

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Multisenzorový systém pro vyhodnocení pohybu vozidla  
v reálném čase

Bc. Daniel Voděrek

Diplomová práce

2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel Voděrek**  
Osobní číslo: **I11363**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a řídicí technologie**  
Název tématu: **Multisenzorový systém pro vyhodnocení pohybu vozidla v reálném čase**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

V teoretické části popište možnosti vyhodnocení limitních stavů, ke kterým dochází v pohybu silničního vozidla - zrychlování, brzdění, náraz, chování řidiče, plynulost pohybu, kumulovaná zrychlení atd. Podrobněji rozeberte možnosti použití akcelerometrů s různým rozsahem měřených hodnot a dosažitelných přesností měření. Popište možnosti fúze dat z různých snímačů pohybu vozidla.

V praktické části navrhnete a zkonstruuje zařízení pro záznam dat ze tří akcelerometrů, záznam bude realizován přímo do paměti zařízení nebo počítačem. Navrhnete postup pro kalibraci senzoru, kalibrace bude minimalizovat důsledky nesprávné montáže akcelerometru ve vozidle. Pomocí zařízení budou zaznamenána data při různých režimech provozu a v reálném čase budou zpracována přímo v zařízení. Z analýzy dat a z korelace s daty z CAN sběrnice budou vyvozeny závěry pro možné využití zařízení pro vyhodnocování jízdy vozidla a chování řidiče.

Rozsah grafických prací: **20 listů**  
Rozsah pracovní zprávy: **90 - 100 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**VODĚREK, Daniel: Využití 3D akcelerometru pro sledování pohybu vozidla, Pardubice. 2011. 60s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.**  
**MATOUŠEK, David: Práce s mikrokontroléry ATmega16. BEN: technická literatura, Praha 2006. 317 stran. ISBN 80-7300-174-8.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.**  
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2012**  
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2013**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2012

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem tuto práci 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 Pardubicích dne 19. 8. 2013

Daniel Voděrek

## **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Zdeňku Němcovi Ph.D. za vedení celé práce a pomoc při řešení problémů, které se vyskytly. Dále bych chtěl poděkovat všem svým přátelům a rodině za nemalou podporu.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá návrhem monitorovací jednotky, která je určena k vyhodnocování stavu silničního vozidla v reálném provozu. Teoretická část je zaměřena na rozbor fyzikálních stavů vozidla (brzdění, náraz, kumulovaná zrychlení, vibrace atd.). V praktické části je popsán návrh a realizace monitorovací jednotky a shrnutí dosažených výsledků.

## **Klíčová slova**

Mikrokontrolér, zrychlení, akcelerometr, paměť, vibrace, GPS

## **Title**

Real-time Multi-sensor System for Road Traffic Data Collection

## **Annotation**

The thesis deals with design of a monitoring unit which is intended condition of a vehicle in real traffic. The theoretical part is focused on the analysis of the physical conditions of the vehicle (braking, accident – vehicle collision, cumulative acceleration, vibration, etc.). The practical part describes the design and realization of the monitoring unit and a summary of results.

## **Keywords**

Microcontroller, acceleration, accelerometer, memory, vibration, GPS

## Obsah

<b>Seznam zkratk</b> .....	<b>9</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>11</b>
<b>Seznam zdrojových kódů</b> .....	<b>12</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>13</b>
<b>1. Dynamika vozidla a jeho parametry</b> .....	<b>14</b>
1.1 Rychlost.....	14
1.1.1 Měření rychlosti vozidel.....	15
1.2 Zrychlení.....	17
1.2.1 Měření zrychlení vozidel.....	18
1.3 Tíhové zrychlení.....	20
1.4 Jízdní odpory .....	21
1.4.1 Odpor valivý.....	21
1.4.2 Odpor vzdušný.....	23
1.4.3 Odpor stoupání .....	24
1.4.4 Odpor zrychlení .....	26
1.4.5 Celkový jízdní odpor .....	28
1.5 Brzdění automobilu .....	29
1.5.1 Průběh brzdění.....	30
1.6 Reakční doba řidiče .....	33
1.7 Náráz vozidla.....	35
<b>2. Akcelerometry</b> .....	<b>39</b>
2.1 Využití akcelerometrů .....	39
2.2 Typy akcelerometrů.....	40
2.2.1 Kapacitní akcelerometry.....	40
2.2.2 MEMS technologie.....	41
2.2.3 Elektrická struktura.....	42
2.2.4 Piezoelektrické akcelerometry.....	42
2.2.5 Piezorezistivní akcelerometry.....	43
2.2.6 Teplotní akcelerometry.....	44
2.3 Akcelerometr LIS302DL.....	45

<b>3</b>	<b>Analýza a vstupní rozbor .....</b>	<b>47</b>
3.1	Testovací jednotka .....	48
3.2	Měření a vyhodnocení limitních stavů pohybu vozidla.....	49
3.2.1	Vyhodnocení zrychlení, směru a vibrací .....	53
3.2.2	Vibrace vozidla a korelace se skutečnou hodnotou zrychlení .....	55
3.2.3	Hranice šumu a efektivní rozsah zrychlení.....	57
<b>4</b>	<b>Praktická realizace zařízení.....</b>	<b>60</b>
4.1	Mikroprocesor .....	61
4.1.1	ATmega32 .....	61
4.1.2	Sériová linka .....	63
4.1.3	SPI rozhraní .....	64
4.2	Akcelerometr .....	66
4.3	SD karta .....	67
4.4	GPS.....	68
4.4.1	GPS modul MT3329.....	69
4.4.2	Protokol NMEA.....	70
4.5	Realizace zařízení a plošného spoje .....	71
4.6	Softwarová část zařízení.....	72
4.6.1	Čítač/Časovač .....	72
4.6.2	Kalibrace akcelerometru.....	73
4.6.3	Funkce CtiDataZOSy().....	74
4.6.4	Klouzavý průměr .....	75
4.6.5	Funkce PrevodG() .....	76
4.6.6	Algoritmus určení maxima .....	76
4.7	Měření a testování jednotky .....	77
	<b>Závěr .....</b>	<b>82</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>84</b>
	<b>Příloha A – Schéma navrženého obvodu.....</b>	<b>86</b>
	<b>Příloha B – Seznam součástek .....</b>	<b>87</b>
	<b>Příloha C – Návrh plošného spoje.....</b>	<b>88</b>
	<b>Příloha D – kompletní záznam z testovacího měření .....</b>	<b>89</b>
	<b>Příloha E – Kompletní záznam trasy upraveného testovacího měření.....</b>	<b>91</b>
	<b>Příloha F – Obsah příloženého CD .....</b>	<b>93</b>



## Seznam zkratek

MCU	Microcontroler Unit
SPI	Serial Peripheral Interface
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
CS	Chip Select
SS	Slave Select
SDO	Serial Data Out
SDI	Serial Data In
MSB	Most Significant Byte
LSB	Least Significant Byte
I2C	Inter IC Bus
USART	Universal Synchronous and Asynchronous Receiver/Transceiver
RAM	Random Access Memory
SRAM	Static Random Access Memory
E2PROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
PWM	Pulse Width Modulation
WDT	Watchdog Timer
FAT	File Allocation Table
GPS	Global Positioning System
SD	Secure Digital
NMEA	National Marine Electronics Association
CAN	Controller Area Network
PC	Personal Computer
TTL	Transistor-Transistor Logic
TWI	Two Wire Interface

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Indukční snímač na vlečné kole [2] .....	15
Obrázek 2 - Přípravek na měření dynamiky a otáček vozidla [3] .....	16
Obrázek 3 – Princip optického snímače rychlosti [2][3] .....	16
Obrázek 4 – princip radarového měření rychlosti .....	17
Obrázek 5 – Souřadný systém automobilu .....	18
Obrázek 6 – Princip měření zrychlení .....	19
Obrázek 7 – Piezoelektrický snímač pro měření zrychlení [4] .....	19
Obrázek 8 – Vliv pneumatiky na součinitel valivého odporu [6] .....	22
Obrázek 9 – Vliv nahuštění pneumatiky na odpor valení [6] .....	22
Obrázek 10 – Vzduchové poměry kolem vozidla [10] .....	23
Obrázek 11 – a) proudění vzduchu kolem vozidla, b) třecí síly (čárkované šipky) a vznik vzdušného odporu z tlakových sil (klasické šipky) [6] .....	23
Obrázek 13 – Ukázka měření v aerodynamickém tunelu [7] .....	24
Obrázek 12 – Tlakové pole automobilu Ferrari F430 [7] .....	24
Obrázek 14 – Určení odporu stoupání. Pozn.: Vlastní úprava dle [6] .....	25
Obrázek 15 – Vliv celkového převodu na součinitel rotačních částí u osobních automobilů [6] .....	27
Obrázek 16 – Potřebná hnací síla k překonání jízdních odporů .....	28
Obrázek 17 – Potřebný výkon k překonání jízdních odporů .....	28
Obrázek 18 – Potřebná hnací síla a výkon pro překonání jízdních odporů [6] .....	29
Obrázek 19 – zpoždění vozidla, rychlost, dráha .....	30
Obrázek 20 – Brzdná dráha z rychlosti 60 km/h v zimě .....	32
Obrázek 21 – Provázání biologického činitele s technickým zařízením [11] .....	34
Obrázek 22 – Zorné pole člověka v horizontální rovině .....	35
Obrázek 23 – Závislost zrychlení, rychlosti a dráhy na čase při nulové počáteční rychlosti [12] .....	36
Obrázek 24 – a) vozidlo jedoucí proti betonové překážce, b) vozidlo při nárazu bez tlumení, c) vozidlo proti betonové peřkážce s tlumením – vlastní úprava dle [22] .....	38
Obrázek 25 – Princip kapacitního akcelerometru .....	40
Obrázek 26 – Struktura MEMS [13] .....	41
Obrázek 27 – Elektrická struktura snímače [13] .....	42
Obrázek 28 – Princip piezoelektrického akcelerometru .....	43
Obrázek 29 – Princip piezorezistivního akcelerometru .....	44
Obrázek 30 – Princip teplotního akcelerometru .....	45
Obrázek 31 – Akcelerometr LIS302DL [23] .....	45
Obrázek 32 – Blokový diagram akcelerometru .....	46
Obrázek 33 – Přehled požadavků .....	47
Obrázek 34 – Blokové schéma testovací jednotky .....	48
Obrázek 35 – Testovací jednotka shora .....	48
Obrázek 36 – Testovací jednotka zespodu a osový systém akcelerometru .....	49
Obrázek 37 – Trasa testovaného měření .....	49

Obrázek 38 – Záznam dat z prostředí Matlab.....	50
Obrázek 39 – Histogramy zrychlení vozidla .....	51
Obrázek 40 – Filtrace klouzavým průměrem .....	54
Obrázek 41 – Filtrace vibrací klouzavým průměrem .....	55
Obrázek 42 – Korelace mezi záznamy zrychlení (modrá) a vibrací (červená) .....	56
Obrázek 43 – Šum akcelerometru v klidovém stavu .....	57
Obrázek 44 – Histogram vibrací akcelerometru v klidovém stavu .....	58
Obrázek 45 – Blokové schéma navržené jednotky.....	60
Obrázek 46 – Vnitřní struktura paměti ATmega32.....	61
Obrázek 47 – Architektura ATmega32 [17].....	62
Obrázek 48 – Registr UCSRB .....	64
Obrázek 49 – Registr UCSRC .....	64
Obrázek 50 – SPI rozhraní .....	64
Obrázek 51 – Registr SPCR .....	65
Obrázek 52 – Nastavení akcelerometru [19] .....	66
Obrázek 53 – Zapojení SD karty .....	67
Obrázek 54 – Zapojení pinů SD karty [20] .....	67
Obrázek 55 – SD karta.....	67
Obrázek 56 – Signál GPS .....	68
Obrázek 57 – Modul GPS MT3329 [21] .....	69
Obrázek 58 – Věta GPRMC zachycena terminálem .....	70
Obrázek 59 – Navržená jednotka (vrchní a spodní část).....	71
Obrázek 60 – Postup ukládání maxima .....	76
Obrázek 61 – Trasa průměrování .....	78
Obrázek 62 – Ukázka průměrování 25 a 50 vzorky .....	78
Obrázek 63 – Trasa testovacího měření .....	79
Obrázek 64 – Záznam měření.....	79
Obrázek 65 – Záznam měření z GPS .....	80
Obrázek 66 – Vícečetné překročení stanovené meze směru $-2,5 \text{ m.s}^{-2}$ .....	80

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Tíhová zrychlení [5] .....	20
Tabulka 2 – Příklady rozsahu g .....	21
Tabulka 3 – Součinitelé valivého odporu pro různé povrchy vozovek [6] .....	21
Tabulka 4 – Součinitele odporu a čelní plochy [6].....	24
Tabulka 5 – Průměrné hodnoty součinitele rotačních částí.....	27
Tabulka 6 – Srovnání brzdných drah [8] .....	32
Tabulka 7 – Přehled délky úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu [8].....	33
Tabulka 8 – Přehled přetížení pro různé rychlosti a deformační zóny [12] .....	37
Tabulka 9 – Požadavky na měření zrychlení.....	51
Tabulka 10 – Požadavky na měření zrychlení (brzdění) .....	52

Tabulka 11 – Požadavky na měření příčného zrychlení.....	52
Tabulka 12 – Požadavky na měření vibrací.....	53
Tabulka 13 – Nastavení rychlosti SPI .....	65
Tabulka 14 – věta GPRMC .....	70
Tabulka 15 – Rozsah akcelerometru .....	74

## **Seznam zdrojových kódů**

Zdrojový kód 1 – Časovač.....	73
Zdrojový kód 2 – Kalibrace.....	73
Zdrojový kód 3 – Čtení dat.....	74
Zdrojový kód 4 – Klouzavý průměr .....	75
Zdrojový kód 5 – Převod g.....	76
Zdrojový kód 6 – Algoritmus hledání maxima .....	77

## Úvod

S rostoucím počtem automobilů na pozemních komunikacích roste také počet nehod a nebezpečných situací, které vznikají v průběhu provozu. Proto se stále více klade důraz na zvýšení bezpečnosti osob a snížení počtu způsobených nehod. Pro tyto a jiné účely je zapotřebí vhodně popsat a analyzovat příčiny, za kterých k těmto situacím dochází. Důležité je také popsat dynamické vlastnosti vozidla, chování řidiče a jeho reakce na vzniklé podněty při provozu. Vhodným sledováním dynamických vlastností vozidla můžeme pomoci ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích. Problematika této práce je tedy zaměřena na vyhodnocování a záznam pohybu silničního vozidla v reálném čase, obzvláště pak na vyhodnocení limitních stavů, které se vyskytují při zrychlování, brzdění, prudkém odbočení vozidla nebo projetí nerovnostmi na vozovce. V teoretické části této práce jsou popsány důvody a potřeby využití vyvíjeného prostředku spolu s celkovou analýzou a rozбором výše uvedených možných situací, které se mohou vyskytovat. Dále je uveden rozbor akcelerometru, který je vhodný pro tyto účely, hlavně pak jeho dynamický rozsah, citlivost a dosažitelná přesnost.

Úkolem této práce je mimo jiné navrhnout a sestavit monitorovací jednotku, která bude schopna snímat potřebné údaje z akcelerometrů, kde opakovací frekvence příjmu informací o zrychlení bude muset být ve stovkách hodnot za sekundu, a následně je dále vyhodnocovat a zpracovávat. Toto zařízení bude následně provádět výpočty spojené s vyhodnocováním jízdních vlastností silničního vozidla, hlavně pak klouzavé průměrování snímaných hodnot (filtrace), výpočty pro zrychlení pro podélný pohyb a příčný pohyb a výpočet kumulovaného zrychlení. S provozem souvisí i výpočty spojené s vyhodnocením limitních stavů, jako jsou vibrace a nadlimitní otřesy ve vozidle. Vyhodnocení výpočtů a údaje spojené s pohybem a různými režimy provozu silničního vozidla budou při každém svém výskytu ukládány do nadřazeného systému (PC) nebo na paměťové zařízení (SD karta) umístěné přímo v jednotce vyhodnocovacího zařízení. Nemálo důležitá je také kalibrace senzoru monitorovacího zařízení vztaženého k souřadnému systému automobilu. V důsledku nesprávné montáže monitorovací jednotky ve vozidle vznikají chyby měření, které je nutné minimalizovat vhodným způsobem, jehož popis je také součástí této práce.

