobilek. V roce 1959 přišlo Volvo s třibodovým bezpečnostním pásem. Následně se pak začal klást větší důraz na bezpečnost automobilů. Pásy se začaly zavádět jako povinný prvek výbavy a posádka (prvně pouze řidič, následně i cestující na zadních sedadlech) měla povinnost za jízdy využít těchto pásů. S toutle povinností přišla jako první Austrálie, další státy se pak začaly přidávat. Například v tehdejší Československu bylo v roce 1967 zavedena povinnost využít pásy pro řidiče a spolujezdce na předním sedadle, ale pouze mimo obec. Dále se v roce 1976 zahrnuli i cestující na zadních sedadlech, a v roce 1990 už museli být připoutáni všichni ve vozidle i v obci. [2], [3], [4]

Dalším velkým milníkem v historii bezpečnostních systému v automobilech byl vynález a zavedení airbagů. V 70. letech se v USA začaly vyrábět některé automobily, které měly místo pásů takzvané vzduchové polštáře. Tohle ovšem nebyla standartní výbava, ale dodávalo se pouze na přání zákazníka. Jenže tahle vymoženost nešla moc na odbyt, během tří let se v Americe prodalo jen zhruba 10 000 vozidel s toutle výbavou. Změna nastala v 80. letech, kdy známá značka Mercedes-Benz přišla se systémem, kde se využívala kombinace bezpečnostních pásů a airbagu. Pokud senzory zaznamenaly náraz, tak se pásy automaticky zasekly, aby zajistily pohyb pasažéra a zároveň s tím se spustil airbag, který měl jít do protipohybu. [1], [3]

První systém ABS byl zaveden taktéž firmou Mercedes-Benz v roce 1978. Jejich návrh vzniknul již na začátku 70. let, firma ale vyhodnotila, že systém není dokonale funkční. Tento koncept byl předán firmě Bosch, která s Mercedesem spolupracovala, ta systém zdokonalila a ten mohl být pak uveden jako první v sériově vyráběném automobilu. Ze systému ABS si následně odvodili funkci nového systému ESP. Tenhle systém zavedli na trh v roce 1995. Následně nabídli tuhle technologii zdarma ostatním automobilkám s cílem zvýšit bezpečnost na cestách. [1], [3], [4]

Na přelomu tisíciletí se s elektronickými bezpečnostními systémy začalo více experimentovat a vznikaly první prototypy a modely již moderních systémů, jako jsou například asistent jízdy v pruhu, parkovací pomocné systémy, adaptivní tempomaty a spousta dalších, které měly zvýšit komfort cestování v automobilu, ale také zvýšit bezpečnost na silnicích. [3], [4]

2 AKTUÁLNÍ STAV

V dnešní době je bezpečnost automobilů na vysoké úrovni. Prvky pasivní a aktivní bezpečnosti spolu dobře spolupracují a dokáží nejen předejít srážce, ale zároveň při kolizi ochránit pasažéry. Samozřejmě faktor, zda cestující přežije danou kolizi závisí na správném využití bezpečnostních systémů. Naštěstí se v dnešní době klade důraz na informovanost veřejnosti. Stejně tak automobily jsou stavěné, aby byl řidič upomínán na využití bezpečnostních prvků a věnování se řízení, například kontrola nepřipoutaných osob v automobilu. [5], [6], [7]

2.1 Legislativa

Elektronické bezpečnostní systémy jsou nedílnou součástí automobilů. Spousta těchto prvků je obsažena ve standardní výbavě nových aut. Některé prvky musí být dokonce povinně instalovány v nových vozidlech. Tyhle předpisy, které udávají, jaké prvky bezpečnostních systémů jsou povinné najdeme ve směrnicih bývalého EHS nebo ES, v dnešní době tyhle legislativní prvky určuje Evropská Unie a Evropská hospodářská komise. Legislativa také určuje, jakým způsobem musí být prováděny bezpečnostní testy těchto prvků. [5], [8]

V roce 2019 vydala Evropská unie nařízení číslo 2019/2144. Tohle nařízení začalo platit od léta roku 2022 a jeho obsahem je úprava povinných bezpečnostních systémů v nových vozidlech. V platnosti není pouze nové nařízení, ale samozřejmě platí i ty předešlé, které nařizují využití jiných systémů, jako je například bezpečnostní pásy, ABS, detekce zapnutých pásů, ESP a další. Nové nařízení z roku 2019 obsahuje:

- povinný systém nouzového brždění pro všechny vozidla (jak osobní, tak užitková), který má za úkol rozeznat překážku (vozidlo) v trase automobilu a následně zastavit. Po roce 2024 by tento systém měl být schopný rozeznávat cyklisty a chodce;
- povinně musí být ve vozidlech zahrnut systém detekce únavy řidiče;
- výbava všech vozidel musí obsahovat systém hlídání jízdních pruhů a systém inteligentní kontroly rychlosti, který hlídá maximální rychlost na daném úseku;
- všechna vozidla musí obsahovat parkovací detekční systémy pro zvýšení bezpečnosti při parkování vozidla;
- všechna vozidla budou mít systém kontroly mrtvého úhlu, nákladní automobily budou muset dále využívat systému pro vybočování z pruhu;

- vozidla budou povinně vybavena technologií černé skříňky;
- vozidla budou vybavena signalizačním systémem, který bude ostatní řidiče informovat o prudkém/nouzovém zastavení a využití ABS;
- užitková vozidla včetně autobusů a přívěsů budou mít také systém kontroly tlaku v pneumatikách, které upozorní dopředu řidiče na případný defekt. Nákladní a osobní vozidla tuhle povinnost mají již od roku 2012. [5]

2.2 Aktivní a pasivní bezpečnostní prvky

Bezpečnostní prvky ve vozidlech se rozlišují na aktivní a pasivní. Jejich zásadním rozdílem je jejich cíl. Aktivní bezpečnostní prvky mají za úkol předejít kolizi, tudíž pomáhají řidiči zvládat běžné i složité dopravní situace. Do téhle skupiny lze zařadit spoustu prvků a systémů, počínaje brzdným ústrojím a kvalitními pneumatikami. Patří sem také velká skupina různých elektronických bezpečnostních asistentů, které mohou zasahovat do řízení a ovládat jednotlivé části vozidla. Můžeme sem zařadit například systémy jako ABS, ESP, ASR, ale také spoustu bezpečnostních asistentů. [7], [7], [10], [[11]

Pokud se stane, že aktivní bezpečnost neodvrátí kolizi, tak na scénu nastupují prvky pasivní bezpečnosti. Ty naopak chrání cestující při nárazu, tudíž střetu nezabrání, ale snaží se snížit dopady nárazu. Mezi tyto prvky patří například všechny formy zádržných systémů (bezpečnostní pásy a dětské autosedačky), bezpečná karoserie, která odolá nárazu a svou deformací neporaní cestující, dále například opěrka hlavy, která musí být správně nastavená, nebo také airbagy, které spolupracují se zádržnými systémy. Mohou zde také patřit různé SOS systémy, které při nehodě zjistí stav cestujících a při nereagování automaticky zkontaktují integrovaný záchranný systém a dodá veškeré potřebné informace. Důležité je zmínit, že prvky aktivní a pasivní bezpečnosti spolu komunikují a spolupracují, což ještě zvyšuje bezpečnost cestování. I když je v dnešní době celková bezpečnost na velmi vysoké úrovni, je potřeba mít na vědomí, že všechno se dá překonat. Proto je potřeba umět tyto systémy používat a jednat tak, aby nemusely zasahovat. [5], [7], [11]

2.3 Parkovací systémy

Parkovací systémy jsou v dnešní době běžnou výbavou osobních i užitkových vozidel. Spousta lidí na ně spoléhá a nedokáže si bez nich představit přesné parkování k nějaké překážce. Systémů máme více druhů, některé jsou pouze informativní a práci při parkování odvádí stále řidič vozidla, ovšem existují i autonomní systémy, které odvedou téměř

veškerou práci za řidiče. Využíváme zde buď technologii ultrazvuku, nebo různé obrazové formy skrze kameru. Samozřejmě se tyhle systémy kombinují a navzájem doplňují. [12], [13]

Ultrazvuk má široké spektrum využití, jedná se o akustické vlnění, které je pro lidské ucho neslyšitelné, jelikož se pohybuje nad hranicí naší slyšitelnosti (zhruba 20 kHz). Fyzikální princip je stejný jako u zvuku, ovšem my nejsme schopni ho slyšet. To ale neplatí pro zvířata, ty mají mnohem preciznější zvuk a jsou schopny ho slyšet, někdy i využívat. Technologie ultrazvuku se využívá například pro zdravotnické účely, nás bude ovšem zajímat pro zjišťování vzdálenosti. V tomhle případě se používá zhruba frekvence 38 kHz. [12], [14]

2.3.1 Pomocník při parkování

Tento systém patří k těm nejméně náročným, jelikož se jedná pouze o akustickou signalizaci řidiče. Využívá se zde ultrazvukových senzorů, které měří vzdálenosti okolo vozidla. Princip funkce spočívá v tom, že odeslaný signál ze senzoru se odráží od okolních objektů. Podle času, za který se odeslaný impuls vrátí, se dá určit vzdálenost, jelikož známe rychlost zvuku a čas cesty signálu. Funkce může být ovlivněna druhem materiálu, který by pohltil signál do své struktury a nedošlo by k odrazu. Princip fungování parkovacích senzorů je založen na Dopplerově jevu. Sensory jsou umístěny na náraznících vozidel. Existují různé varianty, buď pouze zadní senzory, nebo také kombinace zadních a předních. V případě pouze zadních senzorů se jedná o systém, který využívá běžně 3-4 kanálů. V případě předních i zadních bývá standartně využito 8 kanálového systému. Na jeden kanál připadá jeden ultrazvukový senzor, který svým záběrem měří určitou část prostoru okolo vozidla. Jednotka zpracovává signály ze senzorů a následně vytváří akustické upozornění, podle kterého se řidič může lépe orientovat. Signál se bere vždy ze senzoru, který je nejbližší k překážce. Čím je překážka blíže k vozidlu, tím roste frekvence opakování akustického upozornění. Jakmile je vozidlo již nebezpečně blízko k objektu (většinou se tahle hodnota pohybuje okolo 30 cm), tak se upozornění změní na souvislý tón. Na parkování je tenhle systém naprosto dostačující, ovšem je potřeba neustále sledovat okolí vozidla, jelikož systém má určitou odezvu. Tudíž pokud nám za vozidlo při parkování vejde chodec, tak systém ho zpracuje s určitou odezvou. [12], [13]

2.3.2 Optický parkovací systém

Tento systém nám nějakou formou zobrazuje okolí vozidla. V základu se jedná o ultrazvukové senzory doplněné o grafické rozhraní, které má i akustickou formu signalizace.

Z pravidla se jedná o obrázek automobilu, ke kterému se přibližují nějaké grafické objekty, většinou se jedná o nabývání čárek. Rozhraní umí zobrazovat takový počet kanálů, kolik jich máme na automobilu nainstalovaných, tudíž kolik máme senzorů. [12]



Obrázek 2 – ParkPilot[15]

Dalším způsobem, jak může být vedený optický parkovací systém je parkovací kamera. V osobních automobilech bývá běžně využita v kombinaci s ultrazvukovými senzory. U užitkových vozidel, zejména nákladních se běžně využívá jen kamery, jelikož senzory není kam bezpečně umístit. Parkovací kamera se často doplňuje různým grafickým rozhraním, které řidiči napovídá, jakým způsobem se bude vozidlo pohybovat při manévrování na parkovišti. Parkovací kamera bývá standartně umístěna na pátých dveřích, zhruba v okolí madla na otevření a přisvitu státní poznávací značky. U užitkových vozidel je doplněna svými vlastními přisvity, které zvyšují viditelnost řidiče při špatném světle. [12], [13]

V posledních letech se technologie posunula ještě o krok dále. Ve vozidlech s vyšší výbavou najdeme takzvanou 360 stupňovou parkovací kameru, která pomocí soustavy širokoúhlých čoček umístěných na stranách vozidla vytváří obraz, který je následně seskládán pomocí softwaru vozidla a zobrazuje kompletní okolí vozidla. Nazývá se také panoramatický systém a kamery se nacházejí na přední straně vozidla, na zadní části a zbylé dvě na zpětných zrcátkách. Pro řidiče to zpravidla vypadá tak, že na displeji vidí svoje vozidlo z vrchního pohledu, aby měl větší přehled o okolí. Tento systém taktéž spolupracuje s ultrazvukovými senzory. [13], [16]



Obrázek 3 - Parkování pomocí 360 stupňové kamery [16]

2.3.3 Automatické parkování

Jedná se o autonomní pomocný systém, který nám již zasahuje do řízení. Jeho úkolem je vyhledat vhodné parkovací místo pro naše vozidlo, a následně do místa zaparkovat. Pro správnou funkčnost tohoto systému musí být běžný 8 kanálový systém doplněn o další 2 kanály a také lepší řídicí jednotku. Tedy o senzory, které se umísťují na boční stranu předního nárazníku. Ultrazvukové senzory pro systém automatického parkování jsou o něco silnější než u běžných asistentů (standartně dosah okolo 2 metrů, u autonomního systému až 4 metry). [12]

Princip automatického parkování je takový, že řidič jede určitou rychlostí okolo řady zaparkovaných vozidel a boční senzory hledají volné místo ideální velikosti. Jakmile algoritmus uzná místo za vhodně veliké, řekne řidiči, kdy zastavit. Následně je vyzván k zařazení správného převodového stupně a ovládání plynu vozidla (u automatických převodovek stačí ovládat brzdu, u manuálních musí řidič pracovat i se spojkovým pedálem). Řídicí jednotka si následně pomocí signálu ze senzorů bude ovládat směr jízdy a dávat řidiči další pokyny pro precizní zaparkování. [12], [13]

2.3.4 Doplnující systémy

Parkovací systémy mohou být doplněny různými pomocnými funkcemi, které zvyšují jejich bezpečnost. Jedná se například o Rear traffic alert, který sleduje okolí vozu při vycouvávání

z parkovacího místa. Jelikož výhled řidiče je v takovém momentě omezen, senzory v zadní části vozu sledují okolí až 20 metrů a následně upozorňují řidiče skrze infotainment na přibližující se vozidla ze stran. Jako další si můžeme uvést Manouvre assist, který je doplňkem pomocníka k parkování. Pokud se řidič přibližuje k překážce i poté, co systém hlásí že je vozidlo blízko, tak systém sám zastaví vozidlo. Tento doplněk slouží jako pojistka, pokud řidič nereaguje na signály asistenta. [13]

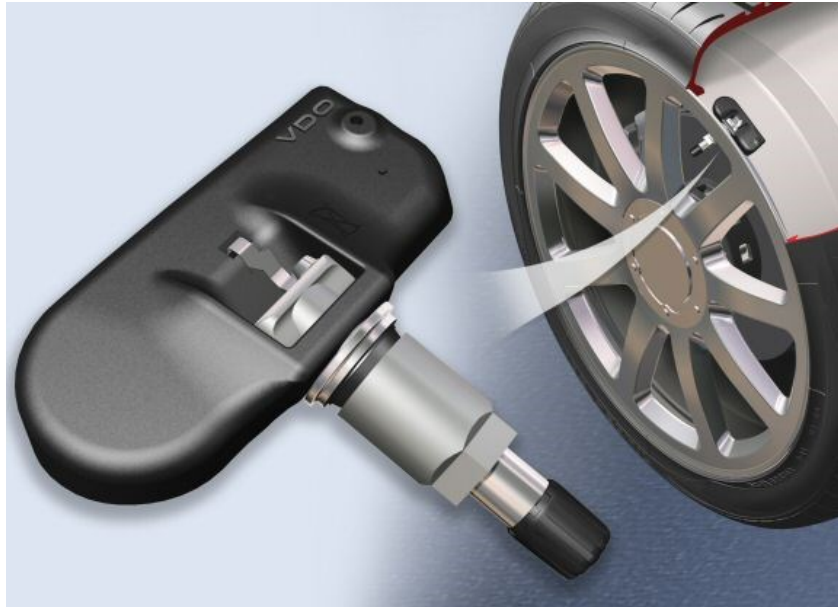
2.4 Systém stavu tlaku v pneumatikách

Tlak v pneumatikách na našem vozidle může silně ovlivňovat vlastnosti vozidla a schopnost manévrovat. A to ať už se jedná o podhuštěné či přehuštěné kolo. Obojí má vliv na jízdní vlastnosti a ekologii paliva, což může vést i k nehodě, pokud nastane situace, kdy je potřeba manévrovat s vozidlem. Nehledě na to, že se tímto dá předejít i úplnému vypuštění vzduchu z pneumatiky při defektu, díky čemuž pak může nastat roztržení pneumatiky a ztráta kontroly nad vozidlem. Systémy se dají rozdělit na dvě podskupiny, a to na přímé a nepřímé měření. [5], [17]

Nepřímé měření probíhá přes jiný subsystém vozidla. Využívá dat ze snímačů ABS, které jsou umístěny na každém kole. Jednotka vyhodnocuje jednotlivá data, a porovnává je mezi sebou. Pokud dojde k odchylce mezi signály, systém je schopen učít, že daná pneumatika má odlišný tlak od ostatních. Tahle varianta má své nesporné výhody ve využití již implementovaného systému, ovšem data, které nám jednotka dává jsou omezená. Jelikož se jedná o softwarový výpočet a odhad, tak nám systém neřekne, jaký je přesný tlak, pouze informuje o rozdílu, který nemusí být ani tak přesný. Jedná se o jednoduchý a funkční systém detekce, který se vyznačuje i svou spolehlivostí. [5], [17]

Druhá z variant je metoda přímého měření tlaku. Tahle varianta oproti té předešlé nabízí mnohem přesnější data. Systém je schopen řidiči sdělit jaký tlak má každá z jednotlivých pneumatik, což předchozí systém nedokázal. Dokáže zaznamenat pokles už o 0,2 baru, což zdaleka ještě není hodnota více podhuštěného kola, pokud budeme brát v potaz, že tlak v pneumatikách běžných osobních automobilů se pohybují zhruba mezi 2,2 - 2,8 baru. Využívá se speciálních tlakových senzorů, které se umísťují do ventilku z vnitřní strany pneumatiky a uchycují se na kolo. Lepší senzory jsou schopné poskytovat i informace o teplotě jednotlivých pneumatik. Nevýhoda je ve spolehlivosti, jelikož jsou senzory vystavovány složitým podmínkám, nejvíce na tohle trpí dokupované systémy, které nejsou součástí vlastní výbavy vozidla. Při každém přezouvání pneumatik je potřeba měnit baterii

v senzoru, a i nadále postupovat velice opatrně, jelikož senzory se například na přezouvačce mohou jednoduše poškodit. Řidič může v infotainmentu vozidla (popřípadě v přidavném zobrazovacím zařízení) sledovat tlak a teploty za různých podmínek. [5], [17]



Obrázek 4 - Snímač tlaku pneumatiky [17]

2.5 Hlídaní jízdy v pruhu

Tento asistenční a bezpečnostní systém má za úkol udržet vozidlo v pruhu, pokud za určitých podmínek algoritmus rozpozná změnu směru. Tahle funkce se objevila již v roce 1992, kdy ale oproti dnešnímu principu byl systém více omezený. První modely využívaly infračervených snímačů umístěných zespodu přední části vozidla. Pokud se senzory dostaly na úroveň bílé čáry na vozovce, tak zaznamenaly změnu a akustickým signálem upozornily řidiče. [5], [6]

V dnešní době se využívá kamery umístěné na čelním skle automobilu (nejčastěji v panelu, kde je usazené třetí zpětné zrcátko). Kamera sleduje cestu před vozidlem a načítá si bílé vodorovné značení na vozovce, podle kterých následně vyhodnocuje případné vybočení z jízdního pruhu. Název tohoto systému a různé drobné podmínky má každá automobilka jiné, ale jádro funkce je stejné. Aktivuje se při určité rychlosti (nejčastěji někde okolo 60-65 km/h) a pokud řidič nemá směrovku a začne vybočovat z pruhu, tak systém automaticky zasáhne do řízení a vrátí automobil zpět. Následně řidiče upozorní na věnování se řízení, popřípadě některé varianty i doporučují odpočinek. Může se zdát, že v tomhle případě dokáže automobil sám jet v pruhu a stačí využít adaptivního tempomatu v kombinaci s hlídáním jízdy v pruhu. Ovšem systém po pár varováních přestane vracet automobil do

jízdního pruhu. Funkce systému je také ovlivněna kvalitou kamery a povětrnostními podmínkami. Pokud na cestě vodorovné značení není, nebo je špatně viditelné, tak se nemá podle čeho řídit a nebude fungovat. [5], [6]

2.6 Nouzové brždění

Obecně je cílem bezpečnostních prvků vozidel zabránit střetu, ať už s nějakým objektem, automobilem jedoucím před námi nebo třeba chodcem. Pro srážku automobilu s chodcem je vyvíjena spousta dalších systémů, které jsou aktivního i pasivního charakteru. Principem nouzového brždění je měření objektů před vozidlem a následné varování řidiče před blížící se překážkou, popřípadě autonomně zastavit vozidlo a předejít tak kolizi při nepozornosti řidiče nebo špatné reakci. Systém získává data z radaru, který se využívá pro adaptivní tempomat. Algoritmus si bere informace o vzdálenosti od různých objektů a společně s aktuální rychlostí našeho vozidla je schopen určit brzdovou dráhu, kterou budeme potřebovat k bezpečnému zastavení. Například systém, který využívá Škoda ve svých modelech se nazývá Front Assist a pracuje ve třech krocích, které na sebe navzájem navazují. Pokud se objeví objekt před vozidlem, tak prvně proběhne pouze grafické upozornění řidiče skrze infotainment. Pokud řidič nijak nereaguje a dále se přibližuje k objektu, tak nastává i zvukové upozornění, a auto se připraví na nouzové brždění. Brzdový systém zvýší svůj tlak v okruhu, aby se zkrátila reakční doba a zvýšila citlivost brzdy, dále připraví brzdové třmeny tím, že sníží vzdálenost brzdových desek a kotouče. Pokud ani v tuhle chvíli řidič nezačne brzdit, tak systém autonomně spustí nouzové brždění se zpomalením až 6 m/s^{-2} . Tyhle kroky se spouští již od 5 km/h, tudíž je systém velice citlivý a dokáže zaznamenat překážky i v složitých městských podmínkách. [5]

2.7 Funkce hlídání mrtvého úhlu

Mrtvý úhel je problematika, která trápí řadu řidičů. Samozřejmě záleží na konstrukci automobilu, jelikož z každého auta jsou jiné pozorovací úhly. I když je ale z vozidla sebevíc vidět, mrtvým úhlům se nevyhneme. Díky tomuto pak mohou vznikat nehody, kdy řidič nevěnoval tolik pozornosti kontrole, zda opravdu je pruh volný (zejména při změně jízdního pruhu). Využívá se dvou principů, díky kterým je nám automobil schopný říct, zda je bezpečné přejet či odbočit. Jeden z principů je využití kamery ve zpětném zrcátku, která má výhled do míst kam řidič nevidí. Ta pak vyhodnocuje, zda je prostor prázdný, nebo ne.

