

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta dopravní

Bc. Michal Gawlowski

METODY SNÍMÁNÍ MAGNETICKÝCH  
SIGNATUR AUTOMOBILŮ

2015



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní  
děkán

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

**K623 ..... Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Michal Gawlowski**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – BI – Bezpečnost informačních a telekomunikačn. systémů**

Název tématu (česky): **Metody snímání magnetických signatur automobilů**

Název tématu (anglicky): The Methods of Scanning the Magnetic Signatures of Cars

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Rešerše podobné tematiky
- Možnosti využití v praxi
- Teoretické rozpracování měření
- Návrh zařízení, postupu snímání a struktury databáze signatur
- Rozbor slabých míst
- Závěr

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

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

Seznam odborné literatury: 1. Fraden, Jacob.: Handbook of modern sensors. Springer. 2010  
2. Wilson, S. Jon.: Sensor technology handbook. Newnes. 2004  
3. Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT, Praha 1996

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.**

Datum zadání diplomové práce: **28. června 2013**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **31. května 2015**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

  
doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.  
vedoucí  
Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství

  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svátek  
děkan fakulty

## **Čestné prohlášení**

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

**„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“**

**V Praze .....**

**Podpis .....**

## **Abstrakt**

**Autor:** Bc. Michal Gawlowski

**Název:** Metody snímání magnetických signatur automobilů

**Škola:** České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

**Rok:** 2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.

**Klíčová slova:** magnetické pole, magnetická signatura, senzor, metody snímání magnetických signatur, slabá místa

Tato diplomová práce se zabývá metodami snímání magnetických signatur automobilů. Práce je rozdělena do pěti hlavních kapitol. První kapitola se zabývá základními pojmy a popisem magnetické signatury. Druhá kapitola pojednává o možném využití v praxi. Třetí kapitola popisuje teoretické rozpracování měření. Čtvrtá kapitola se zabývá návrhem zařízení, postupem snímání a návrhem databáze. Poslední hlavní kapitola se zabývá odhalením slabých míst v daném návrhu a celkovém snímání signatur.

## **Abstract**

**Author:** Bc. Michal Gawlowski

**Title:** The Methods of Scanning the Magnetic Signatures of Cars

**University:** Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

**Year:** 2015

**Thesis advisor:** doc. Ing Václav Jirovský, CSc.

**Keywords:** magnetic field, magnetic signature, sensor, magnetic signature sensing methods, vulnerabilities

This diploma thesis deals with methods of sensing magnetic signatures of cars. The diploma thesis is divided into five main chapters. The first chapter deals with the basic terms and description of magnetic signature. The second chapter discusses the possible use in practice. The third chapter describes the theoretical elaboration of measurement. The fourth chapter deals with the design of the measuring device, sensing technique and database design. The last main chapter deals with the unveiling of weaknesses in the design and overall signatures sensing.

## Obsah

Slovník zkratk	9
Úvod	10
1 Rešerše podobné tematiky	12
1.1 Magnetismus	12
1.2 Faradayův zákon	15
1.3 Solenoid	17
1.4 Toroid	18
1.5 Permanentní magnety	18
1.6 Indukce	20
1.7 Magnetická signatura	24
2 Možnosti využití v praxi	26
2.1 Železniční přejezdy	27
2.2 Zjištění přesné polohy vozidla v prostorách objektu	28
2.3 Sledování dopravního provozu	28
2.4 Využití u bran a zasouvajících se patníků	29
2.5 Parkovací senzory	30
3 Teoretické rozpracování měření	31
4 Návrh zařízení, postupu snímání a struktury databáze signatur	33
4.1 Návrh zařízení využívající sběrnici USB	33
4.1.1 Ochranný obal pro senzor	34
4.1.2 Základní deska Steval - MKI109V2	35
4.1.3 Dceřiná deska Steval – MKI133V1	38
4.1.4 LSM303D	39
4.1.5 USB	42
4.1.6 Dell Latitude E6540	42
4.2 Návrh bezdrátového senzoru	43
4.2.1 Waspnote PRO v1.2	43
4.2.2 Magnetický senzor	45
4.2.3 Transcend microSD 2 GB	46
4.2.4 Baterie	46
4.3 Postup snímání	47
4.4 Návrh databáze	59
5 Rozbor slabých míst	64
5.1 Selhání detekce vozidla	64
5.2 Nevýhody bezdrátových magnetických senzorů	66

5.3 Nevýhody magnetických senzorů propojených s přístupovým bodem pomocí kabeláže .....	67
Závěr .....	68
Použité informační zdroje.....	69
Seznam tabulek a obrázků .....	70
Seznam příloh.....	72



## Slovník zkratek

AMR	Anisotropic Magneto - Resistive
GPRS	General Packer Radio Service
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
MEMS	Micro-Electro-Mechanical-Systems
MEP	Maximum Energy Product
PC	Personal Computer
SPI	Serial Peripheral Interface
USB	Universal Serial Bus

## Úvod

Spolu s vývojem lidstva se vyvíjí i technologie, které člověk využívá a čím dál tím víc potřebuje. Od počátku lidstva to byly vždy malé objevy, které se zdály být v daný moment bezvýznamné, ale po čase se ukázalo, že tyto objevy změní lidstvo, až do té podoby ve které se nachází nyní. Jedním z velmi důležitých objevů, který se uskutečnil již ve starověku, bylo zjištění, že existují určité magnetické síly, které působí na Zemi. Člověk zjistil, že existuje magnetické pole Země a dá se využít v různých odvětvích. Již staří Číňané využívali kompasů, které byly založeny na existenci magnetických pólů Země. V 16. století byla prováděna první jednoduchá měření magnetického pole. Čím více člověk v tomto problému bádá, prováděl měření a zdokonaloval se, začalo mu docházet, že využití znalostí magnetického pole budou neocenitelné. V dnešním 21. století se bez těchto znalostí nedokážeme obejít. Mnohé dnešní systémy pracují na poznacích o magnetickém poli a magnetismu a mnoho dalších velkých objevů bude určitě na tomto poli učiněno.

Magnetické pole a jeho celkové využití je velice rozsáhlé téma, které nedokáže popsat jedna diplomová práce. Z toho důvodu jsem se zaměřil pouze na malý úsek této problematiky a snažil se jej zpracovat. Tato diplomová práce se zabývá metodami snímání magnetických signatur automobilů. Téma „Metody snímání magnetických signatur automobilů“ jsem si vybral pro svou diplomovou práci z toho důvodu, protože si myslím, že se jedná o velice aktuální téma a data, která jsou potřeba v dnešní době k řízení dopravy a pro identifikaci vozidel přestávají být pomocí stávajících detekčních systémů dostatečně přesná. Informace získané měřením magnetických signatur dokážou zpřesnit stávající systémy o několik procent. Dle mého názoru, je také důležité poukázat na daný potenciál, který snímání magnetických signatur nabízí a to i po stránce cenové, efektivní tak i provozuschopnosti a životnosti daných systémů.

Vedlejší cíle diplomové práce jsou provedení rešerší podobné tematiky, možnosti využití v praxi, teoretické rozpracování měření a rozbor slabých míst a návrh bezdrátové varianty senzoru. V rešeršní části se budu zabývat základním vysvětlením magnetismu, magnetické signatury. V kapitole využití v praxi popíši, kde by takto použité senzory měly možnost svého uplatnění v blízké budoucnosti. Teoretické rozpracování měření se zabývá popisem a specifikováním základní sady testů. Kapitola rozbor slabých míst se zaměří na možné selhání funkčnosti zařízení. Hlavní cíl mé diplomové práce je sestavit magnetický senzor schopný měření, otestovat základní sadu testů a zjistit zda dokáže senzor

reidentifikovat automobil za běžných podmínek. V neposlední řadě se pokusím nastítnit možnou podobu databáze, která by sloužila pro možnou zpětnou reidentifikaci vozidel. V závěru diplomové práce provedu celkové zhodnocení.

# 1 Rešerše podobné tematiky

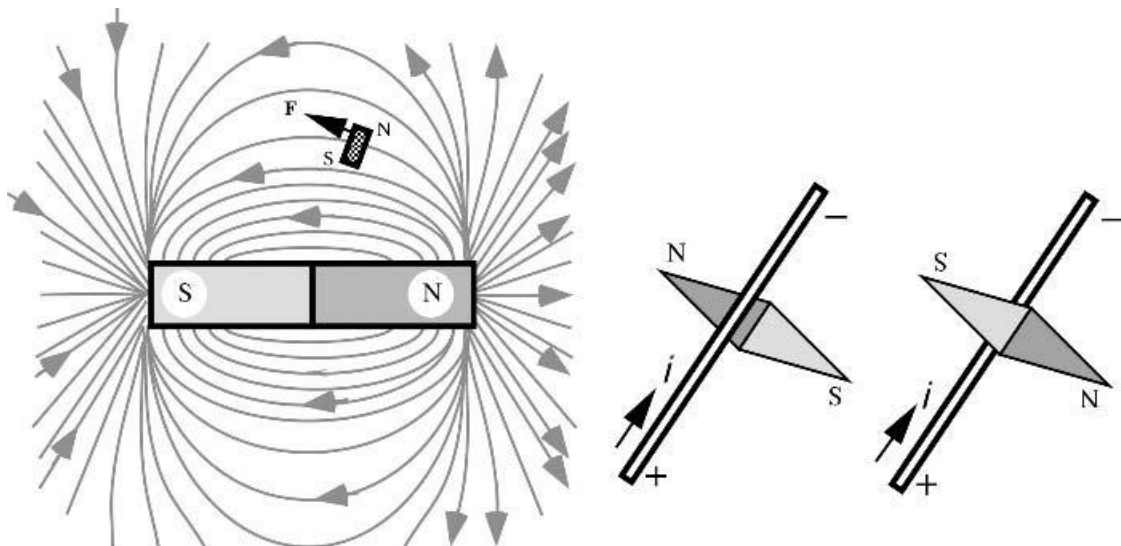
V této kapitole se zaměřím na nejdůležitější pojmy, které budou pro danou diplomovou práci nezbytné a na jejich vysvětlení. Mezi tyto pojmy patří magnetické pole, Faradayův zákon, solenoid, toroid, permanentní magnet a indukce. Důležitou kapitolou je kapitola s definováním magnetické signatury, jež osvětlí co to vůbec magnetická signatura je a jak je možné jí získat.

## 1.1 Magnetismus

Magnetické vlastnosti byly objeveny v prehistorických dobách v některých vzorcích železné rudy, minerálu nazývaného magnetit ( $Fe_3O_4$ ). Zjistilo se, že kousky měkkého železa, které se třely o magnetický materiál, vykazují stejné vlastnosti jako magnet (přitahují magnety a kousky železa). První osobou zabývající se magnetismem byl William Gilbert. Jeho největším přínosem bylo zjištění, že Země se chová jako obrovský magnet. Název „magnetismus“ byl odvozen z názvu Magnesia, oblasti v Asii, kde byly nalezeny kameny vykazující magnetické vlastnosti [1].

Elektřina a magnetismus jsou si velice podobné. Jedním z důkazů je, že 2 elektricky nabitě tyče mají kladné a záporné konce, což je velice podobná vlastnost, jelikož 2 magnety mají také kladné a záporné konce. U magnetů se tyto konce nazývají S (jižní) a N (severní) pól. Shodné póly se odpuzují a rozdílné se přitahují. Na rozdíl od elektrických nábojů jsou magnetické póly vždy v páru. Pokud rozložíme libovolný magnet na jakkoli velkou část, bez ohledu na to, jak tato část bude velká, tak tento kousek bude mít severní a jižní pól. Pravděpodobná příčina magnetismu je spojena s atomy, nebo jejich uspořádáním, nebo obojím dohromady [1].

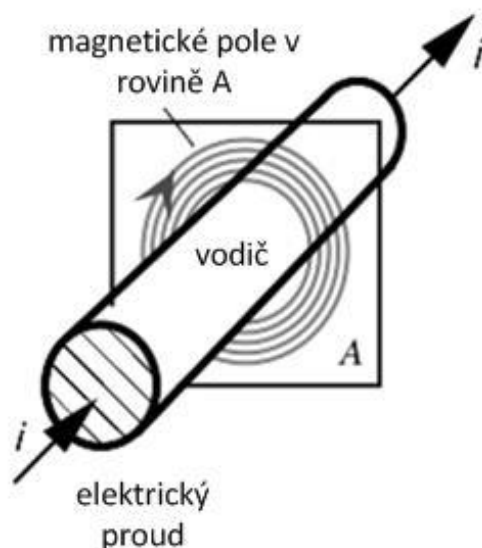
Umístíme-li magnetický pól do určitého prostoru, prostor okolo pólu bude ovlivněn. Pro ukázkou nám poslouží kousek železa, který umístíme do tohoto prostoru. V tomto prostoru bude působit síla, pokud odstraníme magnet, síla přestane působit. Takto ovlivněný prostor nazýváme magnetické pole. Magnetické pole, vytváří sílu na každé těleso, které vstoupí do pole. Pokud je těleso malý tyčový magnet nebo magnetická střelka, zjistíme, že magnetické pole má směr [1].



**Obrázek 1: Magnet v magnetickém poli (obrázek vlevo); Střelka kompasu otáčející se v závislosti na směru elektrického proudu (obrázek vpravo); (zdroj: [1])**

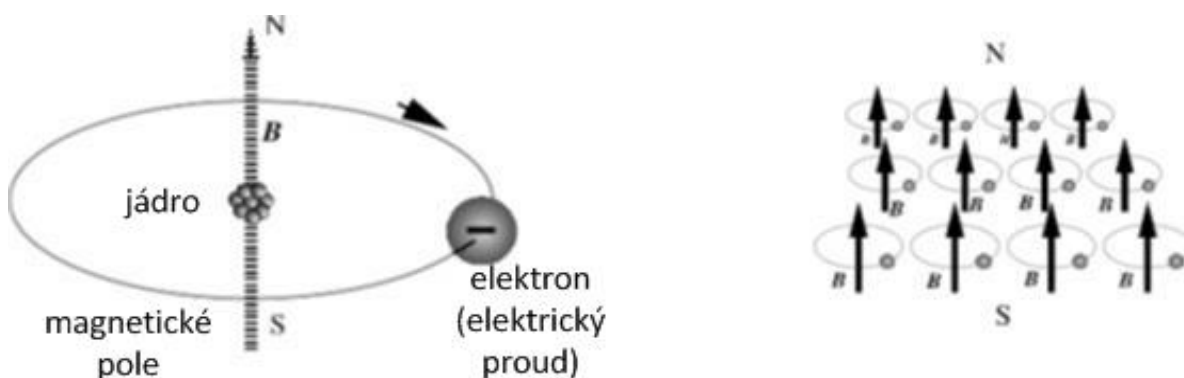
Dle definice je směr pole v libovolném bodě, dán směrem působící síly emitované ze severního pólu. Směr siločar je dle definice ze severního (N) pólu k jižnímu (S) pólu. Obrázek 1 (vlevo) znázorňuje směr pole šipkami. Malý zkušební magnet je přitahován ve směru vektoru působící síly  $F$ . Samozřejmě přibližně stejně veliká síla působí opačným směrem na jižní pól zkušebního magnetu [1].

Výše uvedené pole bylo vytvořeno permanentním magnetem. Magnetické pole nemění své vlastnosti i v případě, že je vytvořeno odlišným zařízením (například elektrický proud procházející vodičem). V roce 1820 dánský profesor fyziky Hans Christian Oersted objevil, že magnetické pole může existovat i bez přítomnosti magnetu. V sérii testů, ve kterých použil neobvykle velký galvanický článek (baterii), dostatečný k vytvoření velkého proudu zjistil, že kompas v přímé blízkosti tohoto galvanického článku vykazuje abnormality. Následným zkoumáním zjistil, že střelka kompasu je vždy orientována v pravém úhlu k proudu procházejícím vodičem. Ke změně směru střelky dojde, pokud se změní směr protékajícího proudu, nebo pokud je změněna poloha kompasu zespod vodiče nad vodič, obrázek 1 (vpravo). Stacionární elektrické náboje nemají vliv na magnetický kompas (pro tento test byla použita střelka kompasu jako malý pokusný magnet). Bylo jasné, že pohybující se elektrické náboje jsou příčinou vzniku magnetického pole. Je prokazatelné, že magnetické siločáry kolem vodiče jsou kruhové a jejich směr závisí na směru elektrického proudu (obrázek 2). Nad a pod vodičem magnetické siločáry ukazují opačným směrem. Kvůli tomu dojde u střelky kompasu k otočení, jakmile je umístěn pod vodič [1].



**Obrázek 2: Elektrický proud vytvářející kruhové magnetické pole kolem vodiče (zdroj: [1])**

Základní vlastností magnetismu je, že pohybující se elektrické částice (elektrický proud) generují magnetické pole. S touto znalostí můžeme vysvětlit podstatu permanentního magnetu. Obrázek 3 (vlevo) znázorňuje zjednodušený proces vzniku magnetického pole. Elektron průběžně rotuje ve vířivém pohybu kolem atomu. Pohyb elektronu vytváří kruhový elektrický proud kolem jádra atomu. Tento proud je příčinou malého elektrického pole. Jinými slovy, rotující elektron vytváří permanentní magnet atomárních rozměrů. Pokud jsou tyto atomární magnety uspořádány organizovaně, jejich magnetické pole se sčítají (obrázek 3 vpravo). Proces magnetizace je pak zcela zřejmý: Nic není vydáváno nebo přijímáno materiálem – mění se pouze orientace atomů, ze kterých je tvořen. Atomární magnety si mohou zachovávat organizovanou strukturu v některých materiálech, které mají vhodné chemické složení a krystalickou strukturu. Tyto materiály se nazývají feromagnetika [1].



**Obrázek 3: Pohybující se elektron vytvářející magnetické pole (vlevo); Superpozice vektorů pole vedoucí ke kombinovanému magnetickému poli magnetu (vpravo); (zdroj: [1])**

## 1.2 Faradayův zákon

Michael Faraday se zabýval otázkou, zda je možné, aby magnetismus byl použit k výrobě elektrické energie. Trvalo mu dlouhých 10 let, než zjistil jak toho dosáhnout. Pokud se elektrický náboj pohybuje napříč magnetickým polem, působí na něj síla, která se jej snaží vychýlit. Je třeba zdůraznit, že není důležité, co se ve skutečnosti pohybuje – může se pohybovat náboj nebo zdroj magnetického pole. Důležitým faktorem je jejich posun. Objev toho, že pohybující se elektrický náboj, může být vychýlen v důsledku interakce s magnetickým polem, je zásadním poznatkem pro teorii elektromagnetického pole. Vychýlené elektrické náboje způsobují vytváření elektrického pole, což zase vede k rozdílu napětí u vodivého materiálu a tím dochází k vytváření elektrického proudu [1].

Intenzita magnetického pole v jakémkoliv určitém místě je definována vektorem  $B$  (magnetická indukce), který je tečnou k magnetickým siločarám v daném bodě. Pro lepší grafické zobrazení je počet siločar na jednotku průřezové plochy (kolmé k čarám) přímo úměrné velikosti  $B$ . Jsou-li čáry ve vzájemné blízkosti, vektor  $B$  je velký, a pokud jsou čáry vzdáleny, velikost vektoru  $B$  bude malá [1].

Magnetický indukční tok může být definován vztahem, kde integrál je vzat nad plochou pro danou  $F_B$ :

$$\Phi_B = \oint \mathbf{B} \, d\mathbf{s}$$

kde:

$\Phi_B$  – magnetický indukční tok

$B$  – magnetická indukce

jednotkou magnetického indukčního toku je weber [Wb].

K definování vektoru magnetického pole  $B$ , použijeme postup, kde kladný elektrický náboj  $q_0$  použijeme jako modelový příklad. Náboj se pohybuje skrz magnetické pole rychlostí  $V$ . Z boku na náboj působí síla způsobující vychýlení  $F_B$  (obrázek 4 vlevo). Boční silou je zamýšleno, že  $F_B$  je v prvním úhlu k  $V$ . Zajímavým poznatkem je, že vektor  $V$  mění svůj směr v důsledku pohybu skrz magnetické pole. Výsledkem toho je, že náboje se pohybují spirálovitě, spíše než parabolicky (obrázek 4 vpravo). Spirálový pohyb vytváří magnetorezistivní jev, který je základem pro správnou funkci magnetorezistivních senzorů. Síla vychýlení  $F_B$  je úměrná náboji, rychlosti a magnetickému poli [1].

$$\mathbf{F}_B = q_0 \mathbf{V} \mathbf{B}$$

Vektor  $F_B$  je vždy v pravém úhlu k rovině, jež tvoří rychlost  $V$  a magnetický tok  $B$ , tím pádem je také v pravém úhlu k  $v$  a  $B$  z tohoto důvodu jsme sílu pojmenovali jako „boční“. Velikost magnetické síly vychýlení je dle zákonů pro daný vektor:

$$F_B = q_0 v B \sin \phi$$

kde:

$F_B$  – magnetická síla vychýlení

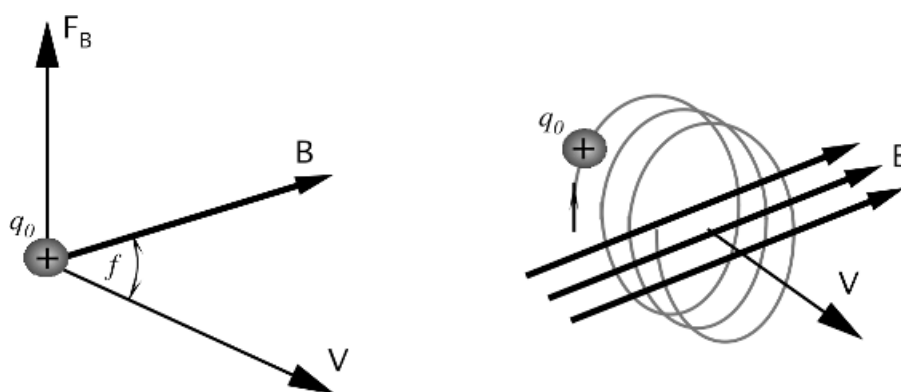
$q_0$  – elektrický náboj

$B$  – magnetická indukce

$v$  – rychlost náboje

$\phi$  – úhel mezi vektory  $V$  a  $B$

Magnetická síla se vytratí, pokud je vektor  $V$  rovnoběžný s vektorem  $B$ . Rovnice se využívá, pro definování magnetického pole v závislosti na vychýleném náboji, rychlosti a síle vychýlení [1].



**Obrázek 4: Kladný náboj pohybující se v magnetickém poli je vystaven působení boční síly (vlevo); Spirálový pohyb elektrického náboje v magnetickém poli (vpravo); (zdroj: [1])**

Jednotkou magnetické indukce je  $(N/C)/(m/s)^{-1}$ . **V soustavě SI se používá jednotka Tesla (zkráceně T).** Ze vztahu plyne že  $1C/s=1A$ , tím pádem  $1T=1N/(Am)$ . Pro magnetickou indukci se stále používá i starší jednotka, kterou je Gauss: vztah  $1T=10^4G$  [1].