# 1. Dynamika vozidla a jeho parametry

Automobil, jak jej všichni známe, je silniční vozidlo určené pro přepravu osob a nákladu. Kromě řidiče mohou na automobil v průběhu jízdy působit (a také působí) vnější vlivy (počasí, stav vozovky atd.), které ovlivňují vlastnosti vozidla při jeho pohybu. V této souvislosti nás zajímají tzv. jízdní parametry vozidla. Jsou to měřitelné veličiny, které jsme schopni různými způsoby zaznamenávat. Z dnešního pohledu digitálních technologií tyto záznamy probíhají elektronicky pomocí záznamových a vyhodnocovacích zařízení, nejčastěji umístěných přímo ve vozidle. Data potřebná pro vyhodnocení poskytují zařízením dnes už ve většině případů digitální senzory umístěné v automobilu v požadovaných oblastech měření. Senzory využívají několika fyzikálních principů – mechanický, elektrický, magnetický, akustický a optický, které jsou převedeny na digitální signál. Využití snímání těchto jízdních parametrů se vyskytuje všude tam, kde je zapotřebí použití automobilu - např. výrobní automobilové závody všech různých značek, ve vývoji a výzkumu v této oblasti nebo v prostředí automobilových závodů apod.

V následujících podkapitolách jsou uvedeny fyzikální veličiny, které mají vliv na parametry měřicí jednotky navrhované v této diplomové práci. Jejich stručný přehled, znalost metod měření a také důvody a důsledky překročení mezních hodnot veličin jsou důležité pro správnou analýzu měřených signálů a interpretaci výsledků.

## 1.1 Rychlost

Rychlost je fyzikální veličina, která popisuje charakteristiku pohybu hmotného bodu v čase. Říká, jakou dráhu urazí hmotný bod za určitý čas. Tuto veličinu rozdělujeme na okamžitou rychlost definovanou jako změnu polohy bodu  $ds$  za čas  $dt$  dle vztahu (1.1) a průměrnou rychlost definovanou jako změnu dráhy  $\Delta s$  za daný časový interval  $\Delta t$  dle vztahu (1.2).

$$v = \frac{ds}{dt} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (1.1)$$

$$v_p = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (1.2)$$

kde  $v$  – je rychlost  $[\text{m.s}^{-1}]$

$ds$  – je změna polohy  $[\text{m}]$

$dt$  – je změna času  $[\text{s}]$

$v_p$  – je průměrná rychlost  $[\text{m.s}^{-1}]$

$\Delta s$  – je změna dráhy  $[\text{m}]$

$\Delta t$  – je časový interval  $[\text{m}]$

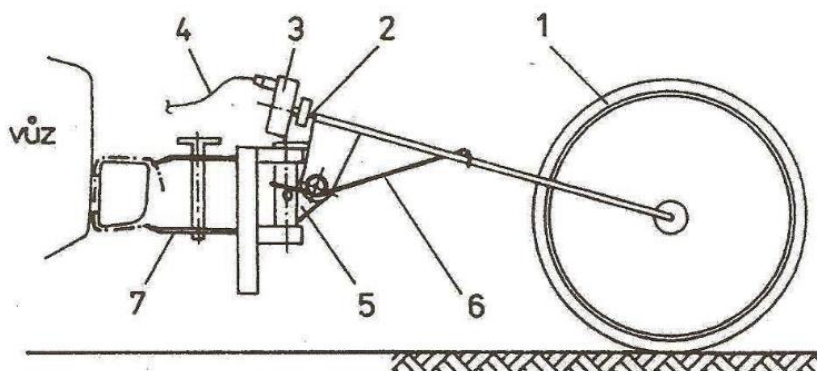
### 1.1.1 Měření rychlosti vozidel

Přístroje pro zaznamenání průběhu rychlosti pracují na třech základních principech. První z nich je na bázi elektrické indukce (označován jako mechanický systém), druhý využívá optické jevy (optický systém) a třetí pracuje na základě Dopplerova jevu (radarový systém). Je možné také využít systém GPS. Ke každé kapitole je uveden základní princip. [1]

#### *Mechanické systémy*

Mechanické systémy mohou být tvořeny čistě mechanickým převodem. Takové řešení lze najít ve starších vozidlech, které využívají mechanicky poháněný rychloměr. Při důkladném odladění je možno dosáhnout dobré přesnosti. I přesto je lepší použít systémy s elektrickým signálem. Jde o indukční otáčkoměry (tachodynamo, tachogenerátor) nebo impulzní otáčkoměry. [1]

Tachodynamo – pracuje na principu indukce stejnosměrného elektromotorického napětí, které je přímo závislé na počtu otáček rotoru. [1]



Obrázek 1 – Indukční snímač na vlečné kole [2]

1 – kolo, 2 – ohebný hřídel, 3 – snímač pulsů, 4 – el. kabel, 5 – kardanový závěs, 6 – přítlačná pružina, 7 – upevnění k vozidlu.

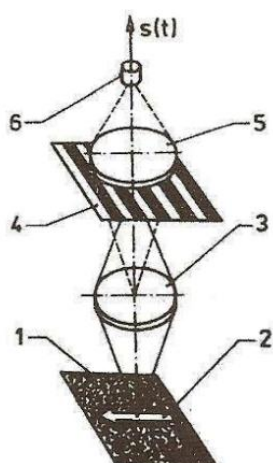
Impulzní otáčkoměry – detekují polohu značky na rotujícím objektu a vyhodnocují počet pulsů za čas. Generátor může být tvořen například ozubeným kotoučem, který indukuje impulsy v indukčním obvodu. Ozubený kotouč je možno nahradit magnetickým kroužkem a příslušným aktivním snímačem. [1]



Obrázek 2 - Přípravek na měření dynamiky a otáček vozidla [3]

### Optické systémy

Měření optickými systémy je založeno na metodě optické korelace, kdy je obraz pohybujícího se objektu promítnut do roviny mřížky. Světelný tok procházející mřížkou je soustředěn skrze sběrnou čočku na fotoelektrické čidlo. Nízkofrekvenční elektrický signál je modulován kmity s frekvencí, která je přímo úměrná rychlosti pohybu. [1]



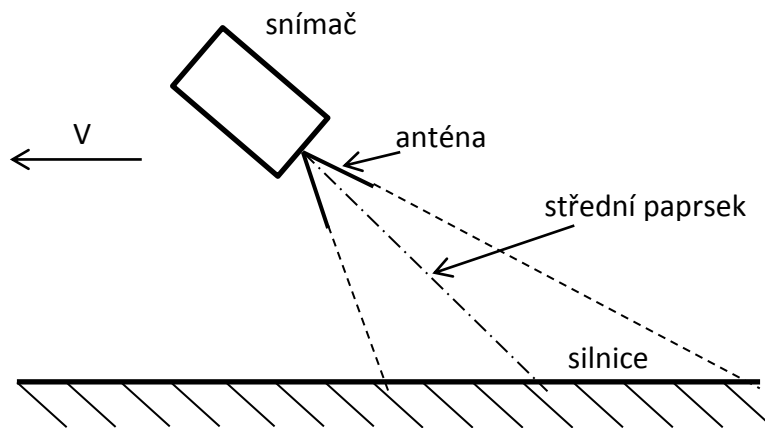
Obrázek 3 – Princip optického snímače rychlosti [2][3]

1 – rovina vozovky, 2 – směr pohybu, 3 – čočka, 4 – mřížka, 5 – čočka, 6 – fotonka,  $s(t)$  – nízkofrekvenční signál.

### Radarové systémy

Radarový způsob měření rychlosti má velkou výhodou oproti dříve zmíněným v tom, že je možné jej využít i v extrémních situacích. Například při měření v terénu, na polních cestách, v lese nebo horách, kde nelze použít optická čidla nebo může být problém se signálem GPS.





Obrázek 4 – Princip radarového měření rychlosti

## 1.2 Zrychlení

Zrychlení je veličina, která nám říká, jak se mění rychlost hmotného bodu v čase. Je to vektorová veličina, která udává jak velikost změny, tak i její směr. Z tohoto pak vyplývá rozlišení zrychlení na okamžité a průměrné. Avšak na hmotný bod působí také tíhové, odstředivé nebo dostředivé zrychlení.

Okamžité zrychlení se vypočte jako první derivace rychlosti podle času dle vztahu 1.3. Průměrné zrychlení se vypočte jako podíl změny rychlosti  $\Delta v$  za časový interval  $\Delta t$  dle vztahu 1.4

$$a = \frac{dv}{dt} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] \quad (1.3)$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] \quad (1.4)$$

kde  $dv$  – je změna rychlosti v čase  $dt$  [m/s]

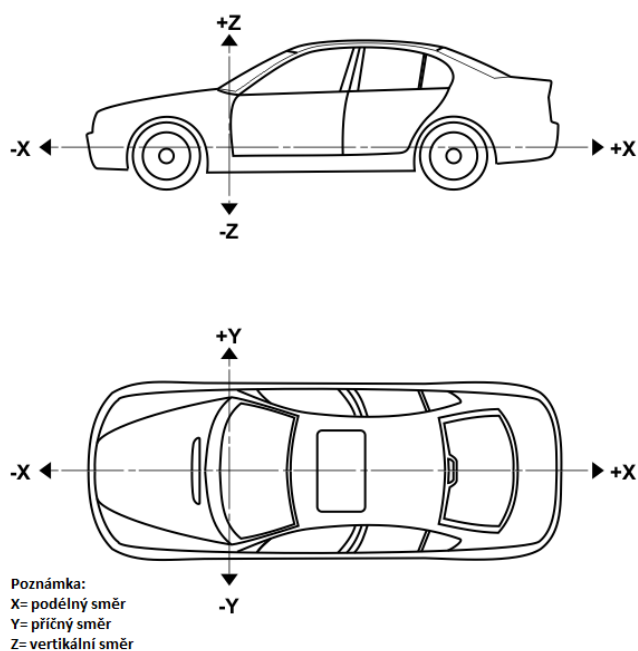
$dt$  – je nekonečně krátký časový okamžik [s]

$\Delta v$  – je změna rychlosti za časový interval  $\Delta t$  [m/s]

$\Delta t$  – je časový interval, po který se mění rychlost  $\Delta v$

Hodnota zrychlení je zpravidla udávána v  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Může být také udávána v jednotkách  $g$ , představujících jednotku tíhového zrychlení, která bude popsána dále.

Zrychlením u vozidel myslíme hlavně zrychlení podélné v ose  $X$ , zrychlení příčné v ose  $Y$  a zrychlení svislé v ose  $Z$ . Osa  $X$  nám určuje podélnou dynamiku (zrychlování a brzdění), osa  $Y$  boční dynamiku (zatáčení vlevo a vpravo) a osa  $Z$  dynamiku vertikální (kmitání, vibrace).



Obrázek 5 – Souřadný systém automobilu

### 1.2.1 Měření zrychlení vozidel

Měření zrychlení vozidel dnes probíhá ve většině případů elektronicky záznamem do paměti jednotky. Měření je založeno na základě fyzikálního zákona síly, kdy výsledná síla je přímo úměrná zrychlení tělesa o určité hmotnosti:

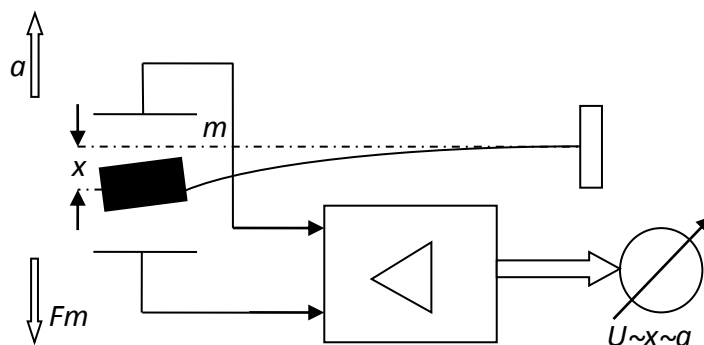
$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad [kg \cdot m \cdot s^{-2}] \quad (1.5)$$

kde  $\vec{F}$  – je vektor síly působící na těleso [N]

$m$  – je hmotnost tělesa [kg]

$\vec{a}$  – je vektor zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

S využitím tohoto zákona je možné využít systému s výkyvným systémem pružina – hmota, kdy toto zařízení představuje měřený objekt, na který působí setrvačná síla způsobená zrychlením. Jedná se o případ, kdy je mechanické působení síly převedeno na elektrickou veličinu napětí (Obrázek 6). V dnešní době je využíváno širokého spektra měřících snímačů zrychlení.

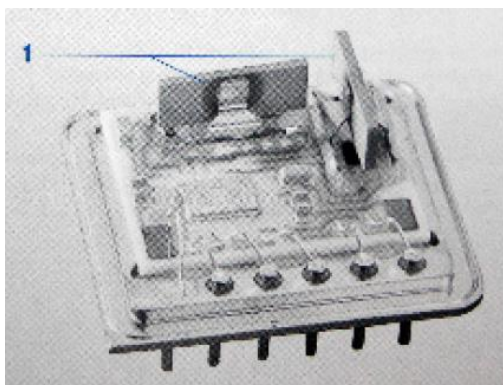


Obrázek 6 – Princip měření zrychlení

$a$  – měřené zrychlení,  $x$  – výkyv systému,  $Fm$  – setrvačná síla působící na hmotnost  $m$ .

### **Hallův snímač zrychlení**

Hallův snímač zrychlení je nejvyužívanější prvek pro sledování zrychlení v automobilech. Pracuje na tzv. Hallově jevu, kdy změnou magnetického pole vzniká Hallovo napětí.



Obrázek 7 – Piezoelektrický snímač pro měření zrychlení [4]

1 – Piezokeramické ohybové prvky pro podélné a příčné měření zrychlení.

Křemíkové snímače zrychlení mají výkyvný systém vyleptán do křemíkové destičky, kdy je při působení zrychlení vychylován z klidové polohy. Změna zrychlení je pak přímo úměrná změně kapacity systému.

Tento snímač je tvořen piezoelektrickým ohybovým prvkem. Způsobené zrychlení umožní ohyb prvku na piezoelektrické vrstvě, kde vzniká elektrické napětí, které je úměrné zrychlení.

### 1.3 Tíhové zrychlení

Tíhové zrychlení je z fyzikálního hlediska zrychlení těles při volném pádu v tíhovém poli Země ve vakuu. Jinak jej lze vyjádřit jako vektorový součet gravitačního zrychlení a zrychlení odstředivého způsobeného otáčením Země kolem vlastní osy. Vlivem odstředivé síly a zploštění Země je tíhové zrychlení největší na pólech ( $9,832 \text{ m.s}^{-2}$ ) a klesá směrem k rovníku, kde má hodnotu  $9,7805 \text{ m.s}^{-2}$ . Absolutní hodnota tíhového zrychlení se určuje kyvadly nebo měřením rychlosti volného pádu (relativní hodnota pomocí gravimetrů). Příklady různých hodnot tíhové zrychlení na různých místech ukazuje Tabulka 1.

Tabulka 1 – Tíhová zrychlení [5]

Místo	Hodnota [ $\text{m.s}^{-2}$ ]
Na rovníku	$g = 9,780$
$45^\circ$ zeměpisné šířky	$g = 9,80665$
Zemský pól	$g = 9,832$
1000 km nad povrchem	$g = 7,332$
8000 km nad povrchem	$g = 1,931$
planeta Mars	$g = 3,754$
Praha	$g = 9,81373$
Brno	$g = 9,81275$
Ostrava	$g = 9,81345$
Plzeň	$g = 9,81305$
Liberec	$g = 9,81405$

Je to také dynamický rozsah u akcelerometrů, který se udává v jednotkách  $g$ . Jedná se o  $\pm$  maximální amplitudu, kterou je možné akcelerometrem naměřit. Po překročení této hranice se akcelerometr poškodí. Jednotka je uváděna v násobku zrychlení  $1g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$ . Pro představu, jakých hodnot nabývá zrychlení při běžných situacích, ukazuje tabulka 2.