Další varianta je využití senzorů na bočních stranách zadní části vozidla, které se využívají také pro již zmiňovanou funkci Rear traffic alert. Tyhle senzory pokrývají celou část mrtvého úhlu a sledují vzdálenost až 20 metrů, aby nedošlo nejen ke srážce, ale ani k nebezpečnému narušení plynulosti provozu. [5], [6], [18]



Obrázek 5 - Sledování mrtvého úhlu pomocí radarového senzoru[18]

Indikace probíhá zpravidla na zpětných zrcátkách, kde se nachází dioda. Ta se rozsvítí v případě, že se v mrtvém úhlu nachází jiné vozidlo, které bychom ohrozili. Některé automobilky využívají i akustického upozornění řidiče, pokud i přes výstrahu rozsvícené diody bude pokračovat ve změně směru jízdy. [5], [6]

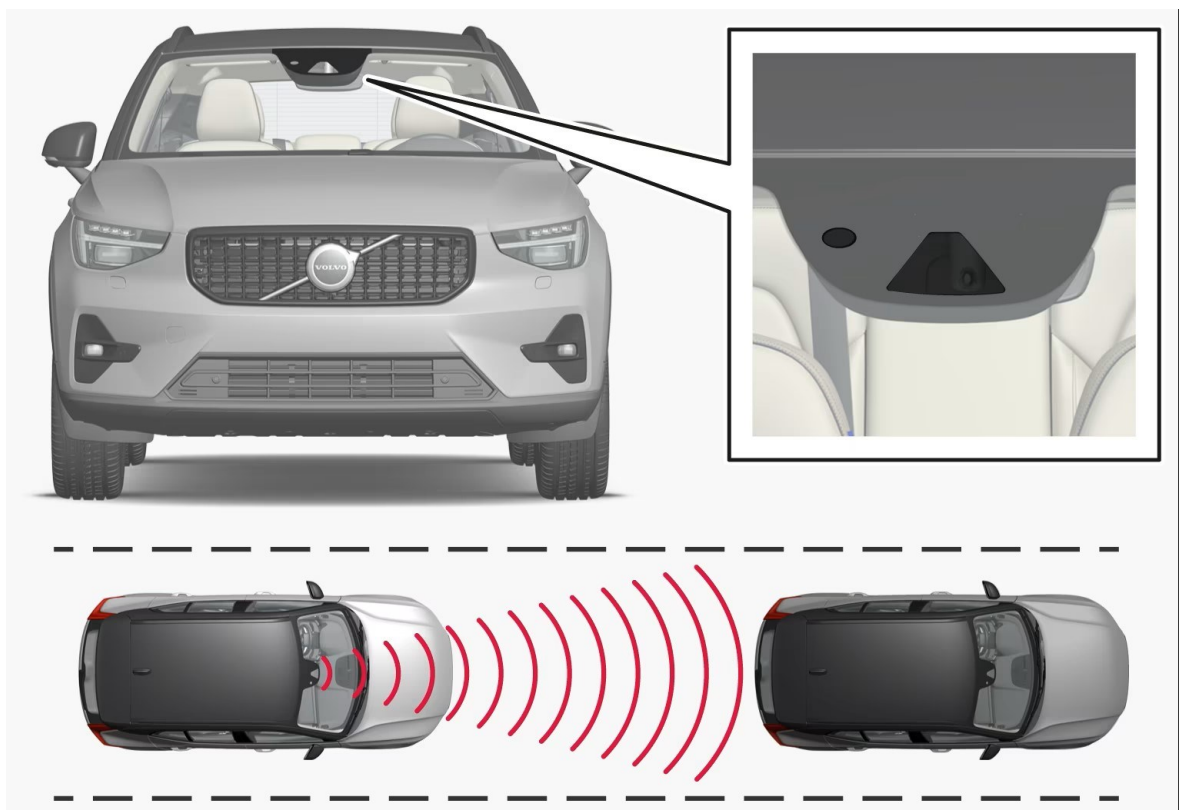
2.8 Adaptivní tempomat

Adaptivní tempomat je pro mnohé již nedílnou součástí výbavy automobilu. Zpříjemňuje cestování téměř ve všech případech, ať už se jedná o jízdu v městské části, nebo rychlejší jízdu na dálnici. ACC se skládá z několika částí:

- radar;
- řídicí jednotka;
- aktuátor;

- kamera;
- software. [19], [20]

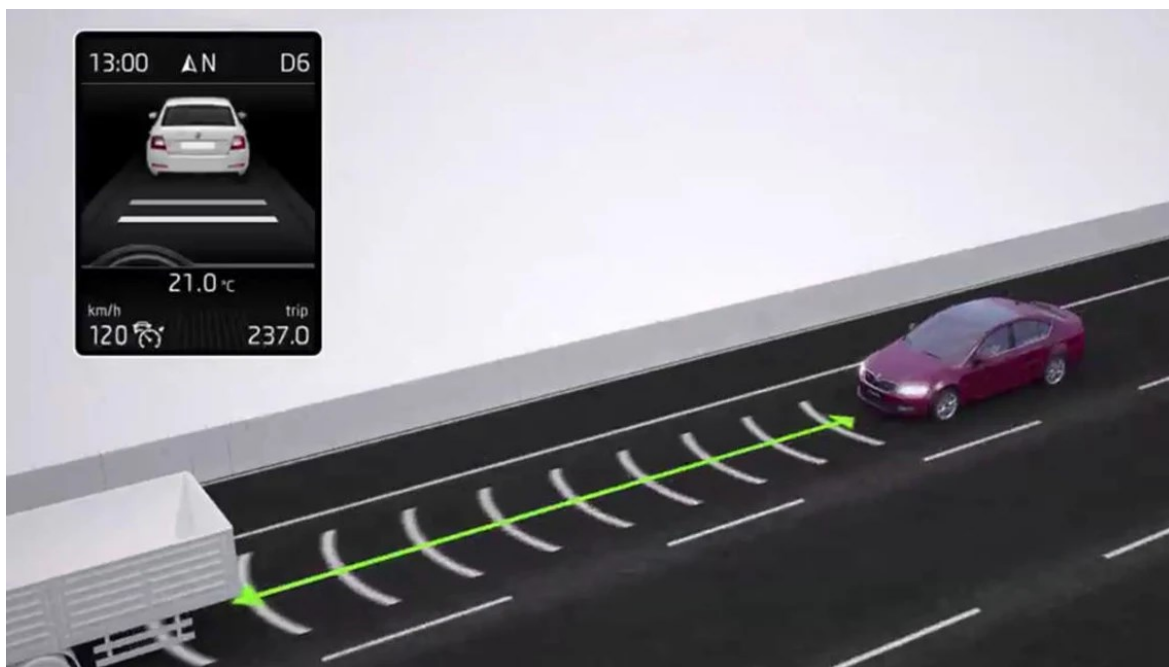
Celý systém je řízen součinností již zmíněných členů. Radar bývá umístěn na přední části automobilu, převážně v okolí masky. Vyslané signály se odráží od objektů před vozidlem, data z radaru se nadále vyhodnocují v řídicí jednotce. S pomocí dat z kamery má systém přehled o dění před vozidlem. Řídicí jednotka má naprostý přehled o všech vozidlech, směru jízdy a vzdálenosti od jednotlivých objektů. Díky kamere systém funguje spolehlivě i za horších povětrnostních podmínek, jako je například padající sníh nebo silný déšť. Zároveň zvládá pomocí bočních čar na okraji silnice číst profil cesty a dát řídicí jednotce signál o nebezpečné zatáčce. Ta pak následně může snížit rychlost automobilu v souvislosti s tvarem zatáčky. Kamera se nachází v oblasti čelního skla, kdy plní i jiné funkce, než je ACC (například Traffic sign recognition). [19], [20]



Obrázek 6 - Umístění radaru a kamery na vozidle[21]

Aktuátor je člen, který ovládá jízdní prvky vozidla. V případě potřeby zrychluje, nebo naopak sníží pomocí brzd aktuální rychlost. Aktuátor je taktéž řízen z řídicí jednotky, kde se nachází software, který řídí všechny procesy a zpracovává signály od řidiče. Ten si může pomoci páčkou pod volantem, nebo jiným ovládacím prvkem nejen zapínat a vypínat samotný

ACC, ale také si může nastavovat odstup od vozidla jedoucího před ním. Odstup má již předem naprogramované vzdálenosti. [20]



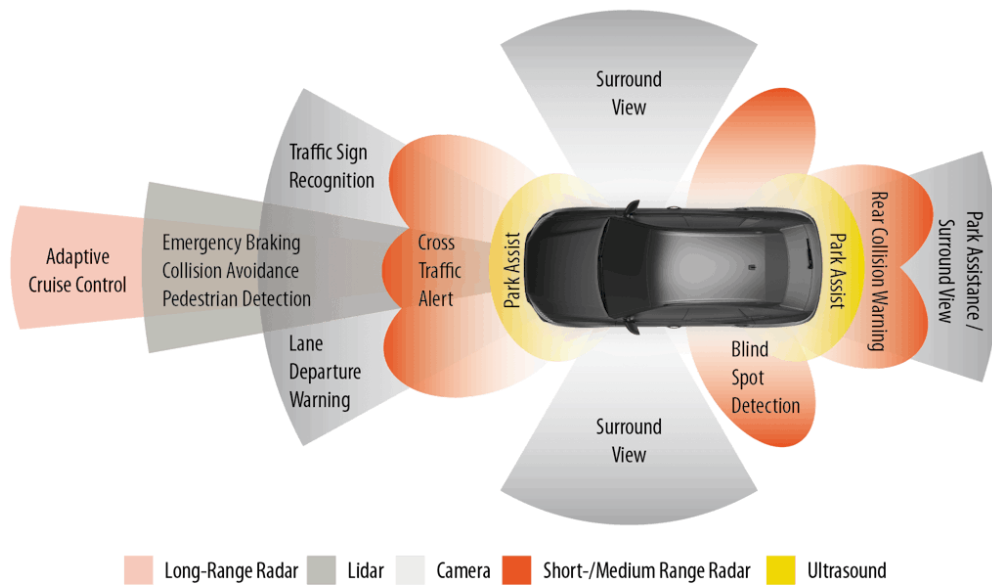
Obrázek 7 - ACC systém značky Škoda[22]

Na Obrázku 7 můžeme vidět, jak vozidlo udržuje nastavený odstup od objektu, který je před ním. Zároveň si můžeme všimnout, jaké informace má řidič na palubním počítači. [22]

2.9 ADAS

Advanced Driver Assistance Systems jsou pomocné druhy systémů, které spolu navzájem spolupracují a snaží se minimalizovat lidské chyby a zvýšit komfort cestování jakýmikoliv druhy vozidel. Jedná se o kombinaci systémů, které využívají jednotlivé dílčí systémy, o kterých tu již byla řeč. [23], [24]

Podle dat ze společnosti BESIP zamřelo na českých cestách v období od roku 2021 do roku 2023 celkem 1379 lidí díky kolizi s jiným vozidlem, nebo například chodcem. V číslech jsou započítány i nehody, kdy řidič neboural do jiného vozidla, ale například nezvládl řízení a díky tomu došlo ke kolizi s jiným objektem. Což nás řadí přesně na průměr všech států Evropské unie. Průměrný počet úmrtí na cestách v poměru na 1 milion obyvatel činí v EU 46 osob dle analýzy BESIP z roku 2024. Aplikace systémů ADAS může do budoucna tohle číslo snižovat. [24], [25]



Obrázek 8 - Systémy a technologie využívané v ADAS [26]

Vozidla vybavené systémy ADAS zvládnou řidiče předběžně varovat před jakýmkoliv nebezpečím na cestě. Tohle zvyšování bezpečnosti na cestách má také souvislost s autonomním chováním vozidel, které se díky přidáváním systému stále zlepšuje. V dnešní době již existují modely a prototypy vozidel, které jsou plně autonomní a nevyžadují ke svému provozu lidský faktor, popřípadě se může využít například vzdáleného přístupu. Tyhle aplikace mají do budoucna velké využití. Můžou zvýšit efektivitu provozu vozidel, kdy například sdílená vozidla, které si člověk půjčí na stejném principu jako kolo, mohou za zákazníkem dojet samostatně. Taxislужby nebudou potřebovat řidiče, budou jim stačit pouze autonomní vozidla. Budoucnost tohoto odvětví je také v autodopravě, kdy nebude potřeba řidič kamionu. [24], [26]

Společnost SAE rozděluje autonomní vozidla do 6 kategorií:

1. bez autonomních systémů – řidič má plnou kontrolu nad vozidlem;
2. asistence řidiče – Vozidlo obsahuje pouze jeden systém, jako například adaptivní nebo obyčejný tempomat;
3. částečné autonomní řízení – Automobily jsou schopné dělat rozhodnutí na základě dat ze systémů, stále je nutnost řidiče;
4. vyšší autonomní řízení – Tyhle vozidla se dokážou řídit samy, ovšem zatím jsou omezena a využívají se zřídka. Nasazení taxislужbami už ovšem existuje;

5. plné autonomní řízení – Nevyžaduje žádnou formu lidského zásahu do řízení. Jedná se pouze o prototypy. [26]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 POPIS PROTOTYPU

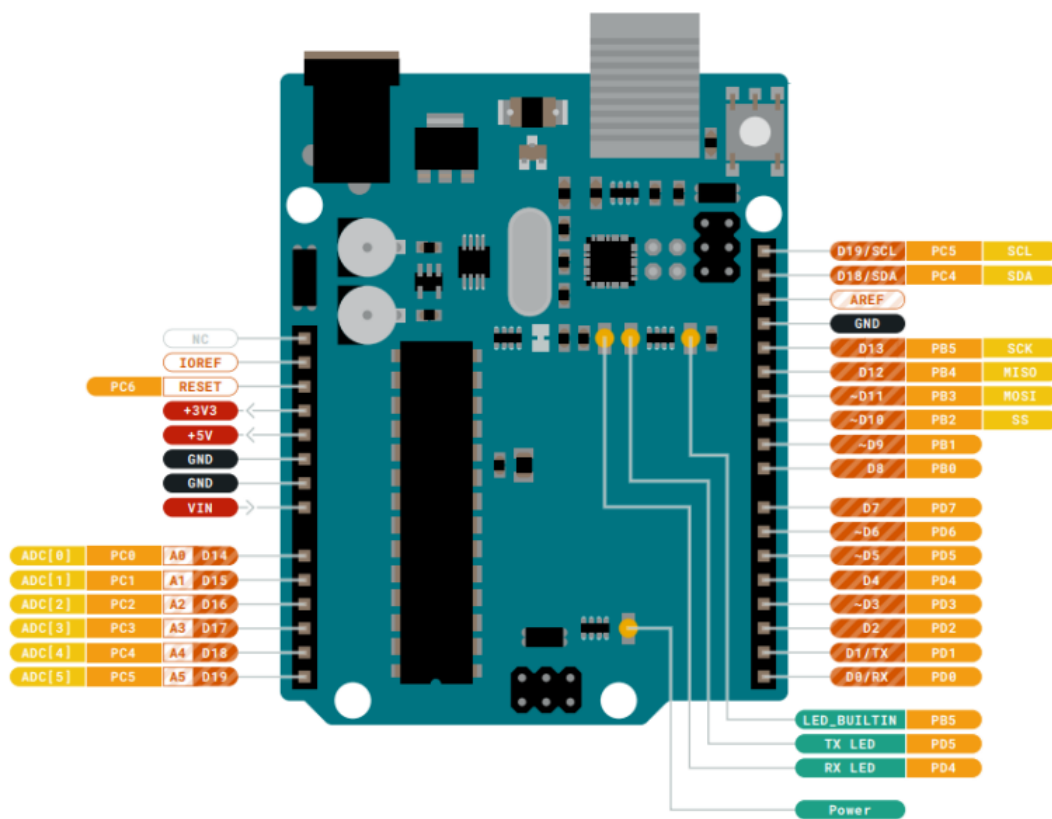
Jedním z cílů práce bylo vytvoření prototypu, který by uměl napodobit bezpečnostní systémy, nacházející se v automobilech. Samotné stavbě a programování předcházela fáze plánování. Prvotním návrhem bylo vozítko, řízené mikropočítačem a disponující dálkovým ovládním.

3.1 Použité součástky pro prototyp

Prototyp automobilu je založen na platformě Arduino, tudíž se vybíraly součástky, které budou s platformou plně kompatibilní a bude zaručena jejich funkčnost. Jelikož se díly objednávaly dopředu, musel být ještě před samotnou stavbou zhotoven návrh zařízení a představa, jak bude v základním principu prototyp pracovat a jaké bude obsahovat součástky, popřípadě jaké jednotlivé funkce bude plnit.

3.1.1 Arduino Uno

Arduino Uno R3 je jedním z nejpopulárnějších modelů z platformy Arduino. Jedná se o jednoduchý mikropočítač, který se využívá k realizaci elektronických projektů. Využívá mikroprocesor ATmega328P, který pracuje na frekvenci 16 MHz a disponuje 32 kB flash paměti. K funkci procesoru je přiřazena ještě EEPROM a SRAM paměť. Na jeho podporu je využito ATmega16U2 8bitového procesoru. Pracovní hodnoty desky se pohybují od -40 °C do 85 °C. Deska je mimo jiné osazena 14 digitálními vstupy a výstupy, které byly využity v praktické části bakalářské práce pro komunikaci jednotlivých periférií projektu. Dále se zde nachází 6 analogových vstupů, kterých nebylo využito při tvorbě mého programu. Výhodou platformy Arduino je přístupnost materiálů, jelikož se jedná o open-source platformu. Díky tomu je možné čerpat informace a materiály skrze veškeré poskytnuté soubory, jako jsou například takzvané datasheety, které poskytují informace o dané součástce. [27]



Obrázek 9 - Porty na desce Arduino Uno R3 [27]

Na Obrázku 9 můžeme vidět rozložení portů desky. Kromě analogových a digitálních pinů zde lze vidět také napájecí porty. Deska se dá napájet pomocí USB-B, nebo pomocí napájecího konektoru 2,1x5,5 mm, který se dá využít na různé bateriové boxy, nebo například 9 V baterie. Důležité je zmínit, že skrze USB-B se dá nejen napájet, ale také skrze něj komunikuje Arduino s počítačem a programovacím rozhraním Arduino IDE. [27]

Konektory, které byly využity v praktické práci:

- digitální vstupy/výstupy;
- napájecí rozhraní z desky;
- USB-B konektor.

3.1.2 Nepájivé pole

Nepájivé pole je deska, skrze kterou se dají jednoduše propojovat, nebo rozšiřovat vstupy a výstupy. Oproti klasickým pájeným kontaktům má výhodu, že spojení není trvalé. Spojovací kabely se zde dají kdykoliv přehazovat. Na trvalé použití jsou sice vhodnější pevné pájené spoje, jelikož tahle varianta vyžaduje určitou opatrnost při manipulaci a spoje se dají

jednoduše přerušit. Ovšem ve fázi, kdy se daný prototyp vyvíjí a je potřeba mít možnost jít o pár kroků zpět, je nepájivé pole nejlepší variantou. Tahle součástka byla využita při tvorbě modelu automobilu, kdy například Arduino Uno neposkytovalo dostatečný počet napájecích konektorů. Na straně nepájivého pole se nachází porty přímo na rozšíření napájecích konektorů. Dále bylo využito i možnosti propojení jednotlivých částí projektu, jako je zapojení simulovaného hlídání mrtvého úhlu, kdy mezi mikrovlákný senzor a Arduino bylo potřeba zapojit indikační LED diodu a k ní potřebný rezistor.

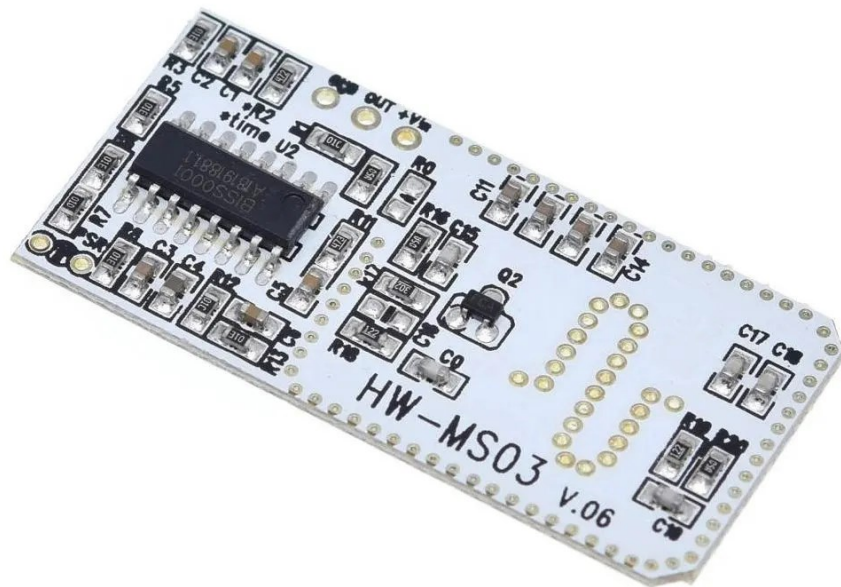
3.1.3 Mikrovlákný senzor

K realizaci prototypu hlídání mrtvého úhlu byl zvolen mikrovlákný senzor HW-MS03. Jedná se o velice výkonný a spolehlivý senzor, který k detekci pohybu využívá Dopplerova jevu. Jeho snímací vzdálenost může dosahovat až k 10 metrům. Úhel, pod kterým senzor snímá okolí je 180°, což pro aplikaci, na kterou byl vybrán je plně dostačující. Pracuje pod napětím, 3,7 V až 24 V. V případě prototypu je napájen přímo z desky mikropočítače s hodnotou 5 V. [28]

Senzor disponuje 3 konektory:

- VCC;
- OUT výstupní port;
- GND.

Na rozhraní musely být pomocí pájky připájeny 3 piny, na které se následně připojovaly spojovací kabely.



Obrázek 10 - Mikrovlnný detektor HW-MS03[28]

3.1.4 Ultrazvukový senzor

Jako další prvek, který je součástí prototypu bylo vybráno zařízení HC – SR04. Ve fázi plánování projektu se rozhodlo, že jeden ze simulovaných bezpečnostních systémů budou parkovací senzory. Právě pro takovou aplikaci se ultrazvukový senzor HC – SR04 ideálně hodí. Součástka poskytuje možnost ultrazvukového měření ve vzdálenosti 2 cm až 400 cm, kdy přesnost měření se pohybuje okolo 3 mm. Obsahuje ultrazvukový generátor a přijímač, které ovládá řídicí obvod. Zařízení pracuje pod napětím 5 V, to případně modelu poskytuje přímo Arduino. Součástka obsahuje 4 konektory:

- VCC napájení;
- trigger;
- echo;
- ground. [29]



Obrázek 11 - Ultrazvukový senzor HC – SR04 [30]

Generátor ultrazvuku pomocí řídicího obvodu generuje osmkrát po sobě signál o frekvenci 40 kHz, následně pak přijímač očekává, kdy a jestli vůbec se signál vrátí zpátky. Na modelu se ultrazvukový senzor nachází přímo na přední části prototypu a je neustále v provozu. Signalizace detekce blízkého objektu je realizována skrze aktivní bzučák, který vydává tóny podle blízkosti objektu. Čím je objekt blíže k prototypu, tím se frekvence signalizace zvyšuje. Bzučák má pouze 2 výstupy, a to napájení pomocí 5 V poskytnutého pomocí Arduina, a konektor ground. K bezpečnému uchycení senzoru bylo využito speciálně vyrobených držáků ze stejného materiálu, jako je karoserie prototypu. Držáky zajišťují bezpečné uchycení senzoru, tudíž nedojde k poškození, nebo uvolnění modulu při pohybu prototypu. V případě uvolnění by mohlo dojít ke změně úhlu měření, což by způsobilo, že by byl snímán například jiný objekt, který se nenachází v oblasti před prototypem. Tím by došlo ke zkreslení výsledků. [29]



Obrázek 12 – Bzučák [31]

3.1.5 H – můstek L298N

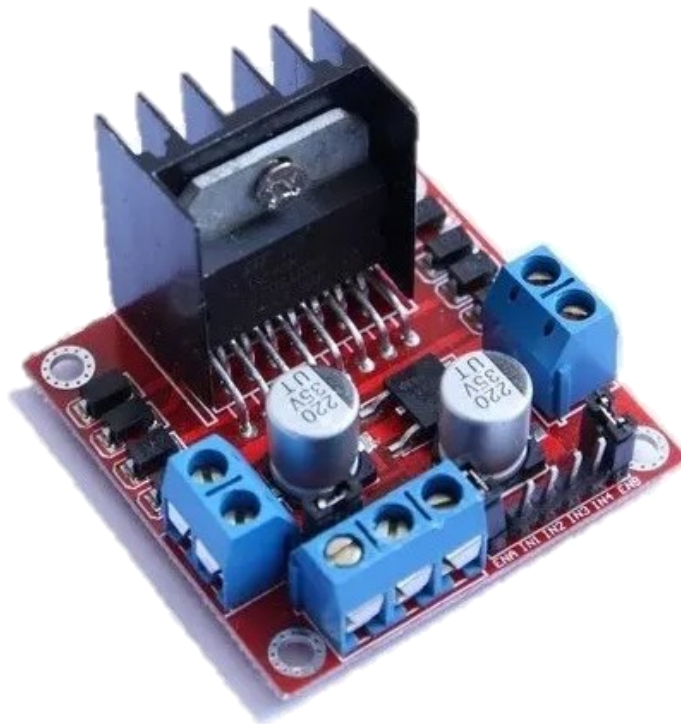
Jedná se o modul, který využívá čipu L298N a používá se k řízení motorů. Tento model zvládá ovládat 2 stejnosměrné motory. V případě vyvíjeného prototypu ovšem ovládal 4 motory. [32]

Tabulka 1 - Zapojení H – můstku [32]

Konektor		Funkce
IN1	IN2	Řízení motoru 1
IN3	IN4	Řízení motoru 2
ENABLE A		Aktivační port
ENABLE B		Aktivační port
OUT1	OUT2	Port pro vstup motoru 1
OUT3	OUT4	Port pro vstup motoru 2
12 V IN		Napájení pro motory
5 V IN		Napájení pro řídicí jednotku
GND		Zem

Zapojení proběhlo tak, že na každý z výstupů OUT1 a OUT2 byly zapojeny 2 motory, z toho lze usoudit, že motory měly stejný chod a přijímaly ten samý signál. Na desce můstku se nachází 3 svorkovnice na připojení periferií, do kterých se pomocí mechanismu upevňují měděné konce spojovacích kabelů. Nehledě na ostatní součásti desky se zde také nachází výrazný chladič, který ochlazuje řídicí obvod. Jelikož součástka zvládá řízení motorů pod napětím 7 V až 35 V, tak ve vyšších hodnotách se chladič upotřebí díky zvýšené zátěži. [32]

V rámci zapojení prototypu se nevyužilo portů ENABLE A/B. Na těchto pinech zůstala propojující svorka, která spojuje tyto piny a zároveň je kryje. Pokud by zde nebyla, systém by v tomhle případě nefungoval podle očekávání.