### 1.3 Solenoid

Klasické zařízení, vytvářející magnetické pole se nazývá solenoid. Jedná se o dlouhý vodič navinutý těsně vedle sebe do spirály (neboli cívka), kterým protéká proud  $i$ . Předpokládejme, že délka spirály je velmi dlouhá ve srovnání s průměrem. Magnetické pole solenoidu je vektorovým součtem polí vytvořených všemi závity, které tvoří solenoid. Jsou-li závity cívky (solenoidu) od sebe nadměrně vzdáleny, pole mají tendenci mezi vodiči zanikat. Na místech uvnitř solenoidu a v přijatelné vzdálenosti od vodičů je  $B$  rovnoběžné k osám solenoidu. V krajním případě, pokud jsou vodiče namotány vedle sebe velice blízko (obrázek 5 vlevo), vzniká ze solenoidu v zásadě válcová proudová destička. Aplikujeme-li Ampérův zákon k proudové destičce, velikost magnetického pole bude dána vztahem [1]:

$$B = \mu_0 i_0 n$$

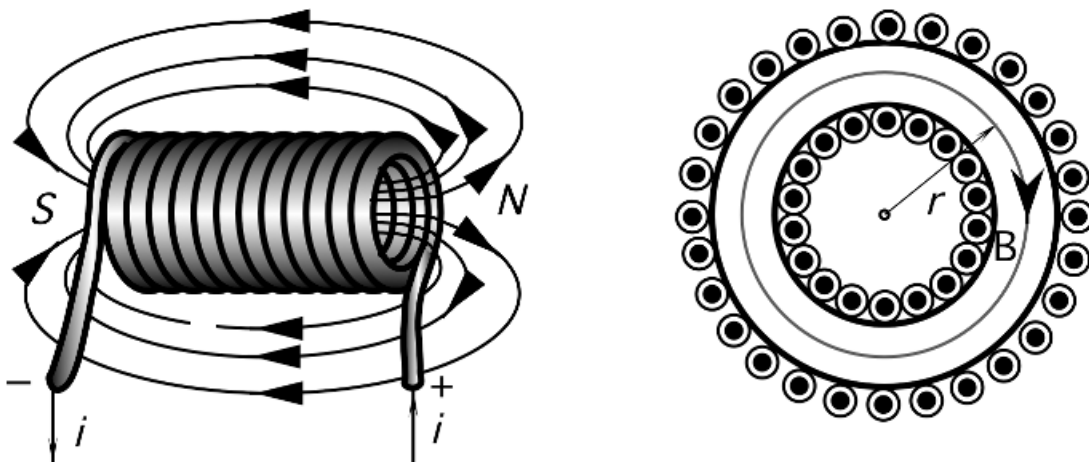
kde:

$\mu_0$  – permeabilita vakua

$i_0$  – proud procházející solenoidem

$n$  – počet závitů na jednotku délky

Přestože tento vzorec byl odvozen pro nekonečně dlouhý solenoid, platí také na místa uvnitř skutečného solenoidu, která jsou blízko jeho středu. Zjistilo se, že  $B$  není závislé na průměru nebo délce solenoidu a že  $B$  zůstává konstantní napříč celým průřezem solenoidu. Vzhledem k tomu, že průměr solenoidu není součástí rovnice, vícevrstevné vinutí může být využito k vytvoření silnějšího magnetického pole. Magnetické pole mimo solenoid je slabší, než magnetické pole uvnitř solenoidu [1].



Obrázek 5: Solenoid (vlevo); Toroid (vpravo); (zdroj: [1])

## 1.4 Toroid

Jiným zařízením, které může vytvářet magnetické pole je toroid (obrázek 5 vpravo), který se dá popsat jako solenoid ohnutý do tvaru koblíhy. Pro výpočet magnetického pole uvnitř toroidu nám poslouží následující vztah [1]:

$$B = \frac{\mu_0 i_0 N}{2\pi r}$$

kde:

$\mu_0$  – permeabilita vakua

$i_0$  – proud procházející toroidem

$N$  – celkový počet závitů

$r$  – poloměr vnitřního kruhu, ve kterém dochází ke generování magnetického pole

$\pi$  – Ludolfovo číslo

Na rozdíl od solenoidu, u toroidu není parametr  $B$  konstantní napříč celým řezem. V ideálním případě je magnetické pole mimo toroid rovno 0.

Hustota magnetického toku, nebo počet magnetických čar, které procházejí skrz danou plochu, se definuje pomocí magnetického toku  $\Phi_B$  pro danou plochu [1]:

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \, d\mathbf{S}$$

Vezmeme-li integrál nad plochou, pokud je magnetické pole konstantní a v každém místě je v pravém úhlu k povrchu, pak řešení integrálu je velice jednoduché:  $\Phi_B = BA$  kde  $A$  je plocha. Tok magnetického pole je analogický k toku elektrického pole. Jednotkou magnetického toku v soustavě SI je  $\text{Tm}^2$  a je pojmenována Weber. Ve zkratce Wb [1]:

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Tm}^2$$

## 1.5 Permanentní magnety

Permanentní magnety jsou důležité komponenty, které se využívají při konstrukci magnetických senzorů určených pro snímání pohybu, posunu, polohy atd. Chceme-li využít magnet pro danou situaci, musíme zvážit následující požadavky [1]:

- Zbytková indukce  $B$  v gaussech – jak silný magnet je?
- Koercivní síla  $H$  v oerstedech – jak dobře je magnet schopný odolávat vnějšímu magnetickému poli.

- Maximální energický součin, MEP, (B H) je gauss oersted krát  $10^6$ . Silný magnet, který má velkou odolnost vůči demagnetizačním silám má velkou hodnotu MEP. Magnety s většími hodnotami MEP jsou lepší, silnější a také jejich cena je o dost vyšší.
- Teplotní koeficient v  $\%/^{\circ}\text{C}$  znázorňuje, jak se mění B v závislosti na změnách teploty.

Magnety jsou vyráběny ze speciálních slitin viz tabulka 1. Příkladem jsou vzácné zeminy (samarium) – slitina kobaltu. Jedná se o nejlepší magnety, jejich nevýhodou je velice složité obrábění. Jejich maximální MEP se pohybuje v hodnotách okolo  $16 \times 10^6$ . Další populární slitinou je Alnico, která obsahuje hliník, nikl, kobalt, železo a další. Keramické magnety obsahují bariem nebo stronciový ferit (nebo jiný prvek z této skupiny) v matici z keramického materiálu, vše je nakonec zhutněno a spečeno. Jsou špatnými vodiči tepla a elektřiny, jsou chemicky inertní a mají vysokou hodnotu parametru H. Další slitinou, ze které se vyrábějí magnety je Cunife, která obsahuje měď, nikl a železo. S touto slitinou se snadno pracuje a může být lehce opracována do požadovaného tvaru. MEP se pohybuje okolo  $1,4 \times 10^6$ . Železo – chromové magnety jsou dostatečně měkké pro prvotní tvarování, než dojde k jejich finálnímu vytvrzení. Plastové a pryžové magnety se skládají z nebo stroncia feritu v plastové matici. Tyto magnety jsou velice levné a jejich výroba je možná v široké škále tvarů. Jejich maximální MEP je asi  $1,0 \times 10^6$  [1].

	<b>MEP</b>	<b>Zbytková indukce</b>	<b>Koercivní síla</b>	<b>Teplotní koeficient</b>	
<b>Materiál</b>	[G Oe x $10^6$ ]	[G x $10^3$ ]	[Oe x $10^3$ ]	[%/ $^{\circ}\text{C}$ ]	<b>Cena</b>
R. E. Cobalt	16	8,1	7,9	-0,05	Velmi vysoká
Alnico 1, 2, 3, 4	1,3-1,7	5,5-7,5	0,42-0,72	-0,02 až -0,03	Střední
Alnico 5, 6, 7	4,0-7,5	10,5-13,5	0,64-0,78	-0,02 až -0,03	Střední/Vysoká
Alnico 8	5,0-6,0	7-9,2	1,5-1,9	-0,01 až 0,01	Střední/Vysoká

Alnico 9	10	10,5	1,6	-0,02	Vysoká
Keramika 1	1,0	2,2	1,8	-0,2	Nízká
Keramika 2, 3, 4, 6	1,8-2,6	2,9-3,3	2,3-2,8	-0,2	Nízká/Střední
Keramika 5, 7, 8	2,8-3,5	3,5-3,8	2,5-3,3	-0,2	Střední
Cunife	1,4	5,5	0,53	-	Střední
Fe – Cr	5,25	13,5	0,6	-	Střední/Vysoká
Plast	0,2-1,2	1,4	0,45-1,4	-0,2	Velmi nízká
Guma	0,35-1,1	1,3-2,3	1-1,8	-0,2	Velmi nízká

**Tabulka 1: Vlastnosti magnetických materiálů (zdroj: [1])**

## 1.6 Indukce

V roce 1831, Michael Faraday v Anglii a Joseph Henry ve Spojených státech objevili jeden z nejzákladnějších účinků elektromagnetismu: schopnost proměnlivého magnetického pole indukovat elektrický proud v drátu. Není důležité, jak se pole vyrábí – jestli permanentním magnetem, nebo solenoidem, účinek je stejný. Elektrický proud je generován, dokud probíhají změny samotného magnetického pole. Stacionární pole nevytváří žádný proud. Zákon elektromagnetické indukce říká, že indukované napětí nebo elektromotorická síla (napětí) je rovna rychlosti, při které se magnetický tok ve vodiči mění. V případě, že rychlost změny je weber za s, elektromotorické napětí (e) bude ve Voltech (V) [1]:

$$e = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Znaménko mínus je údaj o směru indukovaného elektromotorického napětí. Pokud se využije proměnlivého magnetického toku na solenoid, elektromotorické napětí se projeví a musejí být započítány. Je-li solenoid nebo cívka navinuta takovým způsobem, že každý závit má stejnou plochu průřezu, pak tok skrz každý závit bude stejný a indukované napětí je [1]:

$$V = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

kde:

$N$  – počet závitů

Rovnice může být přepsána do následujícího tvaru, který je významný pro návrh daných senzorů [1]:

$$V = -N \frac{d(BA)}{dt}$$

Rovnice vyjadřuje, že napětí na snímacím obvodu, může být produkováno změnou amplitudy magnetického pole ( $B$ ) nebo změnou plochy obvodu ( $A$ ). Z toho je zřejmé, že indukované napětí závisí na [1]:

- Pohybujícím se zdroji magnetického pole (magnet, cívka, drát, atd.)
- Změně proudu v cívce nebo drátu, který vytváří magnetické pole.
- Změně orientace zdroje magnetického pole vzhledem k snímacímu obvodu.
- Změnou geometrie snímacího obvodu (například protáhnutím, lisováním nebo změněním počtu závitů na cívce).

Prochází – li elektrický proud cívkou, která se nachází v těsné blízkosti jiné cívky, dle Faradayova zákona se elektromotorické napětí objeví i na druhé cívce. Magnetické pole prostupuje první i druhou cívkou. Magnetické pole určuje elektromagnetické napětí na cívce, na které vzniká. Takovému to stavu se říká vlastní indukce a výsledné napětí je nazýváno vlastní indukované elektromotorické napětí [1].

Faradayův zákon pro střední část solenoidu je:

$$v = - \frac{d(n\Phi_B)}{dt}$$

Číslo v závorce se nazývá celkový tok a je důležitou charakteristikou pro zařízení. Pro jednoduchou cívku bez magnetického materiálu v blízkosti je tato hodnota úměrná proudu v cívce [1].

$$n\Phi_B = L i$$

Kde:

$L$  - konstanta, která se nazývá indukčnost vodiče

$i$  – elektrický proud

Z toho vyplývá, že rovnice, může být přepsána do tvaru:

$$v = -\frac{d(n\Phi_B)}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

Z tohoto vztahu můžeme vyjádřit indukčnost:

$$L = -\frac{v}{di/dt}$$

Není-li v blízkosti induktoru magnetický materiál, hodnota definována v rovnici závisí pouze na geometrii zařízení. Jednotkou pro indukčnosti v soustavě SI je Vs/A, která byla pojmenována po americkém fyzikovi Josephu Henrym (1797-1878): 1 henry = 1 volt sekunda/amper. Zkratkou pro henry je H [1].

Z předešlé rovnice lze vyvodit několik závěrů:

- Indukované napětí je úměrné změně rychlosti proudu procházejícím přes induktor.
- Napětí je rovno 0 pro stejnosměrný proud.
- Napětí vzrůstá lineárně s rychlostí, jakou se mění proud.
- Polarita napětí je různá pro rostoucí a zmenšující se proudy, plynoucí stejným směrem.
- Indukované napětí je vždy ve směru opačném, než je změna proudu.

Indukčnost lze vypočítat z geometrických faktorů. Pro úzce namotanou cívku je:

$$L = \frac{n\Phi_B}{i}$$

Kde  $n$  je počet závitů na jednotku délky, počet celkových toků na jednotku délky  $l$ , je:

$$N\Phi_B = (n l)(B A)$$

kde  $A$  je plocha průřezu cívky. Pro solenoid, kde  $B = \mu_0 n I$  je indukčnost

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \mu_0 n^2 l A$$

Z dané rovnice  $l A$  představuje objem solenoidu. Pokud máme stejný počet závitů na cívce a měníme geometrii cívky, indukčnost může být modulována (změněna). Po připojení do elektrického obvodu může být indukčnost prezentována jako „komplexní odpor“ [1]:

$$\frac{V}{i} = j\omega L$$

kde:

$$j = \sqrt{-1}$$

$i$  - sinusový proud o frekvenci  $\omega = 2\pi f$  a znamená, že komplexní odpor induktoru se zvyšuje při vyšších frekvencích.

Výše uvedené vyjádření je pojmenováno Ohmův zákon pro indukční cívky. V komplexním zápisu to znamená, že proud zaostává za napětím o  $90^\circ$ .

Máme-li dvě cívky v těsné blízkosti, jedna cívka vyvolává elektromotorické napětí  $v_2$  na cínce druhé [1]:

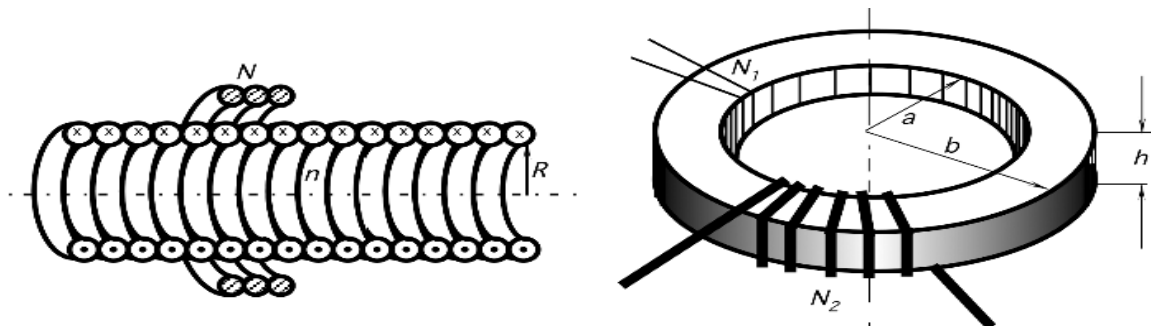
$$v_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Kde  $M_{21}$  je koeficient vzájemné indukčnosti mezi dvěma cívkami. Výpočet vzájemné indukčnosti není triviální záležitostí. V mnoha praktických případech je experimentální provedení mnohem jednodušší. Pro některé relativně jednoduché kombinace byla vzájemná indukčnost vypočítána. Pro cívku (mající  $N$  závitů), která je umístěna kolem dlouhého solenoidu (obrázek 6 vlevo), majícího  $n$  závitů na jednotku délky, vzájemná indukčnost je [1]:

$$M = \mu_0 \pi R^2 n N$$

Pro cívku umístěnou okolo toroidu (obrázek 6 vpravo) je vzájemná indukčnost definována počtem závitů  $N_1$  a  $N_2$ :

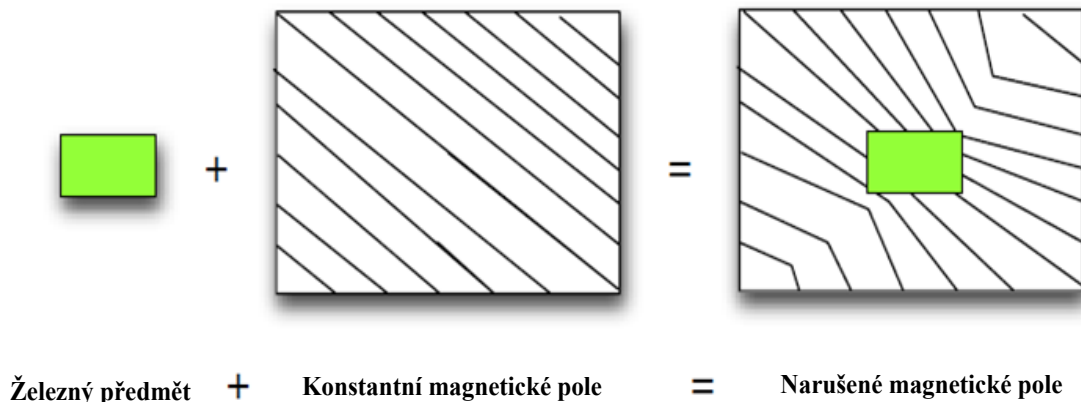
$$M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 h}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$



Obrázek 6: Vzájemná indukčnost u solenoidu (vlevo); Vzájemná indukčnost u toroidu (vpravo); zdroj [1]

## 1.7 Magnetická signatura

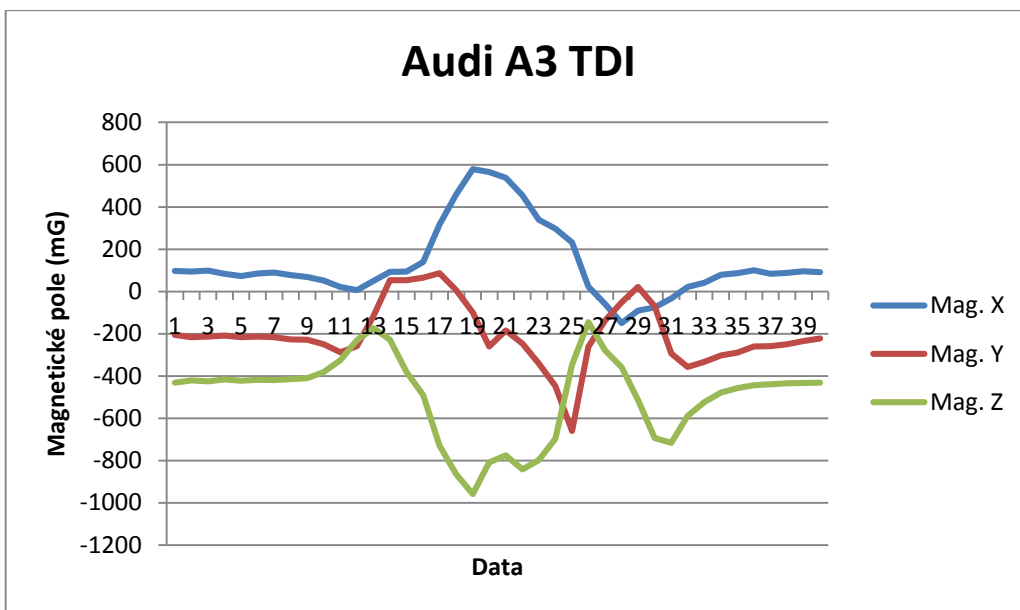
Magnetická signatura je křivka, která se skládá z jednotlivých naměřených hodnot zaznamenaných pomocí magnetického senzoru. Křivka je sestavena z dat, která byla pořízena za časovou jednotku magnetickým senzorem, klasicky se využívá tříosý magnetický senzor, tudíž se celková magnetická signatura automobilu skládá ze 3 křivek. Důležitým prvkem pro získání kvalitní magnetické signatury je nastavení správné frekvence snímání dat. Klasicky se dá na senzoru volit různá frekvence snímání. Měření pomocí magnetického senzoru probíhá ve směru os X, Y, Z. Magnetická signatura automobilu, může být pořízena magnetickým senzorem, díky tomu, že každý automobil je z určité části tvořen prvky železa. Železné komponenty tvořící automobil naruší Zemské magnetické pole a magnetický senzor tuto výchylku zaznamená, obrázek 7 znázorňuje postup, narušení konstantního magnetického pole. Máme železný předmět, který vstoupí do konstantního magnetického pole a svým složením naruší konstantní magnetické pole. Jestliže známe původní konstantní magnetické pole, můžeme zcela zřejmě naměřit výchylku, kterou způsobí železný objekt v tomto poli.



**Obrázek 7: Narušení magnetického pole železným předmětem (zdroj: intechopen.com)**

Největší výchylku křivky způsobí motor automobilu, který je přímo naproti magnetickému senzoru. Každý typ automobilu má svou magnetickou signaturu – jednotlivé vozidla obsahují různý podíl železných komponent, ze kterých je vozidlo tvořeno. Na obrázku 8 je vyobrazena magnetická signatura automobilu Audi A3 TDI pořízena pomocí senzoru a data byla následně převedena do Excelu a vykreslena. Jak je z obrázku patrné, největší výchylku způsobila velká koncentrace železných komponent (motor).

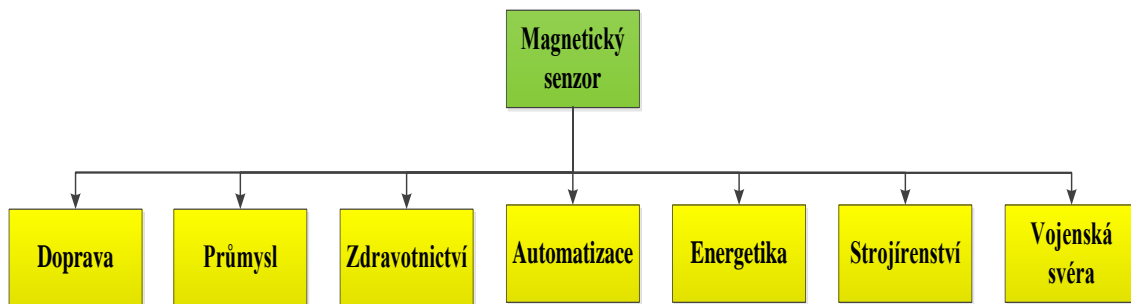




**Obrázek 8: Magnetická signatura Audi A3 TDI (zdroj: autor)**

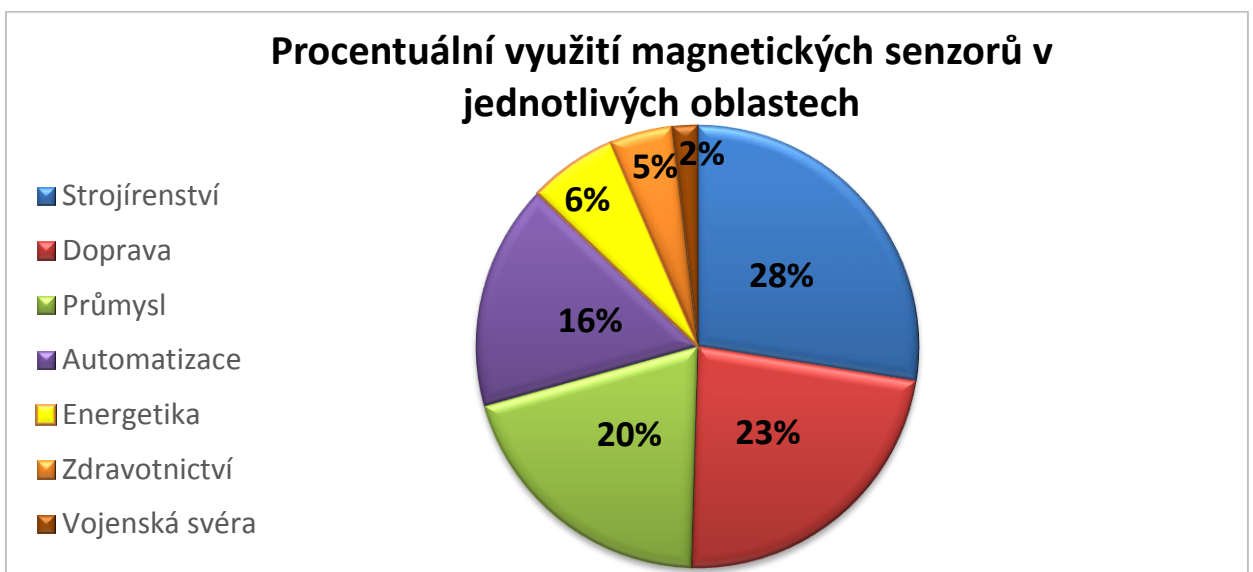
## 2 Možnosti využití v praxi

Kapitola možnosti využití v praxi se zabývá možnostmi využití snímání magnetických signatur v praxi a popisuje možné využití u jednotlivých podkapitol. Nejdříve je ale nutné si rozdělit v jakých oblastech se vůbec magnetické senzory využívají a mají možnost budoucího rozvoje. Na obrázku 9 jsou vyobrazena jednotlivá odvětví, ve kterých nachází magnetické senzory uplatnění, ve větší či menší míře.



Obrázek 9: Jednotlivá odvětví využití magnetických senzorů (zdroj: autor)

V grafu 1 je procentuálně vyjádřeno využití magnetických senzorů pro jednotlivá odvětví. Jak je patrné z grafu, hlavními oblastmi, které využívají magnetické senzory, jsou strojírenství, doprava, průmysl a automatizace. Pro účel této práce je nejzajímavější oblastí doprava. V dopravě nacházejí magnetické senzory využití v různých dopravních prostředcích, využívají se senzory, které jsou nainstalovány do infrastruktury a slouží pro sběr dat.



