

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2011

Luboš Rejček

**Univerzita Pardubice**

**Fakulta Elektrotechniky a Informatiky**

**Měření rychlosti dopravních prostředků.**

**Autor práce: Bc. Luboš Rejtek**

**Vedoucí práce: Ing. Jiří Konečný, Ph.D.**

**Diplomová práce**

**2011**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Luboš REJFEK**  
Osobní číslo: **I09405**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a řídicí technologie**  
Název tématu: **Měření rychlosti dopravních prostředků**  
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

### Zásady pro vypracování:

Cíl: Práce je součástí širšího projektu zaměřeného na měření rychlosti pohybu různých předmětů. Z mnoha způsobů měření rychlosti se zaměří na měření rychlosti pomocí sledování změn intenzity světla (snímaného vhodným snímačem) způsobovaných průjezdem vozidla v místě snímače.

Ke splnění zadaného úkolu je potřeba:

- 1) Zjistit jaké možnosti zjišťování rychlosti pohybu daným způsobem, nebo způsoby blízkými jsou již v literatuře popsány. Nalézt vhodná zapojení snímačů a zjistit jejich základní vlastnosti (rychlost odezvy, šířky a tvary světelných svazků a pod.).
- 2) Navrhnout konfiguraci snímačů vhodnou pro vyhodnocování rychlosti pohybu a způsob určování rychlosti ze snímaných průběhů signálů (pomocí korelace, autokorelace a dalších způsobů zpracování signálů).
- 3) Pomocí ověřovacích vzorů snímačů zachytit průběhy snímaných signálů, nalézt jejich typické tvary a vlastnosti.
- 4) Pomocí zjištěných tvarů a vlastností snímaných signálů provést analýzu dosažitelné přesnosti určení rychlosti, ale také případných problémů s nimiž se daný způsob určování rychlosti setká (možno využít simulační prostředky pro řešení tohoto úkolu).
- 5) Pro měření rychlosti požadovaným způsobem bude potřeba zařízení pro měření rychlosti také realizovat. Navrhnout způsob realizace pomocí mikroprocesorových obvodů a popřípadě i počítačové techniky (PC, notebooků apod.) včetně potřebných programů (software). Vybrané části tohoto zařízení prověřit alespoň formou ověřovacího vzoru.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, Bohuslav. Matlab : začínáme se signály. 1. vydání. Praha : BEN, 2006. 272 s. ISBN 80-7300-200-0.
- [2] MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. Kompendium statistického zpracování dat. Praha : Academia, 2006. 984 s. ISBN 80-200-1396-2.
- [3] MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. Statistická analýza experimentálních dat. Praha : Academia, 2004. 954 s. ISBN :80-200-1254-0.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Jiří Konečný, Ph.D.**  
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce:

**27. října 2010**

Termín odevzdání diplomové práce:

**20. května 2011**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.

## Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Klešicích dne 19.5.2011

Luboš Rejfek

## Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Konečnému, Ph.D. za jeho všestrannou pomoc při výběru možností postupu při tvorbě této diplomové práce.

Dále děkuji všem, kteří mi pomáhali při shánění at' už studijních zdrojů, nebo materiálů použitých při konstrukci samotného zařízení.

V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům, kteří mi v průběhu celého studia na vysoké škole pomáhali a podporovali mé úsilí.

## **Anotace:**

Tato diplomová práce se zabývá měřením rychlosti pohybu dopravních prostředků a jejím určováním s využitím matematických úprav získaného signálu. Cílem práce je rozbor principů snímání pohybu, rozbor metod měřících rychlost pohybujících se objektů a aplikace těchto poznatků do zařízení pro měření rychlosti pohybu, z poznatků je proveden rozbor přesnosti a možností vylepšení měření. Získané poznatky byly aplikovány do výsledného zařízení, které bylo otestováno v terénu a z naměřených dat byla provedena porovnání rychlostí naměřených navrženým zařízením s rychlostmi udávanými tachometrem. Provedena byla i testovací měření za podmínek nedostatečného ozáření scény.

## **Klíčová slova:**

Měření rychlosti vozidel, Metody snímání pohybu, Matematické zpracování signálů

## **Title:**

Vehicle speed measurement.

## **Annotation:**

This diploma work deals with vehicle speed measurement. The vehicle speed is (in compliance with mathematical formulas) evaluated with help of signal processing. The work (thesis) deals with basic principles used for speed measurement, with speed measurement sensors, with means for vehicle speed calculation, and with speed measurement accuracy estimation. Obtained results were implemented to trial device which was tested in field. Measured data (velocity) were compared with speed measured by vehicle speed meter. Some result notes are in conclusion of the work.

## **Keywords:**

Measurement speed of vehicles, Methods of motion capture, Mathematical signals processing

## Obsah:

Seznam použitých symbolů a termínů:.....	9
Seznam obrázků:.....	10
Seznam tabulek:.....	13
Úvod:.....	14
1. Rozbor možností měření rychlosti pohybu.....	15
1.1. Zařízení umístěné na pohybujícím se objektu.....	15
1.1.1. Pouze s využitím vlastního objektu.....	15
1.1.2. Využívající okolního prostředí.....	16
1.2. Zařízení umístěné vně pohybujícího se objektu.....	17
1.2.1. Úsekové systémy.....	17
1.2.2. Dopplerovské systémy.....	18
1.3. Vybraný systém pro navrhované zařízení.....	19
2. Rozbor a porovnání způsobů získávání dat.....	20
2.1. Optické záření.....	20
2.1.1. Měření na fotorezistoru.....	23
2.1.2. Měření na fototranzistoru.....	26
2.1.3. Barevná detekce.....	30
2.1.4. Odrazy záření ve viditelném spektru.....	32
2.1.5. Maticové sledování objektů.....	36
2.1.6. Porovnání testovaných optických snímačů.....	37
2.2. Mechanické kmitání (zvuk).....	38
2.2.1. Slyšitelné spektrum.....	38
2.2.2. Ultrazvuková detekce.....	39
2.3. Magnetické a elektrické záření.....	41
3. Vlastnosti fyzikálních veličin před a za měřicím senzorem.....	42
3.1. Rozložení fyzikální veličiny na měřeném objektu.....	43
3.1.1. Příjímací charakteristiky snímačů.....	44
3.1.2. Sledování homogenního objektu dvěma senzory.....	47
3.1.3. Sledování nehomogenního objektu dvěma senzory.....	50
4. Návrh, konstrukce a oživení zařízení pro získávání dat.....	53
4.1. Možnosti snímání dat.....	53
4.2. Návrh a konstrukce zařízení pro získávání dat.....	55
4.2.1. Princip zařízení pro získávání dat.....	55
4.2.2. Fyzický návrh zařízení pro získávání dat.....	56
4.2.3. Firmware pro navržený hardware.....	57
4.3. Rozbor přesnosti získané z dat dodaných zařízením.....	59
5. Signály.....	64
5.1. Autokorelační funkce.....	64
5.2. Korelační funkce.....	66
5.3. Porovnání signálů metodou nejmenších odchylek.....	67
5.4. Porovnání signálů metodou nejmenších čtverců.....	68
5.5. Vliv šumu na vyhodnocení signálu.....	69
5.5.1. Gaussovské (normální) rozdělení pravděpodobnosti.[3].....	70
5.5.2. Uniformní (rovnoměrné) rozdělení pravděpodobnosti.[3].....	71
5.5.3. Matematické zpracování signálu při zatížení šumem.....	72
5.6. Transformace signálu pro matematické zpracování.....	81
5.6.1. Úprava signálu před matematickým zpracováním.....	81



5.7.	Shrnutí prostudovaných vlastností signálů. ....	88
6.	Program pro získání dat a jejich zpracování. ....	89
6.1.	Uživatelské rozhraní programu pro počítač. ....	89
6.1.1.	Popis formulář pro získávání dat a měření rychlosti. ....	89
6.1.2.	Popis demonstračního formuláře. ....	91
6.2.	Postup zpracování dat a problematika vyhodnocení. ....	93
6.3.	Shrnutí zpracování dat. ....	101
7.	Testovací měření na navrženém zařízení. ....	102
7.1.	Porovnání určené rychlosti s testovaným objektem. ....	102
7.2.	Rozbor dat naměřených v noci. ....	105
7.3.	Měření náhodných vozidel při průjezdu v obci. ....	108
8.	Závěr. ....	110
	Použitá literatura a zdroje: ....	113
	PŘÍLOHA A: ....	114
	PŘÍLOHA B: ....	117
	PŘÍLOHA C: ....	118
	PŘÍLOHA D: ....	120
	PŘÍLOHA E: ....	123

## Seznam použitých symbolů a termínů:

T	Čas
$\tau$	Tau (časová konstanta)
k	Pořadí vzorku
$s^*(t)$	Komplexně sdružený signál $s(t)$
$B(\tau)$	Korelace
dB	Decibely
$\omega$ [rad]	Úhlový kmitočet v radiánech
f [Hz]	Kmitočet v Hertzích
$\delta(f-f_0)$	Delta funkce na frekvenci $f_0$
$\Omega$	Ohm (jednotka odporu)
LED	Light-emitting diode
nF	Nano Farad ( $10^{-9}$ )
$\bar{x}$ , $\mu$	Střední hodnota
$\sigma$	Směrodatná odchylka
MNSAHO	Metoda nejmenší sumy absolutních hodnot odchylek.
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
Správnost	Odchylka určené hodnoty od skutečné.
Přesnost	Odchylka krajních bodů výběru od $\bar{x}$ .
$\mu$	Mikro ( $10^{-6}$ )

## Seznam obrázků:

Obr.: 1.01 – Vlak se senzory pro detekci pražců.....	16
Obr.: 1.02 – Koncept bránového systému.....	17
Obr.: 1.03 – Princip měření rychlosti pomocí Dopplerovského posuvu.....	18
Obr.: 2.01 – Signály získané pomocí neupraveného a upraveného optického snímače.....	21
Obr.: 2.02 – Signál neupraveného senzoru filtrovaný klouzavým průměrem z 5ti prvků.....	21
Obr.: 2.03 – Zakrytované upravené optické senzory.....	22
Obr.: 2.04 – Obvod pro testovací buzení.....	22
Obr.: 2.05 – Nezakrytovaný upravený optický senzor s fotorezistorem. ....	23
Obr.: 2.06 – Schéma zapojení senzoru.....	24
Obr.: 2.07 – Odezva fotorezistoru na budící pulsy. ....	24
Obr.: 2.08 – Odezva fotorezistoru na budící pulsy (přiblíženo). ....	25
Obr.: 2.09 – Odezva fotorezistoru, výstup připojen přes kapacitu (22 nF).....	26
Obr.: 2.10 – Schéma zapojení senzoru s fototranzistorem. ....	27
Obr.: 2.11 – Odezva fototranzistoru na budící puls.....	28
Obr.: 2.12 – Odezva fototranzistoru na budící puls, náběžná hrana.....	28
Obr.: 2.13 – Odezva fototranzistoru na budící puls, sestupná hrana. ....	29
Obr.: 2.14 – Odezva fototranzistoru, výstup připojen přes kapacitu (22 nF). ....	30
Obr.: 2.15 – Optický hranol.[3].....	30
Obr.: 2.16 – Rozklad snímku na jednotlivé jasové složky.....	31
Obr.: 2.17 – Princip odrazu optického záření od rovny plochy. ....	33
Obr.: 2.18 – Nástin měřicího systému. ....	33
Obr.: 2.19 – Zkonstruované zařízení pro měření intenzity odrazu.....	34
Obr.: 2.20 – Barvy použité při měření intenzity odrazu.....	34
Obr.: 2.22 – Rozdílový snímek vozu a posunutého snímku posunutého vozu. ....	37
Obr.: 2.23 – Princip snímání dat pomocí mikrofону.....	39
Obr.: 2.24 – Zapojení měřicího pracoviště pro měření ultrazvuku.....	40
Obr.: 2.25 – Princip průběhů při měření vzdálenosti objektů ultrazvukem.....	40
Obr.: 2.26 – Princip sledování vozidel pomocí indukčností.....	41
Obr.: 3.01 – Převod fyzikální veličiny na číselná data.....	42
Obr.: 3.02 – Vliv objektu na snímač. ....	43
Obr.: 3.03 – Přijímací charakteristika fotorezistoru před a po úpravě. ....	46
Obr.: 3.04 – Pravoúhlý trojúhelník.....	46
Obr.: 3.05 – Přijímací charakteristika fototranzistoru před a po úpravě. ....	47
Obr.: 3.06 – Sledování objektu dvěma senzory s fotorezistory.....	48
Obr.: 3.07 – Sledování objektu dvěma fotorezistory, výstup přes kondenzátor 22nF. ....	48
Obr.: 3.08 – Sledování objektu dvěma senzory s fototranzistory.....	49
Obr.: 3.09 – Sledování objektu dvěma fototranzistory, výstup přes kondenzátor 22nF. ....	50
Obr.: 3.10 – Nehomogenní objekt zachycený dvěma senzory, tmavý. ....	51
Obr.: 3.11 – Nehomogenní objekt zachycený dvěma senzory, světlý.....	52
Obr.: 4.01 – Schéma digitálního potenciometru. ....	54
Obr.: 4.02 – Použité zapojení senzorů. ....	54

Obr.: 4.03 – Princip získávání dat.....	56
Obr.: 4.04 – Obrázek zařízení pro získávání dat.....	57
Obr.: 4.05 – Hlavní algoritmus firmware.....	58
Obr.: 4.06 – Princip vzorkování signálů.....	58
Obr.: 4.07 – Odstup maximální změřitelné rychlosti před a po úpravě rozsahu.....	61
Obr.: 4.08 – Přesnost rychlosti pro SW předděličku 4.....	62
Obr.: 4.09 – Přesnost upraveného zařízení pro SW předděličku 4.....	63
Obr.: 5.01 – Autokorelace sinusového signálu o pěti periodách.....	65
Obr.: 5.02 – Autokorelace tří obdélníkových pulsů.....	65
Obr.: 5.03 – Korelace sinusových signálů o pěti periodách.....	67
Obr.: 5.04 – Signál a zjištění jeho posunutí metodou nejmenších odchylek.....	68
Obr.: 5.05 – Signál a zjištění jeho posunutí metodou nejmenších čtverců.....	69
Obr.: 5.06 – Graf hustoty gaussova rozdělení pravděpodobnosti.[3].....	71
Obr.: 5.07 – Graf hustoty rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti.....	71
Obr.: 5.08 – Korelace pro rovnoměrný šum z intervalu $\langle -1, 1 \rangle$ .....	72
Obr.: 5.09 – Korelace pro rovnoměrný šum z intervalu $\langle -2, 2 \rangle$ .....	73
Obr.: 5.10 – Rozložení chyb pro rovnoměrné rozdělení šumu při aplikaci korelace.....	74
Obr.: 5.11 – Metoda nejmenších odchylek pro signály s rovnoměrným šumem z intervalu $\langle -1, 1 \rangle$ a z intervalu $\langle -2, 2 \rangle$ .....	75
Obr.: 5.12 – Metoda nejmenších kvadrátů pro signály s rovnoměrným šumem z intervalu $\langle -1, 1 \rangle$ a z intervalu $\langle -2, 2 \rangle$ .....	76
Obr.: 5.14 – Korelace aplikovaná na signály s normálním rozdělením šumu z intervalu $\langle -1, 1 \rangle$ a z intervalu $\langle -2, 2 \rangle$ .....	78
Obr.: 5.16 – Signály zatížené Gaussovským šumem z intervalu $\langle -1, 1 \rangle$ .....	79
Obr.: 5.17 – Signály zatížené Rovnoměrným šumem z intervalu $\langle -2.5, 2.5 \rangle$ s různými stejnosměrnými podstavami a jejich korelace.....	82
Obr.: 5.18 – Signály zatížené Rovnoměrným šumem z intervalu $\langle -2.5, 2.5 \rangle$ s podstavami, které byly potlačeny odečtení průměrné hodnoty a jejich korelace.....	82
Obr.: 5.19 – Signály zatížené šumem, které byly vyhlazeny pomocí klouzavého průměru pro 3 prvků a jejich vzájemná korelace.....	83
Obr.: 5.20 – Signály zatížené šumem, které byly vyhlazeny pomocí klouzavého průměru pro 5 prvků a jejich vzájemná korelace.....	84
Obr.: 5.21 – Graf četnosti správného určení posunutí pro jednotlivé úpravy původního signálu.....	84
Obr.: 5.22 – Graf určení posunutí pro různé postupy určování.....	85
Obr.: 5.23 – Graf porovnání klouzavého průměru pro 10 vzorků a váženého klouzavého průměru pro 10 vzorků.....	86
Obr.: 5.24 – Proložení signálů polynomem 4. stupně.....	87
Obr.: 6.01 – Hlavní nabídka programu pro počítač.....	89
Obr.: 6.02 – Formulář pro získávání dat a výpočet rychlosti.....	90
Obr.: 6.03 – Záznam naměřených dat.....	91
Obr.: 6.04 – Demonstrační formulář.....	92
Obr.: 6.05 – Zaznamenané průběhy neupravené.....	93
Obr.: 6.06 – Data po odstranění stejnosměrné složky.....	94
Obr.: 6.07 – Aplikace klouzavého průměru z devíti prvků.....	95
Obr.: 6.08 – Korelační a autokorelační průběh vyhodnocovaných signálů.....	96
Obr.: 6.09 – Průběhy pro vyhodnocení metodou MNSAHO.....	96

Obr.: 6.10 – Průběhy pro vyhodnocení MNČ.....	97
Obr.: 6.11 – Nežádoucí extrém v bodě nuly.....	99
Obr.: 6.12 – Průběh při změně ozáření senzorů.....	100
Obr.: 6.13 – Metoda MNSAHO aplikovaná na signál s měnícím se ozářením scény.....	100
Obr.: 6.14 – Průběh s globálním extrémem v nežádoucím bodě.....	101
Obr.: 7.01 – Zkonstruované měřicí zařízení při měření.....	102
Obr.: 7.02 – Určené rychlosti 30 [km/h] při denním měření.....	104
Obr.: 7.03 – Graf zjištěných rychlostí při nočním měření.....	106
Obr.: 7.04 – Průběh signálu pořízený při nočním měření.....	107
Obr.: 7.05 – Korelace v noci pořízeného signálu.....	107
Obr.: 7.06 – Tmavé vozidlo měřené v obci.....	109
Obr.: 7.07 – Světlé vozidlo měřené v obci.....	109
Obr.: A.01 – Snímky sledovaného vozu.....	114
Obr.: A.02 – Referenční snímek.....	114
Obr.: A.03 – Separované objekty.....	114
Obr.: A.04 – Korelace.....	115
Obr.: B.01 – Typové průběhy signálu.....	117
Obr.: C.01 – Navržený plošný spoj zvětšený.....	118
Obr.: C.02 – Schéma zapojení zařízení.....	119
Obr.: E.01 – Klouzavý průměr ze tří prvků.....	123
Obr.: E.02 – Klouzavý průměr z pěti prvků.....	123
Obr.: E.03 – Vážený klouzavý průměr.....	124

## Seznam tabulek:

Tab.: 2.01 – Výstup z děliče fotorezistoru při různých zdrojích buzení. ....	26
Tab.: 2.02 – Výstup z děliče fototranzistoru při různých zdrojích buzení. ....	29
Tab.: 2.03 – Naměřené hodnoty při měření intenzity odrazu. ....	35
Tab.: 3.01 – Tabulka citlivosti senzorů v závislosti na úhlu příjmu. ....	45
Tab.: 4.01 – Přesnost určení pro vybrané nastavení při rychlosti 50 [km/h].	60
Tab.: 4.02 – Výpis rychlostí pro vybrané posunutí. ....	61
Tab.: 5.01 – Procentuelní určení správné hodnoty.....	80
Tab.: 6.01 – Rychlosti určené po různých úpravách signálu.....	98
Tab.: 7.01 – Testování rychlostí, SW předdělička 3, HW předdělička 8. ....	103
Tab.: 7.02 – Testování rychlostí, SW předdělička 4, HW předdělička 1. ....	104
Tab.: 7.03 – Zjištěné rychlosti při nočním měření upraveným systémem. ....	105
Tab.: 7.04 – Rychlosti určené při měření v obci. ....	108

## Úvod:

Měření rychlosti patří k nejčastějším měřením, která jsou v současné době prováděna. Cílem této diplomové práce je rozbor možností metod měřících rychlost pohybu objektů, principů snímání pohybu těchto objektů, zjišťování rychlosti z naměřených dat upravených pomocí matematických funkcí a aplikace získaných poznatků do návrhu a konstrukce zařízení pro měření rychlosti pohybu. Měření rychlosti se uplatňuje v policejních radarech, navigacích, při měření rychlosti pohybu výrobních linek a jiných aplikacích, kde je třeba měřit rychlost pohybu objektů, ať z důvodů bezpečnostních, potřeby zjistit polohu objektu v prostoru od bodu v čase různém od času  $t = 0$  [s] se znalostí směru pohybu, nebo nutnosti znát rychlost objektu blížícího se k překážce a ohrožujícího bezpečnost zařízení.

Diplomová práce je rozložena do sedmi základních částí, první část se zabývá metodami zjišťování rychlosti pohybujícího se objektu a je zde vybrán koncept, který bude použit ve výsledném řešení této práce. Druhá část diplomové práce je zaměřena na způsoby získávání signálu z prostředí, vlastnosti snímačů a jejich testovací měření a vybrán fyzikální princip snímačů, které budou použity ve výsledném řešení. Ve třetí části jsou za pomoci poznatků z předchozích částí rozebrány vlastnosti veličiny, která byla vybrána v předchozí kapitole a na základě pokusů vybrán typ snímače, který bude použit do výsledného zařízení. Čtvrtá část práce se zabývá návrhem, konstrukcí, úpravami zařízení pro získávání informací ze snímačů a přesnosti navrženého řešení. V páté části je proveden teoretický rozbor možností, jak zpracovat získaná data z navrženého zařízení a provedeny simulace, kdy byly tyto metody především statisticky testovány na předem definovaných signálech. Šestá část je věnována návrhu programu pro získání dat ze zařízení, které bylo navrženo ve čtvrté části, dále je v této části proveden rozbor zpracování získaných dat pomocí poznatků z páté části. V sedmé části jsou provedena testovací měření s navrženým zařízením, která mají za účel ověřit nasaditelnost zařízení k reálným měřením a za jakých podmínek bude zařízení schopno plnit zadanou funkci.

## 1. Rozbor možností měření rychlosti pohybu.

Měření rychlosti pohybujícího se objektu lze v zásadě rozdělit na dvě základní skupiny, první skupina využívá měření s možností měřit rychlost z pohybujícího se objektu, druhá skupina jsou případy, kdy z různých důvodů není možné umístit měřicí zařízení na pohybující se objekt a měření musí být tedy prováděno vně pohybujícího se objektu.

Pokud není možné umístit měřicí zařízení na sledovaný objekt, lze principy měření rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní systémy ozařují sledovaný objekt vybranou fyzikální veličinou, například elektromagnetickým zářením. Pasivní snímání objektů se využívá v případech, kdy sledovaný objekt nespolupracuje s vyhodnocujícím zařízením a nemáme možnost aktivně objekt ozařovat. Výhodou pasivní detekce je fakt, že sledovaný objekt netuší, že je sledován, to se používá například v radiolokaci ke sledování pozice a rychlosti nepřátelských objektů.

### 1.1. Zařízení umístěné na pohybujícím se objektu.

Pokud se měřený objekt pohybuje a nese si sám měřicí zařízení, lze toto měření provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem je pouze za využití znalostí o objektu. Druhý způsob využívá ke zjištění rychlosti i informace z prostředí, jímž se sledovaný objekt pohybuje.

#### 1.1.1. Pouze s využitím vlastního objektu.

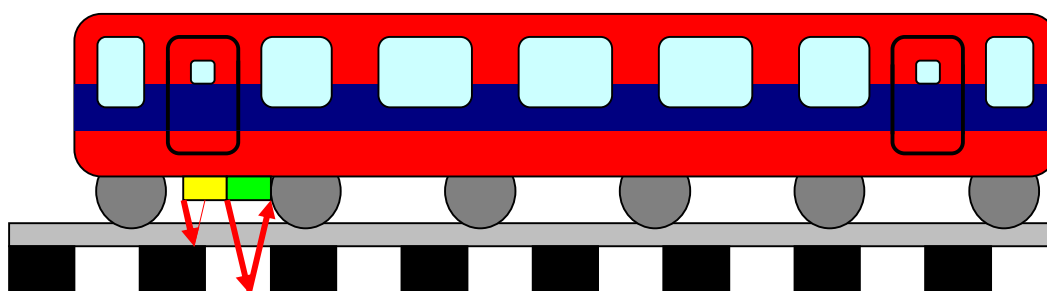
Tento způsob měření se využívá především v automobilech pro informování řidiče o aktuální rychlosti jeho vozidla. Toto měření je prováděno například pomocí rychlosti otáčení kol vozidla, kde se z rychlosti otáčení v případě známého obvodu kola dopočítává rychlost vozidla, tento princip měření bývá velmi nepřesný. Rychlost objektu za využití obvodu kol se dopočítává dle vztahu:  $v = fo \cdot ok$ , kde  $v$  je rychlost vozidla v metrech za sekundu,  $fo$  je frekvence otáčení kola v hertzech (počet otáček za sekundu) a  $ok$  je obvod kola v metrech. Možnosti měření otáčivého pohybu byly zpracovány v bakalářské práci na téma: Měření nerovnoměrnosti otáčení. Viz.: Použitá literatura a zdroje [7].



### 1.1.2. Využívající okolního prostředí.

Tato metoda, která využívá ke zjištění rychlosti data z okolí objektu, se dá aplikovat například ve vlacích, kde dva senzory snímají odraz záření od železničních pražců, a vzájemnou korelací signálů z těchto dvou senzorů se dopočítává aktuální rychlost vlaku, nebo se po známých vzdálenostech na trati umísťují takzvané majáky, které dají informaci zařízení, že byly minuty a objekt si dopočítá průměrnou rychlost na daném úseku. Další variantou této metody je průjezd sledovaného objektu branou s vlastním zdrojem snímaného signálu, pokud se k měření využívá dvojice bran, postačí k zjištění rychlosti osadit měřený objekt pouze jedním senzorem.

Příklad vlaku se dvěma senzory, jejichž záření se odráží od železničních pražců je zobrazen na obrázku *Obr.: 1.01*. První senzor je zobrazen jako žlutý čtyřhran pod vlakem a druhý senzor je zobrazen jako čtyřhran vyplněný zelenou barvou, směry svazků záření ze senzorů jsou zobrazeny pomocí červených šipek. Pokud záření dopadá na pražec, dochází k jeho vysokému útlumu, jelikož černá barva pražců silně pohlcuje optické záření a to i mimo viditelné spektrum, pokud záření na pražec nedopadá, odráží se zpět velká část záření, jelikož pražce nejsou dokonalé hranoly a i podklad není jednolitou homogenní vrstvou, jsou signály přijaté na senzorech deformovány a vlivem vzdálenosti mezi senzory jsou signály časově vzájemně posunuty. Vzájemná vzdálenost senzorů je známá, vzájemnou korelací signálů z obou senzorů se získá doba, o kterou byly jednotlivé body signálu vzájemně posunuty, z těchto dat se dopočítá aktuální rychlost vlaku.



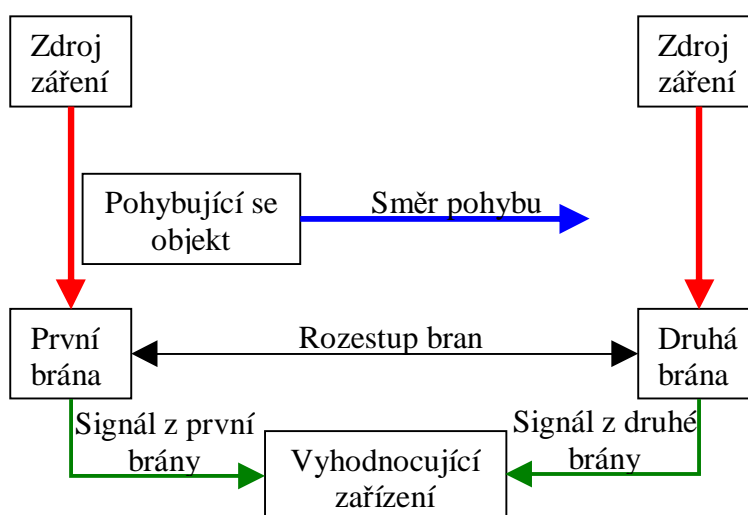
*Obr.: 1.01 – Vlak se senzory pro detekci pražců.*

## 1.2. Zařízení umístěné vně pohybujícího se objektu.

Velmi častým požadavkem je potřeba změřit rychlost objektu bez přímé spolupráce objektu, to je případ kosmických těles, měření rychlosti vozidel dopravní policí a dalších případů. Tato měření lze v zásadě rozdělit do dvou hlavních skupin, v první skupině je zjišťován čas výskytu objektu ve dvou různých bodech a ze znalosti jejich vzájemné vzdálenosti se dopočítává průměrná rychlost objektu na daném úseku. Ve druhé skupině jsou metody měření z jednoho bodu, kdy se měří vzdálenost překonaná za určitý čas.

### 1.2.1. Úsekové systémy.

Úsekové systémy měření rychlosti využívají známé vzdálenosti mezi dvěma po sobě následujícími bránami. Podstatnou nevýhodou těchto systémů je fakt, kdy se objekt nemusí pohybovat mezi těmito bránami rovnoměrně a po výpočtu průměrné rychlosti dochází k potlačení výkyvů rychlosti při průjezdu měřeným úsekem. Toto lze minimalizovat snížením vzájemné vzdálenosti mezi bránami. Výhodou této metody je jednodušší konstrukce systému v porovnání s ostatními systémy. Na obrázku *Obr.: 1.02* je vykreslen koncept úsekového systému, kde modrá šipka znázorňuje směr pohybu měřeného objektu, červené šipky znázorňují směr záření, které je detekováno bránami, zdroje záření mohou být nahrazeny okolním prostředím tzv. pasivní snímání, kdy jsou zaznamenávány změny veličin, které produkuje oblast, v níž je měření prováděno.



*Obr.: 1.02 – Koncept bránového systému.*

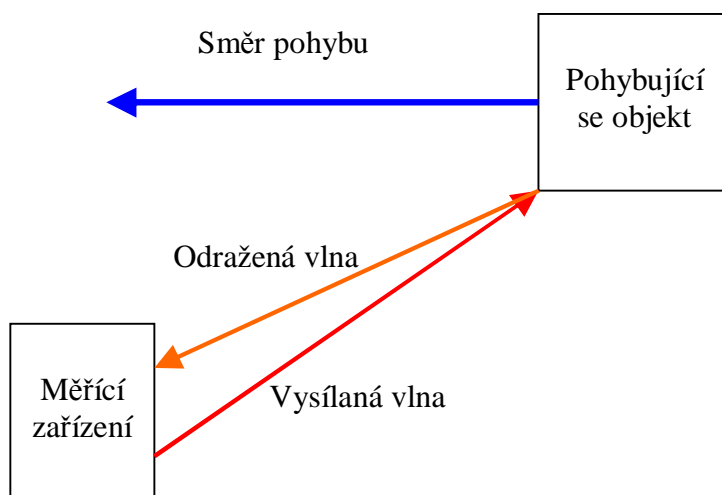
## 1.2.2. Dopplerovské systémy.

Teorie Dopplerovských systémů podle [8]. Pohybuje-li se zdroj, nebo přijímač elektromagnetického, nebo mechanického vlnění, liší se kmitočet přijímaného signálu od vysílaného podle vztahu (1.1.1), kde  $\omega_d$  je Dopplerovský posuv kmitočtu, to je kmitočet, o který se liší kmitočet vyslaný od kmitočtu přijatého,  $\omega$  je kmitočet šířícího se signálu a  $v$  je rychlost změny vzdálenosti mezi přijímačem a vysílačem. Zmenšuje-li se vzájemná vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem, vzniká dopplerovský posuv kmitočtu kladný, pokud se naopak vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem zvětšuje, vzniká dopplerovský kmitočet záporný.

Vztah pro výpočet Dopplerovského kmitočtu:

$$\omega_d = -2 \cdot \omega \cdot \frac{v}{c} \quad (1.1.1)$$

Princip měření rychlosti objektů pomocí měření Dopplerovského posuvu je na obrázku *Obr.: 1.03*. Jelikož je problematické umístit přijímač do směru pohybu objektu, nelze zjistit rychlost měřeného objektu z jediného měření. Zjištění jednoho Dopplerovského kmitočtu je dostačující pouze v případě, kdy známe směr pohybu, pak lze rychlost dopočítat. Při sledování objektu po delší časový interval lze z různých Dopplerovských kmitočtů rekonstruovat dráhu objektu a poté vypočítat jeho rychlost. Při pevném umístění měřícího zařízení má vysílaná vlna vyslaný kmitočet, ale odražená vlna má již vysílaný kmitočet upravený o Dopplerovský kmitočet, v případě obrázku je o Dopplerovský kmitočet vyšší.



*Obr.: 1.03 – Princip měření rychlosti pomocí Dopplerovského posuvu.*

### 1.3. Vybraný systém pro navrhované zařízení.

Navrhované zařízení má být schopno měřit rychlost dopravních prostředků, které přepravují náklad a osoby po pozemních komunikacích. Po pozemních komunikacích se vozidla pohybují mimo dálnice nejčastěji rychlostmi do rychlosti 90 [km/h]. Od zařízení je tedy očekávána schopnost měřit přesně rychlosti vozidel do této rychlosti. Systém však má odhalit objekty, které tuto rychlost překračují, proto je vznesen požadavek, aby zařízení měřilo s přijatelnou tolerancí rychlosti do rychlosti 150 [km/h].

Jedním z požadavků na navrhované zařízení bylo, aby bylo možno měřit rychlost vozidel pouze z jedné strany vozovky. Po rozboru systémů pro měření rychlosti bylo rozhodnuto, že bude použit úsekový systém měření rychlosti dopravního prostředku. Aby však bylo možné splnit požadavek, kdy má k měření docházet pouze z jedné strany vozovky, je třeba zajistit zdroj pro snímače. Příkladem může být využití odrazu sledované veličiny od vozidla místo jejího zastínění vozidlem. Elegantnějším řešením by však bylo využití okolních emisí fyzikálních veličin, například slunečního záření, záření z reflektorů sledovaného vozidla, změny magnetické vodivosti prostředí vlivem materiálů vozidla, a nebo mechanického kmitání generovaného vozidlem.

Při mezní rychlosti 150 [km/h] je očekávána od zařízení nepřesnost, která nepřesahuje při měření rychlost 4 [km/h] při chybě určení posunutí o jeden časový vzorek. Pro rychlost 90 [km/h] je od zařízení očekávána nepřesnost při chybném určení posunutí o jeden časový vzorek 1 [km/h]. V okolí rychlosti 50 [km/h] je požadavek na nepřesnost měření od navrhovaného zařízení očekávána v rozsahu rychlostí od -0,5 [km/h] po rychlost +0,5 [km/h] od měřené rychlosti.

## 2. Rozbor a porovnání způsobů získávání dat.

Aby bylo možné data zpracovat, je nutné nejprve zajistit jejich získání, pro tento účel se využívají snímače, které pracují na principech převodu různých fyzikálních veličin na veličinu elektrickou. Mezi nejčastěji využívané senzory patří optické, magnetické, kapacitní, elektromagnetické a ultrazvukové senzory. Možnosti fyzikálních veličin a jejich převodníků na elektrickou veličinu a měření na nich provedená jsou zaznamenány v této kapitole. Diplomová práce je primárně zaměřena na optické měření rychlosti objektů, proto je tato kapitola nejvíce věnována z větší části optickým snímačům, a to prvořadě fotorezistorům a fototranzistorům.

### 2.1. Optické záření.

Optické záření, podle zdroje [3], je elektromagnetické záření kmitočtech od 300 [GHz] (vlnová délka 1 [mm]) po kmitočty 790 [THz] (vlnová délka 380 [nm]). Kmitočty v tomto rozsahu zahrnují infračervené záření a viditelné záření. Vztah (2.1.1) udává převodní poměr mezi kmitočtem a vlnovou délkou, kde  $f$  je kmitočet v hertzech,  $\lambda$  je vlnová délka v metrech a  $c$  je rychlost světla v metrech za sekundu.

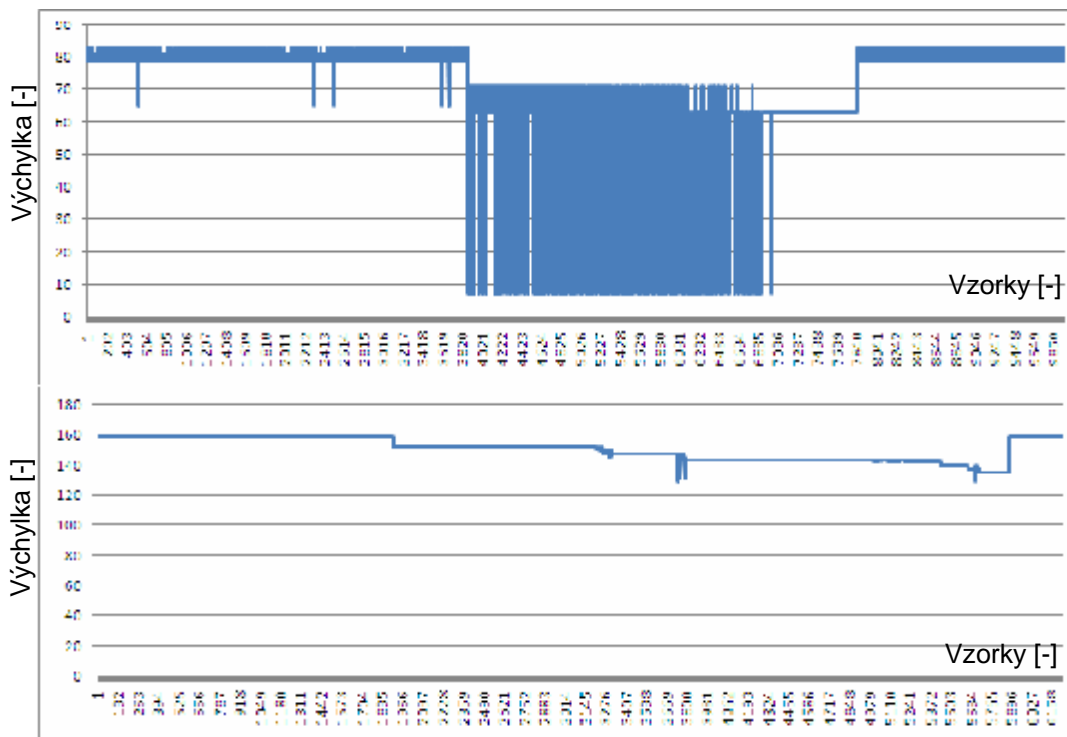
Vztah pro převod kmitočtu na vlnovou délku:

$$\lambda [m] = \frac{c [m/s]}{f [Hz]} \quad (2.1.1)$$

Jelikož jsou základní optické snímače vyráběny jako širokosvazkové, bylo třeba jejich svazek upravit. Ze zdroje [7] vyplývá, že při odrazu optického záření od černé barvy dochází k silnému útlumu odraženého paprsku, proto byly senzory umístěny do černých trubic, které mají za úkol zúžit přijímací charakteristiku senzoru, aby snímač monitoroval menší plochu.

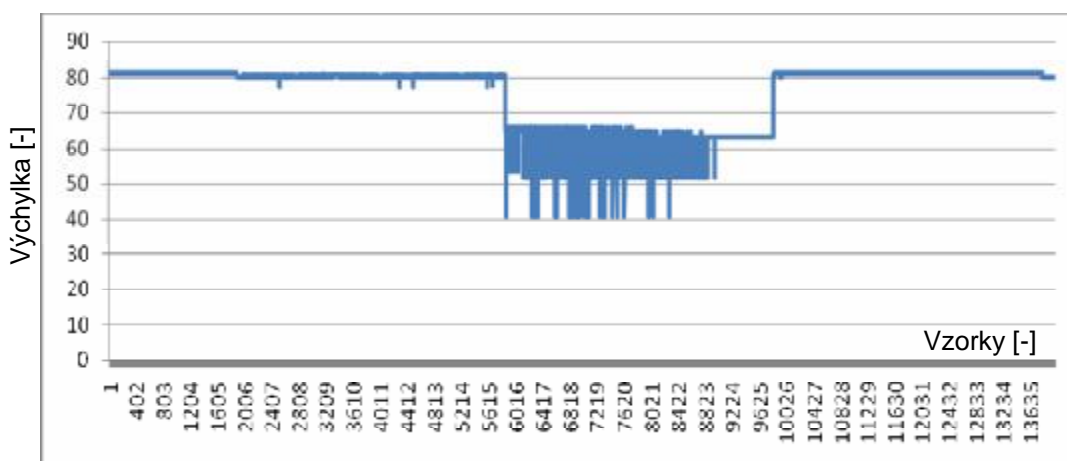
Na obrázku *Obr.: 2.01* jsou zachyceny signály pořízené neupraveným a upraveným optickým senzorem s fototranzistorem. Vrchní průběh patří signálu pořízenému neupraveným optickým snímačem. Z průběhu je patrná přítomnost velkého množství šumových výkyvů, které znesnadňují určení užitečného signálu. Možné vylepšení signálu nabízí aplikace filtru typu klouzavý průměr. Upravenému optickému snímači náleží signál spodní, z průběhu je patrné, že signál je šumem

zatížen mnohem méně. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že bude potřeba standardně dodávané snímače pro získání signálu upravit.



Obr.: 2.01 – Signály získané pomocí neupraveného a upraveného optického snímače.

Na obrázku Obr.: 2.02 je zaznamenán signál pořízený neupraveným optickým snímačem z předchozího obrázku, který byl upravený pomocí filtrace klouzavým průměrem z pěti prvků. Výsledný signál již není sice tolik zašumněný jako v předchozím případě, ale výsledek je stále nedostatečný. Proto bylo rozhodnuto implementovat do zařízení senzory upravené.

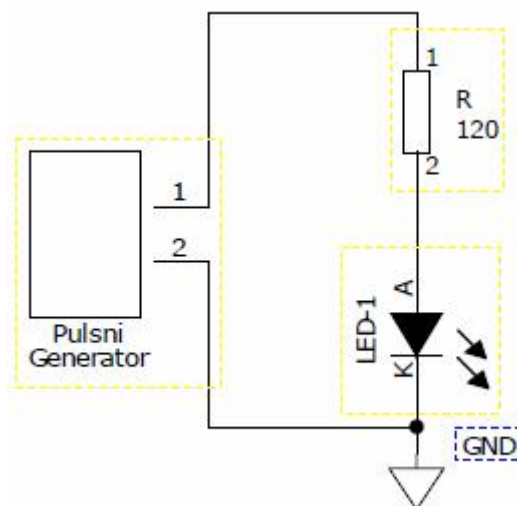


Obr.: 2.02 – Signál neupraveného senzoru filtrovaný klouzavým průměrem z 5ti prvků.

Na obrázku *Obr.: 2.03* jsou umístěny upravené a zakrytované senzory s fotorezistory a dělicím rezistorem (vlevo) a senzory, které byly osazeny pouze fototranzistory (vpravo), u senzorů s fototranzistorem je předzpracovávající obvod umístěn na samostatné desce. Měření přijímací charakteristiky upravených senzorů je umístěno v kapitole 3.1. Rozložení fyzikální veličiny na měřeném objektu.



*Obr.: 2.03 – Zakrytované upravené optické senzory.*



*Obr.: 2.04 – Obvod pro testovací buzení.*

Různé typy optických senzorů mají různé odezvy na změnu budicího pulsu, pro tato měření je potřeba sestavit měřicí pracoviště, elektrické schéma světelného zdroje je na obrázku *Obr.: 2.04* a schéma přijímací části je na obrázku *Obr.: 2.06* pro fotorezistor a obrázku *Obr.: 2.10* pro fototranzistor, kde na výstup OUT je připojen osciloskop. Buzení světelného zdroje je prováděno pulsy vzniklými přepínáním signálů 0 [V] a 5 [V]. Jako světelné zdroje jsou použity svítivé LED diody o průměru 3 [mm], které jsou spolu se senzorem umístěny v černé trubici, jelikož černá barva

silně pohlcuje optické záření a tím dochází pouze k minimálním odrazům a měření není rušeno okolním zářením.

Pro vybuzení diody LED-1 ze schématu na obrázku *Obr.: 2.04* je potřeba zajistit na diodě úbytek 2,5 [V], ale pulsní zdroj dodává Pulsy o amplitudě 5 [V]. Z tohoto vyplývá, že na předřadném odporu R je třeba zajistit úbytek 2,5 [V]. Pro plné vybuzení LED-1 je třeba, aby diodou protékal proud 20 [mA], tento proud protéká i předřadným odporem. Z výše zmíněného vyplývá podle ohmova zákona, že hodnota odporu má být 125 [ $\Omega$ ], v odporové řadě je nejbližší hodnota 120 [ $\Omega$ ], kit je tedy osazen odporem o 5 [ $\Omega$ ] nižším, aby byl úbytek na diodě stejný, poteče obvodem proud, který bude o 833 [ $\mu$ A] větší, tento nárůst proudu lze zanedbat.

### 2.1.1. Měření na fotorezistoru.

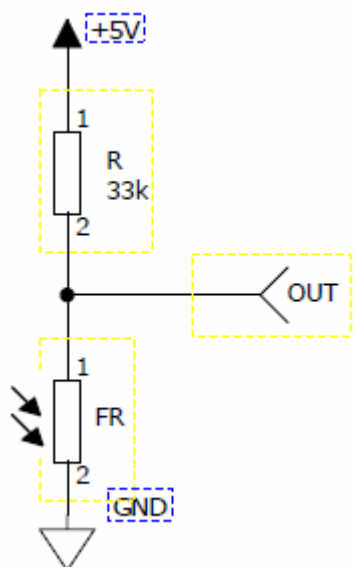
Na obrázku *Obr. 2.05*, který je zobrazen snímek senzoru s fotorezistorem, který je připraven k zakrytování, sám senzor funguje jako dělič, kde na levý pin je přivedena zem (GND) a na prostřední pin je přivedeno napájecí napětí (5 [V]), signál je odebírán z pravého pinu, na pravém pinu úbytek napětí na fotorezistoru proti zemi, který je ovlivněn předřazeným rezistorem, při různé intenzitě jasu dopadajícího záření se mění jeho odpor, a tím i dělicí poměr, který dělí napájecí napětí.



*Obr.: 2.05 – Nezakrytovaný upravený optický senzor s fotorezistorem.*

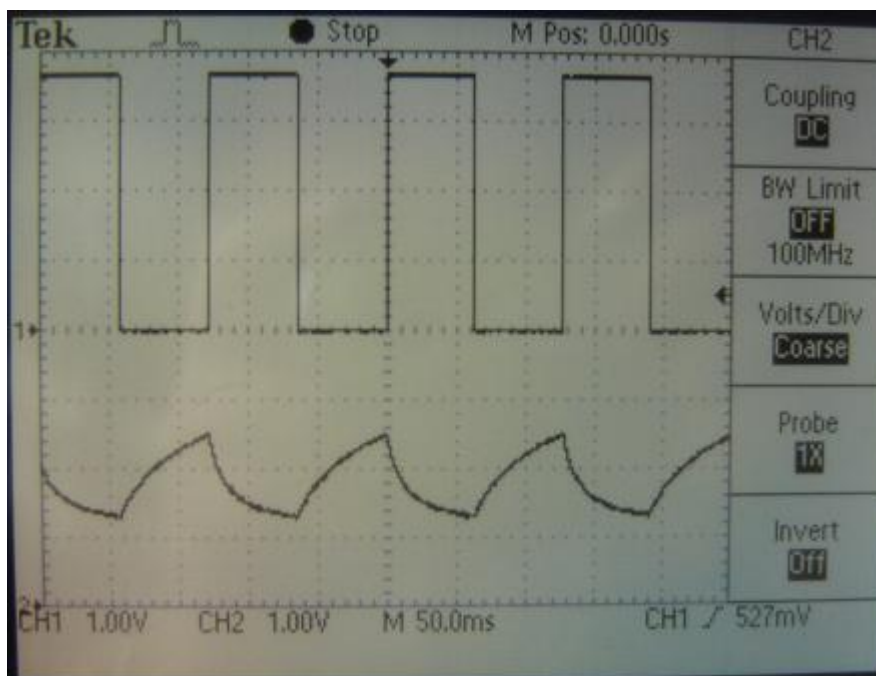
Elektrické schéma upraveného senzoru je na obrázku *Obr.: 2.06*, kde FR je fotorezistor a OUT je výstup pro A/D převodník. Obvod byl experimentálně nastaven, aby výstup při změnách odporu fotorezistoru byl ve velkém rozsahu mezi napájecím napětím a nulou, byla vybrána hodnota rezistoru  $R = 33$  [k $\Omega$ ].