Obrázek 13 - H můstek L298N [32]

3.1.6 Bateriový box

Bateriové boxy, nebo zásobníky jsou plastové boxy, které propojují daný počet baterií do série. Ty pak následně napájejí celý systém včetně i platformy Arduino. Tahle varianta se hodí v případě, kdy napájení se nedá, nebo se pro využití nehodí zajistit energii klasickým USB konektorem. Využívá se speciálně v případech zařízení, které jsou mobilní a potřebují se pohybovat, nebo i v případě, kdy je model statický, ale jeho cílové umístění nedovoluje

využít kabel. Propojení s Arduinem může být různé, dá se napájet skrze různé konektory. Dokonce i skrze zmíněný USB kabel, který by měl pouze napájecí piny. Existují i aplikace, využívající již zmíněný konektor 2,11x5,5 mm. V případě využití výkonnějších periférií se dá také napájet daný modul, a z modulu odebírat 5 V skrze klasický spojovací kabel dodávaný a využívaný pro Arduino.

V případě vývoje prototypu pro bakalářskou práci bylo původně zamýšleno využití zásobníku pro 4 AA baterie o napětí 1,5 V. Po sestavení a zapojení bylo zjištěno, že napětí není dostatečné pro provoz všech periférií. Pro motory a samotné Arduino byla aplikace dostačující, ale jakmile se zapojily ostatní moduly, tak model neplnil očekávatelné funkce. Typickým projevem bylo odpojování například komunikačního modulu, nebo viditelně nízké napětí dodávané indikační LED diodě. V případě akustické signalizace simulovaných parkovacích senzorů pokleslo napětí na ostatních modulech, tudíž zařízení nepracovalo správně.

Dostatek energie byl vyřešen zvětšením kapacity bateriového zásobníku. Využilo se 6 AA baterií o stejném napětí pro jednotlivou baterii. Tahle varianta dodávala dostatečnou hodnotu napětí a model byl schopný správně fungovat i v plné zátěži. Pokud by ani tohle nestačilo, bylo by potřeba využít buď přídavného napájení skrze konektor 2,11x5,5 mm přímo do desky Arduina, nebo napájení skrze USB port z přenosné nabíječky například mobilních zařízení (Powerbank).

Zapojení boxu bylo realizováno skrze H – můstek, kdy vývodní kabely z boxu vedly na svorky můstku, kde dodávají 9 V pro napájení motorů, a zároveň z portu pro napájení řídicí jednotky se odebírá 5 V pro napájení desky Arduino a ostatních periférií. Další rozvod energie je proveden skrze nepájivé pole, případně přímo z napájecích pinů mikropočítače.



Obrázek 14 - Využitý bateriový box na 6 AA baterií

3.1.7 Motory

Pohon prototypu byl zajištěn soustavou 4 převodovaných motorů. K motorům bylo také dodáváno kolo s pneumatikou o průměru 66 mm, vše zobrazeno na Obrázku 15 již ve složené podobě. Jeden motor váží 50 g, takže se jedná o malou a relativně lehkou variantu pohonné jednotky. Výkon motoru je odvozen od dodávaného napětí. Tabulka 2 uvádí parametry v případě jednotlivých napětí. [33]

Tabulka 2 - Tabulka parametrů využitých motorů [33]

Napětí	3 V	5 V	6 V
Dodávaný proud	100 mA	100 mA	120 mA
RPM (Ot./min)	100	190	240
Rychlost motoru (m/min)	20	39	48

Ovládání motorů zajišťuje Arduino skrze již zmíněný L298N ovládací můstek. Napájení je také provedeno skrz tenhle modul.

3.1.8 Karoserie prototypu

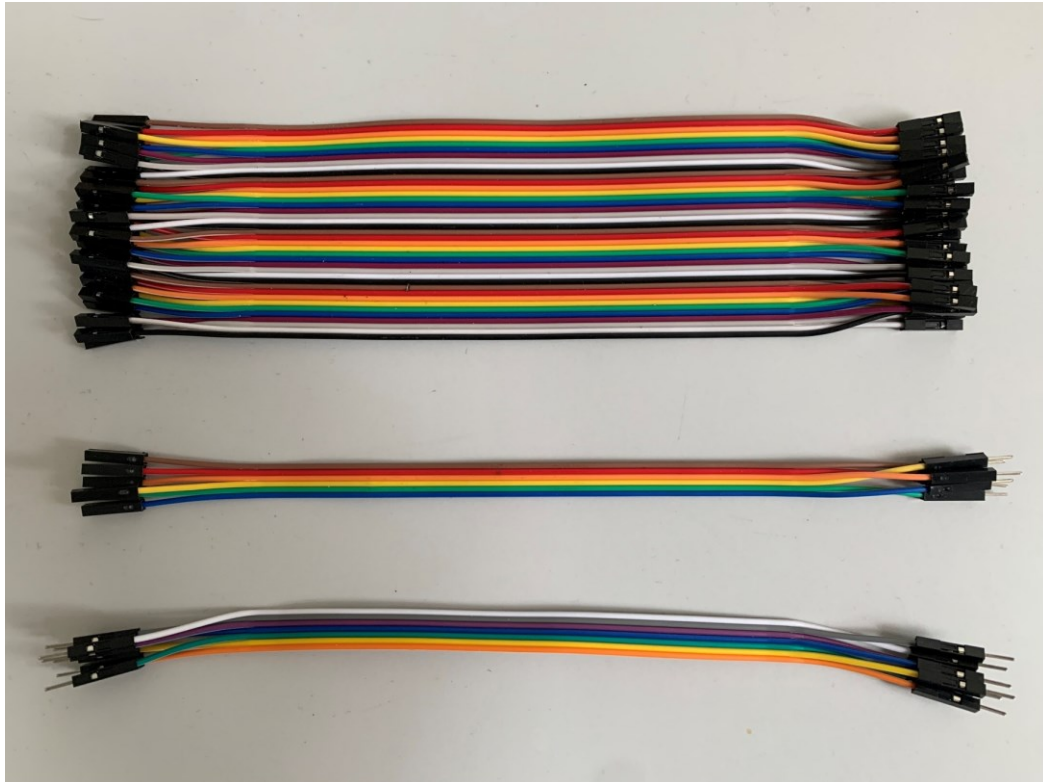
V tomto případě bylo vybráno setu na vytvoření robotického autíčka. Set obsahoval 4 motory, o kterých byla řeč pár řádků výše. Dále se zde nacházely dvě tvarované a řezané desky z průhledného plexiskla, ke kterým se dodal sáček spojovacího materiálu. Dvě desky jsou spojené k sobě a mají mezi sebou mezeru na vnitřní obvody, které je možné schovat do útrobu prototypové karoserie. Z důvodu velkého množství periférií bylo potřeba osadit určité moduly i na vrchní část modelu.



Obrázek 15 - Využitá karoserie prototypu společně s nainstalovanými motory a dodávanými koly [33]

3.1.9 Propojovací kabeláž

Pro propojení periférií bylo využito běžného spojovacího materiálu, kterým se propojují jednotlivé porty Arduina a jeho periférií. K dispozici byly všechny varianty konektorů, jako je třeba samec – samec, samec – samice a samice – samice. Konektory poskytují dostatečné zapojení, u kterého se nemusíme bát rozpojení, ať už v případě zapojení napřímo, nebo skrze nepájené pole.



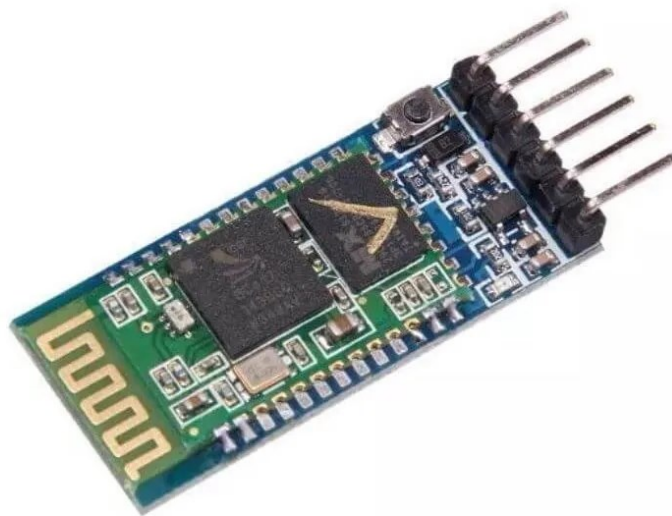
Obrázek 16 - Varianty propojovacích kabelů dodávaných k Arduino

Obrázek 16 zobrazuje všechny varianty spojovacích kabelů, které se standardně využívají pro podobné aplikace. Na vrchní straně obrázku je zobrazena varianta F – F (female – female), uprostřed M – F (male – female) a na spodní straně M – M (male – male). Mezi nejpoužívanější patří poslední 2 varianty, první varianta bývá používána převážně na prodlužování propojovací linky, třeba mezi pinem Arduina a pinem modulu. Možná varianta zapojení je také ta, kdy se odstraní (například kleštěmi) černý koncový konektor kabelu. Tím dochází k odhalení vodičů, které se pak následně dají zapojovat například do různých svorek, nebo do jiných aplikací, které nepodporují daný konektor (uchycení země přístroje skrze šroub).

3.1.10 Bluetooth modul

Ke komunikaci prototypu ve smyslu ovládání pohybu bylo využito spolehlivého a ověřeného modulu HC – 05. Tento modul poskytuje dostatečné rozhraní a schopnosti pro potřeby téhle aplikace. Disponuje 6 piny, které v tomhle případě nejsou plně osazeny. Konektor STATE slouží pro indikaci na LED diodu, což nebylo pro tuhle aplikaci nutné. Piny RXD a TXD jsou datové komunikační porty, které vedou na stejnojmenné konektory na rozhraní Arduina. Skrze tyhle dva porty probíhá komunikace mezi ovládacím zařízením a prototypem.

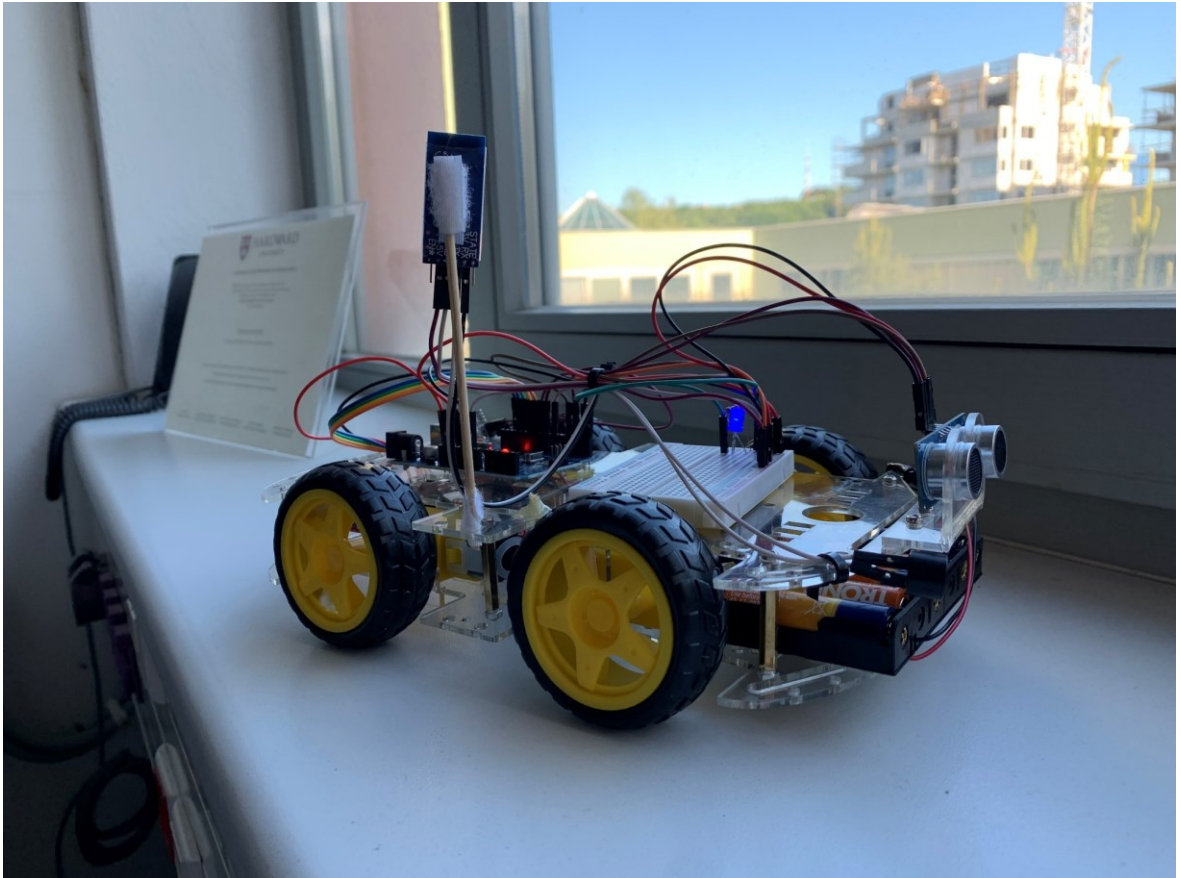
Konektory VCC a GND slouží pro napájení modulu. Napájecí hodnota se pohybuje od 3,6 V do 6 V, což je velice důležitý údaj. Bluetooth modul totiž nedisponuje ochranou proti vyššímu napětí a v případě nevhodného zapojení se dá modul jednoduše zničit. Ovládací dosah je v ideálních podmínkách až 10 metrů, což je dostačující. Jádrem je čip BC417 a komunikace probíhá přes Bluetooth verze 2.0. Rozhraní podporuje komunikaci se zařízeními disponujícími operačním systémem Windows, popřípadě mobilním systémem Android. [34]



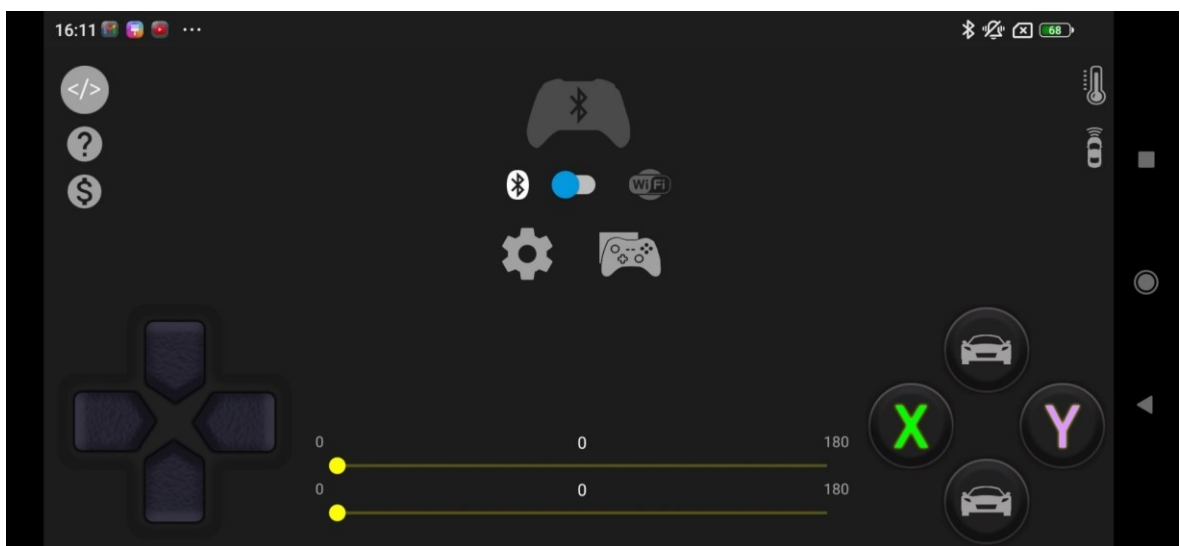
Obrázek 17 - Bluetooth modul využíváný ke komunikaci s prototypem [34]

3.2 Vytvořený prototyp

V aktuálním stavu prototypu jsou implementovány a zprovozněny všechny systémy, které byly zvoleny ve fázi plánování. Model je schopný se samostatně pohybovat podle příkazů a funguje podle očekávání. Jelikož se jedná o prototyp, tak tahle verze nemusí být poslední a může skrývat různé dosud neprojevené chyby.



Obrázek 18 - Fotografie prototypu



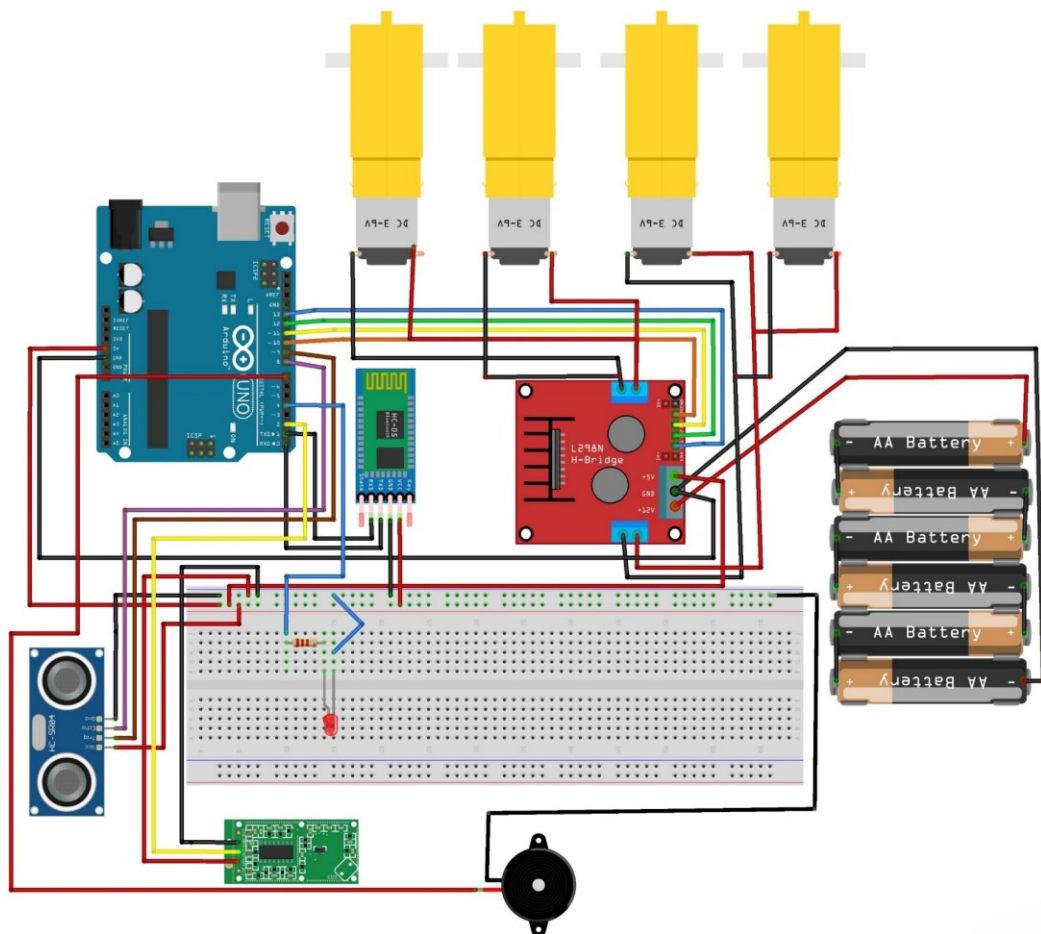
Obrázek 19 - Rozhraní ovládací aplikace na mobilním zařízení

Jako ovládací zařízení byl zvolen mobilní telefon s operačním systémem Android. Bylo využito zařízení značky Xiaomi s modelovým označením Mi 9. Systémem, který pracoval na mobilním telefonu byl Android v konečné variantě 11. řady, který ještě podporovala systémová nastavba od výrobce MIUI. Verze nastavby byla 12.5.1. Skrze systémový obchod s aplikacemi Obchod Play byla nainstalována ovládací aplikace „Arduino Car“ od vývojáře

ONE DAY OF CODE. Aplikace se nacházela ve verzi 2.0 ze dne 27.4.2024. Rozhraní dovoluje velkou škálu možností, jak prototyp ovládat. Pro stávající variantu bylo zvoleno řízení přes 4 tlačítkový ovládací prvek, existují ale i varianty analogového joysticku, případně akcelerometru, který pomocí náklonu mobilního zařízení odesílá signál k posunu prototypu. Aplikace umožňuje také výpis z jednotlivých senzorů skrze komunikační linku RXD TXD. [35]

3.3 Zapojení

Obrázek 20 zobrazuje zapojení jednotlivých modulů prototypu. Vzhledem k nedostupnosti schematického modelu mikrovlnného senzoru HW – MS03 bylo využito schematického modelu zařízení RCWL – 0516. Záměna ve schématu nemění princip funkce a způsob zapojení, jelikož zařízení jsou záměnná, model HW – MS03 je pouze výkonnější typ senzoru.



Obrázek 20 - Zapojení jednotlivých modulů prototypu

3.4 Program prototypu

Program byl tvořen ve vývojovém prostředí přímo pro platformu Arduino. Aplikace nese název Arduino IDE a bylo využito nejnovější verze 2.3.2. Jedná se o open source program poskytovaný přímo od tvůrců mikropočítače. Kód obsahuje komentované vysvětlivky jednotlivých příkazů pro lepší orientaci a pochopení programu. Celý program je dostupný v elektronické Příloze P I.

Program obsahuje výpis dat ze senzorů přes sériovou linku. Zde je vypisován stav mikrovlnného senzoru o detekci objektu a výpis hodnoty ultrazvukového senzoru. V případě připojení Bluetooth zařízení se vypisuje příkaz potvrzující správné připojení.

V případě nahrávání programu je potřeba odpojit komunikační porty RXD a TXD, jinak program nebude schopný navázat komunikaci s pamětí Arduina. Po úspěšném nahrání se piny zapojí a následně se dá prototyp ovládat.

3.5 Model reálného automobilu

Pro potřeby práce bylo potřeba zajistit automobil, který by disponoval bezpečnostními systémy. Fakulta aplikované informatiky disponuje elektrickým vozidlem od společnosti Škoda Auto, modelem Enyaq verze iV 80. Jedná se o nový a moderní elektromobil, který disponuje nejnovějšími technologiemi. Taktéž vybavení poskytuje několik bezpečnostních systémů, jako jsou například:

- adaptivní tempomat (ACC);
- parkovací senzory společně s parkovací kamerou;
- park assist;
- systém rozpoznávání značek;
- udržování jízdy v pruhu;
- sledování mrtvého úhlu;
- nouzové brždění;
- manévrovací asistent.