Graf 1: Procentuální využití magnetických senzorů v jednotlivých oblastech (zdroj: autor)

Protože má diplomová práce nese název Metody snímání magnetických signatur automobilů, je pro mě velice důležitým faktem, že magnetické senzory mohou sloužit pro detekci vozidel. Technologie umožňující detekci vozidla se začala vyvíjet v posledních pár desetiletích. Od hadic se stlačeným vzduchem po indukční smyčky vložené do vozovky, nejstarší detekční metody získávaly informace o přítomnosti vozidla z rozhodovacích řídicích systémů.

Dnes potřebujeme znát mnohem více informací, například rychlost a směr jízdy vozidel, množství vozidel, která projedou v časovém úseku na dané komunikaci, nebo potřebujeme zajistit velice přesnou klasifikaci vozidla.

Důležitým poznatkem je, že téměř všechny silniční vozidla mají v podvozku nebo motoru velké množství kovových materiálů, z toho důvodu jsou magnetické senzory vhodným kandidátem pro detekci vozidel. V současné době je většina magnetických snímačů miniaturizována. Díky technologickému pokroku a snadnému propojení elektrických částí jsme dosáhli integrace pro mnohé aplikace a tudíž navrhování a následná instalace magnetických senzorů je mnohem snadnější než na počátku [6].

Vzhledem k tomu, že čáry magnetického toku se shlukují (koncentrují) nebo rozprostírají (dekoncentrují), magnetický senzor umístěný nedaleko bude ovlivněn změnou zemského magnetického pole, které vytvoří projíždějící automobil. Nicméně jelikož senzor není součástí povrchu nebo vnitřku vozidla nenastane na něm úplně stejná koncentrace či dekoncentrace magnetického toku. [6].

## **2.1 Železniční přejezdy**

Při využití u železničních přejezdů mohou magnetické senzory detekovat lokomotivu na vzdálenost 20 metrů. Toho se dá využít pro velmi přesnou detekci polohy vlaku na dráze. Pokud je známá přesná poloha vlaku na dráze, tak mohou být daleko přesněji řízeny zabezpečovací systémy na přejezdech. Přesná poloha vlaku nám zaručí, přesné spuštění zabezpečovacího systému. Pokud dojde ke včasnému spuštění zabezpečovací techniky, vozidla na přejezdu nebudou ohrožena a spuštěním těchto systému v pravý čas nebude docházet k vytváření kongescí na přejezdech v důsledku brzkého spuštění zabezpečovacího zařízení.

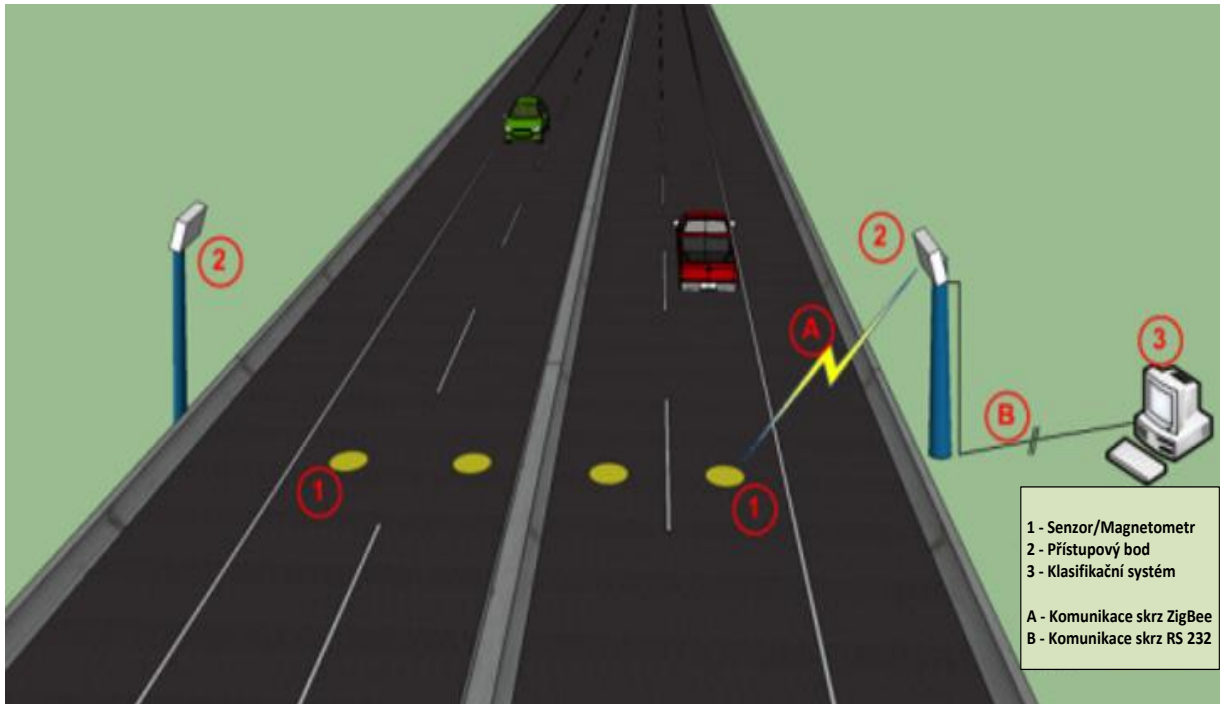
## **2.2 Zjištění přesné polohy vozidla v prostorách objektu**

Potřebujeme-li údaj o poloze automobilu v prostorách objektu, využijeme magnetických senzorů, které jsou zabudovány do vozovky, nebo v předem stanovených místech ve vnějších prostorách objektu. Dané vozidlo (například nákladní auto) se pohybuje v prostorách areálu. Jedná se o areál s více linkami a je potřeba identifikovat přítomnost vozidla vždy na daném konkrétním bodě. Automobil najede na daný senzor v bodě, zde dojde k detekci vozidla (pomocí magnetické signatury se dá detekovat nákladní automobil od osobního automobilu) a proběhne-li detekce a ověření správně je možné zahájit požadovaný úkon (například nakládku materiálu do kamionu).

## **2.3 Sledování dopravního provozu**

Další možné využití magnetických senzorů je při sledování dopravního provozu, jelikož s narůstajícím počtem vícepruhových silnic, narůstá i problém jak tyto silnice monitorovat. U vícepruhových silnic indukční smyčky přestávají stačit a právě tato situace nabízí ideální příležitost pro senzorové sítě. Při monitoringu dopravního provozu by se uplatnily jak bezdrátové senzory, tak využití senzorů s pevným připojením.

Navrhovaný systém pro sledování dopravního provozu je zobrazen na obrázku 10. Pro počítání a klasifikaci vozidel slouží senzory, které jsou umístěny ve středu dálničního pruhu. Přístupový bod sbírá data ze senzorů a předává data k vyhodnocení pomocí bezdrátové technologie 2G/3G, nebo pomocí pevné sítě. Řídící středisko přijímá signatury automobilů a zpracovává je v reálném čase. Následně pak informační systém vypočítá dopravní zatížení pro každý jednotlivý senzor a poskytuje přístup ke statistickému rozložení jednotlivých tříd vozidel. Nízká cena jednotlivých detekčních bodů umožňuje vyšší pokrytí silnice a mnohem přesněji znázorňuje dopravní zatížení. Instalace přístupových bodů v blízkosti senzoru značně snižuje výkon potřebný k bezdrátovému přenosu informace na nejnižší možnou hodnotu a tím pádem prodlužuje životnost baterie, která je nezbytná k napájení senzoru [2].



**Obrázek 10: Architektura systému pro snímání dopravního toku (zdroj: [2])**

#### **2.4 Využití u bran a zasouvajících se patníků**

Jelikož je v dnešní době aktuální hrozba terorismu, neoprávněného vjezdu a vniknutí na pozemky, které jsou chráněny (vládní budovy, elektrárny, městské části), je nutno tento nechtěný vstup mít pod kontrolou. Zde mohou být nasazeny magnetické senzory a spolu se zabezpečovacím zařízením vytvoří celek, kdy oprávněným uživatelům bude umožněn vstup, a nežádoucí průniky budou eliminovány. Spolu s magnetickými senzory může například pracovat STOPPER T275. STOPPER T275 na obrázku 11 je automatická zábrana určená pro omezení dopravy či uzavření průjezdu v místech, kde je zvýšené bezpečnostní riziko. „Zábrana je odolná proti nepříznivým povětrnostním vlivům. Ideální využití do maximálního zatížení 2000 průjezdů denně. Rychlost vysouvání/zasouvání je 7s/4s. Odolnost proti nárazu/přeražení je 15 000J/630 000J. Rozměry průměr/výška jsou 275mm/700mm“ [8].

Vhodné využití je u ministerských a vládních budov, ambasády, policejní stanice, vojenské základny, vjezdy se zvýšeným bezpečnostním rizikem. Ideální ovládání zábrany je pomocí magnetických senzorů v kombinaci s fotobuňkami a ultrazvukovými senzory.



**Obrázek 11: Automatická zábrana sloužící jako bezpečnostní prvek proti neoprávněnému vjezdu (zdroj: [8])**

## **2.5 Parkovací senzory**

Využití jako parkovací senzory nebo využití pro detekci volných míst na parkovištích. Každý řidič již zažil, že při příjezdu na parkoviště hledal volné parkovací místo a strávil několik desítek minut bezvýhodným pátráním po volném místě. Tento problém je lehce vyřešitelný, pokud u vjezdu na parkoviště bude digitální cedule s informací o zaplnění parkoviště, popřípadě i naváděcí systém k volnému místu. Výhodou magnetických senzorů je jejich cena a spolehlivá detekce a variabilní umístění. Jedno z nejběžněji využívaných míst pro instalaci magnetického senzoru je střed každého parkovacího místa. V budoucnu je možné využití mobilních telefonů a aplikací, které bude poskytovat informace o zaplnění jednotlivých parkovišť a pomocí grafického rozhraní poskytne řidiči informaci o přesné poloze volného parkovacího místa.

### 3 Teoretické rozpracování měření

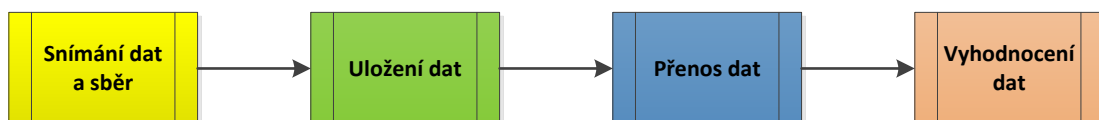
Kapitola teoretické rozpracování měření se zabývá základní sadou testů, která bude provedena pomocí sestaveného magnetického senzoru. Jednotlivé podbody ze základní sady testů, krom odrážky 3 budou provedeny na automobilech Hyundai i30 a Seat Exeo 1.8 TSI.

Mezi základní sadu testů patří:

1. Provedení měření magnetické signatury automobilu Hyundai i30 za předem kontrolovatelných podmínek, které jsou rychlost automobilu, směr najetí automobilu nad senzorem, vzdálenost automobilu od senzoru.
2. Zjistit, jak se liší magnetická signatura konkrétního automobilu, projede-li automobil 0,5 m a více od senzoru. Jednotlivá vzdálenost automobilu od senzoru bude nejprve 0,5 – 1 m a následně 1 – 2 m.
3. Naměření 50 vzorků náhodných automobilů v provozu, uložení vzorků a zjištění zda se dá reidentifikovat vozidlo, pokud nemohou být zaručeny podmínky jako zaručení stejné rychlosti automobilu, projetí automobilu přesně nad senzorem.
4. Otestovat, zda lze rozpoznat konkrétní automobil Hyundai i30, pokud bude do něj naložen kovový materiál.
5. Zjistit zda bude magnetický senzor schopen zaznamenat změnu magnetického pole, pokud nad ním projede automobil Hyundai i30 a vedle něj projede těžší automobil Seat Exeo 1.8 TSI.

Z následující sady testů budou provedeny všechny jednotlivé podbody a budou vyhodnoceny v podkapitole postupy snímání.

V rámci teoretického rozpracování měření je nezbytné si specifikovat systémový proces od samého počátku měření až po analýzu dat (obrázek 12).



Obrázek 12: Systémový proces zpracování naměřených dat (zdroj: autor)

**Snímání dat a sběr:** Je nutné si specifikovat, jaká data budou snímána, jaká bude vzorkovací frekvence. Za jakých podmínek budou data sbírána a jaká má být jejich kvalita. Proces snímání a sběru dat bude probíhat pomocí magnetického senzoru.

**Uložení dat:** Pro uložení dat je nutný výběr vhodného formátu (nutné zajistit aby data bylo při následné analýze možné načíst a vyhodnotit). Pro uložení dat slouží SD karta, nebo jsou data ukládána na jinou záznamovou platformu (například pevný disk).

**Přenos dat:** U přenosu dat je nutné si specifikovat cestu, jakou budou uložená data přenášena k následné analýze a vyhodnocení dat. Rozhodnutí zda komunikace bude probíhat bezdrátovou cestou, nebo pomocí kabeláže. U bezdrátové komunikace je nutné ve většině případů zajistit externí napájení zařízení.

**Vyhodnocení dat:** Pro správnou analýzu a vyhodnocení dat je nutno zvolit metodu, která bude pro danou kvantitu a kvalitu dat vyhovující. Pro vyhodnocení dat jsem použil Metodu porovnání poměru ploch pro dané vzorky a dále jsem posuzoval dle vykreslení magnetické signatury z dat v Excelu a hledal významné signifikantní vlastnosti, kterých by se dalo využít.

#### **Metoda stanovení poměru ploch (v Excelu):**

1. Jednotlivé naměřené vzorky překopírujeme do Excelu.
2. Identifikace vzorků ve stejném směru (vykreslíme si jednotlivé vzorky a porovnáme grafy).
3. Jednotlivá data z roztříděných vzorků dáme do skupin dle jedlových os a průjezdů.
4. U jednotlivých vzorků stanovíme meze, ve kterých budeme počítat obsah. Za bod 0 zvolíme první lokální extrém a za poslední bod zvolíme poslední lokální extrém. Lokální extrémy musejí být mimo oblast šumu. Extrémy lze získat derivací dané křivky.
5. Opravíme tak chybu vzniklou různou rychlostí průjezdu automobilu. Prvně zvolíme vzorek, který bude etalonem. Dle něj vypočítáme u každého dalšího měření časový koeficient časové osy  $X$  tak, aby začátky a konce všech měření (první a poslední extrém) byly na stejných  $X$ -ových souřadnicích.
6. Vypočítáme obsah plochy pod křivkou. Obsah počítáme z absolutní hodnoty naměřených dat  $x$  časový koeficient. Vypočtený obsah porovnáme s ostatními vzorky a procentuálně vyhodnotíme v matici pro každou osu a směr.

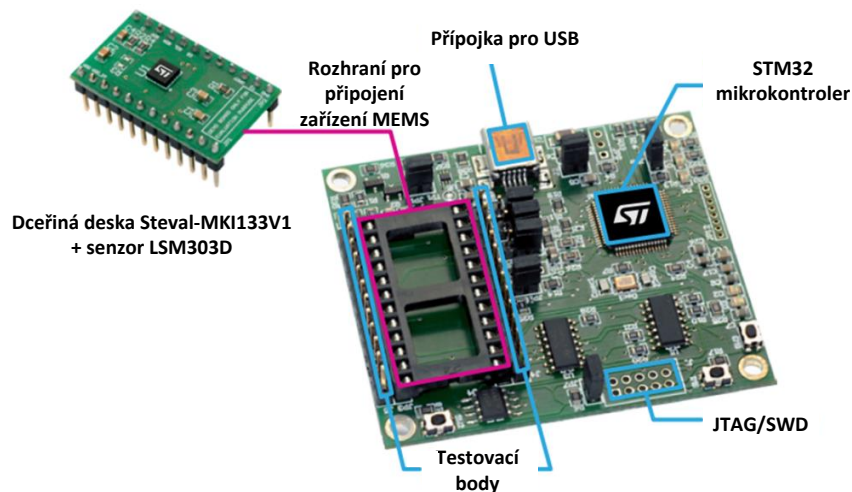


## **4 Návrh zařízení, postupu snímání a struktury databáze signatur**

V této kapitole se budu zabývat návrhem zařízení, jeho složení z jednotlivých částí a zkompletování do podoby kdy bude zařízení připraveno pro měření daných hodnot. Postup snímání se zabývá otestováním základní sady testů a její podrobnější analýze. V návrhu struktury databáze se pokusím navrhnout možnost, jak by mohla daná databáze vypadat a ze kterých jednotlivých prvků by byla tvořena.

### **4.1 Návrh zařízení využívající sběrnici USB**

Zařízení určené pro snímání změny magnetického pole u automobilů se skládá z ochranného obalu senzoru, což je HTU přesuvka 75 mm s vyříznutým otvorem pro kabel USB. Dvě zásuvná hrdla, slouží k uzavření senzoru uvnitř přesuvky. Po uzavření senzoru do ochranného obalu je možné snímat data i za nepříznivého počasí. Senzor pro měření magnetického pole LSM303D byl umístěn na dceřinou desku Steval – MKI133V1 a tato deska byla následně instalována na základní desku Steval – MKI109V2. Tato základní deska byla vložena do přesuvky HTU a to tak, že na jedno zásuvné hrdlo byla přišroubována umělohmotná destička a na tuto destičku byla připevněna základní destička se senzorem pomocí 2 šroubků. Pomocí tohoto uchycení bylo docíleno pevného uchycení základní desky se senzorem a zabráněno případnému poškození zařízení. Pevným úchytem byla odstraněna možnost pohybu destičky v přesuvce a přehození měřících os senzoru. Po zasunutí hrdla, ke kterému je uchycena základní deska, bylo zasunuto i hrdlo druhé. Po uzavření senzoru do HTU přesuvky byl připojen ke konektoru základní destičky 5 m kabel USB s koncovkami USB a Mini USB – A. Jakmile bylo Mini USB zapojeno, otvor kolem USB kabelu byl oblepen silikonem, aby nemohlo dojít k poškození senzoru. Takto sestavené zařízení je připraveno k měření. Na obrázku 13 jsou znázorněny komponenty a jejich umístění na základní desce Steval – MKI109V2. Dceřiná deska Steval – MKI133V1 byla zasazena do daného rozhraní, které je určeno pro připojení kompatibilních komponent. Připojka USB slouží pro připojení sběrnice USB, pomocí které senzor zasílá data počítači Dell. Pomocí USB je také základná deska napájena.



**Obrázek 13: Umístění základních komponent na základní desce Steval – MKI109V2 (zdroj: digikey.com)**

Návrh zařízení byl udělán tak, aby mohlo být zařízení instalováno do vozovky. Zařízení musí být chráněno před poškozením a následné měření musí být provedeno z bezpečné vzdálenosti. Instalace tohoto měřicího zařízení do vozovky s popisem jednotlivých částí a příslušenství daného měřicího zařízení se nachází v příloze číslo 1.

V tabulce 2 je spočítána celková cena zařízení, dle jednotlivých položek, které byly nezbytné pro funkčnost zařízení.

Název komponenty:	Cena v Kč:
Steval – MKI109V2	2800
Steval – MKI133V1 + LSM303D	620
Sběrnice USB (5m)	100
Přesuvka HTU + 2 záslepky HTM	200
<b>Celková cena zařízení</b>	<b>3720</b>

**Tabulka 2: Cena jednotlivých komponent magnetického senzoru (zdroj: autor)**

#### 4.1.1 Ochranný obal pro senzor

Jako ochranný obal pro senzor mi posloužila plastová HTU přesuvka 75 mm a 2 HTM záslepky 75 mm. Přesuvka má rozměry 102 mm na výšku a průměr 75 mm. Výhodou této přesuvky je okamžitá a dokonalá těsnost spojů. Snadné spojování pomocí zásuvných hrdel. Přesuvka má krátkodobou teplotní odolnost až 100°C. Do přesuvky byl umístěn senzor, pro komunikaci s PC bylo vybráno komunikační rozhraní USB. Napájení senzoru

probíhalo pomocí USB, tato sběrnice sloužila i pro přenos dat. Na obrázku 14 je zobrazena HTU přesuvka 75 mm spolu s HTM záslepkou 75 mm.

#### **Důvod výběru:**

HTU přesuvka a záslepky HTM byly vybrány z důvodu cenové dostupnosti, odpovídající velikosti pro umístění daného senzoru. Materiál, kterým je tvořen ochranný obal, musel být z plastu, skla, jelikož kovový obal by narušil správnou funkčnost magnetického senzoru. Cena za kompletní ochranný obal je přibližně 200 Kč.



**Obrázek 14: HTU přesuvka 75 mm a záslepka HTM (zdroj: dumtechno.cz)**

#### **4.1.2 Základní deska Steval - MKI109V2**

Základním stavebním kamenem celého zařízení, které je určené pro snímání magnetického pole je základní deska Steval – MKI109V2. Tuto desku jsem osadil dalšími komponentami a propojil pomocí USB – Typ A a Mini – A USB s počítačem. Deska byla osazena dceřinou deskou Steval – MKI133V1 Na obrázku 15 je znázorněna základní deska Steval – MKI109V2.



**Obrázek 15: Základní deska Steval – MKI109V2 (zdroj: [5])**

### **Popis základní desky**

Steval – MKI109V2 je základní deska, která je navržena pro osazení MEMS produkty firmy STMicroelectronics. Deska je osazena DIL24 slotem, který umožňuje připojit všechny dostupné adaptéry pro digitální i analogové výstupní MEMS zařízení. Základní deska je vybavena 32 bitovým procesorem o velkém výkonu. Procesor funguje jako spojovací článek mezi senzorem a PC, na kterém je možno využít grafického uživatelského rozhraní (GUI), nebo speciální software pro dané aplikace [5].

### **Základní parametry základní desky Steval – MKI109V2:**

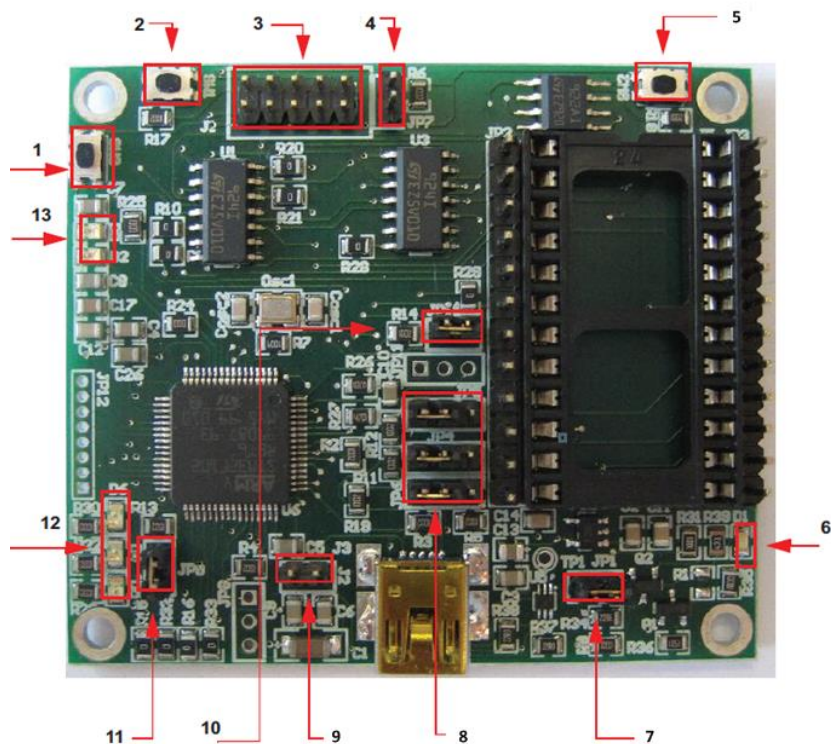
<b>ID</b>	<b>Základní parametry</b>
<b>1</b>	Kompatibilní se všemi dostupnými ST MEMS dceřinými deskami
<b>2</b>	Zahrnuje DIL24 slot pro snadné připojení MEMS zařízení
<b>3</b>	Řízení STM32F103RET výkonným ARM Cortex™-MR3 mikroprocesorem
<b>4</b>	Deska má regulátor lineárního napětí 3V
<b>5</b>	DFU kompatibilní pro USB upgrade firmware mikroprocesoru
<b>6</b>	Možnost připojení USB 2.0
<b>7</b>	Ladící konektor pro SWD/JTAG
<b>8</b>	Odpovídá směrnici RoHS

**Tabulka 3: Základní parametry desky Steval – MKI109V2 (zdroj [5])**

Popis a označení jednotlivých hlavních komponent základní desky Steval – MKI109V2 se nachází na obrázku 16 a v tabulce 4.