Obr.: 2.06 – Schéma zapojení senzoru.

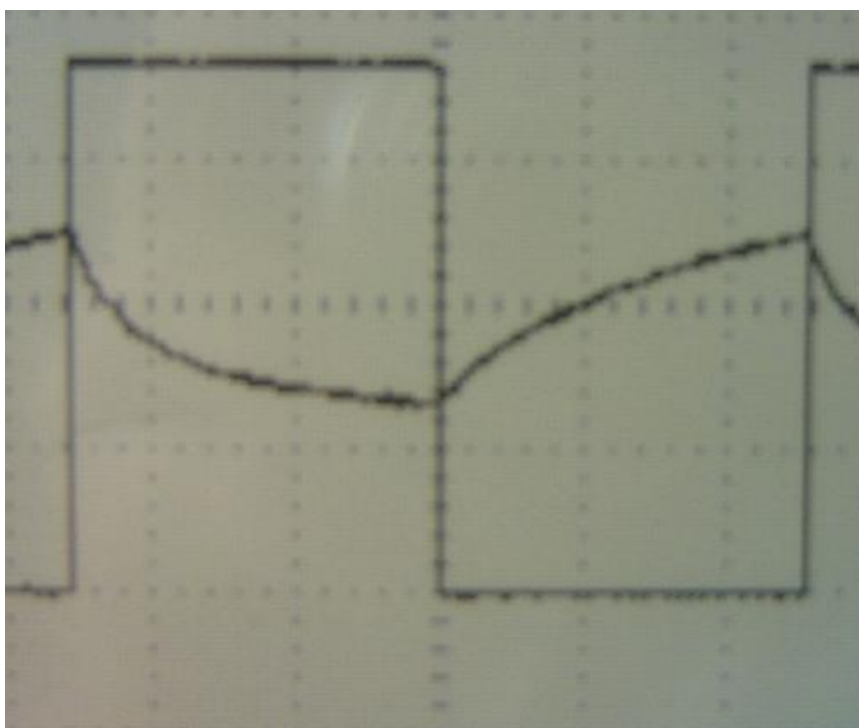
Na obrázku *Obr.: 2.07* je umístěna odezva fotorezistoru na budící pulsy vytvářené zařízením sestaveným podle schématu na obrázku *Obr.: 2.04*, buzení optické cesty bylo realizováno pomocí diody LED, která emitovala záření červené barvy. Opakovací perioda pulsů je přibližně 130 [ms].



Obr.: 2.07 – Odezva fotorezistoru na budící pulsy.

Na obrázku *Obr.: 2.08* je zobrazena odezva fotorezistoru opticky buzeného pulsy obdélníkového tvaru přiblížená na jeden puls, měřítko je shodné jako na obrázku *Obr.: 2.07*. Délka budícího pulsu je přibližně 65 [ms]. Z obrázků je patrné,

že odezvy na změnu buzení mají exponenciální charakter, za dobu pulsu nestačí fotorezistor plně zareagovat a nedosahuje úrovně, které by dosáhl při delším buzení, rovněž po skončení pulsu trvá fotorezistoru velmi dlouho návrat na ustálenou hodnotu a ani za 65 [ms], během níž není budicí obvod napájen se výstup neustálí na hodnotě, kterou by nabyl, kdyby nebyl fotorezistor periodicky ozařován. Výsledkem je neustálený průběh kmitající kolem hodnoty umístěné mezi extrémy, kterých by mohl výstup nabývat, pozice hodnoty, kolem které průběh osciluje je dán šířkou jednotlivých extrémů.



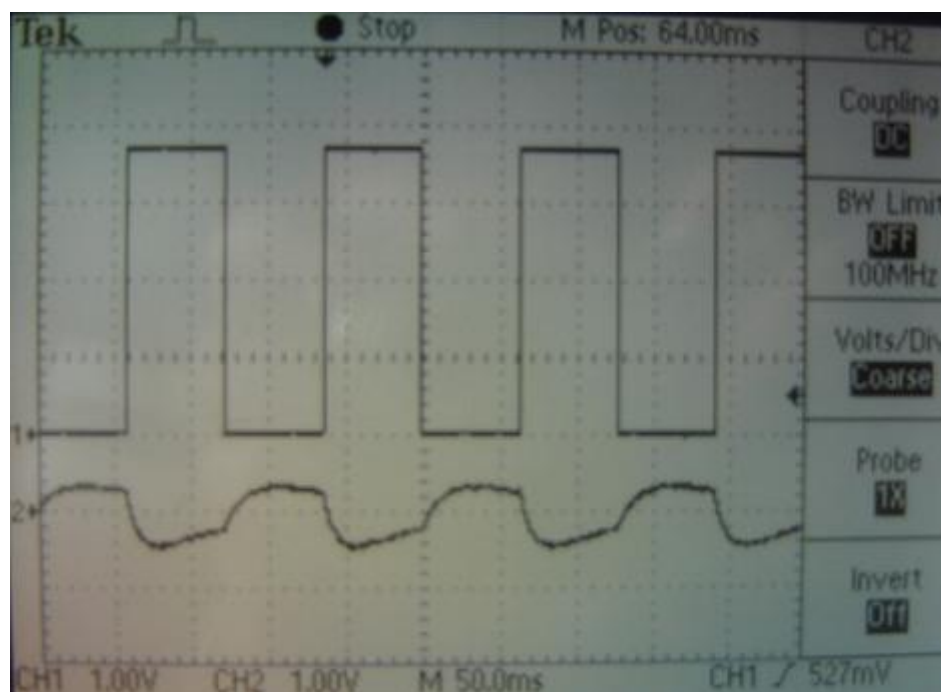
Obr.: 2.08 – Odezva fotorezistoru na budicí pulsy (přiblíženo).

Tab.: 2.01 je tabulka hodnot, kterých by výstup nabýval při napájení děliče napětím 5 [V] a konstantním napájením budících zářičů, kdy byly jako zářiče použity postupně rudá, žlutá a zelená LED dioda. Z tabulky je patrné, že diody umístěné ve třetím sloupci měly výrazně vyšší svítivost v porovnání s ostatními diodami příslušné barvy. Ze záznamů v tabulce lze přibližně určit přijímací charakteristiku v závislosti na vlnové délce, kde nejvyšší citlivost má fotorezistor na žlutou barvu a směrem k rudé barvě jeho citlivost silně klesá i směrem k zelené barvě optického záření citlivost klesá, ale nikoliv tak silně jako v případě červené diody LED.

Tab.: 2.01 – Výstup z děliče fotorezistoru při různých zdrojích buzení.

Buzení	1. LED	2. LED	3. LED	4. LED	5. LED
<b>Rudá LED</b>	1,2 [V]	1,35 [V]	0,13 [V]	1,5 [V]	1,35 [V]
<b>Žlutá LED</b>	0,54 [V]	0,54 [V]	0,46 [V]	0,6 [V]	0,59 [V]
<b>Zelená LED</b>	0,57 [V]	0,66 [V]	0,58 [V]	0,68 [V]	0,66 [V]
<b>Zatemněný senzor</b>	4,95 [V]				

Na obrázku *Obr.: 2.09* je zaznamenána odezva děliče s fotorezistorem, kdy je výstupní signál odebíráán přes kondenzátor o hodnotě 22 [nF]. Při tomto zapojení výstupu kmitá výstup při odezvě na periodické budící pulsy kolem hodnoty 0 [V] a má jiný tvar amplitudy, než-li při předchozím měření. Tvar výstupní charakteristiky je určen velikostí použitého kapacitoru, který má malou kapacitu a tak se tento kapacitor rychle nabíjí a vybíjí.

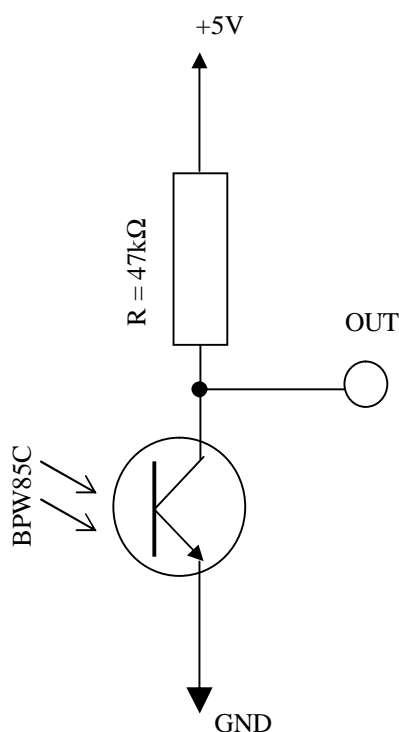


Obr.: 2.09 – Odezva fotorezistoru, výstup připojen přes kapacitu (22 nF).

### 2.1.2. Měření na fototranzistoru.

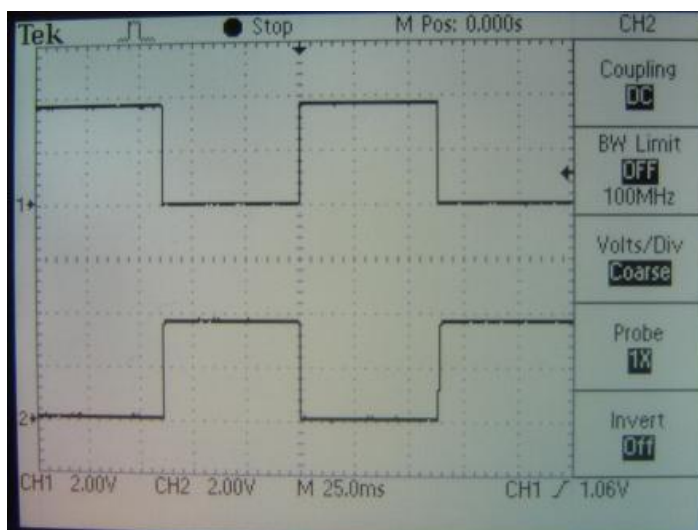
Dalším možným zapojením pro optické snímání úrovně jasu je zapojení využívající jako snímací prvek fototranzistor. Pro měření odezvy fototranzistoru na budící puls je využito k ozařování zapojení z obrázku *Obr.: 2.04*. Pro buzení je shodně s měřením fotorezistoru použita červená LED. Podle datasheetu k použitému

fototranzistoru BPW85C je fototranzistor v saturaci, pokud je saturační úbytek napětí mezi kolektorem a emitorem 0,3 [V] a teče jím saturační proud 0,1 [mA]. Dělič je napájen napětím 5 [V], z toho vyplývá, že úbytek napětí na rezistoru v kolektoru musí být při saturaci fototranzistoru 4,7 [V]. Z Ohmova zákona vyplývá, že při úbytku napětí na odporu 4,7 [V] a proudu rezistorem 0,1 [mA] musí být použit rezistor, který má hodnotu 47 [k $\Omega$ ]. Elektrické schéma zapojení snímače pro testovací měření je vykresleno na obrázku *Obr.: 2.10*.



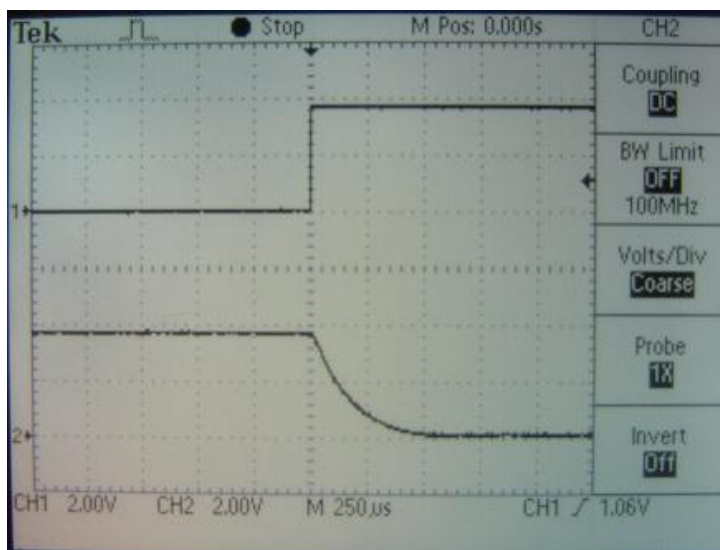
*Obr.: 2.10 – Schéma zapojení senzoru s fototranzistorem.*

Na obrázku *Obr.: 2.11* je zaznamenána odezva fototranzistoru na budící pulsy, kde vrchní průběh je buzení zářiče a spodní průběh je odezva na tento budící průběh, z obrázku je patrné, že fototranzistor reaguje velmi rychle a stačí se za dobu trvání pulsu ustálit na nule a po skončení pulsu se velmi rychle ustálí na maximální hodnotě. Zapojení senzoru způsobuje inverzi, to znamená, že při plném ozařování fototranzistoru je výstup téměř nulový a při plném zastínění senzoru se hodnota výstupu blíží hodnotě napájení děliče.



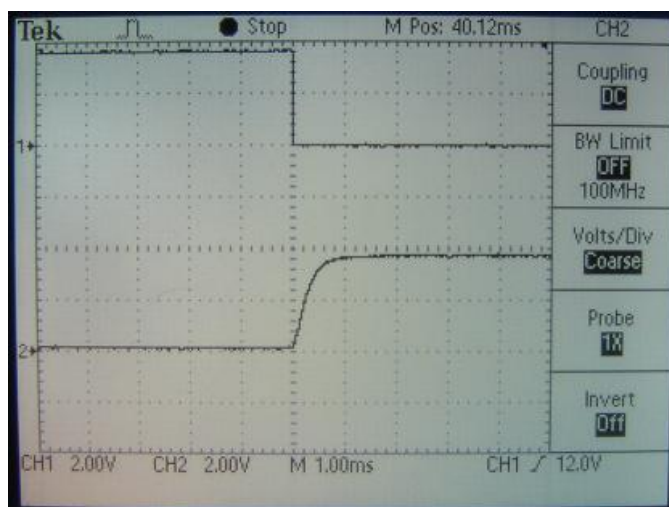
*Obr.: 2.11 – Odezva fototranzistoru na budící puls.*

Na obrázku *Obr.: 2.12* je zaznamenána odezva na puls soustředěná na náběžnou hranu budícího pulsu. Z průběhu je patrné, že po uplynutí 500 [μs] od skokového vybuzení snímače lze signál na výstupu snímače považovat za ustálený.



*Obr.: 2.12 – Odezva fototranzistoru na budící puls, náběžná hrana.*

Na obrázku *Obr.: 2.13* je zaznamenána odezva na puls soustředěná na sestupnou hranu budícího pulsu. Z průběhu je patrné, že po uplynutí 1 [ms] od skokového zatemnění snímače lze signál na výstupu snímače považovat za ustálený. Ze zdroje [9] vyplývá, že fototranzistorem při plném zatemnění protéká proud přibližně 1 [nA], při tomto proudu je úbytek na rezistoru v kolektoru (47 [kΩ]) zanedbatelný, přibližně 50 [μV].



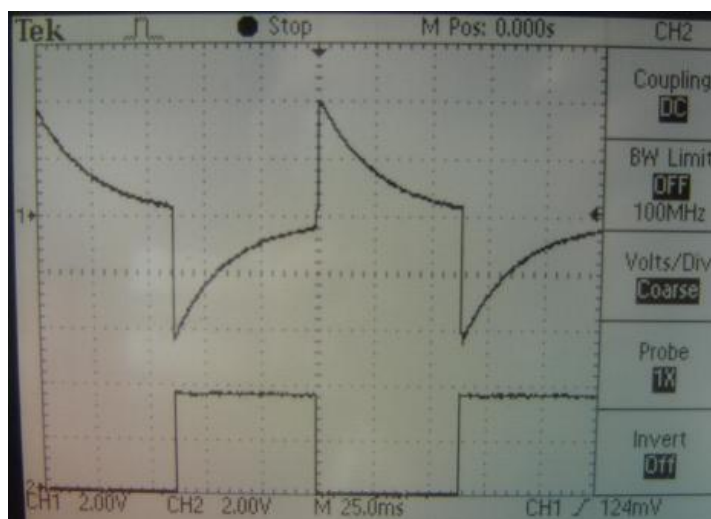
Obr.: 2.13 – Odezva fototranzistoru na budící puls, sestupná hrana.

Ze zdroje [9] vyplývá, že fototranzistorem při plném ozáření  $1 \text{ [mW/cm}^2\text{]}$  a buzením  $20 \text{ [V]}$  protéká proud  $0,1 \text{ [mA]}$  a je na něm úbytek maximálně  $0,3 \text{ [V]}$ , v případě tohoto měření byl úbytek na tranzistoru nižší, ale nikoliv nulový. Hodnotu tohoto napětí lze vyčíst z tabulky Tab.: 2.02, kde hodnoty pro ozařování pomocí rudé diody použité na budící puls jsou umístěny na prvním řádku.

Tab.: 2.02 – Výstup z děliče fototranzistoru při různých zdrojích buzení.

Buzení	1. LED	2. LED	3. LED	4. LED	5. LED
<b>Rudá LED</b>	0,18 [V]	0.19 [V]	0.11 [V]	0.2 [V]	0.19 [V]
<b>Žlutá LED</b>	1,68 [V]	1.56 [V]	0.79 [V]	1.95 [V]	1.96 [V]
<b>Zelená LED</b>	2,55 [V]	2.81 [V]	2.44 [V]	2.85 [V]	2.78 [V]
<b>Zatměný senzor</b>	4,97 [V]				

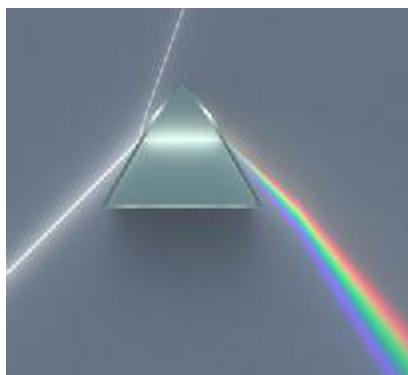
Na obrázku Obr.: 2.14 je znázorněna odezva fototranzistoru na budící puls, kdy výstupní signál je odebírán přes kondenzátor. Při ozáření fototranzistoru se nabitý kondenzátor připojí téměř na zem, čímž klesne napětí na výstupu pod úroveň země, jak se kondenzátor vybíjí, blíží se napětí na výstupu k nulové hodnotě, když se fototranzistor zatmění, začne se kondenzátor okamžitě nabíjet, jak se kondenzátor nabíjí, vzrůstá na něm úbytek napětí a výstup se blíží k nule, tvar průběhu je závislý na velikosti použitého kondenzátoru, v tomto případě byl použit kondenzátor malé hodnoty kapacity. Tohoto zapojení by se dalo využít k odstranění stejnosměrné složky na senzorech, podmínkou je stav, kdy by byly obě složky podobné, při velkém rozdílu obou složek by se mohly projevit výkyvy způsobené měřeným objektem jako by měly opačný průběh. Tento by se dal eliminovat použitím absolutní hodnoty na signál před matematickým zpracováním.



Obr.: 2.14 – Odezva fototranzistoru, výstup připojen přes kapacitu (22 nF).

### 2.1.3. Barevná detekce.

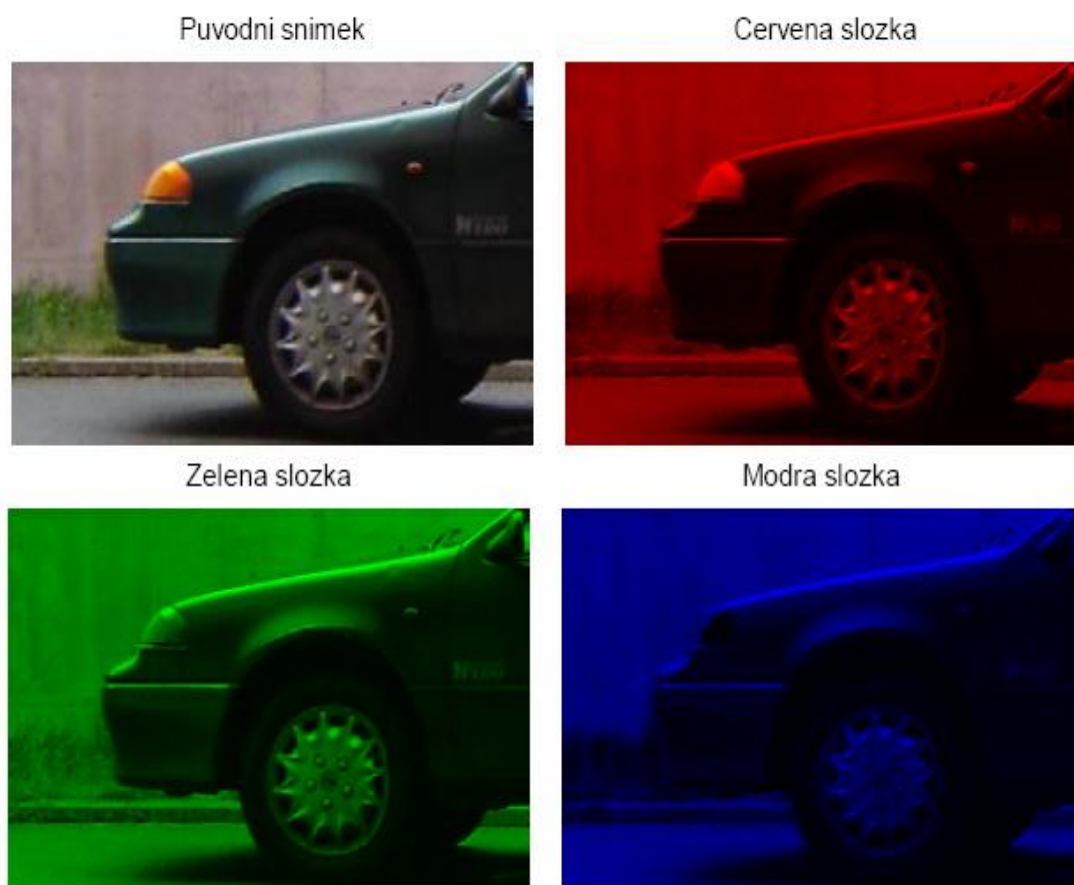
Optické záření se skládá i ve viditelném spektru z nekonečně mnoha kmitočtů, které jsou lidskému zraku reprezentovány různými barvami a různé kmitočty se s různou mírou odrážejí od různých povrchů a při průchodu látkami jsou s různou intenzitou pohlcovány. Toho lze využít při sledování střežené oblasti, v případě kdy je energie odraženého záření konstantní, nemusejí být konstantní příspěvky kmitočtů ze kterých je výsledný jas skložen. Bílé světlo se skládá ze všech kmitočtů a lomem bílého světla na hranolu se projeví, že se bílé světlo skládá z různých barev od červené po fialovou, které vymezují viditelné spektrum, to je znázorněno na obrázku Obr.: 2.15. Lze se tedy při snímání optického záření zaměřit na jednotlivé spektrální složky, to se provede filtrací, kdy se před senzor umístí clonka, která propustí pouze požadované světelné vlnové délky. Z obrázku je také patrné, že část paprsku bílého světla je od hranolu odražena.



Obr.: 2.15 – Optický hranol.[3]



Pro rozklad světla se používá mnoho barevných modelů, nejčastěji se používá na počítačích rozklad světla do složek RGB, kdy je barva popsána kombinací červené, zelené a modré složky s různými intenzitami. Rozklad barevných bodů pro snímek s částí auta je na obrázku *Obr.: 2.16*, kde vlevo nahoře je původní snímek, který je složen ze všech tří barevných částí, vpravo nahoře je tento snímek při odfiltrování modrých a zelených jasových složek, vlevo dole je snímek po odfiltrování červené a modré jasové složky a poslední část obrázku je úprava původního snímku, ze kterého byli odfiltrovány červená a zelená jasová složka. Z obrázků je patrné, že například při vykreslení modré jasové složky lze jen těžko odlišit přední bliknu od vozidla, ale v případě zelené jasové složky nabývá přední blikna úroveň jasu velmi podobnou úrovni jasu stěny. Použitím barevných filtrů lze tedy zlepšit schopnost odlišení sledovaného objektu od pozadí, kdy například červené vozidlo v určitém případě může odrážet stejnou intenzitu záření jako zelené pozadí, ale i když odrážejí jak pozadí tak objekt stejnou energii záření, je rozložena na kmitočtech barev různě. Měření, která se zabývají odrazem bílého širokospektrálního záření od podkladů různých barev je popsáno v následující podkapitole.



*Obr.: 2.16 – Rozklad snímku na jednotlivé jasové složky.*

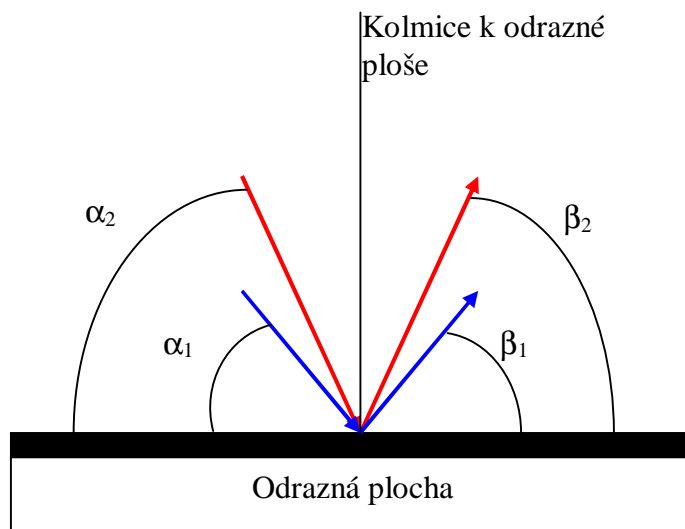


#### 2.1.4. Odrazy záření ve viditelném spektru.

Úvaha vedoucí k názoru, že jsou pro tuto aplikaci použitelné optické senzory vychází z předpokladu, že se optický signál z okolních zdrojů šíří všude kolem měřené oblasti. Pro využití tohoto předpokladu je nutné dodržení ještě dalšího předpokladu a to předpokladu, že se záření odráží od překážek a míra odražené energie není vždy konstantní, ale je závislá na typu materiálu a barvě materiálu, od kterého se záření odráží.

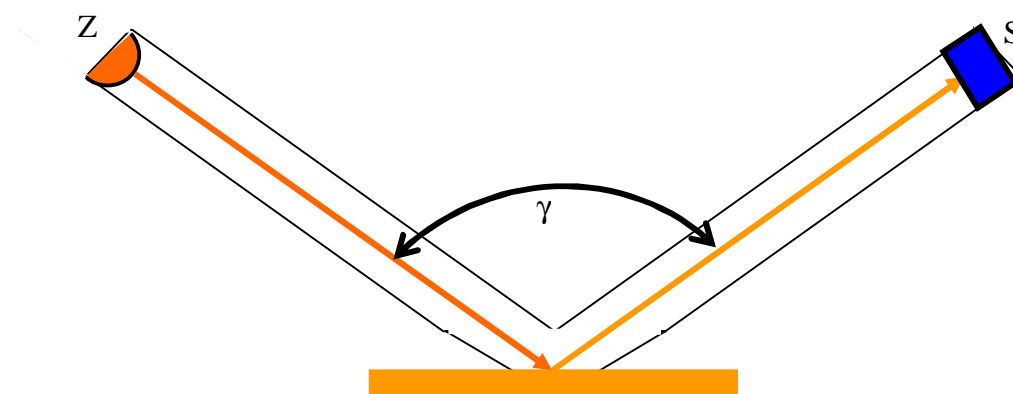
Optické záření je elektromagnetické záření o velmi vysokých kmitočtech. Při dopadu optického záření na rozhraní dvou prostředí je část energie pohlcena, část energie pokračuje do druhého prostředí a část energie se od předělu odrazí. V případě přechodu vzduch sklo dochází u čirého skla k průchodu většiny energie. Pokud obsahuje sklo příměsi, dochází k filtrování určitých vlnových délek. Z toho plyne, že červené sklo propouští a odráží červené spektrum, v případě skla většinu záření propustí a pouze malou část odrazí, u plechů pokrytých červenou barvou je tomu však obráceně, ostatní složky sklo pohltí. V případě nepropustného materiálu se energie příslušné barvy odrazí a energie ostatních složek je pohlcena. V případě bílých materiálů je odraženo široké spektrum složek, naopak u černých materiálů je většina energie pohlcena. Doložení tohoto předpokladu je popsáno níže, kde jsou i provedeny testovací měření, které tento předpoklad dokládají. Schopnost objektů odrážet záření s různou intenzitou je hlavním předpokladem pro nasazení optických snímačů pro měření rychlosti sledováním změny intenzity optického záření z daného směru. Nebylo-li by tomu tak, nebylo by možné optické snímače takto využít.

Z výše zmíněného plyne, že barva a typ materiálu pozadí mají vliv na intenzitu odraženého záření. Pro účel měření odraženého záření byl na základě optiky (úhel odrazu se rovná úhlu dopadu) sestaven měřicí systém, jehož princip je zobrazen na obrázku *Obr.: 2.17*. Z obrázku je patrné, že úhel  $\alpha_1$  je shodný s úhlem  $\beta_1$  a  $\alpha_2$  je shodný s úhlem  $\beta_2$ . Dopadá-li záření na plochu, která není dokonale hladká, dochází k výše popsanému systému odrazu na malých plochách, které spolu svírají různé úhly. Výsledkem je jev, kdy dojde k rozptýlení záření mnoha směry.



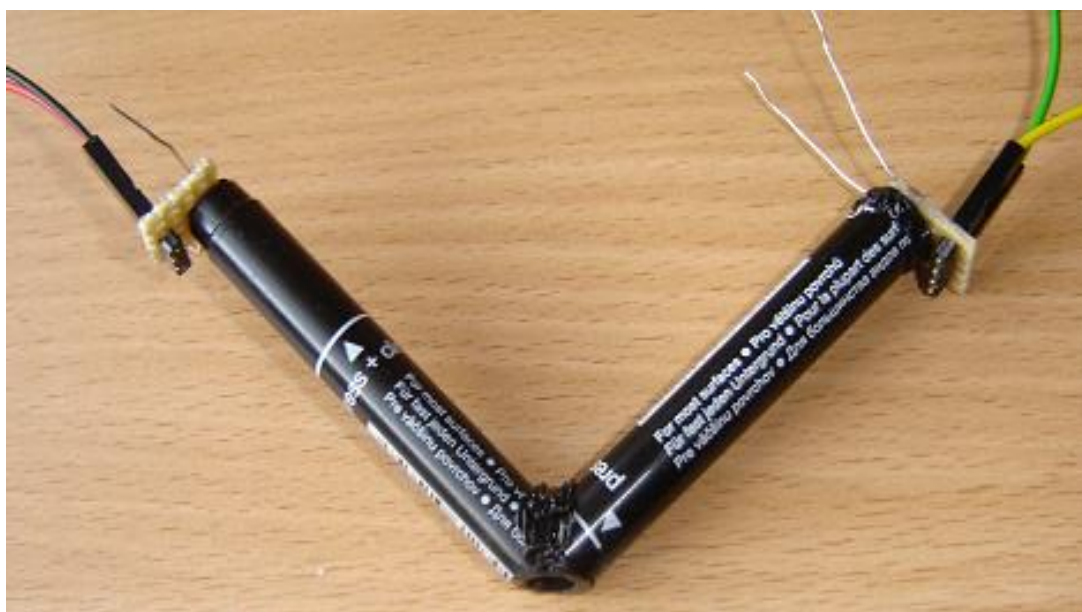
Obr.: 2.17 – Princip odrazu optického záření od rovne plochy.

Na obrázku *Obr.: 2.18* je popsán systém, který je určen k zjištění míry odrazu dopadajícího záření. „Z“ ve schématu je zdroj optického záření, pro testování byla vybrána jako zdroj LED dioda bílé barvy. „S“ je senzor, který sleduje odražené záření. Jelikož je cílem měření sledovat odrazivost ve viditelném spektru, je jako senzor použit dělič s fotorezistorem. Aby nedocházelo k ovlivnění měření okolními zdroji světla, je optická cesta umístěna v černých trubicích, které umožní šíření přímého paprsku, ale silně utlumí paprsky odrážející se od stěn trubic. Trubice svírají pravý úhel. V místě spojení je část trubic odstraněna, aby se mohl přímý paprsek odrazit od zdroje ke snímači. Místo bílého zdroje je v obrázku zdroj červeno oranžový, jelikož by býlé čáry nebyly vidět. Barva odraženého záření již odpovídá barvě reflexní podložky.



Obr.: 2.18 – Nástin měřicího systému.

Obrázek *Obr.: 2.19* zachycuje zařízení sestavené pro měření intenzity odraženého záření od podložek různé barvy. V levé části je červeným a černým vodičem přivedeno ze stabilizátoru napájení budící LED diody a v pravé části je zařízení připojeno žlutým a zeleným vodičem k ohm metru. Uprostřed obrázku dole je patrný otvor, který se při měření zakrývá jednotlivými odraznými plochami. Trubice k sobě byly teplotně zataveny pod úhlem 90°.



*Obr.: 2.19 – Zkonstruované zařízení pro měření intenzity odrazu.*

Použité barvy reflexních podkladů pro měření jsou naskenovány na obrázku *Obr.: 2.20*. Použité barvy jsou sřazeny sestupně od barvy s největším odrazem po barvu která odráží nejmenší množství energie. Hodnoty naměřených odporů jsou vyneseny v tabulce *Tab.: 2.03*. V řádku zisk jsou vypočítány odstupy v decibelech, podle vztahu (5.7.3), kde je provedena ta úprava, kdy napětí je stejné, ale odpory jsou různé. Jelikož odpory nejsou ve druhé mocnině, používá se násobení logaritmu deseti jako je tomu v případě přepočtu výkonu na deciBelly.



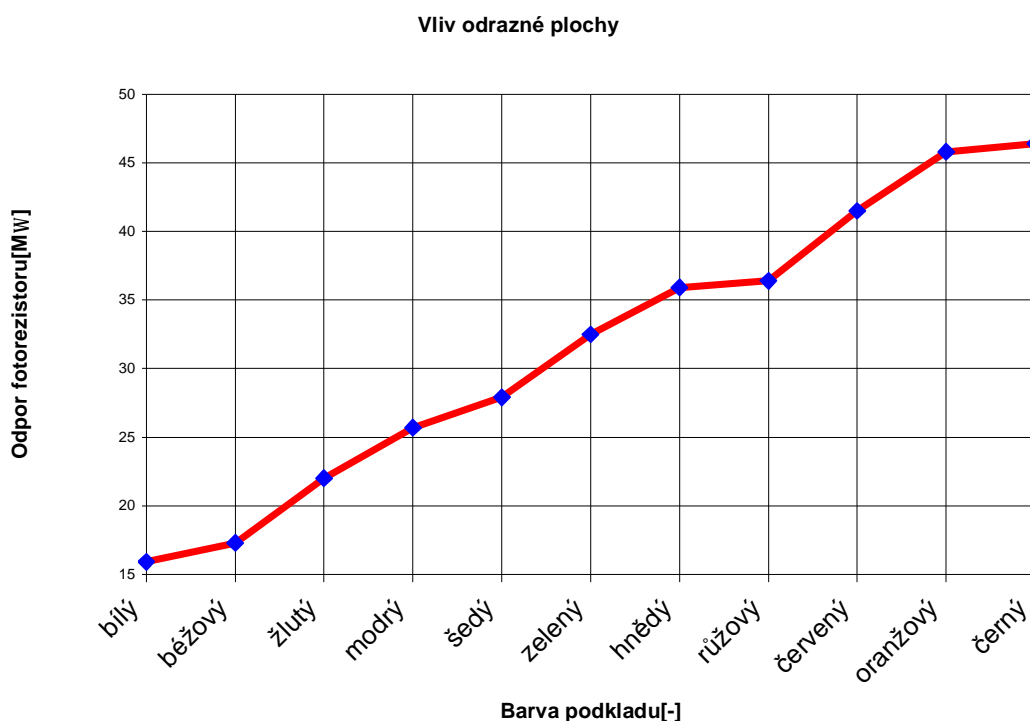
*Obr.: 2.20 – Barvy použité při měření intenzity odrazu.*

Tab.: 2.03 – Naměřené hodnoty při měření intenzity odrazu.

Podklad	bílý	béžový	žlutý	modrý	šedý	
Odpor[MΩ]	15,9	17,3	22	25,7	27,9	
Zisk[dB]	0	-0,3665	-1,4103	-2,0854	-2,4421	
Podklad	zelený	hnědý	růžový	červený	oranžový	černý
Odpor[MΩ]	32,5	35,9	36,4	41,5	45,8	46,4
Zisk[dB]	-3,1049	-3,537	-3,597	-4,1665	-4,5947	-4,6512

Legenda: Podklad – Barva kterou je záření odráženo  
 Odpor – Naměřená impedance v mega ohmech.  
 Zisk – Odstup aktuálního odrazu od odrazu od bílého podkladu.

Na obrázku *Obr.: 2.21* jsou vyneseny hodnoty naměřených odporů z tabulky *Tab.: 2.03*. Graf dokazuje, jak velký vliv má barva reflexní plochy na intenzitu odraženého záření. U případu hnědé a růžové reflexní plochy je patrné, že výsledná intenzita odraženého záření je velmi podobná. Z toho plyne, že některé objekty mohou zůstat senzory neodhaleny, i když nemají stejnou barvu jako statické pozadí. Tento neduh se odstraní tím, že sledovaný objekt nemá homogenní barvu a v případě oken dochází ke změně intenzity odraženého záření. Pokud je požadováno zlepšení vlastností, lze to provést použitím barevného filtru na záření dopadající na senzor. Každá barva totiž odráží jiné spektrum vlnových délek.

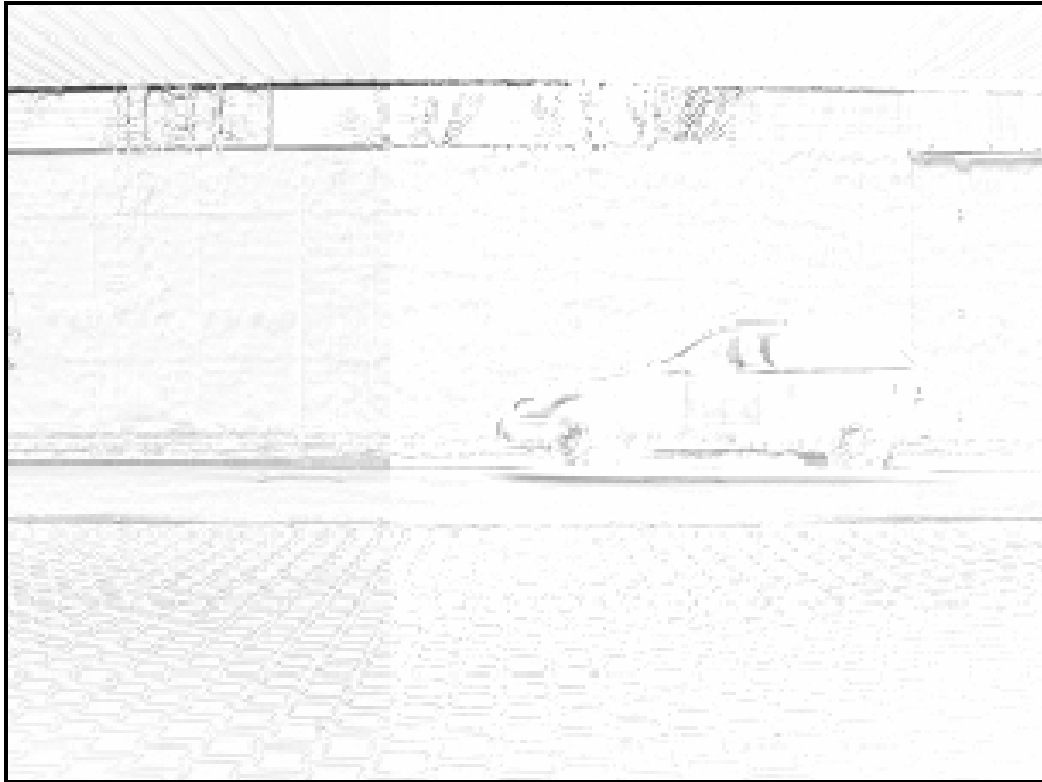


Obr.: 2.21 – Graf naměřených hodnot pro různé barvy reflexní plochy.

### 2.1.5. Maticové sledování objektů.

Sledování objektů lze provádět i maticově, to znamená, že senzory pro sledování optického záření jsou umístěny v matici a každá buňka matice sleduje určitou část prostoru, variantou je matice  $[1, y]$ , kdy je sledována pouze linka, to se využívá hlavně při čtení čárových kódů. Využití maticového snímání je patrné na dílčích obrázcích obrázku *Obr.: 3.15*, kde původní snímek je vytvořen pomocí trojrozměrné matice, kde každý pixel v souřadnicích  $[x, y]$  je sledován třemi různými snímači. Maticové snímání se využívá k “elektronickému vidění“, kdy je třeba automatizovaně sledovat, aby do určité oblasti nevnikala cizí tělesa.

Snímky zabývající se postupem této metody jsou umístěny v PŘÍLOHA A. Na obrázku *Obr.: A.01* je zachyceno sledované vozidlo ve dvou různých časových intervalech, možností zpracování je i zde mnoho a pouze pro přehled bude popsána metoda, kdy bude využito pouze jedné kamery, tato metoda vyžaduje přeměření kamery, aby byla definována velikost zabíraného pixelu v různých vzdálenostech od kamery. Pomocí ultrazvuku se určí vzdálenost vozu od kamery a podle tabulky se pixelům přiřadí jejich rozměr. Pro určení posunutí vozu je třeba objekt separovat od pozadí, to se provede odečtením referenčního snímku, na kterém je zaznamenáno pouze pozadí. Tento snímek je v příloze na obrázku *Obr.: A.02*. Separování se provede odečtením pozadí od snímků se zachyceným objektem, tyto snímky jsou zobrazeny na obrázku *Obr.: A.03*, který je také umístěn v příloze. Na snímky se poté aplikuje například korelace, s jejíž pomocí se určí, o kolik bodů je objekt posunut. Na obrázku *Obr.: A.04* v PŘÍLOHA A je zobrazen průběh této korelace, na průběhu je patrný vliv pohybu pozadí, kdy například keře v poryvech větru změnili mezi snímky polohu větví, tento šum tvoří lokální extrém kolem bodu, kdy je první snímek posunut proti druhému snímku o 0 bodů. Z korelačního průběhu bylo určeno posunutí o 106 bodů, pro posouzení správnosti určení posunutí byl jeden snímek posunut o 106 bodů a od druhého odečten, tento výsledný snímek je zobrazen na obrázku *Obr.: 2.22*. Program pro matlab je umístěn v PŘÍLOHA A, *Př.: A.01*.



*Obr.: 2.22 – Rozdílový snímek vozu a posunutého snímku posunutého vozu.*

### **2.1.6. Porovnání testovaných optických snímačů.**

Z tabulek *Tab.: 2.01* a *Tab.: 2.02* je patrné, že fototranzistor je nejlépe spínán světlem, které odpovídá červené barvě a fotorezistor je nejlépe snímán světelným tokem s kmitočtem odpovídajícím žlutému světlu. Z tohoto úhlu pohledu lze tedy využít oba typy snímačů. Další odlišností testovaných snímačů je jejich reakční doba na změnu úrovně jasu ve sledované oblasti, která je u fotorezistoru mnohem delší. Z toho plyne, že objekt, který se pohybuje je zachycen věrněji na hranách fototranzistorem, nic méně to může způsobit zanesení šumu do signálu se zvýšenou pravděpodobností, zatím co u fotorezistoru je vzorek ovlivněn předchozím vzorkem silněji.

Oba typy snímačů jsou náchylné k různému pozadí, ve kterém monitorují změny jasu, jako možnost by sice byla varianta použít ustálený stav jako nulu, ale sledovaný signál může nabýt průběhu mezi těmito stavy a to nasazení této strategie vylučuje, další variantou je vynulování signálu, který odpovídá ustálené hodnotě a jejímu blízkému okolí a signál, který se vychyluje mimo prahové hodnoty nechat nezměněný.

Po zvážení pro a proti byl označen jako výhodnější pro použití do aplikace na sledování rychlosti objektů fototranzistor u kterého bude jeho stejnosměrná složka odstraněna jejím matematickým odstraněním. Porovnávání fototranzistorů a foto-rezistorů je věnována i část kapitoly 3, ve které bude definitivně rozhodnuto který z těchto dvou snímačů bude použit do výsledné implementace.

Předpoklad o míře odražené energie v závislosti na barvě odrazné plochy byl prokázán měřeními provedenými v podkapitole 2.1.4, lze tedy usoudit, že nasazení optických snímačů do navrhovaného zařízení je realizovatelné.

## **2.2. Mechanické kmitání (zvuk).**

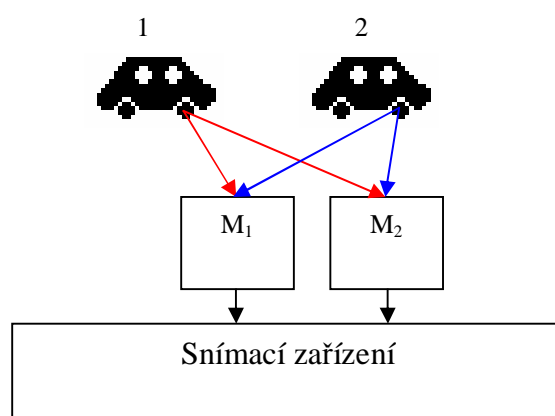
Pohybující se vozidla generují ve svém okolí mechanické kmitání (zvuk), který může být využit ke sledování rychlosti vozidla. Vozidlo je možné také mechanickým kmitáním ozařovat a sledovat mechanické kmitání odražené. Mechanické kmitání lze snímat ve slyšitelném spektru, nebo ve spektru ultrazvuku, které není slyšitelné lidským sluchovým ústrojím. Mechanické kmitání se pohybuje v suchém vzduchu rychlostí kolem 340 [m/s]. Problematika pasivního sledování dopravního prostředku spočívá v nástupu elektromobilů, které hluk v dostatečné míře nevytvářejí. To je důvod, proč je systém snímání mechanického kmitání popsán pouze povrchově.

### **2.2.1. Slyšitelné spektrum.**

Slyšitelné spektrum je v rozmezí kmitočtů od 16 [Hz] do 20 [kHz]. Slyšitelné spektrum se snímá pomocí mikrofonů, které mohou být více typů, mezi nejběžnější patří mikrofony kapacitní, elektretové (typ kapacitního mikrofону), dynamické mikrofony (pohybující se cívka v magnetickém poli) a uhlíkové (membrána stlačuje uhlíková zrna a ta vlivem zhuštění mění odpor mikrofону). Výstupní signál z mikrofону bývá slabý a proto se před dalším zpracováním zesiluje.

Princip měření dat pomocí mikrofону je zobrazen na obrázku *Obr.: 2.23*, kde vozidlo s označením jedna je vozidlo v první pozici a vozidlo s označením 2 je vozidlo posunuté do pozice 2. Mikrofony mají směrové charakteristiky, které tvoří diskriminaci pro zvuky přicházející z jiného než-li přímého směru. Je-li tedy vozidlo

ve směru osy mikrofonu, je zvuk motoru vozidla přijímán nejsilněji a čím dále od osy mikrofonu se nachází, tím menší intenzitou pohybuje zvuk motoru membránou v mikrofону. Ze schéma je patrné, že k maximální výchylce dojde napřed na mikrofону  $M_1$  a poté na mikrofону  $M_2$ . K zamyšlení je fakt, že vozidlo v době míjení osy mikrofonu nemusí mít válce ve shodné poloze jako v případě míjení osy druhého mikrofonu. Z toho vyplývá, že pro určení rychlosti vozidla nelze využít aktuální výchylku membrány na mikrofону, ale je nutné pospojovat lokální maxima a proložením takto upravených signálů teprve nalézt čas mezi senzory, to však zanechá jistou chybu.