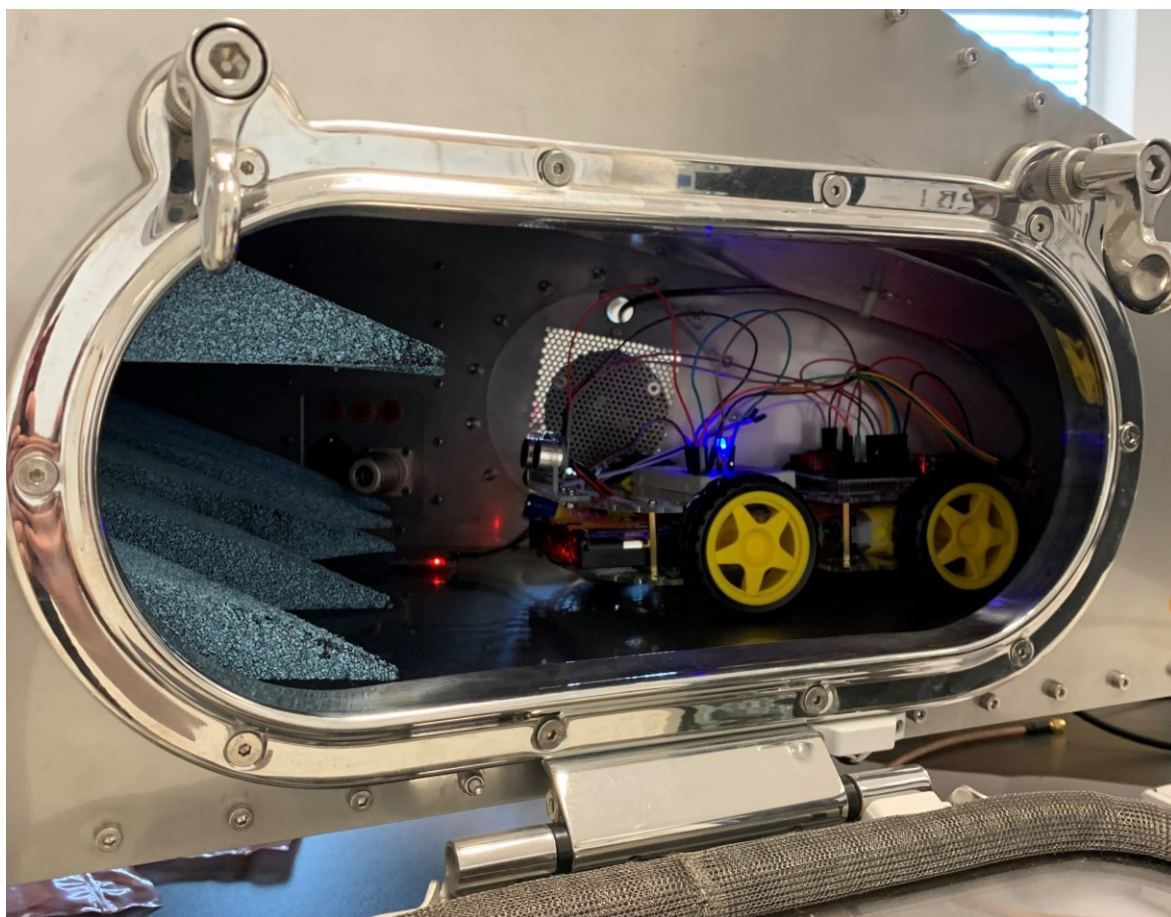
Obrázek 21 - Fotografie využitého automobilu Škoda Enyaq

4 EXPERIMENTY PROVEDENÉ NA PROTOTYPU

Tahle kapitola je zaměřená na provedené experimenty ověřující a popisující funkci systémů, které se nachází na vytvořeném prototypu. Jelikož se jedná o prototyp, tak se dají očekávat výsledky popisující obecný princip zařízení.

4.1 Měření EMI pomocí GTEM komory

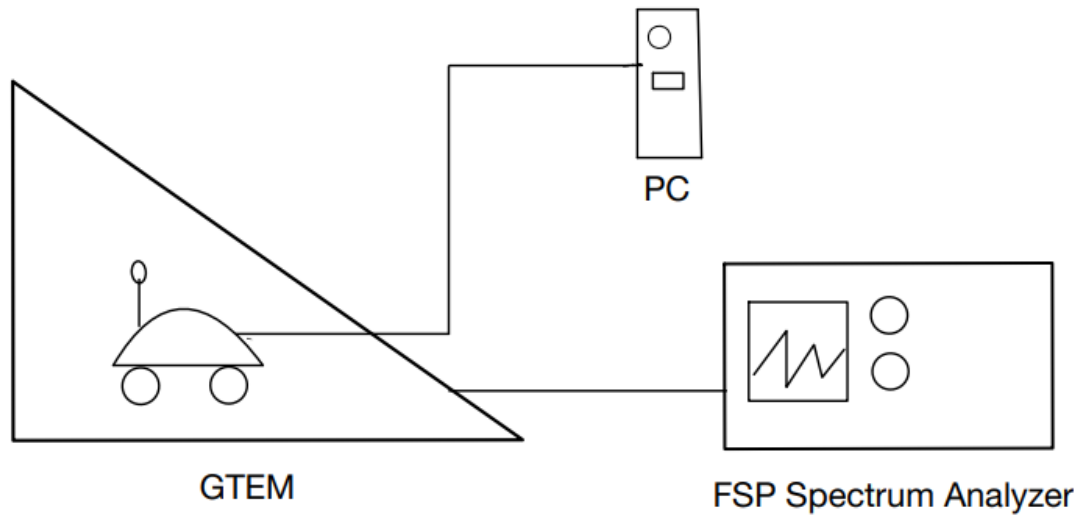
V prvním experimentu bylo zjišťováno, jakým způsobem se prototyp chová a jaké frekvence vyzařuje. K experimentu bylo využito zařízení s názvem EMC – GTEM – 250, do kterého se prototyp vkládal a následně pomocí měřících zařízení. Měřením byla zjišťována frekvence prototypu. [36]



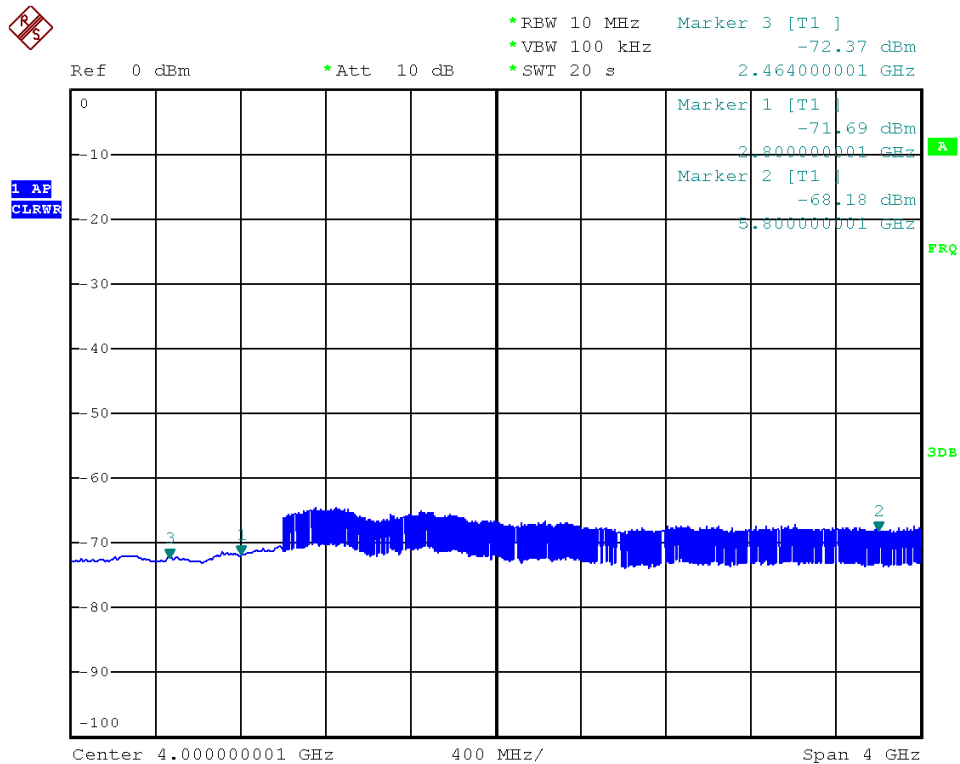
Obrázek 22 - Uložení a zapojení modelu do GTEM komory před prvním měřením

4.1.1 Měření pomocí spektrálního analyzáru

V tomto případě bylo využito zařízení FSP Spectrum Analyzer s rozsahem měření 9 kHz až 40 GHz. Všeobecné vlastnosti zařízení FSP Spectrum Analyzer jsou: Dynamický rozsah: až 100 dB, Šířka pásma měření: 10 Hz až 10 MHz. [37]

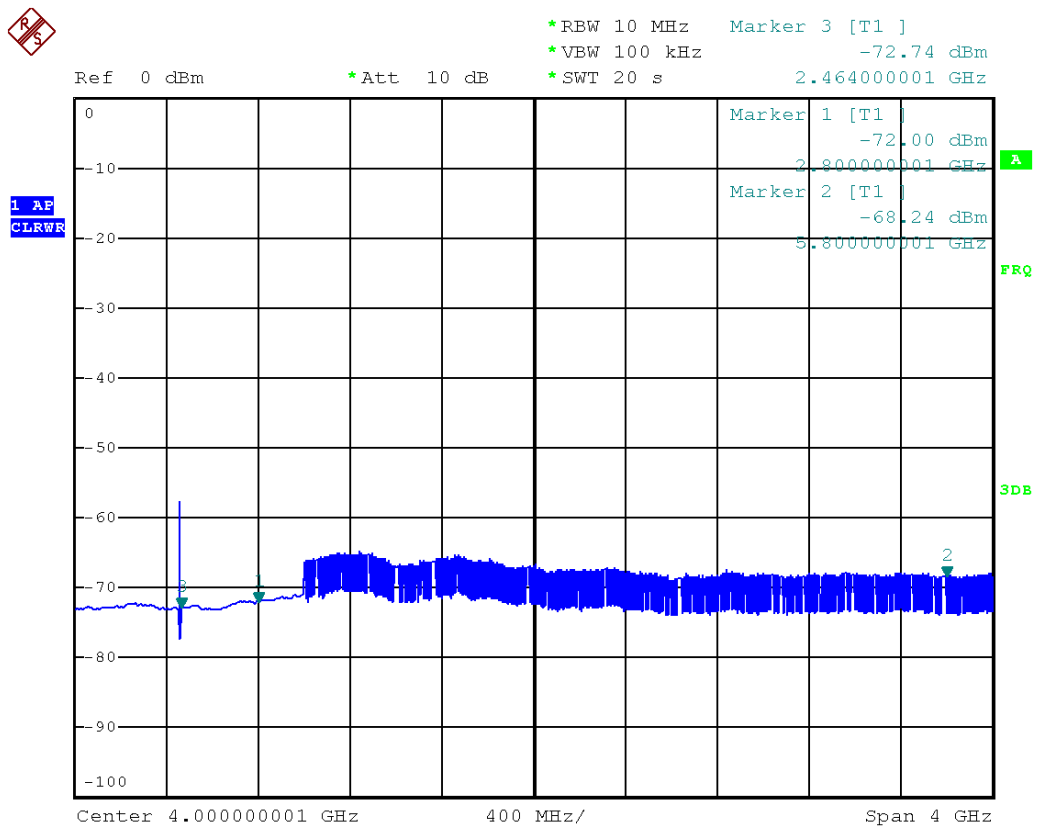


Obrázek 23 - Schéma zapojení s celým prototypem uvnitř GTEM



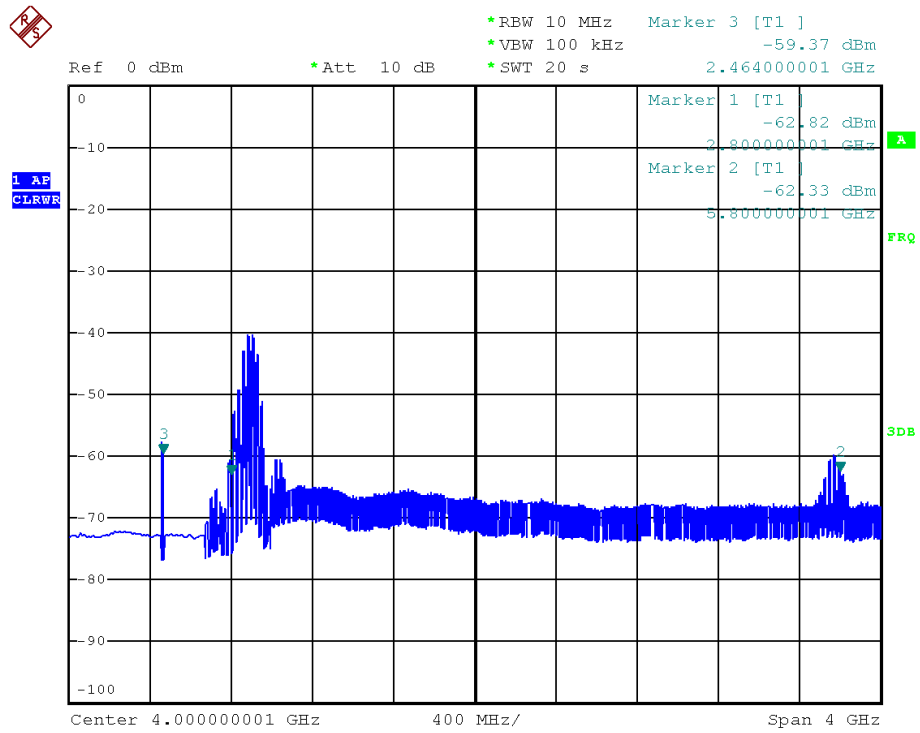
Obrázek 24 - Referenční měření s prázdnou komorou

Na začátku měření se jako první změřila referenční hodnota. To znamená, že se do komory vložilo zařízení bez napájení a změřila se frekvenční doména. Na měřícím zařízení se nastavil frekvenční rozsah 2 GHz až 6 GHz, RBW: 10 MHz, VBW: 100 kHz, SWT: 20 s, Att: 10 dB a referenční hodnota byla 0 dBm.

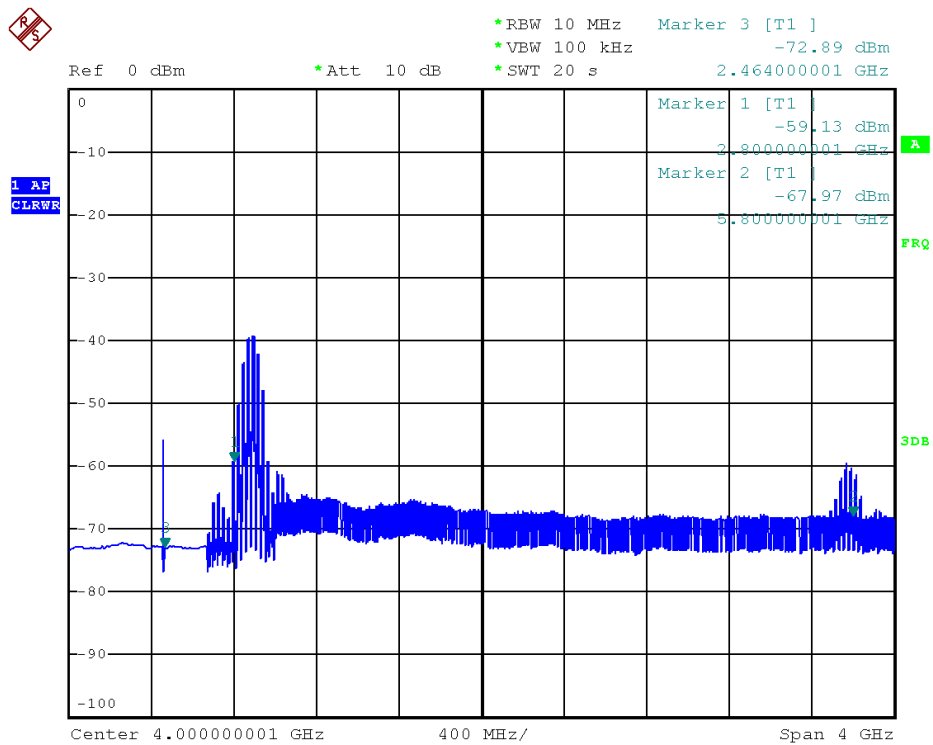


Obrázek 25 - Referenční měření s prototypem bez napájení

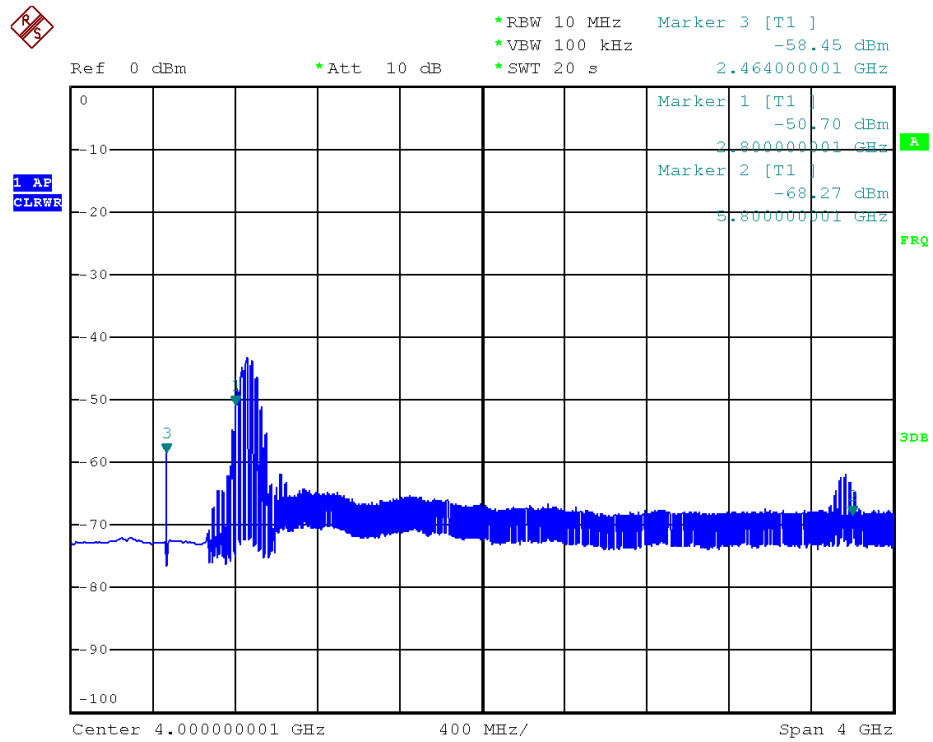
Referenční měření poskytuje údaj o frekvencích v komoře, ve které se nenachází žádný zdroj. Zobrazuje informace o hodnotě šumu a rušení okolních zařízení. Využívá se pro následné porovnání hodnot s ostatními výsledky měření, kdy prototyp byl pod napájením a vysílal signál.



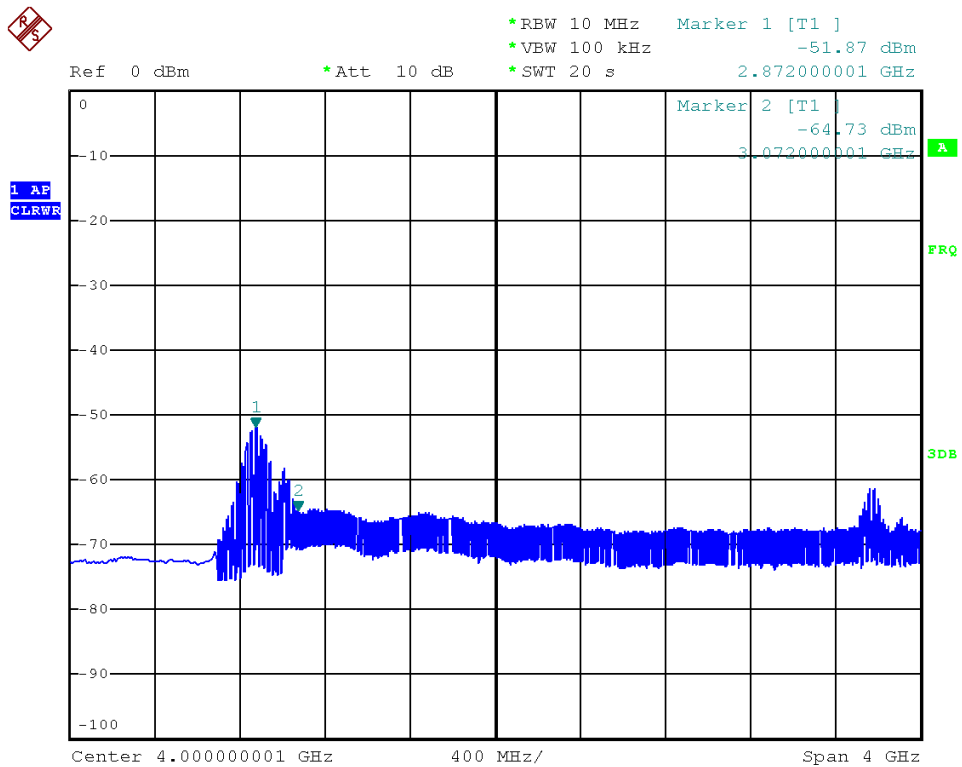
Obrázek 26 - Napájení bateriemi, moduly v provozu



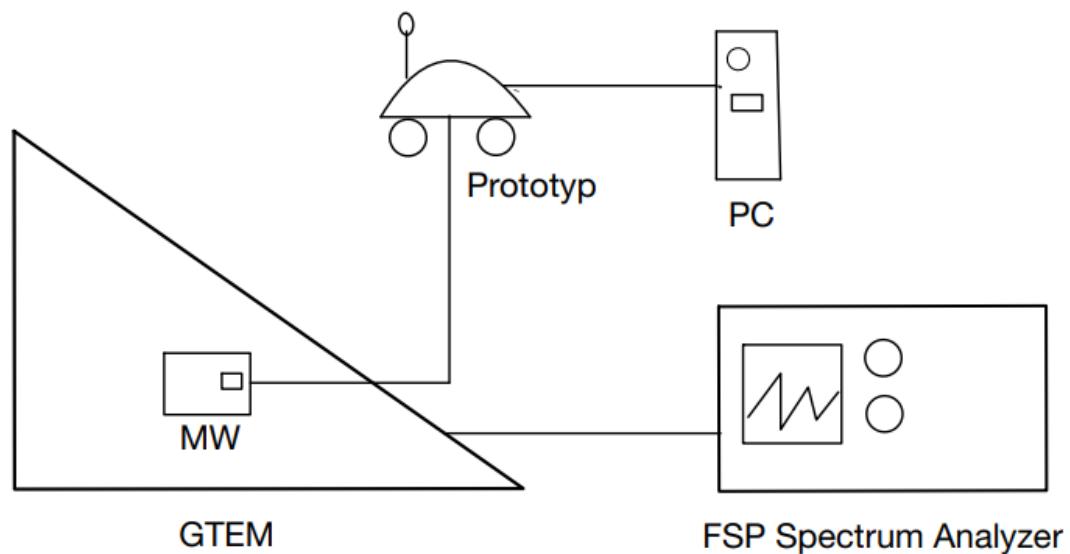
Obrázek 27 - Napájení bateriemi, mikrovlnný a ultrazvukový senzor v provozu



Obrázek 28 - Napájení bateriemi, mikrovlnný senzor v provozu



Obrázek 29 - Pouze mikrovlnný senzor bez ostatních periférií



Obrázek 30 - Schéma zapojení pouze s mikrovlnným detektorem uvnitř GTEM

Závěr měření:

Na přiložených snímcích z měřicího zařízení je vidět pík v hodnotě 2,4 GHz (označen Marker 3). Lze předpokládat, že se jedná o WiFi signál, který byl v místnosti distribuován routerem ve vzdálenosti necelých 2 metrů od komory. Jelikož se na zařízení nachází antény, tak je očekávatelné, že se zde signál mohl zachytit. Tomu by odpovídaly i hodnoty z referenčního měření prázdné komory, kdy při frekvenci 2,4 GHz nebyla naměřena žádná hodnota. Další dva píky v hodnotách 2,8 GHz a 5,8 GHz (označeno Marker 1 a 2) jsou frekvenční rozsah mikrovlnného senzoru, což odpovídá rozsahu udávaného výrobcem. Odchylka měření byla $\pm 0,5$ dBm.