Zrychlení často uvádíme v jednotkách  $\text{m.s}^{-2}$ . Více se však používá zrychlení v jednotkách  $g$ . Jedná se o označení, které je porovnáváno s tíhovým zrychlením Země. Toto zrychlení se používá pro snadnější porovnání s běžnými situacemi na Zemi.

Převod mezi  $g$  a  $\text{m.s}^{-2}$  je:

$$a = \frac{a[\text{m.s}^{-2}]}{G} \quad [\text{g}] \quad (1.6)$$

kde  $a$  – je zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}, g$ ]

$G$  – je tíhové zrychlení v našich zeměpisných šířkách [ $\text{m.s}^{-2}$ ]

**Tabulka 2 – Příklady rozsahu g**

Rozsah [g]	Příklad
1	Akcelerace vztažená k zemské gravitaci, předmět leží na stole
1,5 – 2	Lidské pohyby např. běh
5 – 30	Akcelerace vzniklá při nárazu vozidla do stěny
10 – 1500	Velmi vysoká akcelerace např. pád předmětu na zem

## 1.4 Jízdní odpory

Jízdní odpory jsou síly, které působí proti pohybu vozidla. Některé druhy jízdních odporů působí za každé situace proti pohybu vozidla, např. vzdušný odpor a valivý odpor. Dále musí vozidlo překonávat odpor při zrychlování, tzv. odpor zrychlování, a při jízdě do svahu odpor stoupání. Všechny uvedené odpory jsou podrobněji rozebrány v následujících podkapitolách.

### 1.4.1 Odpor valivý

Odpor valivý vzniká deformací pneumatiky a vozovky. Je-li vozovka tuhá, pak dochází k deformaci pneumatiky. Pneumatika se stýká s vozovkou v určité ploše, kterou nazýváme stopou. V přední části stopy ve směru válení dochází ke stlačování obvodu pneumatiky do roviny vozovky a v zadní části se obvod opět vyrovnává do kruhového tvaru. [6]

Valivý odpor vozidla  $Q_f$ ,  $F_f$  je podle vztahu 1.7 dán součtem valivého odporu jednotlivých kol. Součinitelé valivého odporu pro různé povrchy jsou zobrazeny v tabulce 3.

**Tabulka 3 – Součinitelé valivého odporu pro různé povrchy vozovek [6]**

Povrch	$f_K$	Povrch	$f_K$
Asfalt	0,01 – 0,02	Travnatý terén	0,081 – 0,015
Beton	0,015 – 0,025	Hluboký písek	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,02	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Makadam	0,03 – 0,04	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	Náledí	0,01 – 0,02
Polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20		

Valivý odpor  $Q_f$ ,  $F_f$ :

$$F_f = O_f = \sum_i O_{fKi} = \sum_i Z_{Ki} f_{Ki} \quad (1.7)$$

Budeme-li předpokládat součinitel valivého odporu na všech kolech stejný, poté můžeme psát:

$$F_f = O_f = Z_k \cdot f = G \cdot \cos\alpha \cdot f = m \cdot g \cdot \cos\alpha \cdot f \quad (1.8)$$

kde  $O_f$  – je valivý odpor vozidla [N]

$Z_k$  – je zatížení kol (síla působící kolmo na rovinu vozovky) [N]

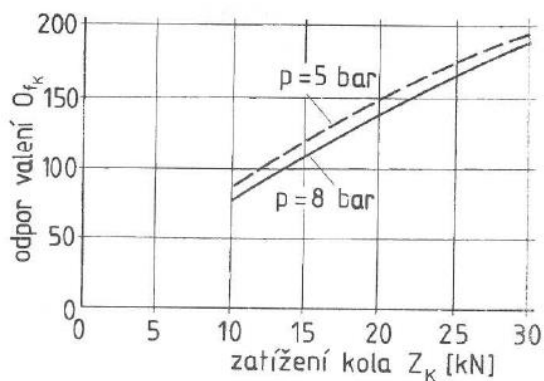
$f$  – je součinitel valivého odporu [-]

$G$  – je tíha vozidla [N]

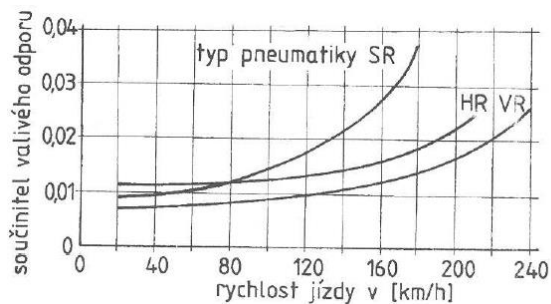
$g$  – je tíhové zrychlení [g]

$m$  – je hmotnost vozidla [kg]

$\cos\alpha$  – je úhel stoupání (úhel, který svírá rovina vozovky s vodorovnou rovinou) [°]



Obrázek 9 – Vliv nahuštění pneumatiky na odpor valení [6]

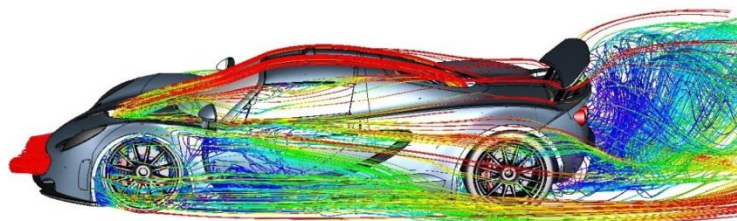


Obrázek 8 – Vliv pneumatiky na součinitel valivého odporu [6]

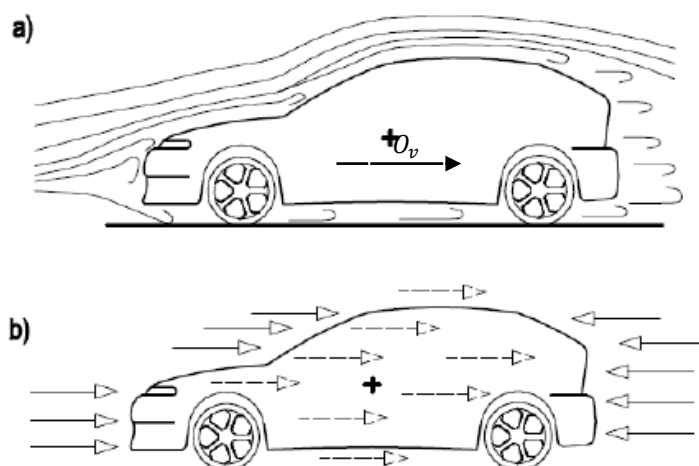
Kromě valivého odporu působí na vozidlo ještě další podobné odpory, např. odpor vzniklý vlivem sbíhavosti předních kol (je nepatrný, obvykle se neuvažuje), přídavný jízdní odpor vzniklý při jízdě po nerovných cestách (působením nerovností vznikají při jízdě v pneumatikách deformace, které také navyšují jízdní odpor). Dále se jedná o kmitání vozidla ve směru svislém, které je utlumeno tlumiči (mechanická energie se mění v teplo a motor poté musí tyto síly překonávat). Další odpor, který při jízdě automobilu vzniká, je vzdušný odpor kol. Je způsoben koly, která se stýkají s okolním vzduchem (opět tento odpor obvykle neuvažujeme samostatně a je přičítán k celkovému odporu vozidla).

### 1.4.2 Odpor vzdušný

Při jízdě vozidla proudí část vzduchu kolem horní karoserie a část se musí protlačit prostorem mezi spodní částí vozidla a povrchem vozovky. Proudnice se za vozidlem neuzavírají a vzniká víření. Tím vzniká odpor, který je označen na obrázku 11 jako  $O_v$ .



Obrázek 10 – Vzduchové poměry kolem vozidla [10]



Obrázek 11 – a) proudění vzduchu kolem vozidla, b) třecí síly (čárkované šípky) a vznik vzdušného odporu z tlakových sil (klasické šípky) [6]

Celkový vzdušný odpor se vypočítá dle vztahu 1.9 jako:

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_r^2 \cdot \rho \quad (1.9)$$

kde  $O_v$  – je vzdušný odpor vozidla [N]

$c_x$  – je součinitel vzdušného odporu (závisí na tvaru vozidla) [–]

$S_x$  – je čelní plocha vozidla [m<sup>2</sup>]

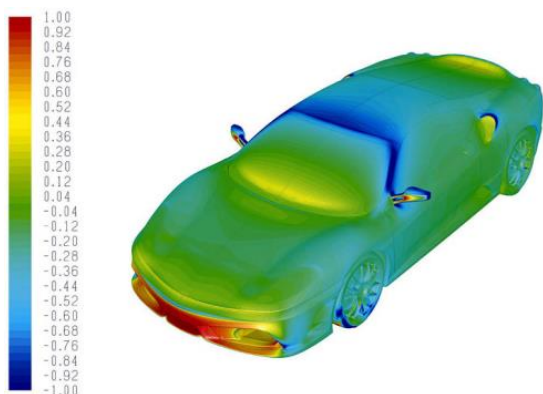
$v_r^2$  – je rychlost proudění vzduchu kolem vozidla [m · s<sup>-1</sup>]

Hodnota součinitele odporu je u každého vozidla rozdílná a zjišťuje se měřením vozidel v aerodynamickém tunelu. Hodnota  $c_x$  nám o vozidle říká, jak dobře je vozidlo navrženo. V praxi se snažíme tyto hodnoty dosáhnout co nejmenší. Velká hodnota znamená například větší spotřebu paliva. Obecně lze říci, že pokud se odpor u jedoucího auta sníží o desetinu, poklesne jeho spotřeba o 2,5%. V dnešní době moderní automobily typickou hodnotu 0,3 – 0,4 překonávají. Mezi nejlepší sériově vyrobená vozidla patří například Audi A2 ( $c_x=0,25$ ) nebo sedany od Mercedes-Benz. Typické naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.

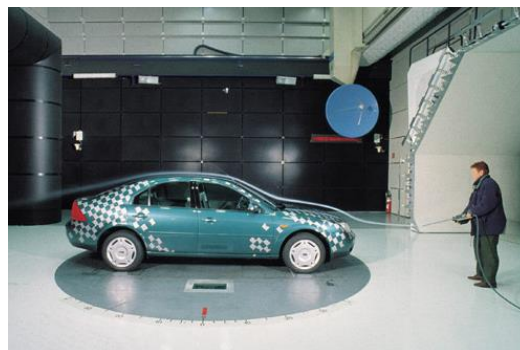
**Tabulka 4 – Součinitele odporu a čelní plochy [6]**

Typ vozidla	$c_x[-]$	$S_x[m^2]$
Osobní automobily	0,25 – 0,4	1,6 – 2,0
Sportovní vozy	0,3 – 0,35	1,3 – 1,6
Závodní vozy	0,4 – 0,6	0,7 – 1,3
Nákladní vozy	0,8 – 1,0	4 – 7
Autobusy	0,5 – 0,7	5 – 7

Silové pole ukazuje v jakých místech je zvýšený tlak na karoserii (Obrázek 12). Průběh a velikost působícího tlaku se mění společně s rychlostí obtékání. Na obrázku 13 je ukázán průběh měření aerodynamiky vozidla v aerodynamickém tunelu.



**Obrázek 13 – Tlakové pole automobilu Ferrari F430 [7]**



**Obrázek 12 – Ukázka měření v aerodynamickém tunelu [7]**

### 1.4.3 Odpor stoupání

Odpor stoupání vzniká při jízdě automobilu do svahu a je určen sinovou složkou tíhy vozidla rovnoběžnou s povrchem vozovky (Obrázek 12) dle vztahu 1.10.

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha = \pm m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (1.10)$$



kde  $O_s$  – je odpor stoupání vozidla [N]

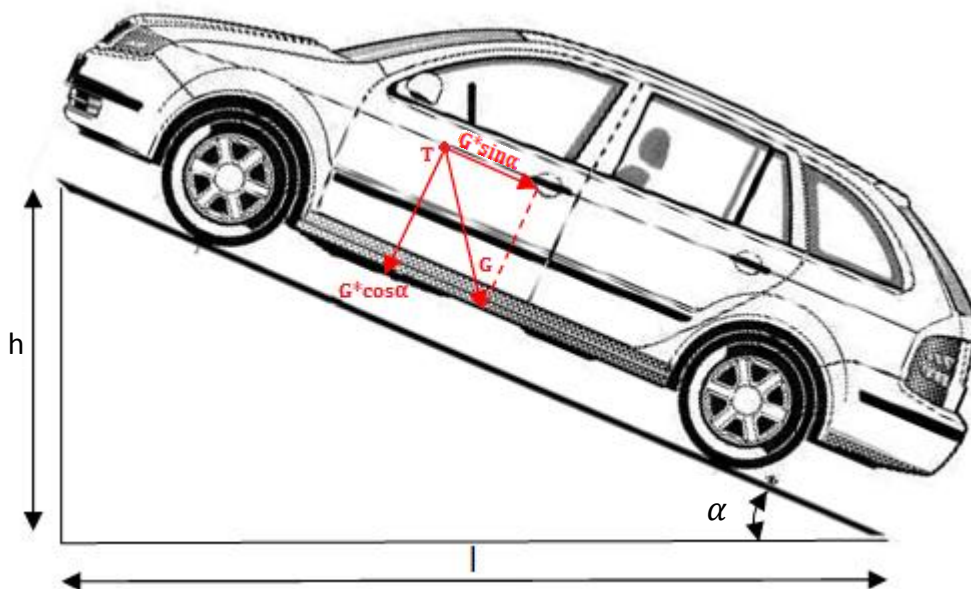
$G$  – tíha vozidla [N]

$m$  – hmotnost vozidla [kg]

$g$  – je tíhové zrychlení [g]

$\alpha$  – je úhel stoupání [°]

Znaménko + platí v rovnici při jízdě do svahu, kdy je sinová složka odporem a naopak při jízdě ze svahu znaménko -, kdy sinová složka vozidlo pohání.



Obrázek 14 – Určení odporu stoupání. Pozn.: Vlastní úprava dle [6]

V praxi se obvykle při výpočtech využívá místo úhlu stoupání  $\alpha$  sklon svahu –  $s$  dle vztahu 1.11.

$$s = \frac{h}{l} = \tan \alpha \quad (1.11)$$

kde  $s$  – je sklon svahu [°]

$h$  – výška svahu [m]

$l$  – délka svahu [m]

Pro malé úhly pak přibližně platí, že  $\sin \alpha \approx \tan \alpha$  a rovnici lze napsat jako:

$$O_s = \pm G \cdot s = \pm m \cdot g \cdot s \quad (1.12)$$

Tohoto vztahu lze využívat do úhlu stoupání  $17^\circ$ , který odpovídá stoupání  $s = 0,3 = 30\%$ . Na silnicích lze pozorovat stoupání  $10 - 12^\circ$  (vyššího stoupání můžeme dosáhnout na vysokohorských silnicích), na dálnicích  $6^\circ$ .