Obr.: 2.23 – Princip snímání dat pomocí mikrofonu.

Nevýhodou tohoto typu snímání je citlivost mikrofonu na větrné poryvy, které se na mikrofону silně projeví. Dále se na snímači odráží i vliv ostatních vozů a jiných zdrojů zvuku v okolí. Z těchto důvodů a důvodu popsaného v předchozím odstavci byly pro další vyhodnocování upřednostněny optické snímače změny jasu ve sledované oblasti.

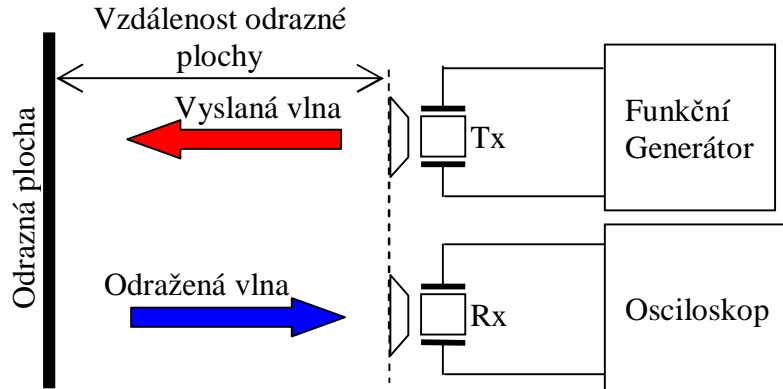
### 2.2.2. Ultrazvuková detekce.

Ultrazvuk je mechanické kmitání ve spektru kmitočtů nad slyšitelným spektrem, to jsou kmitočty větší než-li přibližně 20 [kHz]. Někteří živočichové jsou schopni slyšet i část tohoto spektra mechanického kmitání, například netopýři.

Na obrázku Obr.: 2.24 je zakresleno měřicí pracoviště pro měření odrazů mechanického kmitání v ultrazvukovém frekvenčním pásmu. Vzdálenost odrazné plochy je polovina dráhy, kterou musí vyslaný signál urazit od vysílače k přijímači.

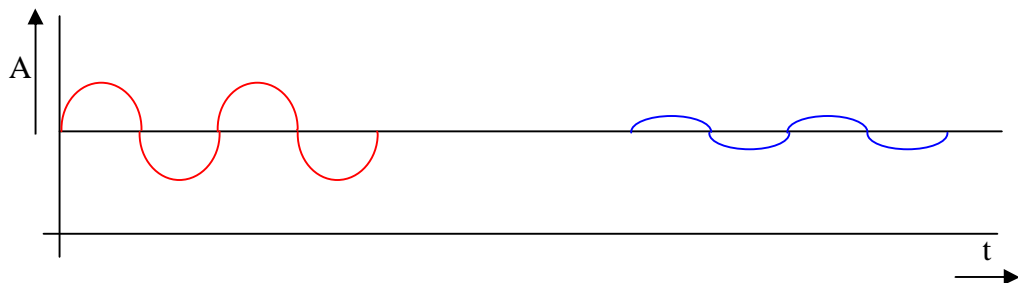


Červená šipka znázorňuje vyslaný signál z vysílajícího ultrazvukového měniče buzeného sinusovým signálem na kmitočtu 40 [kHz]. Modrá šipka znázorňuje šíření signálu odraženého od odrazné plochy.



Obr.: 2.24 – Zapojení měřicího pracoviště pro měření ultrazvuku.

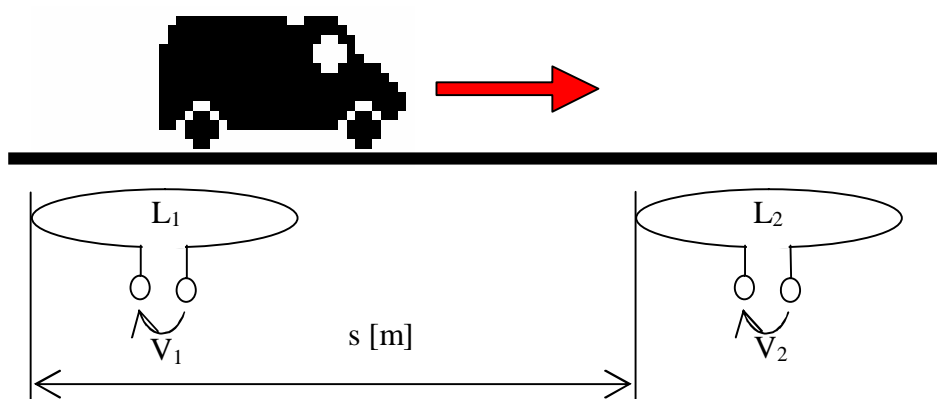
Zvukový signál se ve vzduchu pohybuje přibližně rychlostí 340 [m/s], při kmitočtu 40 [kHz] je pak vlnová délka 8,5 [mm]. To znamená, že pro jeden pulz je slepá zóna 4,25 [mm]. Slepá zóna je oblast, ve které není měnič schopen zachytit objekt, bývá však podstatně delší, jelikož se při měření odesílá celá sada period, pro sedm odeslaných period je slepá zóna sedmkrát delší. Na obrázku Obr.: 2.25 je naznačen princip signálů ultrazvuku, kde červený průběh jsou odeslané periody a modrý průběh jsou periody odražené, které jsou utlumené a mohou mít i rozdílnou fázi od period vyslaných. Doba kdy senzor není schopen identifikovat objekty je do konce vysílání. Hledání pozice odraženého signálu se provádí přizpůsobenou filtrací, kdy je známa vysílaná sekvence, která se posléze v přijatém signálu hledá. Pro zlepšení výstupního signálu po přizpůsobené filtraci se používá vysílání Barkerových kódů, které zvýší odstup extrému v místě signálu od okolního šumu.



Obr.: 2.25 – Princip průběhů při měření vzdálenosti objektů ultrazvukem.

### 2.3. Magnetické a elektrické záření.

Magnetické záření se sleduje pomocí indukčností, u sledování vozidel se zpravidla jedná o cívky zabudované přímo ve vozovce. Pohybuje-li se vozidlo po vozovce, v níž je zabudována cívka, lze data získat vícero způsoby, jedním z nich je využití děliče, kdy je měřicí cívka spolu s cívkou známou s neměnnou indukčností napájena střídavým signálem a sleduje se změna napětí na výstupu děliče způsobená projíždějícím vozidlem, které má jinou magnetickou vodivost, než-li vzduch. Další variantou je napájet cívku stejnosměrným proudem a sledovat přechodové jevy vyvolané vozem jedoucím po vozovce. U elektrického záření lze využít podobné principy jako u magnetického záření, pouze se místo cívky použijí dvě elektrody a projíždějící vozidlo změní hodnotu dielektrika. Na obrázku *Obr.: 2.26* je zachycen princip sledování vozidel pomocí indukčností, indukčnosti mají od sebe známou vzdálenost  $s$  [m] a porovnává se signál z indukčnosti  $L_1$  se signálem z indukčnosti  $L_2$ . Po určení času, o který jsou signály vzájemně posunuty se z tohoto času a známé vzdálenosti mezi indukčnostmi zjistí průměrná rychlost vozidla na tomto úseku.

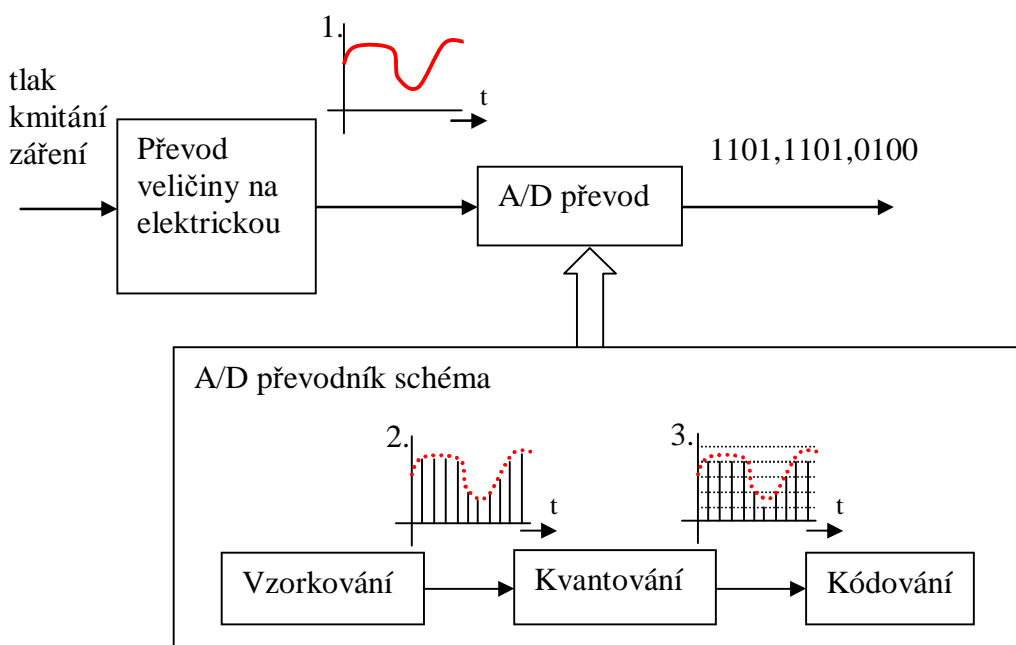


*Obr.: 2.26 – Princip sledování vozidel pomocí indukčností.*

### 3. Vlastnosti fyzikálních veličin před a za měřicím senzorem.

Data ze snímačů je potřeba upravit na digitální hodnoty, které se používají ke zpracování ve vyhodnocujícím zařízení, kterým může být hradlové pole, počítač, mikroprocesor, nebo nějaké další. V této kapitole jsou nastíněny principy získání požadovaných dat z veličin, kterými působí sledovaný objekt na snímače a provedena příslušná testovací měření. Hlavním cílem této kapitoly je ale určit, zda budou vybrány pro navrhované zařízení na pozici senzorů snímače, které budou vybaveny fotorezistory, nebo fototranzistory. Proto jsou zde hlouběji rozebrány vlastnosti jednotlivých senzorů a jejich testovací měření, které mají určit vhodnějšího kandidáta. A ten pak bude ve výsledné implementaci použit.

Signál před sledovacím snímačem je spojitá fyzikální veličina (světlo, mechanické kmitání, ...), která se před zpracováním převádí na elektrickou veličinu, která není spojitá v čase ani amplitudě. Nespojitosť v čase vznikají vzorkováním, kdy je sledování veličiny prováděno pouze po časových skocích. Nespojitosť v amplitudě vznikají kvantováním, spojitá veličina nabývá nekonečně mnoha hodnot, ale převodem na posloupnost čísel jí je přiřazena vždy jedna hodnota ze známé množiny hodnot.

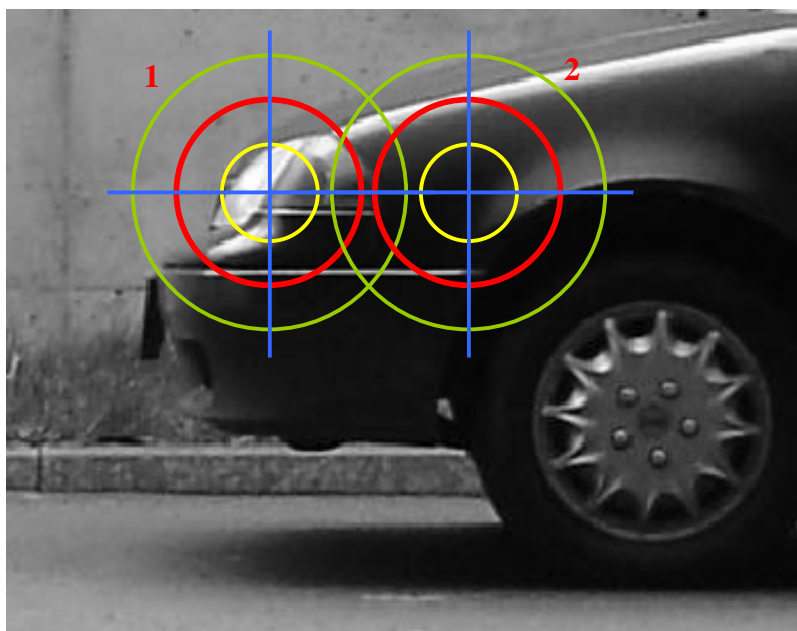


Obr.: 3.01 – Převod fyzikální veličiny na číselná data.

Postup převodu spojitě analogové veličiny na digitální je zobrazen na obrázku *Obr.: 3.01*, kde převod veličiny na elektrickou obstarává snímač (fototranzistor, fotorezistor, ultrazvukový měnič, ...). Výsledkem převodu je spojitá elektrická veličina vstupující do A/D převodníku (náčrt grafu číslo 1). Vnitřní schéma A/D převodníku je rozkresleno v bloku A/D převodník schéma. Po vzorkování je signál nespojitý v čase, ale výchylka veličiny nabývá libovolných hodnot (náčrt grafu číslo 2). V bloku kvantování se tyto libovolné hodnoty upraví na hodnoty kvantizačních úrovní, to lze provést několika způsoby. První možností je ořezání zhora, kdy se signálu přiřadí nejbližší nižší kvantizační hodnota (náčrt grafu číslo 3). Druhou možností je oříznutí z dola, kdy se přiřazuje vzorku nejbližší vyšší kvantizační hodnota. Třetí možností je přiřazení vzorku nejbližší kvantizační hodnotě, u kterého vzniká poloviční rozptyl kvantizační chyby. Po nakvantování signálu se signál kóduje, je mu přiřazena číselná kombinace podle kvantizační úrovně, k níž byl vzorek přiřazen.

### 3.1. Rozložení fyzikální veličiny na měřeném objektu.

Na sensor působí fyzikální veličina ovlivněná sledovaným objektem různou měrou v závislosti na vzdálenosti od snímače a na úhlu od hlavního směru snímání. Vliv barvy objektu na množství odrážené energie byl popsán v kapitole 2. Největší měrou působí na sensor veličina v hlavním směru snímání.



*Obr.: 3.02 – Vliv objektu na snímač.*

Na obrázku *Obr.: 3.02* jsou barevně oznašeny segmenty s různou mírou přispění k výslednému výstupu ze snímače. V optimálním případě je snímač ovlivněn mírou jasu 100% z jednoho nekonečně malého bodu a nijak ovlivněn ostatními, ale toto nelze v reálném světě docílit, proto je výsledný výstup ovlivněn i blízkým okolím bodu v přímém směru snímače. Největší vliv na výstup mají jasové body ve žlutě ohraničené oblasti, menší měrou je ovlivněn oblastí mezi žlutou a rudou hranicí, až jas za zelenou hranicí ovlivňuje výstup zanedbatelně. Další vzorek ze snímače je získán v jiném časovém okamžiku a přijímací charakteristika se mezi tím po objektu posunula (terč číslo 2) a výsledný výstup je stvořen z části starých a z části nových jasových bodů, kde body použité při minulém snímání působí na výstup s jinými vahama, tím vzniká částečná závislost nového vzorku na předchozím a částečně závislost na vzorku budoucím. Velikost terče a míra přispění jednotlivých jasových bodů je závislá na fyzickém provedení snímače, výsledný terč nemusí mít kruhovou charakteristiku, ale může být čtvercová, obdélníková, eliptická, nebo jakákoliv jiná. Charakteristikami vybraných optických senzorů se zabývá kapitola 3.1.1. Přijímací charakteristiky snímačů.

### **3.1.1. Přijímací charakteristiky snímačů.**

Zapojení pracoviště pro toto měření vychází ze schématu na obrázcích *Obr.: 2.06* a *Obr.: 2.10*, kde je pulsní zdroj nahrazen stejnosměrným zdrojem. Přijímací část je zapojena shodně jako při měření odezvy na puls, které bylo popsáno v předchozí kapitole. Při měření je snímač uchycen na středu stěny začerněné krabice, aby docházelo k co nejmenším odrazům, to bylo dokázáno v podkapitole 2.1.4, proti je umístěn světelný zdroj, který budí snímač. Světelný zdroj je posouván po 5ti stupních a výstupní napětí senzoru je zaznamenáváno do tabulky *Tab.: 3.01* v bílých sloupcích, převod napětí na decibely vztažené k signálu v úhlu nula stupňů jsou zaznamenány ve žlutých sloupcích. Řádek se záznamem dat při ozařování snímače v přímém směru je od ostatních odlišen zeleným zvýrazněním. Barva LED pro buzení snímačů je vybrána podle tabulek *Tab.: 2.01* a *Tab.: 2.02*, a to tak, aby měla na senzor co největší účinek. Fotorezistor je tedy buzen žlutou diodou LED a fototranzistor je buzen rudou diodou LED.

Tab.: 3.01 – Tabulka citlivosti senzorů v závislosti na úhlu příjmu.

Stupně svazku	FR [V]	FR [dB]	UFR [V]	UFR [dB]	FT [V]	FT [dB]	UFT [V]	UFT [dB]
35°	4,69	-3,726	4,99	-46,888	4,95	-23,127	4,99	-52,690
30°	4,66	-2,842	4,99	-46,888	4,93	-18,690	4,99	-52,690
25°	4,63	-2,040	4,99	-46,888	4,92	-17,106	4,99	-52,690
20°	4,61	-1,543	4,99	-46,888	4,91	-15,767	4,98	-31,862
15°	4,60	-1,305	4,99	-46,888	4,75	-5,435	4,98	-31,862
10°	4,57	-0,628	4,98	-26,060	4,69	-3,421	4,89	-12,603
5°	4,55	-0,204	4,87	-5,232	4,65	-2,299	4,78	-6,204
0°	4,54	0,000	4,77	0,000	4,55	0,000	4,56	0,000
-5°	4,54	0,000	4,85	-3,903	4,61	-1,305	4,77	-5,802
-10°	4,55	-0,204	4,97	-20,443	4,65	-2,299	4,91	-14,520
-15°	4,56	-0,414	4,99	-46,888	4,73	-4,711	4,97	-26,245
-20°	4,59	-1,074	4,99	-46,888	4,87	-11,842	4,98	-31,862
-25°	4,61	-1,543	4,99	-46,888	4,90	-14,608	4,98	-31,862
-30°	4,65	-2,566	4,99	-46,888	4,92	-17,106	4,99	-52,690
-35°	4,70	-4,042	4,99	-46,888	4,94	-20,628	4,99	-52,690
BO	4,97		4,99		4,98		4,99	

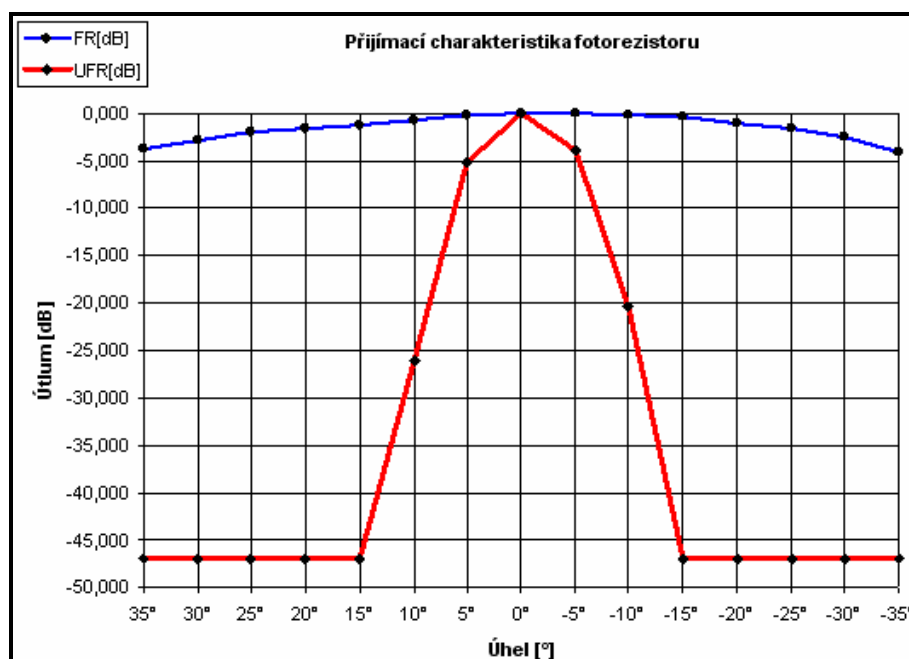
Legenda: BO – Bez ozařování snímače  
FR – Fotorezistor  
UFR – Upravený fotorezistor  
FT – Fototranzistor  
UFT – Upravený fototranzistor

Vztah (3.1.1) popisuje výpočet decibel v tabulce *Tab.: 3.01*. BO [V] je napětí na senzoru v případě zatemnění snímače, F<sub>0</sub> [V] je napětí na snímači při úhlu dopadu záření na snímač ze zdroje, který je v ose senzoru a F<sub>x</sub> [V] je napětí na snímači při dopadu záření ze sledovaného úhlu.

Vztah pro výpočet útlumu v [dB]:

$$F_x [dB] = 20 * \log \frac{BO[V] - F_x[V]}{BO[V] - F_0[V]} \quad (3.1.1)$$

Na obrázku *Obr.: 3.03* jsou pro porovnání vyneseny v deciBellech průběhy fotorezistoru (modrý průběh) a upraveného fotorezistoru (rudý průběh), které jsou vyneseny v závislosti na úhlu dopadajícího záření po pěti stupních. Z průběhu je patrné, že došlo k významnému zúžení přijímací charakteristiky. Přesnost měření byla provedena vždy na dvě desetinná místa, toto omezení bylo způsobeno použitým měřicím přístrojem. Signál dopadající pod úhlem utlumeným o 30 [dB] lze uvažovat za zanedbatelný, z toho lze vyvodit, že šířka svazku přijímací charakteristiky je přibližně 24 [°].



Obr.: 3.03 – Přijímací charakteristika fotorezistoru před a po úpravě.

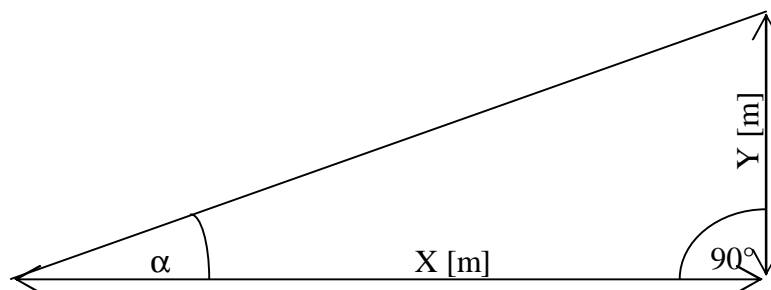
Pomocí vztahu pro goniometrickou funkci tangens (3.1.2), kde Y [m] je délka protilehlé strany v metrech a X [m] je délka přilehlé strany v metrech, viz. obrázek Obr.: 3.04, lze za pomoci vztahu pro výpočet obsahu kružnice odvodit vztah pro výpočet průměru kružnice, která ovlivňuje snímač (3.1.3). Z těchto vztahů a naměřených dat lze určit jak velkou oblastí bude snímač ovlivněn v určité vzdálenosti od snímače. V případě upraveného snímače bude sledovaná oblast ve vzdálenosti pěti metrů od snímače přibližně 2,1255 metru.

Vztah pro výpočet goniometrické funkce tangens:

$$tg a = \frac{Y[m]}{X[m]} \quad (3.1.2)$$

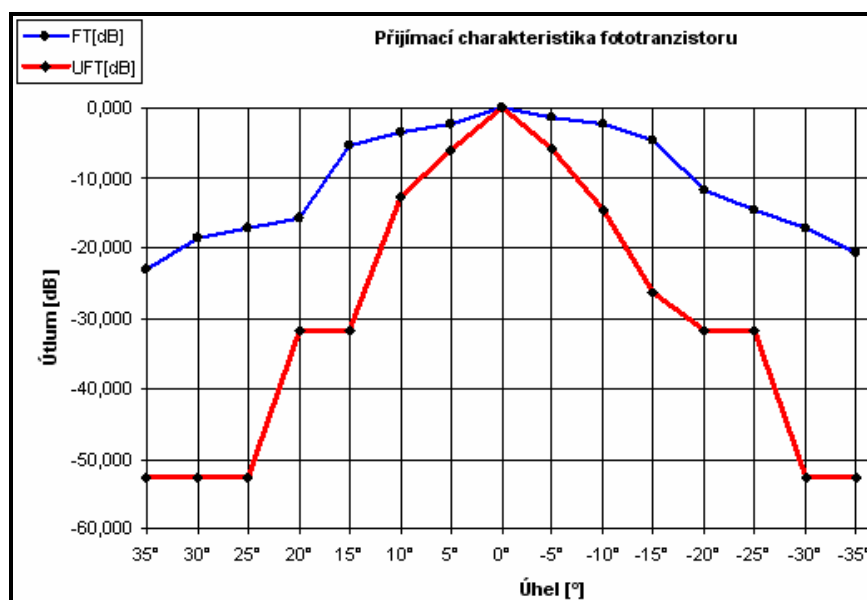
Vztah pro výpočet průměru kružnice s poloměrem Y [m]:

$$d = 2 \cdot (X[m] \cdot tg a) \quad (3.1.3)$$



Obr.: 3.04 – Pravoúhlý trojúhelník.

Na obrázku *Obr.: 3.05* jsou vyneseny průběhy upraveného snímače (rudý průběh) a neupraveného snímače (modrý průběh) s fototranzistorem v závislosti na stupních. V porovnání s obrázkem *Obr.: 3.03* je patrné, že fototranzistor má proti fotorezistoru přijímací charakteristiku užší.

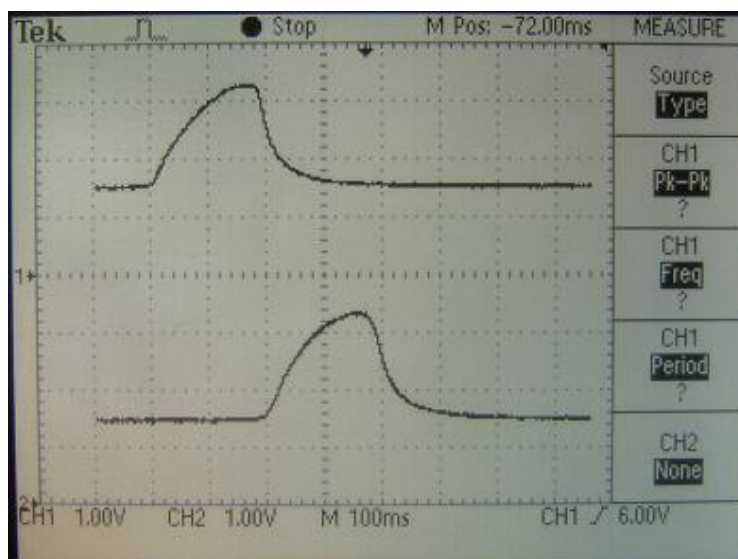


*Obr.: 3.05 – Přijímací charakteristika fototranzistoru před a po úpravě.*

### 3.1.2. Sledování homogenního objektu dvěma senzory.

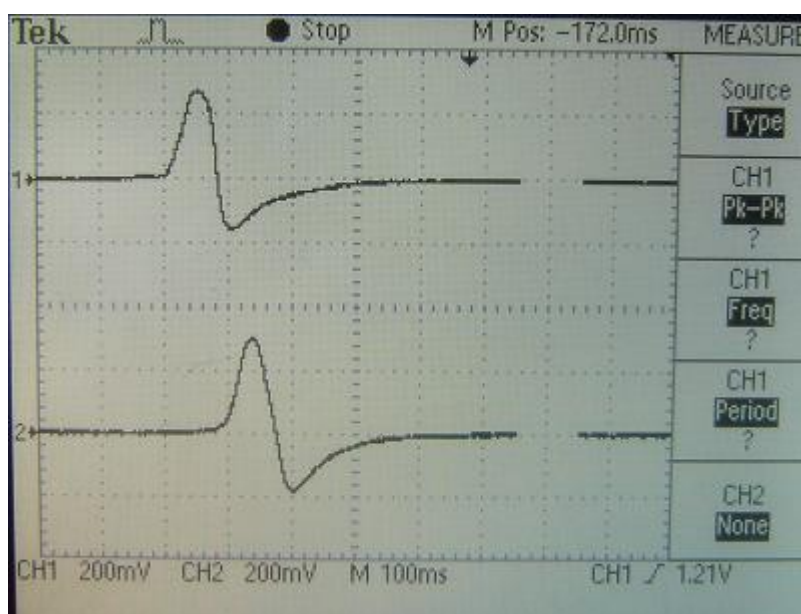
Na obrázku *Obr.: 3.06* jsou zachyceny průběhy ze dvou senzorů s fotorezistory, které jsou umístěny 10 [cm] od sebe a sledují pohyb objektu, dlouhého 20 [cm] a majícího obdélníkový tvar a homogenní bílou barvu. Z reakce na zastínění je patrné, že záření odražené ze sledovaného objektu vybudilo senzory na přibližně shodnou úroveň. Po odečtení náběhů průběhů bylo zjištěno, že jejich vzájemné posunutí je přibližně 200 [ms]. Z výše zmíněného lze vypočítat rychlost sledovaného objektu, který překonal vzdálenost mezi senzory rychlostí 0,5 [m/s], to odpovídá rychlosti 1,8 [km/h]. Z délky odezvy, která je přibližně 400 [ms] lze určit i délku objektu, objekt se pohybuje rychlostí 0,05 [cm/ms], po vynásobení délkou odezvy je délka stanovena na 20 [cm], tato hodnota se shoduje se změřeným rozměrem vyšetřovaného objektu.





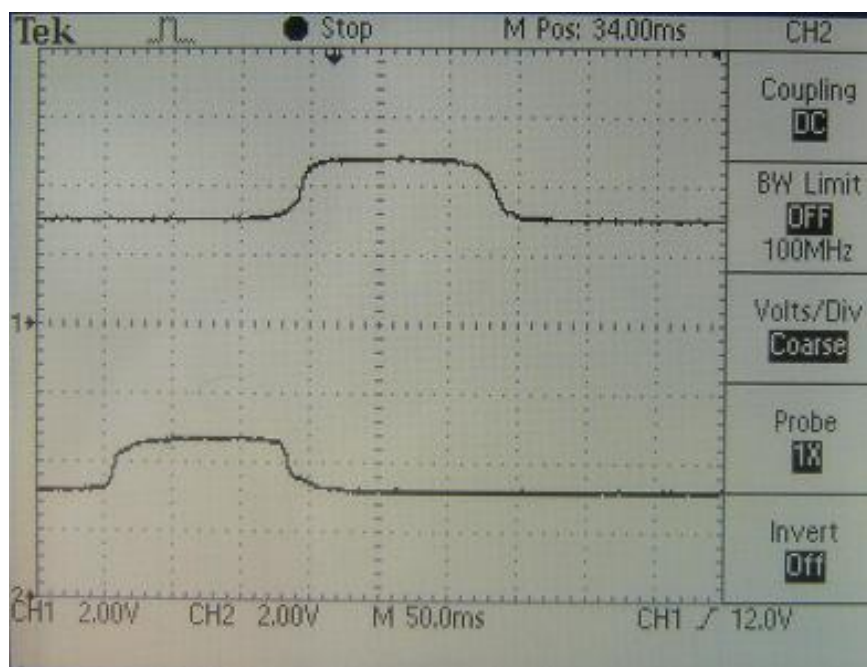
Obr.: 3.06 – Sledování objektu dvěma senzory s fotorezistory.

Stejnosečná podstava na obrázku Obr.: 3.06 může být odstraněna pomocí kapacity, z obou senzorů pak bude výstupem stejný průběh, který bude mít pro každý senzor jinou amplitudu, ale výsledný průběh bude mít jiný tvar, tento průběh je umístěn na obrázku Obr.: 3.07, další možností odstranění stejnosměrné podstavy je pomocí odečtení průměrného výstupu. Vzájemné posunutí signálů z obou senzorů lze nejlépe určit přizpůsobenou filtrací. To se provede korelací signálu druhého senzoru se signálem z prvního senzoru, shodný signál bude zesílen více než-li signál, který neodpovídá signálu z prvního senzoru, nalezením maxima korelační funkce se určí časové posunutí signálu.



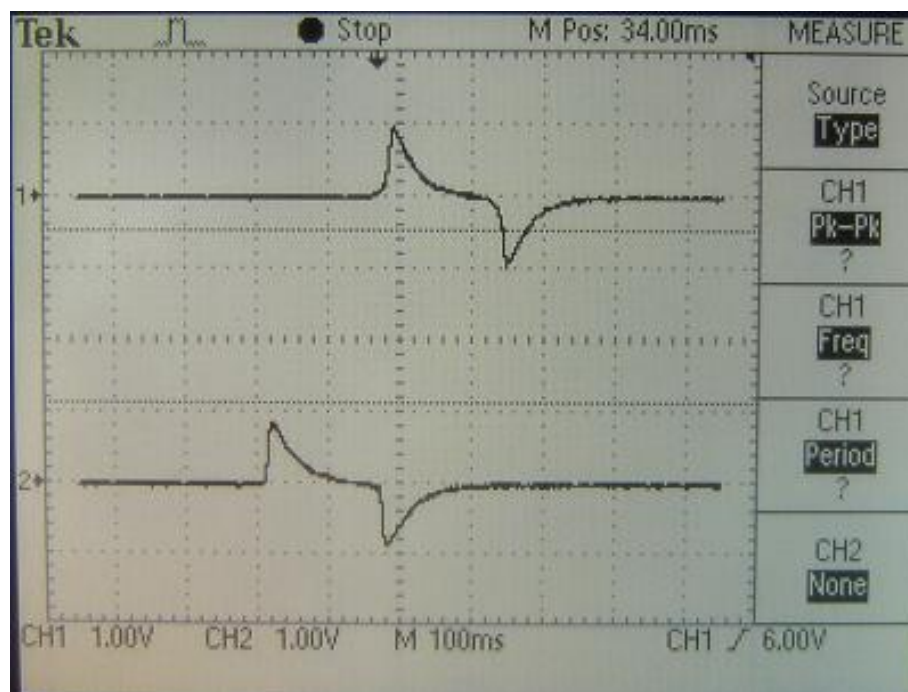
Obr.: 3.07 – Sledování objektu dvěma fotorezistory, výstup přes kondenzátor 22nF.

Na obrázku *Obr.: 3.08* je zaznamenána odezva dvou snímačů, které jsou osazeny fototranzistory, na zastínění pohybujícím se objektem, který má homogenní bílou barvu a délku 20 [cm]. Oba snímače mají stejnosměrnou podstavu o hodnotě přibližně 3 [V], ta je způsobena mírou ozáření fototranzistoru v okamžiku, kdy není zastíněn pohybujícím se objektem, objekt může na senzor reflektovat i záření s vyšší intenzitou, než-li je ozáření v klidovém stavu, v takovém případě by se průběh signálu místo přiblížení k napájecímu napětí přiblížil k nulovému potenciálu.



*Obr.: 3.08 – Sledování objektu dvěma senzory s fototranzistory.*

Odfiltrování stejnosměrné podstavy průběhů signálů z měření sledování objektu provedeného na fototranzistorech pomocí vyvedení výstupu přes kapacitu je zachyceno na obrázku *Obr.: 3.09*. V případě, že by zastíňující objekt způsobil větší ozáření snímačů, nabývaly by signály inverzní průběh, nejprve by signály klesly pod nulovou úroveň a teprve poté by se dostali do kladných hodnot. Pro zpracování signálu je dostačující jak záporná, tak i kladná část samostatně, proto může být při zpracování signálu jedna z částí potlačena, nebo pro zpřesnění měření může být signál použit v absolutní hodnotě, aby se zamezilo používání výpočtů se znaménkem, které představují v mikropočítačích delší časový interval pro výpočetní operace.



Obr.: 3.09 – Sledování objektu dvěma fototranzistory, výstup přes kondenzátor 22nF.

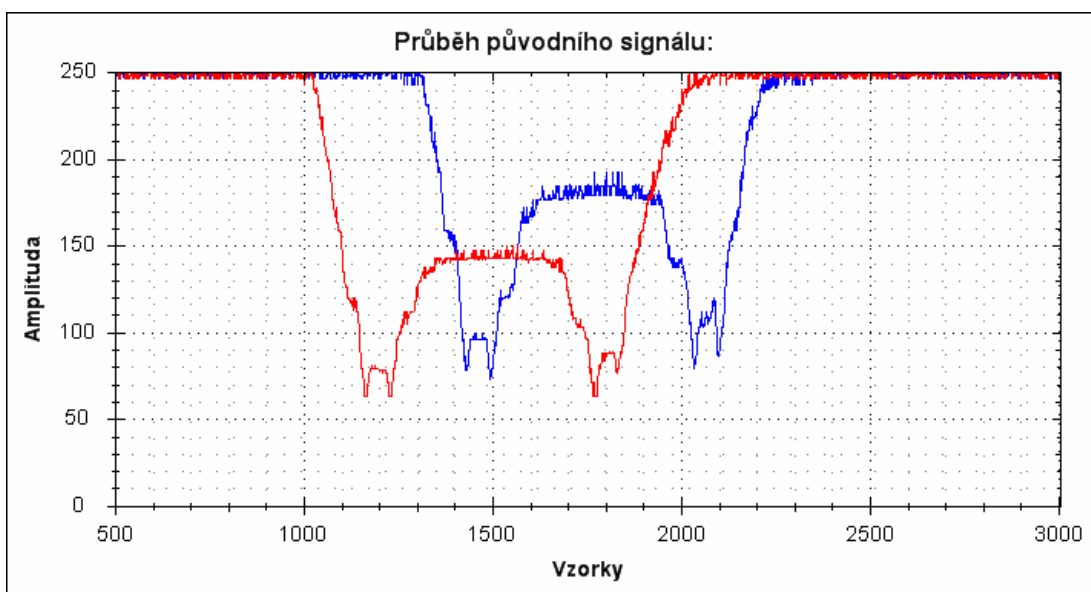
Z obrázků vykreslených výše je patrné, že homogenní objekt vytvořil na obou senzorech průběhy, které byli celistvé a tedy snadno použitelné pro určování posunutí objektu. V reálném případě však nejsou dopravní prostředky ideální homogenní objekty. Pro určení aplikovatelnosti senzorů a metody je tedy třeba otestovat senzory měřením na reálném objektu. Tímto se zabývá následující odstavec.

### 3.1.3. Sledování nehomogenního objektu dvěma senzory.

Z rozboru předchozích kapitol bylo rozhodnuto, že bude pro osazení senzorů navrhovaného zařízení využito fototranzistorů. V této podkapitole jsou ukázány průběhy nehomogenních objektů, které byly zachyceny pomocí fototranzistorů.

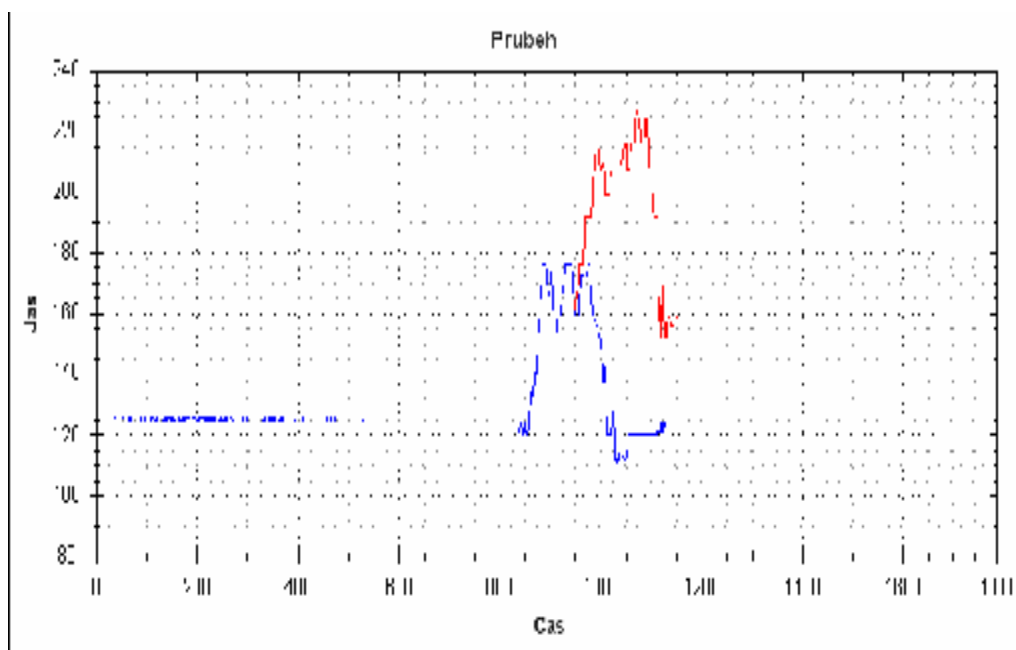
Na obrázku Obr.: 3.10 je zachycen automobil, který byl sledován dvěma fototranzistory, které byly upraveny podle kapitoly 2. Z průběhů je patrné, že se uplatnil vliv různého ozáření snímačů v klidovém stavu. Projíždějící vozidlo způsobilo úbytek záření dopadajícího na snímače. Modrý průběh zachycuje data ze senzoru, který je umístěn vlevo a červený průběh zobrazuje data ze senzoru, který je vpravo, tímto lze určit směr, ze kterého vozidlo jelo. Senzory byly vzájemně posunuty o jeden metr. Snímání signálu bylo provedeno tak, že byl použit jeden A/D

převodník, který přepínal dva kanály. Na průběhu je zaznamenán signál vytvořený osobním vozidlem, kde snímače byly zaměřeny na pneumatiky dopravního prostředku. Na každém průběhu jsou patrné dva extrémy způsobené jedním a druhým kolem. Zuby v průběhu v místě extrémů minim jsou způsobeny pneumatikami vozidla, které měly černou barvu. Prohlubeň mezi dvěma bližšími extrémy je způsobena šedým diskem. Prohlubeň mezi vzdálenými extrémy je způsobena podvozkem, který není tažen po vozovce, ale je v určité výšce nad vozovkou, tato výška má vliv na velikost prohlubně. Z dat je patrné, že průběhy, ač nejsou ideální jako v případě homogenního objektu, mají podobný charakter a lze tedy konstatovat, že průběhy jsou k určení rychlosti vyhovující.



*Obr.: 3.10 – Nehomogenní objekt zachycený dvěma senzory, tmavý.*

Na obrázku *Obr.: 3.11* je zaznamenán pro změnu průběh, kdy byly senzory vlivem projíždějícího vozidla ozářeny intenzivněji. Zatím co v minulém případě byl pokles intenzity jasu způsoben objektem, který odrazil menší energii, než-li byla energie odražená prostředím, v tomto případě se jednalo o objekt, který odrazil více energie, než-li odrazilo prostředí. Při porovnání průběhů je patrné, že mezi časy příjezdu jednotlivých vozidel došlo ke změně intenzity ozáření pozadí, to je problematika pro vyhodnocení, kterou je třeba řešit, a to z úhlu pohledu prudkého zesílení/zeslabení intenzity, například mrakem, kdy dojde ke skokové změně jasu, tak z úhlu pohledu, kdy se intenzita mění pozvolna, například pohybem slunce po obloze. Problematikou vlivu změny jasu na určení rychlosti se zabývá kapitola 7, kde jsou provedena i příslušná měření.



*Obr.: 3.11 – Nehomogenní objekt zachycený dvěma senzory, světlý.*

Další vybrané průběhy zaznamenané pomocí dvou fototranzistorů jsou umístěny v Příloha B, *Obr.: B.01*. Tyto průběhy byly pořízeny v průběhu měření rychlosti vozidla, které se pohybovalo známou rychlostí, výsledky těchto měření jsou rozebrány v kapitole 7.

## **4. Návrh, konstrukce a oživení zařízení pro získávání dat.**

Možností jak získávat a zpracovávat data je mnoho, v této práci byl vybrán koncept, kdy jsou data získaná ze senzorů přenesena do počítače pomocí USB a v PC vyhodnocena. Další možností by bylo například zařízení, které by provádělo vyhodnocení přímo v mikroprocesoru, nebo hradlovém poli a výstupem by byla již zjištěná rychlost.

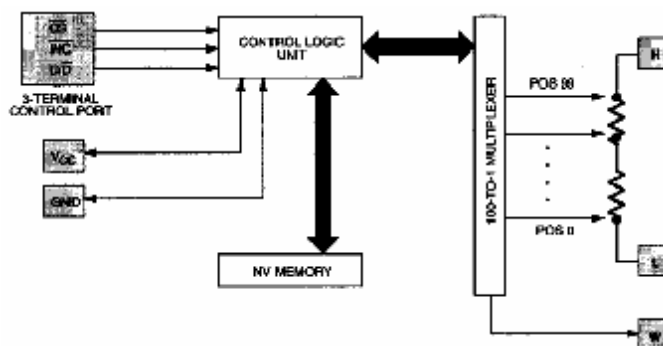
V této kapitole jsou popsány konstrukční možnosti zařízení pro získávání dat, princip získávání dat do počítače, návrh zařízení pro získávání dat, jeho firmware a přesnost navrženého řešení.

Pro navrhované zařízení byl v první kapitole vybrán systém úsekového měření rychlosti, bude tedy potřeba k zařízení připojit dva senzory. Ve třetí kapitole bylo rozhodnuto, že použitými snímači budou děliče rezistorů s fototranzistory. Pro získávání byl vybrán systém pasivní, to znamená, že nebudou snímače ozařovány zdrojem ze zařízení, ale budou odkázány na okolní emise. Měření prokázala různost intenzit emitovaného záření okolními zdroji, je tedy nutno korigovat nastavení děliče v závislosti na intenzitě emisí optického záření v prostředí v němž probíhá měření. Problematikou nastavitelnosti děliče se zabývá podkapitola 4.1. Podkapitola 4.2 se zabývá vlastním návrhem a konstrukcí zařízení a kapitola 4.3 se zabývá přesností určení rychlosti v závislosti na datech získaných ze zařízení.

### **4.1. Možnosti snímání dat.**

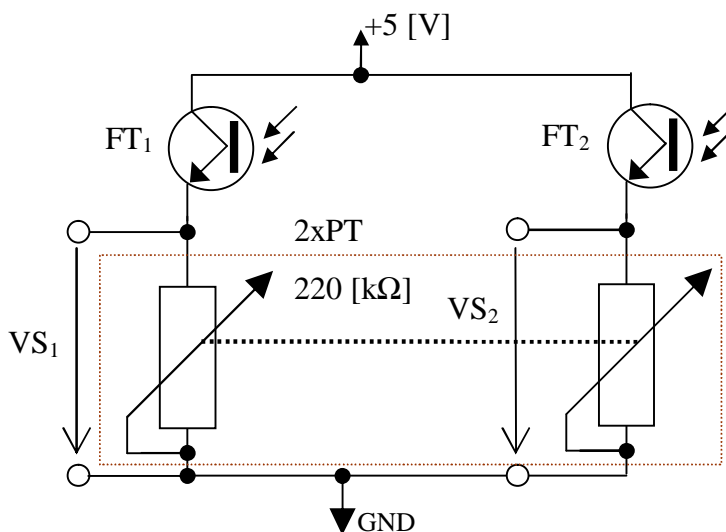
Zařízení lze navrhnout vícero způsoby, v případě senzorů je možné vytvořit měřený signál pomocí odporového děliče, nebo využít pro tvorbu výstupního signálu ze senzorů zesilovač. V případě odporového děliče, lze využít rezistor, ale proud tekoucí fototranzistorem má rozsah od jednoho nanoampéru až po proud veliký stovky mikroampér, tento vysoký rozsah proudů mezi plně ozářeným a plně zastíněným stavem je nutno kompenzovat, jelikož intenzita prostředí může vyvolávat proud tekoucí fototranzistorem z celého intervalu a změny vlivem zastínění objektu nebývají vysoké. Z toho vyplývá, že hodnota odporu by měla být proměnná, jednou

možností je využít digitálních potenciometrů například DS1804, jehož funkční zapojení je na obrázku *Obr.: 4.01*.