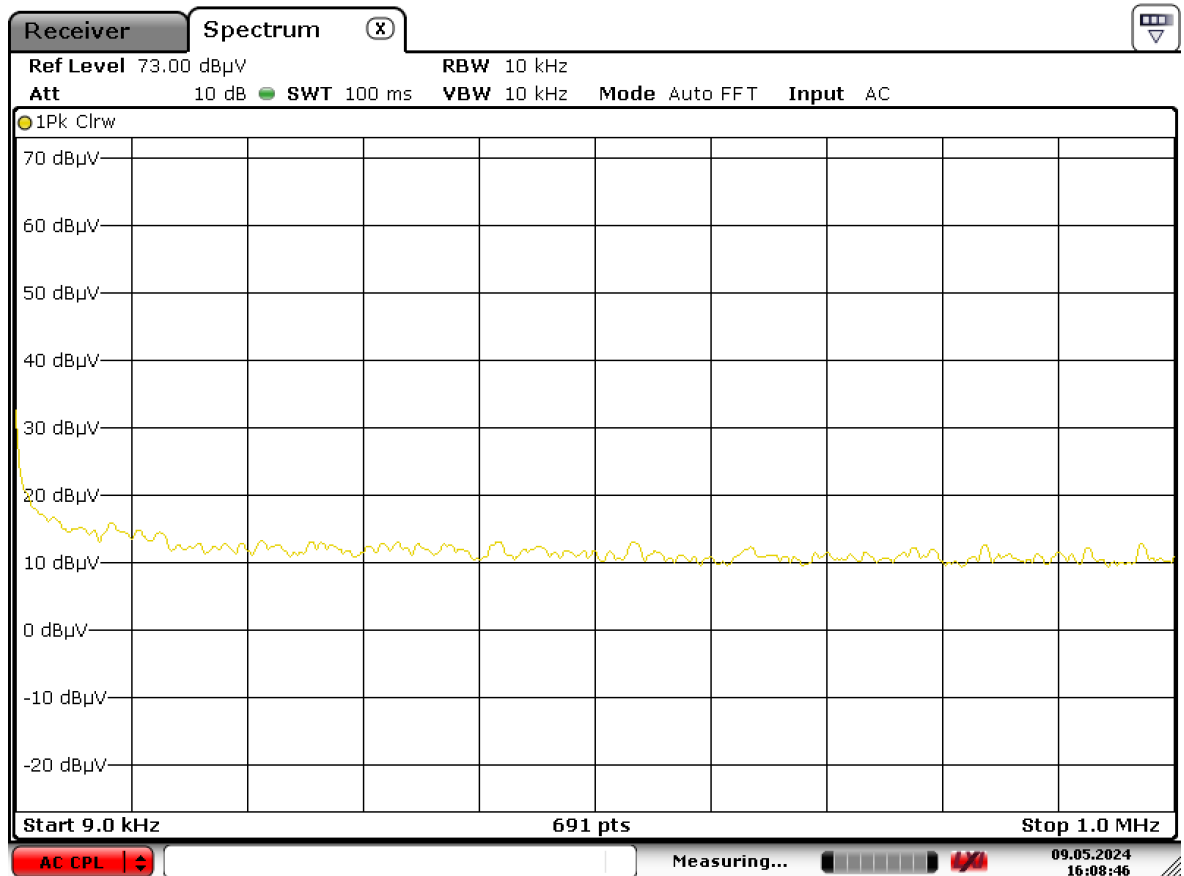
4.1.2 Měření pomocí EMI Test Reciever

Pro potřeby přesnosti měření bylo potřeba změnit měřicí zařízení. Předchozí Spectrum Analyzer byl vyměněn za EMI Test Reciever od výrobce Rohde&Schwarz, který má menší frekvenční rozsah, tudíž přesnost měření v nižších frekvencích bude vyšší a na měření ultrazvukového senzoru je vhodnější. Všeobecné vlastnosti zařízení ESRP EMI Test Reciever:

- šířka pásma měření 10 Hz až 10 MHz;
- frekvenční rozsah 9 kHz až 3,6 GHz;
- přesnost < -160 dBm;

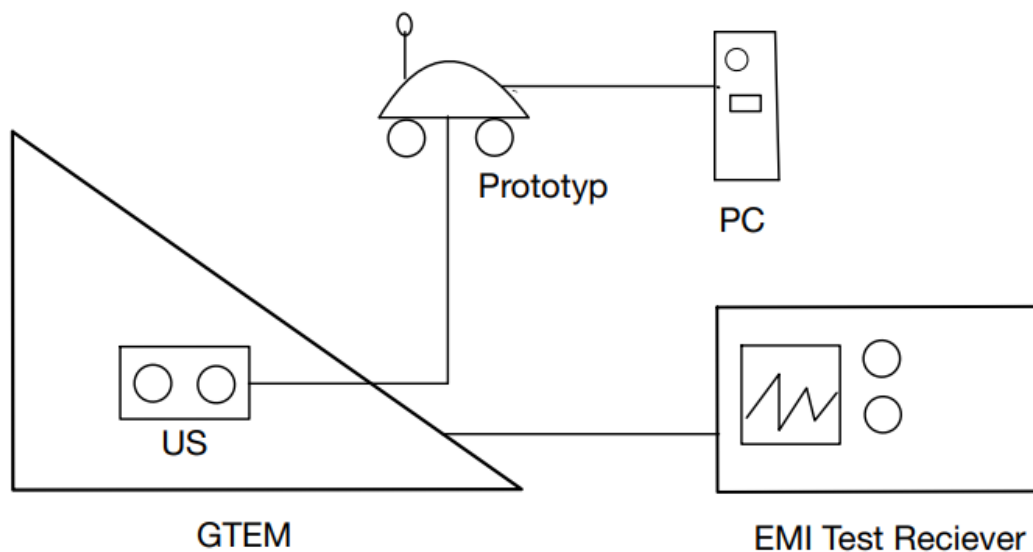
- odchylka < -7 dB μ V. [38]

Nastavení přístroje bylo provedeno s hodnotami frekvenčního rozsahu 9 kHz až 1 MHz, RBW: 10 kHz, VBW: 10 kHz, SWT: 100 ms, Att: 10 dB a referenční hodnota byla zvolena 73 dB μ V.



Date: 9.MAY.2024 16:08:46

Obrázek 31 - Měření ultrazvukového senzoru



Obrázek 32 - Schéma zapojení s ultrazvukovým detektorem uvnitř GTEM

Závěr měření:

Z Obrázku 31 lze jasně vidět, že signál z ultrazvukového senzoru se nepodařilo zachytit. Může to být způsobeno velice nízkou hodnotou signálu, který se díky tomu neprojevil. Měření bylo provedeno opakovaně, kdy v porovnávaných případech byl výsledek totožný. Odchylka při měření byla $\pm 0,172 \text{ dB}\mu\text{V}$

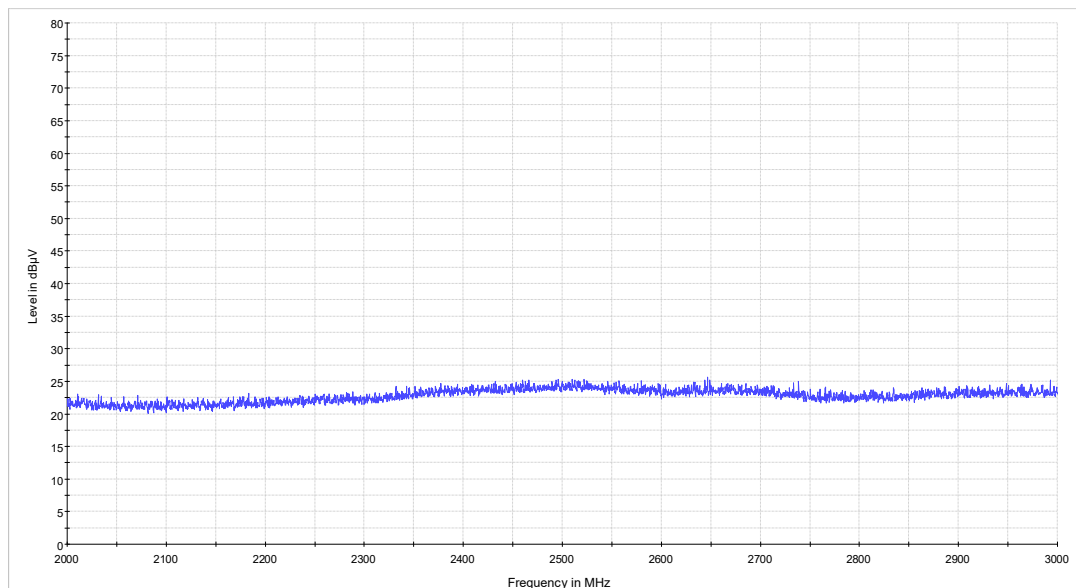
4.2 Měření v semi-anechoické komoře

Další měření proběhlo v semi-anechoické komoře. Semi-anechoická komora je místnost stavěná tak, aby zde nedocházelo k odrazu vln. Místnost je vybavena absorpčním materiálem, který zajišťuje pohlcení vyzařovaného vlnění. Dále je od vnějšího prostředí oddělena dvojitými ocelovými zdmi. Podle potřeby měření se vybere a zapojí anténa. [39]

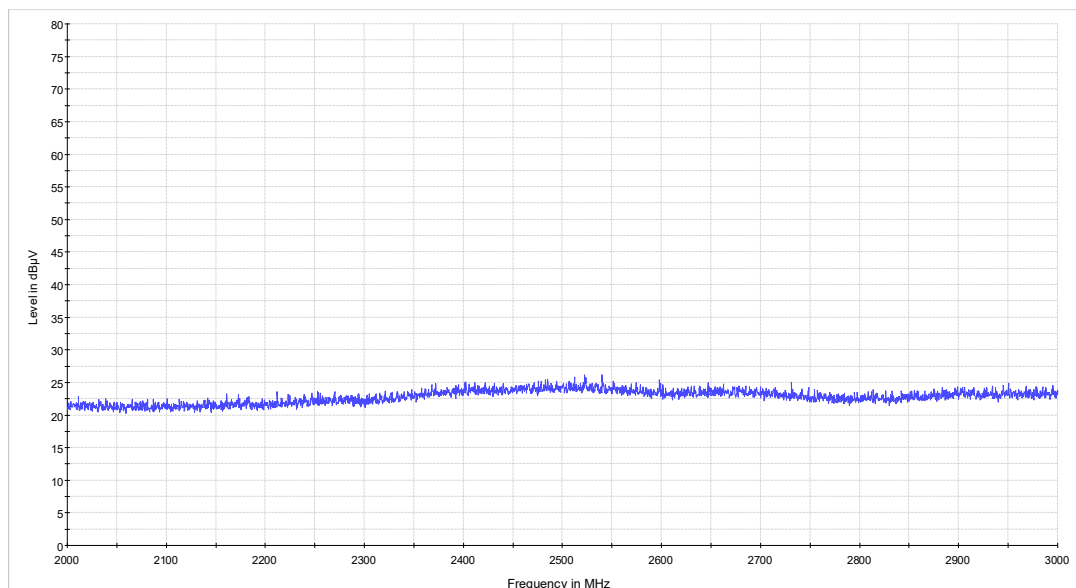


Obrázek 33 - Prostředí semi-anechoické komory využité k měření společně s anténou CBL 6112D

Ze začátku bylo opět provedeno referenční měření, aby byl dostupný průběh měření, kdy v místnosti není vysílán žádný signál. Model byl vložen do SAC na vyvýšené místo (stůl na Obrázku 33). Napájení prototypu bylo provedeno stíněným USB kabelem s dostatečnou délkou, aby dosáhl skrze průchodku ven z komory. Zde byl zapojen do zařízení, kde zároveň byl spuštěn program s výpisem dat ze senzoru.

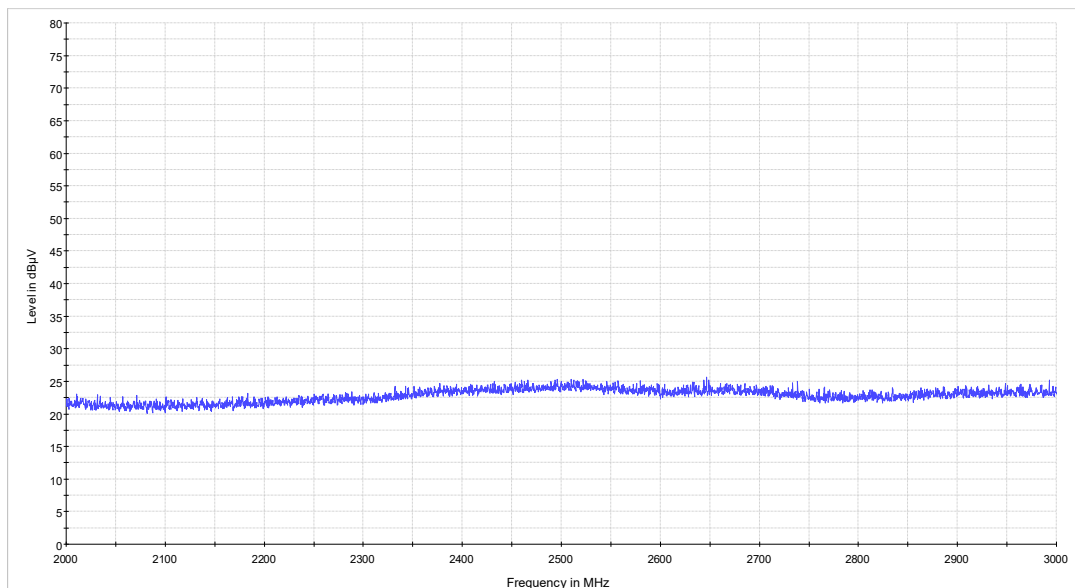


Obrázek 34 - Referenční měření v semi-anechoické komoře



Obrázek 35 - Měření v semi-anechoické komoře ve vzdálenosti 3 metrů

Měření proběhlo ve vzdálenosti 3 metrů. Z Obrázku 35 je jasné, že se nepodařilo zachytit žádný signál vysílaný mikrovlnným senzorem. Tento výsledek může být zapříčiněn velmi malou silou signálu, který senzor produkuje.



Obrázek 36 - Měření v semi-anechoické komoře ve vzdálenosti 2 metrů

Dále se anténa posunula směrem k prototypu do vzdálenosti 2 metrů (Obrázek 36). Zároveň se změnila pozice mikrovlnného senzoru tak, aby měl přímý výhled na anténu v podobné výšce.

Závěr měření:

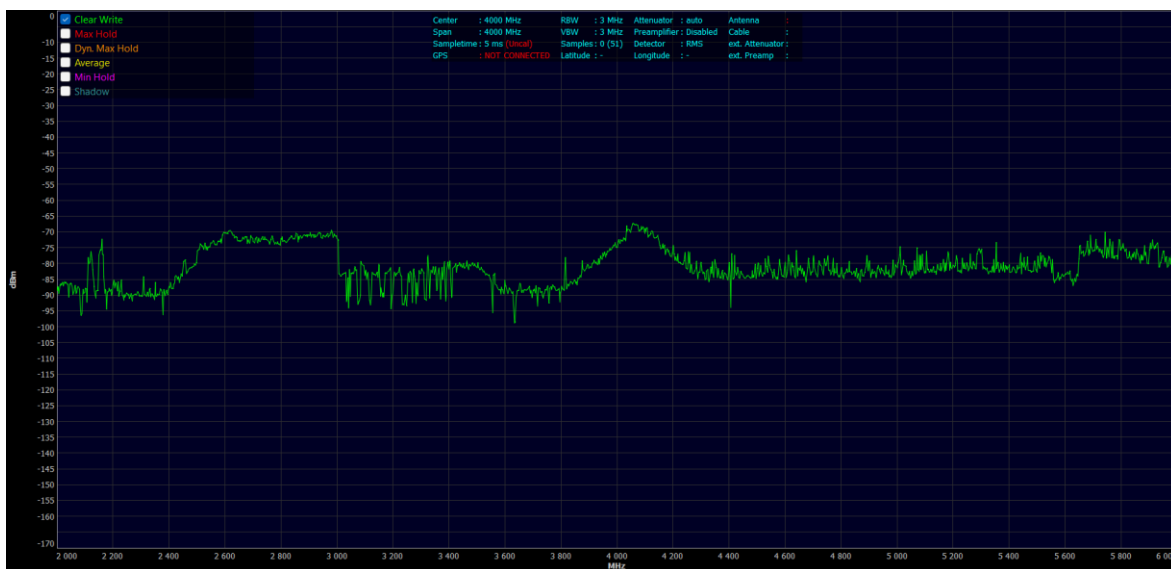
Obrázek 35 zobrazuje totožné výsledky měření jako Obrázek 36, z čehož lze usuzovat, že signál generovaný senzorem je příliš malý pro detekci ve vzdáleném poli. Jedna z možností, která by mohla pomoci k zachycení signálu, je posunutí antény co nejbližší k detektoru do stejné výšky. Proces měření se opakoval několikrát, a to ve vzdálenostech 2 m a 3 m, kdy výsledky byly totožné. Nejistota měření byla $\pm 0,162$ dB μ V.

4.3 Měření EMI pomocí Spectran HF – 6065

Pro další měření bylo využito zařízení modelu Spectran. Jedná se o přenosný ruční analyzátor od firmy Aaronia AG. Vyniká svojí hlavní předností, a to je mobilita. Oproti klasickému zařízení je mnohonásobně menší a dovoluje provést měření téměř kdekoliv díky zabudované baterii. Využitá konfigurace dovozovala využití dvou druhů antén. V tomhle měření bylo využito antény s názvem HyperLOG 7060. Poskytuje měření ve frekvenčním rozsahu 10 MHz až 6 GHz, RBW minimálně 10 kHz. [40]

V případě využití pouze zařízení Spectran je možné sledovat aktuální data, ovšem případné uložení, nebo zpětné sledování dat zařízení neumožňuje. Proto bylo využito programu přímo od výrobce. Aplikace MCS Spectrum Analyzer je bezplatně dostupná na internetu. Spectran

byl připojen skrze rozhraní USB k laptopu, kde skrze aplikaci bylo možné podrobně sledovat aktuální průběh, ale navíc bylo možné data uložit a zpětně analyzovat. Soubory byly uloženy ve formátu *.mdr, následně se zpětně daly otevřít v programu od výrobce. Následné průběhy měření se nachází v Příloze P II a v Příloze P III.



Obrázek 37 -Referenční měření prototypu



Obrázek 38 - Měření aktivního prototypu

Obrázky 37 a Obrázek 38 zobrazují průběh měření prototypu. Obrázek 37 popisuje referenční měření, kdy zařízení nebylo pod napětím, Obrázek 38 průběh měření, když byly všechny moduly v provozu. Anténa byla vzdálena 20 cm od modelu v obou případech. Propojení s laptopem bylo provedeno skrze stíněný USB kabel. Nastavení přístroje bylo následující: frekvenční rozsah 2 GHz až 6 GHz, sampletime: 5 ms, RBW: 3 MHz, VBW: 3 MHz, anténa typu HyperLOG 7060. [40]

Závěr měření:

Po měření a následném porovnání lze jednoznačně vidět rozdíl v průběhu signálu. Změna nastává okolo frekvence 2,8 GHz. Jedná se o pracovní frekvenci využitého mikrovlnného senzoru. Jelikož měření probíhalo mimo stíněné prostředí, tak signály mohly být ovlivněny vnějšími vlivy. Při referenčním měření se na průběhu projevil Wi-Fi signál okolo frekvence 2,4 GHz. Dále se podařilo zachytit i varianty mobilního signálu. Vrchol okolo frekvence 4 GHz představuje komerční satelitní služby, jako je například televizní vysílání. Měření bylo provedeno několikrát po sobě a obsahovalo téměř totožné informace o vrcholech signálu. Přesnost měření pomocí zařízení Spectran v kombinaci s anténou HyperLOG 7060 byla ± 3 dBm.

4.4 Měření EMS využitých senzorů

Kapitola pojednává o susceptibilitě jednotlivých senzorů. Jinak řečeno, jak jsou moduly schopné odolat cizím signálům. K tomuhle měření bylo využito opět GTEM komory, která poskytovala dostatečné prostředí pro šíření generovaného signálu. Do komory byly vkládány samostatné senzory, které byly skrze prodlužovací kabely stále připojeny k prototypu. Ten byl skrze stíněný USB kabel připojen k laptopu, kde skrze programovací prostředí a výpisu ze sériové linky bylo sledováno, které signály mění stav detektorů. [36]

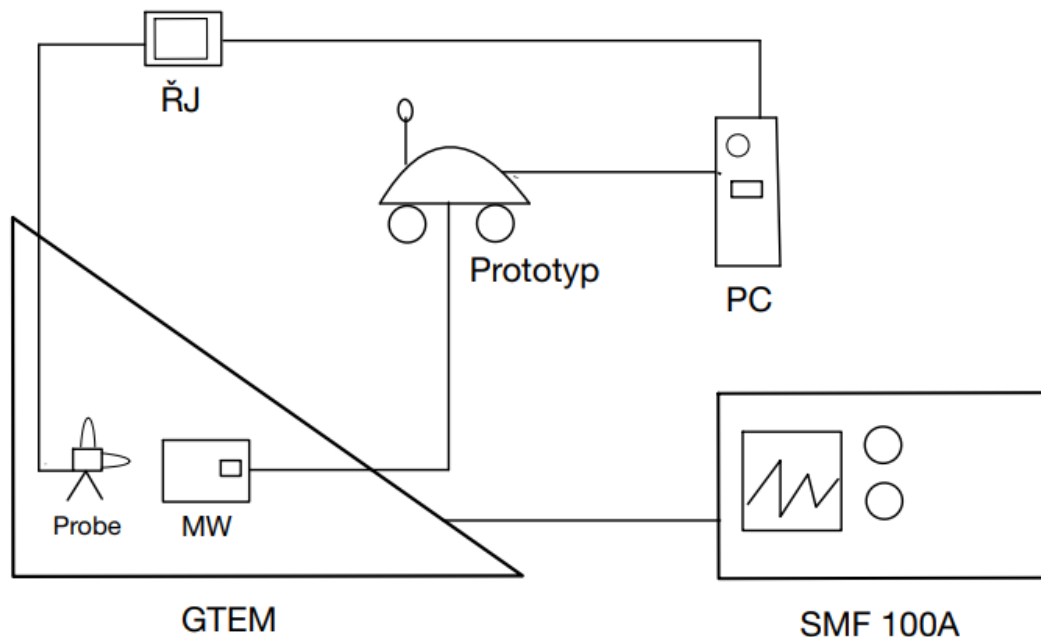
4.4.1 Měření mikrovlnného detektoru

Jako první byl experimentu podroben senzor HW – MS03. Byl vložen do GTEM komory a skrze průchodku se připojil k prototypu. Ke komoře bylo skrze stíněný koaxiální kabel připojeno zařízení Rohde&Schwarz SMF 100A. Jedná se generátor signálu, skrze něj bylo možné generovat signál o dané frekvenci a síle. Zároveň bylo do komory vloženo ještě zařízení Isotropic Electric Field Probe HI - 6105, které umožňovalo sledovat intenzitu elektrického pole uvnitř komory. Frekvenční rozsah tohoto zařízení je od 100 kHz po 6 GHz, což naprosto dostačovalo potřebám měření. Měřicí přístroj HI – 6105 bylo napájeno skrze vlastní externí řídicí jednotku, která se nacházela mimo komoru. Z té byl vedený navíc ještě optický kabel pro přenos signálu do jednotky. [41], [42]

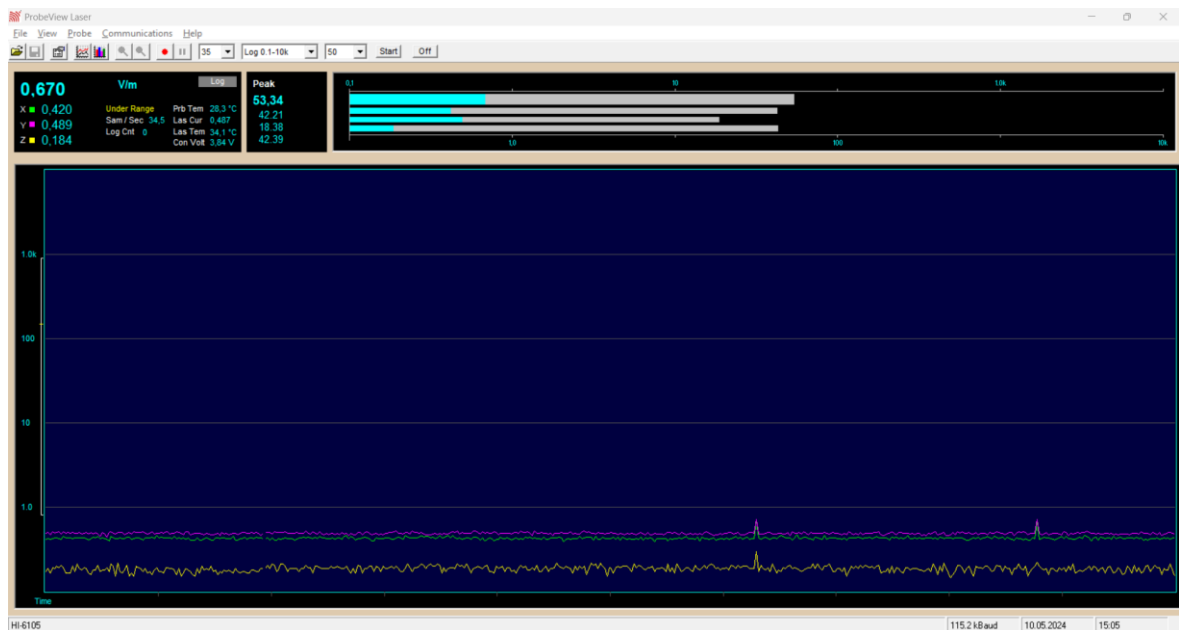


Obrázek 39 - Isotropic Electric Field Probe HI – 6105

Pro sledování údajů o intenzitě elektrického pole byla využita aplikace ProbeView Laser. Přenos dat byl uskutečněn skrze USB kabel, který vedl z řídicí jednotky. Data z měřících přístrojů byla zaznamenávána pro následnou analýzu a vyobrazení.