#### 1.4.4 Odpor zrychlení

Odpozem zrychlení nazýváme sílu, která působí při zrychlování vozidla proti směru zrychlení (setrvačná síla). Odpor zrychlení (1.13) je složen z odporu zrychlení otáčejících se částí –  $O_{zr}$  (1.14) a odporu zrychlení posuvné části –  $O_{zp}$  (1.15).

$$O_z = O_{zr} + O_{zp} \quad (1.13)$$

Odpor zrychlení otáčejících se částí:

$$O_{zr} = \frac{M_r}{r_d} \quad (1.14)$$

kde  $M_r$  – setrvačný moment rotačních částí vozidla [ $kgm^2$ ]

$r_d$  – dynamický poloměr kola [ $m$ ]

Odpor zrychlení posuvné části o hmotnost:

$$O_{zp} = m \cdot a \quad (1.15)$$

kde  $a$  – je zrychlení (zpomalení) vozidla [ $^\circ$ ]

$m$  – hmotnost vozidla [ $kg$ ]

Z toho setrvačný moment rotačních částí se skládá:

$$M_r = M_{rp} + M_{rm} + M_{rK} \quad (1.16)$$

kde:  $M_{rp}$  – je moment nutný pro zrychlení rotujících částí převodového ústrojí [ $Nm$ ]

$M_{rm}$  – je moment na hnacích kolech vozidla [ $Nm$ ]

$M_{rK}$  – je moment nutný pro zrychlení kol vozidla [ $Nm$ ]

Celkový odpor zrychlení je poté roven:

$$O_z = m \cdot a + \frac{2}{D_k} J_c \frac{d\omega}{dt} = m \cdot a + J_c \left(\frac{2}{D_k}\right)^2 \frac{dv}{dt} = \left(m + J_c \left(\frac{2}{D_k}\right)^2\right) m \cdot a = v \cdot m \cdot a \quad (1.17)$$

kde:  $m$  – je hmotnost vozidla [ $kg$ ]

$J_c$  – je celkový moment setrvačnosti rotačních částí (motoru, převodovky, rozvodovky a kol) [ $kgm^2$ ]

$a$  – je zrychlení vozidla [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$D_k$  – je průměr kola [ $m$ ]

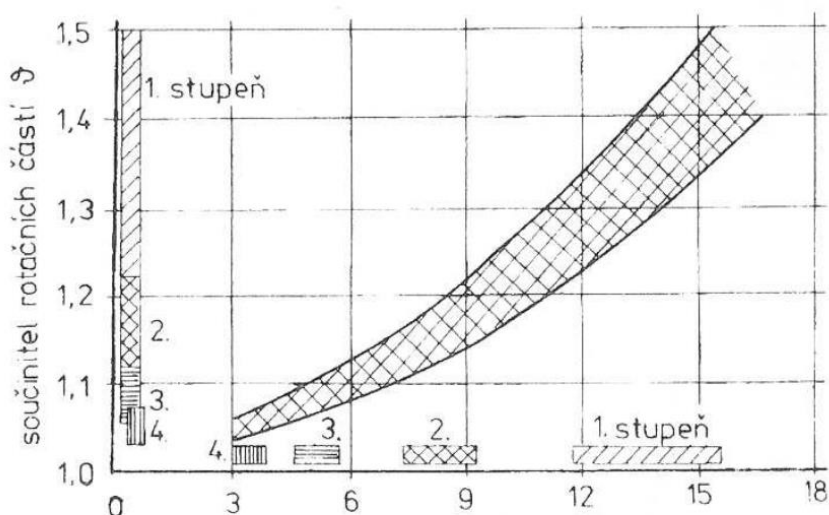
$v$  – je součinitel rotačních částí [-]

Hodnota součinitele rotační částí  $v$  je proměnlivá. Jak je patrné ze vztahu, závisí na hmotnosti vozidla, převodovém poměru, momentech setrvačnosti a poloměru kola. Určit momenty setrvačnosti bývá složité, proto se pro výpočty používají tabulkové hodnoty (Tabulka 5).

**Tabulka 5 – Průměrné hodnoty součinitele rotačních částí**

	Nejnižší rychlostní stupeň	Nejvyšší rychlostní stupeň
Osobní vozidlo	1,2 – 1,8	1,04 – 1,07
Nákladní silniční vozidlo	1,4 – 3	1,06 – 1,1
Nákladní terénní vozidlo	5 – 8	1,25 – 1,08

Celkový převod  $i_c = i_p \cdot i_r$  závisí na stálém převodu rozvodovky  $i_r$  a je silně závislý na aktuálním zařazeném převodovém stupni  $i_p$ . Při přímém záběru ( $i_p \approx 1$ ) rotační části zvětšují zrychlující sílu asi o 7 %. První zařazený stupeň pak znamená u osobních vozidel  $i_p \approx 4$  a u nákladních  $i_p \approx 8$ . Zrychlující síla pak stoupá o 70 % a u nákladních o 270 %. Pro odhad součinitele  $v$  se využívá diagram na obrázku 15.



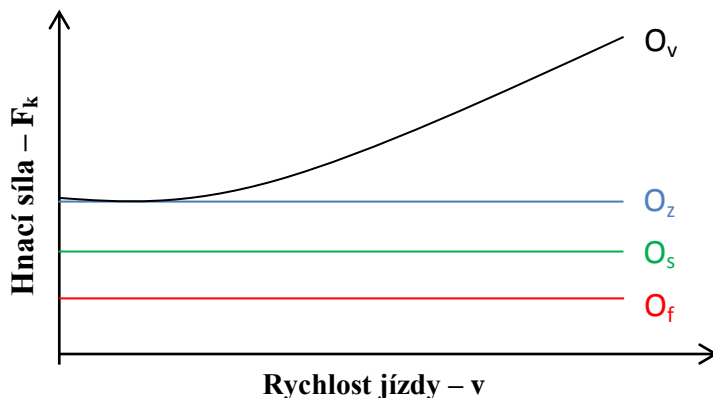
**Obrázek 15 – Vliv celkového převodu na součinitel rotačních částí u osobních automobilů [6]**

### 1.4.5 Celkový jízdní odpor

Celkový jízdní odpor a tedy celkovou hnací sílu potřebnou k překonání jízdních odporů dostaneme sečtením jednotlivých odporů.

$$F_k = O_f + O_v + O_s + O_z = c_1 + c_2 v^2 \quad (1.18)$$

Celkový odpor lze vyjádřit pomocí konstant  $c_1$  a  $c_2$ , jestliže nás zajímá závislost rychlosti při ostatních konstantních parametrech (Obrázek 16).



Obrázek 16 – Potřebná hnací síla k překonání jízdních odporů

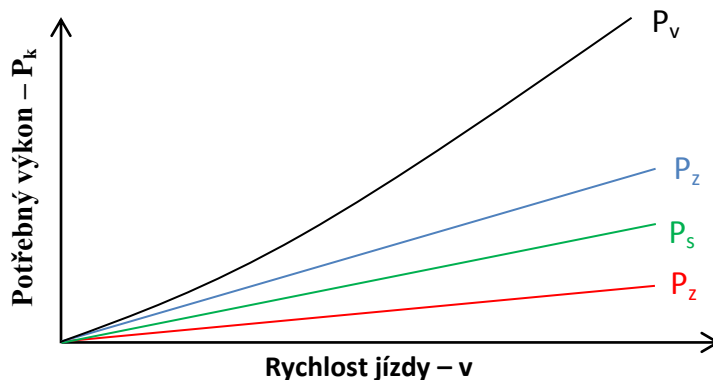
K překonání jízdních odporů potřebujeme dosáhnout hnacího krouticího momentu na kolech vozidla:

$$M_k = F_k \frac{D_k}{2} = (O_f + O_v + O_s + O_z) \frac{D_k}{2} \quad [Nm] \quad (1.19)$$

Poté výkon vozidla, který je nutný pro překonání jízdních odporů:

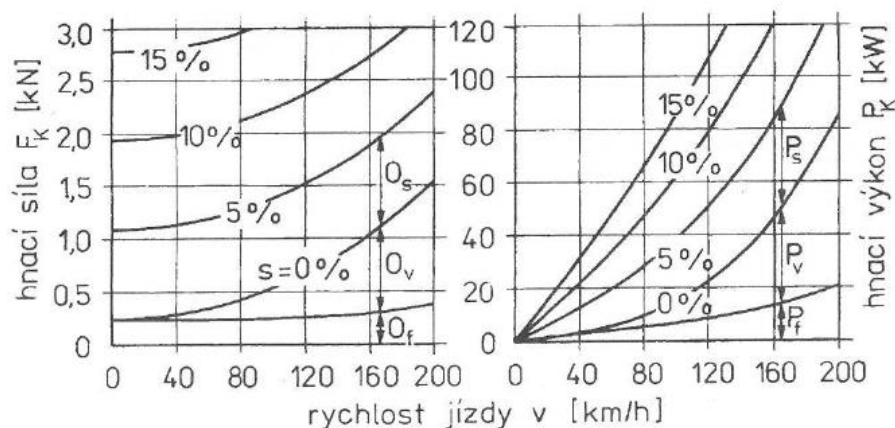
$$P_k = F_k v = \frac{M_k}{D_k/2} v = c_1 v + c_2 v^3 \quad (1.20)$$

Obrázek 17 vystihuje potřebný výkon  $P_k$  (uvažuje se konstantní zrychlení, konstantní stoupání a bezvětří).



Obrázek 17 – Potřebný výkon k překonání jízdních odporů

Z rovnic je patrné, že výkon k překonání valivého odporu, odporu zrychlení a odporu stoupání stoupá lineárně s rychlostí jízdy a výkon pro překonání vzdušného odporu roste s třetí mocninou rychlosti. Charakteristiky hnací síly a hnacího výkonu konkrétního osobního automobilu jsou zobrazeny na obrázku 18 (opět uvažován stav bezvětří, jízda v ustáleném stavu, kdy je odpor zrychlení nulový).



Obrázek 18 – Potřebná hnací síla a výkon pro překonání jízdních odporů [6]

## 1.5 Brzdění automobilu

Brzděním nazýváme záměrné snižování rychlosti vozidla nebo také znemožnění rozjetí stojícího vozidla.

Proces brzdění lze rozdělit do 4 skupin:

- provozní
- nouzová
- parkovací
- odlehčovací

**Provozní brzdění** – ovládá rychlost pohybu vozidla a jeho zastavení rychlým, bezpečným a účinným způsobem při všech možných zatíženích a na všech svazích, které přicházejí v úvahu při provozu vozidla. Působení brzdové soustavy na všechna kola musí být rovnoměrné.

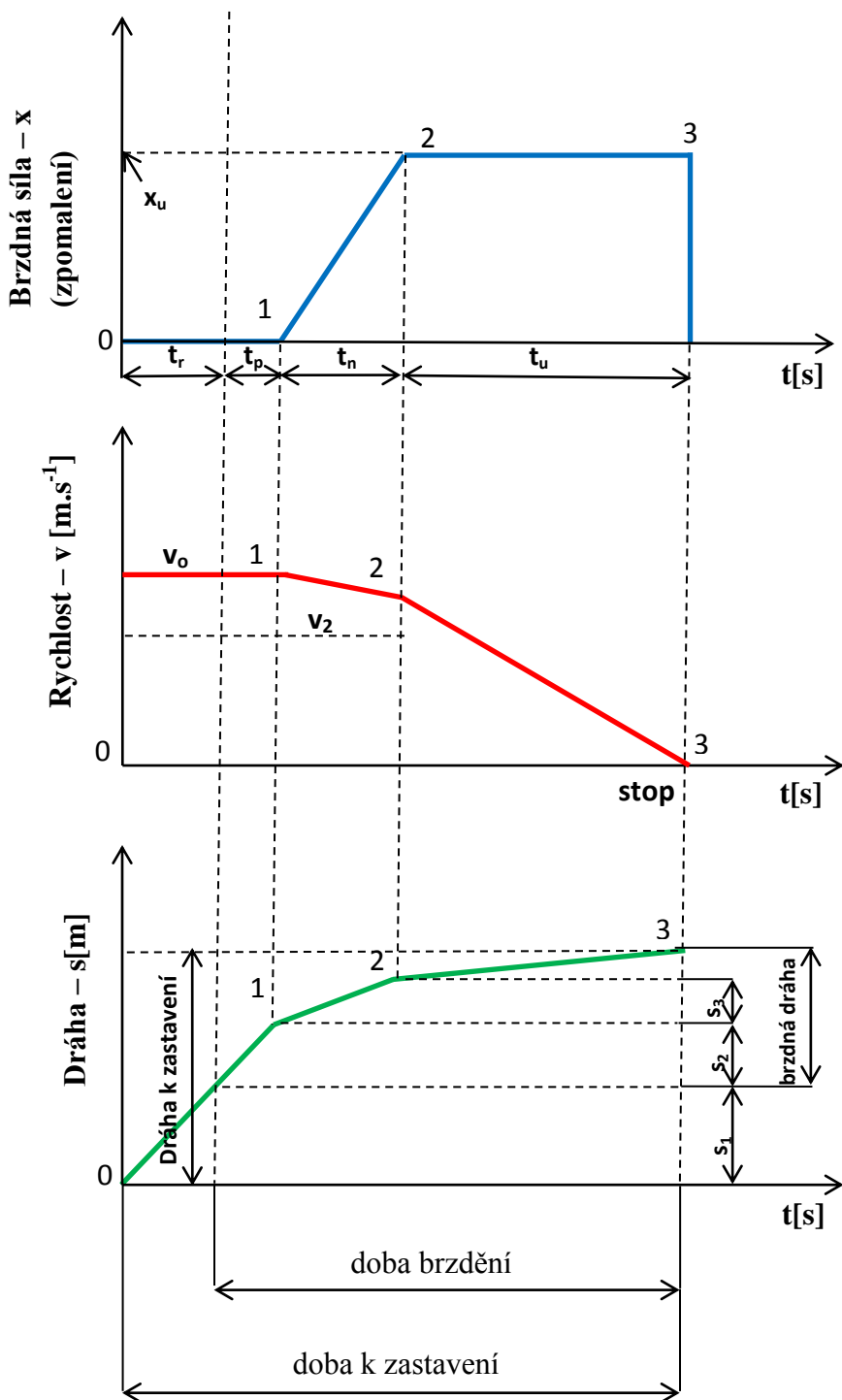
**Nouzové brzdění** – toto brzdění musí dovolovat zastavení vozidla v případě selhání provozního brzdění. Jeho účinek musí být odstupňovaný a řidič jej musí ovládat, aniž by sejmul ruce z ovládacích pák.

**Parkovací brzdění** – umožňuje udržení vozidla v nehybném stavu na svahu. Brzdný účinek musí být způsobován zcela čistě mechanickým zařízením.

**Odlehčovací brzdění** – umožňuje omezení rychlosti nebo její dodržení při jízdě ve sklonu.

### 1.5.1 Průběh brzdění

Průběh brzdění můžeme pozorovat na obrázku 19, kde jsou vyneseny tři diagramy: brzdná síla (modrá), jízdní rychlost (červená) a dráha (zelená).



Obrázek 19 – zpoždění vozidla, rychlost, dráha

Pokud řidič zpozoruje překážku, pak doba, než sešlápne brzdový pedál, je nazývána reakční doba řidiče –  $t_r$ . Tato doba bývá často mezi 0,2 – 0,5 s. Normální doba reakce je 0,8 s, pod vlivem alkoholu až 1,7 s. Dále je tu tzv. doba prodlevy brzdění –  $t_p$ . Je to doba mezi tím, kdy řidič šlápne na brzdový pedál, a dobou, než se začne projevovat účinek brzdění. Tato doba je odhadována na 0,05 – 0,1 s. Dále pokračujeme tzv. dobou náběhu –  $t_n$ , takto označujeme dobu mezi nulovým účinkem a maximálním účinkem brzdění, většinou od 0,1 – 0,3 s. V posledním úseku předpokládáme, že zrychlení -  $a$  je stále stejné. Z časového průběhu zpoždění dostaneme integrací průběh rychlosti a průběh dráhy.