*Obr.: 4.01 – Schéma digitálního potenciometru.*

Nevýhodou digitálních potenciometrů je, že se běžně vyrábějí pouze do hodnoty 100 [k $\Omega$ ]. Pro vyšší odporový rozsah je tedy nutno využít při konstrukci zařízení klasické otočné potenciometry. Z důvodů stejného nastavení proudu na jednotlivých snímačích byl vybrán pro aplikaci do výsledného zařízení dvojitý otočný potenciometr. Elektrické schéma snímačů použitých v konstruovaném zařízení je zakresleno na obrázku *Obr.: 4.02*. Snímače jsou napájeny ze zařízení napětím 5 [V], FT<sub>1</sub> a FT<sub>2</sub> jsou fototranzistory a v hnědě orámované oblasti je zakresleno zapojení dvojitého potenciometru o hodnotě 2x220 [k $\Omega$ ]. Výstup jsou na A/D převodník vyvedené úbytky napětí na potenciometru, které jsou označeny jako VS<sub>1</sub> a VS<sub>2</sub>. Mezi potenciometr a zem se umísťují rezistory omezující maximální proud v případě plného otevření fototranzistoru a nastavení potenciometru na 0 [ $\Omega$ ].



*Obr.: 4.02 – Použité zapojení senzorů.*

## 4.2. Návrh a konstrukce zařízení pro získávání dat.

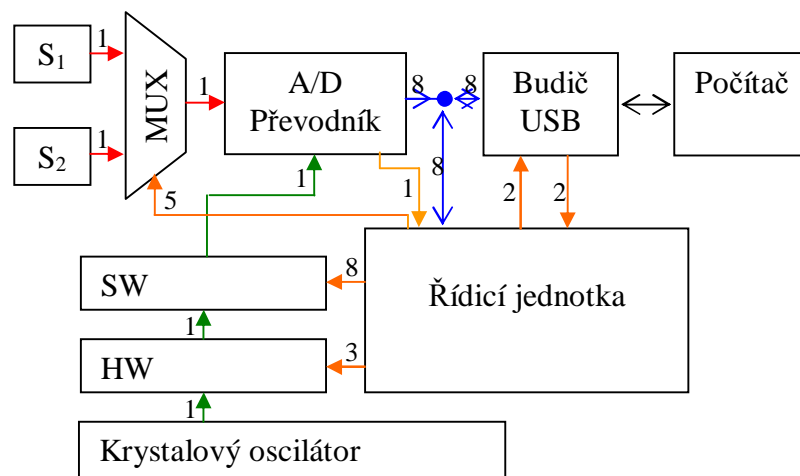
V této podkapitole je popsán principiální a fyzický návrh zařízení pro získávání dat ze senzorů a firmware, který je nahrán v mikroprocesoru.

### 4.2.1. Princip zařízení pro získávání dat.

Na obrázku *Obr.: 4.03* je zakreslen princip zařízení pro získávání dat ze senzorů, ve schématu jsou zakresleny pouze datové vodiče, napájecí vodiče zde zakresleny nejsou. Sensory jsou označeny jako  $S_1$  a  $S_2$  a jsou přivedeny na multiplex, který je řízen z řídicí jednotky, použitý multiplexer v mikroprocesoru má 8 kanálů a lze k nim přidat i zesilovače, proto je multiplex řízen pěti vodiči, zařízení však využívá pouze dva kanály. Analogový signál ze senzorů pokračuje přes multiplexer až k A/D převodníku. Vodiče vedoucí analogový signál jsou vykresleny červenou barvou. A/D převodník je buzen krystalovým oscilátorem na kmitočku 16 [MHz], signál z oscilátoru lze dělit HW předděličkou a SW předděličkou, spouštěcí signál pro předděličku je generován přerušením při přetečení osmi bitového čítače. Výstupem čítače při HW předděličce 1 je signál generující spouštěcí pulz každých 16 [ $\mu$ s], který je generován přerušením při přetečení čítače. Z HW předděličky je přiveden signál spouštějící A/D převod na A/D převodník přes SW předděličku, která určuje spouštějící signál, jenž bude přiveden na A/D převodník. SW předdělička je řízena přes USB z počítače a nabývá hodnot od jedné do devíti a v mikroprocesoru je násobena hodnotou 2. Pro SW předděličku nastavenou hodnotou 1 je start převodu generován každých 32 [ $\mu$ s], není to však čas mezi vzorky z jednoho senzoru, ale polovina času mezi vzorky, jelikož jeden A/D převodník převádí signál ve střídavém režimu mezi dvěma senzory, tím jsou signály vzájemně posunuty o  $\Delta t/2$  viz obrázek *Obr.: 5.05*. Signál budící začátek A/D převodu je zakreslen zelenou barvou. Po dokončení A/D převodu je zaslána o dokončení informace řídicí jednotce, která vyzvedne data z A/D převodu. Data z A/D převodu jsou odeslána do PC pouze pro 1000 vzorků na každém kanálu, poté se systém přepne do stavu vyčkávání na událost. Je-li při převodu překročena prahová hodnota 5, která se porovnává na průměru z průměrné hodnoty a aktuálního vzorku, jsou data opět odesílána do PC a to v počtu 9000 vzorků pro každý kanál. Při vypnutých předděličkách je doba mezi jednotlivými vzorky z jednoho snímače 64 [ $\mu$ s]. Datová sběrnice je zakreslena



modrou barvou a oranžovou barvou jsou zakresleny řídicí signály. Signály mezi budičem USB a počítačem jsou zakresleny černě. Čísla u propojů udávají, kolik má daná sběrnice vodičů. A/D převodník je poháněn ze stejného oscilátoru jako signál spouštějící A/D převod. HW předdělička, která je jiná než-li v případě řízení spouštění převodu, však upravuje kmitočet 16 [MHz] na kmitočet 4 [MHz].



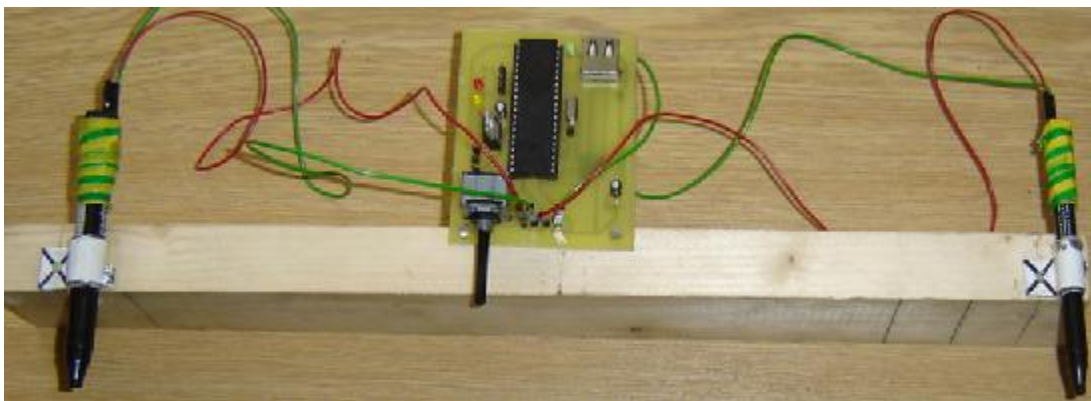
Obr.: 4.03 – Princip získávání dat.

SW předdělička je realizována jako blokáce pulzu, který spouští A/D převod. To je provedeno tak, že se při přerušení čítače vyhodnotí vždy stejná podmínka, tato akce trvá vždy stejný časový interval, proto lze použít SW předděličku a zároveň dodržet podmínku konstantního odstupu vzorků.

#### 4.2.2. Fyzický návrh zařízení pro získávání dat.

Při návrhu zařízení bylo rozhodnuto, že bude zařízení obsahovat dělič pro senzor, plošný spoj je tedy vybaven dvojitým potenciometrem. A/D převodník byl využit integrovaný v mikroprocesoru ATmega16. Schéma zapojení zařízení je umístěno na obrázku v PŘÍLOHA C, Obr.: C.02. Rozkreslené zapojení senzorů je na obrázku Obr.: 4.02. Zelená dioda je na desce umístěna z důvodu indikace napájení, červená dioda signalizuje pohotovostní režim, kdy zařízení čeká na povel k měření. Žlutá dioda signalizuje, že proběhl příkaz k zahájení měření a zařízení měří a odesílá data do počítače. Zařízení je napájeno přes tlumivku z USB. Pro jednodušší ladění firmware jsou na desce vyvedeny piny pro JTAG. Návrh plošného spoje umístěn v PŘÍLOHA C, Obr.: C.01. Zkonstruované zařízení pro získávání dat je vyobrazeno na obrázku Obr.: 4.04. Vzdálenost senzorů je 40 [cm] a jsou umístěny v otočných

držácích, to umožňuje v případě nedostatečného ozáření scény senzory upravit tak, aby se zaměřili na světla projíždějícího vozidla. Referenční napětí pro převodník je zajištěno stabilizátorem.

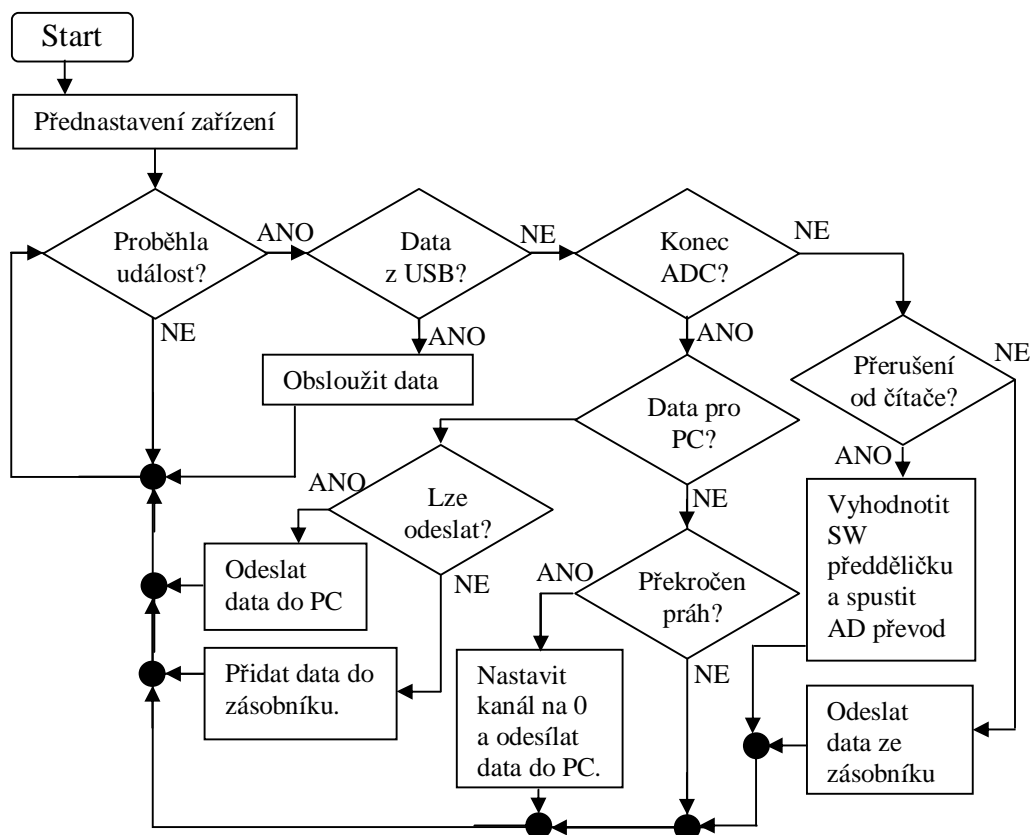


*Obr.: 4.04 – Obrázek zařízení pro získávání dat.*

#### **4.2.3. Firmware pro navržený hardware.**

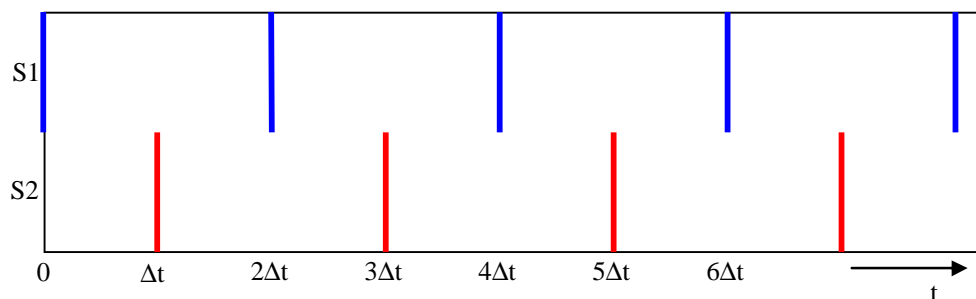
Na obrázku *Obr.: 4.05* je zaznamenán hlavní algoritmus pro firmware, po spuštění napájení obvodu se v prvním kroku nastaví piny pro komunikaci s USB, piny pro ovládání informačních diod a také se přednastaví A/D převodník. Po přednastavení se čeká na událost, pokud nastane událost, určí se typ události. Jedná-li se o příjem dat z USB, vyhodnotí se, zda se jedná o nastavení SW předděličky, zahájení měření, nebo o ukončení měření. Pokud se jedná o nastavení SW předděličky, nastaví se proměnná určující dělicí poměr. Při příjmu zahájení měření se nastaví čítač, který bude při přetečení generovat impulzy pro SW předděličku a nastaví se kanál A/D převodníku na první kanál a rozsvítí se dioda signalizující probíhající měření. Pokud se jedná o ukončení měření, je zastaven čítač, který byl nastaven při zahájení měření a rozsvítí se pohotovostní dioda. Při přerušení vyvolaném ukončením A/D převodu se vyhodnotí, zda se budou data odesílat do PC, pokud ano, odešlou se data do USB, dále se nastaví v multiplexu pro A/D převodník druhý kanál. Nejsou-li data určena k přenosu do PC, porovná se, zda byl překročen práh pro pokračování měření a v případě, že byl práh překročen, nastaví se kanál implicitně na kanál 0. Dalším zdrojem přerušení je přetečení čítače, při tomto přerušení se řídicí proměnná zvýší o jedna a porovná se s dělicím poměrem SW předděličky. Je-li dosažena rovnost, spustí se A/D převod a vynuluje se řídicí proměnná. Pokud není dosaženo rovnosti, tak se přerušení ukončí bez žádných

dalších úprav a čeká se na přerušení, které dosáhne rovnosti řídicí proměnné a dělicí proměnné SW předděličky měřícího zařízení.



Obr.: 4.05 – Hlavní algoritmus firmware.

Na obrázku Obr.: 4.06 je zaznamenán průběh vzorkování navrženým zařízením pro získávání dat, kde čas odebrání dat z prvního senzoru je znázorněn modře a čas odebrání vzorku ze druhého senzoru je znázorněn červeně. Čas  $\Delta t$  jsou spouštěcí impulzy z SW předděličky. Z obrázku je patrné, že frekvence vzorkování signálu je proti SW předděličce poloviční. To bylo popsáno při popisu principu zařízení pro získávání dat.



Obr.: 4.06 – Princip vzorkování signálů.

Pakety pro komunikaci mají velikost 8 bitů a přináší řídicí povely z počítače do měřicího zařízení, nebo data do počítače. Před zahájením měření je třeba nastavit SW předděličku. SW předdělička pracuje s dělicím poměrem z intervalu  $\langle 1, 9 \rangle$ , řídicí povel nese pouze informaci o dělicím poměru, tedy čísla od jedné do devíti, přijaté číslo se uloží do proměnné zajišťující funkci SW předděličky. Start povel, který zahajuje měření nese znak 'R' z anglického slova run (start) znak 'S', který by byl z českého výrazu start není použit pro zahájení měření, jelikož znak 'S' je využit pro signál ukončující měření, to je odvozeno od slova stop. Přenos dat do počítače je také přenášen pomocí 8mi bitů, kde liché bity nesou data z kanálu 0 a sudé bity nesou informaci z kanálu 1. Při vyčkávání se kanály střídají, ale data nejsou odesílána do počítače, aby bylo zajištěno rozlišení o která data jde, je po zjištění události nastaven kanál 0 a teprve výsledek následujícího převodu z kanálu 0 je odeslán do PC jako vzorek 1001.

#### **4.3. Rozbor přesnosti získané z dat dodaných zařízením.**

V podkapitole 1.3 byly popsány očekávané požadavky na přesnost měření. Přesnost měření je ovlivňována dvěma faktory, prvním z nich je vzdálenost snímačů, o kterou jsou od sebe posunuty. Čím větší vzájemná vzdálenost snímačů je, tím více vzorků se udělá mezi průběhy způsobenými projíždějícími vozidly na jednotlivých signálech a tím se snižuje chybový příspěvek při chybě v určení posunutí o jeden vzorek. Vzájemné vzdalování senzorů má nežádoucí efekt, kdy při příliš velké vzdálenosti senzorů může být v oblasti více vozidel a není reálně řešitelné jejich rozlišení. Další možností zvýšení přesnosti měření je zvýšení rychlosti vzorkování, tato varianta naráží na realizovatelnost, pro vysoké rychlosti převodu roste neúměrně cena převodníků. Vliv chyby posunutí o jeden vzorek v okolí rychlosti 50 [km/h] v závislosti na použité předděličce a vzájemné vzdálenosti senzorů je vypsán pro 9 nastavení v tabulce *Tab.: 4.01*. Druhý sloupec pro každou předděličku udává počet vzorků, o které musí být signály posunuty, aby byla rychlost zařízením měřeného dopravního prostředku 50 [km/h]. Podle zákona je rozptyl měření u policejních radarů při rychlosti do 100 [km/h] v rozmezí od -3 [km/h] po +3 [km/h] od skutečné rychlosti vozidla. Při rychlosti nad 100 [km/h] je přesnost policejního radaru v intervalu hodnot  $\langle -3\%, +3\% \rangle$  od skutečné rychlosti. Do chyby v tabulce není zanesena chyba vzniklá posunutím vzorkování patrná z obrázku *Obr.: 4.06*, která

zanáší k chybě určení ještě chybu o poloviční velikosti. Velikost takto zanesené chyby při rychlosti 150 [km/h] je 1,558 [km/h] při odstupu senzorů 1 [m] s SW předděličkou 4 a při rychlosti 90 [km/h] a vzdálenosti senzorů 1 [m] s SW předděličkou 4 tato chyba nepřesahuje rozptyl  $\pm 0,5705$  [km/h], lze tedy pokládat tuto chybu především u nižších hodnot SW předděličky za zanedbatelnou. Rychlost objektu se počítá podle vztahu (4.3.1), kde 3,6 je převod z [m/s] na [km/h],  $l$  je vzdálenost senzorů,  $PV$  je změřený počet vzorků,  $VT$  je vzorkovací čas zařízení a 2 ve vzorci reprezentuje přepínání kanálů převodníku. Vztah (4.3.2) udává přesnost na požadované rychlosti reprezentované počtem  $p$  vzorků, jedná se o odečtení dvou sousedních rychlostí, jelikož je podstatnější méně příznivý případ a přesnost s počtem vzorků prudce stoupá, je vybrán rozdíl mezi rychlostí žádanou a vyšší.

Vztah pro výpočet rychlosti:

$$v[km/h] = \frac{3,6 * l}{PV * VT * 2} \quad (4.3.1)$$

Vztah pro výpočet přesnosti při chybném určení o jeden vzorek:

$$\Delta v[km/h] = v_{p-1}[km/h] - v_p[km/h] \quad (4.3.2)$$

Tab.: 4.01 – Přesnost určení pro vybrané nastavení při rychlosti 50 [km/h].

Vzdálenost Senzorů	SW předdělička					
	1		2		4	
0,4 [m]	0,221239	228	0,444453	115	1,174812	59
1 [m]	0,088889	565	0,177463	284	0,356193	143
2 [m]	0,044405	1128	0,088889	565	0,177463	284

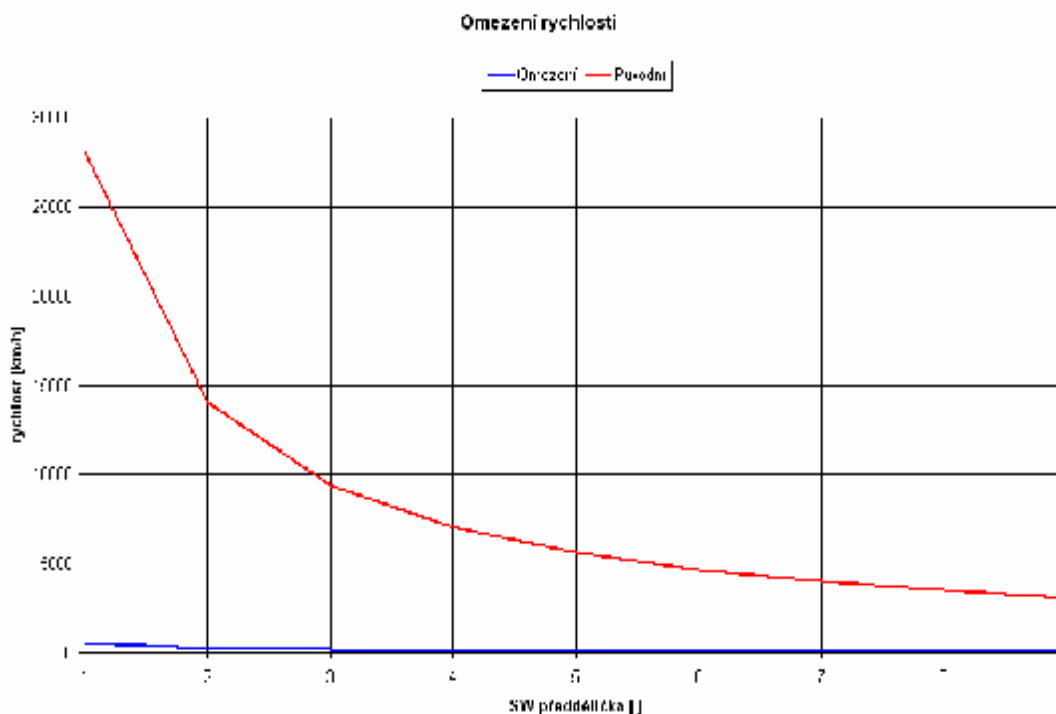
Jelikož je u zařízení požadavek na měření rychlosti dopravních prostředků, není nutné vyhodnocovat extrémní rychlosti, čímž se zrychlí vyhodnocení rychlosti, navíc ořezání maximální měřené rychlosti odstraní chybu měření vznikající vlivem přizpůsobené filtrace, která vytváří špičky v místě vzájemných přeslechů mezi kanály A/D převodníku. Tento jev je bude popsán v kapitole 6. V tabulce Tab.: 4.02 jsou vypsány rychlosti odpovídající jednotlivým hodnotám SW předděliček a vzájemné vzdálenosti senzorů 1 [m], kde v prvním řádku je maximální hodnota rychlosti po ořezání extrémních rychlostí. Ve druhém řádku jsou vypsány rychlosti vozidla, pokud bylo vzájemné posunutí signálů o 3000 vzorků. Z tabulky je patrné, že pokud se použije SW předdělička 4, lze omezit hledání vzájemného posunutí signálů na interval hodnot  $\langle 50, 3000 \rangle$  a na interval  $\langle -3000, 50 \rangle$  a zařízení bude

vyhodnocovat rychlosti od rychlosti 2,34 [km/h] po rychlost 140,63 [km/h]. Dojde-li k překročení tohoto intervalu, bude hledaná hodnota nahrazena mezními hodnotami. V případě měření rychlosti dopravních prostředků nebývá potřeba měřit rychlosti pod 10 [km/h], a pokud je vznesen takový požadavek, lze aplikovat SW předdělku, která umožní měřit nižší rychlosti, ale omezí se tím maximální změřitelné rychlosti. Podmínky nejvyšší sankce používané v ČR za překročení rychlosti je překročení rychlosti v obci o více než 40 [km/h] a mimo obec o více než 50 [km/h].

Tab.: 4.02 – Výpis rychlostí pro vybrané posunutí.

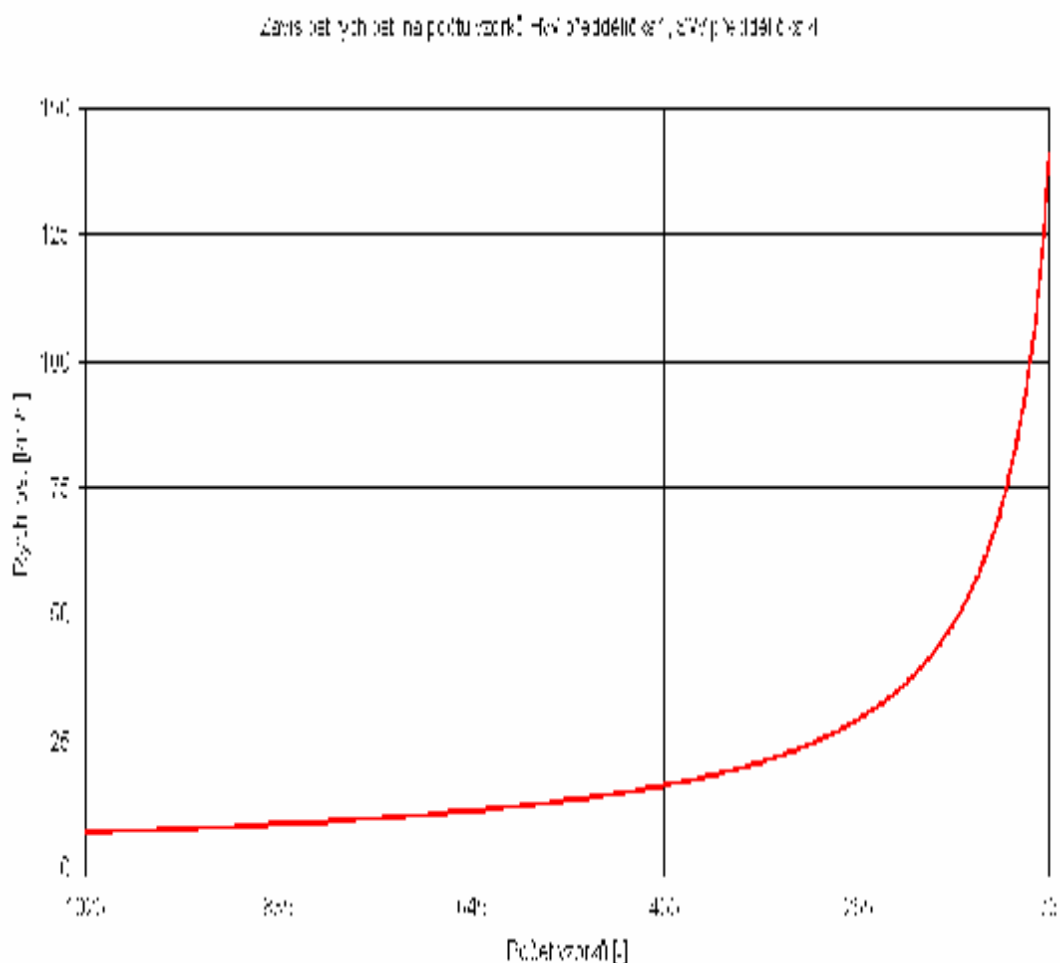
Počet Bodů	SW předdělka								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	562,50	281,25	187,50	140,63	112,50	93,75	80,36	70,31	62,50
3000	9,38	4,69	3,13	2,34	1,88	1,56	1,34	1,17	1,04

Na obrázku *Obr.: 4.07* je zaznamenán odstup rychlostí mezi rychlostí posunutí o jeden vzorek a rychlostí při posunutí o 50 vzorků, pro vzdálenost senzorů 1 [m]. Toto snížení maximální změřitelné rychlosti bylo provedeno pro omezení extrémních rychlostí a odstranění vlivu přizpůsobené filtrace. Určení rychlostí pro nízké počty vzorků má velkou chybovost jak při chybném určení o jeden vzorek, tak při samotném zaokrouhlení.



Obr.: 4.07 – Odstup maximální změřitelné rychlosti před a po úpravě rozsahu.

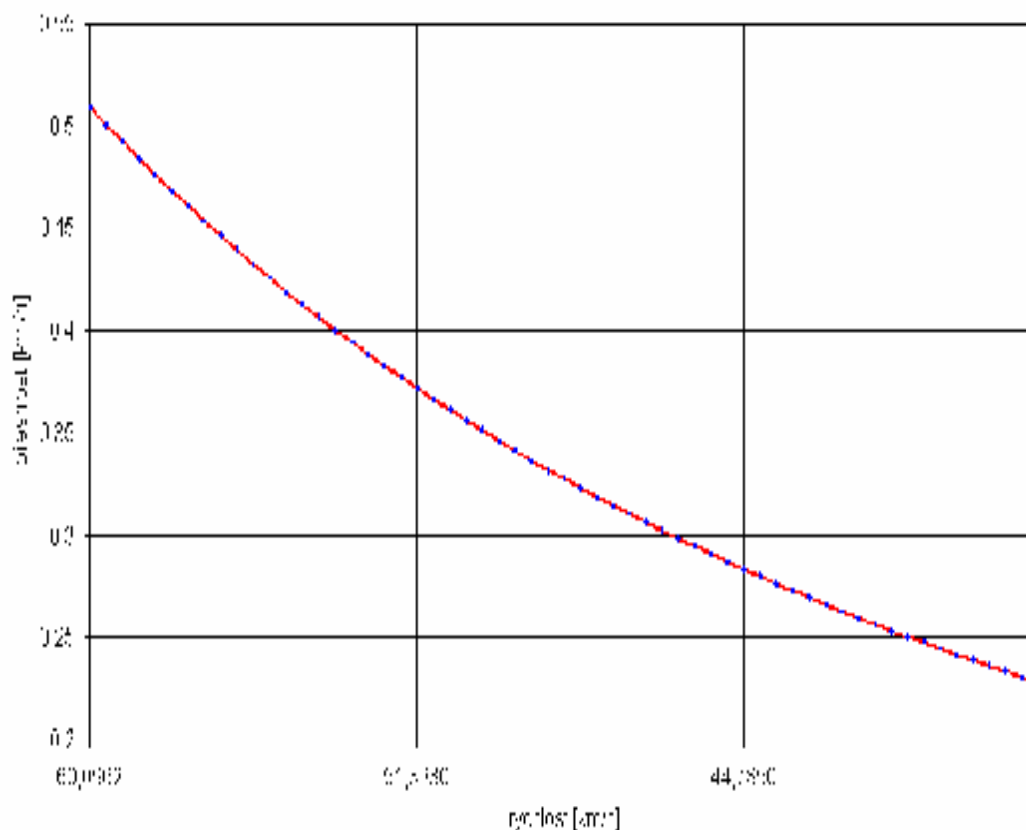
Na obrázku *Obr.: 4.08* je graf rychlostí přiřazovaných různým počtům vzorků pro SW předděličku s hodnotou 4 při vzdálenosti senzorů 1 [m]. Z průběhu je patrné, že přesnost měření v okolí rychlosti 50 [km/h] je přesnost pro toto nastavení udána velkým počtem vzorků. Průběh má exponenciální charakter a je z něho patrné, jak rozložení rychlosti na nízkých rychlostech houstne.



*Obr.: 4.08 – Přesnost rychlosti pro SW předděličku 4.*

Obrázek *Obr.: 4.09* znázorňuje chybu určení rychlosti při chybě určení posunutí o jeden vzorek v okolí rychlosti 50 [km/h], nastavení zařízení pro graf bylo shodné s předchozím případem. Z průběhu je patrné, že chyba určení rychlosti v okolí rychlosti 50 [km/h] se pohybuje s rozptylem, který není konstantní, ale pohybuje se do hodnoty 0,5 [km/h], tím je splněn požadavek přesnosti v okolí rychlosti 50 [km/h], který byl vznesen v kapitole 1.3. Data z analýzy zabývající se problematikou přesnosti určení rychlosti, tabulky a příslušné grafy jsou umístěny na doprovodném CD v souboru „simulace presnosti.xls“.

Závislost přesnosti měření rychlosti v závislosti na rychlosti vozidla



Obr.: 4.09 – Přesnost upraveného zařízení pro SW předděličku 4.

Z rozborů provedených výše vyplývá, že zařízení je schopné dostat potřebné přesnosti, která byla vznesena v teoretické části práce. Dalším poznatkem teoretických rozborů provedených k navrženému zařízení vyplývá, že přesnost lze korigovat vzájemnou vzdáleností senzorů. Pokud by tato varianta byla nedostačující, bylo by již třeba navrhnout nový HW, který by již musel být vybaven externím A/D převodníkem a pro zajištění bezztrátovosti přenosu dat do PC by bylo vhodné nové zařízení vybavit pamětí, do které by byli během měření umístěny data a teprve po skončení měření by se data přeposílala do PC. V současném zařízení byla zlepšena přesnost zavedením zásobníku implementovaného do mikroprocesoru, za účelem zvýšení jeho kapacity byla ATmega16 nahrazena mikroprocesorem ATmega32, který má dvojnásobnou paměť pro data. Algoritmus na obrázku Obr.: 4.05 již reprezentuje finální verzi firmware, který je nahrán v mikroprocesoru.



## 5. Signály.

Tato kapitola se zabývá vlastnostmi signálů, zpracováním umělých signálů a statistickým porovnáním metod, které se zabývají vyhodnocením signálů. Poznatky z této kapitoly budou implementovány do programu, který bude vyhodnocovat data získaná zařízením navrženým v předchozí kapitole.

Dle literatury [5], [2] a [3]. Signály jsou charakterizovány různými vlastnostmi, mezi které patří střední hodnota, výkon signálu, energie signálu, fluktuace signálu (odchylka od střední hodnoty), minimální vzorkovací kmitočet a jiné. Posunutí dvou signálů v čase udává vzájemná korelační funkce. Pro účely této práce byly vybrány autokorelace, vzájemná korelace signálů, metoda absolutní hodnoty nejmenších odchylek a metoda nejmenších čtverců.

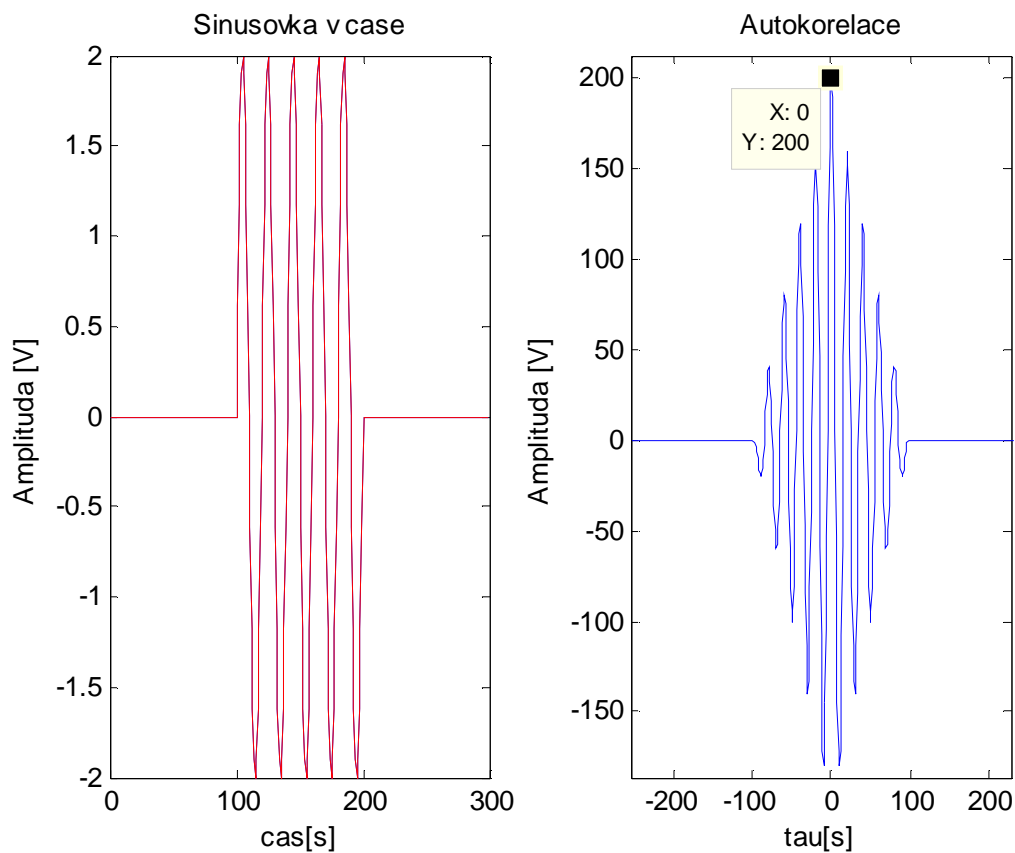
### 5.1. Autokorelační funkce.

Diskrétní autokorelační funkce se vypočítá podle vztahu (5.1.1) a v této práci je využita k výpočtu nulového bodu. Nulový bod je vzorek v signálu, ve kterém se vyskytuje jeden ze dvou hledaných extrémů a to extrém ve vzorku, kdy se překrývá signál sám sebou. Znak „m” ve vztahu udává o kolik vzorků jsou pro počítaný bod signály posunuty. Suma udává součet absolutních hodnot součinu signálu a jeho kopie posunuté o „m“ vzorků.

Vztah pro výpočet autokorelace v diskretním čase:

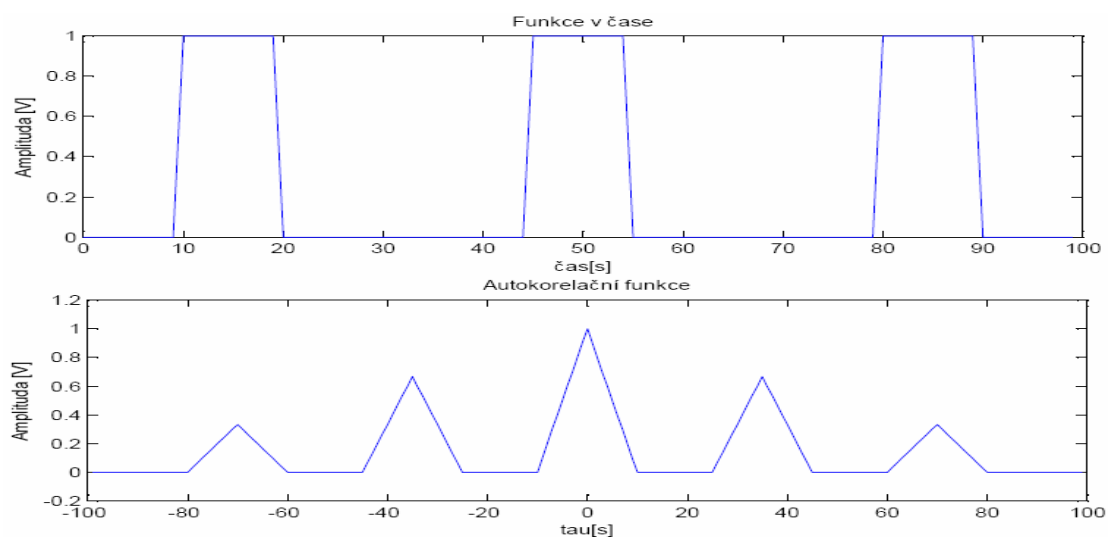
$$s_m = \sum_{i=-N}^N (u_i \cdot u_{i+m}^*) \quad (5.1.1)$$

Na obrázku *Obr.: 5.01* je v první části zobrazena předloha sinusového signálu o délce pěti period umístěných v nulovém signálu a ve druhé části je zobrazena autokorelace tohoto signálu. Zdrojový kód pro matlab je umístěn v příloze PŘÍLOHA D, *Př.: D.01*. Na obrázku je patrný extrém v bodě 0, který nabývá hodnoty 200, tato hodnota je dána dvěma faktory. Prvním faktorem je velikost signálu a druhým faktorem je počet vzorků, které signál popisují, kdyby byla vzorkovací frekvence dvojnásobná, byl by dvojnásobný i extrém.



Obr.: 5.01 – Autokorelace sinusového signálu o pěti periodách.

Na obrázku *Obr.: 5.02* jsou zobrazeny tři obdélníkové pulsy a jejich autokorelace. Jsou-li přidávány pulsy, blíží se autokorelační průběhy postranní tvarem a velikostí průběhu pro  $\tau = 0$ . Z toho vyplývá, že pokud by byla pulzní předloha periodická, nabyl by i výstupní signál periodický charakter. Zdrojový kód pro matlab je umístěn v PŘÍLOHA D, *Př.: D.02*.



Obr.: 5.02 – Autokorelace tří obdélníkových pulsů.

## 5.2. Korelační funkce.

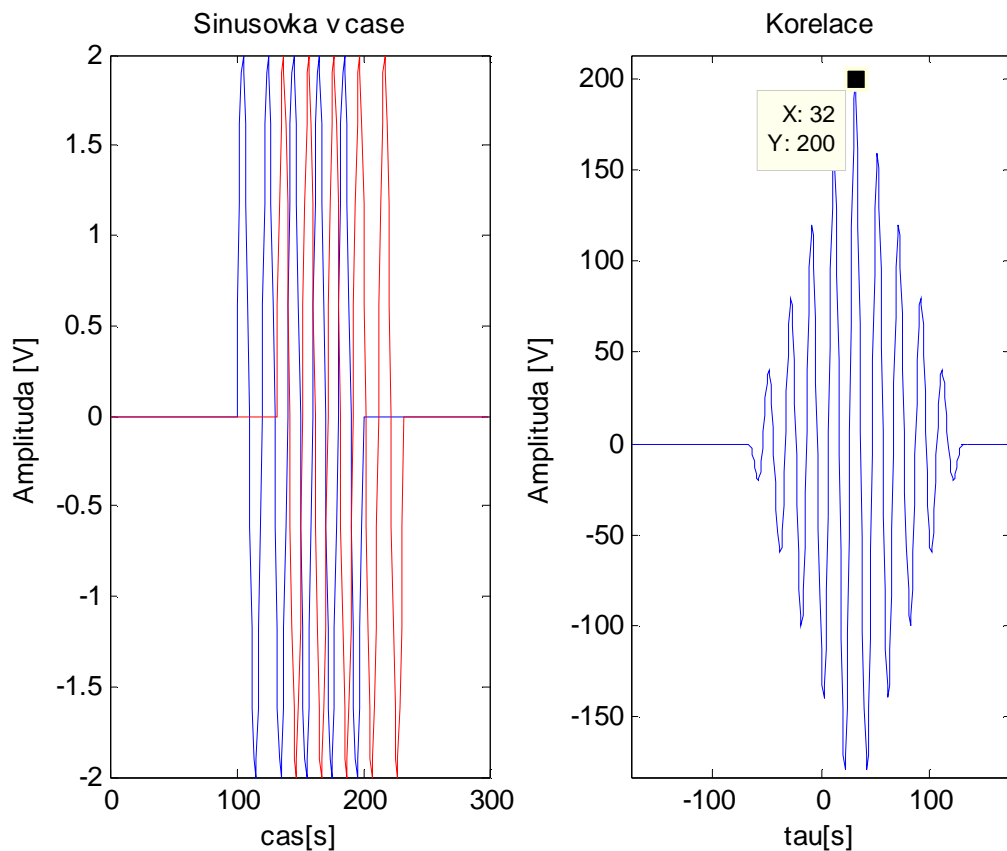
Vztah (5.2.1) popisuje výpočet absolutní hodnoty korelační funkce. V této práci se využívá korelační funkce ke zjištění posunutí signálu z jednoho senzoru od signálu ze senzoru druhého. Z rozdílů extrému korelační funkce a extrému auto-korelační funkce se při znalosti vzálenosti senzorů a času mezi jednotlivými vzorky počítá výsledná rychlost sledovaného dopravního prostředku. Vztah je podobný vztahu pro výpočet autokorelační funkce, rozdíl je však v tom, že se nepoužívá jeden signál  $u$ , ale signály  $u$  a  $v$ .

Vztah pro výpočet korelace v diskretním čase:

$$s_m = \sum_{i=-N}^N (u_i \cdot v_{i+m}^*) \quad (5.2.1)$$

Je-li vzájemný výkon signálů nulový, signály jsou ortogonální. Ortogonalitu pak obvykle spojujeme s představou jejich nepodobnosti. Vzájemný výkon je pak veličinou, podle níž lze soudit míru podobnosti obou signálů.

Simulace průběhu původního signálu, signálu posunutého o 32 vzorků a vzájemné korelace těchto signálů jsou umístěny v obrázku *Obr.: 5.03*. Kde první signál vykreslený modrou je původní signál a červeně vykreslený je druhý signál, který je od prvního signálu posunut o 32 vzorků. Úspěšné nasazení korelační funkce předpokládá, že signál původní a signál zpožděný jsou podobné. V pravé části je průběh korelační funkce signálů. Jelikož signály byly totožné, ale zpožděné je hodnota extrému shodná s extrémem autokorelační funkce, pouze je extrém posunutý o příslušný počet vzorků. Zdrojový kód pro matlab je umístěn v *PŘÍLOHA D, Př.: D.03*.



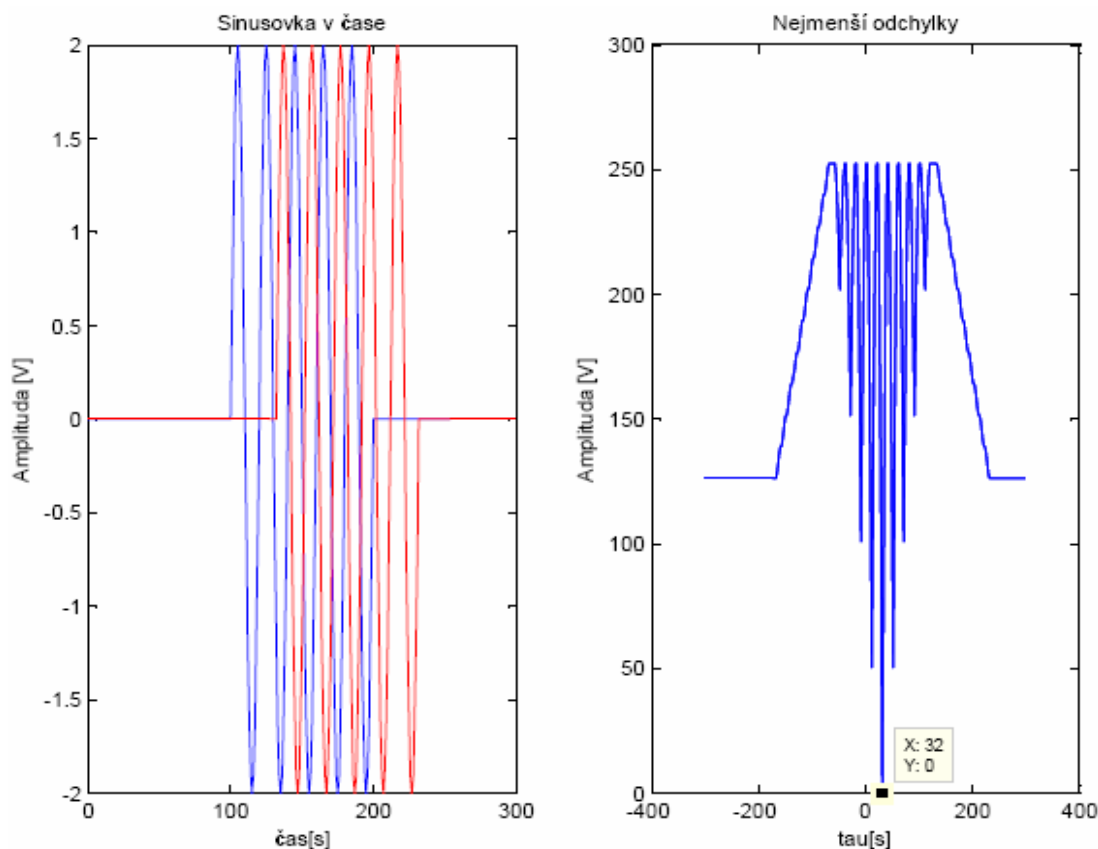
Obr.: 5.03 – Korelace sinusových signálů o pěti periodách.

### 5.3. Porovnání signálů metodou nejmenších odchylek.

Pokud je signál posunutím signálu jiného, lze určit posunutí metodou nejmenších odchylek, kdy se signál posouvá jako při korelaci, ale na rozdíl od korelace se od sebe signály odečítají a hledá se posunutí, při němž je suma absolutní hodnoty rozdílů rovna nule, pokud není signál identický, hledá se suma odchylek nejbližší k nule. Vztah (5.3.1) udává výpočet  $m$ -tého prvku signálu vzniklého sumou odchylek signálů  $v$  a  $u$  při posunutí referenčního signálu  $v$  o  $m$  vzorků.  $N$  je počet vzorků signálu. Výsledný průběh signálu je posloupnost součtů odchylek pro jednotlivá  $m$ , kde  $m$  nabývá hodnot z intervalu  $\langle -N, N \rangle$ . Na obrázku Obr.: 5.04 je zaznamenán signál zpracovaný metodou nejmenších odchylek, kde replika byla posunuta o 32 vzorků, metodou nejmenších odchylek bylo posunutí správně nalezeno, zdrojový kód pro matlab je v PŘÍLOHA D, Př.: D.04.