ID	Popis hlavních komponent základní desky
1	Tlačítko SW3 se využívá pro resetování STM32
2	Tlačítko SW1 je propojeno s STM32 GPIOs a je dostupné pro uživatele
3	Konektor J1 se využívá pro reprogramování STM32 a pro debugování kódu přes protokoly JTAG nebo SWD
4	Jumper JP7 se využívá pro volbu JTAG nebo SWD módu.
5	Tlačítko SW2 je propojeno s STM32 GPIOs a je dostupné pro uživatele
6	LED D1 se rozsvítí, pokud je deska napájena
7	Jumper J2 může být využit k přímému napájení desky (napětím od 3,5 V až 6 V), klasicky je deska napájena skrz USB konektor
8	Jumpery JP4, JP5 a JP6 se využívají pro manuální nastavení některých funkcí, které jsou k dispozici u jednotlivých dceřiných desek
9	Jumper JP1 umožňuje uživateli měřit odběr proudu senzorem, zapojením multimetru do série
10	Jumper JP9 se využívá pro výběr bootovacího módu u STM32
11	Jumper JP10 se využívá pro výběr bootovacího módu u STM32
12	LED D4, D5 a D6 jsou hlavní led diody pro indikaci stavu zařízení. Led dioda D6 se rozsvítí, pokud je vybráno konkrétní zařízení z dané nabídky. Led dioda D5 svítí, pokud je mikrokontroler správně nastaven pro komunikaci se senzorem. Led dioda D4 bliká, pokud je vybrána příslušná rychlost snímání dat
13	LED D2 a D3 jsou přímo propojeny se vstupními piny MEMS digitálního adaptéru (ledky se rozsvítí, pokud je dceřiná deska instalována na základní desku)

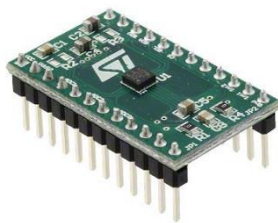
**Tabulka 4: Popis hlavních komponent Steval – MKI109V2 (zdroj [5])**



Obrázek 16: Označení jednotlivých hlavních komponent Steval – MKI109V2 (zdroj [5])

#### 4.1.3 Dceřiná deska Steval – MKI133V1

Steval – MKI133V1 je dceřiná deska navržená firmou STMicroelectronics, která slouží pro osazení konkrétním vybraným senzorem a následným zasazením do kompatibilní základní desky Steval – MKI109V2. Deska je standardně připojena pomocí 24 pinů do daného slotu. Napájení desky probíhá skrz základní desku. Výhodou této dceřiné desky je opět její malá velikost, cenová dostupnost. Na obrázku 17 je zobrazena dceřiná deska Steval – MKI133V1. Rozměry této desky jsou díky dnešní technologii velice malé.



Obrázek 17: Dceřiná deska Steval – MKI133V1 (zdroj: digikey.com)

## Důvod výběru Steval – MKI133V1

Důvodem pro výběr této desky byl fakt, že tato dceřiná deska má již zabudován senzor LSM303D ve své základní verzi. Deska je kompatibilní se základní deskou, pomocí které je napájena. Kompatibilita veškerých propojených zařízení je garantována výrobcem.

### 4.1.4 LSM303D

Jedná se o vysoce kompaktní výkonný kompasový modul: 3D akcelerometr a 3D magnetometr. LSM303D jsem zasadil do dceřiné desky Steval – MKI133V1, která byla následně instalována na mateřskou desku Steval – MKI109V2 . Na obrázku 18 je zobrazen senzor LSM303D.



Obrázek 18: Senzor LSM303D (zdroj: smartechsz.com)

#### Základní parametry senzoru LSM303D:

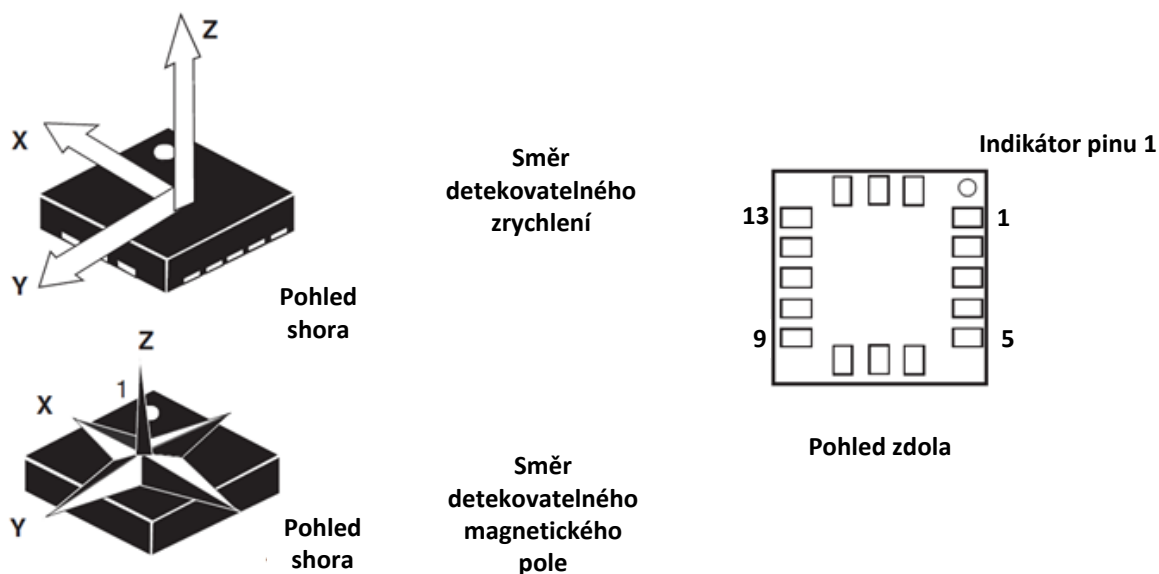
ID	Základní parametry
1	3 kanály pro snímání magnetického pole a 3 kanály pro snímání zrychlení
2	Volitelná Gaussova stupnice v intervalu +-2 / +-4 / +-8 / +- 12 G
3	Volitelná stupnice lineárního zrychlení +-2 / +-4 / +-8 / +- 12 g
4	16 bitový výstup dat
5	Sériové rozhraní SPI/I <sup>2</sup> C
6	Analogové napájecí napětí 2,16 V až 3,6 V
7	Vestavěné teplotní čidlo
8	Režim vypnutí / režim nízké spotřeby

<b>9</b>	Velikost senzoru 3x3x1 mm
----------	---------------------------

**Tabulka 5: Základní parametry senzoru LSM303D (zdroj: [4])**

### Popis LSM303D

LSM303D je systémový balíček, který obsahuje 3D digitální lineární senzor akcelerace a 3D digitální magnetický senzor. LSM303D je vybaven sériovou sběrnicí I<sup>2</sup>C, která podporuje standardní a rychlý režim (100 kHz a 400 kHz) a sériové standardní SPI rozhraní. Systém může být nakonfigurován tak, aby generoval přerušení signálu pro volný pád, detekci pohybu a detekci magnetického pole. Prahové hodnoty a načasování přerušení jsou programovatelné koncovým uživatelem. Magnetické bloky a bloky akcelerometru mohou být zapnuty a vypnuty nezávisle na sobě. LSM303D garantuje možnost snímání v teplotách od -40°C do +85°C. Na obrázku 19 je zobrazen senzor LSM303D s označením jednotlivých pinů (číslování je po směru hodinových ručiček od 1 do 16). Pod obrázkem 19 se nachází tabulka 6 s popisem jednotlivých pinů. V příloze číslo 2 je zobrazeno elektrické schéma senzoru LSM303D [4].



**Obrázek 19: Znázornění umístění jednotlivých pinů na senzoru (zdroj: [4])**

Pin	Označení	Funkce
1	Vdd_IO	Napájení pro vstupní / výstupní piny
2	SETC	Propojení s S/R kondenzátorem (C <sub>2</sub> )
3	SETP	Propojení s S/R kondenzátorem (C <sub>2</sub> )



4	SCL	I <sup>2</sup> C sériové hodiny (SCL)
	SPC	SPI hodiny sériového portu (SPC)
5	GND	Napájení 0 V
6	SDA	I <sup>2</sup> C sériový přenos dat (SDA)
	SDI	SPI vstup pro sériový přenos dat (SDI)
	SDO	Výstup pro sériový přenos dat (SDO)
7	SDO	SPI výstup pro sériový přenos dat (SDO)
	SA0	I <sup>2</sup> C méně významný bit adresy (SA0)
8	CS	SPI povoleno
		I <sup>2</sup> C/SPI výběr módu (1: SPI v režimu nečinnosti / I <sup>2</sup> C komunikace povolena; 0: SPI v režimu komunikace / I <sup>2</sup> C vypnuto)
9	INT 2	Přerušení 2
10	Vyhrazeno	Připojení k GND
11	INT1	Přerušení 1
12	GND	Napájení 0 V
13	GND	Napájení 0 V
14	Vdd	Zdroj napájení
15	C1	Propojení s kondenzátorem C1
16	GND	Napájení 0 V

**Tabulka 6: Popis pinů senzoru LSM303D (zdroj: [4])**

#### **Důvod výběru LSM303D:**

LSM303D jsem byl vybrán z důvodu možnosti kompatibility s dceřinou deskou Steval – MKI133V1. Důležitým požadavkem na senzor byl zakomponování sběrnice I<sup>2</sup>C po které probíhá komunikace. Dále byl senzor LSM303D vybrán, jelikož se jedná o 3 – osý magnetický senzor a je schopen snímat magnetické pole ve 3 osách. LSM303D je schopen zaznamenávat změny s citlivostí v jednotkách mG. Výhodou senzoru je nastavitelná Gaussova stupnice a rychlost vzorkování. V neposlední řadě rozhodovala také dostupnost a

cena senzoru, která se pohybuje okolo 140 Kč. Senzor byl vybrán i pro svou citlivost, která se dle výrobce pohybuje v rozmezí 0,061 – 0,732 mG.

#### **4.1.5 USB**

Pro propojení počítače s mateřskou deskou Steval – MKI109V2 jsem využil sběrnici USB – Typ A a Mini – A USB. Délka kabelu byla zvolena 5m, jelikož pro větší délku kabelu není zaručen spolehlivý přenos dat a je nutno sběrnici doplnit o repeater. Výhodou sběrnice USB je, že pro mnou zvolené zařízení, slouží pro jeho napájení i pro přenos dat na koncové zařízení, v mém případě počítač Dell. Připojené zařízení může po sběrnici odebírat proud až 100 mA. Pokud zařízení potřebuje, může požádat o větší proud, maximálně však 500 mA. Pro mnou sestavené zařízení bylo nutné dodávat proud o velikosti 300 mA, tudíž sběrnice USB byla dostačující.

#### **4.1.6 Dell Latitude E6540**

Pro komunikaci se senzorem, jeho ovládání a ukládání naměřených dat jsem použil počítač Dell Latitude E6540 s operačním systémem Windows 7. Jelikož na počítači je nainstalován operační systém Windows, bylo možné využít pro záznam dat ze senzoru software Unico, který poskytoval grafické rozhraní sloužící pro nastavení senzoru a jeho ovládání. Počítač slouží i jako zdroj energie pro základní desku a senzor, které jsou napájeny pomocí USB. Naměřená a přenesená data do počítače byla ukládána do souboru ve formátu txt. na předem vybrané místo v počítači. Tento formát je vhodný pro další analýzu, která proběhla právě na tomto počítači. Počítač Dell Latitude E6540 sloužil i pro vytvoření databáze, která je přílohou této diplomové práce.

Základní informace o počítači:

- Operační systém Windows: Windows 7 Professional (64 bitový operační systém)
- Procesor: Intel(R) Core(TM) i5-420M CPU @ 2,60 GHz 2,60GHz
- Paměť (RAM): 8,00 GB
- Grafická karta: Intel(R) HD Graphics 4600
- Disková jednotka: WDC 320 GB

## 4.2 Návrh bezdrátového senzoru

Pro sestavení a otestování bezdrátového senzoru jsem zvolil komponenty Wasmote PRO v1.2, magnetický senzor LSM303D BMP180, přenosový modul Xbee PRO, pro uložení dat byla zvolena karta microSD 2GB a jako zdroj napájení baterie PKCELL model ICR18650.

V tabulce 7 je spočítána celková cena zařízení, dle jednotlivých položek, které byly nezbytné pro funkčnost zařízení.

Název komponenty:	Cena v Kč:
Wasmote PRO v1.2 + anténa + modul Xbee PRO	6750
LSM303D BMP180	250
Transcend microSD 2 GB	100
Baterie PKCELL model ICR18650	300
<b>Celková cena zařízení:</b>	<b>7400</b>

**Tabulka 7: Cena základních součástí pro bezdrátový senzor (zdroj: autor)**

Z ekonomického hlediska je bezdrátová varianta senzoru dražší a její implementace a naprogramování celého komunikačního rozhraní komplikovanější. Nevýhodou bezdrátové varianty je i nejistota chyby v přenosu dat, kdy data nemusejí dorazit ve vypovídající hodnotě.

### 4.2.1 Wasmote PRO v1.2

Základním stavebním prvkem bezdrátového senzoru je základní deska Wasmote PRO v1.2. Wasmote je open-source bezdrátová platforma speciálně zaměřená na využití senzorů s nízkou spotřebou energie. To znamená konstruovat zařízení tak, aby bylo možné celé zařízení napájet pomocí baterie. Životnost jednotlivých senzorů se pohybuje mezi 1 až 5 roky v závislosti na vytížení a využití přenosové technologie. Pro naprogramování Wasmote bylo vyvinuto vlastní vývojové prostředí, které bylo odvozeno od populárního Arduino IDE. Veškerý hardware, který je určen pro zařízení Wasmote je založen na modulové architektuře, kdy jednotlivé komponenty lze snadno zasadit do základní desky. Přenosové moduly, které lze využít pro bezdrátový přenos a lze je nainstalovat na Wasmote PRO v1.2 jsou ZigBee/802.15.4, GSM/GPRS, 3G/GPRS, WiFi, Bluetooth, GPS,

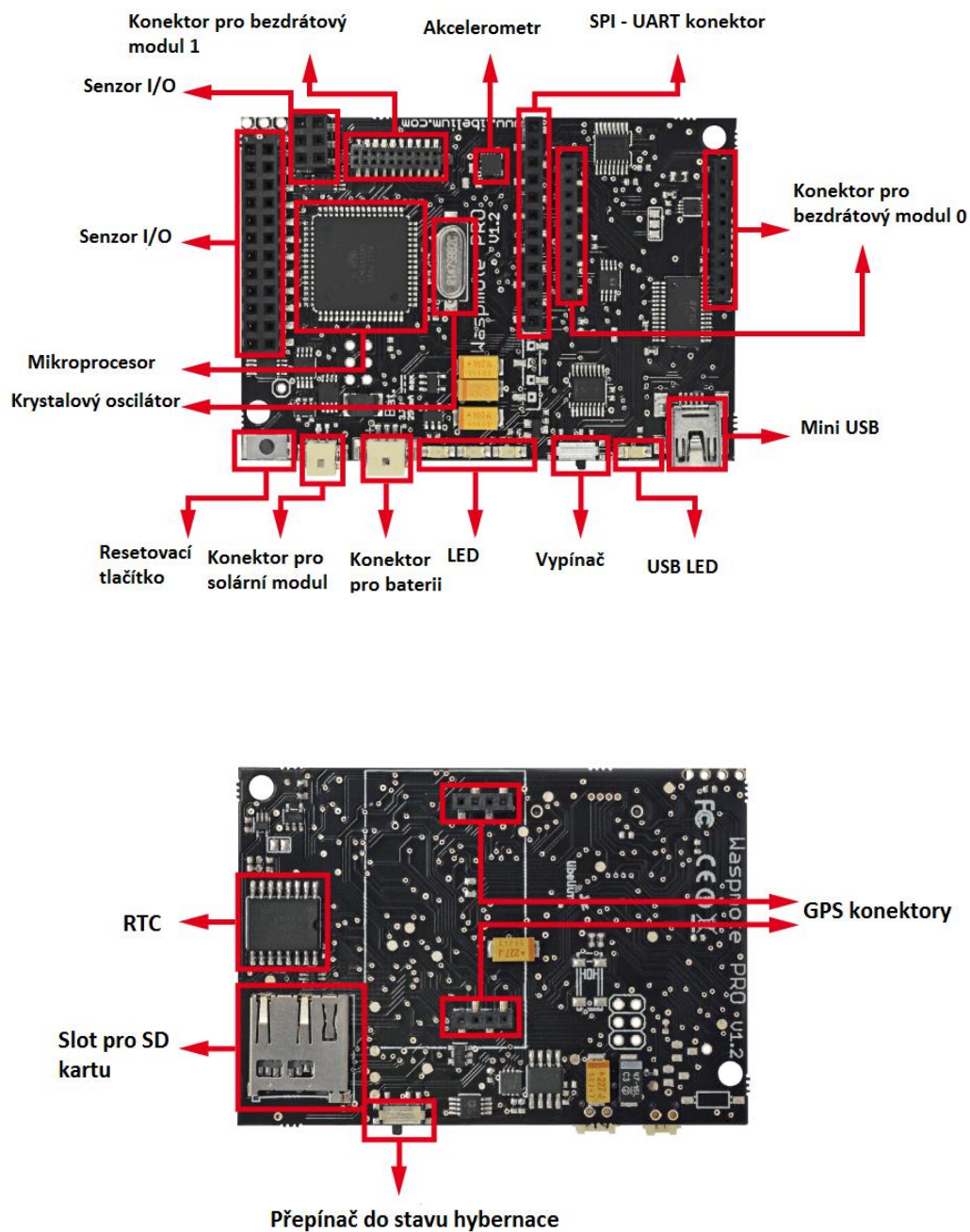
NFC/RFID. Základní deska Waspote PRO v1.2 lze osadit microSD, která slouží pro uložení dat, baterií PKCELL model ICR18650 6600 jež zaručuje napájení celého zařízení, modulem Xbee Pro, který pomocí antény slouží pro přenos dat a komunikaci se senzorem. XBee modul je typu XBP24-ASI-001 802.15.4 RF 2.4GHz s RP-SMA konektorem. Nutné je také základní desku opatřit magnetickým senzorem, který je kompatibilní, jelikož firma Libelium zatím nevydala modul zahrnující magnetický senzor [7].

#### Parametry základní desky Waspote PRO v1.2:

ID	Popis parametru
1	ATmega1281 mikrokontroler s frekvencí 14,7456 MHz, 8 KB SRAM, 4KB EEPROM
2	Slot pro SD kartu, podporující až maximální velikost uložení 2 GB
3	Zahrnuje 32 kHz RTC
4	Zabudovaný senzor pro snímání teploty v rozmezí -40 až +85 °C s přesností 0,25 °C.
5	Zabudovaný akcelerometr
6	7 analogových vstupů
7	8 digitálních vstupů a výstupů
8	1 x PWM, 1 x I <sup>2</sup> C, 2 x UART, 1 x USB, 1 x SPI
9	Slot pro připojení baterie od 3,3 V až 4,2 V
10	Váha 20 g, rozměry 73,5 x 51 x 13 mm

**Tabulka 8: Parametry základní desky Waspote PRO v1.2 (zdroj: [7])**

Na obrázku 20 jsou popsány jednotlivé hlavní části základní desky Waspote PRO v1.2.



**Obrázek 20: Popis komponent na přední a zadní straně desky Wasp mote PRO v1.2 (zdroj: [7])**

#### 4.2.2 Magnetický senzor

Pro otestování byl zvolen senzor LSM303D BMP180, na který byly přiletovány piny a následně byl senzor nasazen na Wasp mote PRO v1.2. Rozměry senzoru jsou 22 mm x 17 mm. Senzor potřebuje pro svůj provoz odebrat proud 8 mA. Výhodou je, že využívá rozhraní I<sup>2</sup>C/SPI. Nevýhodou senzoru je, že není navržen přímo jako modul firmou Libelium, tudíž není zaručena jeho kompatibilita se základní deskou Wasp mote PRO v1.2.

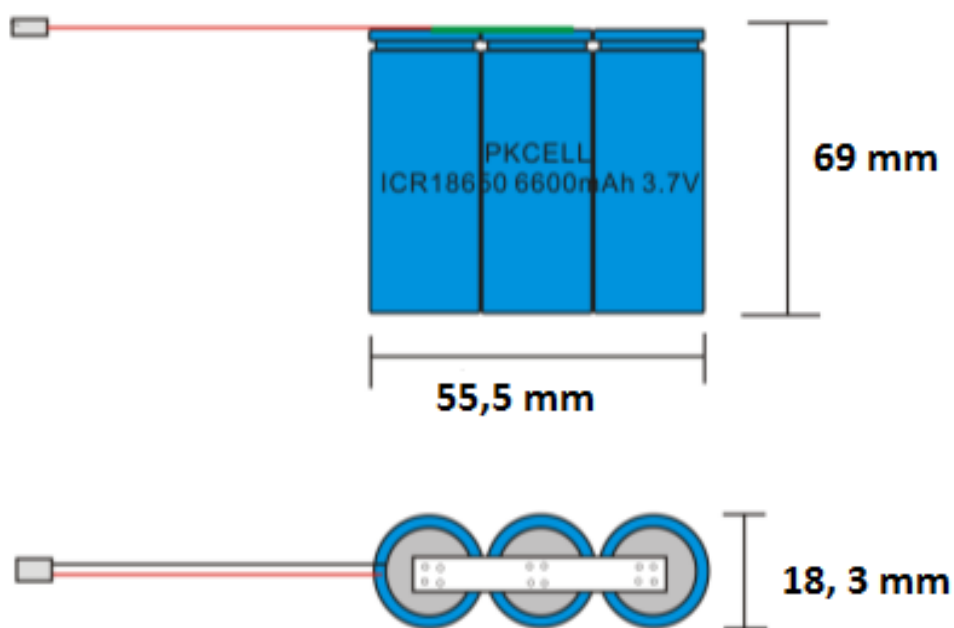
Při některých měřeních senzor vykazoval hodnoty dat, které byly zcela nevyhovující skutečnosti, a tudíž tento senzor pro finální měření využit nebyl.

#### 4.2.3 Transcend microSD 2 GB

Karta Transcend microSD slouží pro uložení nasnímaných dat, velikost karty byla zvolena 2 GB, jelikož se jedná o nejvyšší možnou velikost karty, kterou zařízení Waspote dokáže zpracovat. Rychlost čtení a zápisu na kartu microSD je 2 MB/s. Rozměry karty microSD jsou: šířka 15 mm, hloubka 11 mm a výška 1 mm. Cena paměťové karty je na českém trhu 100 Kč a karta je běžně dostupná.

#### 4.2.4 Baterie

Pro napájení zařízení slouží externí zdroj energie a to baterie značky PKCELL model ICR18650 6600 mAh 3,7 V 1S3P. Jedná se o kvalitní lithiovou baterii, která je složena ze tří článků a je schopna zajistit dostatečný přísun energie pro funkčnost celého zařízení. Cena této baterie se pohybuje okolo 300 Kč. Pokud bude zařízení, neustále odebírat proud o hodnotě 35 mA, doba výdrže baterie bude okolo 188 h. Na obrázku 21 jsou zachyceny rozměry baterie, a baterie samotná.