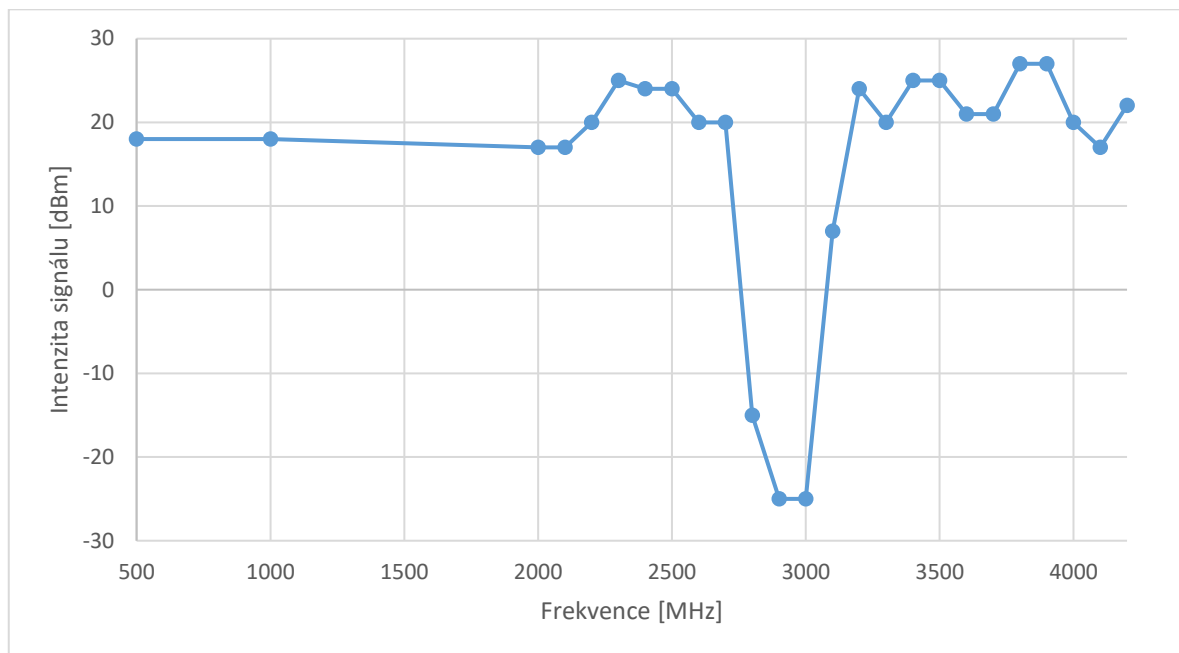
Obrázek 40 - Schéma zapojení při měření EMS mikrovlnného senzoru



Obrázek 41 - Rozhraní aplikace LaserProbe View na měření intenzity signálu

Na Obrázku 41 lze vidět využití prostředí aplikace. Program zobrazuje sílu intenzity pole v jednotce V/m. Příložený případ ukazuje intenzitu pole v hodnotě 2,9 GHz a -25 dBm. V téhle hodnotě byla intenzita pole 0,67 V/m, kdy v danou chvíli došlo k spuštění detekce pohybu pomocí vytvářeného signálu. Zároveň se na Obrázku 41 nachází 3 různé průběhy měření. Každá jednotlivá křivka vyjadřuje intenzitu pole v daném směru, jelikož na měřicím zařízení Isotropic Electric Field Probe HI – 6105 se nacházejí 3 sondy, které měří intenzitu

pole ve 3 směrech X, Y a Z. Jejich číselnou hodnotu můžeme vidět v levém horním rohu Obrázku 41.



Obrázek 42 - Průběh měření mikrovlnného senzoru

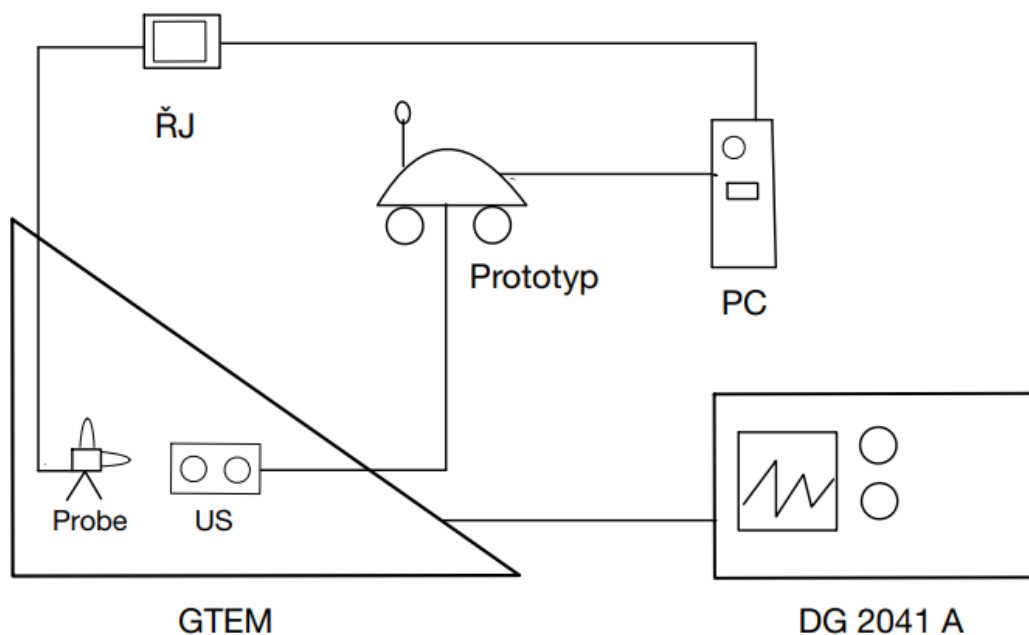
Obrázek 42 popisuje průběh měření susceptibility neboli při jaké frekvenci a síle signálu došlo k falešné detekci. Měření probíhalo od frekvence 0,1 GHz až po 4,2 GHz. Při změně frekvence o jeden krok, který byl zvolen, se změnila i síla signálu. Generátor pracoval v rozmezí -30 dBm až 30 dBm. Prvotní kroky byly citlivější, od frekvence 2 GHz následoval krok v hodnotě 0,1 GHz. Prvotní zaznamenání detekce nastalo při 0,5 GHz a 18 dBm. Při frekvenci 2,8 GHz až 3 GHz dochází k poklesu potřebné síly signálu. Pro vyvolání falešné detekce stačil signál o síle -25 dBm. Tahle hodnota odpovídá předchozím měřením, kde bylo zjištěno, jaká je pracovní frekvence detektoru. Z výsledku se dá usuzovat, že falešná detekce se dá vyvolat poněkud slabým signálem, a tudíž k falešným detekcím může docházet. Detekci bylo možné sledovat na výpisu hodnot z laptopu, skrze který probíhala komunikace s prototypem, ale také pomocí diody umístěné na modelu, která se při detekci rozsvítila.

4.4.2 Měření ultrazvukového detektoru

Jako další modul pro experiment byl využitý senzor HC – SR04. K provedení první části experimentu bylo využito stejné konfigurace, jako v předešlém případě. Senzor byl vložen do GTEM komory a připojen skrze propojovací kabely k prototypu. Prototyp byl propojen přes USB rozhraní k laptopu, kde probíhal výpis aktuální naměřené vzdálenosti pomocí

ultrazvuku. Ke komoře byl skrze koaxiální stíněný kabel připojen generátor Rohde&Schwarz SMF 100A. [41]

Měření probíhalo od nejmenšího možného kroku, a to od 100 kHz. Krok byl zvolen po 10 kHz. Od frekvence 300 kHz se postupovalo po kroku 50 kHz. Při frekvenci 1 GHz se měření ukončilo, jelikož nedošlo k žádné změně v měřené vzdálenosti a nepodařilo se senzor narušit.



Obrázek 43 - Schéma zapojení při měření EMS ultrazvukového senzoru

Výsledek měření se dá odvodit od pracovní frekvence udávané výrobcem, která je 40 kHz, tudíž byl zvolen generátor s nižší hodnotou startovní frekvence. Byl vybrán generátor signálu DG 2041 A, který disponuje frekvenčním rozsahem od 1 Hz až po 40 MHz. Volba přístroje a jeho rozsahu již odpovídala frekvenci senzoru. Počáteční frekvence byla zvolena hodnota 1 kHz, postupovalo se s krokem 1 kHz až po hodnotu 70 kHz. V okolí udávané frekvence výrobcem se krok snížil na hodnotu 200 Hz. [43]

Ani v tomhle případě nedošlo k ovlivnění výsledků, senzor poskytoval stále relativní výsledky měření. Z toho se dá usoudit, že zařízení je velice spolehlivé v souvislosti s ostatními signály, které se kolem něj vyskytují. Tohle může zapříčinit jemná mřížka, která se nachází na výstupech modulu, popřípadě může být signál různými způsoby modulován, aby nedošlo k ovlivnění funkčnosti.

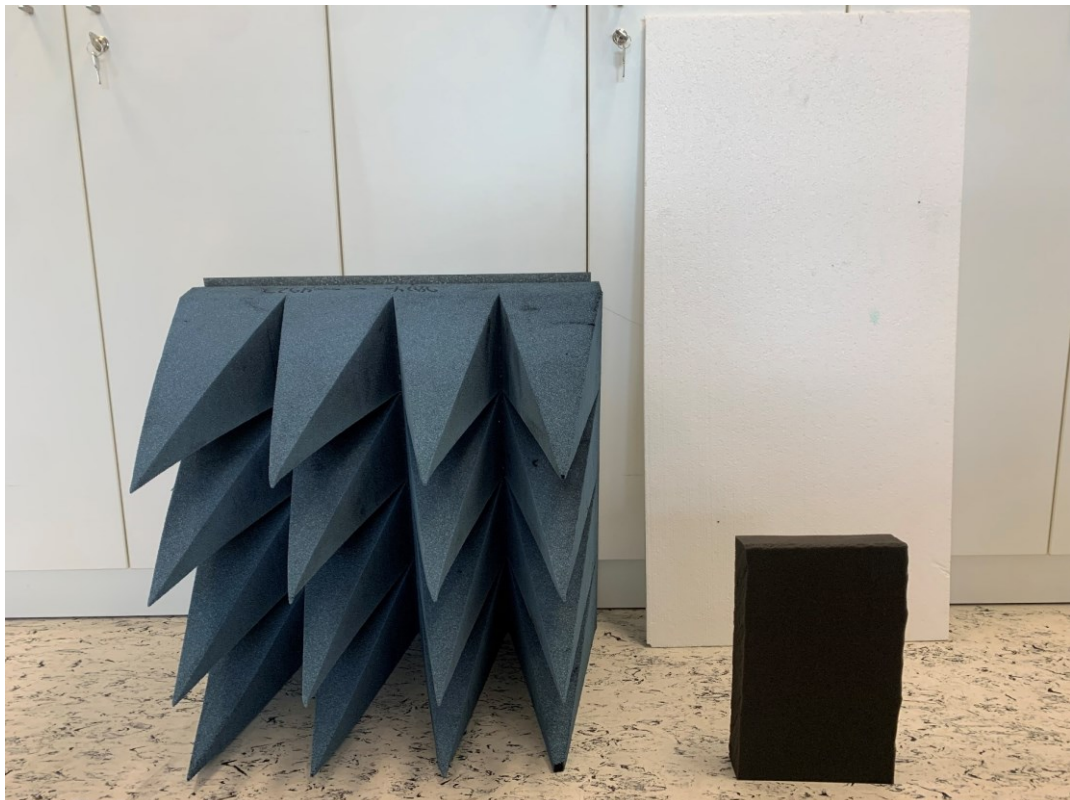
4.5 Měření schopnosti absorbovat vysílaný signál

Dalším bodem zájmu bylo zjištění, jak se bude chovat ultrazvukový senzor v případě měření vzdálenosti různých materiálů. Vybrané testovací objekty byly jak z absorpčních materiálů, tak i z materiálů, které mají schopnost signál odrazit zpět.

Vybrané materiály jsou:

- absorbery na plechové podložce;
- obdélníkový molitan;
- polystyrenový plát;
- karton opatřený měděnou povrchovou úpravou.

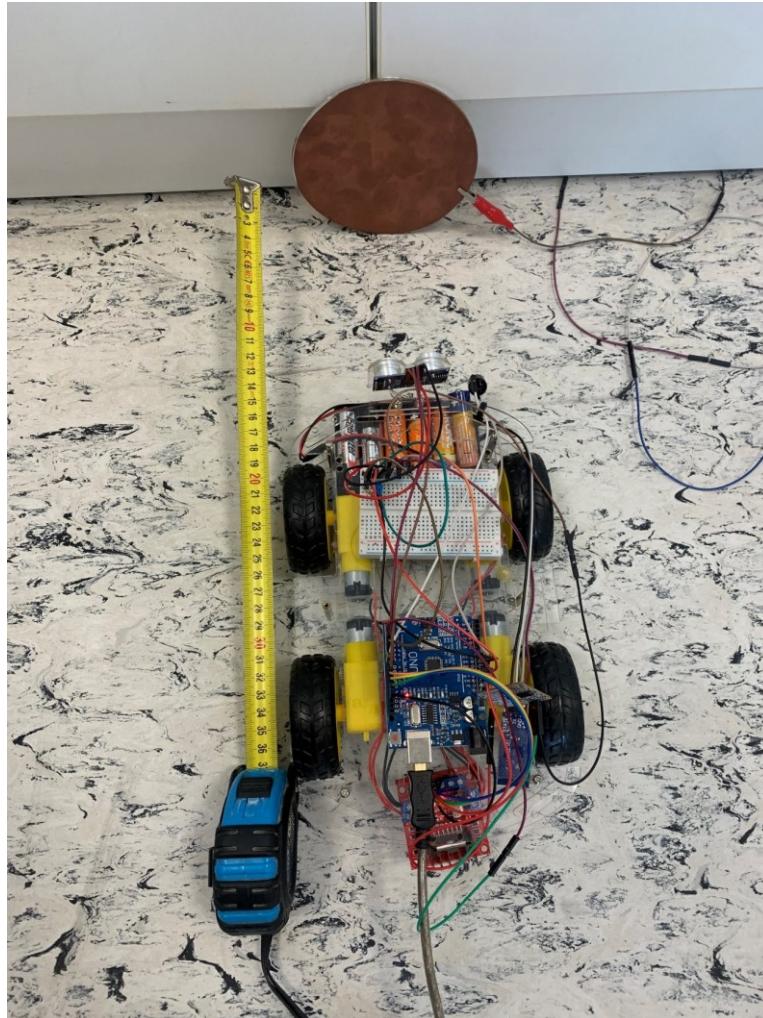
V případě kartonu s povrchovou úpravou bylo zjišťováno, jestli se změní měřená vzdálenost, pokud bude objekt sdílet zem s prototypem, přesněji řečeno přímo s ultrazvukovým senzorem. Pro potřeby daného experimentu byl vytvořen propojovací kabel.



Obrázek 44 - Ukázka využitých materiálů

Cílem bylo zjistit, jestli reálná hodnota vzdálenosti ultrazvukového senzoru a měřeného objektu odpovídá naměřené vzdálenosti. Reálná hodnota vzdálenosti byla dokazována

svinovacím metrem o délce 5 m. Hodnoty ze senzoru se zobrazovaly v programovacím prostředí Arduino IDE, kde skrze sériový port probíhal výpis z prototypu. Ten byl propojen s laptopem skrze stíněný USB kabel. Byly zvoleny 3 různé vzdálenosti, které byly 15 cm, 30 cm a 100 cm.



Obrázek 45 - Ukázka měření vzdálenosti měděného objektu

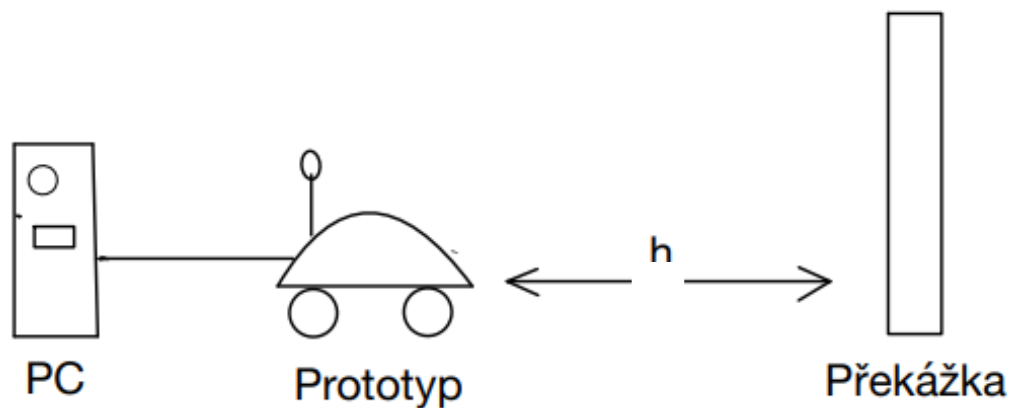
4.5.1 Absorbéry

Objekt byl umístěn tak, aby signál směřoval přímo do materiálu, díky tvaru a rozměrům bylo potřeba opřít objekt o skříň. Pomocí svinovacího metru byla odměřena vzdálenost 15 cm a zde byl nastaven prototyp. Následně bylo provedeno měření a odečteny hodnoty.

Ve stejných krocích bylo postupováno i s ostatními vzdálenostmi, které byly taktéž odměřeny pomocí metru. Tabulka 3 zobrazuje jednotlivé výsledky měření pro zadané vzdálenosti. Všechny udávané hodnoty jsou v cm.

Tabulka 3 - Výsledky měření vzdálenosti pěnových jehlanů

	Zadaná vzdálenost [cm]		
	15	30	100
Měření č. 1	78	79	79
Měření č. 2	78	79	79
Měření č. 3	78	79	79
Měření č. 4	78	79	78
Měření č. 5	79	79	78
Měření č. 6	79	78	78
Měření č. 7	79	78	78
Měření č. 8	79	78	78
Měření č. 9	79	78	78
Měření č. 10	79	78	78



Obrázek 46 - Měření absorpce signálu prototypu parkovacích senzorů

4.5.2 Molitan

Následovalo měření s využitím molitanu, ve tvaru hranolu. Výška objektu byla 17 cm, šířka 25 cm a hloubka 6 cm. Objekt byl umístěn největší plochou směrem k senzoru na šířku. Opět byla odměřena vzdálenost a bylo provedeno měření.

Tabulka 4 - Měření vzdálenosti molitanového hranolu

	Zadaná vzdálenost [cm]		
	15	30	100
Měření č. 1	78	78	78
Měření č. 2	78	79	99
Měření č. 3	78	78	99
Měření č. 4	78	79	98
Měření č. 5	78	78	78
Měření č. 6	79	78	78
Měření č. 7	79	78	78
Měření č. 8	78	79	99
Měření č. 9	78	78	98
Měření č. 10	79	78	78

4.5.3 Polystyrenový plát

Další objekt, který byl podroben měření byl plát z polystyrenu. Díky rozměrům byl plát zapřen do pravého úhlu o skříň, která se nacházela v místnosti. U tohoto materiálu nebyla předpokládána schopnost absorbovat signál. Byly odměřeny vzdálenosti a pomocí senzoru proběhlo měření.

Tabulka 5 - Měření vzdálenosti polystyrenového plátu

	Zadaná vzdálenost [cm]		
	15	30	100
Měření č. 1	14	30	99

Měření č. 2	15	31	99
Měření č. 3	14	30	99
Měření č. 4	15	30	99
Měření č. 5	15	30	100
Měření č. 6	15	30	100
Měření č. 7	15	30	100
Měření č. 8	16	31	99
Měření č. 9	15	30	99
Měření č. 10	15	29	100

4.5.4 Objekt s povrchovou úpravou z mědi

Poslední měření bylo provedeno pomocí kartonu s měděnou povrchovou úpravou. U takového materiálu se očekává, že bude vlny odrážet. Cílem bylo zjistit, co se stane, pokud se měď na povrchu spojí společně se senzorem skrze zem. Bylo potřeba vyrobit propojovací prvek. Díky krokosvrce, která byla prodloužena a spojena kabelem s koncovkou typu male, bylo možné měřicí modul a objekt propojit. Díky velikosti objektu bylo měření provedeno pouze ve vzdálenosti 15 cm. Při větších vzdálenostech by signál mohl být odrážen od skříně, o kterou byl měřený objekt opřen.

Tabulka 6 - Měření objektu s měděnou úpravou

	Společná zem odpojená [cm]	Společná zem spojená [cm]
Měření č. 1	14	15
Měření č. 2	15	15

Měření č. 3	15	16
Měření č. 4	15	15
Měření č. 5	15	15
Měření č. 6	15	15
Měření č. 7	15	15
Měření č. 8	15	15
Měření č. 9	15	15
Měření č. 10	15	15

Závěr měření:

Při měření absorpce materiálů byl výsledek podobný s očekáváním. V případě měření pěnových trojhranů došlo k tak vysoké absorpci signálu, že se nedokázal vrátit v dostatečné intenzitě, aby ho senzor zaznamenal. Stejný výsledek byl závěrem i v případě pěnového hranolu, kdy ovšem při největší vzdálenosti 100 cm velikost objektu nestačila. Senzor pracuje v úhlu 15 stupňů, takže ve větší vzdálenosti byl signál schopen zaznamenat vzdálenější objekt, od kterého docházelo k občasnému odrazu. Polystyrén se zachoval jako předmět, který neabsorboval signál, anebo pouze jeho malou část, měřené vzdálenosti odpovídaly reálným hodnotám. Při měření objektu s měděnou povrchovou úpravou nenastala změna měřené vzdálenosti v případě společné země, tudíž byl signál dostatečně odražen a nedošlo k jeho absorpci skrze propojovací pin. Z experimentu se dá usoudit, že vzdálenost 78 cm a 79 cm zobrazí systém tehdy, když nedokáže zachytit zpětný signál. Tahle skutečnost byla ověřena i nasměrováním senzoru do volného prostřanství. Vzdálenost byla systémem vypsána jako 78 cm. Měření ultrazvukovým detektorem bylo provedeno s přesností $\pm 0,3$ cm.