Dráha k zastavení vozidla je složena z jednotlivých úseků:

Z dráhy  $s_1$  uražené během doby  $t_r + t_p$  (úsek z bodu 0 do bodu 1), v této době jede vozidlo konstantní rychlostí  $v_0$  a pak:

$$s_1 = v_0(t_r + t_p) \quad (1.21)$$

Z dráhy uražené během brzdění  $t_n$  (bod 1 – 2), během této doby je zrychlení záporné:

$$x_{12} = -\frac{x_u}{t_n} t \quad (1.22)$$

pak rychlost bude:

$$v_{12} = v_0 + \int x_{12} dt = v_0 - \frac{x_u}{2t_n} t^2 \quad (1.23)$$

Ujetá dráha  $s_2$  během doby náběhu brzdění je tedy:

$$s_2 = \int_0^{t_n} v_{12} dt = v_0 t_n - \frac{x_u}{6} t_n^2 \quad (1.24)$$

Brzdná dráha  $s_3$  během doby  $t_u$  bude:

$$s_3 = \int_0^{t_u} v_{23} dt = v_2 t_u - \frac{x_u}{2} t_u^2 = \frac{v_2^2}{2x_u} \quad (1.25)$$

Celková dráha do zastavení vozidla bude:

$$s_c = s_1 + s_2 + s_3 \approx v_0 \left( t_r + t_p + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2x_u} \quad (1.26)$$

Celkový čas do zastavení vozidla bude:

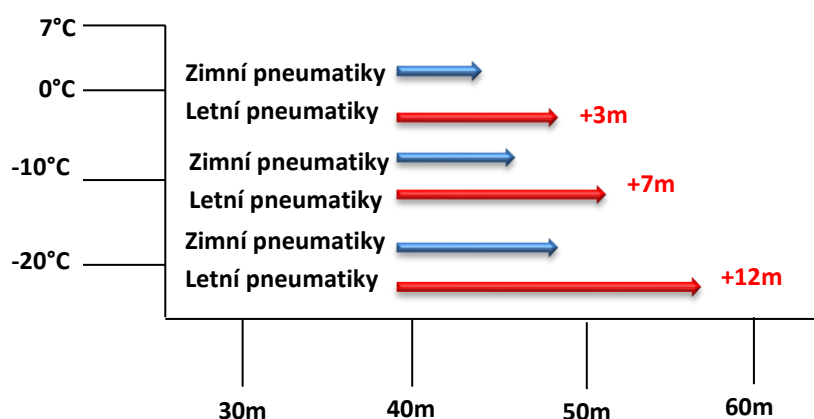
$$t_c = t_r + t_p + t_n + t_u = t_r + t_p + \frac{t_n}{2} + \frac{v_0}{x_u} \quad (1.27)$$

Pokud nebudeme uvažovat reakční dobu řidiče –  $t_r$ , pak se celková doba brzdění bude rovnat:

$$t = t_p \frac{t_n}{2} + \frac{v_0}{x_u}$$

Tyto vzorce popisují brzdnou dráhu jako takovou, ale nejsou v nich obsaženy další podněty, které je nutné brát v úvahu.

Délka brzdné dráhy je závislá především na rychlosti jízdy, druhu a stavu pneumatik, povrchu vozovky, povětrnostních podmínkách, druhu brzd atd. Příklady brzdných drah při různých teplotách a použitých pneumatikách uvádí obrázek 20.



Obrázek 20 – Brzdná dráha z rychlosti 60 km/h v zimě

Dráha nutná k zastavení vozidla se skládá z dvou složek – **reakční dráha** a vlastní **brzdná dráha**. Reakční dráha je vzdálenost, kterou automobil urazí od okamžiku, kdy řidič rozpozná kritickou situaci, uvědomí si ji a následně brzdí. Tato doba je závislá na rychlosti pohybu automobilu. Například při rychlosti 60 km/h je reakční dráha dlouhá 17 m (až potom jsou zapojeny brzdy) Viz. Tabulka 6.

Tabulka 6 – Srovnání brzdných drah [8]

Rychlost vozu	Reakční dráha	Brzdná dráha	Dráha k zastavení
<b>Suchá silnice</b>			
50 km/h	14 m	14 m	28 m
60 km/h	17 m	20 m	37 m
80 km/h	22 m	35 m	57 m
<b>Mokrý silnice</b>			
50 km/h	14 m	19 m	33 m
60 km/h	17 m	28 m	45 m
80 km/h	22 m	49 m	71 m
<b>Náledí</b>			
50 km/h	14 m	64 m	78 m
60 km/h	17 m	93 m	110 m
80 km/h	22 m	165 m	187 m

Pro bezpečnou jízdu je žádoucí dodržovat bezpečnou vzdálenost za vpředu jedoucím vozidlem, kdy bezpečný odstup roste se zvyšující se rychlostí a je roven minimálně vzdálenosti, kterou automobil ujede za 2 vteřiny. Právě 2 vteřiny je doba, po které začne automobil efektivně brzdit.



## 1.6 Reakční doba řidiče

Reakční dobu řidiče lze popsat definicí podle soudního inženýrství: „*Reakční dobou ze soudně inženýrského hlediska nazýváme čas od vjemu do uvedení (zabezpečovacího) zařízení v činnost naučeným způsobem. V neobvyklých situacích, bez naučeného způsobu, bude potřebná doba individuálně delší.*“ [9]. Reakce a postřeh řidiče je vždy závislý na zkušenostech, tělesném a duševním stavu řidiče, věku, míře soustředění na danou situaci, psychické zátěži atd. V průměru je rozdíl jedné sekundy mezi řidičem, který se plně věnuje řízení a řidičem, který je rozptylován jinými vlivy. Během této doby při rychlosti 90 km/h ujede vzdálenost až 25 metrů.

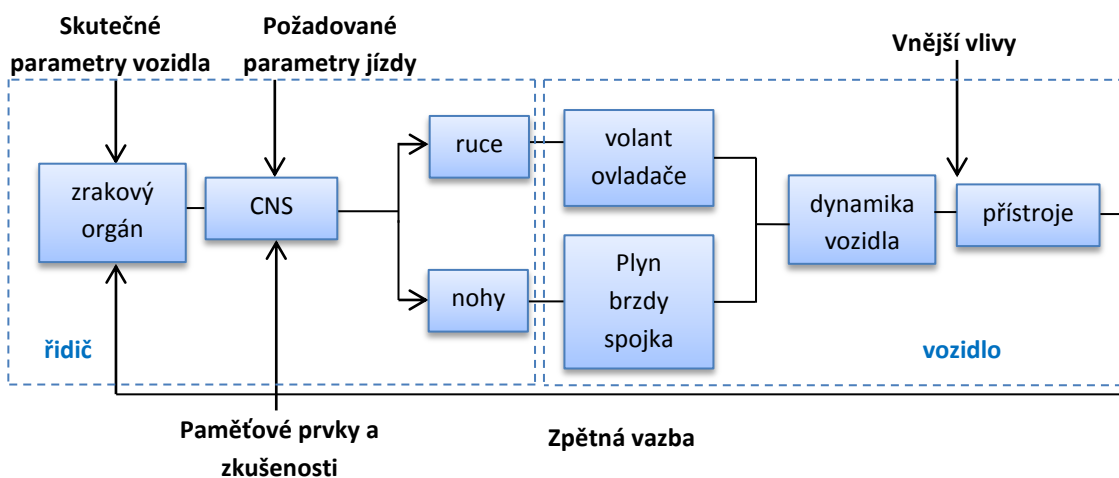
Jednotlivé časové úseky reakční doby řidiče:

- **Optická reakce řidiče** – časový úsek, který řidič potřebuje na postřehnutí objektu, který se nachází mimo jeho přímý výhled (zpozorování objektu v zorném pole oka a jeho optické zafixování). Jestliže řidič přímo sledoval objekt, pak se čas optické reakce neuvažuje.
- **Psychická reakce řidiče** – časový úsek od optického zafixování kritického objektu do startu svalové reakce (vyšlápnutí plynového pedálu).
- **Svalová reakce** – časový úsek od ukončení psychické reakce do dotyku brzdového pedálu.

**Tabulka 7 – Přehled délky úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu [8]**

	Doba trvání		
	Spodní mez (2%) [s]	Průměr [s]	Horní mez (98%) [s]
<b>Optická reakce</b> (varianty)			
- Řidič pozoruje kritický objekt	0,00	0,00	0,00
- Řidič sledoval jiný objekt v rozsahu do 5°	0,32	0,48	0,55
- v rozsahu na 5°	0,41	0,61	0,7
<b>Psychická reakce</b> (rozhodování)	0,22	0,45	0,58
<b>Svalová reakce</b> (přesun nohy z pedálu na pedál)	0,15	0,19	0,21
<b>Odezva vozidla</b>			
- Prodleva brzd (od dotyku pedálu po první dotyk třecích ploch brzd)	0,03	0,05	0,06
- Náběh brzdícího účinku (od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce)	0,07	0,15	0,49
<b>Odezva celkem</b>	0,10	0,20	0,55
<b>Celkem</b> – varianta			
a)	0,47	0,84	1,34
b)	0,79	1,32	1,89
c)	0,88	1,45	2,04

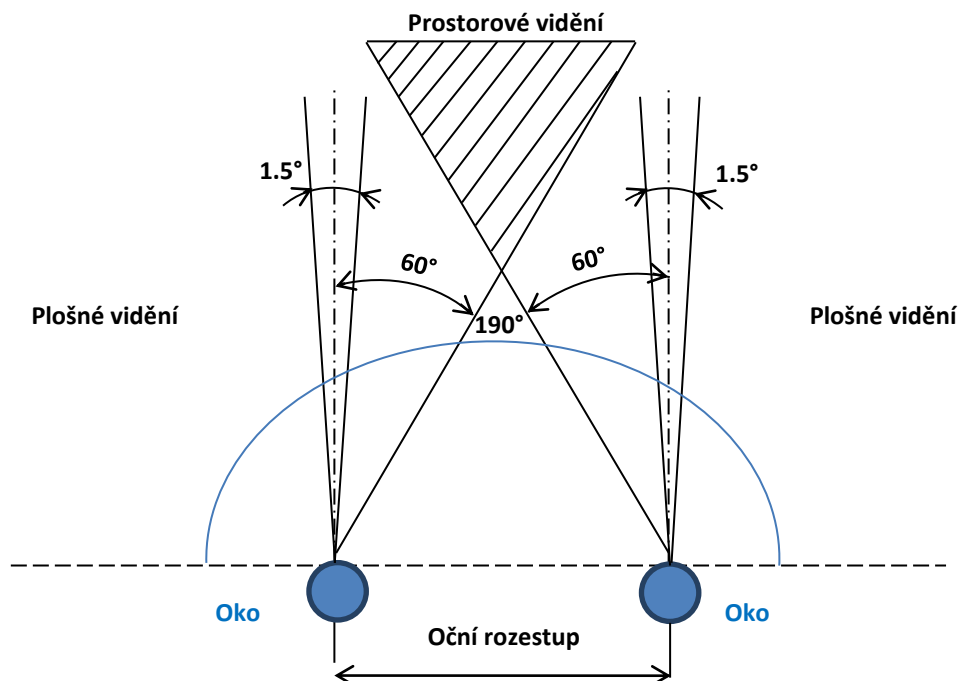
Na následujícím schématu (obrázek 21) řidiče a vozidla je vidět, že klíčovou roli hraje člověk. Z tabulky 7 je zřejmé, že reakční doba řidiče se pohybuje v řádu do jedné sekundy, avšak tato doba stoupá s jakýmkoliv rozptýlením řidiče.



Obrázek 21 – Provázání biologického činitele s technickým zařízením [11]

Člověk sedící za volantem vnímá vyskytující se vjemy hmatem, sluchem a nejvíce zrakem. Množství informací, které musí člověk vnímat každou vteřinou, je nepřehledně velké. Vizuelní informace musí být vnímány rychle a jistě. Například řidič přepravující nebezpečné látky musí bezpečně identifikovat během 0,1 s až 6 podnětů. Oproti tomu řidič začátečník (méně využívá periferní vidění, informace získává hlavně fixací pohledu v centrálním vidění) není schopen stejnou rychlostí vyčlenit důležité informace v nebezpečné situaci jako řidič zkušený. 40 – 50 % nehod je způsobeno právě chybou ve vnímání. Pokud by každý zúčastněný řidič provedl manévr před nehodou o 0,5 s dříve, výrazně by ubylo nehod. Největší vliv na celkové vnímání má zrakové vnímání. U zrakového vnímání je důležité zorné pole řidiče. Obraz vnímaný okem vytvořený na sítnici je v úhlovém rozmezí horizontální roviny proloženou pravým a levým okem na úrovni 190° a tvoří základ zorného pole. Konstrukcí předního skla je dáno jisté omezení, avšak z tohoto obecného zorného pole lze odvozovat všeobecné důsledky pro zrakovou činnost (obrázek 22).

Z toho vyplývá, že člověk je informován o dění a jevech v obklopujícím prostředí v poměrně širokém úhlovém rozmezí. V souhrnu však jde o nepřesné, neostře vidění – periferní. Když od hodnoty 190° odečteme asi 3°, je zřejmé, že obraz vytvořený na sítnici je z 98 % v periferní části zorného pole a je to tedy obraz nepřesný a neostrý, ať již jde o monokulární či binokulární pole znázorněné na obrázku 22, či zapojení jednotlivých druhů receptorů do procesu vidění.



Obrázek 22 – Zorné pole člověka v horizontální rovině

Jediné přesné, ostré vidění je v oblasti, která je všeobecně známa pod pojmem foveální (přímé) vidění a odpovídá procesům, které se odehrávají jen na ústřední jamce (fovea centralis) o velikosti 0,2 mm.

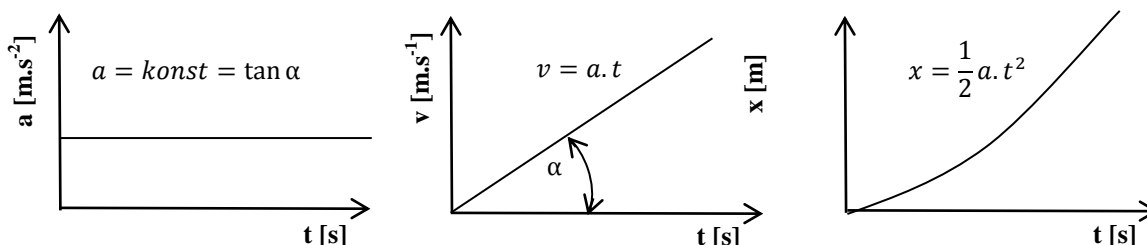
Na této části sítnice proběhnou všechny procesy s nejvyšší přesností a ostrostí, a to nejen při fotopickém (za denního světla) vidění, ale automaticky se proces uskutečňuje i při mezopickém (za soumraku) a skotopickém (za tmy) vidění. Toto tvrzení platí i pro řidiče. [11]

Neméně důležité je také zorné pole do  $20^\circ - 30^\circ$ , tj. zorné pole, v jehož rozsahu je schopen řidič ještě reagovat na vnímané objekty (snižuje se se vzrůstající rychlostí vozidla).

## 1.7 Náráz vozidla

Po nárazu vozidla do pevné překážky dochází k prudkému zpomalení vozidla a tedy i všeho, co se nachází ve vozidle. Na vše působí již zmíněné tíhové zrychlení uvedené v kapitole 1.3. Tíhové zrychlení působí na všechny předměty v klidovém stavu, které se nachází na Zemi. Tíhovému zrychlení někdy také říkáme přetížení, jedná se o dva výrazy, které mají stejný význam. Přetížení se z fyziologického hlediska projevuje dvěma směry. Za prvé ztěžuje pohyby těla a za druhé způsobuje přelévání krve v těle (překrvení a odkrvení). Lidské tělo snáší přetížení z každého směru jinak. Směr hrudník – záda (v této poloze létají kosmonauti) snese lidské tělo krátkodobě (desítky sekund) 15 – 20g. Ve směru nohy – hlava naopak trvale nevydrží ani 1g. Matematický popis situace, která nastane po nárazu vozidla do pevné překážky z pohledů účinků na člověka připoutaného pásy k sedadlu, je v obecné poloze velmi obtížný. Předpokládejme, že řidiče bereme jako hmotný bod, kdy neuvažujeme vliv airbagů, kostry člověka, bezpečnostních pásů apod. V situaci, kdy vozidlo naráží na překážku kolmo a deformace je plynulá (rovnoměrné zpoždění v průběhu dráhy deformace), předpokládáme jízdu vozidla po vodorovné dráze, kde jsou zanedbány všechny jízdní odpory, a součet deformací je před řidičem v dané konstantní hodnotě. Uvažujeme tedy konstantní zrychlení v celém časovém intervalu,

rychlost bude růst s přírůstkem času a přírůstek uražené dráhy se s každým přírůstkem časového intervalu zvětšuje oproti předchozímu intervalu (obrázek 23).