Obrázek 21: Baterie PKCELL (zdroj: adafruit.com)



### 4.3 Postup snímání

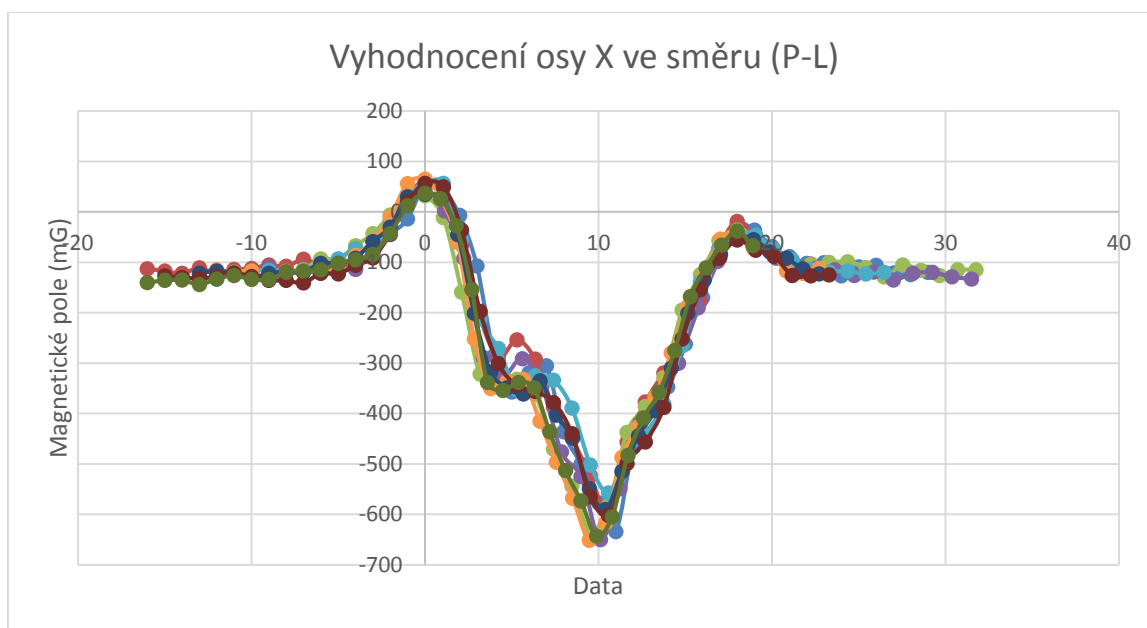
Podkapitola postup snímání popisuje vyhodnocení základní sady testů a popisuje, jak byla data získána. Data, která byla získána pomocí magnetického senzoru byla odeslána pomocí sběrnice USB na počítač Dell, data byla uložena v textovém formátu (.txt). Velikost jednoho textového souboru se pohybuje mezi 2 – 6 kB. Nejčastější velikostí textového souboru je 3 kB. Senzor byl nastaven na snímkovací frekvenci 25 Hz. Sejmutí jednoho vzorku při rychlosti 20 km/h trvalo 3 s (čas byl měřen stopkami). U ostatních měření trvalo sejmutí vzorku rozdílnou dobu, která se pohybovala mezi 4 – 8 sekundami. Měření všech podbodů až na podbod 3 probíhalo v Českém Těšíně v ulici Nová Tovární (obrázek 22). Jedná se o dvoupruhovou silnici, která je na okraji města, mimo hustě osídlenou oblast. V následujících podbodech je popsáno vyhodnocení základní sady testů.



**Obrázek 22: Senzor umístěný v ulici Nová Tovární (zdroj: autor)**

1. Bylo naměřeno 22 vzorků u automobilu Hyundai i30. Rychlost automobilu byla 20 km/h a automobil projížděl nad senzorem v obou směrech. Rychlost vzorkování byla 25 Hz. Ze vzorků byly nutno odebrat 3 vzorky, jež byly chybně naměřeny a vnesly by do vyhodnocení chybu. Chyba vznikla kvůli špatnému nastavení senzoru, tudíž se jednalo o chybu způsobenou lidským faktorem. Z následujících vzorků bylo třeba určit, které vzorky patří

automobilu, pokud projížděl nad senzorem zleva doprava a naopak. Není možné porovnávat všechny vzorky, mezi sebou, jelikož se naměřené hodnoty v jednotlivých směrech průjezdu liší. Vzorky se liší v lokálních extrémech a naměřené hodnoty jsou odečteny nebo přičteny v závislosti na směru průjezdu od zemského magnetického pole. Porovnávány tedy byly vzorky vždy ve stejném směru průjezdu. U jednotlivých vzorků byly porovnávány naměřené hodnoty pro jednotlivé osy magnetického pole. Ze všech měření byly vytvořeny matice, ve kterých se porovnávaly plochy vytčené naměřenými hodnotami. V grafu 2 se nachází vykreslení jednotlivých vzorků magnetické osy X pro průjezd automobilu ve směru zprava doleva a následně porovnání obsahů pro dané vzorky (tabulka 9).



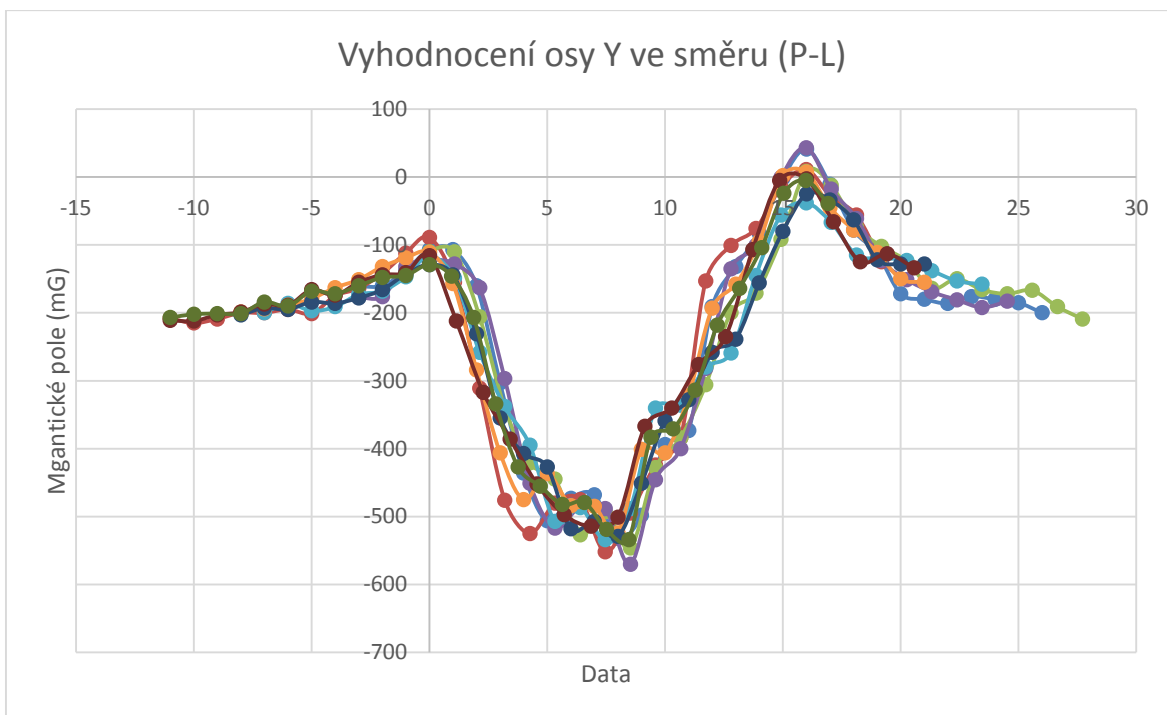
**Graf 2: Vykreslení osy X pro průjezd zprava doleva (zdroj: autor)**

	M1_X	M3_X	M5_X	M7_X	M9_X	M14_X	M16_X	M20_X	M22_X
M1_X	X	95,19%	95,00%	95,21%	96,86%	92,74%	97,70%	97,46%	94,58%
M3_X	95,19%	X	90,43%	90,64%	98,28%	88,29%	93,00%	92,78%	90,03%
M5_X	95,00%	90,43%	X	99,78%	92,02%	97,63%	97,24%	97,47%	99,56%
M7_X	95,21%	90,64%	99,78%	X	92,22%	97,41%	97,45%	97,69%	99,34%
M9_X	96,86%	98,28%	92,02%	92,22%	X	89,83%	94,63%	94,41%	91,61%
M14_X	92,74%	88,29%	97,63%	97,41%	89,83%	X	94,93%	95,16%	98,06%
M16_X	97,70%	93,00%	97,24%	97,45%	94,63%	94,93%	X	99,76%	96,81%
M20_X	97,46%	92,78%	97,47%	97,69%	94,41%	95,16%	99,76%	X	97,04%
M22_X	94,58%	90,03%	99,56%	99,34%	91,61%	98,06%	96,81%	97,04%	X

**Tabulka 9: Porovnání obsahů pro osu X zprava doleva (zdroj: autor)**

Graf 3 a tabulka 10 pro osu Y ve směru průjezdu automobilu zprava doleva.



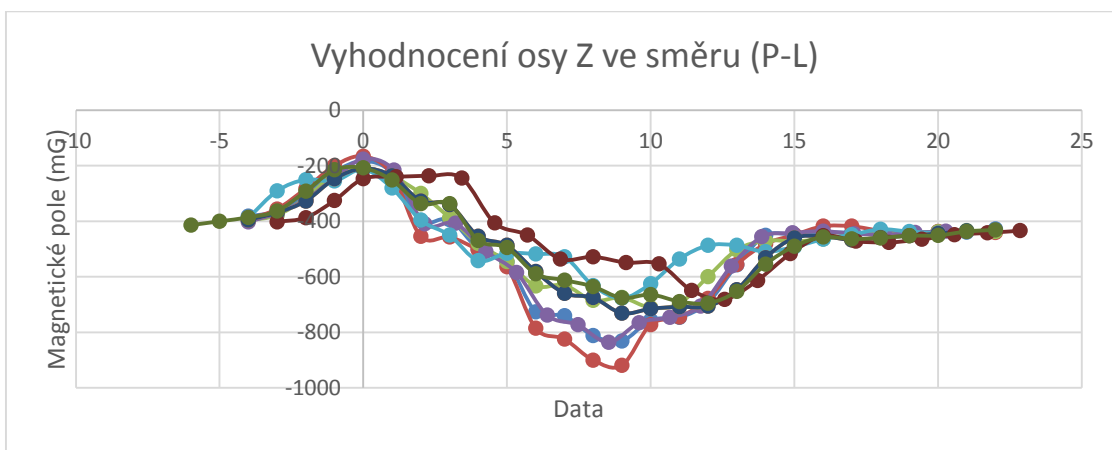


**Graf 3: Vykreslení osy Y pro průjezd zprava doleva (zdroj: autor)**

	M1_Y	M3_Y	M5_Y	M7_Y	M9_Y	M14_Y	M16_Y	M20_Y	M22_Y
M1_Y	X	95,14%	94,25%	97,80%	95,62%	97,17%	93,72%	97,60%	96,77%
M3_Y	95,14%	X	99,06%	97,28%	99,50%	97,92%	98,50%	97,48%	98,32%
M5_Y	94,25%	99,06%	X	96,37%	98,57%	97,00%	99,44%	96,56%	97,40%
M7_Y	97,80%	97,28%	96,37%	X	97,77%	99,35%	95,82%	99,80%	98,94%
M9_Y	95,62%	99,50%	98,57%	97,77%	X	98,41%	98,01%	97,97%	98,82%
M14_Y	97,17%	97,92%	97,00%	99,35%	98,41%	X	96,45%	99,55%	99,59%
M16_Y	93,72%	98,50%	99,44%	95,82%	98,01%	96,45%	X	96,02%	96,85%
M20_Y	97,60%	97,48%	96,56%	99,80%	97,97%	99,55%	96,02%	X	99,14%
M22_Y	96,77%	98,32%	97,40%	98,94%	98,82%	99,59%	96,85%	99,14%	X

**Tabulka 10: Porovnání obsahů pro osu Y zprava doleva (zdroj: autor)**

Graf 4 a tabulka 11 pro osu Z ve směru průjezdu zprava doleva.

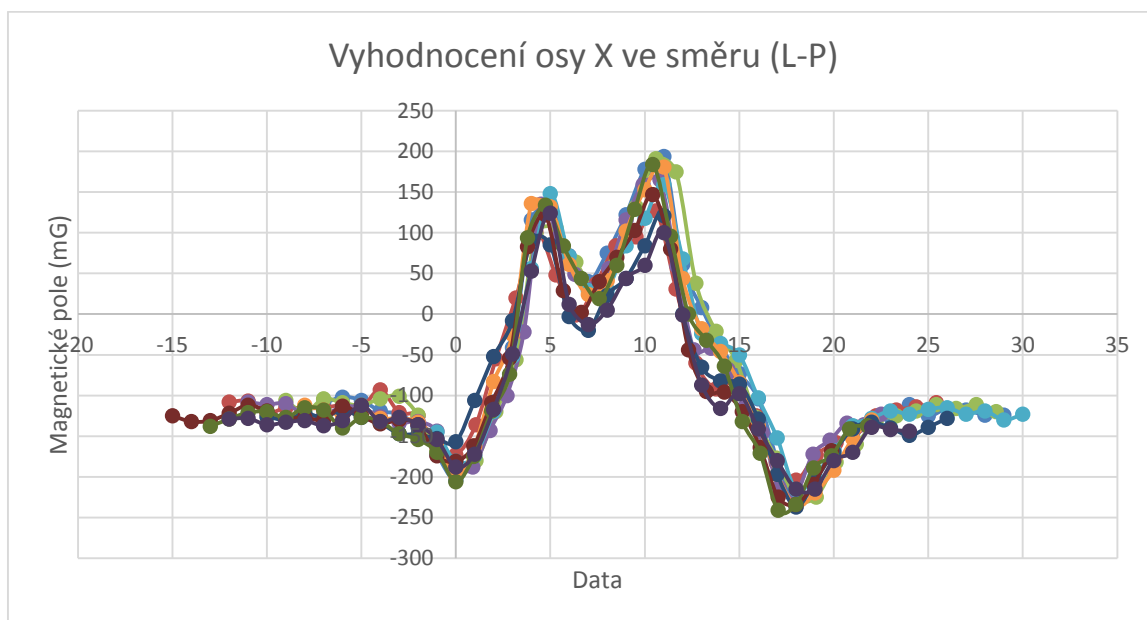


**Graf 4: Vykreslení osy Z pro průjezd zprava doleva (zdroj: autor)**

	M1_Z	M3_Z	M5_Z	M7_Z	M9_Z	M14_Z	M16_Z	M20_Z	M22_Z
M1_Z	X	95,12%	88,00%	98,90%	89,03%	94,06%	83,34%	82,15%	92,90%
M3_Z	95,12%	X	83,70%	94,08%	84,69%	89,47%	79,28%	78,14%	88,36%
M5_Z	88,00%	83,70%	X	88,98%	98,84%	93,55%	94,71%	93,36%	94,73%
M7_Z	98,90%	94,08%	88,98%	X	90,02%	95,11%	84,27%	83,07%	93,93%
M9_Z	89,03%	84,69%	98,84%	90,02%	X	94,65%	93,61%	92,28%	95,84%
M14_Z	94,06%	89,47%	93,55%	95,11%	94,65%	X	88,60%	87,34%	98,76%
M16_Z	83,34%	79,28%	94,71%	84,27%	93,61%	88,60%	X	98,57%	89,71%
M20_Z	82,15%	78,14%	93,36%	83,07%	92,28%	87,34%	98,57%	X	88,44%
M22_Z	92,90%	88,36%	94,73%	93,93%	95,84%	98,76%	89,71%	88,44%	X

**Tabulka 11: Porovnání obsahů pro osu Z zprava doleva (zdroj: autor)**

Graf 5 a tabulka 12 pro osu X ve směru zleva doprava.

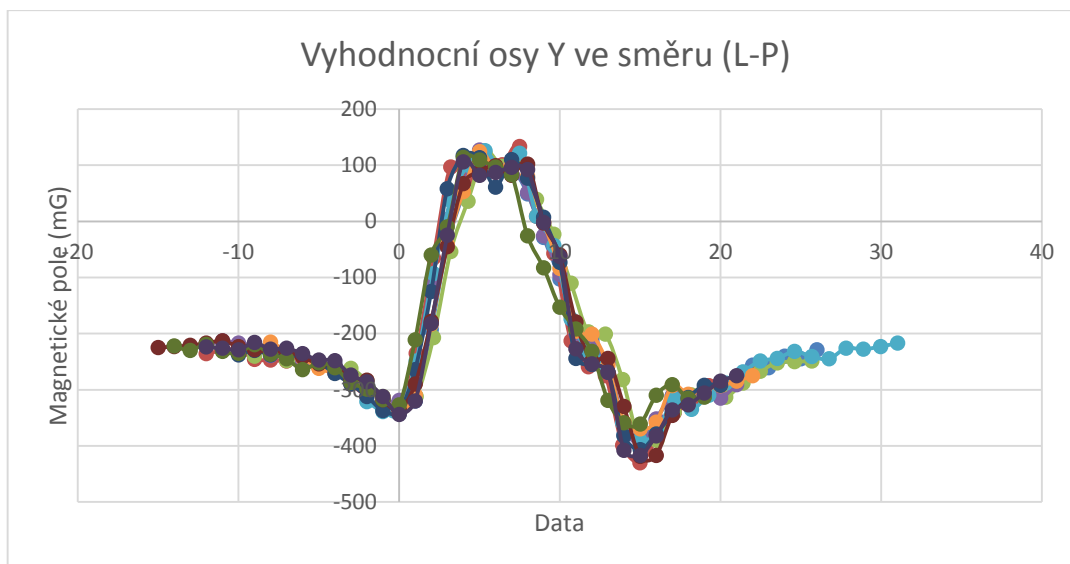


**Graf 5: Vykreslení osy X pro průjezd zleva doprava (zdroj: autor)**

	M2_X	M4_X	M6_X	M8_X	M10_X	M12_X	M13_X	M17_X	M19_X	M21_X
M2_X	X	80,69%	98,69%	99,87%	86,89%	95,73%	73,68%	96,36%	98,46%	81,59%
M4_X	80,69%	X	79,63%	80,58%	92,87%	84,29%	91,31%	83,74%	79,45%	98,89%
M6_X	98,69%	79,63%	X	98,82%	85,75%	94,48%	72,71%	95,09%	99,76%	80,53%
M8_X	99,87%	80,58%	98,82%	X	86,77%	95,60%	73,58%	96,23%	98,59%	81,48%
M10_X	86,89%	92,87%	85,75%	86,77%	X	90,76%	84,79%	90,18%	85,55%	93,91%
M12_X	95,73%	84,29%	94,48%	95,60%	90,76%	X	76,96%	99,35%	94,26%	85,23%
M13_X	73,68%	91,31%	72,71%	73,58%	84,79%	76,96%	X	76,46%	72,54%	90,30%
M17_X	96,36%	83,74%	95,09%	96,23%	90,18%	99,35%	76,46%	X	94,87%	84,68%
M19_X	98,46%	79,45%	99,76%	98,59%	85,55%	94,26%	72,54%	94,87%	X	80,34%
M21_X	81,59%	98,89%	80,53%	81,48%	93,91%	85,23%	90,30%	84,68%	80,34%	X

**Tabulka 12: Porovnání obsahů pro osu X zleva doprava (zdroj: autor)**

Graf 6 a tabulka 13 pro osu Y ve směru zleva doprava.

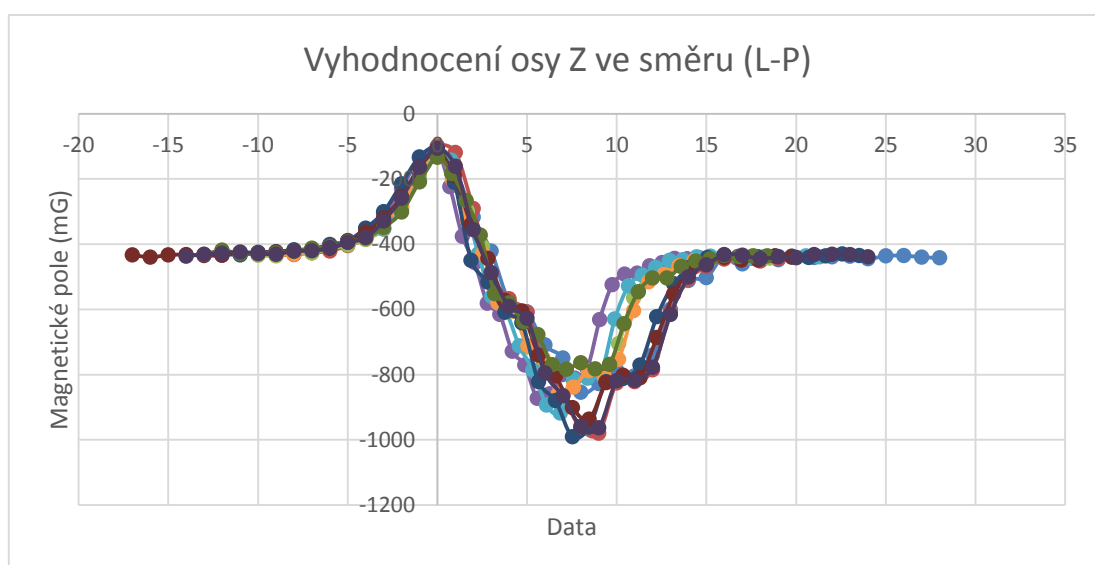


**Graf 6: Vykreslení osy Y pro průjezd zleva doprava (zdroj: autor)**

	M2_Y	M4_Y	M6_Y	M8_Y	M10_Y	M12_Y	M13_Y	M17_Y	M19_Y	M21_Y
M2_Y	X	97,39%	91,24%	92,68%	95,39%	96,20%	99,65%	95,42%	94,36%	97,07%
M4_Y	97,39%	X	88,86%	90,25%	92,90%	93,69%	97,73%	92,92%	91,89%	99,68%
M6_Y	91,24%	88,86%	X	98,45%	95,65%	94,84%	90,92%	95,62%	96,70%	88,57%
M8_Y	92,68%	90,25%	98,45%	X	97,15%	96,34%	92,35%	97,13%	98,22%	89,96%
M10_Y	95,39%	92,90%	95,65%	97,15%	X	99,16%	95,06%	99,97%	98,92%	92,60%
M12_Y	96,20%	93,69%	94,84%	96,34%	99,16%	X	95,86%	99,19%	98,09%	93,38%
M13_Y	99,65%	97,73%	90,92%	92,35%	95,06%	95,86%	X	95,08%	94,03%	97,41%
M17_Y	95,42%	92,92%	95,62%	97,13%	99,97%	99,19%	95,08%	X	98,89%	92,62%
M19_Y	94,36%	91,89%	96,70%	98,22%	98,92%	98,09%	94,03%	98,89%	X	91,60%
M21_Y	97,07%	99,68%	88,57%	89,96%	92,60%	93,38%	97,41%	92,62%	91,60%	X

**Tabulka 13: Porovnání obsahů pro osu Y zleva doprava (zdroj: autor)**

Graf 7 a tabulka 14 pro osu Z ve směru zleva doprava.