4.6 Teplotní testování

Poslední z provedených experimentů na prototypu bylo testování odolnosti na krajní hodnoty provozních teplot. Ty byly zvoleny pomocí údajů z dokumentů k jednotlivým modulům, pokud byly dohledatelné. K tomuto experimentu bylo využito speciální teplotní komory DISCOVERY MY, která se využívá k testování působení klimatických změn

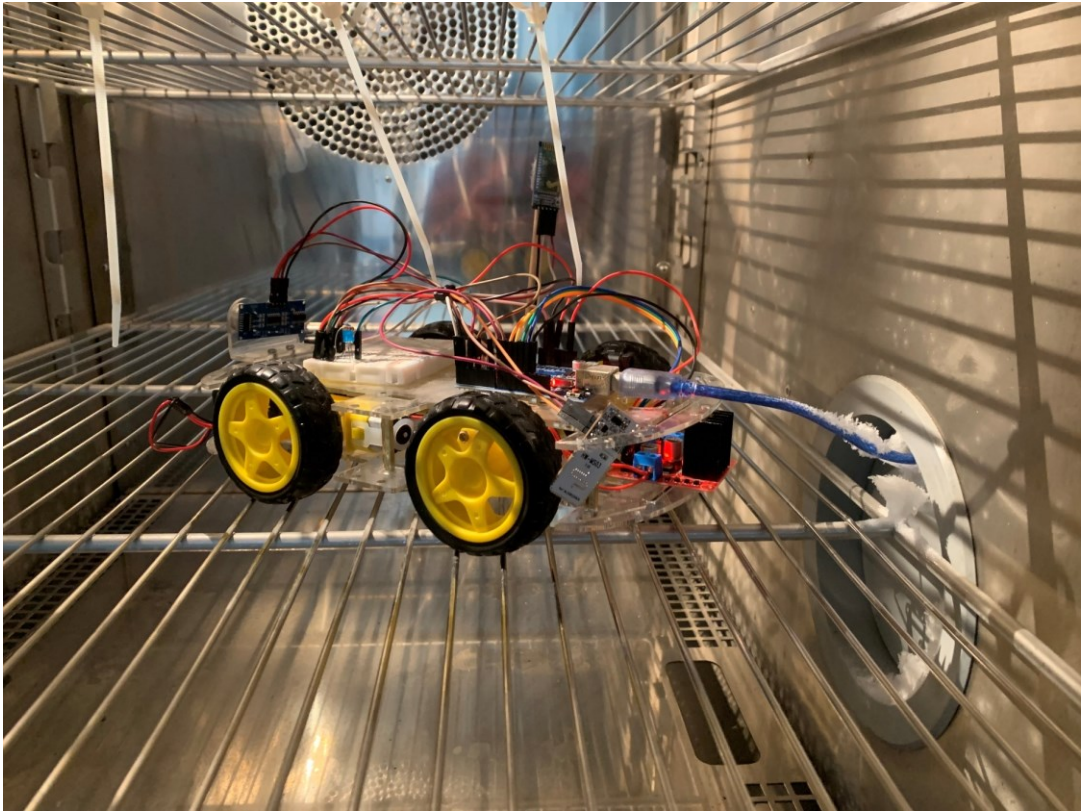
v různých odvětvích. Teplotní komora umožňuje teplotní rozsah od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vlhkost se pohybuje od 10 % až po 98 %. [44]



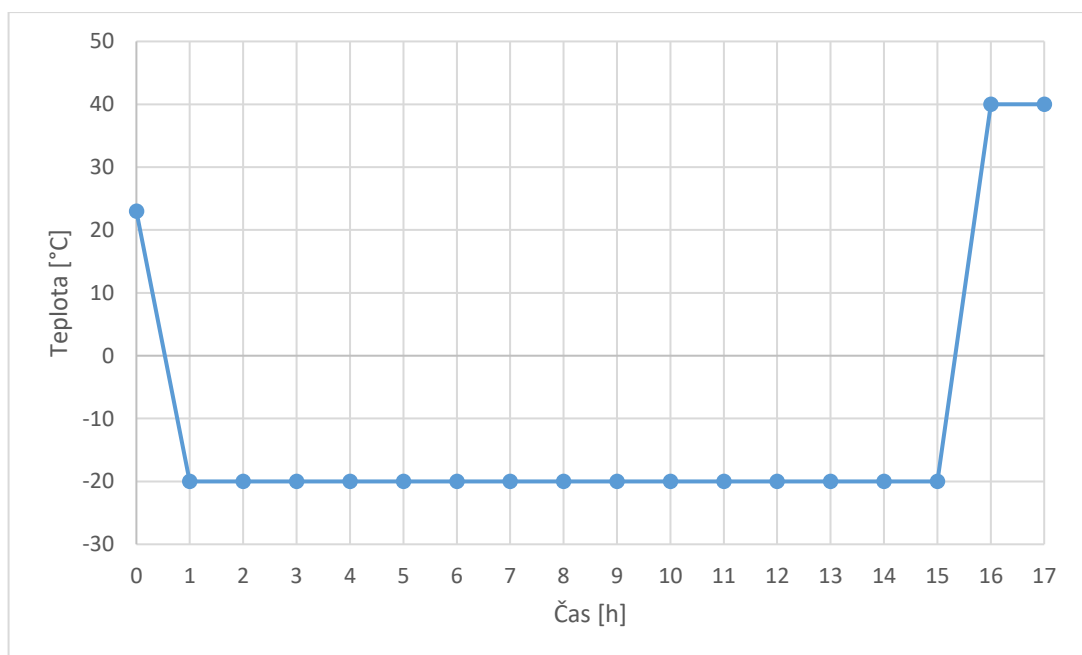
Obrázek 47 - Využitá teplotní komora na $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Model byl vložen do jedné komory, kde se nastavila teplota $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ovládání a nastavení klimatické komory probíhá skrze speciální rozhraní na počítači. Vlhkost vzduchu se nastavila na 50 %, aby se podobala běžné vlhkosti vzduchu. Napájení bylo provedeno USB kabelem, který vedl skrze průchodku do napájecího zdroje. Po dobu celého experimentu byl prototyp v provozu. Po předem stanovené době byl prototyp vyjmut a následovalo rychlé testování funkčnosti. Po rychlém ověření funkčnosti se využilo druhé teplotní komory, která

již byla nastavená na 40 °C a vlhkost vzduchu na 50 %. Po vyjmutí modelu z druhé komory byla opět ověřena funkce všech částí prototypu.



Obrázek 48 - Prototyp uvnitř komory s viditelnou námrazou



Obrázek 49 - Průběh teploty uvnitř komory

Obrázek 49 zobrazuje, jaká byla teplota v průběhu měření. Počáteční teplota byla nastavena na 23 °C, což byla teplota prostředí v místnosti, kde se komora nacházela. Dále se dá vidět znázornění skokové změny teploty, které byl model vystaven.

Závěr měření:

Prvotní predikce předpokládala, že testování bude mít negativní vliv na funkčnost prototypu a experiment bude destruktivní. Proto byl takový experiment nechán až na konec. Oba dva testovací úseky mezi šokovou změnou teploty byly úspěšné a prototyp nebyl zničen. V obou případech model byl plně funkční, měřená vzdálenost odpovídala reálné vzdálenosti, která byla zvolena na 20 cm. Při každém pokusu bylo dosaženo stejného výsledku. Takže se dá předpokládat, že prototyp zvládá pracovat i v případě nízkých a vysokých teplot, ani 60 °C šoková změna nemění funkce.

5 EXPERIMENTY PROVEDENÉ NA REÁLNÉM MODELU

Kapitola je zaměřená na provádění experimentů na reálném automobilu, kterým fakulta disponuje. Využívá se elektrického auta Škoda Enyaq 80. Cílem bylo odhalit případné slabiny systémů, kterými je automobil vybavený.

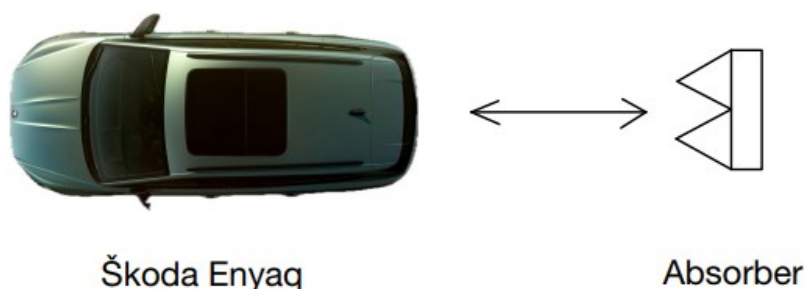
5.1 Parkovací senzory a materiály

Automobil je vybavený parkovacími senzory, které jsou doplněny o přídavné funkce. Auto dokáže pomoci s parkováním díky systému Park Assist, který řidiči zpříjemní parkování ve stísněných prostorech. Dále systém disponuje parkovací kamerou, která obsahuje i širokouhlý režim, pomáhající například při vycouvávání z místa. Cílem bylo odhalit, jak bude systém reagovat na různé materiály, a zda například probíhá i nějaká forma identifikace obrazu skrze kameru.

Využité materiály:

- absorbery plechové podložce;
- obdélníkový molitan;
- polystyrenový plát.

Volba materiálů byla stejná, jako v případě testování prototypu, kromě objektu s měděnou povrchovou úpravou. Při volbě byla uvažována skutečnost absorpce signálu.



Obrázek 50 - Měření absorpce signálu parkovacích senzorů

5.1.1 Absorbéry

V případě jehlanů bylo měření provedeno ve volném prostoru. Objekt byl umístěn do prostoru, aby žádný jiný objekt nebyl v pracovním poli senzorů. S autem bylo odjeto do

vzdálenosti 10 metrů. Následně byl zařazen požadovaný rychlostní stupeň a odbrzdila se ruční brzda. Setrvačností elektromotoru bylo auto uvedeno do pohybu a následně probíhalo přibližování.

Díky povětrnostním podmínkám v druhé části experimentu bylo potřeba zapřít objekt o blízky sloup, který se na parkovišti nacházel.

5.1.2 Molitanový hranol

Jelikož velikost molitanového hranolu byla malá, cílem téhle části bylo zjistit, co se stane, pokud bude rukou pohybováno přímo před jednotlivými senzory. Objekt o rozměrech výška 17 cm, šířka 25 cm a hloubka 6 cm byl uchopen širší stranou dolů. Další z cílů bylo zjistit, zda kamera zabírá ten samý úhel, ve kterém pracují ultrazvukové senzory.

5.1.3 Polystyrenový plát

Při téhle variantě materiál představoval objekt, který bude odrážet signál, což vplynulo i z předchozích měření. Cílem bylo zjistit, jak rychle je schopný reagovat na pohybující se předmět, a jaká je minimální vzdálenost indukující řidiči zastavení vozidla.

Ve vozidle byl zařazen rychlostní stupeň, aby systémy byly uvedeny do provozu. Následně se s polystyrénovým plátem pohybovala osoba před senzory. Pohyb byl proveden z neseného prostoru přes prostor přímo za vozidlem. Následně byl plát zapřen o již zmiňovaný sloup. Vozidlo bylo uvedeno do pohybu a zastavilo se, až systém indikoval minimální vzdálenost od překážky.

Závěr měření:

Při experimentu s pěnovými jehlany bylo zjištěno, že objekt pohltil signál na takovou úroveň, při které nedošlo k detekci a auto nezaznamenalo, že se za ním nachází překážka. Z toho se dá odvodit, že systém neumí detekovat objekty za vozidlem skrz parkovací kameru, která tedy slouží pouze pro vizuální přehled řidiče. To ovšem neplatí v případě, kdy byl objekt otočen a na vrchní straně se nacházel přesah plechového podkladu. Přesah činil 1 cm. Takový malý kousek byl systém schopný zaznamenat a upozornit řidiče na překážku. Z toho se dá odvodit, že systém má v případě zdárného odrazu velkou citlivost. Při překrytí senzoru molitanovým hranolem nedošlo k žádné indikaci, ať už detekce překážky, nebo například hlásky oznamující špatnou funkci senzorů. Až při vzdálenosti 8 cm od senzoru došlo k detekci, což zapříčinila ruka, která se dostala do detekční zóny senzoru. Objekt byl viditelný v parkovací kameře i v případě přímého kontaktu se senzorem, tudíž pozorovací

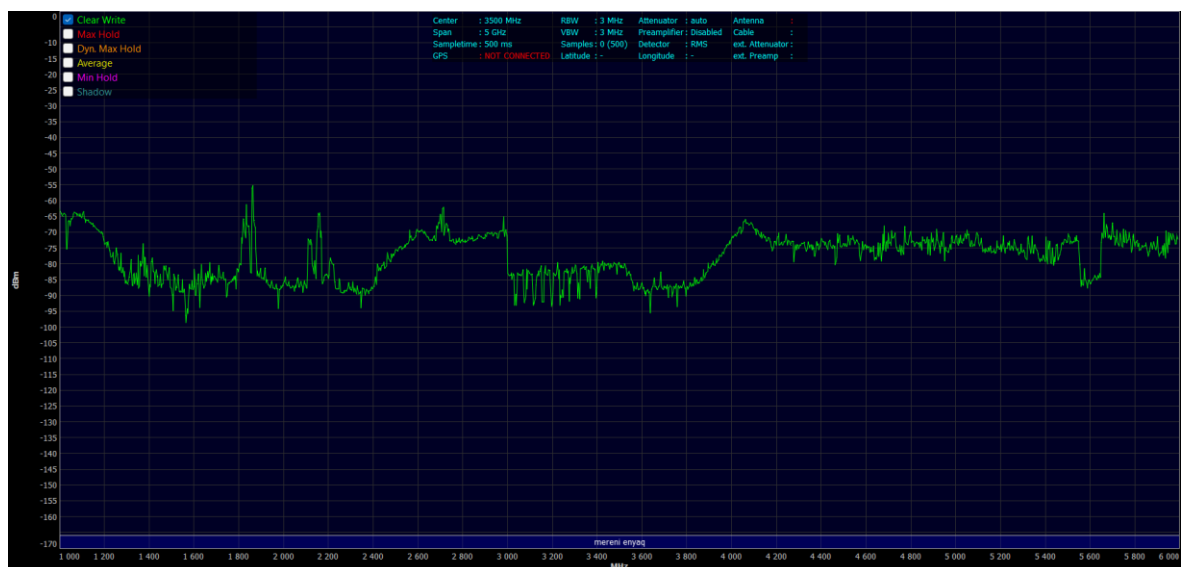
úhel kamery je plně dostačující pro dostatečný přehled o situaci za vozidlem. Reakce na pohybující objekty za vozidlem je uspokojivá. V případě vstoupení do detekční zóny nastala detekce téměř okamžitě. Prodleva byla minimální. Indikace nejmenší vzdálenosti objektu k vozidlu nastala při 28 cm od polystyrenového plátu.

5.2 Měření okolí pomocí zařízení Spectran

Pro měření frekvence automobilu bylo využito ručního spektrometru Spectran HF – 6065. Byla zjišťována frekvence, kterou vozidlo vysílá. Měření bylo limitováno přístrojem, který má rozsah měření maximálně 6 GHz. Tudíž jsme zjišťovali, zda se v tomhle rozsahu nachází nějaká frekvence. Experiment se prováděl ve volném prostředí, kde je možnost jakéhokoliv rušení, jelikož by rozměr automobilu nedovolil měření ve stíněném prostředí. Vozidlo bylo měřeno za daných podmínek, a to v případě provozního režimu, kdy v autě seděla osoba a byl zařazen rychlostní stupeň. Dále proběhlo i referenční měření, při kterém bylo vozidlo vypnuté a zamknuté. Měření proběhlo také z obou dvou stran, a to zepředu i zezadu. [40]

Výsledky byly ukládány skrze připojení k laptopu, kde byla spuštěna aplikace na ovládání měřicího zařízení. Díky programu MCS Spectrum Analyzer bylo možné se k výsledkům zpětně vrátit a porovnat je, jelikož aplikace dovoluje ukládání průběhu měření. K měřicímu zařízení byla připojena anténa HyperLOG 7060, která je dodávaná společně s přístrojem. [40]

Pro měření byl využit rozsah 1 GHz až 6 GHz. Hodnota 6 GHz je maximální hodnota, kterou přístroj podporuje. Dále bylo nastaveno RBW: 3 MHz, VBW: 3 MHz, Sampletime: 500 ms.



Obrázek 51 - Referenční měření okolí vozidla zepředu



Obrázek 52 - Referenční měření okolí vozidla zezadu

Z Obrázku 51 a Obrázku 52 se dá usoudit, že v okolí byla spousta jiných signálů a rušení, které byly vysílány ostatními zařízeními. Měření proběhlo ve vzdálenosti jednoho metru od automobilu, a to ze zadní i přední části.



Obrázek 53 - Měření zapnutého vozidla ze přední strany



Obrázek 54 - Měření zapnutého vozidla ze zadní strany

Zapnuté vozidlo bylo měřeno za stejných podmínek, jako v případě referenčního měření. Vzdálenost byla taktéž dodržena stejná. K propojení měřícího přístroje s laptopem bylo využito stíněného USB kabelu. Zobrazené průběhy měření se nachází v Příloze P IV, Příloze V, Příloze VI a Příloze VII.

Závěr měření:

Z přiložených grafů lze vidět, že v rozsahu měření 1 GHz až 6 GHz nebyl zachycen žádný signál, který by měl původ z měřeného vozidla, jelikož porovnáním všech snímků bylo zjištěno, že průběhy jsou téměř totožné. Mimo to bylo zachycena spousta jiných signálů. Signál okolo frekvence 1,8 GHz dosahující intenzity -50 dBm může představovat GSM signál, který se využívá pro mobilní síť. Vrchol v okolí 2,2 GHz o intenzitě -63 dBm se využívá taktéž pro mobilní síť, přesněji pro 3G síť, v některých případech také LTE 4G přenosy. V dalším vrcholu, který začíná při frekvenci 2,4 GHz a dosahuje intenzity -58 dBm je zdrojem pravděpodobně kombinace Wi-Fi sítí a Bluetooth zařízení, může se zde nacházet i určitá část LTE pásma. Měření proběhlo několikrát po sobě pro každý z uvedených příkladů. Naměřené hodnoty měly téměř totožné hodnoty vrcholů vyskytujících se v průběhu měření. Přesnost měření byla ± 3 dBm.

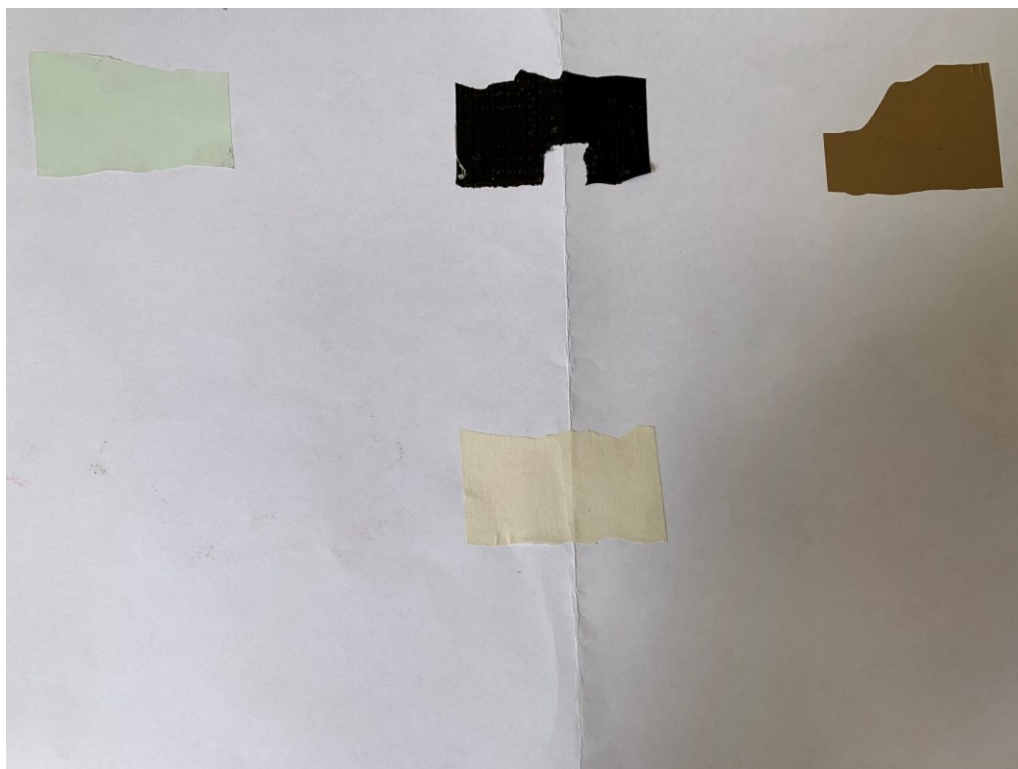
5.3 Simulace znečištění senzorů

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jak senzory reagují na znečištění. Znečištění bylo simulováno pomocí sprejů a pásek, které se přikládaly na jednotlivé senzory, popřípadě se

na pásky stříkaly spreje, aby nedošlo k znečištění vozu, nebo třeba k úplnému poškození systému.

Využité materiály k znečištění:

- papírová lepicí páska;
- běžná lepicí páska (hnědá);
- lepicí páska se silnější tloušťkou (světle zelená);
- lepicí páska zesílená tkaninou a silnější strukturou (černá);
- lepidlo ve spreji 3M;
- bílá akrylová barva ve spreji.



Obrázek 55 - Vzorky využitých pásek

Pro měření vzdálenosti bylo využito 4 objektů, které byly rozmístěny v zadní části vozu tak, aby každý kanál systému (senzor) měl v zorném poli jednu překážku. Objekty byly položeny do vzdálenosti, která se v průběhu měření neměnila. Tímto bylo možné porovnat důsledek jednotlivých materiálů na měřenou vzdálenost. Pomocí svinovacího metru byly jednotlivé objekty změřeny, včetně vzdálenosti od vozidla.

Tabulka 7 - Využité objekty k měření

Objekt	Rozměry [cm] (výška; šířka)	Vzdálenost od senzoru [cm]
Kovový stativ	91; 2	52
Dřevěná tyč	115; 7	85
Plastový kufr	43; 50	136
Kovové schodky	67; 36	52

Následně byly testovány různě druhy izolep. Jednotlivé kousky byly lepeny na senzory a zjišťoval se jejich vliv. Při využití izolep bylo zjištěno, že pokud byla páska uhlazená přes celou plochu senzoru, tak byla schopná propustit signál a nedošlo k ovlivnění. V případě, kdy byla páska pouze nalepená a nedošlo k jejímu uhlazení přes samotný senzor, tak ve většině případů nedošlo k propuštění signálu. Jediná obyčejná lepicí páska byla schopna propustit signál, ale pouze při nalepení jedné vrstvy. Ostatní pásy signál zachytily.

Zásadní rozdíl byl v zobrazení jednotlivých kanálů. Krajní senzory nic nedetekovaly, ani pásku, ani objekt za vozidlem. Krajní kanály se chovaly neukazovaly žádnou překážku. Dva prostřední kanály ukazovaly maximální přiblížení k překážce (páska).

Dále se pásy začaly vrstvit. K tomuto bylo využito zesílené pásy (zelené) a papírové. Při vrstvení zesílené pásy bylo zjištěno, že k ovlivnění senzorů došlo až v případě třetí vrstvy. To se projevilo rychlostí detekce. Senzor, kde byl umístěn kufr a stativ nebyl schopný rozpoznat překážku hned po zapnutí systému. Došlo k prodlevě detekce, případně se signál částečně ztrácel a nebyl konstantní. Ve 2 případech z 10 pokusů nedošlo k detekci vůbec. Takle skutečnost se změnila až při 6 vrstvě, kdy systém vyhodnotil znečištění senzorů a upozornil řidiče.

V případě papírové pásy došlo ke zkreslení měření už při druhé vrstvě, kdy úspěšnost měření byla 80 % (ve 2 pokusech z 10 nedošlo ke správné detekci). Při třetí vrstvě systém přestal detekovat kovové schodky a tento krajní kanál přestal cokoliv detekovat. Při čtvrté vrstvě došlo ke snížení úspěšnosti na 60 % na všech objektech, kromě dřevěné tyče. Tam byla 100 % úspěšnost. Pátá vrstva způsobila chybovou hlášku informující o znečištění senzorů.

Dále se využilo akrylové barvy. Aby automobil nebyl znečištěn, zalepil se senzor páskou, na kterou se následně nanasla barva. Měření se zalakovaným senzorem mělo 100 % úspěšnost, a to i při druhé vrstvě. Pro vícenásobné vrstvení bylo využito lepidla ve spreji. Postup byl stejný jako při akrylové barvě, senzor byl zalepen páskou, na kterou se následně vrstvilo. Úspěšnost měření byla 100 % až po 10. pokus, kde došlo ke zkreslení signálu a úspěšnost klesla na 70 % a detekce menších objektů nebyla okamžitá, popřípadě se signál ztrácel. Při 12. vrstvě byla zobrazena hláška o znečištění senzorů.