Vztah pro výpočet sumy odchylek vzájemně posunutých signálů:

$$s_m = \sum_{i=-N}^N |u_i - v_{i+m}| \quad (5.3.1)$$



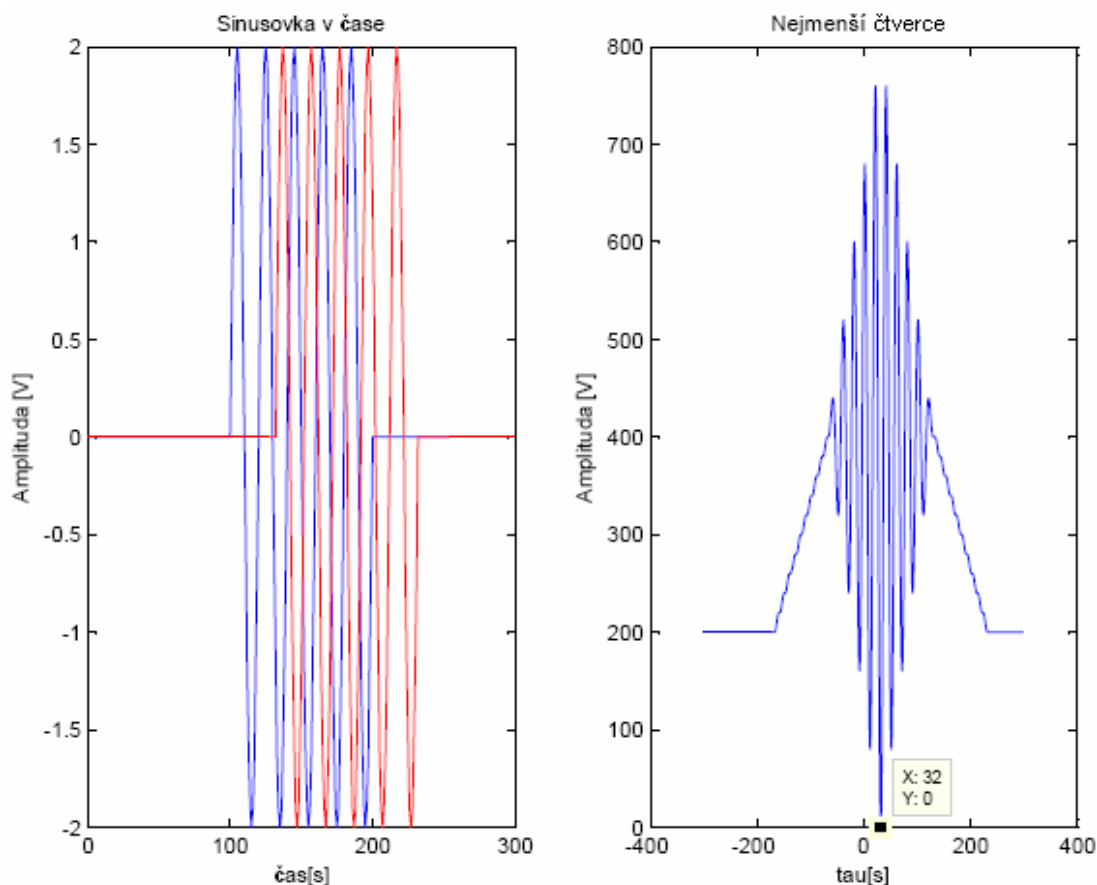
Obr.: 5.04 – Signál a zjištění jeho posunutí metodou nejmenších odchylek.

#### 5.4. Porovnání signálů metodou nejmenších čtverců.

Úpravou metody nejmenších odchylek vzniká metoda nejmenších čtverců, kde se místo absolutních hodnot odchylek sčítají jejich kvadráty. Vzorec pro tento výpočet je (5.4.1). Na obrázku Obr.: 5.05 je vykreslen signál vzniklý aplikací metody nejmenších čtverců na signál a jeho repliku posunutou o 32 vzorků, z obrázku jsou patrné rozdíly v průběhu proti metodě nejmenších odchylek, určení posunutí je však pro obě metody shodné. Pro toto vykreslení byl modifikován program pro metodu nejmenších odchylek, který je umístěn v PŘÍLOHA D, Př.: D.04. kde byl modifikován řádek pro výpočet signálu, a to tak, že příkaz abs byl nahrazen druhou mocninou viz. vztah umístěný níže.

Vztah pro výpočet sumy kvadrátů odchylek vzájemně posunutých signálů:

$$s_m = \sum_{i=-N}^N (u_i - v_{i+m})^2 \quad (5.4.1)$$



Obr.: 5.05 – Signál a zjištění jeho posunutí metodou nejmenších čtverců.

## 5.5. Vliv šumu na vyhodnocení signálu.

V reálném světě však signály nejsou ideální, jsou utlumené a to způsobuje ztrátu výkonu, ale hlavně jsou zatížené šumem, a pokud je odstup signálu od šumu nedostatečný, pak se požadovaný signál může v šumu ztratit. Navíc zpracováním signálu se zpracovává i přidaný šum a další šum se přidá při zpracování. Rozlišuje se více druhů šumů, které lze více či méně úspěšně odfiltrvat. Pokud je signál změřená fyzikální veličina, převedením analogového signálu na digitální vzniká tak zvaný kvantizační šum, který je dán počtem bitů použitého A/D převodníku, tento šum bude podrobněji rozebrán v kapitole A/D převodníky. Dalším významným šumem je Gaussovský bílý šum, který je šumem prostředí a v neposlední řadě je třeba zohlednit šum měřicího aparátu, kde každý zesilovací stupeň při zesilování signálu přidá šum a

stávající šum zesílí, proto je nutné, aby na začátku řetězce byl nízkošumový zesilovač, který přidá nízkou hodnotu šumu, která se dále zesiluje. V případě radiolokace a jiných podobných aplikacích je znám vyslaný signál a ten se poté použije pro zvýšení odstupů signál šum pomocí takzvané přizpůsobené filtrace, jedná se o korelaci přijatého signálu se signálem vyslaným. Šum zatěžující signál může nabývat různých rozložení, pro bílý šum je typické normální rozdělení pravděpodobnosti, zatím co pro kvantizační šum je běžné rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti.

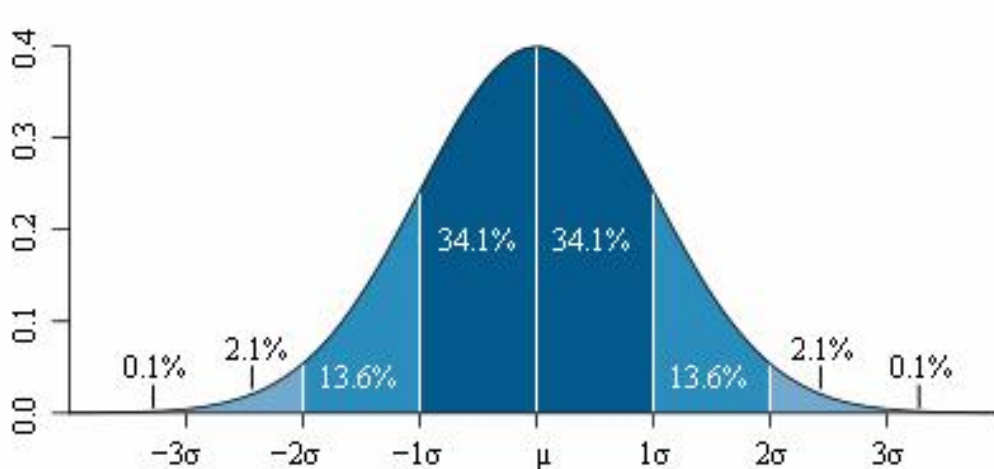
### 5.5.1. Gaussové (normální) rozdělení pravděpodobnosti.[3]

Udává, jakým způsobem jsou rozmístěny zjištěné hodnoty od hodnoty skutečné. Vztah pro výpočet normálního rozdělení pravděpodobnosti (5.5.1) je umístěn níže. Kde  $\mu$  udává střední hodnotu, kolem které se šum rozprostírá s určitou pravděpodobností, bývá označována jako správnost, pokud se neshoduje se skutečnou hodnotou, jejich vzájemný rozdíl udává chybu měření,  $\sigma$  je směrodatná odchylka, bývá označována jako přesnost, čím je sigma větší, tím je přesnost měření nižší. U normálního rozdělení se v intervalu  $\langle -\sigma, \sigma \rangle$  vyskytuje 68,2% ze všech změřených hodnot, v intervalu  $\langle -2\sigma, 2\sigma \rangle$  se vyskytuje 95,4% všech změřených případů. Hodnota změřeného vzorku je ve vztahu zastoupena proměnnou  $x$ .

Vztah pro Gaussovo rozdělení pravděpodobnosti:

$$f(x) = \frac{1}{s \cdot \sqrt{2 \cdot p}} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2 \cdot s^2}} \quad (5.5.1)$$

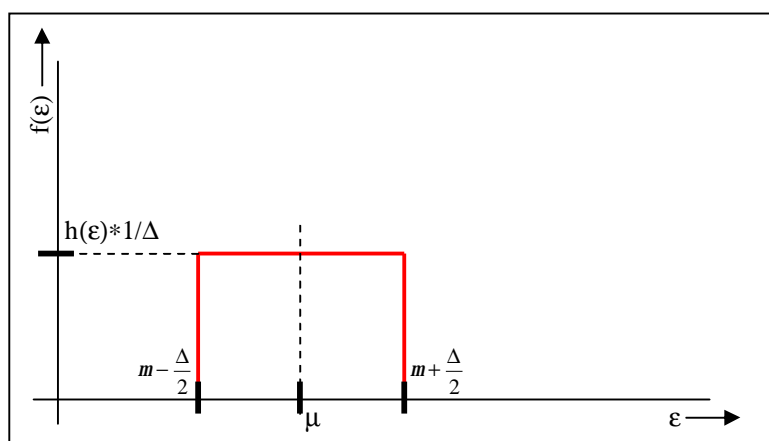
Na obrázku *Obr.: 5.06* je vykreslena Gaussova křivka, kde na ose  $y$  je vynesena četnost výskytu a na ose  $x$  je vynesena interval četnosti. Z průběhu je patrné, že při Gaussově rozdělení pravděpodobnosti se nachází 95% všech hodnot do vzdálenosti dvojnásobku směrodatné odchylky od střední hodnoty.



Obr.: 5.06 – Graf hustoty gaussova rozdělení pravděpodobnosti.[3]

### 5.5.2. Uniformní (rovnoměrné) rozdělení pravděpodobnosti.[3]

Rovnoměrné rozdělení má na celém intervalu ve všech bodech konstantní pravděpodobnost výskytu. Na obrázku *Obr.: 5.07* je graf hustoty rovnoměrného rozdělení, které je rozloženo symetrické kolem změřené hodnoty, u A/D převodníků však může dojít ke kvantizaci oříznutím z hora, nebo oříznutím z dola. V případě oříznutí zhora by byla změřená veličina umístěna v bodě  $\mu - \Delta/2$  a vzdálenost nejvzdálenější krajní veličiny je od zjištěné hodnoty vzdálena proti předchozímu případu dvojnásobně, což znamená dvojnásobnou chybu. Při oříznutí z dola je hodnota zaokrouhlena k horní hranici, jedná se tedy o případ stejný jako oříznutí z hora, pouze s tím rozdílem, že změřená hodnota veličiny je umístěna v bodě  $\mu + \Delta/2$ .

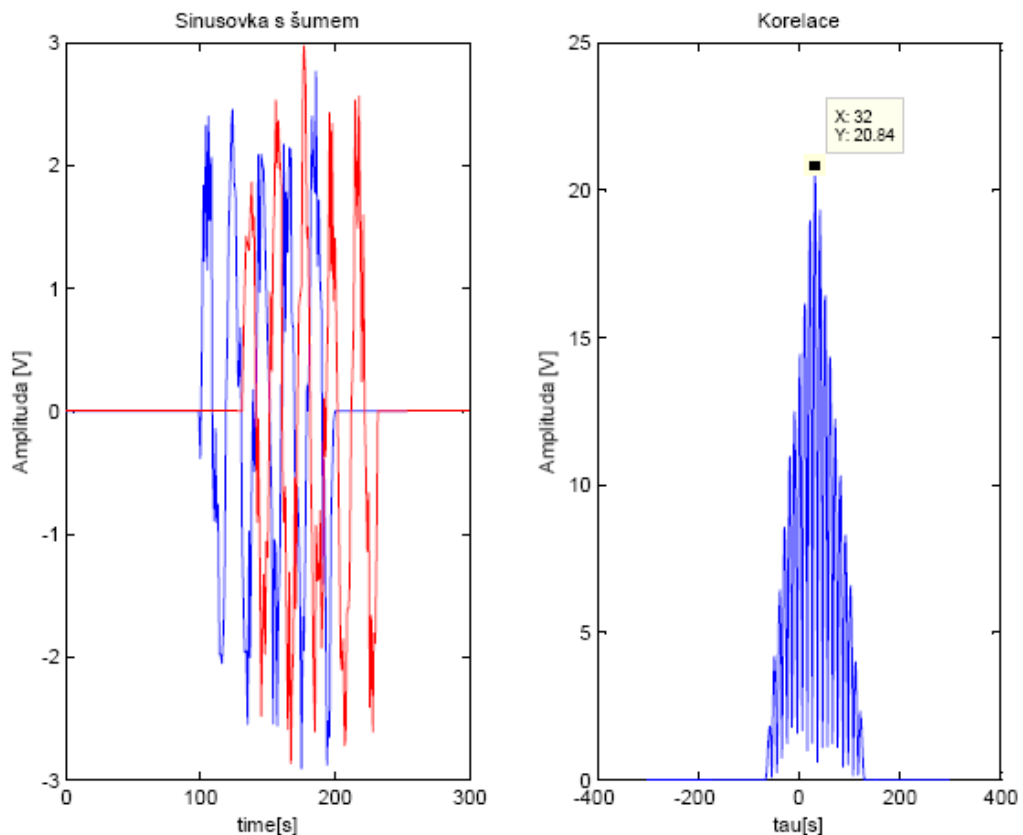


Obr.: 5.07 – Graf hustoty rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti.



### 5.5.3. Matematické zpracování signálu při zatížení šumem.

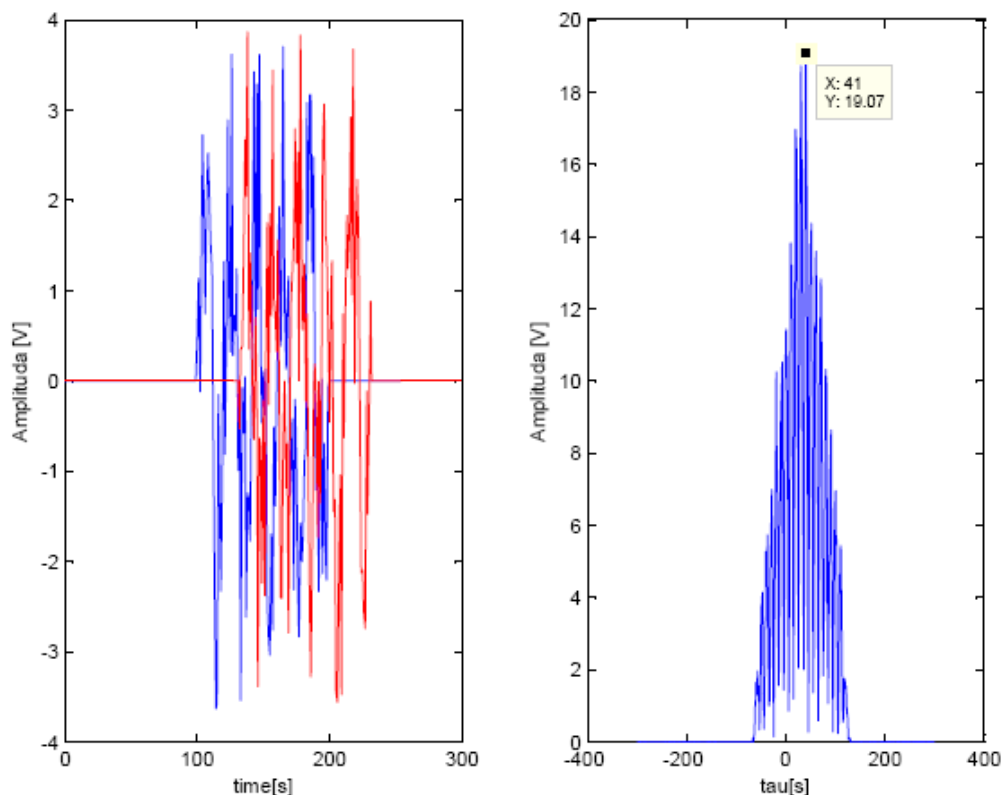
Pro porovnání matematického aparátu nezatíženého a zatíženého šumem jsou použity signály a jejich zpracování z předchozích kapitol, jen s tím rozdílem, že zde je k signálům přidáván Gaussovský, nebo rovnoměrně rozdělený šum. Tyto signály jsou poté opět zpracovány stejnými postupy jako signály nezatížené šumem a vyneseny do grafů.



Obr.: 5.08 – Korelace pro rovnoměrný šum z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$ .

Obrázky Obr.: 5.08 a Obr.: 5.09 zachycují pět period sinusového signálů, které jsou vzájemně posunuté a zatížené šumem s rovnoměrným rozdělením, a to pro první případ přičtením šumu, který náleží intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$  a jeho korelaci, která je vynesena v absolutní hodnotě, aby bylo lépe vidět, pro který bod nabývá funkce maxima. Druhý obrázek zaznamenává signály zatížené šumem z intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ , z jejich vzájemné korelace v absolutní hodnotě je patrná chyba určení posunutí, která je šumem způsobena a nabývá hodnoty 9 vzorků. Po 10000 pokusech bylo stanoveno, že správný výsledek prvního případu nastal pouze v 9018 případech, zbytek případů vyhodnotil posunutí o jeden vzorek jiné, než jaké bylo posunutí

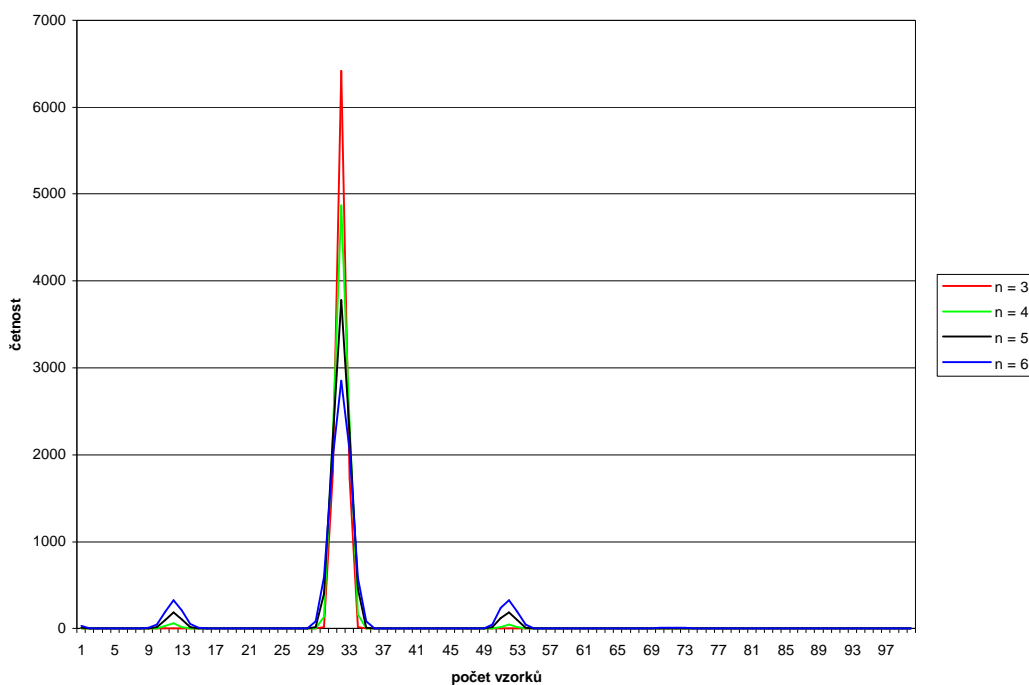
signálů ve skutečnosti. Pro druhý případ na 10000 pokusech došlo ke správnému určení pouze v 4868 případech. Tabulka zjištěných dat je umístěna na CD v souboru „SimulacePosunutíPřiZatíženíŠumem.xls“ v listu rovnoměrný šum, jedná se o tabulku označenou jako Tabulka A.



Obr.: 5.09 – Korelace pro rovnoměrný šum z intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ .

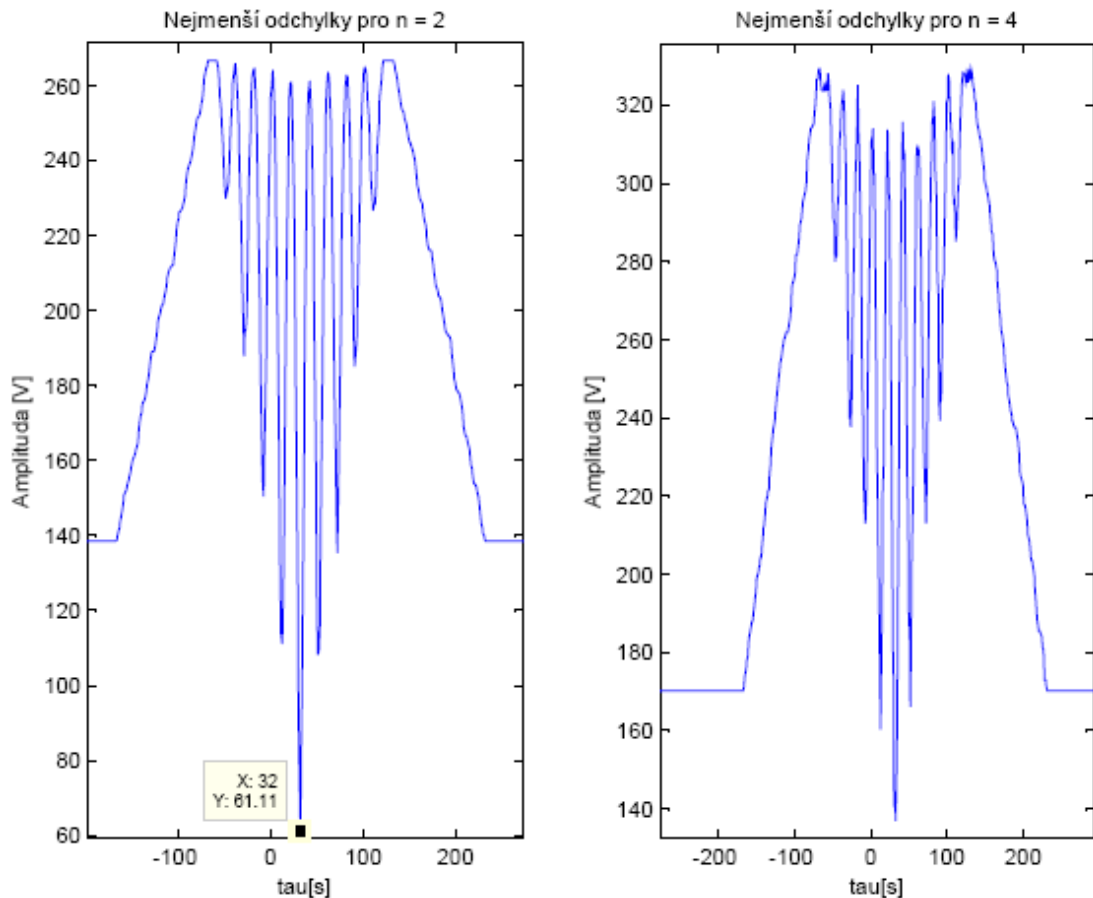
V obrázku Obr.: 5.10 jsou vyneseny průběhy četnosti určení posunutí signálů zatížených šumem pro šumy v intervalech  $\langle -1.5, 1.5 \rangle$ ,  $\langle -2, 2 \rangle$ ,  $\langle -2.5, 2.5 \rangle$  a  $\langle -3, 3 \rangle$ . Tabulka dat je počita z předchozího odstavce, vyneseny jsou však pouze spodní 4 řádky, první 2 řádky totiž ukazují pouze přesné určení posunutí a 3. řádek definuje rozložení pouze na přesné hodnotě a hodnotách v rozmezí  $\pm 1$  od správné hodnoty. Z průběhu lze určit, že rozptyl nalezených hodnot je symetrický kolem střední hodnoty a jejich průměrná hodnota odpovídá správné hodnotě, tento poznatek lze určit pro zpřesnění určení, pokud je k dispozici dostatek vzorků, lze požadovanou hodnotu určit jako průměr.

### Rozložení posunutí při zatížení šumem



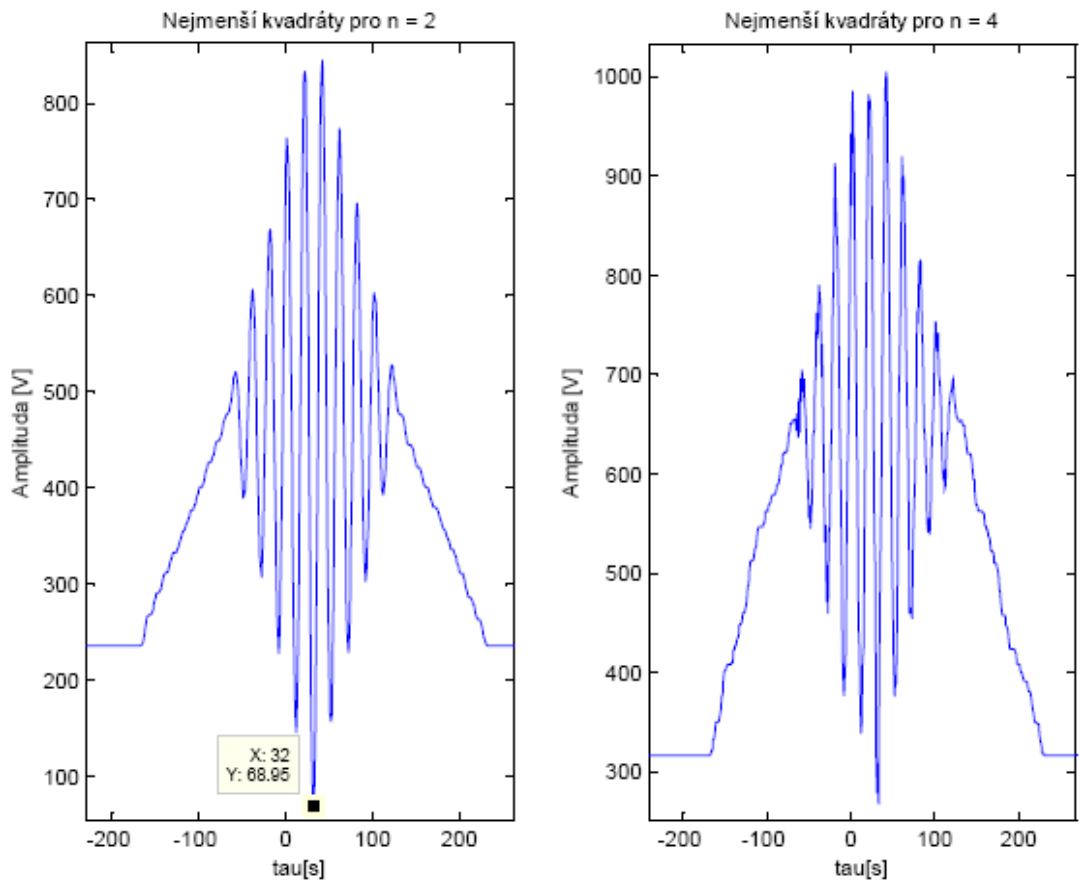
Obr.: 5.10 – Rozložení chyb pro rovnoměrné rozdělení šumu při aplikaci korelace.

Obrázek Obr.: 5.11 zachycuje zpracování signálů zatížených rovnoměrným šumem pomocí metody nejmenších odchylek, v prvním případě pro interval  $\langle -1, 1 \rangle$  a ve druhém případě po zatížení šumem z intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ . V prvním průběhu odpovídá zjištěné minimum posunutí, ve druhém případě došlo k chybě vyhodnocení způsobené šumem, kterým byl signál zatížen. Při použití 10000 pokusů bylo zjištěno, že pro první interval rozptylu šumu bylo posunutí signálu určeno správně v 8532 pokusech. Při 10000 pokusech se zatížením signálu šumem z intervalu  $\langle 2, 2 \rangle$  byl posun správně identifikován pouze v 4727 případech. Tabulka zjištěných dat je umístěna na CD v souboru „SimulacePosunutíPřiZatíženíŠumem.xls“ v listu rovnoměrný šum, jedná se o tabulku označenou jako Tabulka B.



Obr.: 5.11 – Metoda nejmenších odchylek pro signály s rovnoměrným šumem z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$  a z intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ .

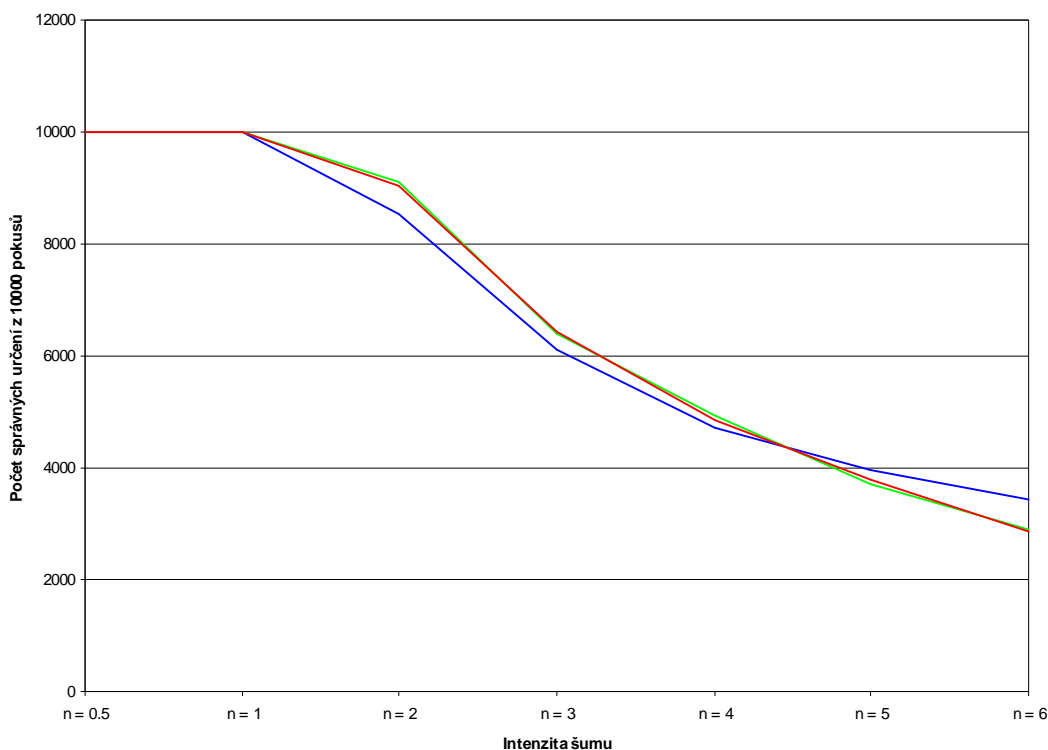
Na obrázku Obr.: 5.12 jsou vyneseny signály zatížené šumem a zpracované metodou nejmenších čtverců, šum má rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti, kde pro první případ byl generován šum v intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$  a druhý případ je pro signály zatížené šumem z intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ . Při 10000 pokusech s použitím šumu z prvního intervalu bylo zjištěno, že správně bylo posunutí nalezeno v 9090 případech. Pro druhý interval byla úspěšnost nalezení správného posunutí 4923 pokusů z 10000 provedených pokusů. Tabulka zjištěných dat je umístěna na CD v souboru „SimulacePosunutíPřiZatíženíŠumem.xls“ v listu rovnoměrný šum, jedná se o tabulku označenou jako Tabulka C.



Obr.: 5.12 – Metoda nejmenších kvadrátů pro signály s rovnoměrným šumem z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$  a z intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ .

Obrázek Obr.: 5.13 zachycuje vliv šumu na správné určení posunutí pro tři výše popsané metody. Průběh rudé barvy je četnost přesnosti určení pro vzrůstající úroveň šumu při použití korelace. Zelený průběh zaznamenává vliv přesnosti určení posunutí signálů metodou nejmenších čtverců, při vzrůstajících úrovních zatížení signálů šumem. Modrý průběh je četnost správného vyhodnocení posunutí signálu metodou nejmenších odchylek a signál je postupně zatěžován šumem vzrůstající intenzity. Z průběhů je patrné, že metoda nejmenších čtverců a korelace mají téměř identické průběhy, metoda nejmenších odchylek se od nich však liší. Metoda nejmenších odchylek začne proti korelaci a metodě nejmenších čtverců rychleji zvyšovat četnost nesprávného určení posunutí. Důležitým poznatkem však je, že při metodě nejmenších směrodatných odchylek s rostoucím zatížením šumem klesá správnost určení posunutí pomaleji, než-li je tomu v případě korelace a metody nejmenších čtverců.

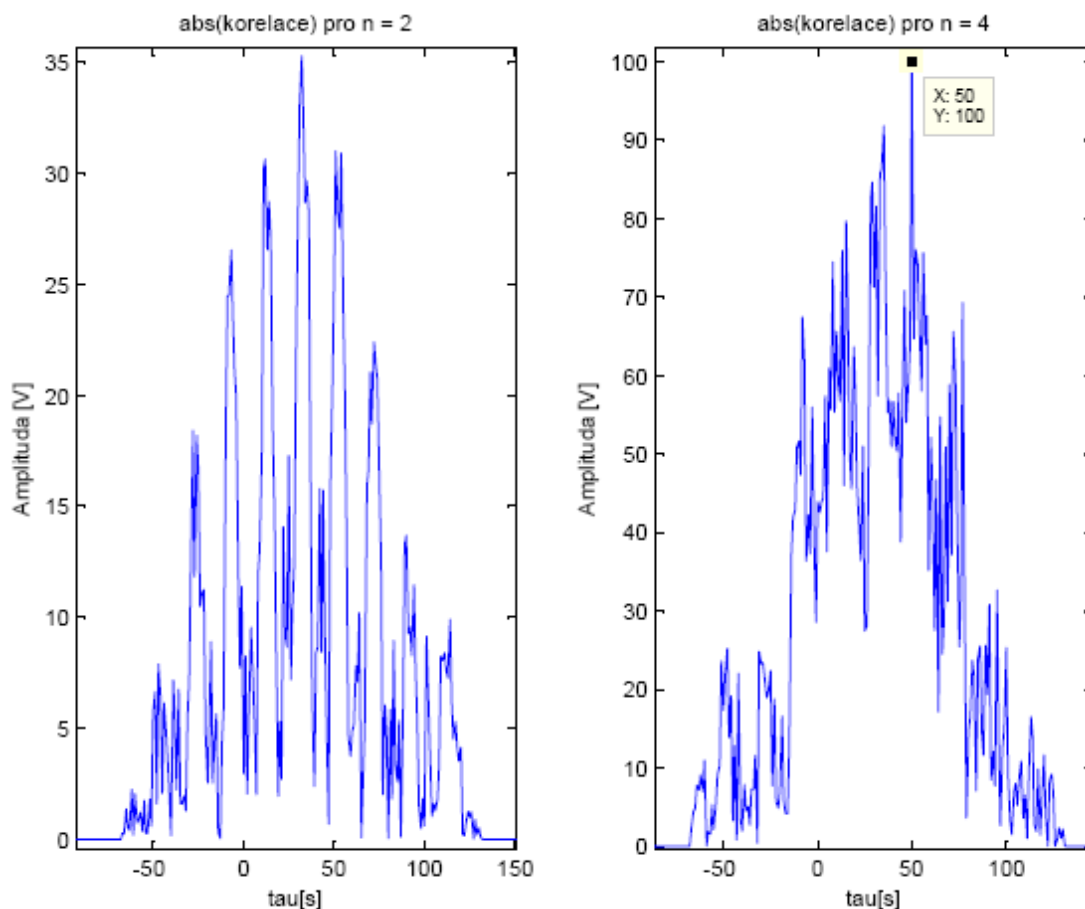
### Přesnost určení v závislosti na šumu



*Obr.: 5.13 – Porovnání správnosti určení posunutí pro tři popsané metody při různých úrovních zatížení signálu šumem.*

Ze simulací provedených výše vyplývá, že citlivost metod na zatížení signálu šumem je velmi podobná, proto je dále popsána pro šum s Gaussovským rozdělením pravděpodobnosti pouze korelace a k ostatním metodám jsou pouze vyneseny informace udávající správnost a přesnost jednotlivých metod pro různé úrovně zatížení signálu šumem.

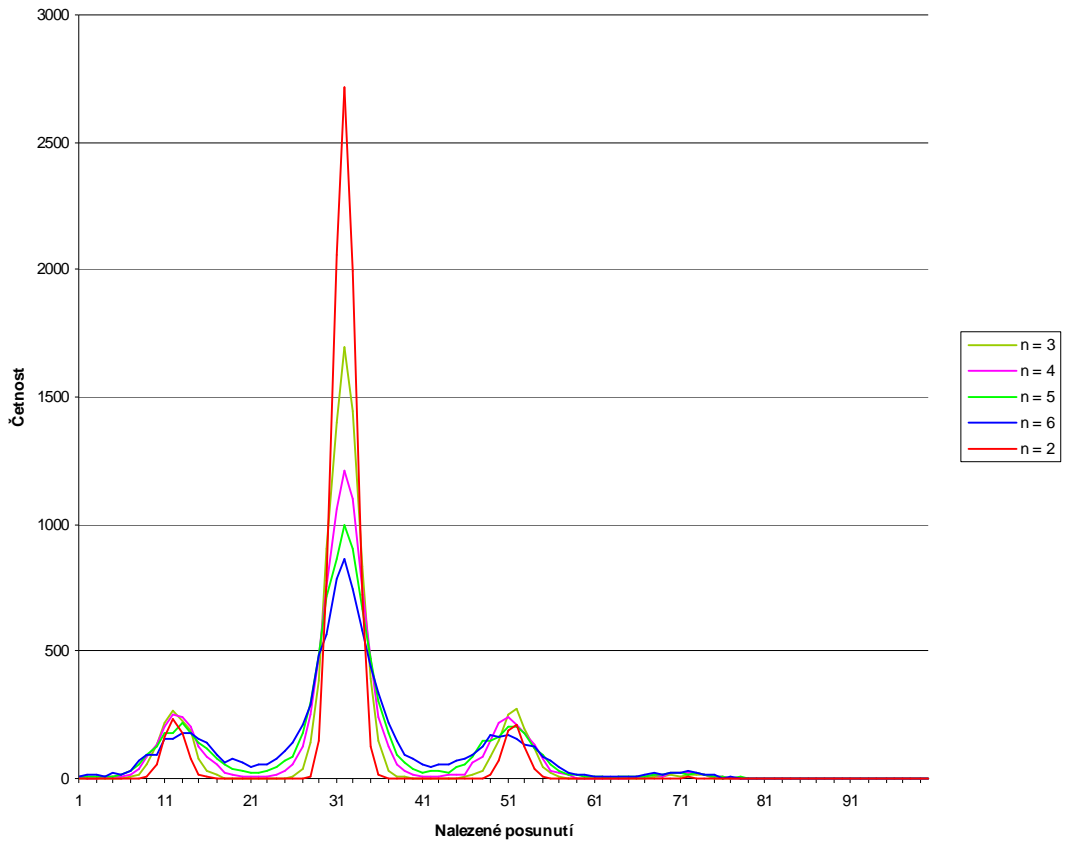
Obrázek *Obr.: 5.14* zachycuje vyhodnocení signálů, které jsou zatíženy šumem s Gaussovským rozdělením pravděpodobnosti, jsou vzájemně posunuté o 32 vzorků a vyhodnocení posunutí je provedeno korelační funkcí. Vynesený průběh je vykreslen v absolutní hodnotě. V prvním případě je Gaussovský (normální) šum z rozmezí v intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$ , druhý případ je pro Gaussovský (normální) šum rozložený v intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ . První případ určil posunutí správně, ale druhý případ určil signál o 18 vzorků jinde. Z předchozích odstavců je jasné, že z jednoho průběhu nelze vyvozovat jasné závěry, proto bude třeba provést simulaci pro více variací. Zdrojový kód pro průběhy z obrázku jsou umístěny v PŘÍLOHA D, *Př.: D.05*.



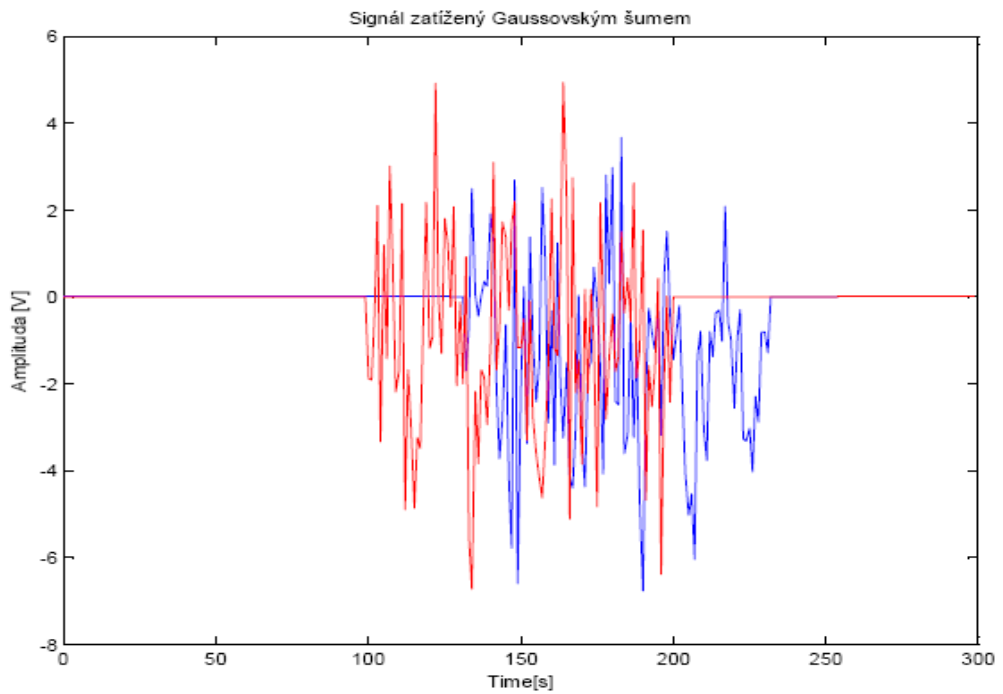
Obr.: 5.14 – Korelace aplikovaná na signály s normálním rozdělením šumu z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$  a z intervalu  $\langle -2, 2 \rangle$ .

Rozložení chyb určení posunutí při zatěžování signálů šumem s normálním rozdělením pravděpodobnosti pro korelaci je na obrázku Obr.: 5.15. Vynesené průběhy odpovídají zatížení šumem, který nabývá hodnot z intervalů v mezích hodnot  $\langle -1, 1 \rangle$ ,  $\langle -1.5, 1.5 \rangle$ ,  $\langle -2, 2 \rangle$ ,  $\langle -2.5, 2.5 \rangle$  a  $\langle -3, 3 \rangle$  včetně hodnot hraničních bodů. Z průběhů je patrné, že správnost určení je přesná, ovšem přesnost zjištění má již velký rozsah. Z porovnání průběhů pro signály zatížené Gaussovským šumem a rovnoměrně rozděleným šumem je patrné, že přesnost určení posunutí při použití Gaussovského šumu klesá rychleji a dříve s rostoucím intervalem šumu, než-li je tomu v případě šumu s rovnoměrným rozdělením. Ze zjištěných poznatků je jasné, že Gaussovský šum působí mnohem větší komplikace, než-li šum s rovnoměrným rozdělením pravděpodobnosti. Nicméně při dostatečném množství dat lze průměrováním stále dosáhnout nalezení správné hodnoty. Tabulka zjištěných dat je umístěna na CD v souboru „SimulacePosunutíPřiZatíženíŠumem.xls“ v listu Gaussovský šum, jedná se o tabulku označenou jako Tabulka A.

### Rozložení posunutí při zatížení Gaussovským šumem



Obr.: 5.15 – Rozložení chyb pro Gaussovské rozdělení šumu při aplikaci korelace.



Obr.: 5.16 – Signály zatížené Gaussovským šumem z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$ .



Na obrázku *Obr.: 5.16* je zobrazen signál pěti period sinusovky a stejný signál, který je posunutý o 32 vzorků. Oba signály jsou zatíženy šumem, který má normální rozdělení pravděpodobnosti z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$ . Tento signál byl použit pro první průběh z obrázku *Obr.: 5.14*. A podobné průběhy zatížené šumem, který má stejné vlastnosti, tedy normální rozdělení a interval  $\langle -1, 1 \rangle$ , ale jiné hodnoty, byli postupně vyhodnocovány a zaznamenávány do tabulky, která je umístěna na doprovodném CD a je podle ní vykreslen obrázek *Obr.: 5.15*. Z průběhů již není sice patrné, že se jedná o dva stejné signály, ale jak ukazuje graf na obrázku výše a jak je zaznamenáno v tabulce na doprovodném CD byla správná hodnota určena v 2720 pokusech z 10000 pokusů. Rozptyl přesnosti určení je však symetrický kolem skutečné hodnoty a tak se lze matematicky přiblížit, při dostatečném množství pokusů, ke skutečné hodnotě posunutí. Je-li získáno pouze jedno měření, je pravděpodobnost správného určení posunutí určena poměrem ze vztahu (5.5.2). Výsledek  $P(A)$  je v procentech, PSU je počet správných určení zjišťované hodnoty a PT je počet provedených testů. Tabulka *Tab.: 5.01* obsahuje záznam počtu správných určení v procentech při 10000 pokusech pro výše popsané simulace.

Vztah pro procentuelní určení správnosti měření:

$$P(A) = \frac{PSU}{PT} \cdot 100 \quad (5.5.2)$$

*Tab.: 5.01 – Procentuelní určení správné hodnoty.*

n/2	rovnoměrné			norm.
	kor.	odch.	kvadr.	kor.
0,25	100	100	100	96,83
0,5	100	99,98	100	58,44
1	90,18	85,32	90,9	27,2
1,5	64,21	60,96	63,82	17
2	48,68	47,27	49,23	12,07
1,5	37,84	39,49	37,3	9,94
3	28,51	34,46	28,82	8,61

Legenda (*Tab.: 5.01*):

kor. – použitá metoda je korelace a hledá se maximum funkce.

odch. – použitá metoda je nejmenší odchylky, kde se hledá minimum funkce.

kvadr – použití metody nejmenších čtverců, kde se hledá minimum funkce.

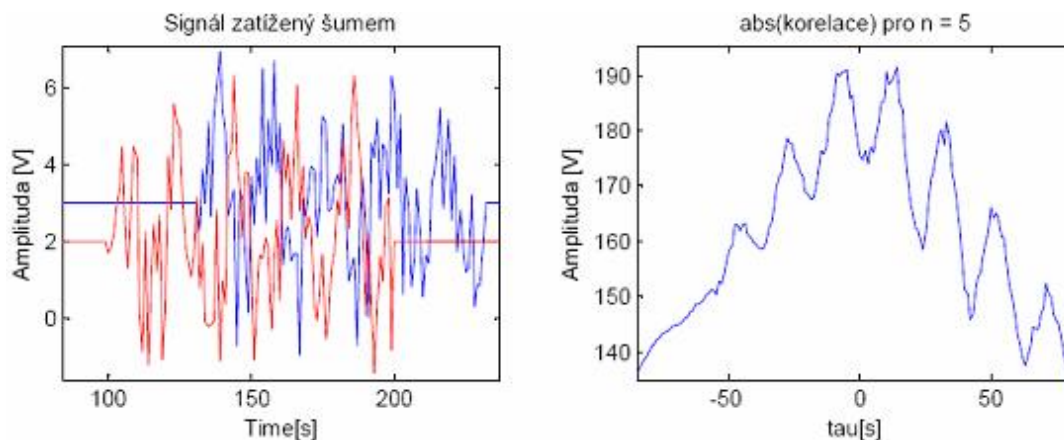
n/2 – je kladná část intervalu rozdělení.