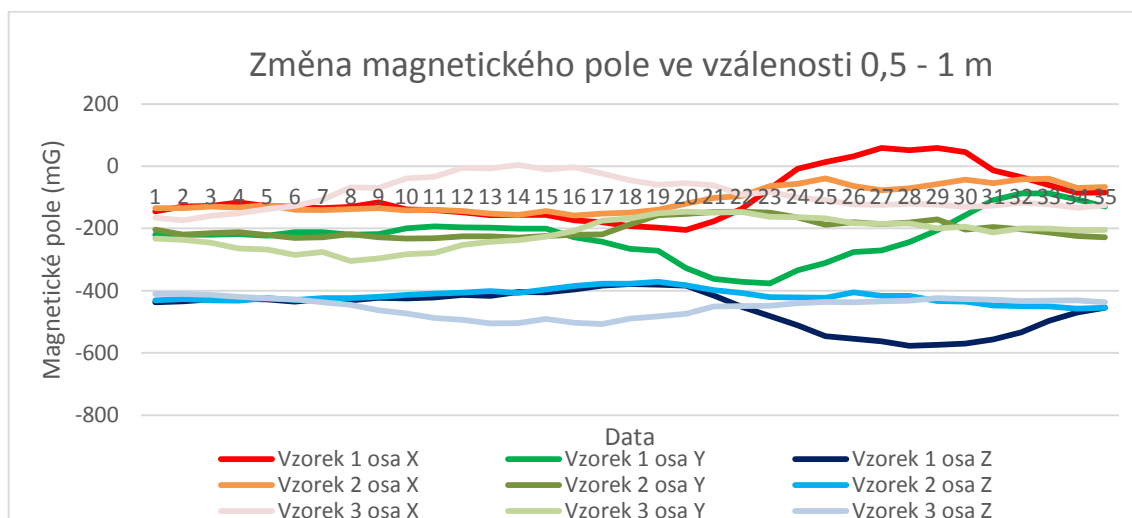
**Graf 7: Vykreslení osy Z pro průjezd zleva doprava (zdroj: autor)**

	M2_Z	M4_Z	M6_Z	M8_Z	M10_Z	M12_Z	M13_Z	M17_Z	M19_Z	M21_Z
M2_Z	X	94,91%	95,17%	95,21%	95,58%	96,93%	93,07%	96,56%	92,69%	93,95%
M4_Z	94,91%	X	90,33%	90,36%	90,71%	91,99%	98,07%	98,29%	87,97%	98,99%
M6_Z	95,17%	90,33%	X	99,97%	99,57%	98,19%	88,58%	91,90%	97,39%	89,42%
M8_Z	95,21%	90,36%	99,97%	X	99,61%	98,23%	88,61%	91,93%	97,36%	89,45%
M10_Z	95,58%	90,71%	99,57%	99,61%	X	98,61%	88,96%	92,29%	96,98%	89,80%
M12_Z	96,93%	91,99%	98,19%	98,23%	98,61%	X	90,21%	93,59%	95,63%	91,06%
M13_Z	93,07%	98,07%	88,58%	88,61%	88,96%	90,21%	X	96,39%	86,27%	99,07%
M17_Z	96,56%	98,29%	91,90%	91,93%	92,29%	93,59%	96,39%	X	89,50%	97,30%
M19_Z	92,69%	87,97%	97,39%	97,36%	96,98%	95,63%	86,27%	89,50%	X	87,08%
M21_Z	93,95%	98,99%	89,42%	89,45%	89,80%	91,06%	99,07%	97,30%	87,08%	X

**Tabulka 14: Porovnání obsahů pro osu Z zleva doprava (zdroj: autor)**

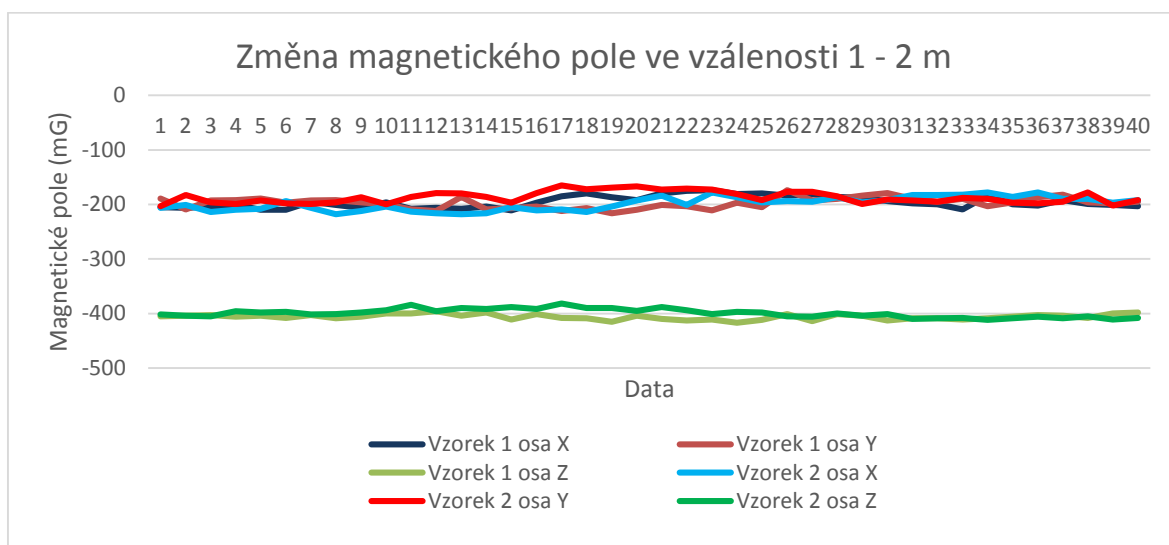
**Závěr:** Pro porovnávání jednotlivých magnetických signatur záleží na směru, kterým automobil nad senzorem projel. Z následujících grafů a tabulek, ve kterých byly porovnávány jednotlivé obsahy lze poznamenat, že magnetická signatura pro daný automobil je podobná, za předpokladu, že máme předem stanoveny kontrolovatelné podmínky (rychlost automobilu, směr průjezdu, vzdálenost od senzoru). Těchto podmínek však v běžném provozu nemůžeme dosáhnout.

2. U měření číslo 2 bylo za úkol zjistit, jak vypadá magnetická signatura, pokud projede automobil v určité vzdálenosti od senzoru a zda senzor v této vzdálenosti zachytí změnu magnetického pole. Měření probíhala u automobilu Hyundai i30, který projížděl vedle senzoru ve vzdálenosti 0,5 – 2 m rychlostí 20 km/h. Rychlost snímání byla 25 Hz. Počáteční vzdálenost od senzoru byla 0,5 – 1 m a následná vzdálenost byla zvolena 1 – 2 m. Ve vzdálenosti 0,5 – 1 m byl schopen senzor zachytit změnu magnetického pole, ale nedosahovala takových hodnot, jako při průjezdu automobilu přesně nad senzorem. V grafu 8 je zobrazen vzorek změny magnetického pole pro vzdálenost 0,5 – 1 m.



**Graf 8: Změna magnetického pole ve vzdálenosti 0,5 – 1 m (zdroj: autor)**

Pro jednotlivé vzdálenosti bylo naměřeno vždy 15 vzorků a následně byla data vyhodnocena. V grafu 9 je vykreslena signatura pro vzdálenost 1 – 2 m vozidla Hyundai od senzoru při rychlosti vozidla 20 km/h.



**Graf 9: Změna magnetického pole ve vzdálenosti 1 – 2 m (zdroj: autor)**

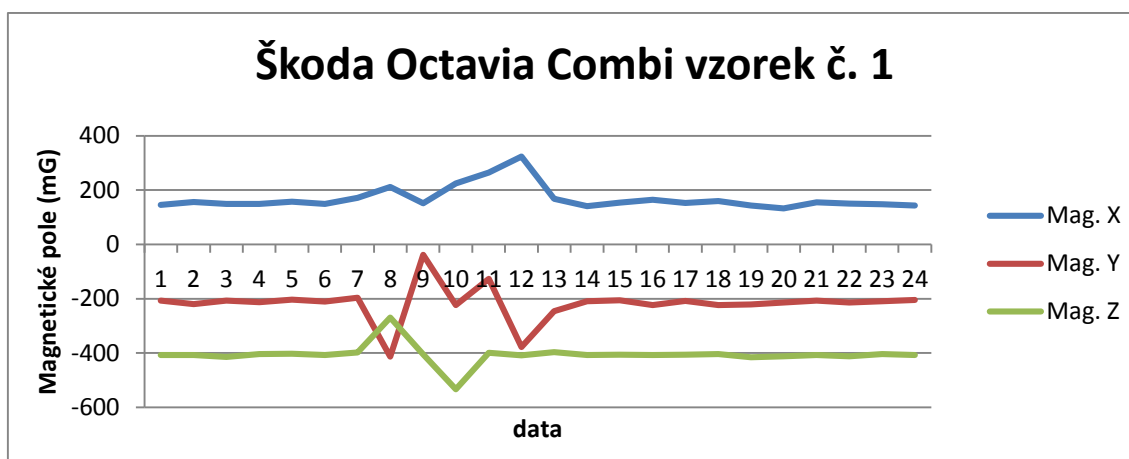
Z grafu a dat vyplývá, že senzor v této vzdálenosti nezachytil signifikantní změnu magnetického pole. Pro získání magnetické signatury je tak nutné, aby automobil projel nad senzorem, nebo maximálně 1 m od senzoru.

3. V provozu bylo naměřeno pomocí magnetického senzoru 50 vzorků jednotlivých automobilů. Rychlost vzorkování byla nastavena na 25 Hz. Vzorky byly naměřeny v Praze v ulici Horáčkova (obrázek 23). Jednalo se o jednosměrnou ulici, která byla v místě měření zúžena betonovým ohradníkem. Měření probíhalo za zpomalovacím prahem, čímž byla do určité míry omezena proměnlivost rychlosti měřených vozidel.

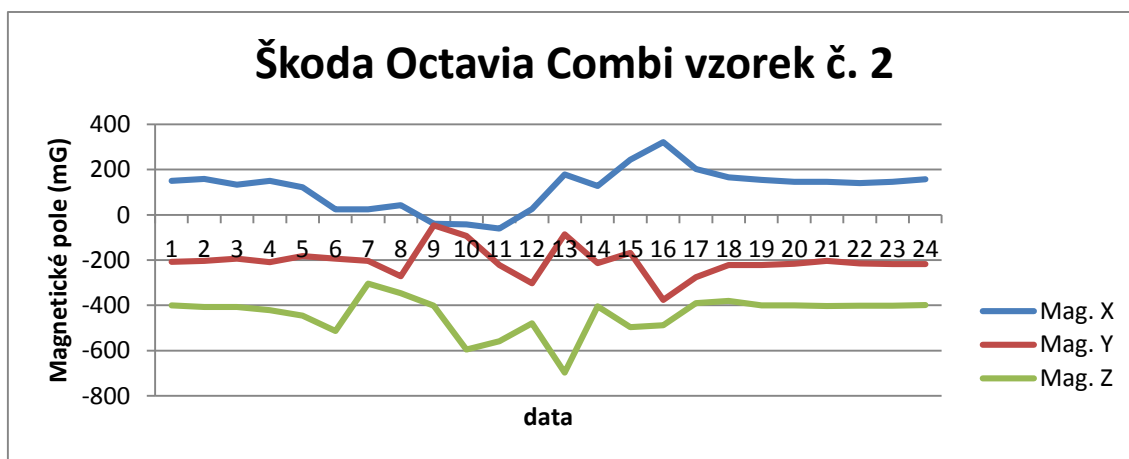


**Obrázek 23: Ulice Horáčkova (zdroj: autor)**

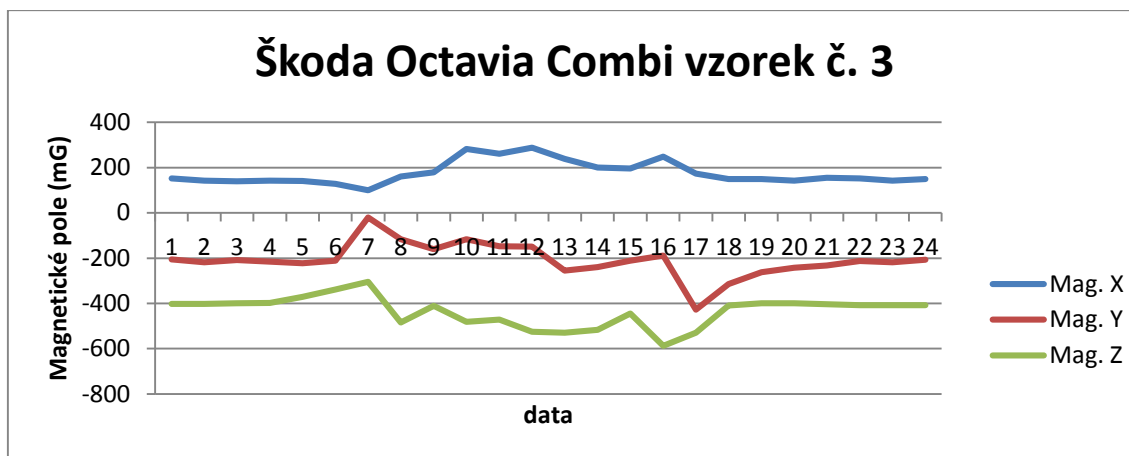
U toho měření nebyla možnost předem kontrolovat, jakou rychlostí automobil nad senzorem projede, ani jaká bude vzdálenost automobilu od senzoru. Není možné ani kontrolovat jaký materiál automobil veze. Po prozkoumání vzorků, vykreslení grafů a prozkoumání význačných částí jednotlivých signatur (velikost a časová poloha maxim a minim, stoupavost a klesavost funkce) nelze mezi signaturami stejného typu automobilu najít žádnou podobnost. Jednotlivé magnetické signatury naměřené u automobilu Škoda Octavia Combi, které jsou vykresleny v následujících grafech (graf číslo 10 – 13), jsou v závislosti na nekontrolovatelných podmínkách zcela odlišné i přesto, že se jedná o stejný typ vozidla.



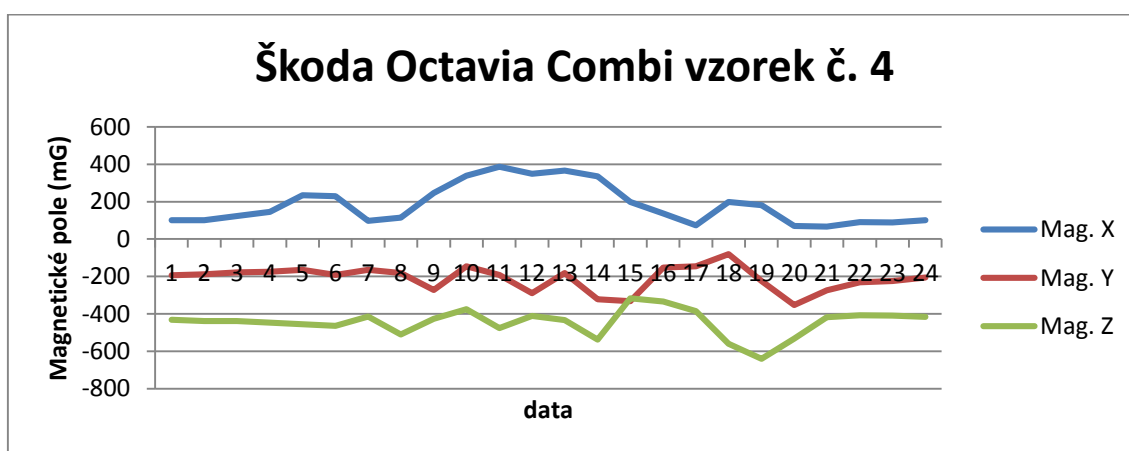
Graf 10: Vzorek 1 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor)



Graf 11: Vzorek 2 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor)



Graf 12: Vzorek 3 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor)



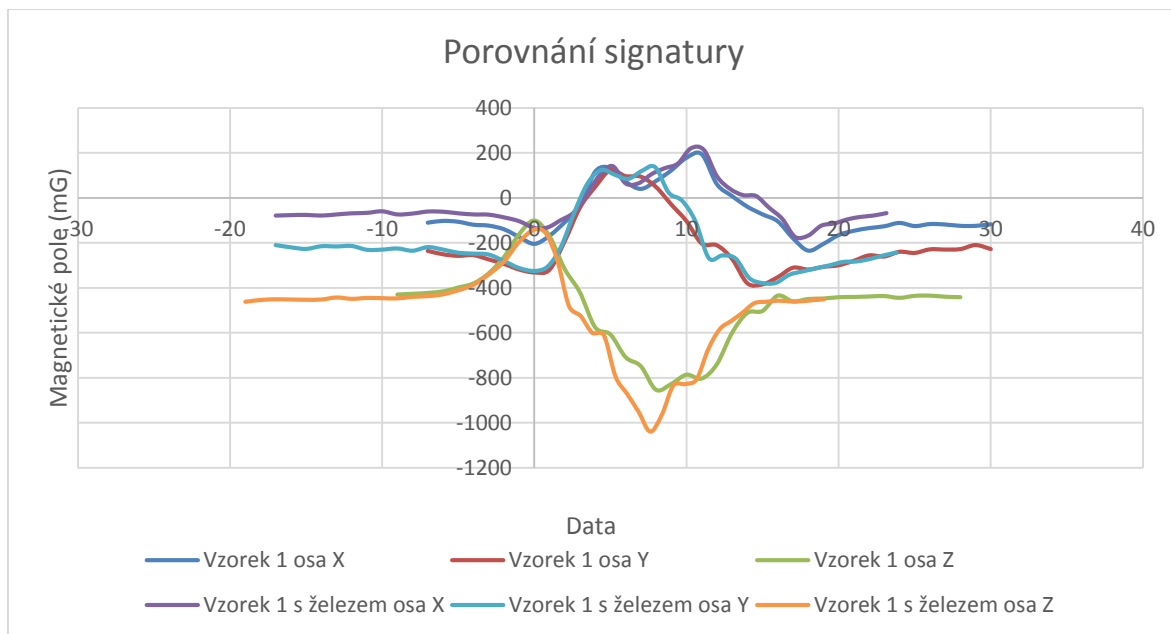
Graf 13: Vzorek 4 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor)

Počet nekontrolovatelných faktorů je příliš velký a není možné dosáhnout podobné kvality měření, jako v bodě 1. Pravděpodobně by bylo možné tyto nejistoty částečně omezit použitím více senzorů, rozmístěných rovnoměrně po celé šířce vozovky. Takový systém by však již byl složitostí návrhu, instalace, údržby a vyhodnocení podstatně složitější. Při požadavku na identifikaci konkrétního typu vozidla tak magnetické senzory nepřekonávají současně používané optické metody. Ty jsou již ověřené a díky schopnosti snímat SPZ propojitelné i s dalšími službami, jako například registr ukradených automobilů. Magnetický senzor je tak ideální pro aplikace počítání dopravního toku bez rozlišení typů projedých vozidel. Oproti optickým metodám je levnější, nevyžaduje pravidelné čištění senzoru, má nižší spotřebu a je snazší na vyhodnocení, protože nezaznamenává jakýkoliv pohyb (např. lidi nebo zvěř), ale pouze pohyb těžkých, feromagnetických objektů.

4. U automobilu Hyundai i30 bylo do jeho úložného prostoru, který se nacházel v zadní části automobilu naloženo 35 kg kovového materiálu (obrázek 24). Cílem bylo zjistit, zda se magnetická signatura vozidla výrazně změní. Pro toto měření byla využita snímkovací



frekvence 25 Hz a rychlost automobilu 20 km/h. Při porovnání s daty nasnímanými v bodě 1 není patrná žádná významná změna (graf 14). Osy X a Y mají podobný průběh křivek v jednotlivých datových bodech. Osa Z má podobný průběh lišící se pouze v maximu u tohoto porovnávaného vzorku.



**Graf 14: Porovnání signatury s podbodem 1 (zdroj: autor)**

Senzor pro přesnou identifikaci vozidla sloužit nemůže, jelikož takové množství materiálu by mělo rozpoznatelně změnit signaturu ve všech měřených osách.

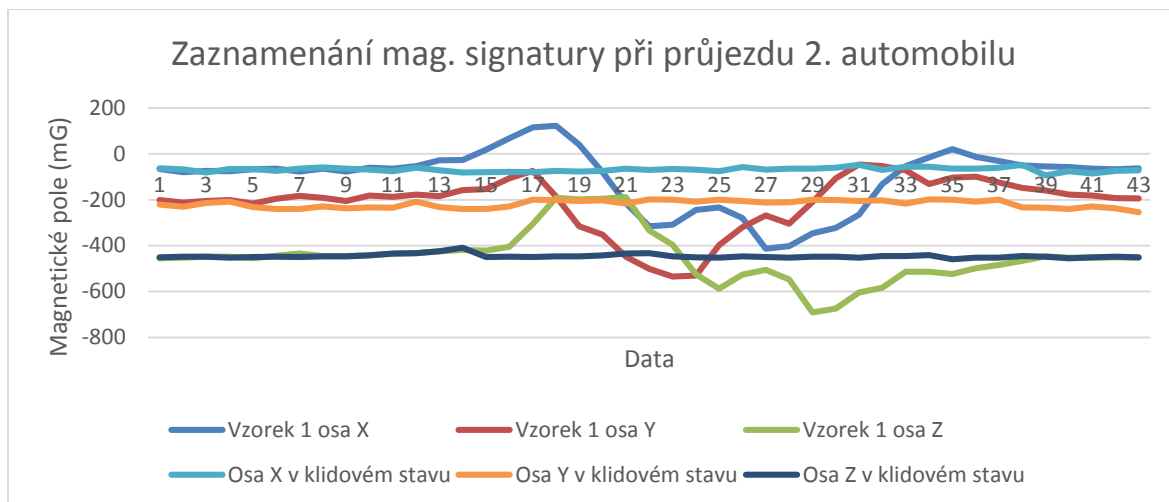


**Obrázek 24: Kovový materiál v kufru Hyundai i30 (zdroj: autor)**

5. Automobil Hyundai i30 projížděl nad senzorem a automobil, který byl větší typ, Seat Exeo projížděl 1 m od vozidla Hyundai (obrázek 25). Bylo naměřeno 15 vzorků při rychlosti



20 km/h obou vozidel a cílem bylo zjistit, zda další automobil zcela zaruší magnetický senzor a ten nebude schopen sejmout magnetickou signaturu automobilu Hyundai i30. Z grafu 15 je patrné, že senzor zaznamenal automobil Hyundai i30 a nedošlo k zarušení senzoru, které by se projevilo nezaznamenáním magnetické signatury.



**Graf 15: Zaznamenání mag. signatury při průjezdu 2 automobilů (zdroj: autor)**

Jako příklad uvedu matici osy X, která byla porovnávána, z ní je patrné, že automobil zaznamenaný, byl, ale v některých případech je jeho magnetická signatura rozhozena (tabulka 15). V této matici jsem porovnával jednotlivé obsahy pro osu X všech měření. Podobnost jednotlivých obsahů je vyjádřena v matici (mohou být porovnávány všechny obsahy, jelikož vozidla jezdila pouze zprava doleva).

	M1_X	M3_X	M4_X	M5_X	M6_X	M7_X	M8_X	M9_X	M10_X	M11_X	M12_X	M13_X	M14_X	M15_X
M1_X	X	97,72%	94,97%	97,10%	99,31%	89,24%	86,23%	94,70%	93,55%	70,25%	85,18%	86,20%	78,23%	99,03%
M3_X	97,72%	X	97,18%	99,36%	98,40%	91,32%	88,24%	96,91%	95,73%	71,89%	87,17%	88,21%	80,05%	96,78%
M4_X	94,97%	97,18%	X	97,81%	95,63%	93,96%	90,80%	99,72%	98,50%	73,97%	89,69%	90,76%	82,37%	94,05%
M5_X	97,10%	99,36%	97,81%	X	97,78%	91,90%	88,81%	97,53%	96,34%	72,35%	87,73%	88,78%	80,56%	96,16%
M6_X	99,31%	98,40%	95,63%	97,78%	X	89,86%	86,83%	95,36%	94,20%	70,74%	85,78%	86,80%	78,77%	98,35%
M7_X	89,24%	91,32%	93,96%	91,90%	89,86%	X	96,63%	94,23%	95,39%	78,72%	95,46%	96,60%	87,66%	88,38%
M8_X	86,23%	88,24%	90,80%	88,81%	86,83%	96,63%	X	91,06%	92,18%	81,47%	98,78%	99,96%	90,72%	85,40%
M9_X	94,70%	96,91%	99,72%	97,53%	95,36%	94,23%	91,06%	X	98,78%	74,18%	89,95%	91,02%	82,60%	93,79%
M10_X	93,55%	95,73%	98,50%	96,34%	94,20%	95,39%	92,18%	98,78%	X	75,10%	91,06%	92,15%	83,62%	92,64%
M11_X	70,25%	71,89%	73,97%	72,35%	70,74%	78,72%	81,47%	74,18%	75,10%	X	82,47%	81,50%	89,80%	69,57%
M12_X	85,18%	87,17%	89,69%	87,73%	85,78%	95,46%	98,78%	89,95%	91,06%	82,47%	X	98,82%	91,83%	84,36%
M13_X	86,20%	88,21%	90,76%	88,78%	86,80%	96,60%	99,96%	91,02%	92,15%	81,50%	98,82%	X	90,75%	85,37%
M14_X	78,23%	80,05%	82,37%	80,56%	78,77%	87,66%	90,72%	82,60%	83,62%	89,80%	91,83%	90,75%	X	77,47%
M15_X	99,03%	96,78%	94,05%	96,16%	98,35%	88,38%	85,40%	93,79%	92,64%	69,57%	84,36%	85,37%	77,47%	X

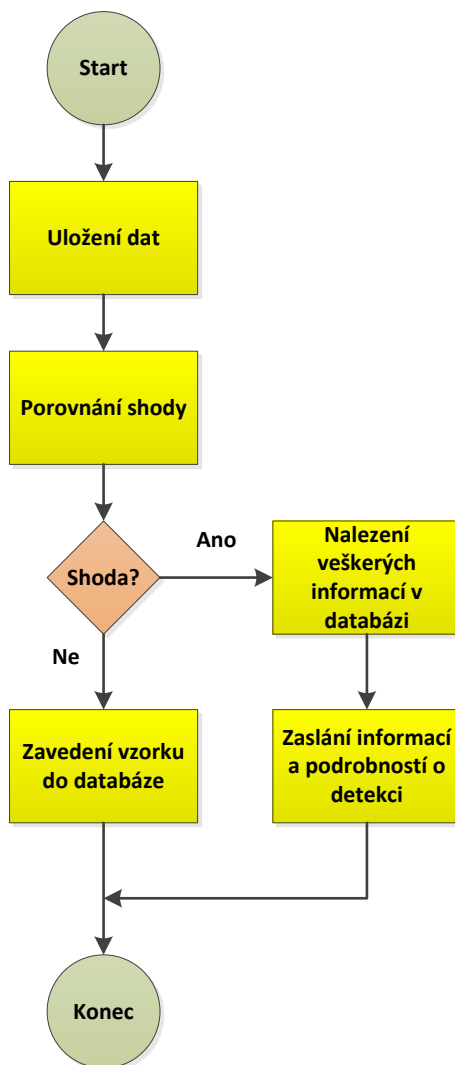
**Tabulka 15: Porovnání osy X při průjezdu dvou automobilů (zdroj: autor)**



**Obrázek 25: Průjezd dvou automobilů (zdroj: autor)**

#### 4.4 Návrh databáze

V této podkapitole se zaměřím na možný návrh databáze, která by mohla sloužit pro reidentifikaci daného typu vozidla. Databáze je nutná k zaznamenání signatury daného automobilu a informací o vozidle. Systematické znázornění jak probíhá porovnání signatury (magnetické, fotografie) je zobrazeno na procesním diagramu na obrázku 26.