Obrázek 23 – Závislost zrychlení, rychlosti a dráhy na čase při nulové počáteční rychlosti [12]

Obecně lze psát:

$$v = a \cdot t \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.28)$$

Dále:

$$x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad [\text{m}] \quad (1.29)$$

$$t = \frac{v}{a} = \sqrt{\left(\frac{2x}{a}\right)} \quad [\text{s}] \quad (1.30)$$

Lze upravit jako:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{v^2}{2x} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (1.31)$$

$$v = \sqrt{(2xa)} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.32)$$

$$x = \frac{vt}{2} = \frac{v^2}{2a} \quad [\text{m}] \quad (1.33)$$

Pro představu k jakému přetížení může dojít, když vozidlo jedoucí rychlostí  $v = 60 \text{ km/h}$  ( $16,666 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) narazí přední částí do překážky  $x = 1 \text{ m}$ .

$$a = \frac{v^2}{2x} = \frac{16,666^2}{2 \cdot 1} = \frac{277,77}{2} = 138,88 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / 9,81 = 14,15g$$

Takto velká hodnota zrychlení (v příkladu zpždění)  $14,15g$ , by mohla mít při dlouhodobém působení špatný vliv na organismus lidského těla a v některých případech by mohla být i smrtelná. Doba tohoto působení je však velmi krátká:

$$t = \frac{v}{a} = \frac{16,666}{138,88} = 0,120 \text{ s}$$

Po tuto dobu je člověk (hmotný bod) sedící ve vozidle vystavován extrémnímu přetížení.

Pro lepší představu lze určit dobu působení a hodnoty zrychlení i pro jiné kombinace rychlosti a deformační zóny (Tabulka 8).

**Tabulka 8 – Přehled přetížení pro různé rychlosti a deformační zóny [12]**

<b>v</b>	<b>40</b>			<b>50</b>			<b>60</b>		
<b>x</b>	0,21	0,5	1	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1
<b>a</b>	245,906	123,453	61,727	385,754	192,877	96,439	555,511	277,756	138,889
<b>g</b>	25,2	12,6	6,3	39,3	19,7	9,8	56,6	28,3	14,2
<b>t</b>	0,045	0,090	0,180	0,036	0,072	0,144	0,030	0,060	0,120
<b>v</b>	<b>80</b>			<b>110</b>			<b>130</b>		
<b>x</b>	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1
<b>a</b>	987,654	493,339	246,914	1876,284	933,642	466,821	2608,025	1304,012	625,006
<b>g</b>	100,678	50,339	25,169	190,345	95,175	47,586	265,854	132,927	66,463
<b>t</b>	0,0225	0,045	0,090	0,016	0,0327	0,0655	0,014	0,0277	0,055

**v** – rychlost při nárazu [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ],

**x** – deformační zóna [m],

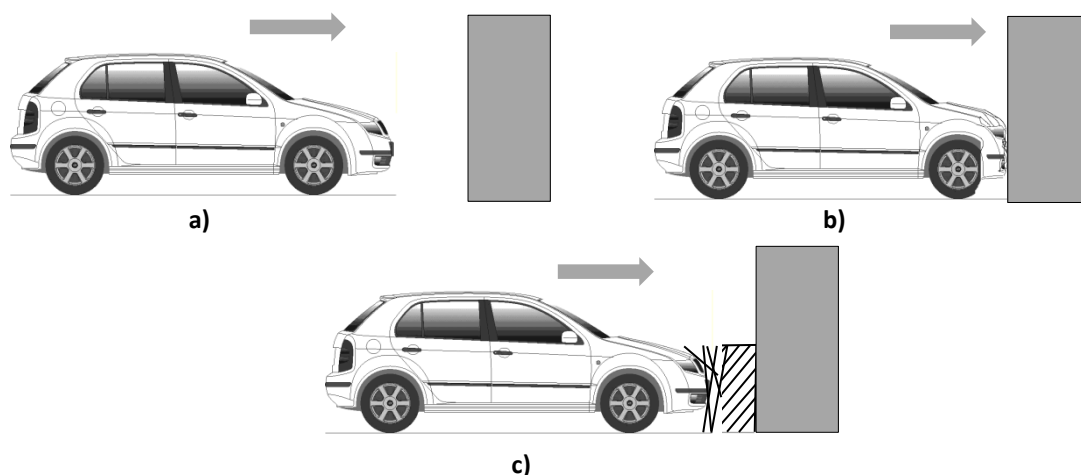
**a** – zrychlení (nyní zpomalení) [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ],

**g** – přetížení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ],

**t** – doba, po kterou je řidič vystaven přetížení [s].

Z tabulky je zřejmý vliv celkové deformace i rychlosti. Ze vztahu uvedených výše lze usoudit, že přetížení roste s druhou mocninou rychlosti a klesá dvojnásobně v přímé úměře s prodlužující se délkou deformace.

Ke zpomalení vozidla dochází na dráze, která se rovná součtu deformace vozidla, bezpečnostních pásů atd. Snahou je mít tuto dráhu (deformační zónu) co nejdelší, abychom při nárazu dosáhli co nejmenšího přetížení. Prodloužení této dráhy lze provést přidáním tlumiče nárazů, který bude umístěn před pevnou překážkou (Obrázek 24). Deformační zóna je také závislá na rychlosti vozidla, tím pádem na řidiči, který vůz řídí. Z důvodů omezení vlivu řidiče lze do konstrukce automobilu přidat umělou překážku v místě předpokládaného nárazu. V tomto teoretickém výpočtu jsme počítali řidiče jako hmotný bod, tedy situaci, kdy je tělo velmi dobře podepřeno, avšak v praxi je situace jiná. Řidič je připoután k části vozidla, kde nedochází k deformaci (většinou tříbodovým, někdy jen dvoubodovým) bezpečnostním pásem. Během nárazu, pak dojde k poranění lidského těla. Jak již bylo zmíněno provést matematický výpočet se všemi parametry je velice obtížné.



**Obrázek 24 – a) vozidlo jedoucí proti betonové překážce, b) vozidlo při nárazu bez tlumení, c) vozidlo proti betonové překážce s tlumením – vlastní úprava dle [22]**

Na výše uvedeném ilustrativním obrázku je uvedeno vozidlo jedoucí 50 km/h proti betonové překážce nejprve bez tlumení. Zde je patrné, že k tlumení dochází pouze deformováním vozidla (zkrácení vozidla o cca 0,5 m). Ve spodní části obrázku je zobrazeno vozidlo při nárazu do stěny už s tlumičem nárazu, kde dochází ke zpomalení vozidla a také ke snížení přetížení uvnitř vozidla.

Zde je patrné, že způsob, kterým lze snížit velikost přetížení vozidla je prodloužit délku „zastavování vozidla“. Z tohoto důvodu mají moderní automobily tyto deformační zóny již zakomponovány v konstrukci vozidla. Konstrukce funguje na podobném principu jako tlumič nárazu (zpomaluje rychlost a klade odpor), tedy zpomaluje vozidlo.

## 2. Akcelerometry

Využitelnost akcelerometrů v dnešní době stále stoupá, a to převážně z důvodů minimalizace součástí a přesnosti měření. Akcelerometr je senzor měřící statické (sílu působením zemské gravitace) a dynamické (sílu vzniklou změnou rychlosti pohybujícího se senzorem) zrychlení. Je vhodný pro měření odstředivých a setrvačných sil nebo určování pozice tělesa, naklonění tělesa a jeho vibrací.

Akcelerometry pracují na různých fyzikálních principech např. piezoelektrické, které využívají piezoelektrický efekt, piezooopdporové (tenzometrické) akcelerometry, které pracují na principu zjišťování napětí vlivem změn v materiálu, kapacitní akcelerometry, které pracují na principu změny kapacity elektrod vůči dielektriku. [18]

### 2.1 Využití akcelerometrů

Akcelerometry mají v dnešní době skutečně širokém možnosti využití:

- Měření sklonu či naklonění ploch a předmětů.
- Měření vibrací (ochrana harddisků, hlídání funkce motorů, diagnostika strojů).
- Měření natočení a detekce natočení.
- Měření odstředivé síly a zrychlení – akcelerace.
- Měření brzdění.
- Měření otřesů.
- Měření a detekce seismické aktivity.
- Detekce a měření pádu.
- Trakční a bezpečnostní systémy automobilů.
- Navigační systémy GPS a inerciální navigační systémy.
- Další zařízení: pedometr, mobilní telefony, MP3 přehrávače, robotika, přenosná elektronika, herní simulátory

Akcelerometry jsou v dnešní době velmi rozšířenými senzory, bez kterých by nemohla být spousta aplikací realizována.

## 2.2 Typy akcelerometrů

Na světě existuje mnoho druhů a typů akcelerometrů, nejvíce se využívá těchto čtyř typů: kapacitní akcelerometry, piezoelektrické akcelerometry, piezorezistivní akcelerometry, tepelné akcelerometry.

### 2.2.1 Kapacitní akcelerometry

Funkce kapacitního akcelerometru je dána proměnnou kapacitou vzduchového kondenzátoru, který má 3 elektrody. Je zde využita nelineární závislost kapacity  $C$  na vzdálenosti elektrod kondenzátoru  $d$ . Kapacitu spočteme jako:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \quad [F] \quad (2.1)$$

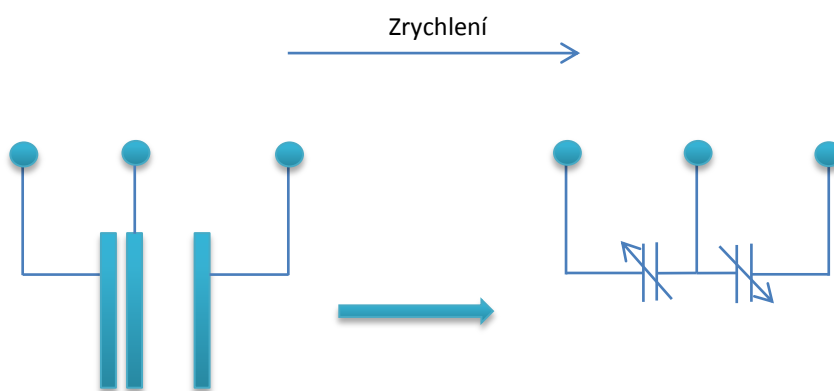
kde  $C$  – je kapacita kondenzátoru  $[F]$

$S$  – je plocha elektrod deskového kondenzátoru  $[m^2]$

$d$  – je velikost vzduchové mezery  $[m]$

$\varepsilon$  – je permitivita (skalární fyzikální veličina vyjadřující vliv prostředí na intenzitu elektrického pole)  $[F/m]$

Pokud tedy bude jedna z elektrod pohyblivá a její pohyb bude záviset na směru působícího zrychlení, dostaneme kapacitní akcelerometr (Obrázek 25).



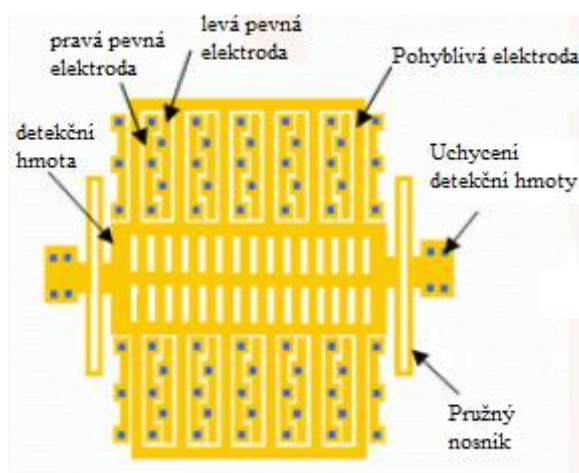
Obrázek 25 – Princip kapacitního akcelerometru



## 2.2.2 MEMS technologie

Způsob, kterým tyto akcelerometry pracují je nazýván MEMS technologií. Hlavní je zajistit lineární a dostatečně citlivý převod zrychlení na mechanický posuvný pohyb. Ten totiž určuje samotný měřící rozsah senzoru, tj. maximální a minimální měřitelné zrychlení.

Zde se vychází ze základního vztahu pro působení síly při zrychlení. Síla se přes pružiny převádí na posuv nosníku, jehož některé části tvoří pohyblivé elektrody vzduchového kondenzátoru. Jejich pozice vůči levým pevným elektrodám a pravým pevným elektrodám určuje elektronicky měřenou hodnotu kapacity takto vzniklého kondenzátoru.



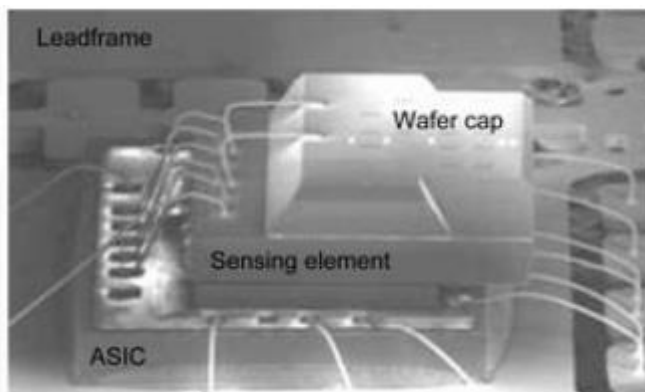
Obrázek 26 – Struktura MEMS [13]

Nosníková struktura a pružiny se vyrábí leptáním polykrystalického křemíku, přičemž s postupným vývojem dochází k postupnému protahování pohyblivých elektrod ve směru kolmém na měřenou osu z dřívějších jednotek mikrometrů až na desítky mikrometrů. Díky tomu je možné několikanásobně protáhnout délku elektrod a tím získat lepší odstup signál/šum, menší křížovou citlivost (např. vliv zrychlení v ose X na osu Y) a hlavně odezvu na změnu velikosti zrychlení. Do budoucna se již také počítá nahrazením polySi krystalickým křemíkem.

Výše uvedená a popsaná struktura však umožňuje měření zrychlení jen v jednom směru kolmém na pohyblivé elektrody = 1D akcelerometry. Technologicky vcelku není problém na čipu přidat další stejnou strukturu pouze proti té předchozí pootočenou o 90°. Vznikne tak 2D akcelerometr, který například měří v osách XY nebo XZ, dle natočení senzoru. Složitější je již vytvořit jednočipový 3D akcelerometr, protože se musí přidat výškově pohyblivá struktura v ose Z. [13]

### 2.2.3 Elektrická struktura

Celá ASIC elektronika, která měří změnu kapacity, převádí ji na změnu napětí a zpracovává takto získaný signál na standardní lineární napěťový výstup, je implantována pod snímacím elementem (Sensing element) překrytého krycí "kopulí" (Wafer cap). K měření kapacity se využívá metody spínaných kondenzátorů řízené číslicovou logikou a generátorem spínacího hodinového signálu. Dochází tak k převodu změny kapacity na změnu napětí. To je následně linearizováno a filtrováno opět obvody se spínanými kondenzátory a nakonec se provádí kompenzace vlivu teploty. Výsledkem je lineární, zesílený a kompenzovaný napěťový signál s definovanou převodní konstantou - citlivostí podávající informaci o kolik se musí změnit hodnota měřeného zrychlení, aby došlo ke změně výstupního napětí o 1 V (hodnota g/V). Vše se provádí zvlášť pro každou osu snímání (kanál). [13]

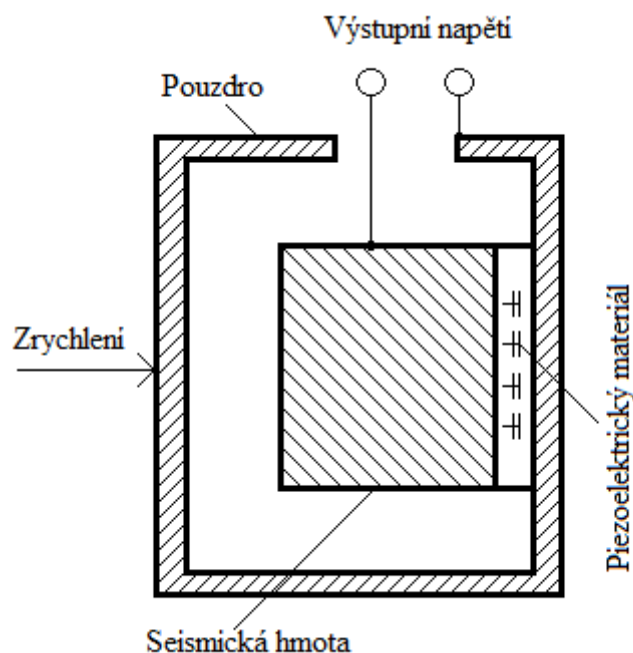


Obrázek 27 – Elektrická struktura snímače [13]

### 2.2.4 Piezoelektrické akcelerometry

Piezoelektrické akcelerometry využívají vlastnosti piezoelektrického materiálu, který vygeneruje náboj úměrný mechanickému namáhání, které vznikne akcelerací. Pro měření vzniklého náboje na piezokrystalu se využívá elektroniky s vysokou vstupní impedancí nebo samotná elektronika senzoru převádí náboj na napěťový výstup s nízkou impedancí. Tyto senzory nemohou být použity pro měření nižších frekvencí než 0.1 Hz, což je jejich nevýhodou, a nejsou tedy vhodné pro měření konstantního zrychlení, další jejich nevýhodou jsou pak větší rozměry.