V posledním případě bylo zjišťováno, jaký je rozdíl krajních a vnitřních senzorů v případě detekce velice blízkých objektů. Jeden vnitřní senzor byl zakryt pomocí kousku kartonu a lepicí pásky, druhý vnitřní byl přelepen páskou. Jeden z krajních kanálů byl také zalepen kartonem. Reakce systému byla následovná:

- krajní zakrytý senzor (kartonem) – bez detekce;
- vnitřní zakrytý senzor (kartonem) – detekce maximálního přiblížení k překážce;
- vnitřní zakrytý senzor (páskou) – detekce správného objektu
- krajní senzor bez zakrytí – detekce správného objektu



Obrázek 56 - Zakrytí senzorů více druhy materiálů

Tahle skutečnost byla ověřena i v opačném pořadí, takže byly druhy zakrytí přehozeny. Výsledek byl stejný, krajní senzor nereagoval na překrytí a nezobrazoval žádnou překážku.

Závěr měření:

V případě lepících pásek bylo zjištěno, že měření ovlivnil způsob zakrytí. V případě uhlazení je páska schopná propustit signál v dostatečné síle, aby systém byl schopen funkce. V případě neuhlazení pásky k ploše senzoru dochází ke zkreslení. To zapříčinila malá vzduchová kapsa, která pod páskou vznikla kvůli zapaštěnému profilu senzoru. Takže v případě, kdy se například na nárazník nalepí list může dojít ke zkreslení a systém nebude pracovat, jak se předpokládá. Vrstvení pásek pak následně snižovalo přesnost systému, což se projevovalo až při více vrstvách. Barva na povrchu senzoru neovlivnila detekci, což potvrzuje skutečnost, že se systém dá lakovat společně s automobilem. Problém by mohl vzniknout v případě nevhodného postupu, kdy by vznikla pod vrstvou barvy vzduchová kapsa, následně by mohlo dojít ke snížení přesnosti, nebo nefunkčnosti systému. Obecně systém disponuje velkou odolností proti znečištění, kterého je možné dosáhnout v běžném provozu. Společně s parkovací kamerou a schopností upozornit řidiče na nečistoty na senzoru se jedná o spolehlivý systém. Krajní senzory nejsou schopny detekovat objekty v přímém kontaktu s detektorem, což může být zapříčiněno jejich nižším usazením oproti sensorům ve středu nárazníku. Může se jednat o filtrování falešných signálů, které může způsobovat vyšší tráva.

5.4 Narušení pole parkovacích senzorů

Cílem experimentu bylo zjistit, zda se dva systémy dokážou navzájem ovlivňovat. Pro tento test bylo využito dvou automobilů, které využívaly stejnou generaci systému. Jedno z vozidel byl již zmiňovaný Enyaq, jako druhé z vozidel se využilo čtvrté generace Škody Octavia. Vozidla se postavila zadní stranou směrem k sobě. Počáteční vzdálenost byla taková, aby se vozidla vzájemně nedetekovala. Následně se vozidla začala přibližovat k směrem k sobě.



Obrázek 57 - Přibližování dvou využitých vozidel

Po přiblížení se vozidla vzájemně detekovala a ukazovala stejnou vzdálenost i v případě, že jedno vozidlo vyřadilo rychlostní stupeň a dalo se do parkovacího režimu pomocí elektronické ruční brzdy.

Závěr měření:

Jelikož vozidla ukazovala stejnou vzdálenost při různých odstupech, a i při vypnutí jednoho systému nedošlo ke změně na systému druhém se dá předpokládat, že senzory se vzájemně neovlivňují. Tahle skutečnost je důležitá, protože pokud by došlo k ovlivnění měření, mohlo by dojít ke kolizi s jiným vozem. Systémy se neovlivňují buď díky vlastní modulaci signálu, nebo také systémy umí filtrovat signály podle jejich intenzity, která se díky odrazu snižuje.

ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o zkoumání zranitelnosti elektronických bezpečnostních systémů vozidel. V teoretické části je popsán současný stav bezpečnostních systémů v automobilech a nákladních vozidlech. Je zde rozepsáno základní rozdělení systémů. Obsahem je také popis běžně používaných bezpečnostních systémů v automobilech, které se pohybují na našich silnicích. Rozebráno je i nařízení Evropské unie, které pojednává o systémech, které se musí povinně instalovat do nově vyráběných vozů. Tyhle aspekty zvyšují autonomní úroveň vozů, tudíž je zde i zmínka o autonomní dopravě a její budoucnosti.

V praktické části je popsán vývoj a stavba prototypu vozidla, které je vybaveno elektronickými bezpečnostními systémy. Rozebírají se jednotlivé součástky a nechybí ani jejich popis a princip funkce. V přílohách je přiložený kód, který obsahuje i základní popis a vysvětlení jednotlivých příkazů. Dále se práce zaměřila na jednotlivé experimenty, které byly provedeny za účelem ověření funkčnosti prototypu a následně ověření funkčnosti reálného vozidla. Pro testování bylo využito automobilu Škoda Enyaq. Jako první bylo provedeno měření v GTEM komoře, kam byl prototyp vložen a následovalo měření EMI. Zjišťovalo se, jaké signály bude prototyp vytvářet v případě neaktivních a aktivních komponent. Z měření vyplynulo, že mikrovlnný senzor pracuje na frekvenci 2,8 GHz o intenzitě zhruba -45 dBm. Při měření bylo detekováno rušení pocházející z blízkého Wi-Fi routeru. Následně byly experimentu podrobeny i jednotlivé senzory. Ověřilo se, zda je tvrzení z předchozího experimentu pravdivé a výsledky se shodovaly. Měřením ultrazvukového senzoru se nepodařilo zachytit žádný signál i v případě změny měřicího přístroje. Prototyp byl podroben i experimentu v semi-anechoické komoře, kde se díky slabému signálu ze senzorů nepodařilo zachytit žádný signál, pravděpodobně také kvůli vzdálenosti antény. Pro měření EMI bylo také využito zařízení Spectran HF – 6065, kde se výsledky měření shodovaly s měřením v GTEM komoře. Výsledky byly zpracovávány v programu MCS Spectrum Analyzer. Měřením EMS se pokusilo senzory narušit a vyvolat nesprávné měření. Využito bylo opět GTEM komory a generátoru signálu, kterým se ovlivňovala funkce senzorů. V případě mikrovlnného senzoru byl experiment úspěšný. Díky předchozím měřením byla známa pracovní frekvence 2,8 GHz a na ní se podařilo vyvolat falešnou detekci při intenzitě -25 dBm. Zároveň se sledovala intenzita elektrického pole v komoře, kdy v případě vyvolání pohybu byla intenzita 0,67 V/m. Z toho vyplývá, že senzor může za určitých podmínek fungovat nesprávně, například v případě rušení z mikrovlnné

trouby. Ultrazvukový senzor se narušit nepodařilo, a to díky povrchové úpravě generátoru a přijímače, která nepropustí odlišné vlny. Díky tomu je senzor těžce narušitelný. Prototyp byl podroben teplotnímu testování v klimatické komoře, při kterém se teplota uvnitř pohybovala od -20 °C do 40 °C. Změna teploty mezi nejnižší a nejvyšší byla šoková a bylo sledováno, jak na to bude systém reagovat a zda to zvládne. Model parkovacích senzorů byl podroben i testu absorpce vysílaných signálů, kdy se zjišťovala reakce na různé druhy materiálů (absorber, molitan, polystyren a materiál s měděnou úpravou a společnou zemí). Materiály s možností absorpce pohltily signál do takové výše, že systém nebyl schopen zobrazit vzdálenost. Tento výsledek byl očekávaný. Tím samym způsobem byl testován i parkovací systém reálného vozidla, kde výsledky byly velmi podobné. Na materiály se schopností absorpce systém nebyl schopný reagovat a v případě nekontrolování parkovací kamery by došlo ke kolizi s daným objektem. Parkovací systém byl prověřen také v případě jiného zdroje signálu, který představoval jiný vůz se stejnou platformou senzorů. V tomhle případě systém obstál a nedošlo k žádnému zkreslení, což odpovídá výsledkům prototypu z měření EMS. Pro experimenty na vozidle bylo využito také zařízení Spectran HF – 6065, kde se měřilo v rozsahu 1 GHz až 6 GHz, což byla maximální hodnota rozsahu. Měřením se podařilo zachytit spoustu rušení a signálů, které se kolem nás běžně objevují (mobilní sítě, bezdrátové komunikace), ovšem z vozidla se nepodařilo zachytit žádný signál. Jednotlivé vrcholy signálu byly popsány díky programu MCS Spectrum Analyzer. Poslední z experimentů bylo ověřování funkčnosti parkovacích senzorů v případě zašpinění. K testu bylo využito různých druhů pásek a sprejů. Závěrem bylo, že systém dobře reaguje na různé formy zašpinění, a to včetně akrylového laku v kombinaci s izolepou. Dané materiály dostatečně propouštěly generovaný signál a pokud došlo k nadměrnému zašpinění, automobil varoval řidiče, kterému stále zbývala parkovací kamera.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MÁČALA, Stanislav. HISTORICKÝ VÝVOJ A MODERNÍ TRENDY BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ. Online, Bakalářská práce, vedoucí Ing. Marián Laurinec. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2011. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30292212.pdf>. [cit. 2024-01-06]
- [2] Volvo-padesát pět let bezpečnostního pásu. Autokaleidoskop [online]. 2014 [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://www.autokaleidoskop.cz/Historie/Volvo-padesat-pet-let-bezpecnostniho-pasu/>
- [3] Vývoj bezpečnosti automobilů. Online. Bezpečné cesty. 2023. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/vyvoj-bezpecnosti-automobilu>. [cit. 2024-01-06]
- [4] A Deep Look at the History of Automobile Safety. Arash Law [online]. 2023 [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://arashlaw.com/an-in-depth-look-at-the-history-of-automobile-safety/>
- [5] ZIMMER, Vojtěch Dis. ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY PASIVNÍ A AKTIVNÍ BEZPEČNOSTI V SILNIČNÍCH VOZIDLECH [online]. Pardubice, 2021 [cit. 2023-11-09]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/77995/ZimmerV_ElektronickeSystemy_VL_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ing. Václav Lenoč, Ph.D.
- [6] Ing. VAVŘÍK, Jan. Bezpečnostní prvky a vision systémy vozidel [online]. 2010 [cit. 2023-11-08]. Dostupné z: https://home.zcu.cz/~rcermak/opvk_cm/M_06.pdf
- [7] GONTER, Mark; SEIFFERT, Ulrich W. Integrated automotive safety handbook. SAE international, 2013, ISBN 9780768064377
- [8] BLOCHER, Joseph a MILLER, Darrel A. H. Automotive System Safety. John Wiley And Sons, 2020, ISBN 9781119579625
- [9] Aktivní bezpečnost. *Wikipedia* [online]. 2023 [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aktivní_bezpečnost

- [10] Jak je to s ABS a ESP a dalšími povinnými systémy. Asistenční systémy [online]. 2023 [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://www.asistencnisystemy.cz/jak-je-to-s-abs-a-esp-a-dalsimi-povinnymi-systemy>
- [11] Aktivní a pasivní prvky bezpečnosti motorových vozidel. Observatoř bezpečnosti silničního provozu [online]. 2015 [cit. 2024-01-06]. Dostupné z: <https://www.czrso.cz/clanek/aktivni-a-pasivni-prvky-bezpecnosti-motorovych-vozidel/?id=1611>
- [12] BC. LINHART, Jan. Parkovací asistent [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/3929/1/Diplomova_prace.pdf. Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce Ing. Michal Kubík, Ph.D.
- [13] Parkovací systémy. Bezpečné cesty [online]. 2023 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/aktivni-prvky-bezpecnosti/parkovaci-systemy>
- [14] Ultrazvuk. Wikipedia [online]. 2023, 2023 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrazvuk>
- [15] ParkPilot. Šmucler [online]. 2017 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/parkpilot-537.html>
- [16] Parkovací Kamera. Auto Horejsek [online]. 2023 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.auto-horejsek.cz/parkovaci-kamera-skoda-superb-iv>
- [17] DRDLÍČEK, Josef. Povinná kontrola tlaku v pneumatikách - TPMS. Pneumatiky.cz [online]. 2017 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.pneumatiky.cz/povinna-kontrola-tlaku-v-pneumatikach-tpms-t4>
- [18] DRDLÍČEK, Josef. Hlídaní mrtvého úhlu BLIS s radarovými senzory. M-B industry [online]. 2024 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://m-bindustry.com/hlidani-mrtveho-uhlu-blis-s-radarovymi-senzory/>
- [19] ROBERT BOSCH GMBH.; WINNER, H. ACC adaptive cruise control. Robert Bosch GmbH, 2003. ISBN 9780837610467
- [20] VIVEKANANDAN, Madhavan. Adaptive Cruise Control (ACC) - How it works. LinkedIn [online]. 2023, 6.7.2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z:

- <https://www.linkedin.com/pulse/adaptive-cruise-control-acc-how-works-madhavan-vivekanandan>
- [21] Adaptive cruise control. Volvo [online]. 2023, 16.3.2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/uk/support/car/xc40/article/af42dd367f7db52ec0a80151108cf1cd>
- [22] CHESTERTON, Andrew. Adaptive cruise control explained. CarsGuide [online]. 2016, 14.7.2016 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/urban/hacks/adaptive-cruise-control-explained-45905>
- [23] ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS. TÜV SÜD [online]. c2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/cs-cz/odvetvi/mobilita-a-automobilovy-prumysl/vyrobci-vozidel-oem/adas>
- [24] SMITH, Grant. What is ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)? DEWESoft [online]. 2023, 14.2.2023 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://dewesoft.com/blog/what-is-adas>
- [25] Česko je patnácté v počtu fatalit na silnicích, loni dohnalo průměr Evropské unie. BESIP [online]. 2024, 14.3.2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://besip.cz/Clanky/Cesko-je-patnacte-v-poctu-fatalit-na-silnicich-lon>
- [26] SMITH, Grant. Types of ADAS Sensors in Use Today. DEWESoft [online]. 2023, 14.2.2023 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://dewesoft.com/blog/types-of-adas-sensors>
- [27] Arduino UNO R3. Arduino [online]. 2024, 1.2.2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
- [28] Detektor pohybu Mikrovlnný Doppler radar HW-MS03. LaskaKit [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/detektor-pohybu-mikrovlnny-doppler-radar-hw-ms03/>
- [29] Ultrasonic Ranging Module HC - SR04. Elecfreaks [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.makerguides.com/wp-content/uploads/2019/02/HCSR04-Datasheet.pdf>

- [30] Ultrazvukový měřič vzdálenosti HC-SR04 RCWL-9610. LaskaKit [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-ultrazvukovy-meric-vzdalenosti-hc-sr04/>
- [31] Piezo sirénka (aktivní bzučák, buzzer) 12V. Pájeníčko.cz [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://pajenicko.cz/piezo-sirenka-aktivni-bzucak-buzzer-12v>
- [32] L298N Motor Driver Module. Components101 [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module>
- [33] Stavebnice podvozku 4 kola. LaskaKit [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-podvozek-4wd/>
- [34] FRAJDL, Martin. UART Bluetooth moduly. LaskaKit [online]. 2020, 28.5.2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://blog.laskakit.cz/uart-bluetooth-moduly/>
- [35] Arduino Car. GOOGLE. Google Play [online]. 2024, 27.4.2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.electro_tex.bluetoothcar&hl=cs&gl=US
- [36] GTEM cell for Emissions and Immunity testing. Empos [online]. 2012 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.empos.cz/attachments/3/3f99322d3f279b47c1ac1f01044457da.pdf>
- [37] FSP Spectrum Analyzer Data Sheet. Rohde & Schwarz [online]. 2008 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/FSP_specs_en.pdf
- [38] R&S®ESRP EMI Test Receiver. Rohde & Schwarz [online]. 2017, 1.5.2017 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/service_support_30/ESRP_dat-sw_en_3606-7576-22_v0400.pdf
- [39] Semi-Anechoic Chambers. QuietStar [online]. 2021 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://quietstar.co.uk/services/anechoic-test-chambers/semi-anechoic-chambers/>
- [40] Manual Spectran V4. Aaronia [online]. 2013 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://aaroniausa.com/wp-content/uploads/2021/09/SPECTRAN-HF_V4_EN_Manual.pdf

- [41] R&S®SMF100A Microwave Signal Generator Specifications. Rohde & Schwarz [online]. 2019 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/SMF100A_dat-sw_en_5213-7660-22_v0600.pdf
- [42] Electric Field Probes™ Model 6105. Vimelec [online]. 2004 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://www.vimelec.com.ar/fichas_tecnicas/ets/6105.pdf
- [43] DG2000 Series Function/Arbitrary Waveform Generator. Batronix [online]. 2008 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.batronix.com/pdf/oscilloscopes/Rigol/DG2000-Manual.pdf>
- [44] DISCOVERY MY NEW CLIMATIC AND THERMOSTATIC CHAMBERS. ACS [online]. 2020, 1.2.2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://back.acstestchambers.com/storage/app/media/download/datasheet/ANG-SCHUDE-TECNICHE_Discovery-My-01.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EMC	Elektromagnetická kompatibilita
GTEM	Gigahertz Transverse Electro Magnetic
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
Km/h	Kilometr za hodinu
USA	United States of America
ABS	Anti – Lock Brake Systém
EHS	Evropské hospodářské společenství
ES	Evropská společenství
ESP	Electronic Stability Systém
ASR	Anti – Slip Regulation
SOS	Save our souls
kHZ	Kilohertz
cm	Centimetr
m/s ⁻²	Metr za sekundu na druhou
ACC	Adaptive cruise control
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
EU	Evropská unie
SAE	Society of Automotive Engineers
MHz	Megahertz
kB	Kilobyte
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read – Only Memory
SRAM	Static Random Access Memory
mm	Milimetr
USB	Universal Seriál Bus

LED	Light – Emitting Diode
V	Volt
m	Metr
VCC	Common Collector Voltage
GND	Ground
g	Gram
RPM	Rounds per Minute
Ot./min	Otáčky za minutu
m/min	Metry za minutu
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
dBm	Decibel-miliwatt
RBW	Resolution Bandwidth
VBW	Video Bandwidth
SWT	Sweep Time
Att	Attenuation
dB μ V	Decibel mikrovolt
SAC	Semi-anechoic Chamber
Wi-Fi	Wireless Fidelity
V/m	Volt na metr
°C	Stupně celsia
h	Hodina
ms	Milisekunda
LTE	Long Term Evolution
3G	Třetí generace mobilních telekomunikačních technologií

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - První sériově vyráběné pásy [2].....	11
Obrázek 2 – ParkPilot[15]	16
Obrázek 3 - Parkování pomocí 360 stupňové kamery [16]	17
Obrázek 4 - Snímač tlaku pneumatiky [17]	19
Obrázek 5 - Sledování mrtvého úhlu pomocí radarového senzoru[18]	21
Obrázek 6 - Umístění radaru a kamery na vozidle[21].....	22
Obrázek 7 - ACC systém značky Škoda[22]	23
Obrázek 8 - Systémy a technologie využívané v ADAS [26]	24
Obrázek 9 - Porty na desce Arduino Uno R3 [27].....	28
Obrázek 10 - Mikrovlnný detektor HW-MS03[28].....	30
Obrázek 11 - Ultrazvukový senzor HC – SR04 [30]	31
Obrázek 12 – Bzučák [31]	32
Obrázek 13 - H můstek L298N [32]	33
Obrázek 14 - Využitý bateriový box na 6 AA baterií.....	35
Obrázek 15 - Využitá karoserie prototypu společně s nainstalovanými motory a dodávanými koly [33].....	36
Obrázek 16 - Varianty propojovacích kabelů dodávaných k Arduino	37
Obrázek 17 - Bluetooth modul využívaný ke komunikaci s prototypem [34].....	38
Obrázek 18 - Fotografie prototypu	39
Obrázek 19 - Rozhraní ovládací aplikace na mobilním zařízení	39
Obrázek 20 - Zapojení jednotlivých modulů prototypu.....	40
Obrázek 21 - Fotografie využitého automobilu Škoda Enyaq.....	42
Obrázek 22 - Uložení a zapojení modelu do GTEM komory před prvním měřením.....	43
Obrázek 23 - Schéma zapojení s celým prototypem uvnitř GTEM.....	44
Obrázek 24 - Referenční měření s prázdnou komorou	44
Obrázek 25 - Referenční měření s prototypem bez napájení.....	45
Obrázek 26 - Napájení bateriemi, moduly v provozu.....	46
Obrázek 27 - Napájení bateriemi, mikrovlnný a ultrazvukový	46
Obrázek 28 - Napájení bateriemi, mikrovlnný senzor v provozu.....	47
Obrázek 29 - Pouze mikrovlnný senzor bez ostatních periférií.....	47
Obrázek 30 - Schéma zapojení pouze s mikrovlnným detektorem uvnitř GTEM.....	48
Obrázek 31 - Měření ultrazvukového senzoru.....	49
Obrázek 32 - Schéma zapojení s ultrazvukovým detektorem uvnitř GTEM.....	50

Obrázek 33 - Prostředí semi-anechoické komory využité k měření společně s anténou CBL 6112D.....	51
Obrázek 34 - Referenční měření v semi-anechoické komoře.....	52
Obrázek 35 - Měření v semi-anechoické komoře ve vzdálenosti 3 metrů.....	52
Obrázek 36 - Měření v semi-anechoické komoře ve vzdálenosti 2 metrů.....	53
Obrázek 37 -Referenční měření prototypu	54
Obrázek 38 - Měření aktivního prototypu	54
Obrázek 39 - Isotropic Electric Field Probe HI – 6105	56
Obrázek 40 - Schéma zapojení při měření EMS mikrovlnného senzoru.....	57
Obrázek 41 - Rozhraní aplikace LaserProbe View na měření intenzity signálu	57
Obrázek 42 - Průběh měření mikrovlnného senzoru	58
Obrázek 43 - Schéma zapojení při měření EMS ultrazvukového senzoru	59
Obrázek 44 - Ukázka využitých materiálů	60
Obrázek 45 - Ukázka měření vzdálenosti měděného objektu.....	61
Obrázek 46 - Měření absorpce signálu prototypu parkovacích senzorů.....	62
Obrázek 47 - Využitá teplotní komora na -40 °C	66
Obrázek 48 - Prototyp uvnitř komory s viditelnou námrazou	67
Obrázek 49 - Průběh teploty uvnitř komory	67
Obrázek 50 - Měření absorpce signálu parkovacích senzorů	69
Obrázek 51 - Referenční měření okolí vozidla zepředu	71
Obrázek 52 - Referenční měření okolí vozidla zezadu.....	72
Obrázek 53 - Měření zapnutého vozidla ze přední strany	72
Obrázek 54 - Měření zapnutého vozidla ze zadní strany	73
Obrázek 55 - Vzorčky využitých pásek.....	74
Obrázek 56 - Zakrytí senzorů více druhy materiálů	76
Obrázek 57 - Přibližování dvou využitých vozidel	78

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Zapojení H – můstku [32]	32
Tabulka 2 - Tabulka parametrů využitých motorů [33].....	35
Tabulka 3 - Výsledky měření vzdálenosti pěnových jehlanů	62
Tabulka 4 - Měření vzdálenosti molitanového hranolu	63
Tabulka 5 - Měření vzdálenosti polystyrenového plátu.....	63
Tabulka 6 - Měření objektu s měděnou úpravou	64
Tabulka 7 - Využité objekty k měření	75

SEZNAM PŘÍLOH

Elektronické přílohy:

Příloha P I: Kód prototypu pro program Arduino IDE (*Program_Prototyp_BP.ino*)

Příloha P II: Referenční měření prototypu v programu MCS Spectrum Analyzer (*Prototyp_referencni.mdr*)

Příloha P III: Měření aktivního prototypu v programu MCS Spectrum Analyzer
Prototyp_aktivni.mdr

Příloha P IV: Referenční měření vozidla z přední strany v programu MCS Spectrum Analyzer (*Vozidlo_ref_zepredy.mdr*)

Příloha P V: Referenční měření vozidla ze zadní strany v programu MCS Spectrum Analyzer (*Vozidlo_ref_zezady.mdr*)

Příloha P VI: Měření aktivního vozidla z přední strany v programu MCS Spectrum Analyzer (*Vozidlo_aktivni_zepredy.mdr*)

Příloha P VII: Měření aktivního vozidla ze zadní strany v programu MCS Spectrum Analyzer (*Vozidlo_aktivni_zezady.md*)