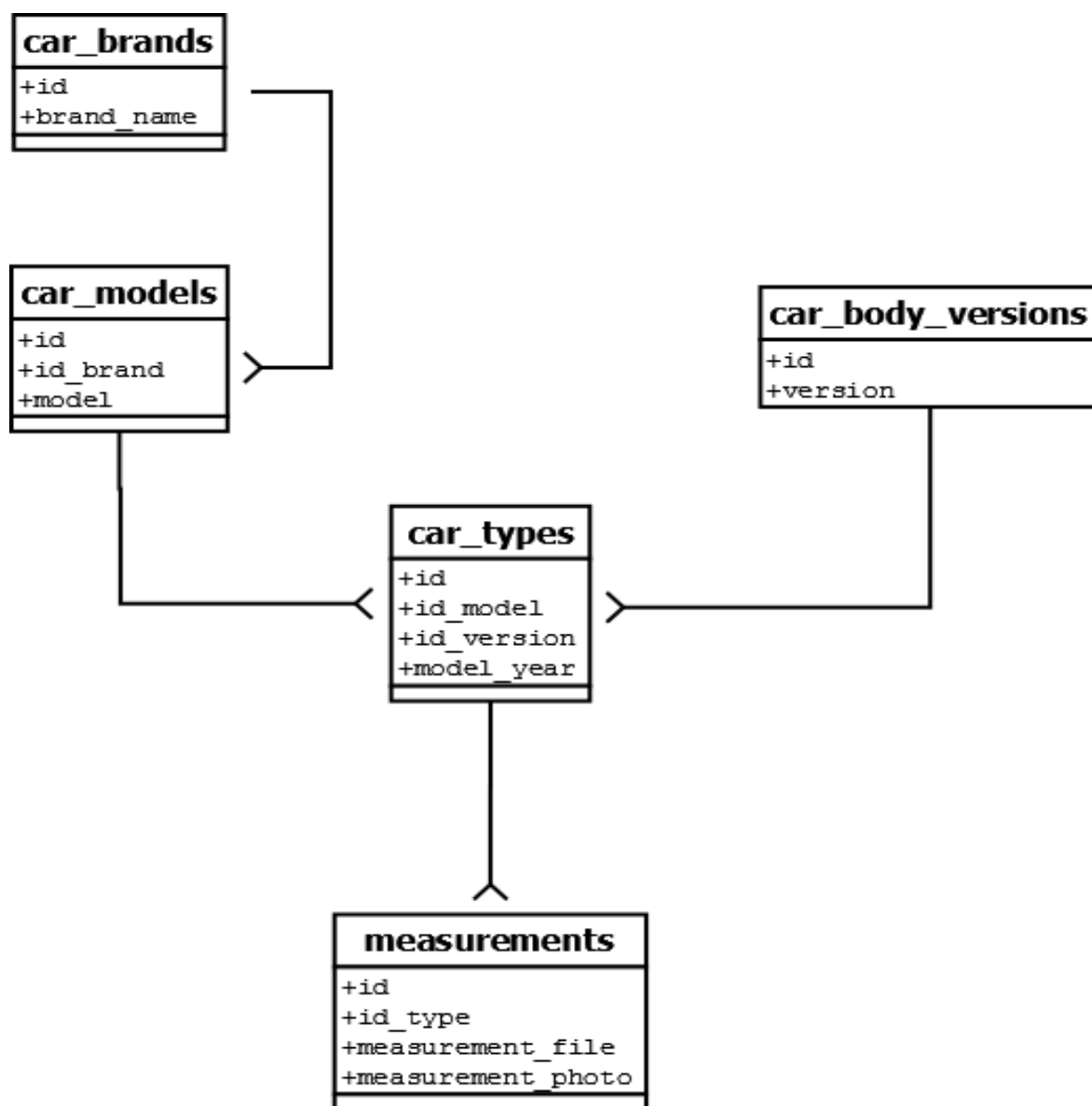
**Obrázek 26: Procesní diagram porovnání signatury automobilu (zdroj: autor)**

Má navrhovaná databáze se skládá z 5 tabulek (obrázek 27). Tabulka car\_brands obsahuje sloupečky pojmenované brand\_name a id. Brand\_name znamená jednotlivé značky automobilů například Škoda, Volvo, BMW. Sloupeček id je primární klíč, na který odkazuje sloupeček id\_brand (cizí klíč) v tabulce car\_models, která obsahuje ve sloupečku model daný model automobilu například Octavia, Fabia.

Abychom definovali konkrétní typ vozidla, je potřeba přidat informaci o verzi karoserie, která je obsažena v tabulce car\_body\_versions. Sloupeček verze obsahuje řetězce jako Combi, Sedan.

Tabulka car\_types definuje konkrétní typ vozidla přidáním informace o roku uvedení na trh (model\_year), protože mohou existovat dva různé typy Octavii Combi, jedna uvedená na trh 2000 a další po předělávce vzhledu v roce 2006.

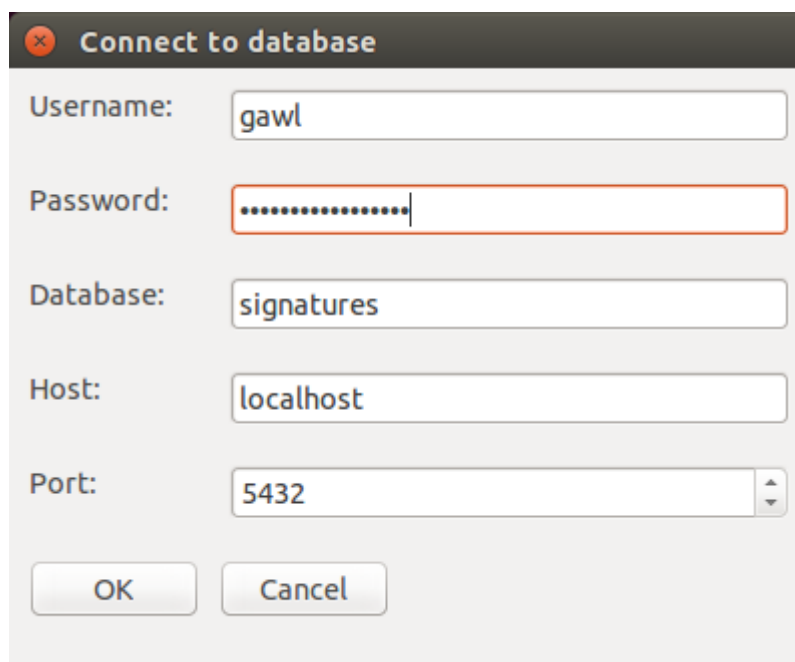
Tabulka measurements obsahuje odkazy na soubory s měřením a propojuje je s typy aut (car\_types) skrz sloupeček id\_type. Model databáze je navržen tak aby byl kladen důraz na rozlišení karoserií.



Obrázek 27: Model navrhované databáze (zdroj: autor)

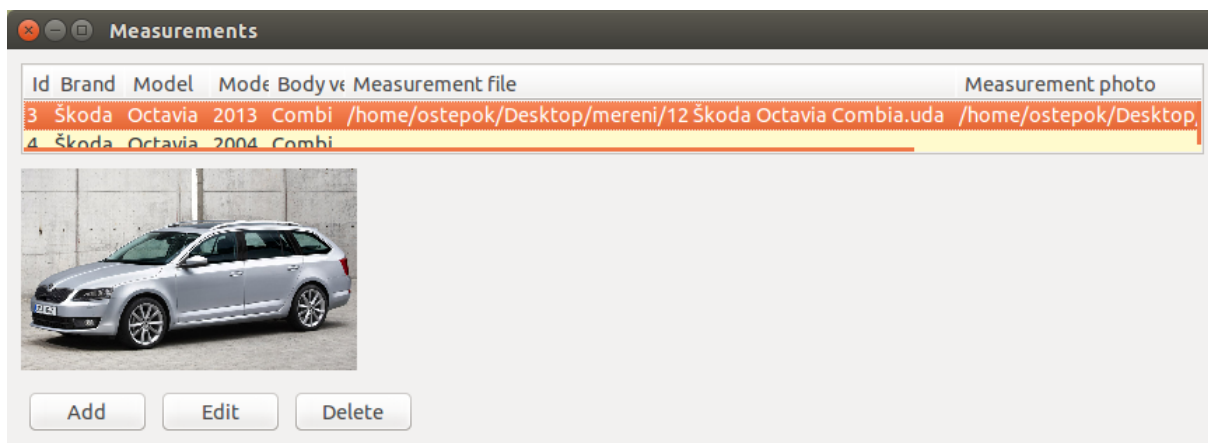
Aplikace umožňující administraci databáze o této struktuře je přílohou této diplomové práce. Aplikace byla napsána v programovacím jazyku Python 2.7.6, grafické rozhraní bylo napsáno v wxPython 2.8.12.1. přístup do databáze z programovacího jazyku Python byl ošetřen pomocí SQLAlchemy 0.8.4. A samostatná databáze je postavena na enginu PostgreSQL 9.3.6. Všechny tyto technologie jsou volně dostupné pod Open source licencemi.

Aplikace se skládá z několika obrazovek, které budou následně popsány. Po spuštění příslušného souboru se zobrazí dialog Connect to database (obrázek 28), prostřednictvím kterého se uživatel přihlásí do databáze. Pomocí SQLAlchemy jsou vytvořeny tabulky podle schématu na obrázku 27, v případě že ještě neexistují. Aplikace si ukládá údaje z posledního přihlášení, kromě hesla. Možnost zapamatování hesla zde chybí z bezpečnostních důvodů.



**Obrázek 28: Dialogové okno při spuštění (zdroj: autor)**

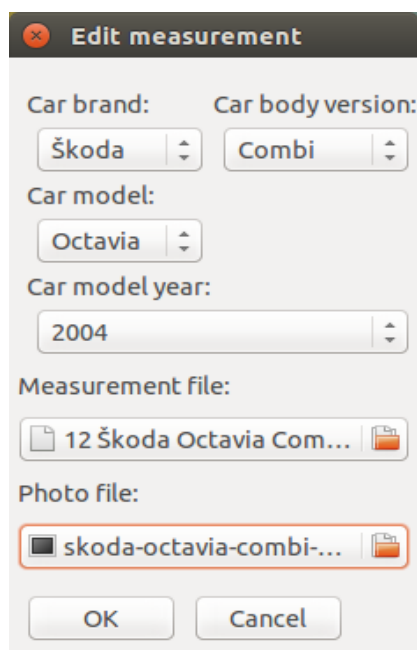
Po správném vyplnění přihlašovacích údajů a následném připojení do databáze se zobrazí obrazovka Measurements (obrázek 29), která umožňuje uživateli přidávat a editovat jednotlivá měření.



**Obrázek 29: Dialogové okno Measurements (zdroj: autor)**

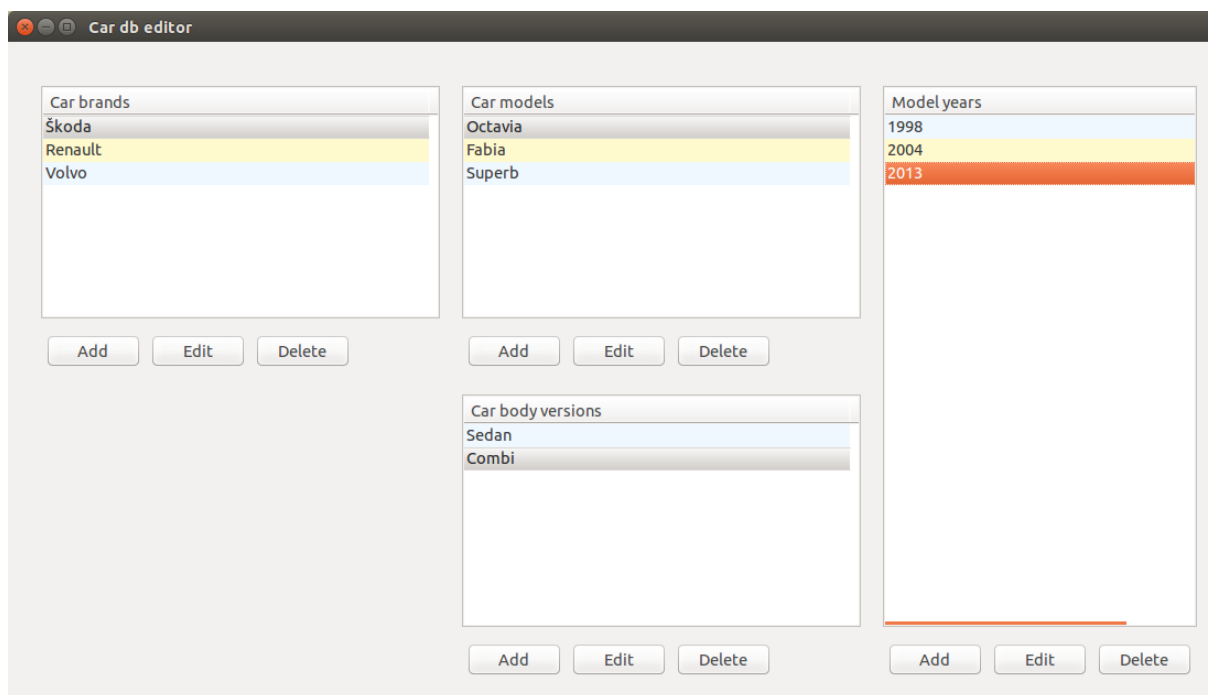
Nová měření, editace měření se provádějí pomocí dialogového okna Edit measurement (obrázek 30). Dle obrázku 27 je nutné nejprve vybrat záložku Car brand, což zapříčiní načtení všech modelů dané značky v záložce Car model. Záložkou Car model vybereme konkrétní model vozidla. Pomocí Car model year je možné vybrat rok uvedení modelu na trh. Záložka Car model year je naplněna v případě vybrání Car model a Car body version.

Do databáze je možné vložit a následně načíst naměřený soubor (Measurement file) a fotografii (Photo file). Na obrazovce Measurements pokud je vybrán určitý záznam z databáze, fotografie daného automobilu je zobrazena (viz obrázek 29).



**Obrázek 30: Dialogové okno Edit measurement (zdroj: autor)**

Databázi modelů automobilů (všechny tabulky kromě measurements) lze editovat v okně Car db editor (obrázek 31). Pro načtení jednotlivých položek menu musí být nejprve vybrána značka automobilu (Car brands), následně se načtou modely pro danou značku. Jednotlivá menu reprezentují tabulky v databázi. Po vybrání modelu (Car models) a verze karoserie (Car body versions) se načtou jednotlivé roky uvedení modelu.



Obrázek 31: Dialogové okno Car db editor (zdroj: autor)

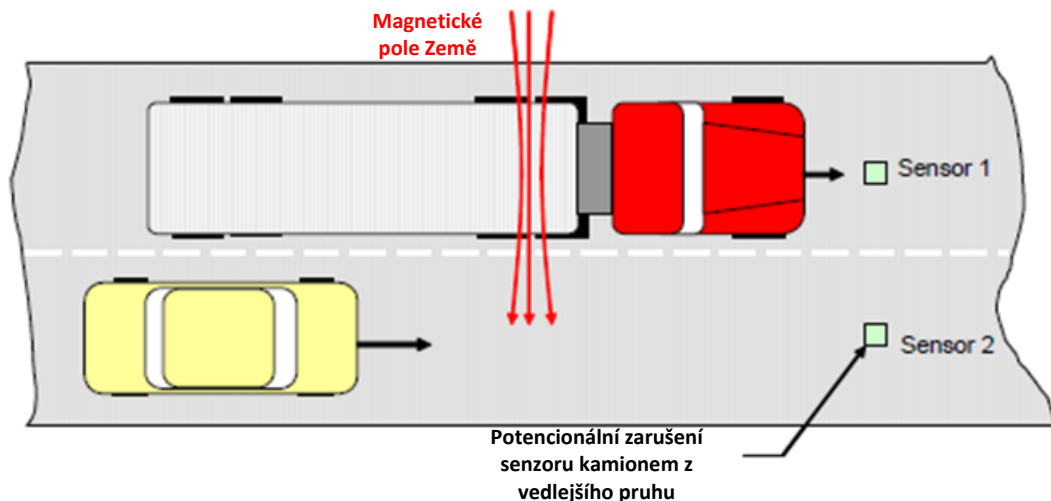
## **5 Rozbor slabých míst**

Každý výrobek a navrhnuté zařízení má své klady, ale i zápory u kterých pak musíme zvážit, zda je jejich vliv pro daný řešený problém akceptovatelný. Slabá místa ve vlastním návrhu není tak snadné objevit a mnohdy objevení chyb závisí pouze na délce kdy je zařízení používáno v praxi, nebo na náhodném objevení slabého místa. Slabá místa u zařízení vznikají nedostatečným testováním výrobcem. Testování a odhalení nových chyb se stává čím dál náročnější a dražší záležitostí. V kapitole „Rozbor slabých míst“ se pokusím rozebrat možné selhání detekce vozidel, popsat nevýhody magnetických bezdrátových senzorů a nevýhody senzorů, které jsou propojeny kabeláží.

### **5.1 Selhání detekce vozidla**

Největší obavy specialistů, kteří navrhují detekční systémy, jsou získání nepravdivé informace o přítomnosti vozidla, nebo možné rušení, které může detekční systém dokonale zmást. Rušení může pocházet od útočníků, kteří umístí magnety v blízkosti senzorů, ale mnohem větší pravděpodobnost vzniku rušení je magnetické rušení pocházející z přírodních zdrojů nebo od vozidel ve vedlejším pruhu. Jeden z nejhorších případů pro možné selhání detekce je velký kamion v přilehlém pruhu, který vytvoří dostatečně silný ohyb toku a způsobí zarušení senzoru v sousedním jízdním pruhu. Obrázek 32 znázorňuje tento scénář. Máme dva jízdní pruhy, v jednom pruhu nám jede kamion, který je zákonitě mnohem větší a jeho podvozek je tvořen větší koncentrací kovových materiálů a ve druhém pruhu nám jede osobní automobil. Osobní automobil je o dost menší než kamion, i jeho podvozek netvoří takové množství kovových materiálů jako u kamionu. Kamion může způsobit dostatečně silný ohyb toku magnetického pole a osobní automobil ve vedlejším pruhu nebude detekován, ale místo něj bude detekován rušivý tok způsobený kamionem [3].





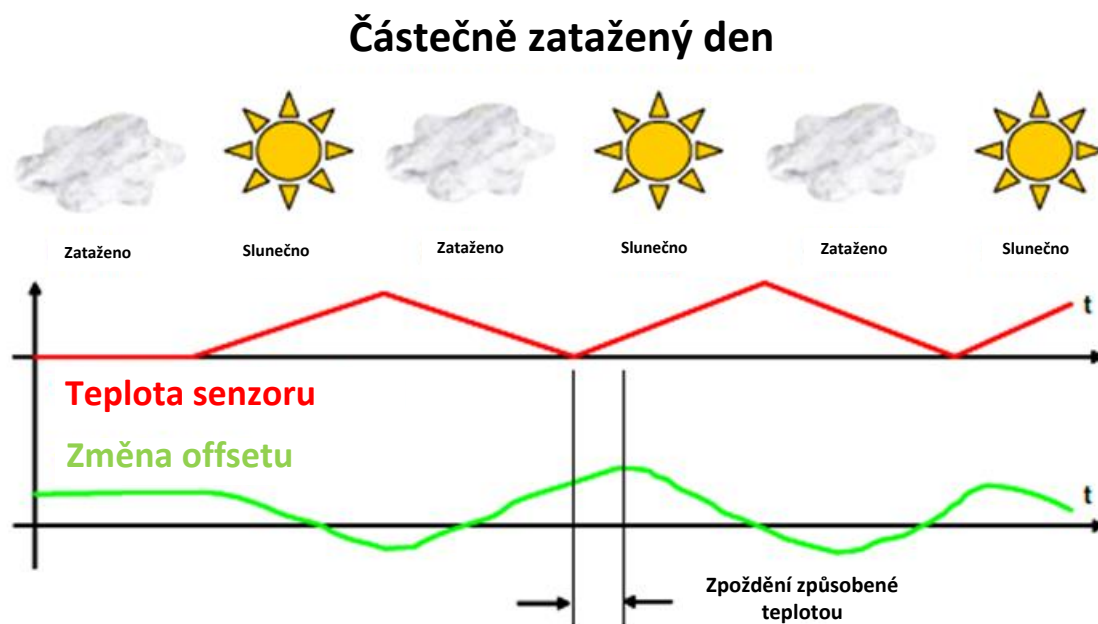
**Obrázek 32: Ohyb toku magnetického pole způsobeného projíždějícím kamionem a následné chybné detekování osobního automobilu (zdroj: [3])**

Má-li silnice pouze 2 jízdní pruhy, jsme schopni najít takové rozmístění senzorů, abychom zabránili tomuto rušení. Dalším úkolem je nastavení prahových hodnot pro zachycení změny toku magnetického pole, pokud jsou prahové hodnoty příliš velké, tak menší automobily s kompozitními podvozky a motocykly nemusejí být detekovány. Naopak pokud zvolíme hodnoty pro detekci příliš malé, senzory nám mohou detekovat jiné objekty než projíždějící automobily [3].

Pro měření magnetických signatur je klíčové nastavení magnetických senzorů. Musí být počítáno s tím, že magnetické pole Země není konstantní a neustále se mění. Skrz analogovou úpravu signálu nebo detekčním algoritmem pro daný software, budou detekovány změny zemského magnetického pole a budou odstraněny. Algoritmus vytvořený pro detekci u daného softwaru by měl být schopen průběžně aktualizovat systematické chyby. Tím by mělo být zajištěno, že prahové hodnoty budou o tuto chybu upraveny. Využitím analogových obvodů můžeme docílit toho, že pomalu se měnící hodnoty posunu toku v blízkosti prahových hodnot nebudou brány v potaz a algoritmus se zaměří pouze na detekci rychle vzrostlého napětí [3].

Třetí možnost rušení nastane, pokud se teplota AMR senzoru, nebo jiného senzoru určeného k detekci prudce rychle změní. Nejhorší možnost nastává, pokud je léto a máme částečně zataženo, náhle vyjde letní ostré slunce zpoza mraků a začne prudce emitovat na senzory. Proto je nezbytná tepelná konstrukce skříní, které zabrání prudkému a náhlému poklesu či zvýšení teploty. Případně můžeme využít dalších elektrických pomůcek, které nám mohou situaci pomoci stabilizovat. Na obrázku 33 vidíme červenou křivkou

znázorňující teplotu senzoru. Zelená křivka nám znázorňuje měnící se offset v závislosti na měnící se teplotě senzoru [3].



**Obrázek 33: Změna offsetu senzoru v závislosti na měnící se teplotě (zdroj: [3])**

Magnetické senzory nelze nasadit celosvětově, jelikož existují oblasti, ve kterých se nedají magnetické senzory využít. Tyto místa se vyznačují malým náklonem siločar.