Snímač je tvořen ze tří částí: piezoelektrického materiálu, seismické hmoty a kostry senzoru. Jedna strana materiálu je připevněna k seismické hmotě a druhá je připevněna k piezoelektrickému materiálu. Při působení zrychlení začne působit síla na piezoelektrickou část, která generuje napětí na výstupu (Obrázek 28). [18]



Obrázek 28 – Princip piezoelektrického akcelerometru

Piezoelektrické akcelerometry se mírně liší konstrukcí, dle požadavků na měření. Některé konstrukce mají lepší vlastnosti na úkor jiných:

- *Ohybový mód* – měření seismické aktivity.
- *Kompresní mód* – průmyslové akcelerometry.
- *Smykový mód* – senzory se zvýšenou odolností na vliv teploty a parazitní vibrace pouzdra.

### 2.2.5 Piezorezistivní akcelerometry

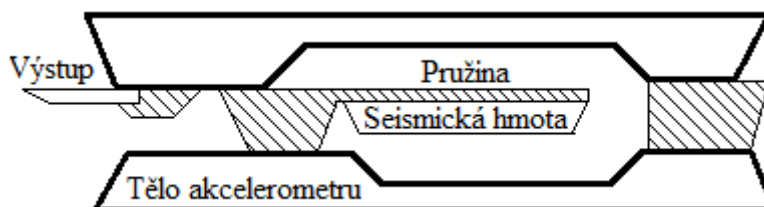
Piezorezistivní akcelerometry využívají piezorezistivní materiál místo piezoelektrického krystalu a díky němu převádí sílu od seismické hmoty na změnu odporu. Měření odporu se provádí pomocí základního nebo polovičního Wheastonova můstku. Oproti piezoelektrickým akcelerometrům mají výhodu v tom, že dokážou měřit i konstantní zrychlení. Nevýhodou je závislost výstupu na teplotě.

Dnes nejpoužívanější princip, využívaný v integrovaných akcelerometrech, byl vynalezen již v roce 1979. Je založen na použití pohybu/ohybu jednoho konzolového nosníku z piezorezistivního křemíkového materiálu vlivem působícího zrychlení. Ohybem se mění odpor, který je měřen. [14]

Požadavky na piezorezistivní akcelerometry:

- Malá velikost
- Citlivost na zrychlení nižší než jedna setina gravitačního zrychlení
- Velká šířka pásma
- Velká přesnost
- Lineární výstup

Akcelerometr se skládá ze tří částí: rámu senzoru, seismické hmoty a deformační pružiny. Jedno z možných provedení je naznačeno na obrázku (Obrázek 11). Bude-li, se akcelerometr pohybovat rám se pohne, ale hmota bude chtít zůstat v klidu do doby, než předá napnutá pružina dostatek síly hmotě k pohybu. Síla, která působí na pružinu je úměrná deformaci, která je přímo úměrná působícímu zrychlení.



Obrázek 29 – Princip piezorezistivního akcelerometru

Piezorezistivní akcelerometry stále patří svými vlastnostmi a schopnostmi mezi špičku v této oblasti senzorů. Výhodou je spodní hranice měřitelnosti blízká nule a velká citlivost. Nevýhodou pak je významná závislost na teplotě, kterou je však možné částečně kompenzovat samočinným testováním. [14]

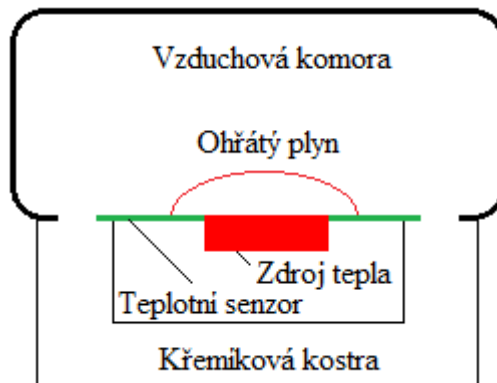
### 2.2.6 Teplotní akcelerometry

Teplotní akcelerometry jsou další snímače, které využívají technologii MEMS. Využívají základní fyzikální princip, který se v podobné verzi používá u kalorimetrických průtokoměrů. Jde o přenos tepla v plynu a snímání rozložení teploty v okolí zdroje tepla. Topné tělíčko zahřívá okolní vzduch ve vzduchové komoře na konstantní teplotu.

Rozložení teploty v závislosti na vzdálenosti od topného tělíška je měřené teplotními snímači. Ty jsou realizovány soustavou termočlánků hliník/polykrystalický křemík umístěných v pravidelných rozestupech. Celá tato soustava je implementována ve vyleptaném příkopě křemíkového substrátu. Celý senzor, včetně vyhodnocovací elektroniky, je integrován na CMOS čipu, v jednom pouzdře (Obrázek 30).

Při klidovém stavu akcelerometru je vzduch v okolí zdroje tepla rovnoměrně rozložen. Při pohybu akcelerometru dojde vlivem setrvačnosti vzduchu k jeho pohybu vůči

vzduchové komoře a zároveň tedy dojde k pohybu vzduchu proti senzoru, u kterého se změní rozložení teploty. Vznikne tak teplotní rozdíl vůči klidovému stavu, ze kterého lze pak určit směr a velikost zrychlení. [18]



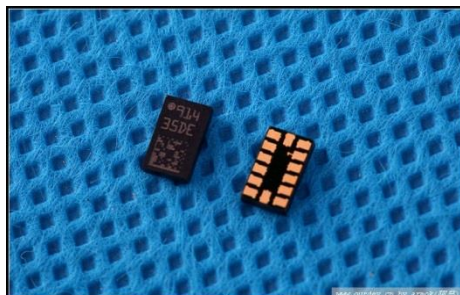
Obrázek 30 – Princip teplotního akcelerometru

Teplotní akcelerometry patří svojí konstrukcí k nejspolehlivějším sensorům zrychlení. Měření pohybu pomocí přenosu tepla prakticky neumožňuje senzor zničit přetížením, tj. vystavení příliš velké hodnotě zrychlení. Nevýhodou této vlastnosti je velký vliv okolní teploty na citlivost senzoru. To je obvykle nutné kompenzovat dalším teplotním senzorem, termistorem, který je někdy již umístěn přímo na čipu akcelerometru. [15]

Pro naše použití se nejvíce hodí kapacitní akcelerometry, které mají malé rozměry, jsou integrované, obsahující A/D převodník, jsou cenově dostupné a jejich specifické vlastnosti se budou nadále zlepšovat s rozvojem techniky.

### 2.3 Akcelerometr LIS302DL

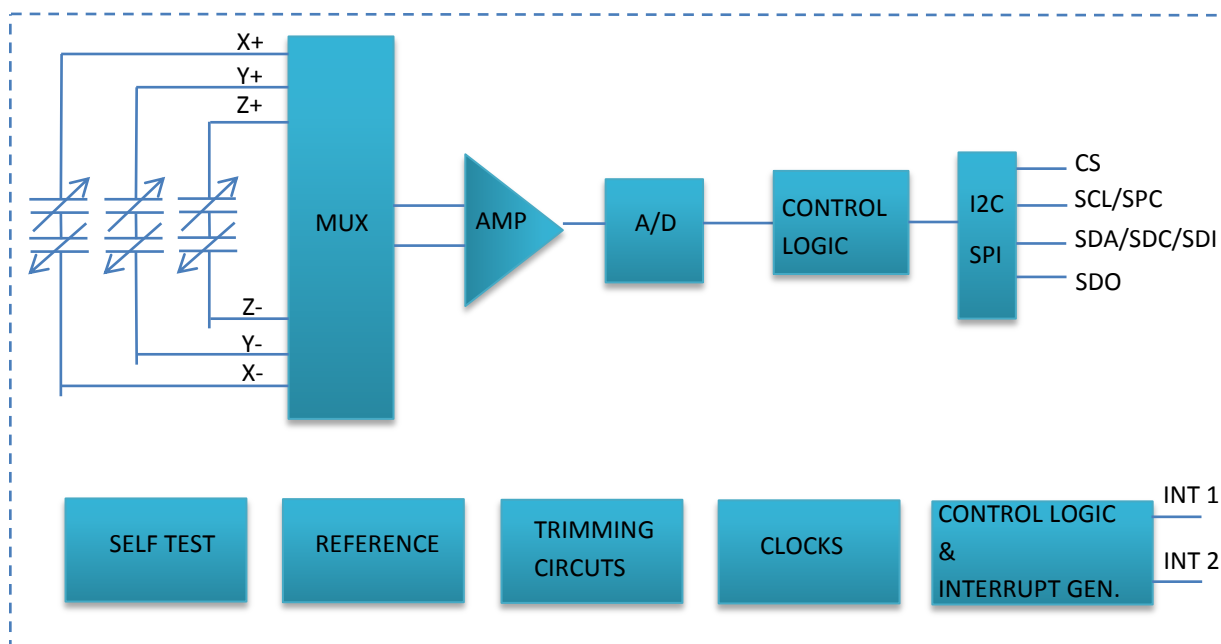
Akcelerometr LIS302DL od firmy STMicroelectronics byl vybrán jako nejvhodnější z hlediska dostupnosti a využitelnosti při monitorování zrychlení. Je to tříosý kapacitní akcelerometr vyrobený MEMS technologií. Komunikaci s mikroprocesorem zajišťuje SPI nebo I2C rozhraní.



Obrázek 31 – Akcelerometr LIS302DL [23]

Výstupní signál je teplotně kompenzován a zbaven vysokofrekvenčních složek pomocí dolnofrekvenčního filtru, který lze nastavit na 100Hz nebo 400Hz. Dále umožňuje

volbu měření maximálního gravitačního zrychlení na 2g nebo 8g. Akcelerometr má ještě další vlastnosti, kterých nebude při aplikaci využito.



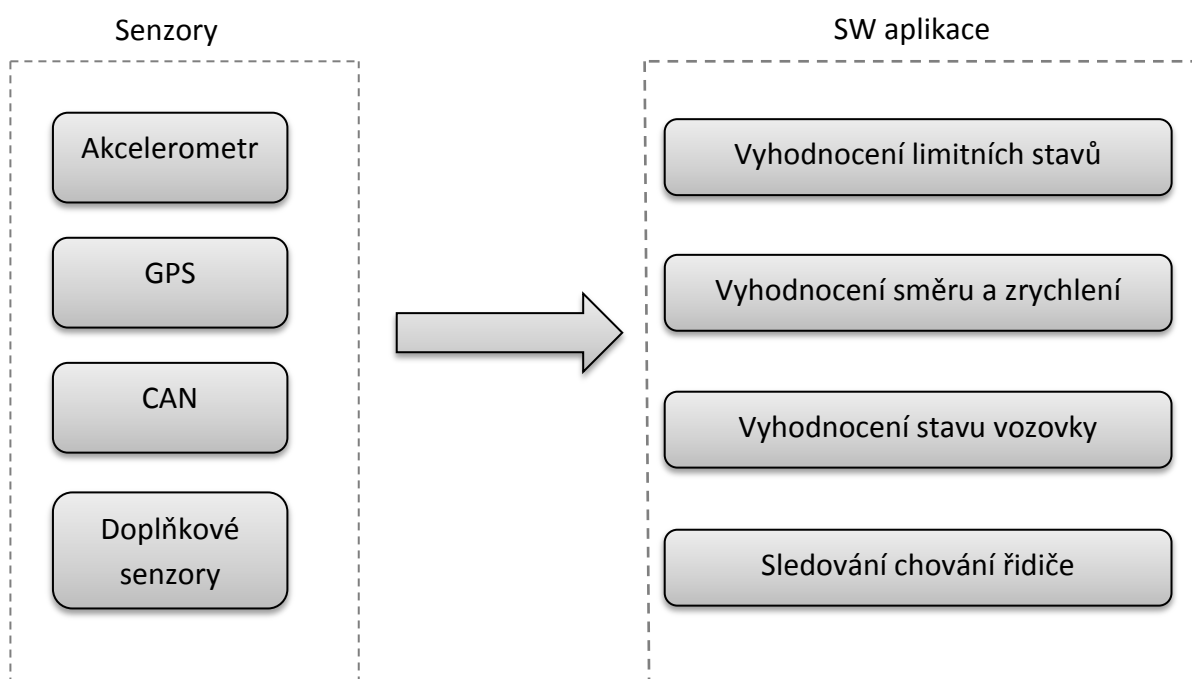
Obrázek 32 – Blokový diagram akcelerometru

### Vlastnosti akcelerometru

- Napájecí napětí 2.16V až 6V
- Volitelný filtr 100Hz a 400Hz
- Volitelná sensitivita ( $\pm 2g/\pm 8g$ ) v 8 bitovém režimu
- Digitální výstup (SPI/I2C)
- Teplotní rozsah  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $80^{\circ}\text{C}$
- Detekce volného pádu
- Aktivace přerušením
- Robustní provedení
- Maximální krátkodobé přetížení až 10 000g

### 3 Analýza a vstupní rozbor

Pro sledování pohybu lze využít různé senzory a jejich kombinace (v některých situacích vystačí pouze jeden). Sledování v automobilu lze převzít z CAN sběrnice, avšak toto řešení je značně složité a komplikované, už jen když uvážíme kolik druhů a výrobců vozidel dnes existuje a každý má tuto sběrnici víceméně odlišnou. Z tohoto důvodu nebude CAN sběrnice obsažena, ale do budoucna je možné tuto sběrnici brát v úvahu. Jako další senzor se nabízí GPS modul, který by umožňoval záznam rychlosti a polohy automobilu. Výsledná jednotka by tedy mohla mít připravené konektory na její připojení. Zde budeme využívat hlavně akcelerometr. Potom, co data budou přijata ze senzorů, budou provedeny potřebné výpočty pro sledování pohybu vozidla. Z těchto dat, pak budou zjišťovány limitní stavy, vyhodnocení směru a zrychlení, stav vozovky, chování řidiče popřípadě další vlastnosti. Jak by tedy takový systém mohl vypadat, ukazuje následující obrázek.

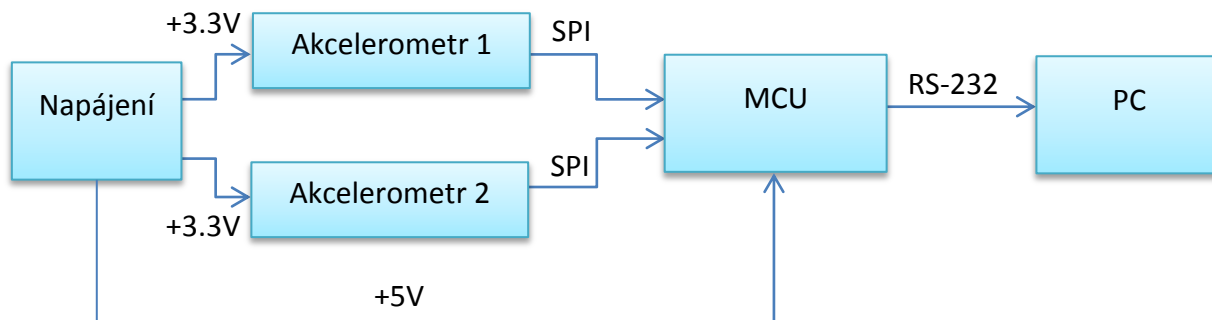


Obrázek 33 – Přehled požadavků

Před návrhem vlastní měřicí jednotky je nutné analyzovat a určit limitní stavy, ke kterým může docházet v průběhu pohybu vozidla. Dále je nutné určit citlivost zařízení vůči rychlosti, otřesům a zrychlení.