## 5.6. Transformace signálu pro matematické zpracování.

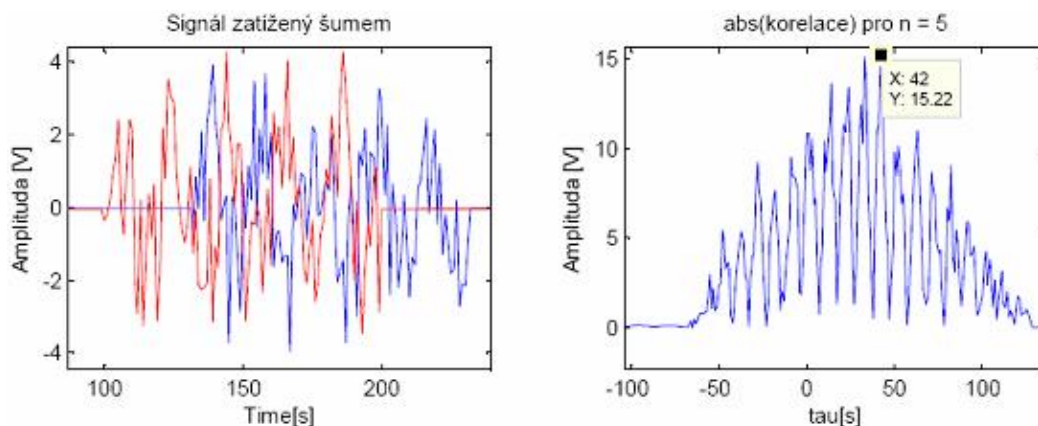
Ve většině případů nelze změřená data přímo vyhodnocovat, ať již z důvodu náročnosti, nebo přesnosti, to je důvod, proč se používají transformace signálu na signál jiný, který se lépe zpracovává. Příkladem může být, kdy je hledaný signál vychýlením od rovnovážné hodnoty, která není nulovou, je tedy potřeba celkem zbytečně pracovat s velkým množstvím čísel, které mohou být v určitém intervalu zatíženy šumem a tím i ovlivnit výsledek a v případě zpracování v systému s omezenými možnostmi, například paměti, toto představuje problém. Signál se tedy upraví na signál, který bude pro zpracování přijatelnější.

### 5.6.1. Úprava signálu před matematickým zpracováním.

Zpracovávají-li se data ze dvou různých snímačů, může dojít ke stavu, kdy signály mají různou stejnosměrnou podstavu, to komplikuje výpočty pro určení posunutí signálu. Nejjednodušší možností jak signál upravit je odečíst od signálu jeho průměrnou hodnotu, signál sice stále nenabývá hodnot přesně kolem nuly, ale kolem hodnoty velmi blízké a vzájemné rozdíly stejnosměrných podstav obou signálů se velmi sníží. Příklad signálů, které jsou zatíženy šumem a mají různé podstavy jsou na obrázku *Obr.: 5.17* a to na grafu vlevo, korelace k těmto dvěma signálům je na obrázku *Obr.: 5.17* vpravo, maxima nabývá tato funkce v bodě vzorku 14. Signály, od kterých byly odečteny jejich průměrné hodnoty jsou umístěny na obrázku *Obr.: 5.18* vlevo a jejich vzájemná korelace na stejném obrázku vpravo. Funkce vzájemné korelace pro upravené signály nabývá maxima ve vzorku 42, který je od skutečné hodnoty posunutí vzdálen o 10 vzorků, v minulém případě však byla určena pozice posunutí chybně o 18 vzorků, to znamená zpřesnění o 8 vzorků. Určení posunutí je však stále velmi nepřesné a je potřeba ho upřesnit, pro je nutné na signály ještě aplikovat úpravy, které povedou ke zpřesnění určení vzájemného posunutí signálů. Nejběžnějšími úpravami pro vyhlazení šumu je proložení signálu polynomem  $n$ -tého stupně, nebo aplikování klouzavého průměru na signály.



Obr.: 5.17 – Signály zatížené Rovnoměrným šumem z intervalu  $\langle -2.5, 2.5 \rangle$  s různými stejnosměrnými podstavami a jejich korelace.



Obr.: 5.18 – Signály zatížené Rovnoměrným šumem z intervalu  $\langle -2.5, 2.5 \rangle$  s podstavami, které byli potlačeny odečtení průměrné hodnoty a jejich korelace.

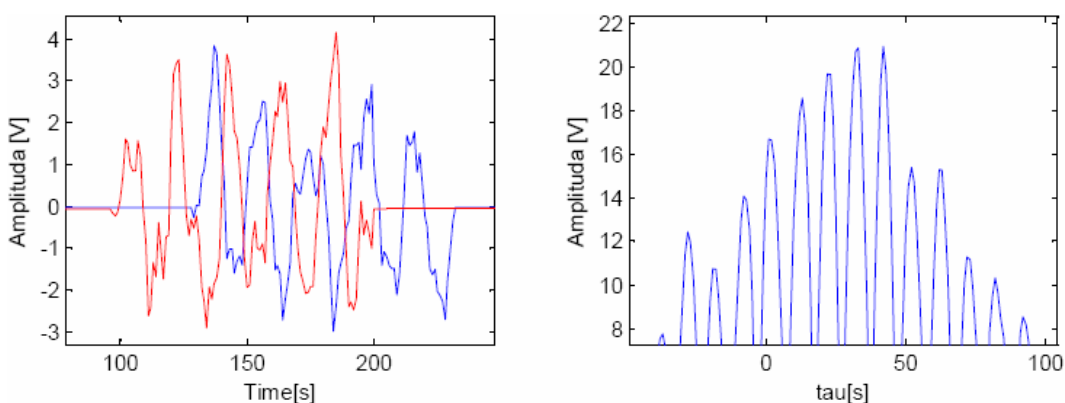
Kluzavý průměr – Je matematická operace, kdy se vezme vždy konstantní počet po sobě jdoucích vzorků a hodnota signálu na vyšetřované pozici je nahrazena jejich průměrnou hodnotou. Výpočet dalšího koeficientu se provede tak, že se vyřadí z množiny nejstarší hodnota a přidá se hodnota novější. Nevýhodou kluzavého průměru je snižování počtu vzorků signálu a to o  $(n-1)$  prvků, kde  $n$  je počet prvků množiny, ze které se počítá průměr. Je-li sledovaný signál krátký a po zbytek času je signál nulový, dochází ke snižování úrovně signálu a to tím intenzivněji, čím větší počet prvků je do kluzavého průměru použit. Vztah, podle kterého se vypočítají jednotlivé prvky kluzavého průměru je vztah (5.6.1), který je umístěn níže.  $N$  ve vztahu udává počet prvků vzatých do kluzavého průměru,  $x_i$  jsou prvky původního signálu a  $y_n$  jsou vypočítané prvky. Hodnota kluzavého průměru lze počítat více postupy, v prvním případě se počítá hodnota pro prvky od pozice počítaného prvku

po prvek  $(N - 1)$ . Další výpočetní možností je počítat průměr z  $N/2$  vzorků na jednu stranu od počítaného prvku a  $N/2$  na druhou stranu, výsledek se pak ukládá do středu, tento postup je popsán vzorcem (5.6.1). Dále lze počítat průměr průměrem prvku spolu s  $N-1$  předchozími vzorky.

Vztah pro výpočet prvků klouzavého průměru:

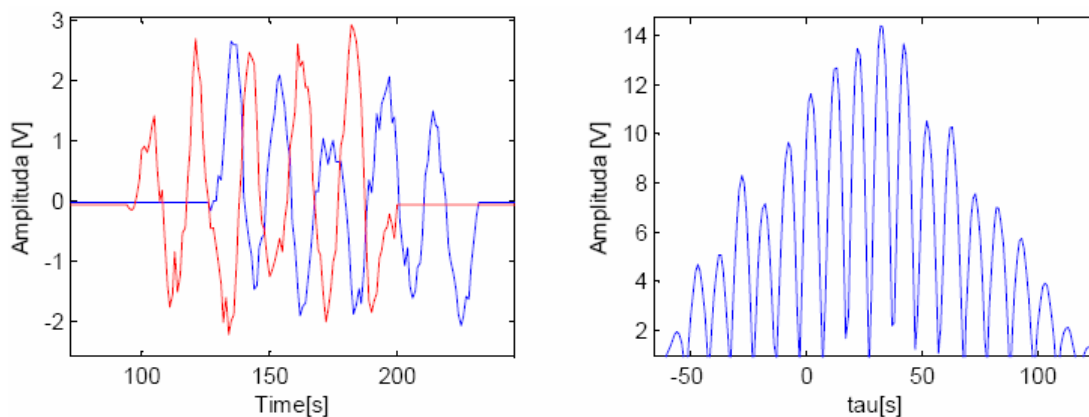
$$y_n = \frac{\sum_{i=(-N/2)+n}^{((N/2)-1)+n} (x_i)}{N} \quad (5.6.1)$$

Na obrázcích *Obr.: 5.19* a *Obr.: 5.20* jsou zobrazeny signály, které byly upraveny jako signály na obrázku *Obr.: 5.17*, dále matematicky upraveny podle úprav patrných na obrázku *Obr.: 5.18* a nakonec na ně byl před jejich vzájemnou korelací aplikován klouzavý průměr. Na obrázku *Obr.: 5.19* jsou signály, na které byl aplikován klouzavý průměr počítaný podle vztahu (5.6.1) s hodnotou  $N$  odpovídající třem vzorkům z původního signálu, to znamená jeden vzorek předlohy před počítanou pozicí vzorek předlohy pro počítanou pozicí a jeden vzorek předlohy za počítanou pozicí. Signál nabývá však stále hodnoty 42, jako tomu bylo v případě bez klouzavého průměru, počet prvků v klouzavém průměru je tedy nedostatečný.



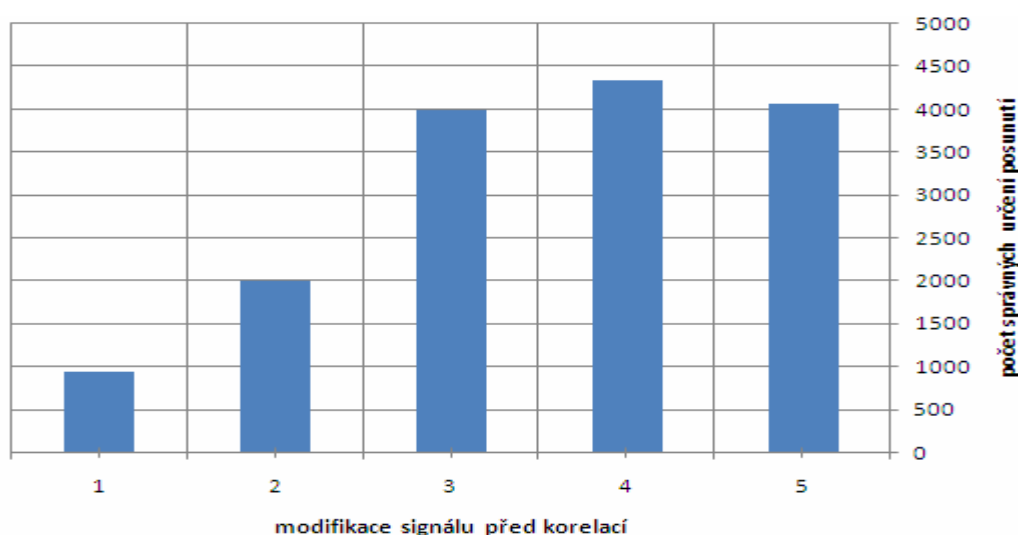
*Obr.: 5.19 – Signály zatížené šumem, které byly vyhlazeny pomocí klouzavého průměru pro 3 prvků a jejich vzájemná korelace.*

Na obrázku *Obr.: 5.20* jsou signály, na které byl aplikován klouzavý průměr počítaný podle vztahu (5.6.1) s hodnotou  $N$  odpovídající pěti vzorkům z původního signálu, to znamená dva vzorky předlohy před počítanou pozicí vzorek předlohy pro počítanou pozicí a dva vzorky předlohy za počítanou pozicí. Nyní již korelace nabývá maxima při posunutí o 32 vzorků.



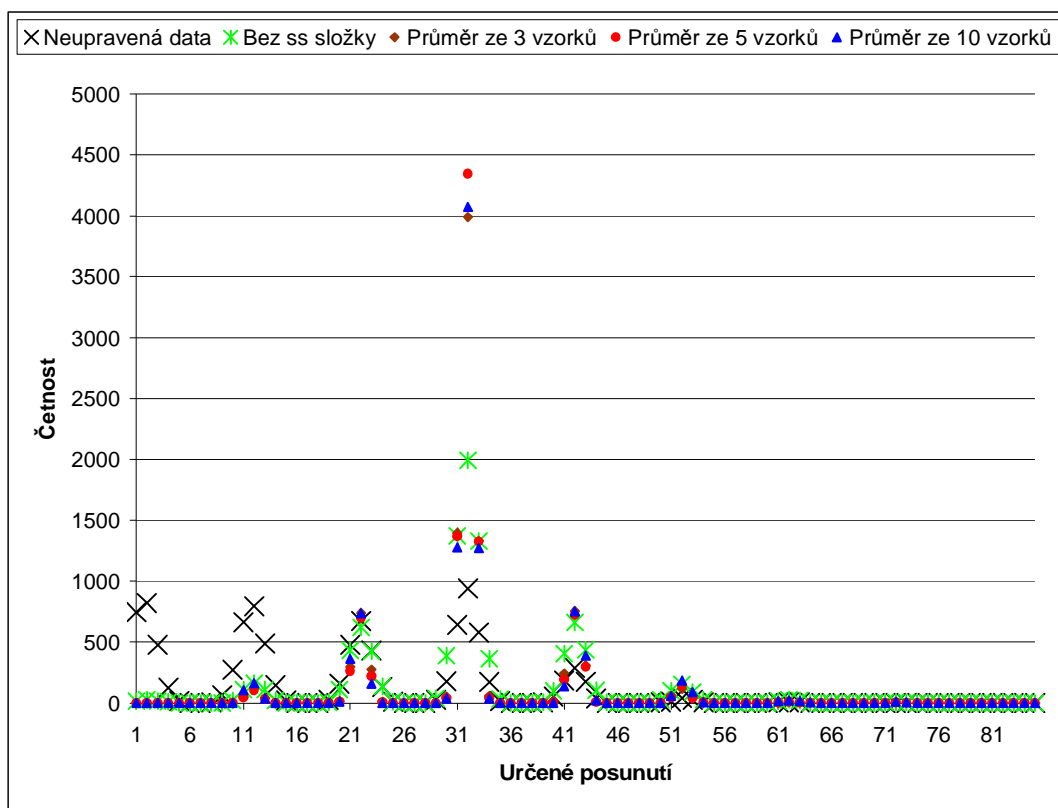
Obr.: 5.20 – Signály zatížené šumem, které byly vyhlazeny pomocí klouzavého průměru pro 5 prvků a jejich vzájemná korelace.

Na obrázku Obr.: 5.21 je vynesena četnost správného určení posunutí signálu pomocí korelace. Signál je zatížen pro každý pokus jiným šumem s normálním rozdělením z intervalu  $\langle -3, 3 \rangle$ . Vyhodnocení jsou provedena pro neupravené signály (1. sloupec), signály s odstraněnou stejnosměrnou složkou (2. sloupec) a pro signály na které byl aplikován klouzavý průměr ze tří (3. sloupec), pěti (4. sloupec) a deseti (5. sloupec) vzorků. Data a originály grafů jsou uloženy na doprovodném CD v „souboru klouzave\_prumery.xls“. Z průběhů je patrné, že stálé zvyšování klouzavého průměru neznamená stálé zvyšování přesnosti. Signály z klouzavého průměru o pěti prvcích byly správně vyhodnoceny v 4344 případech, ale při klouzavém průměru z deseti prvků bylo posunutí určeno přesně již jen v 4075 případech.



Obr.: 5.21 – Graf četnosti správného určení posunutí pro jednotlivé úpravy původního signálu.

Na obrázku *Obr.: 5.22* jsou vyneseny průběhy četností určení vzájemného posunutí signálů. Vzorokky pro pozici 32 tohoto grafu odpovídají vzorkům na obrázku *Obr.: 5.21*. Data pro vykreslení byla vytvořena 10000 opakováními, kdy byly signály pokaždé zatíženy jiným šumem s rovnoměrným rozdělením z intervalu  $\langle -3, 3 \rangle$ , a pak vyhodnoceny, pro každou realizaci byly provedeny všechny úpravy pro zjištění počtu vzorků, o které je signál posunutý a určená pozice byla zanesena do tabulky, ta je přílohou doprovodného CD v souboru „klouzave\_prumery.xls“. Z průběhu je patrné, že aplikací klouzavého průměru se četnost správného určení vzájemného posunutí signálů zvýšila o 100% pro průměr ze tří vzorků a pro průměr z pěti vzorků se tato četnost ještě zvýšila.



*Obr.: 5.22 – Graf určení posunutí pro různé postupy určování.*

Vážený klouzavý průměr – Speciálním případem klouzavého průměru je vážený klouzavý průměr. Od klasického klouzavého průměru se vážený klouzavý průměr liší tím, že do průměru je každý prvek započítáván s jiným důrazem na významnost. Maska může mít jakýkoliv průběh, nejčastěji se však jedná o zdůraznění na pozici počítaného prvku a jeho okolí. Ve vztazích (5.6.2) a (5.6.3) jsou popsány výpočty prvků pro masky v prvním případě pro dvojnásobnou váhu

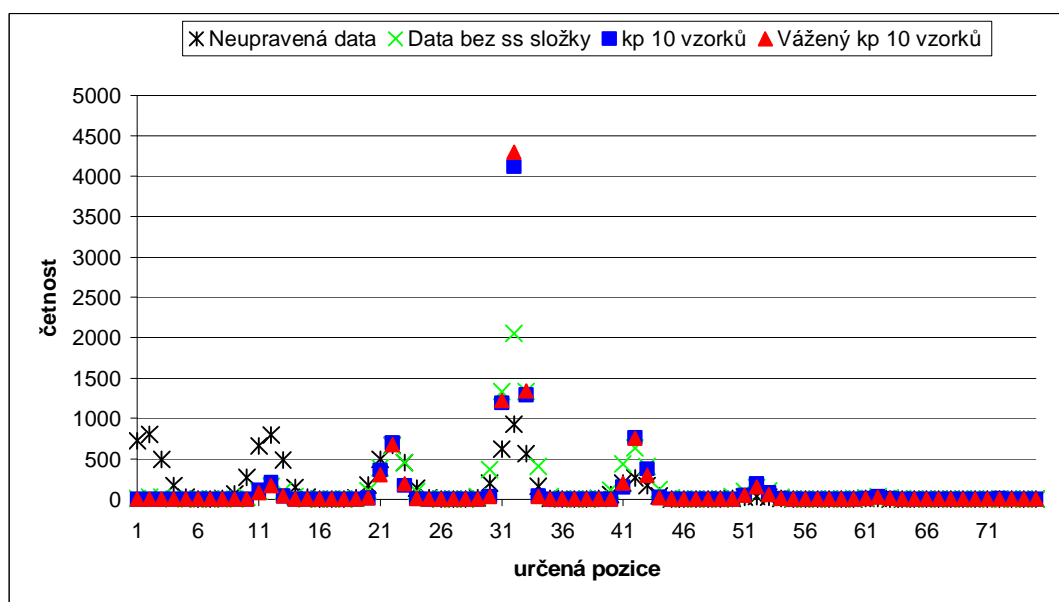
středního prvku a ve druhém případě pro trojnásobnou váhu středního prvku a dvojnásobnou váhu pro prvky, které leží vedle středního prvku. Výstup simulace pro 10000 vzorků je zobrazen na obrázku *Obr.: 5.23*, kde jsou pro porovnání vynešeny určení posunutí pro neupravená data (černé hvězdičky), určení posunutí pro data bez stejnosměrné složky (zelené křížky), určení posunutí pro data upravená klouzavým průměrem (modré čtverečky) a určení posunutí pro data upravená váženým klouzavým průměrem podle vztahu (5.6.3) (červené trojúhelníčky). Z obrázku je patrné, že použitím váženého klouzavého průměru dojde ke zvýšení počtu správných určení posunutí přibližně o 4%, tedy ze 4116 případů se četnost správných určení zvýší na 4297 případů. Data ze simulace jsou uložena na doprovodném CD v souboru „klouzave\_prumery.xls“ v listu Sheet2.

Vážený klouzavý průměr se zvýrazněním středního prvku:

$$y_n = \frac{x_n + \sum_{i=(-N/2)+n}^{((N/2)-1)+n} (x_i)}{N+1} \quad (5.6.2)$$

Vážený klouzavý průměr se zvýrazněním středního prvku a jeho okolí:

$$y_n = \frac{2 * x_n + x_{n-1} + x_{n+1} + \sum_{i=(-N/2)+n}^{((N/2)-1)+n} (x_i)}{N+4} \quad (5.6.3)$$

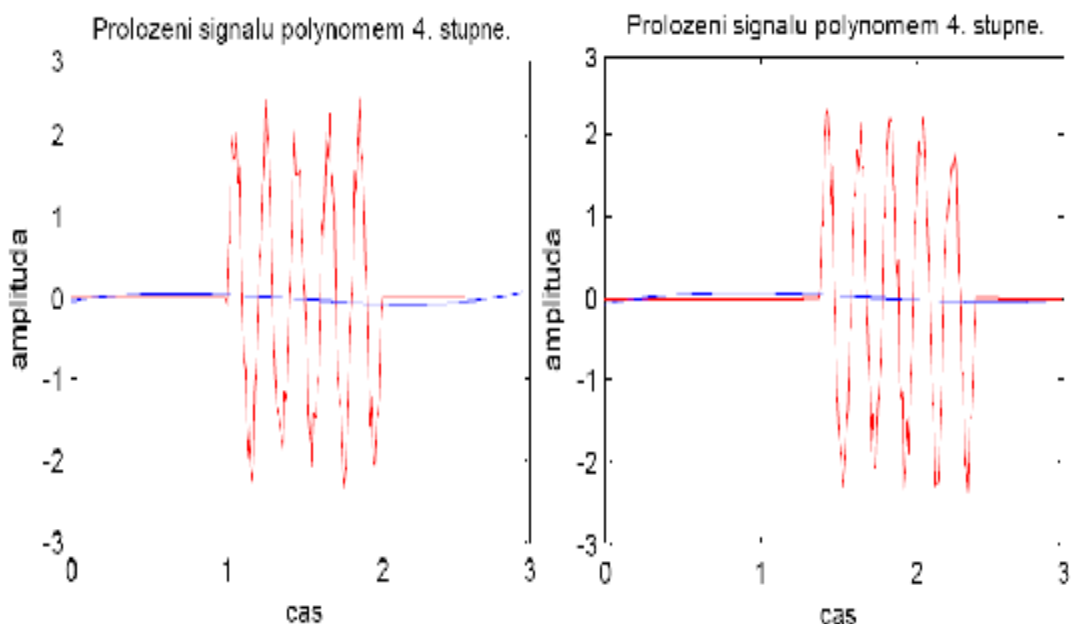


*Obr.: 5.23 – Graf porovnání klouzavého průměru pro 10 vzorků a váženého klouzavého průměru pro 10 vzorků.*

Polynom n-tého stupně podle zdroje [3] – Matematické proložení signálu modelem polynomu n-tého stupně slouží k vytvoření nového signálu, který je popsán polynomickou rovnicí a to s takovými parametry, aby byl rozdíl signálů metodou nejmenších čtverců minimalizován. Podle nejvyšší mocniny parametru  $x$  je určen stupeň polynomu. Polynom prvního stupně je přímka, polynom druhého stupně je kvadratický polynom (parabola), polynom třetího stupně je kubický polynom. Rovnice polynomu prokládajícího signál nemusí obsahovat všechny členy, ale některé mohou být vynechány, to znamená, že konstanta již je parametr násoben je nulová. Vztah pro výpočet polynomu N-tého stupně je uveden ve vzorci (5.6.4), kde  $N$  je nejvyšší mocnina polynomu a udává jeho stupeň,  $x_j$  je hodnota prokládaných dat pro prvek konkrétní  $y$ ,  $\beta$  jsou konstanty, kterými jsou členy polynomu násobeny a voleny jsou tak, aby součet čtverců odchylek původního signálu od polynomu nabýval nejmenší hodnoty. Každý další přidávaný člen přináší zpřesnění proložení, jeho míra přispění s rostoucím stupněm polynomu klesá. Dva různé signály proložené polynomem 4. stupně jsou na obrázku *Obr.: 5.24*, kde původní signál je vykreslen červeně a polynom je vykreslen modře. Zdrojový kód pro tento obrázek je umístěn na doprovodném CD v souboru *polynom.m*.

Vztah pro výpočet polynomu n-tého stupně:

$$y_j = \sum_{i=0}^N [b_i \cdot x_j^i] \quad (5.6.4)$$



*Obr.: 5.24 – Proložení signálů polynomem 4. stupně.*



## 5.7. Shrnutí prostudovaných vlastností signálů.

V této kapitole byli nastíněny tři způsoby, jak lze zjistit posunutí signálu, způsobů jak toto provést je ale mnohem více. Ze simulací provedených v této kapitole vyšli jako nejvhodnější kandidáti metoda nejmenších čtverců a korelační funkce. Metoda absolutní hodnoty nejmenších odchylek se ukázala v porovnání s ostatními jako méně výhodná. Bylo však rozhodnuto, že do programu pro vyhodnocování rychlosti budou implementovány všechny tři rozebrané metody, aby se teorie ze simulací buď prokázala, nebo vyvrátila na reálných signálech.

Dále byli v této kapitole rozebrány možnosti filtrování signálů před vyhodnocením a matematické upravení stejnosměrné složky tak, aby měli oba signály stejnou stejnosměrnou část. Nejpriznivějším případem by byl stav, kdy by tato hodnota byla nulová. Bylo rozhodnuto, že ve výsledném programu budou implementovány filtrace klouzavým průměrem a to ze tří, pěti a devíti prvků. Dále byla vybrána pro program filtrace váženým klouzavým průměrem z devíti prvků, kdy prostřední člen bude brán do průměru třikrát a sousední členy dvakrát.

V kapitole byli rozebrány filtry, kdy se vyšetřoval vždy prostřední člen, aplikace těchto filtrů lze také při vyšetřování prvního, nebo posledního prvku z výběru, který je průměrován.

Poslední částí, která bude podle této kapitoly implementována do programu bude odstranění rozdílu stejnosměrných složek signálů a to nejprve metodou odečtení průměrné hodnoty. V dalším rozšíření programu se počítá s funkcí automatické detekce objektu, kdy se načte určitý počet vzorků a pak se bude čekat na překročení prahu, v této části bude již odečítání provedeno odečtením průměrné hodnoty z prvních vzorků, které budou získány před detekcí objektu.

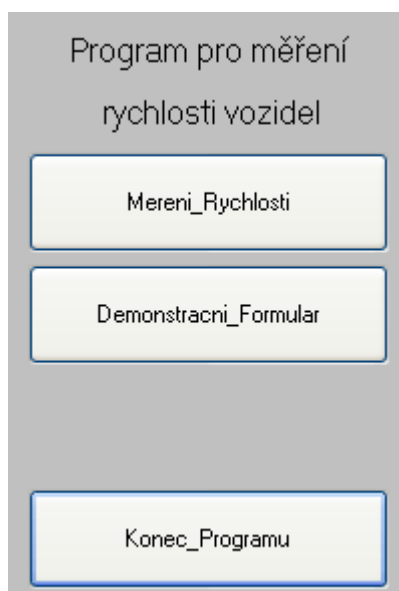
V kapitole byly použity šumy, které sice byly definovány napětím a nikoliv výkonem, jelikož se však nepoužívali k vzájemnému porovnání, ale k porovnání metod zpracování na jednotlivých typech šumu, lze tuto drobnost v definici šumů tolerovat.

## 6. Program pro získání dat a jejich zpracování.

V této kapitole je popsán program pro počítač, který komunikuje s měřicím zařízením, upravuje získaná data a vypočítává z nich rychlost. V první části kapitoly je popsáno uživatelské rozhraní programu, ve druhé části jsou popsány matematické úpravy, které program vykonává se získanými daty a třetí část se zabývá vyhodnocením aplikace teoretických poznatků na vybraná reálná data.

### 6.1. Uživatelské rozhraní programu pro počítač.

Na obrázku *Obr.: 6.01* je zobrazena hlavní nabídka programu, která se objeví hned po spuštění. Položka „Mereni\_Rychlosti“ otevře formulář pro získávání dat. Tlačítko „Demonstracni\_Formular“ otevře formulář, který zpracovává naměřená data a vykresluje jednotlivé kroky do grafu. Poslední tlačítko slouží k ukončení běhu programu.

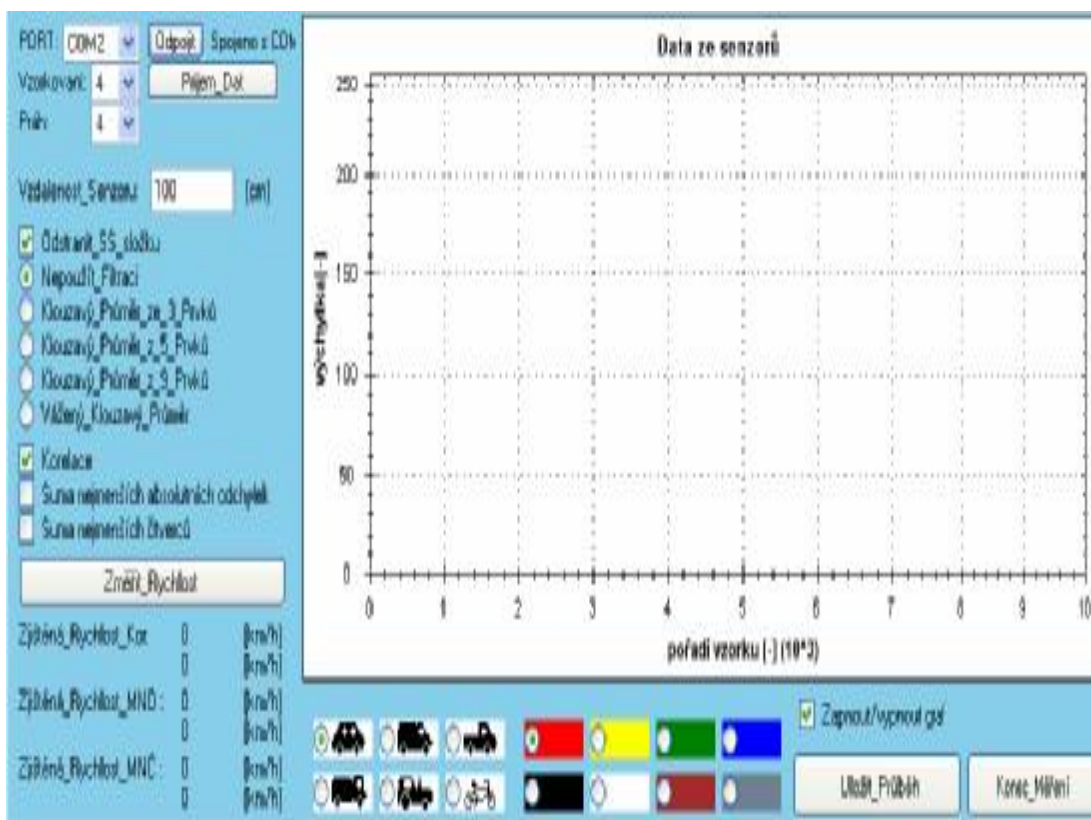


*Obr.: 6.01 – Hlavní nabídka programu pro počítač.*

#### 6.1.1. Popis formulář pro získávání dat a měření rychlosti.

Na obrázku *Obr.: 6.02* je zobrazen formulář pro získávání dat a měření rychlosti. V levé horní části se vybírá port, ke kterému je připojeno zařízení pro získávání dat. V nabídce jsou vypsány všechny nalezené porty „COM“. Po stisknutí


tlačítka „Spojit“ se spojí měřící zařízení s počítačem, pokud se spojení nezdaří, vypíše se za tlačítkem informace o nezdařeném úkonu, pokud se spojení zdaří, přepíše se text tlačítka na „Odpojit“. Stiskem tlačítka s nápisem odpojit se odpojí počítač od měřícího zařízení. Pokud se spojení zdaří povolí se ostatní možnosti formuláře. Pod výběrem portu je combobox, který určuje řídicí proměnnou SW předděličky a pod ním je combobox, kterým se nastavuje prahová úroveň, tyto hodnoty se odešlou stiskem tlačítka `Prijem_Dat`, spolu s touto hodnotou se zařízení pošle povel, aby bylo zahájeno měření. Při opětovném stisku tohoto tlačítka se odešle do zařízení povel k ukončení měření. Pod částí pro nastavení komunikace se zařízením je textbox, ve kterém je informace o vzdálenosti senzorů během měření. Dále je zde umístěn výběr umožňující při výpočtu odstranit stejnosměrnou složku signálu. Pod tímto výběrem je část, ve které se vybírá použitý filtr před vyhodnocením rychlosti, filtr však nemusí být použit. Dalším výběrem je použitá metoda, v programu lze vybrat ze tří metod a lze použít i vícero metod, výsledky pro jednotlivé metody jsou umístěny pod tlačítkem „Změřit\_Rychlost“, jehož stisknutím se provedou předvolené úpravy signálu a podle navolené kombinace metod se vypočítá rychlost sledovaného objektu vynesená v jednotkách [km/h].



Obr.: 6.02 – Formulář pro získávání dat a výpočet rychlosti.

V pravé horní části formuláře je umístěn graf, který zobrazuje přijatá data, lze ho využít například k nastavení senzorů před zahájením sledování objektu a také k určení přejetí objektu.

Pod grafem jsou umístěny ovládací prvky, jejichž navolením se vybere typ sledovaného objektu, jeho barva a uložení. Vedle těchto prvků je tlačítko zavírající tento formulář, běh programu se pak vrátí do hlavní nabídky viz.: *Obr.: 6.01*. Na obrázku *Obr.: 6.03* je v poznámkovém bloku otevřený záznam z měření. Data jsou ukládány do sloupců, kde první sloupec je pro jeden senzor a druhý sloupec obsahuje data z druhého senzoru. Data jsou ukládána do formátu textového souboru ukončeného koncovkou „.txt“. Číslo do prvního podtržítka v názvu určuje hodnotu SW předděličky během měření. Čísla umístěná před druhým podtržítkem udávají vzdálenost senzorů během měření. Následuje informace o typu objektu a pak informace o barvě objektu. V poslední části názvu je informace o hodině, minutě a vteřině, kdy byl záznam uložen. Den v roce se určuje podle složky, která nese číselné označení pořadí dne v roce.



The screenshot shows a text editor window titled "8\_40\_osobak\_red\_20\_36\_9.txt ...". The menu bar includes "Soubor", "Úpravy", "Formát", "Zobrazení", and "Nápověda". The main text area contains the following data:

48	63
44	60
39	54
40	63
46	67
44	62
39	54
38	60
47	63
47	63

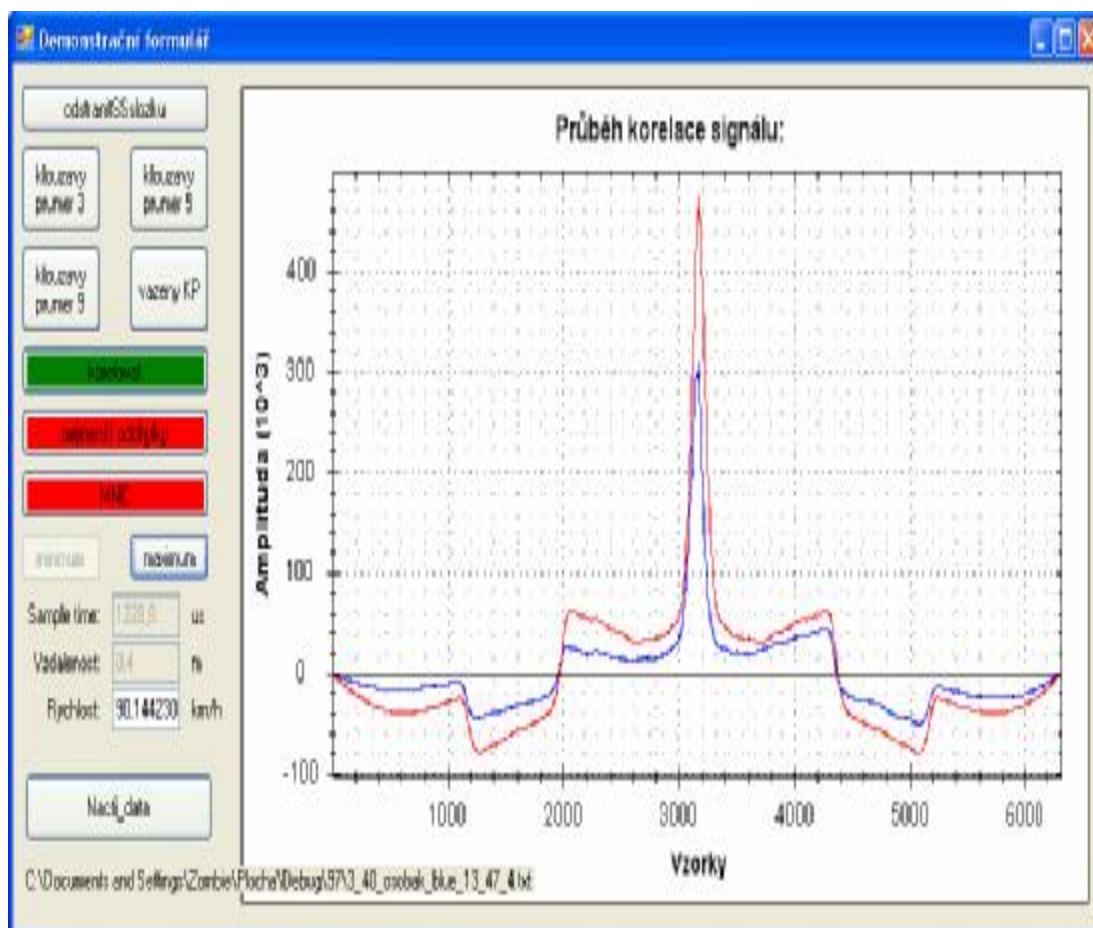
The status bar at the bottom right indicates "Řádek 1, :".

*Obr.: 6.03 – Záznam naměřených dat.*

### **6.1.2. Popis demonstračního formuláře.**

Demonstrační formulář slouží k offline vyhodnocování rychlosti, na rozdíl od předchozího formuláře vykresluje uživateli jednotlivé provedené kroky a úpravy signálů. Demonstrační formulář je umístěn na obrázku *Obr.: 6.04*.

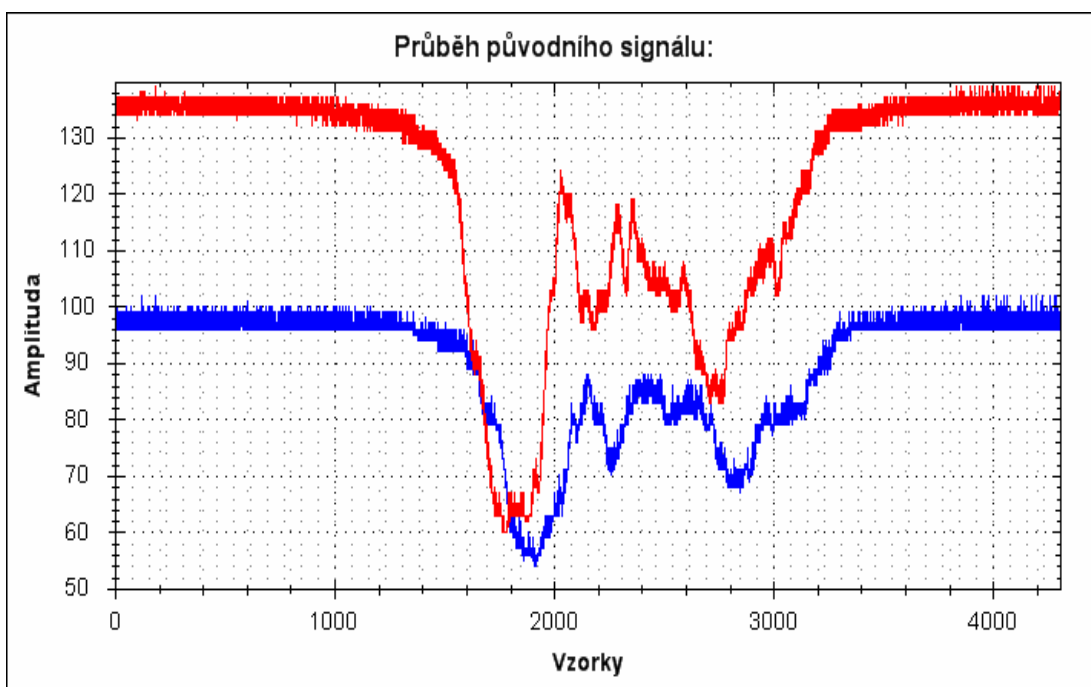
Tlačítko pro načtení dat je umístěno vlevo dole, po načtení dat se pod tlačítkem vypíše jméno a cesta k načtenému souboru. Vlevo nahoře je tlačítko, které od signálu odečte stejnosměrnou složku, pokud bude uživatel vyžadovat zpětně signál se stejnosměrnou složkou, musí si ho znovu načíst. Pod tlačítkem pro odstranění stejnosměrné složky jsou tlačítka pro aplikaci filtrů, výsledek filtrace je umístěn v jiné proměnné, proto je vždy filtrován signál původní, od kterého může být odstraněna stejnosměrná složka. Po výběru vyhodnocující metody se tlačítko vybrané metody vykreslí zeleně a ostatní metody červeně. Je-li využita korelace, hledají se extrémní maxima, pro ostatní metody se hledají extrémní minima. Výběrem tlačítka pro nalezení extrému dojde k výpočtu rychlosti z upravených signálů. Pod tlačítky pro hledání extrému je umístěn textbox informací o vzorkovacím času. Čas je vypsán v mikrosekundách a hodnota je udávána v čase mezi vzorky, nikoliv pouze mezi kanály. Pod tímto textboxem je textbox, do kterého program vypisuje uživateli vzdálenost senzorů v metrech. Spočítaná rychlost je umístěna po dokončení výpočtu do třetího textboxu a je vynášena v kilometrech za hodinu.



Obr.: 6.04 – Demonstrační formulář.

## 6.2. Postup zpracování dat a problematika vyhodnocení.

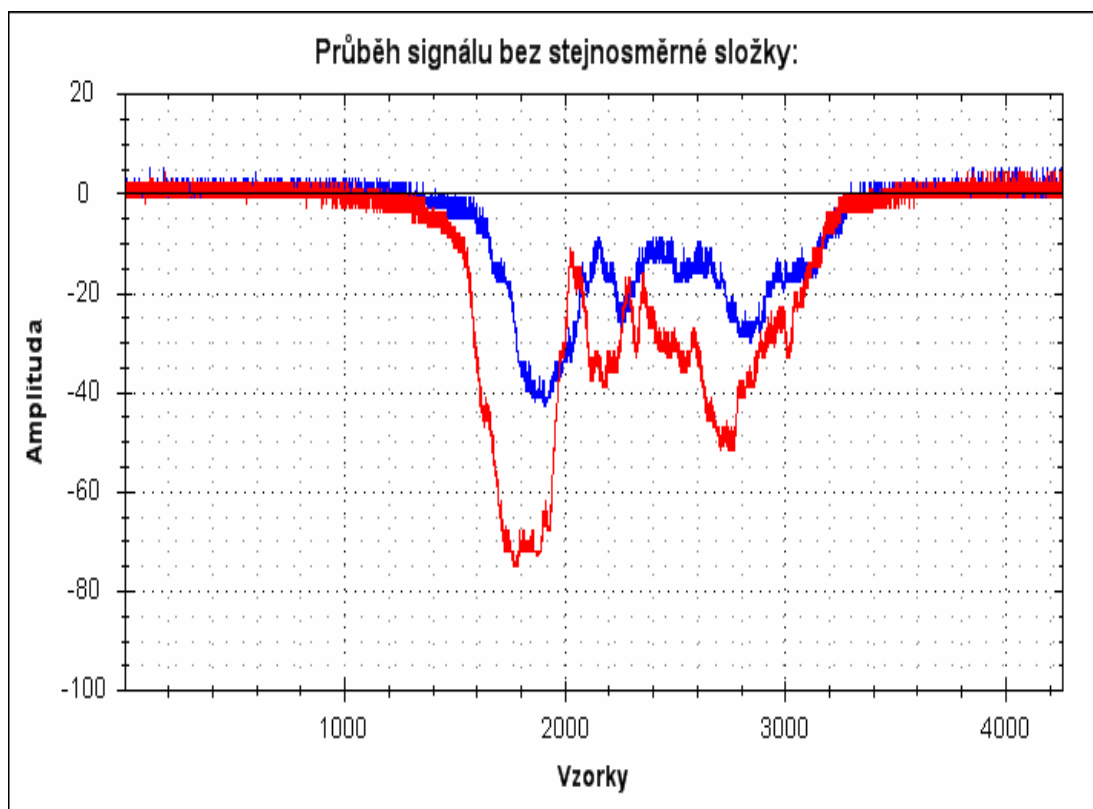
V této podkapitole jsou popsány aplikace matematických úprav, které byly rozebrány v 5. kapitole a jejich aplikace na reálně naměřená data. Data zkoumaná v této podkapitole jsou vykreslena na obrázku *Obr.: 6.05*, na těchto datech je níže popsán použitý matematický aparát a porovnání jednotlivých matematických úprav. Vyobrazená data obsahují záznam, na němž byl sledován traktor ke kterému byl připojen vůz. Na průbězích je patrná různá stejnosměrná podstava, která je způsobena rozdílným ozářením snímačů.



*Obr.: 6.05 – Zaznamenané průběhy neupravené.*

Obrázek *Obr.: 6.06* zaznamenává průběh signálu po odstranění rozdílů stejnosměrné složky a snížení její hodnoty, ideálním případem by byla hodnota nulová. Stejnosměrná složka byla odstraněna postupem, kdy se průměrná hodnota prvního tisíce vzorků odečetla od sledovaného signálu. Jelikož v případě tohoto sledování došlo k zastínění senzorů, je signál po odečtení průměrné hodnoty záporný. Pokud by došlo při sledování objektu ke zvýšení odraženého záření na snímač, byl by signál po odečtení stejnosměrné podstavy v kladných hodnotách. Třetí možností by byl stav, kdy by střední hodnoty nabývala velikosti stejnosměrné podstavy, to by zapříčinily signály v případě, že by vychýlení nad ustálenou hodnotu po dobu sledovaného intervalu odpovídalo vychýlení pod ustálenou hodnotu. Z průběhů po

odečtení střední hodnoty je patrné, že se signály úrovnově přiblížily proti signálům před odečtením střední hodnoty. Signály mají stejnou stejnosměrnou podstavu, je sice patrný rozdíl ve velikostech signálu, ale průběhy mají podobný charakter a lze tedy rychlost dopravního prostředku určit.