## 5.2 Nevýhody bezdrátových magnetických senzorů

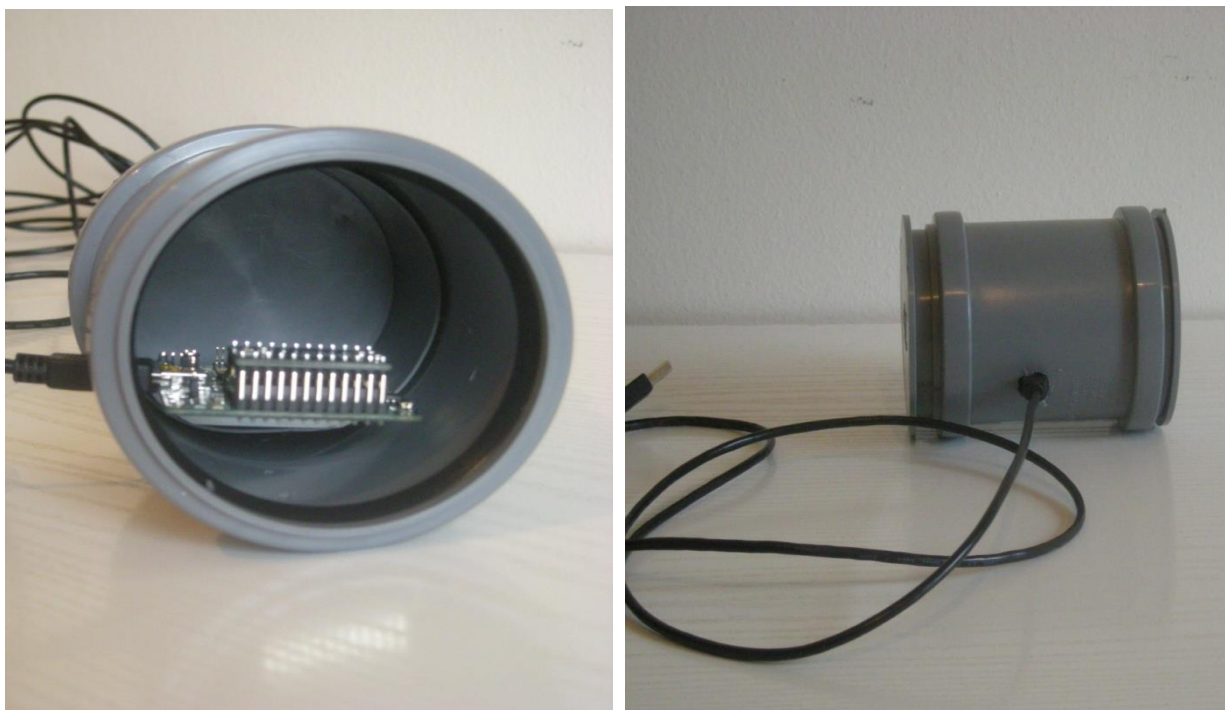
Mezi nevýhody bezdrátových magnetických senzorů patří nutnost zajištění vlastního napájení zařízení. Toto napájení je zpravidla provedeno pomocí AA baterií, nebo 9V baterií a délka jejich životnosti závisí na nastavení daného senzoru a odběru energie, které senzor potřebuje pro svou funkci.

Další nevýhodou je nutnost zajištění čistého a nerušeného přenosu signálu ze senzoru na přístupový bod. Rušení může nastat jako důsledek narušení jinou rádiovou službou, nebo záměrným rušením, které může způsobit útočník. V dnešní době jsou rušičky signálu běžně dostupné a jejich cena se pohybuje kolem 5000 Kč. Nejlevnější rušičky mají možnost rušit signál v rádiu 20 m, ale silnější a dražší prototypy mohou mít rádius až v řádu stovek metrů. Pro správnou funkci bezdrátových senzorů je nezbytné zajistit efektivní, nepřetržitý a spolehlivý přenos informací ze senzoru.

### 5.3 Nevýhody magnetických senzorů propojených s přístupovým bodem pomocí kabeláže

Hlavní nevýhodou je, že kromě senzoru musíme do vozovky umístit ještě kabeláž, což je velice nepraktické, jelikož kabely nemohou být volně dostupné na vozovce a musejí být zavedeny do vozovky. S tímto úkonem jsou spojeny nemalé stavební práce a úpravy vozovky. Pokud nejsou senzory s kabely umístěny do vozovky již při její prvotní výstavbě umístění senzorů s kabelovým připojením dodatečně, je mnohem dražší než zavedení bezdrátových senzorů.

Další nevýhodou u některých druhů kabeláže je nevyhovující potřebná délka kabelu pro daný typ rozhraní, někdy musejí být použity zesilovače. V příloze číslo 1 je znázorněn senzor nainstalovaný do komunikace. Z testu, který jsem provedl, měl takto nainstalovaný senzor několik nevýhod. A těmi byly nezbytná vzdálenost měřící stanice od senzoru, jelikož USB kabel sloužící pro napájení měl délku pouze 5 m a na delší vzdálenosti nebyl přenos dat garantován. Problémová byla instalace senzoru do vozovky, protože nešlo umístit kabeláž do vozovky, ale musela být překryta ochranou lištou. Obrázek 34 znázorňuje senzor umístěný do HTU přesuvky, který byl nainstalován do vozovky a propojen pomocí kabeláže.



**Obrázek 34: Základní deska se senzorem umístěná v přesuvce HTU (vlevo). Zkompletované zařízení pro měření magnetického pole (vpravo); (zdroj: autor)**

## Závěr

Diplomová práce byla zpracována na téma „Metody snímání magnetických signatur automobilů“. Práce byla rozdělena do pěti kapitol, první kapitola byla zaměřena na základní seznámení s problematikou, důležitými pojmy a popsáním pojmu magnetická signatura. V druhé kapitole jsem se zabýval možným využitím snímání magnetické signatury automobilů v praxi. Byly zde rozepsány možné aplikace, kde se magnetických signatur dá využít. Třetí kapitola pojednávala o teoretickém rozpracování měření. Čtvrtá kapitola se zabývala návrhem zařízení, jeho finální montáží a umístěním do vozovky. V této kapitole jsem se také zabýval postupem snímání dat, od prvotního sběru informací až po jejich vyhodnocení. V posledním bodu této kapitoly byl navržen možný model databáze. Která by mohla sloužit pro ukládání vzorků. Pátá kapitola se zabývala rozborem a odhalením možných slabých míst, které vedou k selhání, nebo chybné detekci vozidla.

Mezi hlavní cíle, které jsem si vytyčil, bylo sestrojení zařízení schopného snímat magnetické signatury za běžného provozu. Byla provedena základní sada měření, která otestovala, zda daný senzor je schopný vůbec zaznamenat změnu magnetického pole automobilu. Při posouzení zda takto navržený magnetický senzor může sloužit pro identifikaci konkrétního typu vozidla, jsem dospěl k závěru, že při takovém množství nekontrolovatelných podmínek v běžném provozu (rychlost vozidla, vzdálenost vozidla od senzoru, případně směr kterým vozidlo nad senzorem projede) není možné reidentifikovat konkrétní vozidlo. Magnetický senzor je levným řešením, pokud chceme zaznamenat, zda automobil projel či nikoliv, tento poznatek může sloužit k využití magnetického senzoru pro počítání hustoty dopravního toku, zjištění obsazenosti parkovacího místa. Magnetický senzor je nevhodný pro reidentifikaci i z důvodu, že magnetické pole Země se neustále mění a senzor nezaznamená u konkrétního typu vozidla stejné hodnoty u jednotlivých časových datapointů. Magnetický senzor je možné využít, jako levnou variantu v místech kde snímání pomocí optických senzorů není možné. Z ekonomického hlediska je magnetický senzor oproti optickým senzorům jednoznačně levnější avšak nasazovat celou síť magnetických senzorů pro reidentifikaci se nevyplatí, jelikož v tomto případě nám optický senzor, kamera dodá mnohem víc informací a ve větší kvalitě.

Mnou navrhovaná databáze a vytvořená aplikace je plně funkční a nabízí se zde možnost budoucího rozšíření a případného využití.

## Použité informační zdroje

### Knihy

[1] FRADEN, Jacob. *Handbook of Modern Sensors (Physics, Design and Applications)*. Fourth Edition. New York: Springer-Verlag, 2010, 663s. ISBN 978-1-4419-6465-6

### Akademické práce a elektronické dokumenty

[2] PALHINHA, F., D. CARONA, A. SERRADOR and J. LOPES. *WIRELESS MAGNETIC BASED SENSOR SYSTEM FOR ROAD TRAFFIC DATA COLLECTION* [online]. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisbon, Portugal [cit. 15. 2. 2014]. Dostupné z: [http://www.brisainovacao.pt/media/219195/controlo\\_2012\\_isel\\_brisa.pdf](http://www.brisainovacao.pt/media/219195/controlo_2012_isel_brisa.pdf)

[3] HONEYWELL. *Application note – AN218: Vehicle Detection using AMR Sensors* [online]. August 2005 [cit. 15. 2. 2014]. Dostupné z: [http://aerospace.honeywell.com/~media/UWSAero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense\\_Brochures-documents/Magnetic\\_Literature\\_Application\\_notes-documents/AN218\\_Vehicle\\_Detection\\_Using\\_AMR\\_Sensors.pdf](http://aerospace.honeywell.com/~media/UWSAero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense_Brochures-documents/Magnetic_Literature_Application_notes-documents/AN218_Vehicle_Detection_Using_AMR_Sensors.pdf)

[4] STMicroelectronics. *LSM303D* [online]. 2013 [cit. 5. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00057547.pdf>

[5] STMicroelectronics. *STEVAL-MKI109V1 and STEVAL-MKI109V2 - eMotion motherboards for MEMS adapter boards* [online]. 2013 [cit. 5. 4. 2014]. Dostupné z: [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/jp/resource/technical/document/user\\_manual/CD00280880.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/jp/resource/technical/document/user_manual/CD00280880.pdf)

[6] CHEUNG, Sing Yiu, Sinem Coleri ERGEN and Pravin VARAIYA. *Traffic Surveillance with Magnetic Sensors* [online]. University of California, Berkeley, CA 94720-1770, USA [cit. 20. 4. 2014]. Dostupné z: [http://wnl.ku.edu.tr/uploads/1/0/5/9/10590997/magneticsensortraffic\\_its2005.pdf](http://wnl.ku.edu.tr/uploads/1/0/5/9/10590997/magneticsensortraffic_its2005.pdf)

[7] Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. *Waspnote Datasheet* [online]. 2015 [cit. 6. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.libelium.com/development/waspnote/documentation/waspnote-datasheet/>

### Elektronické články, zprávy a příspěvky

[8] E + P spol s.r.o. *Vrata a brány, automatické otvírání* [online]. 17.05.2010 [cit. 10.11.2014]. Dostupné z: <http://www.e-p.cz/category/novinky>

## Seznam tabulek a obrázků

### Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti magnetický materiálů (zdroj: [1]) .....	20
Tabulka 2: Cena jednotlivých komponent magnetického senzoru (zdroj: autor).....	34
Tabulka 3: Základní parametry desky Steval – MKI109V2 (zdroj [5]) .....	36
Tabulka 4: Popis hlavních komponent Steval – MKI109V2 (zdroj [5]) .....	37
Tabulka 5: Základní parametry senzoru LSM303D (zdroj: [4]) .....	40
Tabulka 6: Popis pinů senzoru LSM303D (zdroj: [4]).....	41
Tabulka 7: Cena základních součástek pro bezdrátový senzor (zdroj: autor) .....	43
Tabulka 8: Parametry základní desky Waspnote PRO v1.2 (zdroj: [7]) .....	44
Tabulka 9: Porovnání obsahů pro osu X zprava doleva (zdroj: autor) .....	48
Tabulka 10: Porovnání obsahů pro osu Y zprava doleva (zdroj: autor).....	49
Tabulka 11: Porovnání obsahů pro osu Z zprava doleva (zdroj: autor) .....	50
Tabulka 12: Porovnání obsahů pro osu X zleva doprava (zdroj: autor).....	50
Tabulka 13: Porovnání obsahů pro osu Y zleva doprava (zdroj: autor).....	51
Tabulka 14: Porovnání obsahů pro osu Z zleva doprava (zdroj: autor) .....	52
Tabulka 15: Porovnání osy X při průjezdu dvou automobilů (zdroj: autor) .....	57

### Seznam obrázků/grafů

Obrázek 1: Magnet v magnetickém poli (obrázek vlevo); Střelka kompasu otáčející se v závislosti na směru elektrického proudu (obrázek vpravo); (zdroj: [1]) .....	13
Obrázek 2: Elektrický proud vytvářející kruhové magnetické pole kolem vodiče (zdroj: [1]) .....	14
Obrázek 3: Pohybující se elektron vytvářející magnetické pole (vlevo); Superpozice vektorů pole vedoucí ke kombinovanému magnetickému poli magnetu (vpravo); (zdroj: [1]).....	14
Obrázek 4: Kladný náboj pohybující se v magnetickém poli je vystaven působení boční síly (vlevo); Spirálový pohyb elektrického náboje v magnetickém poli (vpravo); (zdroj: [1]).	16
Obrázek 5: Solenoid (vlevo); Toroid (vpravo); (zdroj: [1]) .....	17
Obrázek 6: Vzájemná indukčnost u solenoidu (vlevo); Vzájemná indukčnost u toroidu (vpravo); (zdroj [1]).....	23
Obrázek 7: Narušení magnetického pole železným předmětem (zdroj: intechopen.com) ..	24
Obrázek 8: Magnetická signatura Audi A3 TDI (zdroj: autor) .....	25
Obrázek 9: Jednotlivá odvětví využití magnetických senzorů (zdroj: autor).....	26
Graf 1: Procentuální využití magnetických senzorů v jednotlivých oblastech (zdroj: autor) .....	26
Obrázek 10: Architektura systému pro snímání dopravního toku (zdroj: [2]) .....	29
Obrázek 11: Automatická zábrana sloužící jako bezpečnostní prvek proti neoprávněnému vjezdu (zdroj: [8]).....	30
Obrázek 12: Systémový proces zpracování naměřených dat (zdroj: autor) .....	31
Obrázek 13: Umístění základních komponent na základní desce Steval – MKI109V2 (zdroj: digikey.com).....	34
Obrázek 14: HTU přesuvka 75 mm a záslepka HTM (zdroj: dumtechno.cz).....	35
Obrázek 15: Základní deska Steval – MKI109V2 (zdroj: [5]).....	36
Obrázek 16: Označení jednotlivých hlavních komponent Steval – MKI109V2 (zdroj [5])	38
Obrázek 17: Dceřiná deska Steval – MKI133V1 (zdroj: digikey.com) .....	38

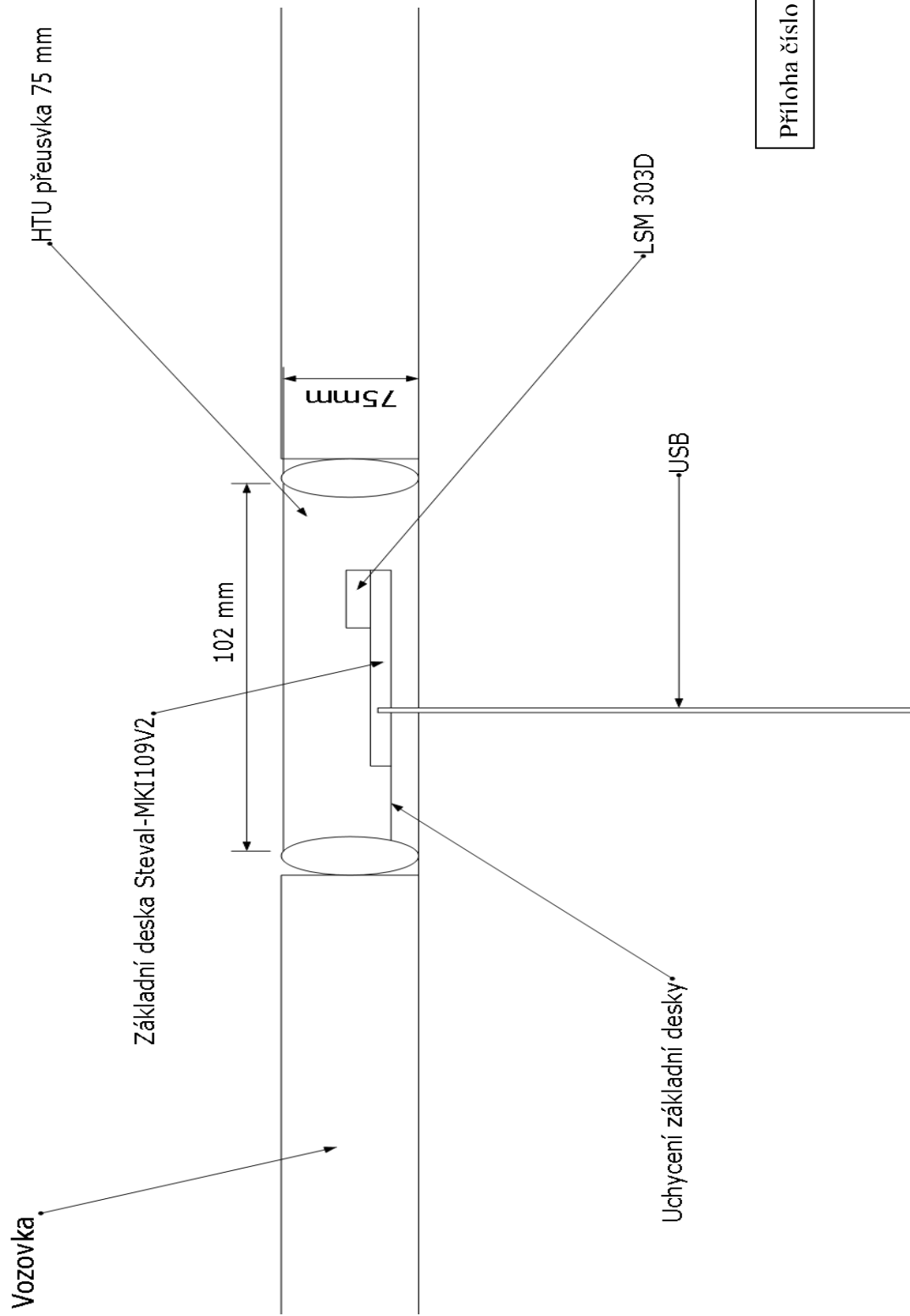
Obrázek 18: Senzor LSM303D (zdroj: smartechsz.com).....	39
Obrázek 19: Znázornění umístění jednotlivých pinů na senzoru (zdroj: [4]).....	40
Obrázek 20: Popis komponent na přední a zadní straně desky Waspote PRO v1.2 (zdroj: [7]) .....	45
Obrázek 21: Baterie PKCELL (zdroj: adafruit.com).....	46
Obrázek 22: Senzor umístěný v ulici Nová Tovární (zdroj: autor) .....	47
Graf 2: Vykreslení osy X pro průjezd zprava doleva (zdroj: autor).....	48
Graf 3: Vykreslení osy Y pro průjezd zprava doleva (zdroj: autor).....	49
Graf 4: Vykreslení osy Z pro průjezd zprava doleva (zdroj: autor) .....	49
Graf 5: Vykreslení osy X pro průjezd zleva doprava (zdroj: autor).....	50
Graf 6: Vykreslení osy Y pro průjezd zleva doprava (zdroj: autor).....	51
Graf 7: Vykreslení osy Z pro průjezd zleva doprava (zdroj: autor) .....	51
Graf 8: Změna magnetického pole ve vzdálenosti 0,5 – 1 m (zdroj: autor).....	52
Graf 9: Změna magnetického pole ve vzdálenosti 1 – 2 m (zdroj: autor).....	53
Obrázek 23: Ulice Horáčkova (zdroj: autor) .....	53
Graf 10: Vzorek 1 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor) .....	54
Graf 11: Vzorek 2 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor) .....	54
Graf 12: Vzorek 3 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor) .....	55
Graf 13: Vzorek 4 Škoda Octavia Combi (zdroj: autor) .....	55
Graf 14: Porovnání signatury s podbodem 1 (zdroj: autor).....	56
Obrázek 24: Kovový materiál v kufru Hyundai i30 (zdroj: autor).....	56
Graf 15: Zaznamenání mag. signatury při průjezdu 2 automobilů (zdroj: autor).....	57
Obrázek 25: Průjezd dvou automobilů (zdroj: autor).....	58
Obrázek 26: Procesní diagram porovnání signatury automobilu (zdroj: autor) .....	59
Obrázek 27: Model navrhované databáze (zdroj: autor) .....	60
Obrázek 28: Dialogové okno při spuštění (zdroj: autor) .....	61
Obrázek 29: Dialogové okno Measurements (zdroj: autor) .....	62
Obrázek 30: Dialogové okno Edit measurement (zdroj: autor).....	62
Obrázek 31: Dialogové okno Car db editor (zdroj: autor).....	63
Obrázek 32: Ohyb toku magnetického pole způsobeného projíždějícím kamionem a následné chybné detekování osobního automobilu (zdroj: [3]).....	65
Obrázek 33: Změna offsetu senzoru v závislosti na měnící se teplotě (zdroj: [3]) .....	66
Obrázek 34: Základní deska se senzorem umístěná v přesuvce HTU (vlevo). Zkompletované zařízení pro měření magnetického pole (vpravo); (zdroj: autor).....	67

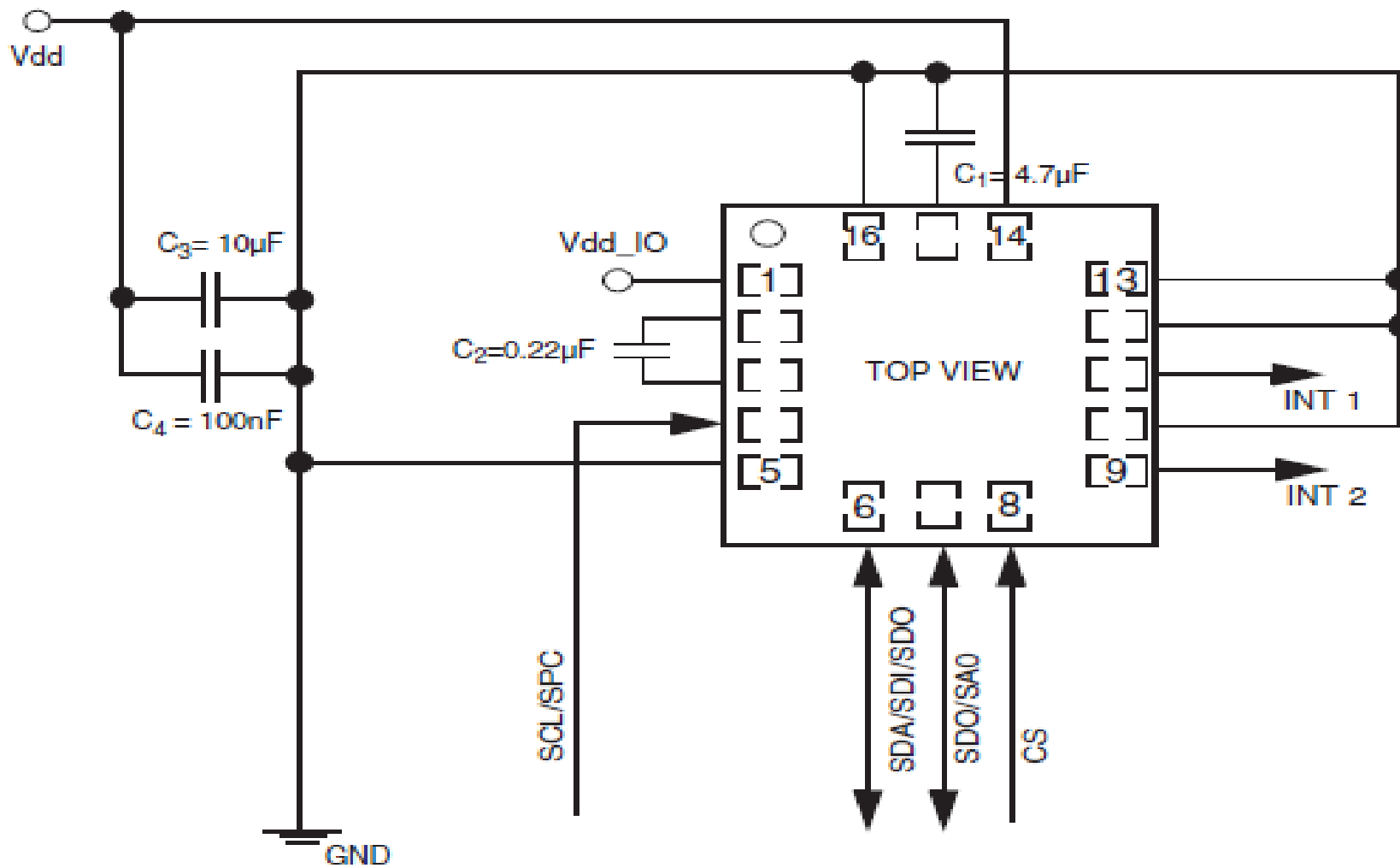
## Seznam příloh

Příloha číslo 1 Zařízení pro snímání magnetického pole a jeho umístění ve vozovce.....	73
Příloha číslo 2 Elektrické schéma senzoru LSM303D [4] .....	74
Příloha číslo 3 Naměřené vzorky + vzorová databáze .....	CD



## Zařízení pro snímání magnetického pole a jeho umístění ve vozovce





Příloha číslo 2