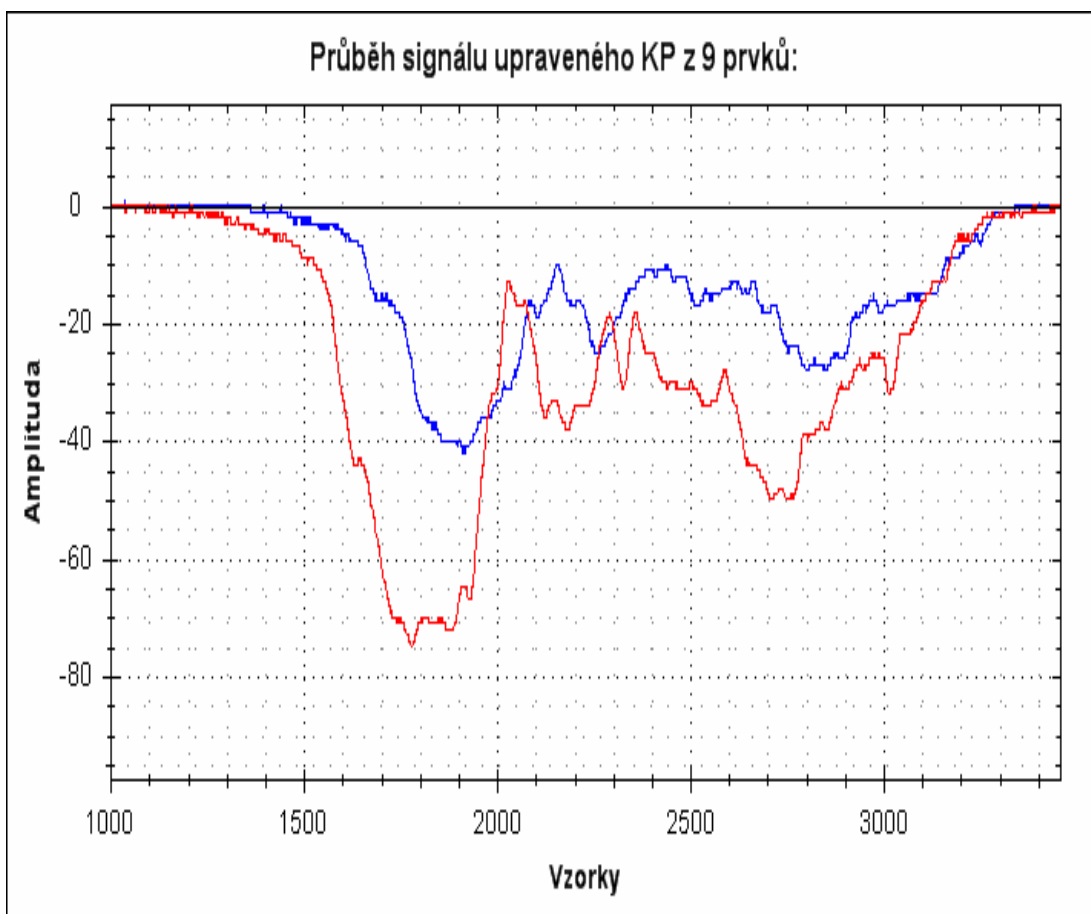


*Obr.: 6.06 – Data po odstranění stejnosměrné složky.*

Naměřený signál je zatížený šumem, tento šum lze částečně odstranit aplikací filtru. Na obrázku *Obr.: 6.07* je zaznamenán průběh po aplikaci filtru. Aplikovaným filtrem je kluzavý průměr z devíti prvků. Program, který byl pro tuto práci navržen může aplikovat kluzavý průměr ze tří, pěti, nebo devíti prvků. Další filtr, který může program aplikovat je kluzavý vážený průměr z devíti prvků, u tohoto filtru je posuzovanému prvku přiřazena váha tři, to znamená, že se tento prvek do výpočtu zahrne třikrát a sousedním prvkům prvku posuzovaného je přiřazena váha o hodnotě dvě, to znamená, že každý ze sousedních prvků je do výpočtu zahrnut dvakrát. Nevýhodou filtru je, že při širokém záběru prvků pro výpočet kluzavého průměru dochází ke snížení maximálních výchylek signálu a některé lokální extrémy mohou být úplně odstraněny. Aplikace ostatních filtrů na tento signál je umístěna na obrázcích v PŘÍLOHA E, obrázky: *Obr.: E.01*, *Obr.: E.02* a *Obr.: E.03*. Na těchto obrázcích je patrné, jaký mají vliv použité filtry na tvar signálů. Příkladem mohou



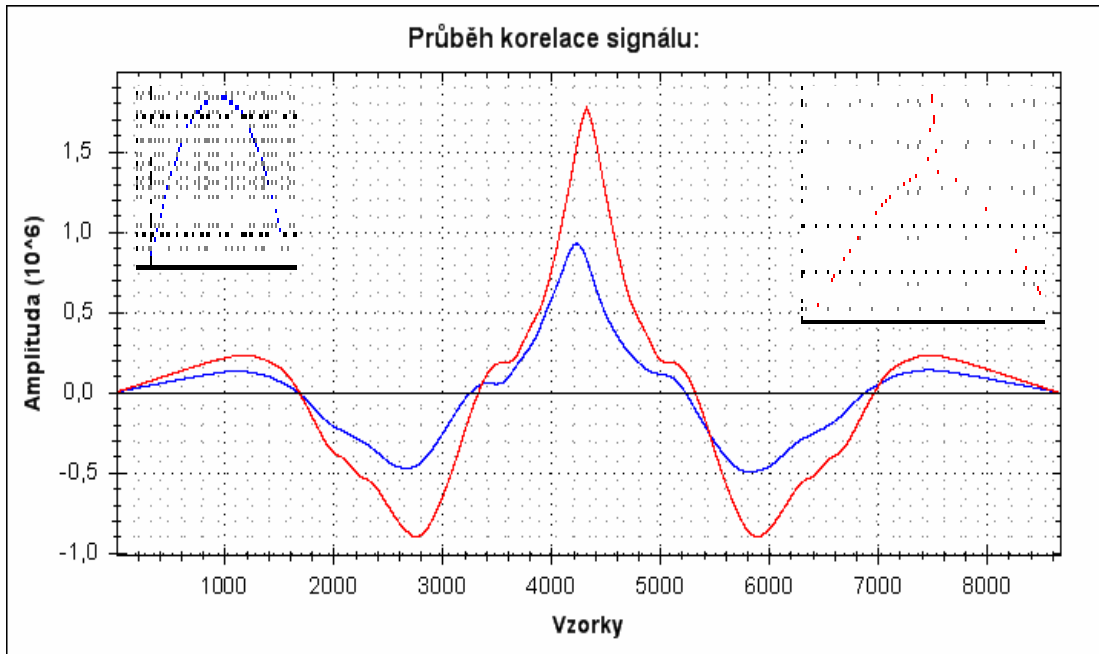
být vzorky v okolí bodu 1780, kde nefiltrovaný signál a i signál filtrovaný klouzavým průměrem ze tří prvků mají globální extrém ve tvaru obdélníku, na rozdíl od signálů po filtraci klouzavým průměrem z více prvků, u kterých má tento globální extrém tvar podobný více trojúhelníku.



*Obr.: 6.07 – Aplikace klouzavého průměru z devíti prvků.*

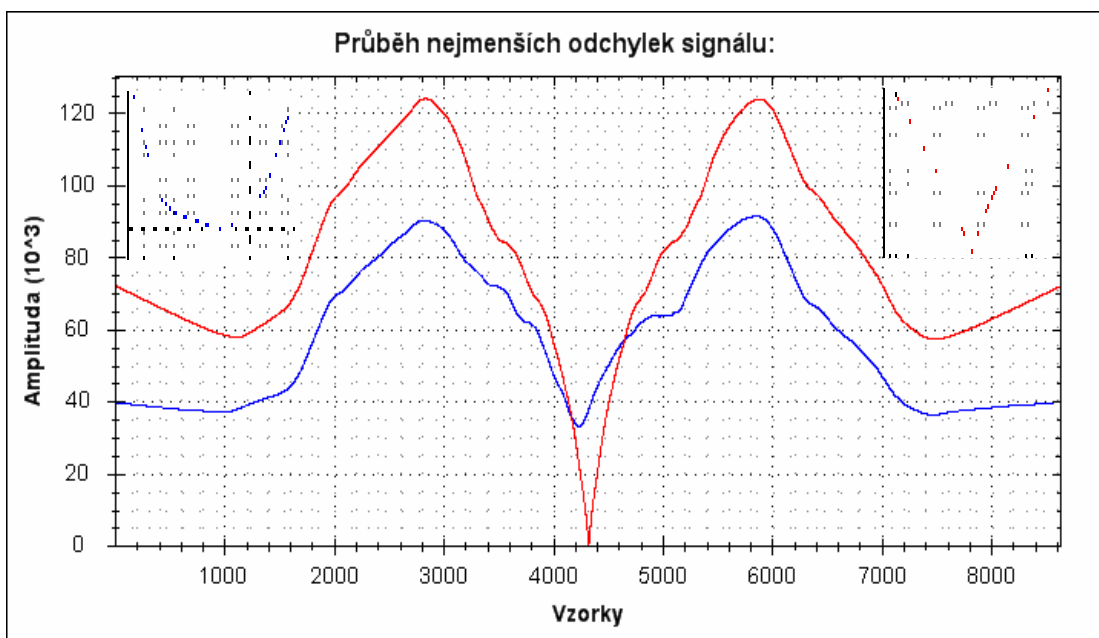
Na obrázku *Obr.: 6.08* je zaznamenána červeně autokorelace jednoho signálu, která je vypočítána pomocí vztahu (5.1.1) z předchozí kapitoly a vzájemná korelace obou signálů je vynesena modrou barvou a je počítána pomocí vztahu (5.2.1), který je rovněž popsán v předchozí kapitole. Vzájemné posunutí signálů je dáno rozdílem pořadí vzorků globálních extrémů maxima jednotlivých průběhů. Přiblížení průběhů na oba extrémy je umístěno v obrázku, kde globální extrém korelace je přiblížen vlevo nahoře a přiblížení na extrém autokorelace signálu je umístěno vpravo nahoře. U globálního extrému korelace v maximu je patrné, že odstup extrému od okolí je podstatně menší, než-li je tomu u globálního extrému maxima autokorelačního průběhu.





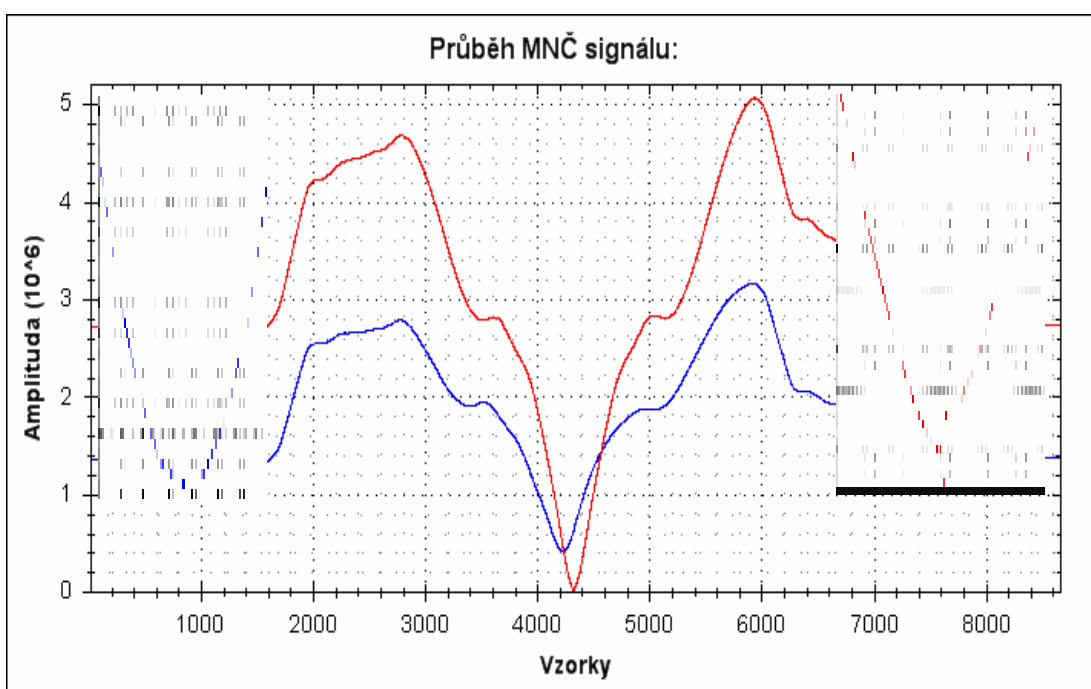
Obr.: 6.08 – Korelační a autokorelační průběh vyhodnocovaných signálů.

Obrázek Obr.: 6.09 zachycuje průběhy pro určení rychlosti objektu upravené metodou absolutní hodnoty nejmenších odchylek, kdy použitým vztahem je vztah (5.3.1) pro modrý průběh, v případě červeného průběhu je druhý signál nahrazen prvním signálem. Při této metodě se využívá hledání globálního extrému minima. Přiblížení jednotlivých extrémů vnesených průběhů je umístěno v obrázku v horních rozích. Extrém v bodě nuly je umístěn vpravo červenou barvou. Globální extrém v pozici hledaného bodu je vykreslen modrou barvou v levém horním rohu.



Obr.: 6.09 – Průběhy pro vyhodnocení metodou MNSAHO.

Obrázek *Obr.: 6.10* zachycuje průběh signálů upravených pomocí metody nejmenších čtverců, která byla počítána podle vztahu (5.4.1) pro modrý průběh a jeho úpravy, kdy byl druhý signál nahrazen prvním signálem pro červený průběh. U signálu byl stejně jako v předchozích dvou případech použit před aplikací metody filtr. Použitý filtr byl klouzavý průměr z devíti prvků. Od signálů byla také ve všech třech případech odečtena stejnosměrná složka. Metoda nejmenších čtverců vytváří v požadovaných bodech globální extrémy typu minima. Přiblížení extrému minima v bodě nuly je umístěno na obrázku vpravo a přiblížení extrému ve hledaném bodě je umístěno na obrázku vpravo.



*Obr.: 6.10 – Průběhy pro vyhodnocení MNC.*

Při měření tohoto objektu byla vzájemná vzdálenost senzorů 196 [cm] a použit byl dělicí poměr pro SW předděličku o velikosti 8 a HW předdělička měla také hodnotu 8. Určení rychlostí po jednotlivých úpravách signálu je vypsáno v tabulce *Tab.: 6.01*. Z tabulky vyplývá, že přítomnost stejnosměrné složky má nejmenší vliv na metodu nejmenších čtverců, kde se u sledovaného objektu odchýlení proti signálu bez stejnosměrné složky projevilo pouze při použití filtrace klouzavým průměrem z devíti prvků. Zbylé dvě metody vyhodnocení nebyli schopny určit rychlost objektu relevantně při přítomnosti stejnosměrné složky. Po odstranění stejnosměrné složky určili rychlost objektu relevantně všechny testované metody.

Nejmenší závislost určení rychlosti objektu na použitém filtru po odstranění stejnosměrné složky vykazala metoda nejmenších čtverců, která určila rychlost jako nejmenší ze všech použitých metod vyhodnocení. Nejcitlivější na použité filtrace signálu se prokázala metoda absolutní hodnoty nejmenších odchylek.

Tab.: 6.01 – Rychlosti určené po různých úpravách signálu.

	Úprava	Typ vyhodnocení		
		KORELACE	MNSAHO	MNČ
SS	Původní	717,7734375	717,7734375	21,97265625
	KP3	717,7734375	717,7734375	21,97265625
	KP5	717,7734375	717,7734375	21,97265625
	KP9	717,7734375	717,7734375	22,19917847
	VKP	717,7734375	717,7734375	21,97265625
Bez SS	Původní	23,15398185	24,19461025	21,97265625
	KP3	23,15398185	24,75080818	21,97265625
	KP5	23,40565557	24,19461025	21,97265625
	KP9	23,40565557	23,92578125	21,97265625
	VKP	23,15398185	23,40565557	21,97265625

Legenda:

SS – Zpracovávané signály mají přítomnu stejnosměrnou složku.

Bez SS – Od signálů byla odstraněna stejnosměrná složka.

KORELACE – K vyhodnocení byla použita korelace.

MNSAHO – Metoda nejmenší sumy absolutních hodnot odchylek.

MNČ – Vyhodnocení metodou nejmenších čtverců.

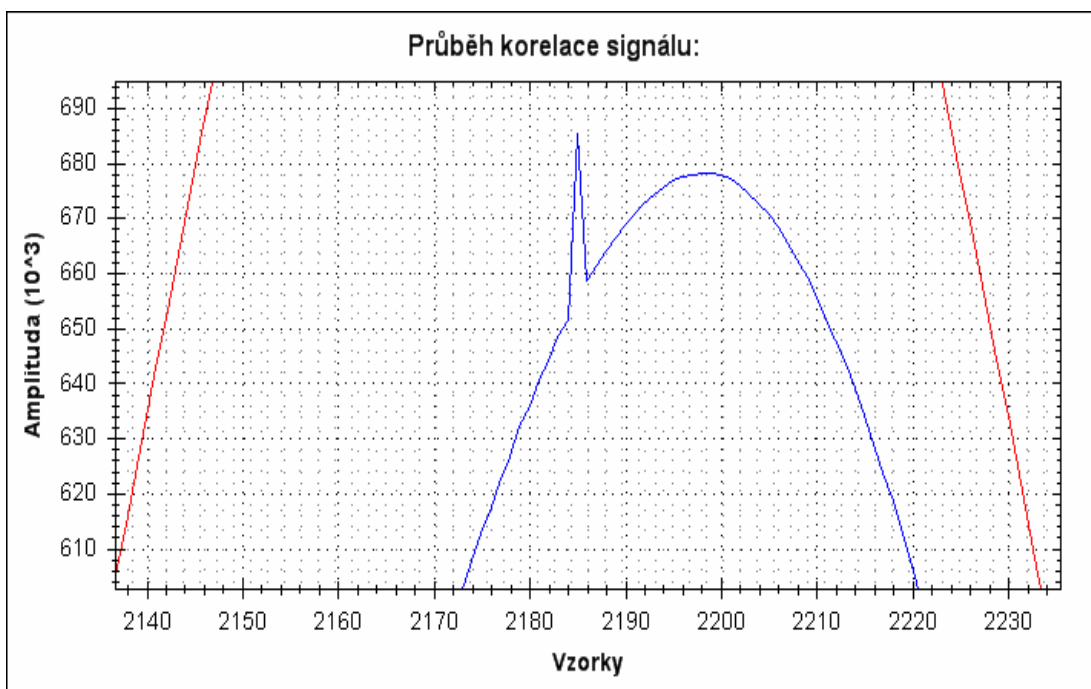
Původní – Signály nebyly před vyhodnocením filtrovány.

KPx – Signály byly filtrovány klouzavým průměrem, x udává počet prvků.

VKP – Signály byly filtrovány váženým klouzavým průměrem.

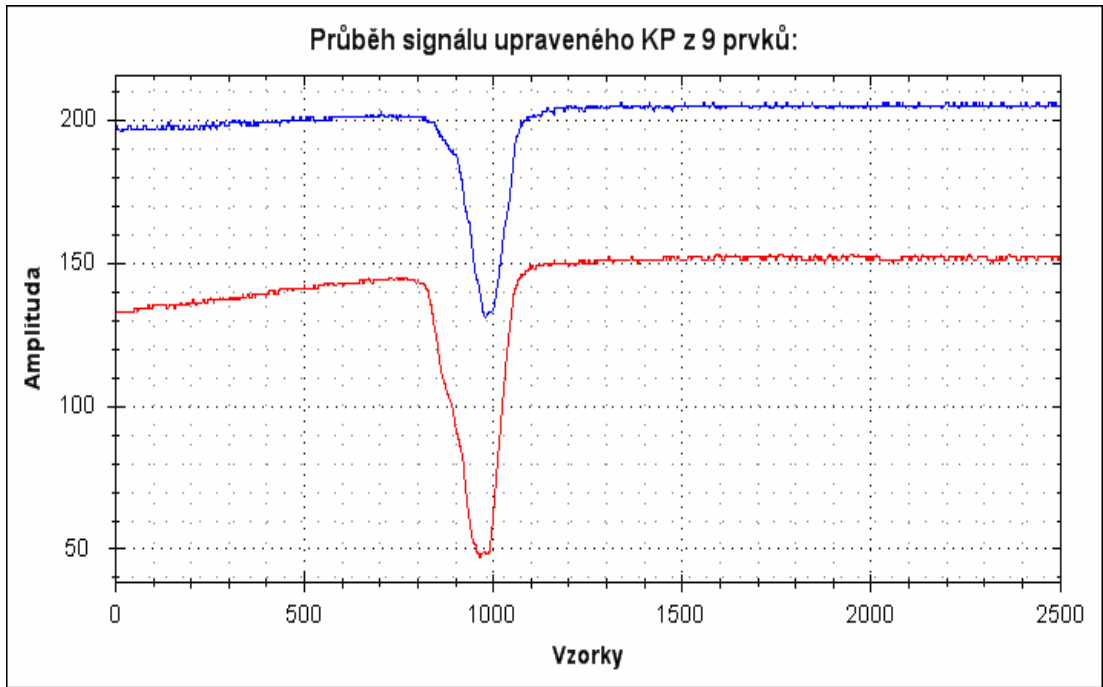
Data ve výše popsaném případě měla relativně příznivý průběh, takovýto průběh však nezanedbatelná část dat nemá. Jedním z vlivů, který je třeba brát v úvahu je způsoben použitím jednoho A/D převodníku. U převodníku totiž dochází k přeslechům mezi kanály. Tyto přeslechy bývají nepatrné, ale pro signály, které jsou posunuty o nedostatečné množství vzorků vzniká vlivem přizpůsobené filtrace v signálu obsahujícím extrém hledaného bodu extrém umístěný v bodě nuly. Pro případ blízkosti tohoto extrému a hledaného extrému může nastat stav, kdy tento nežádoucí extrém přesáhne extrém hledaný a ja pak chybně identifikován jako extrém hledaný. Příklad této nežádoucí anomálie v signálu, v němž je hledáno posunutí je vyneseno na obrázku *Obr.: 6.11*. Tento jev se vyznačuje prudkou strmostí

a velmi krátkým trváním. V programu je tento stav ošetřen podmínkou, která má vliv na maximální zjistitelnou rychlost sledovaného objektu. V praxi se jedná o pouhé přeskočení části vzorků při hledání extrému. Nejprve se nalezne extrém určující pozici nuly v posloupnosti dat a v okolí tohoto bodu se vymezení zakázaná oblast ve druhém průběhu. Pro určení oblasti byl zvolen klíč, kdy se k pozici nuly přičte a odečte hodnota 50, tím jsou získány hranice zakázané oblasti. Pro krystal 16 [MHz], odpojené HW i SW předdělíče a vzdálenosti senzorů 1 [m] je rychlost, která odpovídá při posunutí o zmíněných 50 vzorků rychlosti 562,5 [km/h]. Jak bylo popsáno ve 4. kapitole, má systém při tomto nastavení na těchto rychlostech velmi nízkou přesnost. Nejvyšší určitelná rychlost pro toto nastavení je tedy rychlost odpovídající posunutí o 50 vzorků, která má hodnotu 565,5 [km/h].

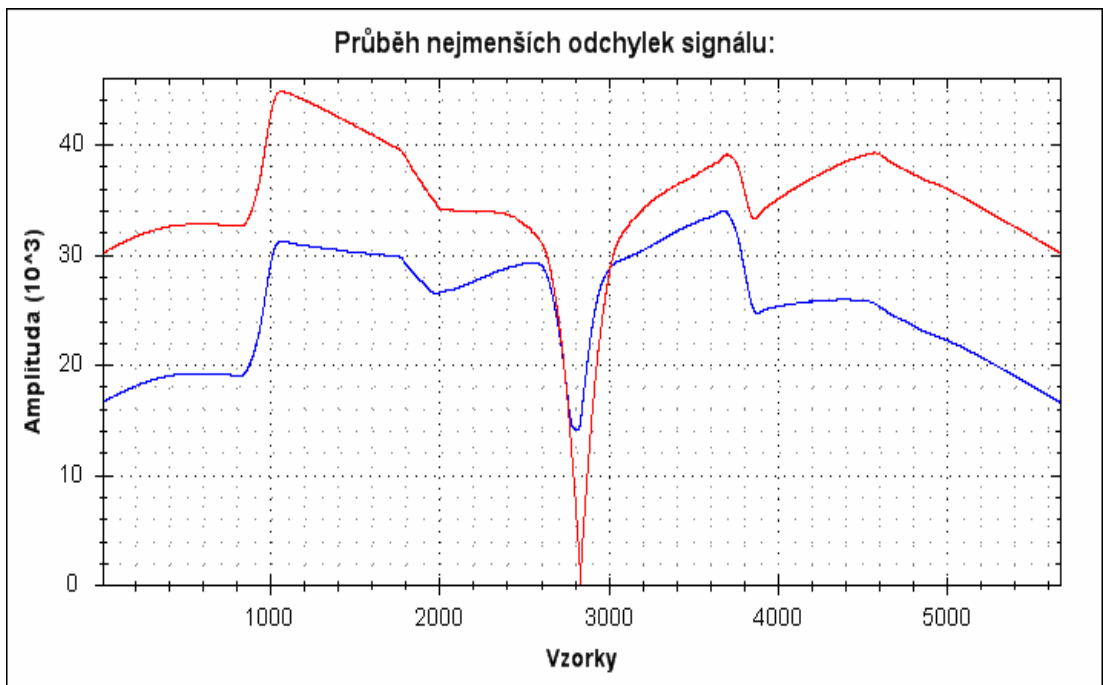


*Obr.: 6.11 – Nežádoucí extrém v bodě nuly.*

Na obrázku *Obr.: 6.12* je vykreslen průběh signálu, kdy během měření docházelo k postupné změně míry ozáření senzorů. Tento jev má vliv na tvar signálu upraveného metodou před hledáním extrému, jak je patrné z obrázku *Obr.: 6.13*, jev sice ovlivní výsledný průběh upravené funkce, ale extrém lze stále pohodlně určit. Z toho vyplývá, že použité metody mají proti tomuto vlivu jistou odolnost a lze konstatovat, že systém je nasaditelný do jisté míry i v prostředí s měnící se intenzitou ozáření prostředí..

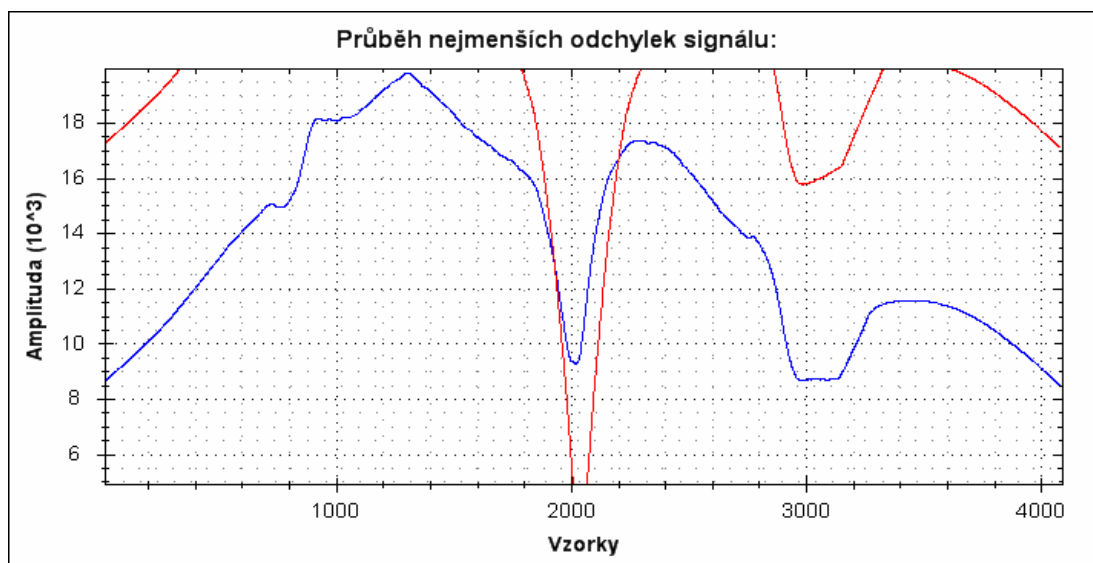


Obr.: 6.12 – Průběh při změně ozáření senzorů.



Obr.: 6.13 – Metoda MNSAHO aplikovaná na signál s měnícím se ozářením scény.

Z obrázku Obr.: 6.13 je však patrná tendence nabývat silných lokálních extrémů v nežádoucích bodech. Tento jev je společný u metody absolutní hodnoty nejmenších odchylek a u metody nejmenších čtverců. Příklad průběhu, kdy se vyskytl extrém v nežádoucím bodě přesahující extrém požadovaný je vyneseno na obrázku Obr.: 6.14.



Obr.: 6.14 – Průběh s globálním extrémem v nežádoucím bodě.

Z předchozích průběhů je patrné, že nežádoucí extrémy vznikají u metody nejmenších čtverců a u metody absolutní hodnoty nejmenších odchylek ve vzdálenosti přesahující desetinu délky upraveného signálu pro hledání extrému. Z této znalosti lze velkou část nežádoucích jevů eliminovat omezením intervalu, v němž je extrém hledán. Pro omezení byla vybrána jako nejmenší měřitelná rychlost při vypnutých předdělíčkách rychlost a odstupů senzorů 1 [m] rychlost 9,375 [km/h], tato rychlost odpovídá posunutí o 3000 vzorků, tento rozsah hledání odstraní většinu nežádoucích extrémů, ale nikoliv všechny.

### 6.3. Shrnutí zpracování dat.

V této kapitole byl popsán navržený program a rozebrána aplikace filtrů a metod vyhodnocení dat na reálně získaná data, ze získaných poznatků lze konstatovat, že nejvhodnější metodou pro vyhodnocení dat je metoda nejmenších čtverců. Na tuto metodu nemá na rozdíl od zbylých dvou vliv ani rozdílná stejnosměrná podstava a jen málo se mění vlivem filtru. Otázkou je však správnost určení, na tuto otázku se bude snažit odpovědět následující kapitola. Z poznatků při aplikaci metod pro vyhodnocení dat byly navrženy úpravy vyhledávání rychlosti, které byly implementovány do výsledného programu. V programu je využito načtení tisíce vzorků před čekáním na objekt k výpočtu hodnoty, která se použije k odstranění stejnosměrné podstavy.



## 7. Testovací měření na navrženém zařízení.

Pro testovací měření bylo třeba sestavit stojan pro měřící zařízení, zařízení umístěné na tomto zkonstruovaném stojanu je umístěno na obrázku *Obr.: 7.01*. Stojan je sestaven tak, aby bylo možné manipulovat s natočením sensorů. Detailní záběr na vrchní část stojanu je na obrázku *Obr.: 4.04*. Sensory jsou uchyceny ohnutým plechem a lze je natáčet, toho se využívá při nočním měření, které bude popsáno v podkapitole 7.2.



*Obr.: 7.01 – Zkonstruované měřící zařízení při měření.*

### 7.1. Porovnání určené rychlosti s testovaným objektem.

V tabulce *Tab.: 7.01* jsou vyneseny testovací změřené hodnoty rychlostí, kdy se vozidlo snažilo udržovat konkrétní rychlost. U vyšších rychlostí byl problém s vytažením rychlosti, jelikož se měřilo příliš blízko u vesnice. Rychlost byla dodržována pomocí tachometru, po porovnání rychlosti hlídané tachometrem s rychlostí určenou pomocí GPS bylo zjištěno, že při nízkých rychlostech ukazoval

tachometr rychlost o tři kilometry za hodinu vyšší. V případě vysokých rychlostí se takto sledovaná rychlost rozcházela již o šest kilometrů za hodinu. Další chybou, kterou je třeba vzít v potaz je chyba odečtení rychlosti obsluhou vozidla a nekonstantnost rychlosti na měřicím intervalu. Data v tabulce jsou získaná pomocí metody nejmenších čtverců. Z dat je patrné, že u některých případů byla rychlost určena nad rychlost udržovanou, to však nemusí být zapříčiněno pouze chybou zařízení, ale částečně i chybou obsluhy.

*Tab.: 7.01 – Testování rychlostí, SW předdělička 3, HW předdělička 8.*

Žádaná Rychlost	Změřená Rychlost
[km/h]	[km/h]
30	23,4375
	29,29688
	29,29688
50	46,875
	46,875
	50,95109
70	58,59375
	73,24219
	65,10417
90	83,70536
	83,70536
	78,125

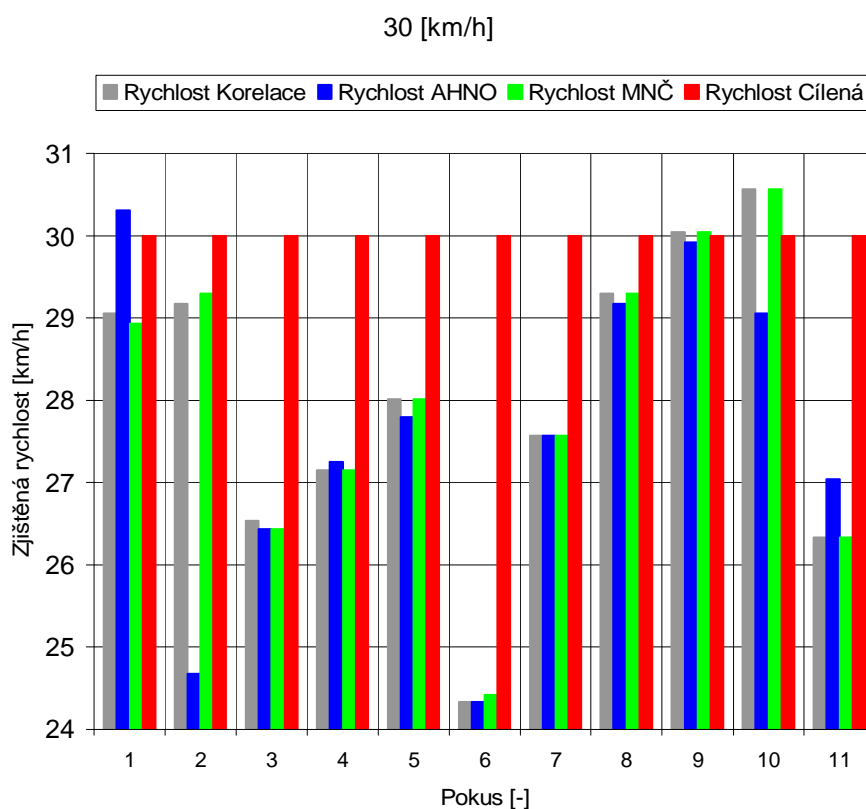
Pro vyhovění požadavkům na přesnost měření z kapitoly 1 bylo zařízení upraveno. Provedenou úpravou byla změna předděliček a vzdálenosti senzorů. S požadovanými parametry bylo provedeno testovací měření na objektu pohybujícím se známou rychlostí. Hodnoty získané při tomto testovacím měření jsou vyneseny v tabulce *Tab.: 7.02*. Testována byla přesnost pro rychlosti 30 [km/h] a 50 [km/h]. Z tabulky je patrné, že určená rychlost odpovídala požadované rychlosti. Rozptyl zjištěných rychlostí byl způsoben více faktory. Hlavním vlivem je rychlost, kterou tachometr vozidla vydává místo požadované, dalším vlivem je chyba obsluhy při odečtení rychlosti a její udržování. Dalším vlivem je chyba zařízení, která však byla označena za přijatelnou. Z provedených měření je patrné, že sledovaná rychlost byla překročena pouze v několika případech, což bylo způsobeno součtem vlivů výše zmíněných činitelů.



Tab.: 7.02 – Testování rychlosti, SW předdělička 4, HW předdělička 1.

Pokus	Rychlost Korelace	Rychlost MNSAHO	Rychlost MNČ	Rychlost Cílená	Rychlost Korelace	Rychlost MNSAHO	Rychlost MNČ	Rychlost Cílená
	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
1	29,0548	30,3071	28,9352	30	46,5646	47,8316	46,8750	50
2	29,1753	24,6711	29,2969	30	52,8665	47,1896	52,4720	50
3	26,5330	26,4333	26,4333	30	47,5084	48,8281	47,5084	50
4	27,1477	27,2529	27,1477	30	48,1592	48,1592	48,4914	50
5	28,0129	27,7915	28,0129	30	44,7850	43,6724	44,7850	50
6	24,3296	24,3296	24,4141	30	48,1592	49,1696	48,1592	50
7	27,5735	27,5735	27,5735	30	45,9559	45,6575	45,9559	50
8	29,2969	29,1753	29,2969	30	47,1896	48,8281	47,1896	50
9	30,0481	29,9202	30,0481	30	46,5646	47,5084	46,5646	50
10	30,5707	29,0548	30,5707	30	46,2582	47,5084	46,2582	50
11	26,3343	27,0433	26,3343	30	43,8084	39,0625	43,8084	50

Obrázek Obr.: 7.02 zachycuje rychlosti zanesené do předchozí tabulky pro rychlost 30 [km/h]. Z dat je patrné, že došlo k určení překročení rychlosti pouze výjmečně. To se shoduje s nařízením, kdy tachometr nesmí ukazovat rychlost menší, než-li kterou se vozidlo skutečně pohybuje.



Obr.: 7.02 – Určené rychlosti 30 [km/h] při denním měření.

## 7.2. Rozbor dat naměřených v noci.

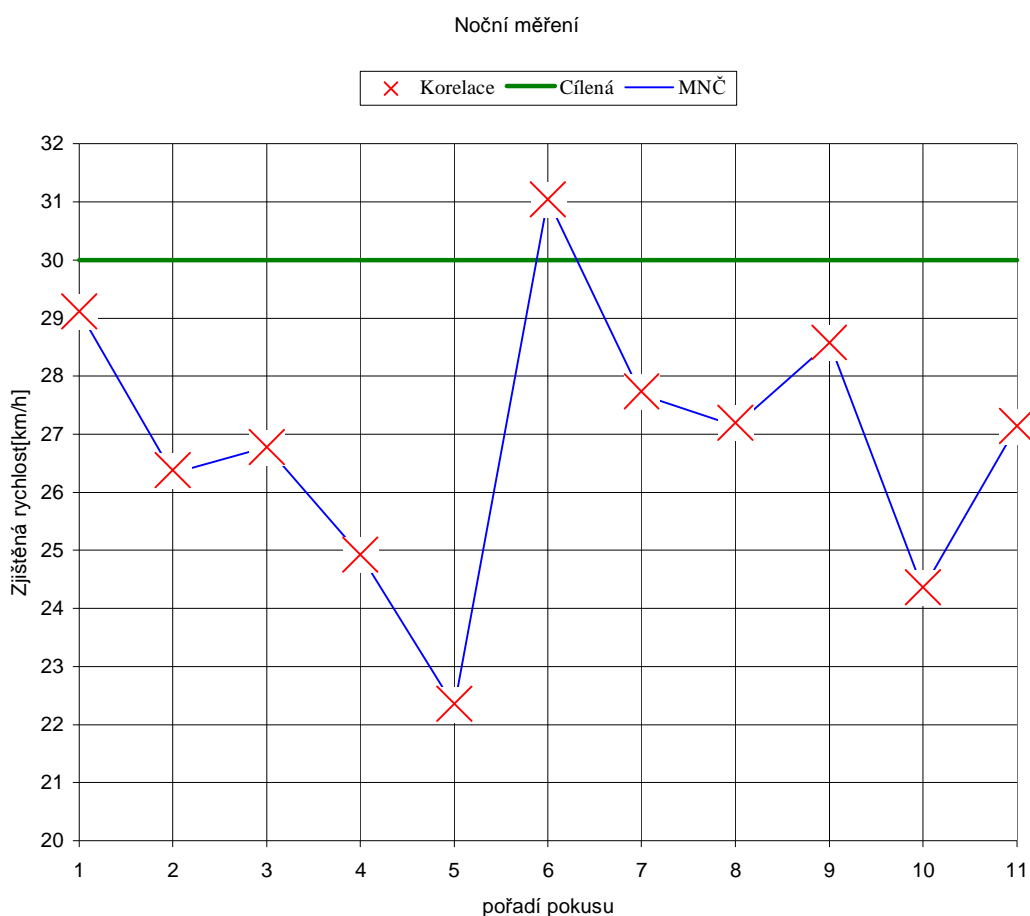
Z tabulky Tab.: 7.03, ve které jsou vypsány vypočítané rychlosti z měření, které bylo provedeno v nočních hodinách mezi 22. a 23 hodinou je patrné, že pro noční měření se v žádném případě nedá použít metoda absolutní hodnoty nejmenších odchylek, která vykazuje z cela nepoužitelné hodnoty. Testovací vozidlo se pohybovalo vždy rychlostí 30 [km/h], která byla měřena ručičkovým tachometrem. Jelikož byla měřící oblast vybrána lehce do kopce, musel řidič rychlost silně korigovat, tento úkon zanesl odchylku rychlosti vozidla od požadované rychlosti vozu. Při vyhodnocování rychlosti byla od signálu odečtena stejnosměrná složka a použit filtr typu klouzavý průměr z devíti prvků. Z tabulky lze usoudit, že použitý systém má využitelnost odpovídající měření za dne, senzory však musely být pro toto měření natočeny do směru, ze kterého se vozidlo přibližovalo. Toto natočení umožnila konstrukce stojanu s otočnými úchyty pro senzory. Vzdálenost senzorů v průběhu měření byla 40 [cm] a SW předdělíčka byla nastavena na hodnotu 1, která byla v mikroprocesoru násobena hodnotou 2.

Tab.: 7.03 – Zjištěné rychlosti při nočním měření upraveným systémem.

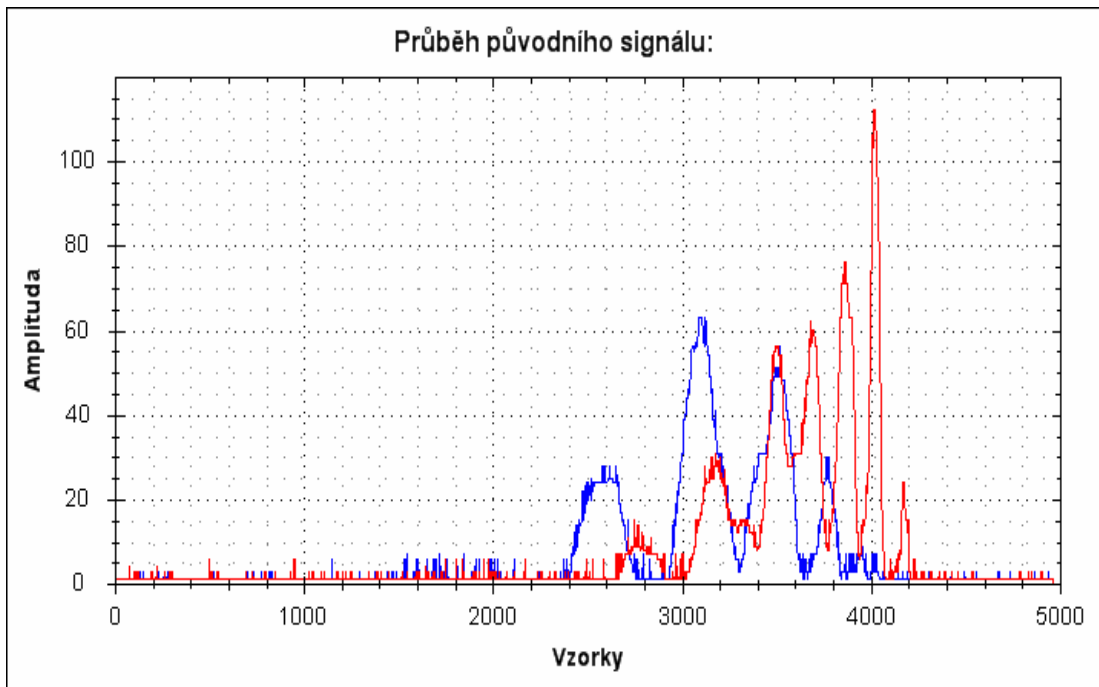
Pokus	Rychlost Korelace	Rychlost MNSAHO	Rychlost MNČ	Rychlost Cílená
	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
1	29,11491	30,63725	29,11491	30
2	26,38368	22,25079	26,33427	30
3	26,78571	43,26923	26,78571	30
4	24,93351	101,9022	24,93351	30
5	22,35692	93,75	22,32143	30
6	31,04305	123,3553	31,04305	30
7	27,73669	109,8633	27,68209	30
8	27,20019	109,8633	27,14768	30
9	28,58232	119,1737	28,58232	30
10	24,37175	80,35714	24,32958	30
11	27,14768	104,1667	27,14768	30

Legenda: MNSAHO – Metoda nejmenší sumy abs. hodnot odchylek.  
Rychlost Cílená – Rychlost, kterou se snažilo vozidlo pohybovat a byla měřena pomocí tachometru.  
MNČ – Metoda nejmenších čtverců.

Na obrázku *Obr.: 7.03* jsou vyneseny grafy z tabulky *Tab.: 7.04*, kde zelená přímka určuje požadovanou rychlost, modrý průběh určené rychlosti metodou nejmenších čtverců a červené křížky rychlost určenou pomocí korelace. Metoda absolutní hodnoty nejmenších odchylek do grafu vynesena nebyla, jelikož data z ní nejsou relevantní. Z průběhů je patrné, že pro tento způsob zpracování a filtrace dat je rychlost určená pomocí korelace identická s rychlostí určenou pomocí metody nejmenších čtverců. Data získaná z nočního měření lze považovat za přijatelná pro měření rychlosti vozidel, rozptyl zjištěných dat od požadovaných je způsoben nejen měřicím zařízením, ale také odchylkou rychlosti při jednotlivých jízdách a chybou určené rychlosti při měření tachometrem.

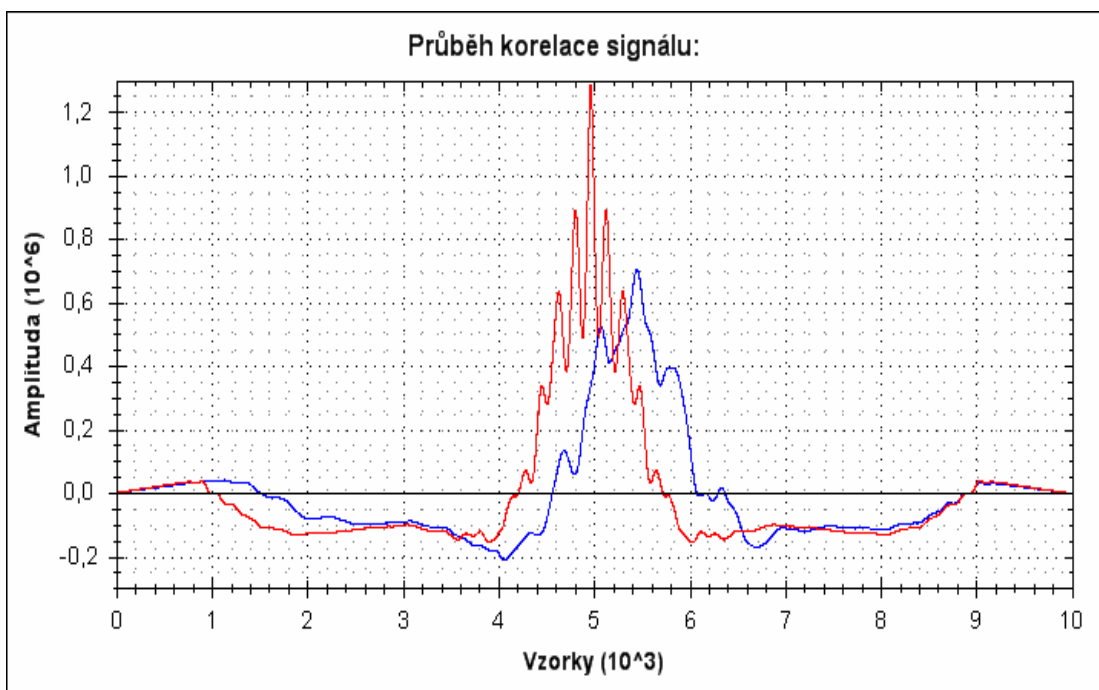


*Obr.: 7.03 – Graf zjištěných rychlostí při nočním měření.*



Obr.: 7.04 – Průběh signálu pořízený při nočním měření.

Na obrázku *Obr.: 7.04* je zaznamenán průběh pro měření rychlosti vozidla pořízený ve 22 hodin a 12 minut. Měřitelné vychýlení signálu bylo způsobeno reflektory projíždějícího vozidla. Autokorelační průběh prvního signálu a vzájemný korelační průběh obou signálů jsou vyneseny v obrázku *Obr.: 7.05*. Rychlost vozidla, jehož průběhy jsou na obrázcích je umístěna v tabulce *Tab.: 7.04* v prvním řádku.



Obr.: 7.05 – Korelace v noci pořízeného signálu.

### 7.3. Měření náhodných vozidel při průjezdu v obci.

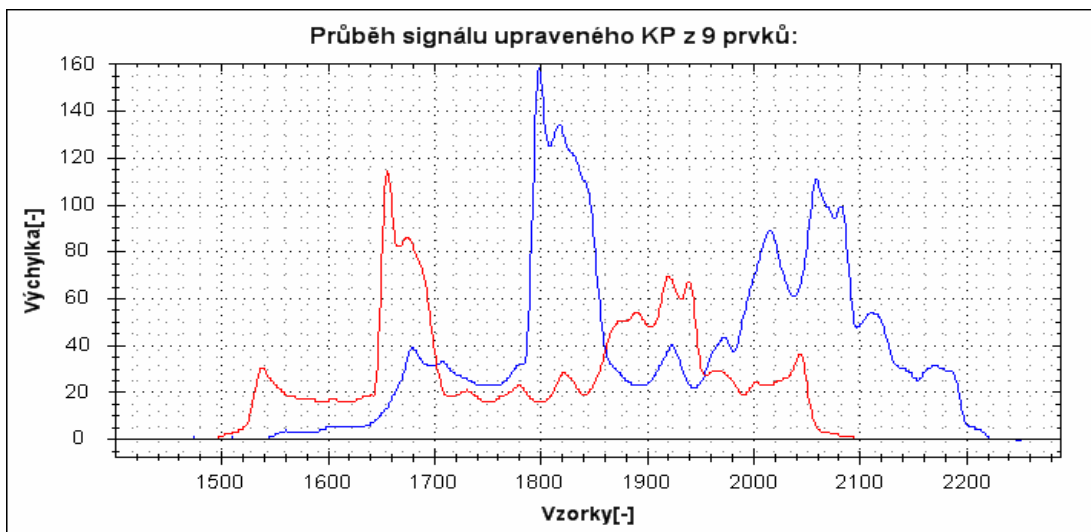
Závěrečným měřením provedeným v této práci je testovací měření, kdy se měří rychlost náhodných vozidel, které projíždějí v obci, kde je maximální rychlost omezena na 50 [km/h]. Rychlosti změřené během třiceti minutového intervalu jsou vynesena do tabulky *Tab.: 7.04*. Tabulka a její podrobné analýzy jsou také umístěny na doprovodném CD v souboru „graf\_a\_tabulky\_rychlosti.xls“ v záložce List3. Z rozboru vyplynulo, že po odečtení toleranční rychlosti 3 [km/h] překračuje maximální povolenou rychlost přibližně 40% řidičů, všechny přestupky však byly v rozsahu do 20 [km/h] nad maximální povolenou rychlost, což je nejnižší kategorie, při níž nelze odebrat řidičský průkaz. Průměrná rychlost vozidel, které projely po vozovce se při vyhodnocení všemi metodami pohybovala do rychlosti 0,5 [km/h] nad maximální povolenou rychlost 50 [km/h]. Z dat vyplývá, že by přibližná částka vybraná za pokuty během třiceti minut byla kolem 14 000 [kč].

*Tab.: 7.04 – Rychlosti určené při měření v obci.*

Pokus	Rychlost Korelace [km/h]	Rychlost MNSAHO [km/h]	Rychlost MNČ [km/h]	Pokus	Rychlost Korelace [km/h]	Rychlost MNSAHO [km/h]	Rychlost MNČ [km/h]
1	55,8036	55,8036	55,8036	19	49,5158	47,1896	49,5158
2	54,0865	53,2670	55,3642	20	65,1042	65,1042	65,1042
3	41,8527	42,1033	41,8527	21	46,5646	45,0721	46,5646
4	45,9559	46,2582	45,9559	22	41,1184	41,3603	41,1184
5	49,1696	49,8670	49,1696	23	52,8665	52,8665	52,8665
6	66,3325	66,9643	66,3325	24	61,1413	61,1413	61,1413
7	32,4021	32,4021	32,4021	25	69,6163	70,3125	69,6163
8	45,6575	45,0721	45,6575	26	66,9643	65,7126	66,9643
9	40,8794	41,1184	40,8794	27	55,8036	56,2500	55,8036
10	44,2217	45,3629	44,2217	28	46,2582	46,2582	46,2582
11	53,6737	53,6737	53,6737	29	69,6163	67,6082	69,6163
12	52,4720	51,7004	52,4720	30	57,1646	56,7036	57,1646
13	41,6050	41,6050	41,6050	31	62,2235	62,2235	62,2235
14	45,6575	44,7850	45,6575	32	44,2217	44,2217	44,2217
15	48,1592	46,8750	48,1592	33	30,3071	33,9674	30,3071
16	52,4720	54,9316	52,4720	34	28,9352	28,6990	28,9352
17	59,5869	59,5869	59,5869	35	31,5303	37,2024	31,6723
18	71,7474	74,8005	71,7474	36	29,4195	29,4195	29,4195

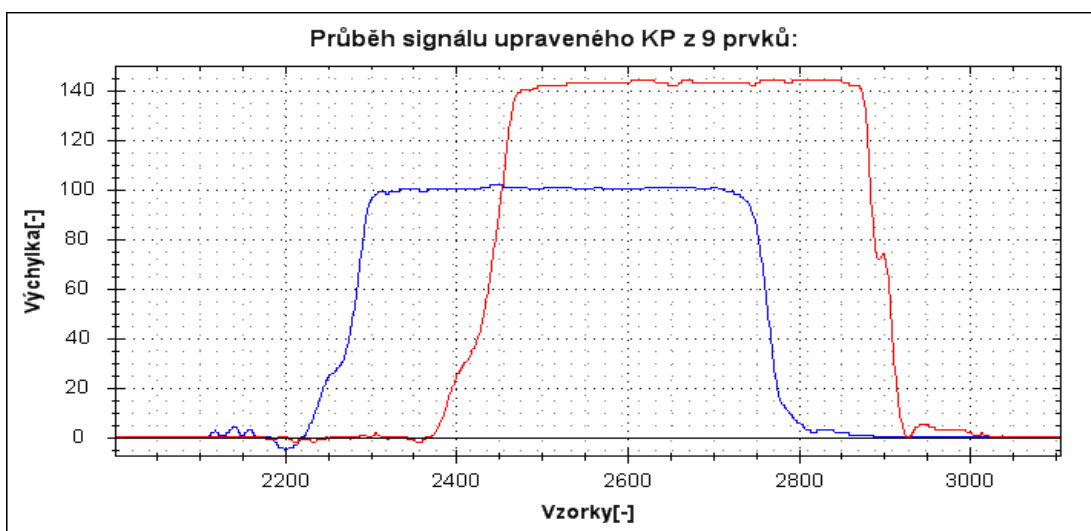
Obrázek *Obr.: 7.06* zachycuje vozidlo, které mělo tmavou barvu. Při měření byl nejsilnější světelný zdroj ovlivňující měření (slunce) v pozici za měřícím zařízením, což znamená, že přijímaný signál byl reflektován. V případě měření rychlostí z tabulky *Tab.: 7.02* byl zdroj zastíňován. Z průběhu změřených dat pro

obrázek *Obr.: 7.06*, jehož rychlost je v tabulce jako pokus 5 je zjevné, že objekt byl tmavý a odrážel malou část dopadající energie. Velkou energii však odrážela okénka vozidla, to se projevilo na průběhu dvěma extrémny, v případě senzoru reprezentovaného modrou barvou jsou tyto extrémny v okolí vzorků 1800 a 2050.



*Obr.: 7.06 – Tmavé vozidlo měřené v obci.*

Na obrázku *Obr.: 7.07* je pro změnu vynesena průběh vyvolaný vozidlem světlé barvy, z průběhu je patrné, že při odrážení záření nevznikaly lokální extrémny, jako tomu bylo v předchozím případě. Rychlost určená pro tento průběh je vynesena v tabulce jako pokus 15.



*Obr.: 7.07 – Světlé vozidlo měřené v obci.*

## 8. Závěr.

V první části práce byly rozebrány metody měření a možnosti snímání veličin ovlivňovaných sledovaným objektem. Na základě získaných poznatků byl vybrán systém měření rychlosti pomocí úsekového měření rychlosti a pro snímání byly vybrány optické snímače, které byly upraveny podle kapitoly 2. Vliv této úpravy byl demonstrován v podkapitole 3.1.1.

Zkonstruované zařízení bylo vybaveno optickými senzory s upravenými fototranzistory, které se z analyzovaných snímačů osvědčily nejlépe. Jako odpor děliče ve snímači byl zvolen dvojitý potenciometr, který se vyrábí ve větších odporových velikostech, než-li digitální potenciometry. Přesnost zařízení je závislá na vzdálenosti senzorů a na použité rychlosti vzorkování. Analýza přesnosti byla provedena v kapitole 4, z této analýzy vyplynulo, že zařízení má chybu způsobenou střídavým vzorkováním senzorů, kterou lze pokládat za nevýznamnou. Chyba určení rychlosti navrženým zařízením při chybném určení posunutí o jeden vzorek splňuje předpoklady vymezené v podkapitole 1.3. Tato chyba není na celém měřeném intervalu konstantní.

V páté kapitole byly popsány základní vlastnosti signálů, jejich vyhodnocení pro ideální případy a provedeny simulace vlivu normálního a rovnoměrného šumu na určení vzájemného posunutí signálů. Z testovacích simulací v páté kapitole vyplynul problém využití polynomu pro vyhlazení signálu, který rovnoměrně kmitá kolem střední hodnoty (například sinusový signál), proto nebyl polynom využit ve výsledném řešení. Klouzavý průměr se proti polynomu osvědčil a byl tedy do výsledného řešení implementován. Implementovány byly i metody vyhodnocení, které byly v páté kapitole porovnány. Z porovnání vyplynula lepší použitelnost korelace a metody nejmenších čtverců, přesto byla implementována i metoda absolutní hodnoty nejmenších odchylek.

Po vyhodnocení závislosti určení rychlosti na přítomnosti stejnosměrné složky a vlivu filtrace reálného signálu na konstantnost určení rychlosti lze konstatovat, že nejméně citlivou metodou na tyto faktory, z posuzovaných metod, je metoda nejmenších čtverců. Pro stálou přesnost lze udělat méně matematických operací a lze ji označit za nejjednodušeji proveditelnou.

Pro odstranění nežádoucích jevů, které byly popsány v kapitole 6, bylo nutné omezit rozsah měřených rychlostí. Získanou výhodou je zrychlení algoritmu pro vychledávání posunutí. Omezení rychlostí je sice nepříjemné, ale minimální změřitelnou rychlost pro pomalu jedoucí objekty lze upravit zapnutím SW předděličky. Cenou za zapnutí SW předděličky je snížení maximální změřitelné rychlosti. Jsou-li předděličky odpojeny, je i po omezení maximální změřitelná rychlost dostačující k odebrání řidičského oprávnění na komunikacích s maximální povolenou rychlostí 90 [km/h].

Z měření provedených v kapitole 7 je patrné, že systém je použitelný za denního osvětlení scény, ale lze ho po natočení senzorů použít i pro měření v noci, kdy se jako budící zdroj využívá záření z reflektorů vozidla. V případě nočního měření má systém podstatný nedostatek v tom, že je schopen měřit rychlost vozidel jedoucích pouze ze směru natočení senzorů. Měření za tmy také prokázala, že při měření ve tmě je nepoužitelná metoda nejmenší sumy absolutních hodnot odchylek, při které jsou změřené rychlosti velmi odchýlené od skutečné rychlosti vozidla. Lze navrhnout, aby při měření v noci byla scéna uměle přizařována infračerveným zářením, které není viditelné lidským okem, ale použité fototranzistory jsou schopny ho detekovat. Při tomto případě není třeba senzory natáčet a průběhy lze očekávat podobné jako při denním měření, pouze výchyly budou menší proti dennímu případu, jelikož je zbytečné a energeticky náročné dosahovat umělými zdroji intenzity záření, které se v okolí vyskytuje ve dne.

V rámci této práce bylo navrženo zařízení pro sběr dat ze senzorů do počítače, které bylo sestrojeno a oživeno. V počítači byl navržen a naprogramován program, který vyhodnocuje získaná data a za použití různých metod počítá ze získaných dat rychlost vozidel. Funkčnost zařízení jako celku byla odzkoušena na sérii testovacích měření, které byly provedeny pro různá nastavení a za různých podmínek měření.

V práci na této problematice lze dále pokračovat, příkladem může být návrh systému pro automatické měření, kde by se případný pokračovatel zabýval separací signálů a jejich vyhodnocením. Další případnou úpravou, kterou by mohl provést, je nasazení takto navrženého algoritmu do digitálního signálového procesoru. V případě, kdy by nedostačoval navrhovaný systém, lze provést úpravy, která byla



popsány v kapitole 4. Tedy osadit zařízení externími A/D převodníky a přídatnou pamětí, k tomu je samozřejmě nutná i úprava programů pro mikroprocesor a počítač.

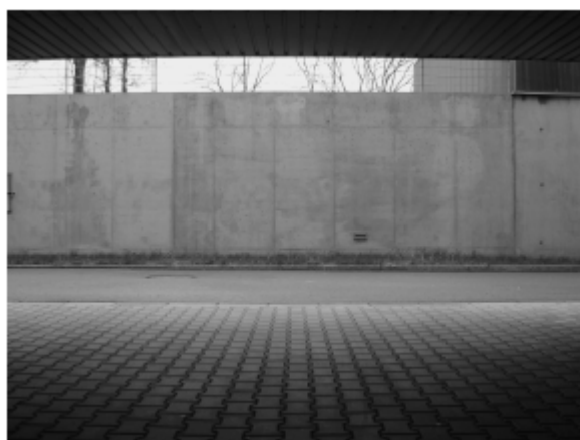
## Použitá literatura a zdroje:

- [1] MATUSZCZYK, Jacek. *Antény : prakticky*. 3. české vydání. Praha : BEN, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-178-0.
- [2] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, Bohuslav. *Matlab : začínáme se signály*. 1. vydání. Praha : BEN, 2006. 272 s. ISBN 80-7300-200-0.
- [3] Wikipedie [online]. 2002 [cit. 2008-10-10].  
Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/>>.
- [4] *Citace.com* [online]. 2009 [cit. 2010-03-28]. Generátor citací.  
Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/generator.php?>>.
- [5] prof. Ing. BEZOUŠEK, Pavel CSc. *Signály a soustavy*. Upa, 2009. 131 s. Přednášky. Univerzita Pardubice.
- [6] doc. Ing. FIŠER, Ondřej CSc. *Elektromagnetická kompatibilita..* Upa, 2008. 50 s. Přednášky. Univerzita Pardubice.
- [7] REJFEK, Luboš. *Měření nerovnoměrnosti otáčení*. Pardubice, 2009. 83 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.  
Dostupné z WWW: <<https://portal.upce.cz/jetspeed/portal/prohlizeni>>.
- [8] prof. Ing. BEZOUŠEK, Pavel CSc. *Systémy rádiového určování polohy*. Upa, 2009. 131 s. Přednášky. Univerzita Pardubice.
- [9] Vishay Semiconductors *Datasheet bpw85*. Vishay, 2008. 6 s.  
Dostupné z WWW: <[https:// www.vishay.com](https://www.vishay.com)>.

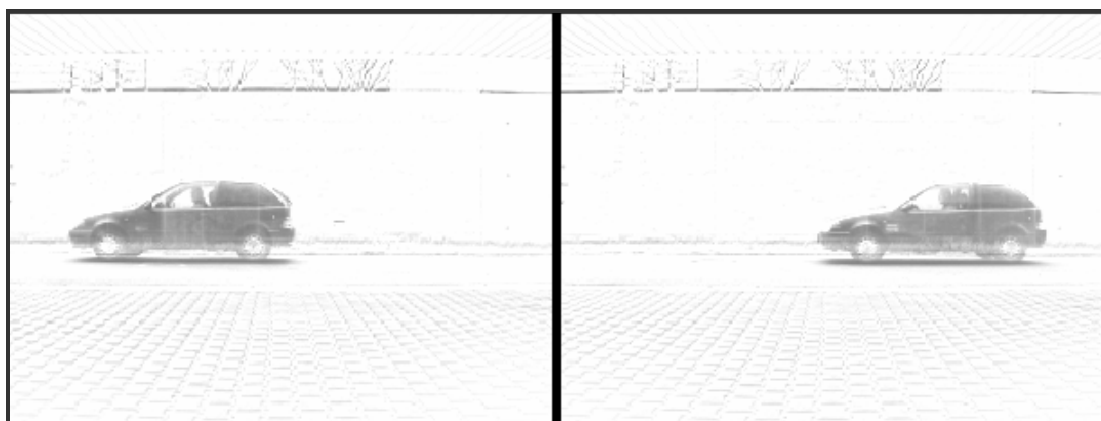
## PŘÍLOHA A:



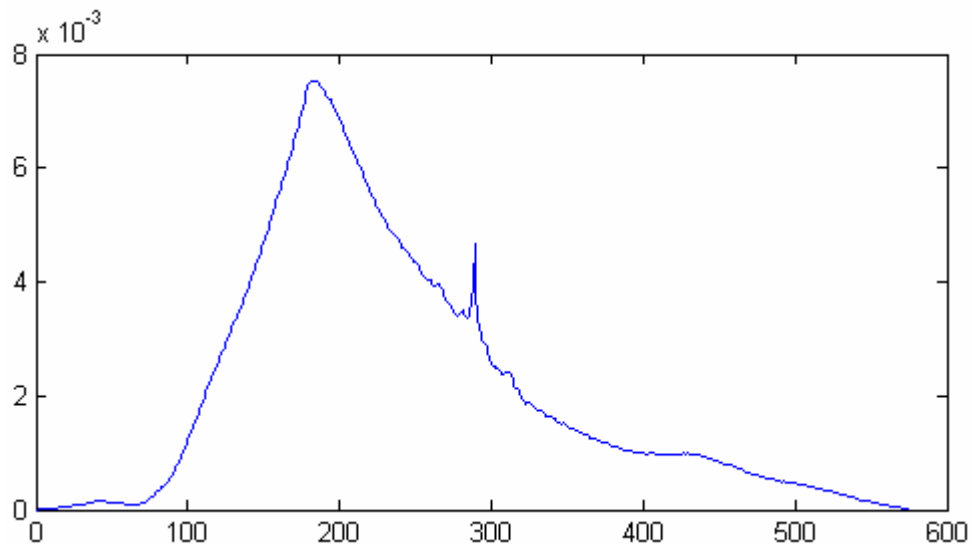
*Obr.: A.01 – Snímky sledovaného vozu.*



*Obr.: A.02 – Referenční snímek.*



*Obr.: A.03 – Separované objekty.*



Obr.: A.04 – Korelace.

Př.: A.01 - Zdrojový kód pro určení posunutí objektu:

```

%Nacteni Obrázku
I = imread('Pozice1.JPG'); J = imread('Pozice2.JPG');
K = imread('Prazdny.JPG');
%Prevedeni Obrázku na odstíny sedi
PomObr1 = double(0.229*K(:,:,1) + 0.587*K(:,:,2) +
0.114*K(:,:,3))/255;
PomObr2 = double(0.229*J(:,:,1) + 0.587*J(:,:,2) +
0.114*J(:,:,3))/255;
PomObr3 = double(0.229*I(:,:,1) + 0.587*I(:,:,2) +
0.114*I(:,:,3))/255;
%Zmenseni rozmeru obrazku
for i = 1: (2304/8)
    for j = 1: (1728/8)
        PO1(j,i) = (sum(sum(PomObr1((j-1)*8+1:(j-1)*8+1+7,(i-1)*8+1:(i-1)*8+1+7)))/64);
        PO2(j,i) = (sum(sum(PomObr2((j-1)*8+1:(j-1)*8+1+7,(i-1)*8+1:(i-1)*8+1+7)))/64);
        PO3(j,i) = (sum(sum(PomObr3((j-1)*8+1:(j-1)*8+1+7,(i-1)*8+1:(i-1)*8+1+7)))/64);
    end
end
figure, subplot(1,3,1);imshow(PO1),subplot(1,3,2);
imshow(PO2),subplot(1,3,3); imshow(PO3)
Odecet = ones(216,288); Odecet2 = ones(216,864);
%Vytvoreni rozdilovych obrazku
PO4 = PO1-PO2; PO5 = PO1-PO3;
%Vytvoreni plochy pro korelaci
PO6 = zeros(216,864); PO6(:,289:289+287) = PO4;
figure, subplot(2,2,1);imshow(Odecet-PO4),subplot(2,2,2);
imshow(Odecet-PO5),subplot(2,2,3); imshow(Odecet2-PO6)
%Korelace (hledani zacatku klesti na druhem obrazku)
for i = 1: 576
    PO7(i) = sum(sum(PO6(:,i:i+287).*PO5))/(62208);
end
[Cislo1 Index1] = max(PO7); PO8 = PO6(:,Index1:Index1+287);
%Vytvoreni plochy pro korelaci
PO10 = zeros(216,864); PO10(:,289:289+287) = PO5;

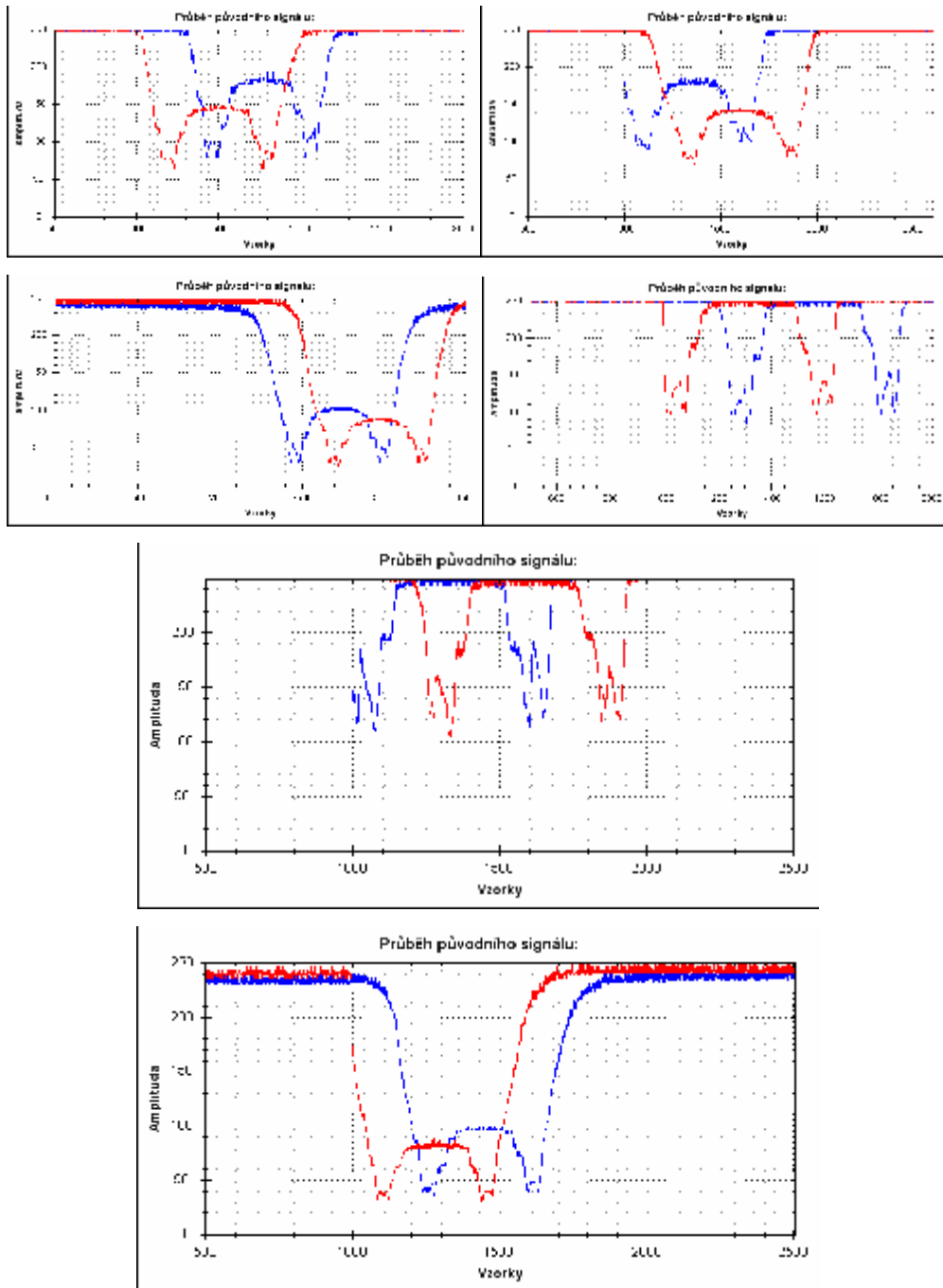
```

```

%Korelace
for j = 1: 576
    PO9(j) = sum(sum(PO10(:,j:j+287).*PO8))/(62208);
end
figure; plot(PO9)
    title('Korelace')
%Index zacatku klesti obrazek 2
[Cislo2 Index2] = max(PO9);
%Obrazek s klestema
PO11 = PO10(:,Index2:Index2+287);
figure, imshow(Odecet-PO8),figure, imshow(Odecet-PO11)
figure, subplot(2,2,4);imshow(Odecet-(abs(PO5)-abs(PO8))),
subplot(2,2,1);imshow(Odecet-(PO5))
subplot(2,2,3);plot(PO7), subplot(2,2,2);imshow(Odecet-(PO4))
PosunutiObjektu = Index1 - 289

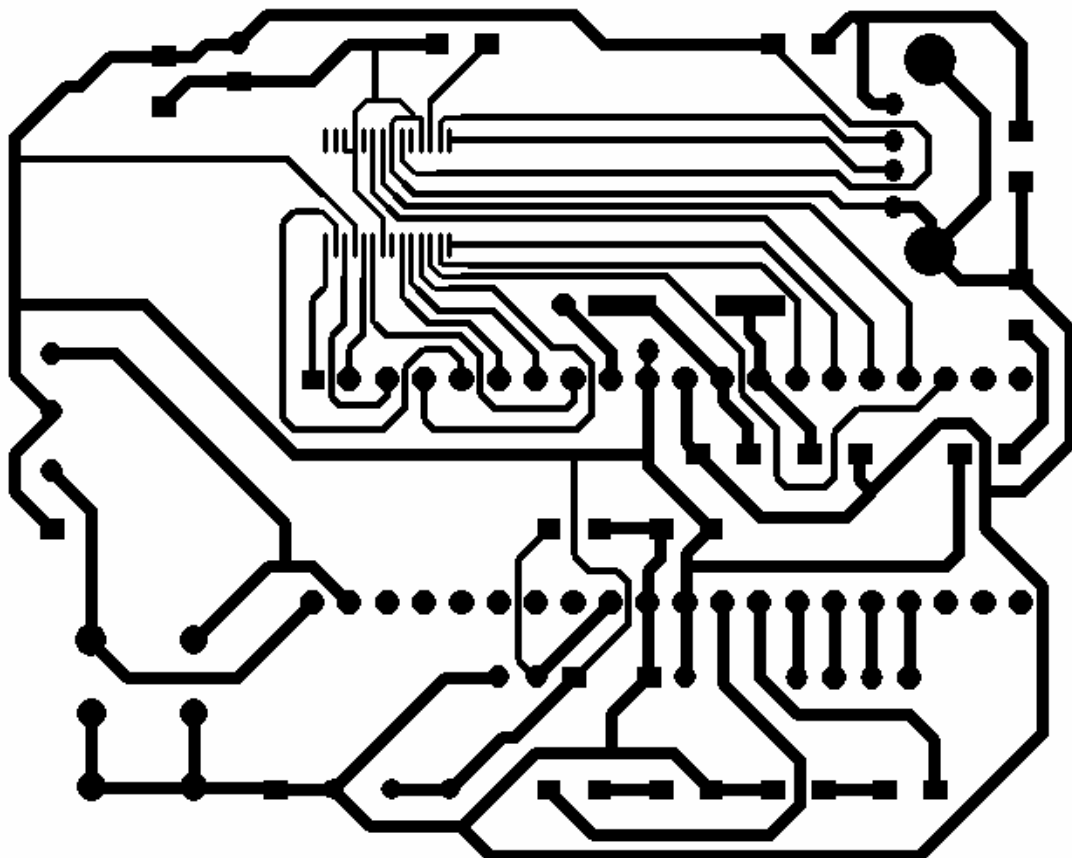
```

## PŘÍLOHA B:

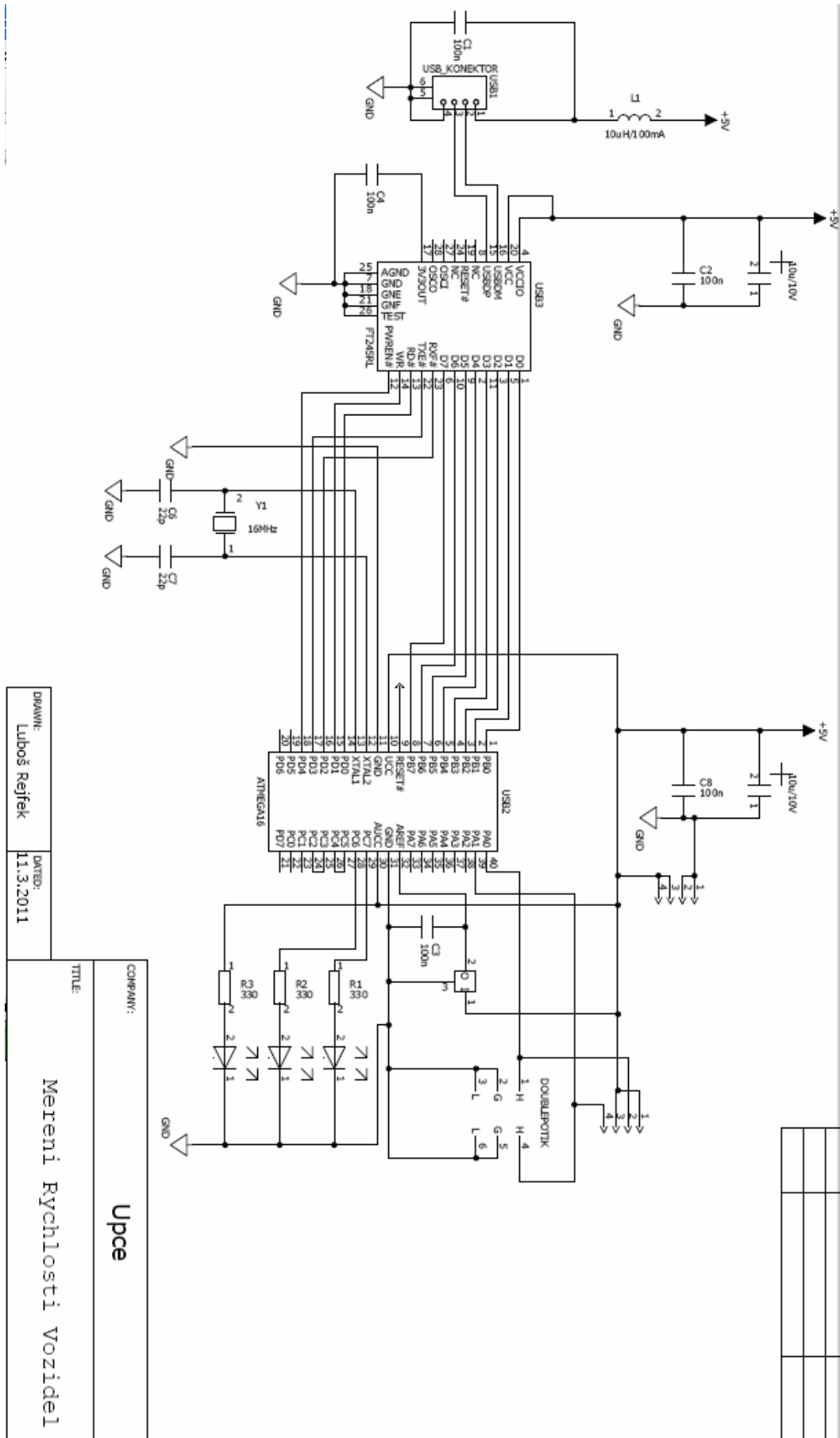


Obr.: B.01 – Typové průběhy signálu.

PŘÍLOHA C:



*Obr.: C.01 – Navržený plošný spoj zvětšený.*



Obr.: C.02 – Schéma zapojení zařízení.



## PŘÍLOHA D:

*Př.: D.01 - Zdrojový kód sinusovky a její autokorelace:*

```
t = [0: 0.01: 0.99];    sig = 2*sin(10*pi*t);    n = 4;
f1 = (n.*rand(1,100));  f2 = (n.*rand(1,100));
usig(1:300) = 0;        usig(101:200) = sig;
vsig(1:300) = 0;        vsig(101: 200) = sig;
pomusig(1:900) = 0;    pomusig(301:600) = vsig;
for i = 1: 600
    odchylky(i) = sum((pomusig(i:299+i) .* usig));
end
osaX = [0:1:299];
subplot(1,2,1); plot (osaX, usig, osaX, vsig, 'r')
    title('Sinusovka v case');
    xlabel('cas[s]');    ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-300:1:299];
subplot(1,2,2); plot (osaX, odchylky);
    title('Autokorelace');
    xlabel('tau[s]');    ylabel('Amplituda [V]');
```

*Př.: D.02 - Zdrojový kód 3 pulsů a jejich autokorelace:*

```
t = [0: 0.01: 0.99];
sig(1:100) = 1;    sig(91:100) = 0;
sig(1:10) = 0;    sig(21:80) = 0;
sig(46:55) = 1;    sig1 = xcorr(sig,sig)/30;
osaX = [0:1:99];
subplot(1,2,1); plot (osaX, sig)
    title('Sinusovka v čase');
    xlabel('čas[s]');    ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-99:1:99];
subplot(1,2,2); plot (osaX, sig1);
    title('Autokorelační funkce');
    xlabel('tau[s]');    ylabel('Amplituda [V]');
```

*Př.: D.03 - Zdrojový kód pro simulaci Korelace:*

```
clc; clear all; close all;
t = [0: 0.01: 0.99];    sig = 2*sin(10*pi*t);    n = 4;
f1 = (n.*rand(1,100));  f2 = (n.*rand(1,100));
usig(1:300) = 0;        usig(101:200) = sig;
vsig(1:300) = 0;        vsig(133: 232) = sig;
pomusig(1:900) = 0;    pomusig(301:600) = vsig;
for i = 1: 600
    odchylky(i) = sum((pomusig(i:299+i) .* usig));
end
osaX = [0:1:299];
subplot(1,2,1); plot (osaX, usig, osaX, vsig, 'r')
    title('Sinusovka v case');
    xlabel('cas[s]');    ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-300:1:299];
subplot(1,2,2); plot (osaX, odchylky);
    title('Korelace');
    xlabel('tau[s]');    ylabel('Amplituda [V]');
```

*Př.: D.04 - Zdrojový kód pro výpočet nejmenších odchylek:*

```
t = [0: 0.01: 0.99];    sig = 2*sin(10*pi*t);    n = 4;
f1 = (n.*rand(1,100));  f2 = (n.*rand(1,100));
```

```

usig(1:300) = 0; usig(101:200) = sig;
vsig(1:300) = 0; vsig(133: 232) = sig;
pomusig(1:900) = 0; pomusig(301:600) = vsig;
for i = 1: 600
    odchylky(i) = sum(abs(pomusig(i:299+i) - usig));
end
osaX = [0:1:299];
subplot(1,2,1); plot (osaX, usig, osaX, vsig, 'r')
    title('Sinusovka v čase');
    xlabel('čas[s]'); ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-300:1:299];
subplot(1,2,2); plot (osaX, odchylky);
    title('Nejmenší odchylky');
    xlabel('tau[s]'); ylabel('Amplituda [V]');

```

*Př.: D.05 - Zdrojový kód pro určení Gaussovského šumu:*

```

t = [0: 0.01: 0.99]; n = 2;
rozdeleni = zeros(1, 100);
for xxx = 1: 2
    f1 = (n.*randn(1,100))-n/2; f2 = (n.*randn(1,100))-n/2;
    sig = 2*sin(10*pi*t);
    usig(1:300) = 0; usig(101:200) = sig + f1;
    vsig(1:300) = 0; vsig(133: 232) = sig + f2;
    pomusig(1:900) = 0; pomusig(301:600) = vsig;
    odchylky = xcorr(vsig,usig)/10;
    o(xxx,:) = odchylky; n = 4;
end
osaX = [-299:1:299];
subplot(1,2,1); plot (osaX, abs(o(1,:)));
    title('abs(korelace) pro n = 2');
    xlabel('tau[s]'); ylabel('Amplituda [V]');

subplot(1,2,2); plot (osaX, abs(o(2,:)));
    title('abs(korelace) pro n = 4');
    xlabel('tau[s]'); ylabel('Amplituda [V]');

```

*Př.: D.06 - Zdrojový kód pro úpravu signálu před korelací:*

```

clc; close all; clear all;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Vytvoření signálu a jeho korelace%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
sig = 0;t = [0: 0.01: 0.99];n = 5;rozdeleni = zeros(1, 100);
f1 = (n.*rand(1,100))-n/2;f2 = (n.*rand(1,100))-n/2;
sig = 2*sin(10*pi*t);
%signál u a jeho posunutí v
usig(1:300) = 2;usig(101:200) = sig + f1+2;
vsig(1:300) = 3;vsig(133: 232) = sig + f2+3;
%úprava pro výpočet
pomusig(1:900) = 0;pomusig(301:600) = vsig;
odchylky = xcorr(vsig,usig)/10;
[CC, II] = max(abs(odchylky(301:400)));
rozdeleni(II) = rozdeleni(II)+ 1;
%Vykreslení průběhů
osaX = [0:1:299];
subplot(2,2,1); plot (osaX, vsig, osaX, usig, 'r');
    xlabel('Time[s]');
    ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-299:1:299];
subplot(2,2,2); plot (osaX, odchylky);
    xlabel('tau[s]');

```

```

        ylabel('Amplituda [V]');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Zpracování a poté korelace%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
prom1 = mean(usig);prom2 = mean(vsig);usig = usig - prom1;
vsig = vsig - prom2;pomusig(1:900) = 0;pomusig(301:600) = vsig;
odchylky = xcorr((vsig),(usig))/10;
%Vykreslení průběhů
osaX = [0:1:299];
subplot(2,2,3); plot (osaX, vsig, osaX, usig, 'r');
        xlabel('Time[s]');
        ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-299:1:299];
subplot(2,2,4); plot (osaX, abs(odchylky));
        xlabel('tau[s]');
        ylabel('Amplituda [V]');
%klouzavý průměr
kolik = 3;
for i = 1: length(usig)-kolik
        usig2(i) = sum(usig(i:i+kolik))/kolik;
        vsig2(i) = sum(vsig(i:i+kolik))/kolik;
end
odchylky = xcorr((vsig2),(usig2))/10;
%Vykreslení průběhů
osaX = [0:1:299-kolik];
figure;subplot(2,2,1); plot (osaX, vsig2, osaX, usig2, 'r');
        xlabel('Time[s]');
        ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-299+kolik:1:299-kolik];
subplot(2,2,2); plot (osaX, abs(odchylky));
        xlabel('tau[s]');
        ylabel('Amplituda [V]');
kolik = 5;
for i = 1: length(usig)-kolik
        usig3(i) = sum(usig(i:i+kolik))/kolik;
        vsig3(i) = sum(vsig(i:i+kolik))/kolik;
end
odchylky3 = xcorr((vsig3),(usig3))/10;
%Vykreslení průběhů
osaX = [0:1:299-kolik];
subplot(2,2,3); plot (osaX, vsig3, osaX, usig3, 'r');
        xlabel('Time[s]');
        ylabel('Amplituda [V]');
osaX = [-299+kolik:1:299-kolik];
subplot(2,2,4); plot (osaX, abs(odchylky3));
        xlabel('tau[s]');
        ylabel('Amplituda [V]');

```

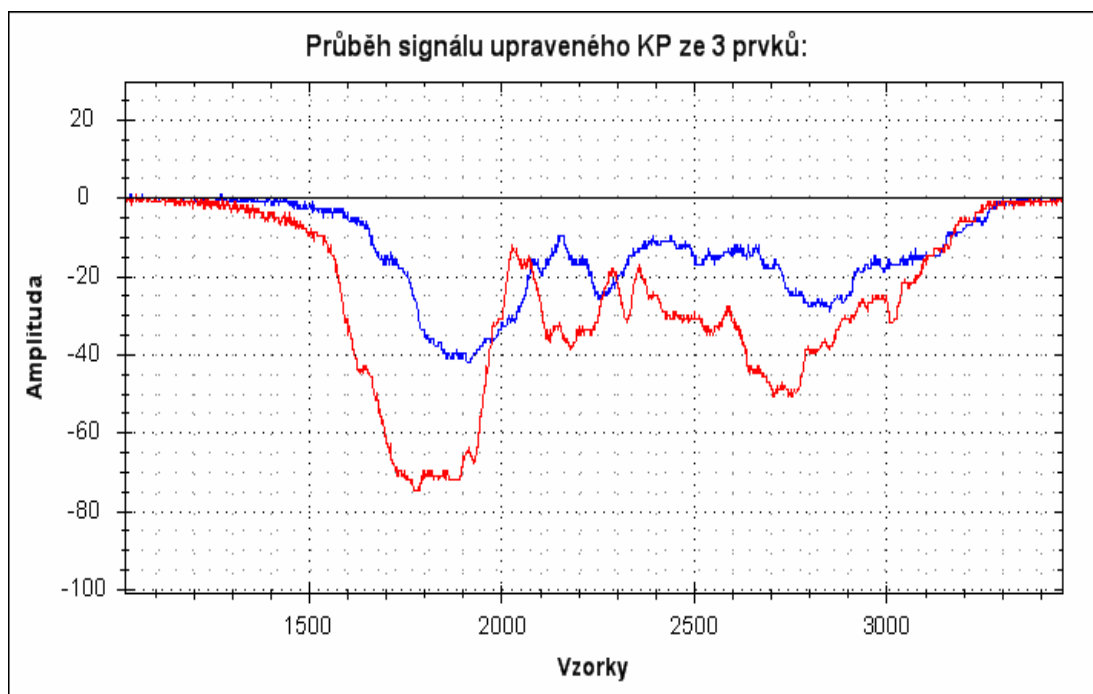
*Př.: D.07 - Zdrojový kód pro porovnání watů a decibelů:*

```

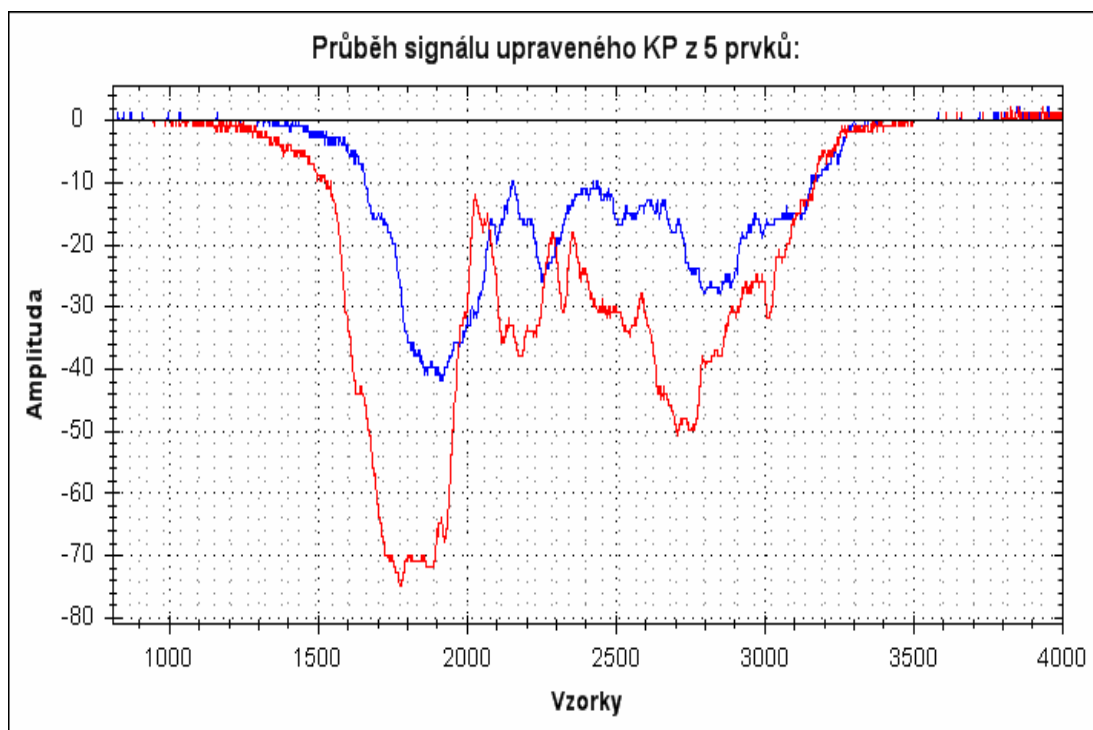
t = 0:0.001:0.999;
obdelnik = zeros(1,1000);      obdelnik(1:180) = 10;
%plot(obdelnik)
sig1 = fftshift(fft(obdelnik));
subplot(2,1,1); plot(t,sig1)
        title('Signál ve watech');
        xlabel('čas[s]');  ylabel('Amplituda [W]');
sig2 = 20*log(sig1);
subplot(2,1,2); plot(t,sig2)
        title('Signál v decibelech');
        xlabel('čas[s]');  ylabel('Amplituda [dB]');

```

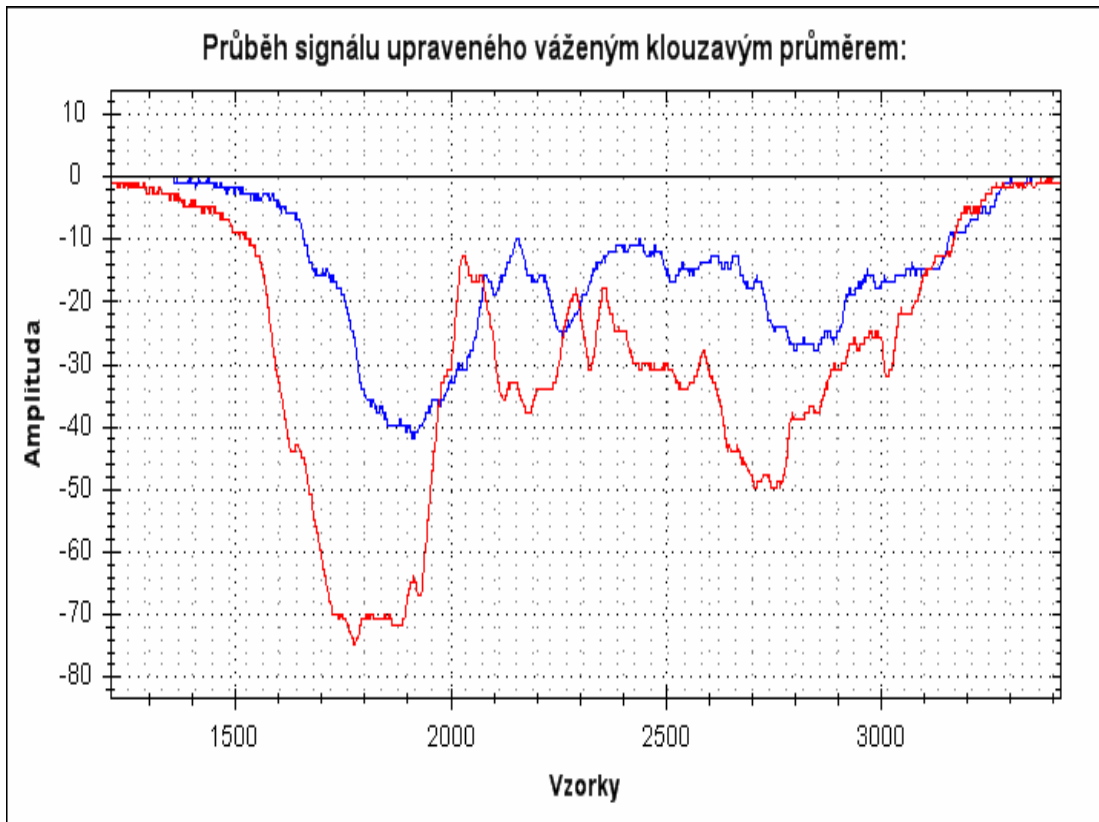
## PŘÍLOHA E:



Obr.: E.01 – Klouzavý průměr ze tří prvků..



Obr.: E.02 – Klouzavý průměr z pěti prvků.



*Obr.: E.03 – Vážený klouzavý průměr.*