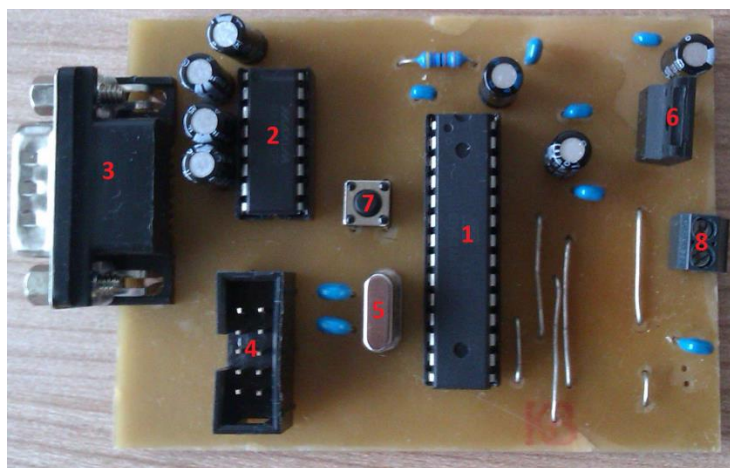
### 3.1 Testovací jednotka

Pro účely vyhodnocení limitních stavů byla sestrojena měřicí jednotka s dvěma akcelerometry LIS302DL umístěnými ve stejné poloze desce jednotky. Akcelerometry lze jednotlivě nastavit na různé rozsahy, které lze posléze porovnat.



Obrázek 34 – Blokové schéma testovací jednotky

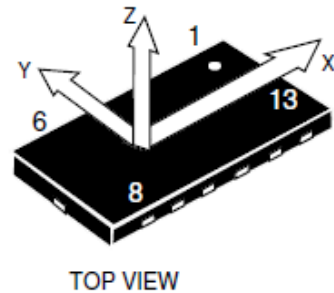
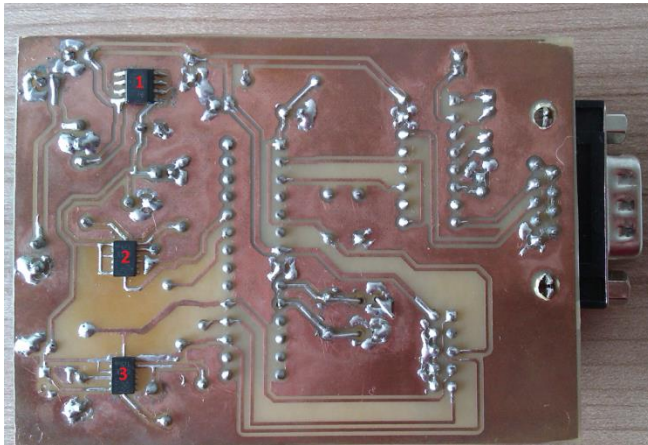
Jednotka umožňuje záznam hodnot zrychlení s maximální frekvencí akcelerometrů (400Hz). Díky tomu je možné data off-line zpracovávat a navrhnout možná řešení pro zpracování dat (filtraci apod.). Jednotka byla navržena jako testovací vzorek, kde není kladen důraz na velikost jednotky proto je také vyrobena klasickou metodou THT o rozměrech 80x85mm. Sběr dat z akcelerometrů zajišťuje klasický 8-bitový mikroprocesor od firmy Atmel ATmega8. Mikroprocesor, pak posílá data přes sériovou linku skrze rozhraní RS-232 počítači, kde jsou postupně ukládána pro další vyhodnocení.



Obrázek 35 – Testovací jednotka shora

1 – ATmega8, 2 – nábojová pumpa MAX232, 3 – RS232, 4 – ISP konektor, 5 – externí oscilátor 11.0592MHz, 6 – stabilizátor napětí 7805, 7 – tlačítko RESET, 8 – napájení +12V.





Obrázek 36 – Testovací jednotka zespolu a osový systém akcelerometru

1 – stabilizátor napětí LE33, 2 – akcelerometr LIS302DL, 3 – akcelerometr LIS302DL

Zde je vidět, že akcelerometry jsou umístěny téměř ve stejné poloze, umístit je zcela přesně bohužel v domácích podmínkách nelze, avšak tato nepřesnost bude kompenzována v programové části jednotky.

### 3.2 Měření a vyhodnocení limitních stavů pohybu vozidla

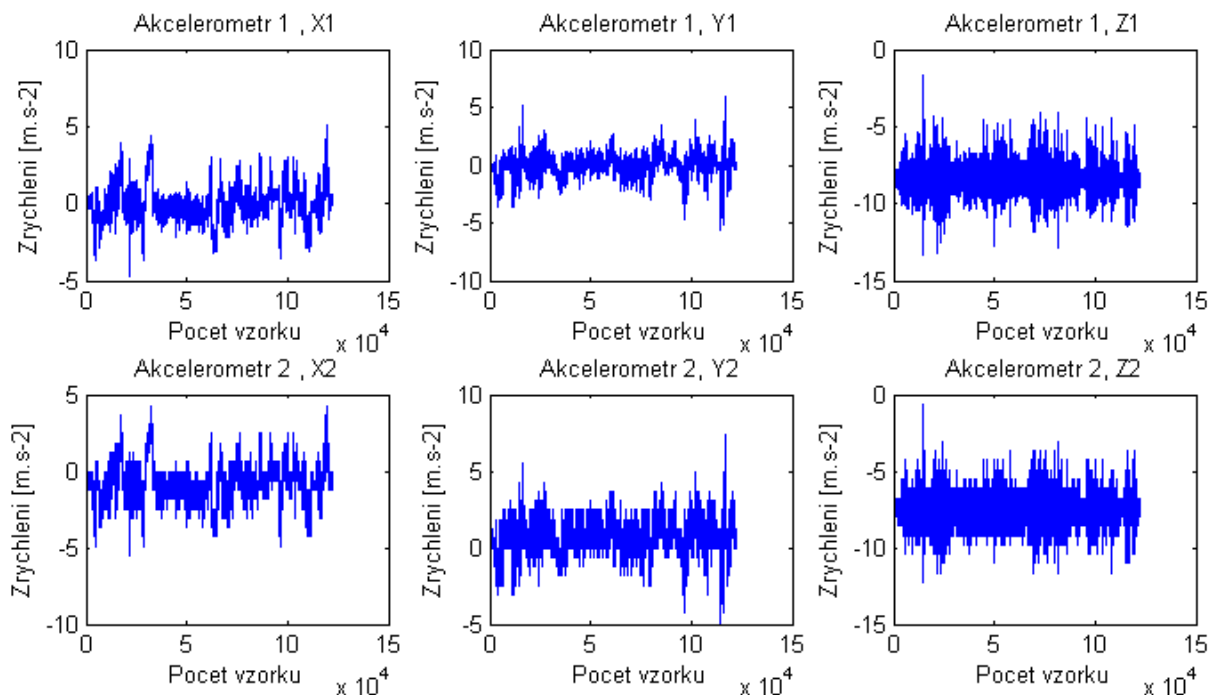


Obrázek 37 – Trasa testovaného měření

Testování a měření probíhalo 7.3.2013 v Pardubicích, v městské části Polabiny za normálního provozu a pěkného počasí. Začátek testovací trasy byl v Kříčkově ulici, dále na rychlostní ulici směr Přelouč, poté sjezdem z rychlostní silnice na kruhový objezd, návrat na rychlostní silnici a stejnou cestu zpět do místa startu. Tento úsek byl vybrán záměrně, aby se otestovalo co nejvíce dynamických vlastností vozidla při jeho pohybu. V tomto úseku bylo schválně projeto několik výmolů, děr, provedeno prudké odbočení, rychlé brzdění, velká rychlá akcelerace a konstantní rychlost vozidla.

Citlivost akcelerometrů byla nastavena záměrně na 2g a 8g pro budoucí porovnání obou průběhů. Oba akcelerometry měly nastavenou obnovovací frekvenci na 400Hz.

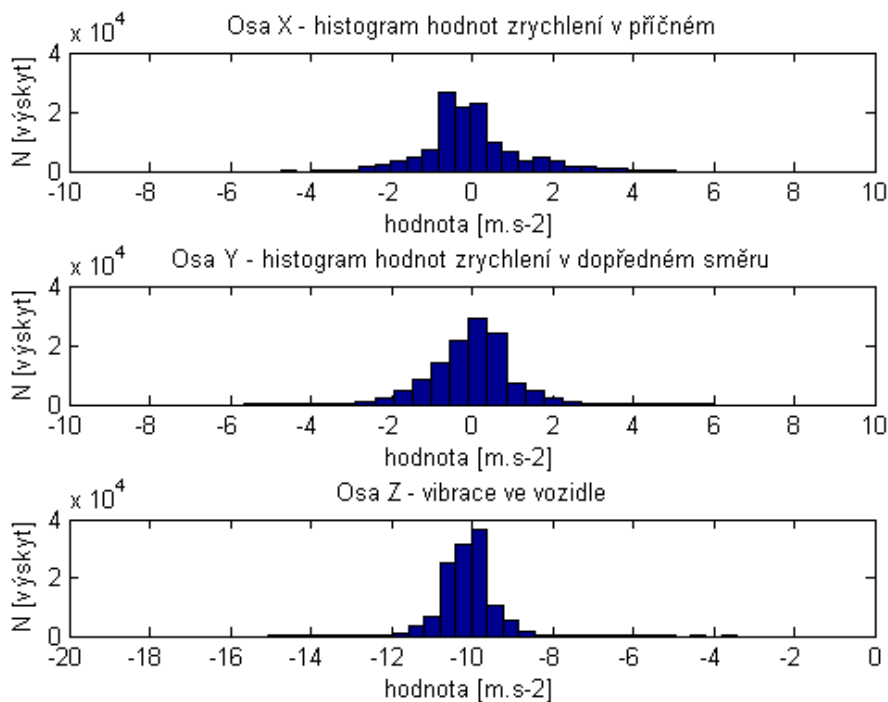
Veškeré další zpracování dat probíhalo off-line za pomoci počítače. Všechny výpočty jsou realizovány v prostředí MATLAB.



**Obrázek 38 – Záznam dat z prostředí Matlab**

Z tohoto konkrétního záznamu na obr. 38 vyplývají následující závěry užitečné pro návrh finální monitorovací jednotky a také pro zpracování signálu v reálném čase přímo na jednotce. Jsou zde zobrazeny dva akcelerometry a jejich jednotlivé osy pod sebou pro lepší porovnání. Nejprve je nutno říci, že osa X byla v příčném směru tedy zatáčení doleva a doprava, dále osa Y zobrazuje směr pohybu podélného (dopředu, dozadu), tedy brzdění a zrychlování. Poslední osa Z zobrazuje otřesy ve vozidle (osa Z by měla být přesně na hodnotě  $-10 \text{ m.s}^{-2}$ , avšak není v důsledku nesprávné montáže ve vozidle). Už při prvním pohledu je patrný značný šum v datech. Porovnáme-li kterékoli osy vzájemně, pak vidíme, že druhý akcelerometr je mnohem více zatížen šumem a je to způsobeno právě tím, že je nastaven na jinou citlivost (8g), tuto citlivost bychom ale mohli potřebovat právě v extrémních případech, kterých však vozidlo při běžném provozu za normální jízdy nedosáhne. Rozdíly v datech však téměř nejsou a z toho lze usuzovat, že u obou akcelerometrů můžeme dosahovat stejných výsledků. Nutno dodat, že toto zobrazení je velmi strohé a nejsou zde vidět větší detaily, ty však budou rozebrány dále.

Z klasické statistické analýzy zrychlení ve všech osách pohybu můžeme získat informace o dosahovaných zrychleních a limitních hodnotách zrychlení při pohybu vozidla. Nejlepší představu umožňují tzv. histogramy, které zobrazují četnost výskytu zrychlení v počtu vzorků. Z histogramů na obrázku 39 vyplývá, že zrychlení v podélném směru (osa Y, včetně brzdění) nepřesahuje hodnotu  $\pm 5 \text{ m.s}^{-2}$ . V dalším příčném směru, tj. při změnách směru (osa X), dosahují hodnoty podobné velikosti i v případech záměrně rychlých změn směru. V posledním případě vibrační dosahují hodnoty  $\pm 2 \text{ m.s}^{-2}$ , avšak v jistých případech je dosahováno i vyšších hodnot kolem  $\pm 10 \text{ m.s}^{-2}$ .



Obrázek 39 – Histogramy zrychlení vozidla

Z důvodu správného odhadu datového toku a intervalu snímání jednotlivých zrychlení je proveden v následujících odstavcích stručný rozbor zrychlení při akceleraci, brzdění, změně směru, nouzového stavu při nárazu a vibracích.

### Zrychlení při akceleraci automobilu – podélné zrychlení

Sportovní vozidla dosahují při akceleraci zrychlení až  $1g$ , tuto hodnotu však není nutno brát v úvahu. Pro naše účely bude postačovat zjištěná experimentální hodnota zrychlení  $0,6g$  ( $6 \text{ m.s}^{-2}$ ). Postačující rozlišovací schopnost k dostatečnému rozlišení hodnot např. po 100 milisekundách by měla být alespoň  $1 \text{ km/h/s}$  a to je  $0,27 \text{ m.s}^{-2}$ . Kratší doba sledování změny zrychlení není potřebná z důvodu reakce řidiče. Reakční doba řidiče byla popsána v předešlé kapitole 1.6, avšak pro připomenutí celková reakční doba řidiče bývá  $0,47$  až  $0,84 \text{ s}$  a za tuto dobu nevznikne výraznější změna rychlosti vozidla, a to nebereme v úvahu reakční dobu systému vozidla (pohon, řídicí jednotka), která by tuto dobu ještě prodloužila.

S těmito údaji lze odhadnout, jaké limitní parametry bude nutné použít pro sledování podélného zrychlení vozidla. Pro potřeby dosažení očekávaných přesností je potřeba ve vyhodnocovací jednotce zpracovávat stovky měřených hodnot zrychlení za sekundu, a to z důvodů rozlišovací schopnosti akcelerometrů, která je v požadovaném intervalu nízká. Data z akcelerometru bude nutné průměrovat v reálném čase, a tím vyfiltrovat nežádoucí šum.

Tabulka 9 – Požadavky na měření zrychlení

Rozlišovací schopnost	$0,27 \text{ m.s}^{-2}$
Interval výpočtu zrychlení	10x za sekundu
Interval hodnot zrychlení	$0,27$ až $6 \text{ m.s}^{-2}$

### **Zrychlení záporné při brzdění automobilu**

Doba reakce vozidla řízeného člověkem je při brzdění stejná jako u podélného zrychlení. Liší se pouze interval hodnot zrychlení, které je nutno sledovat. Dle zjištěných údajů nepřesahuje hodnota brzdění 1g ( $10 \text{ m.s}^{-2}$ ). Záporné zrychlení 1g by při brzdění odpovídalo době vozidla, kdy vozidlo zastaví za 2,7 sekundy z rychlosti 100 km/h.

**Tabulka 10 – Požadavky na měření zrychlení (brzdění)**

<b>Rozlišovací schopnost</b>	$0,27 \text{ m.s}^{-2}$
Interval výpočtu zrychlení	10x za sekundu
Interval hodnot zrychlení	0,27 až $10 \text{ m.s}^{-2}$

### **Příčné zrychlení automobilu**

Při zjišťování těchto hodnot v reálném provozu byly zjištěny hodnoty příčného zrychlení při běžných změnách směru a i při rychlém nouzové změně směru vozidla simulující možné vyhýbání překážce v provozu. Nejčtenější hodnoty, které se vyskytovaly, byly do maximální hodnoty 0,5g ( $5 \text{ m.s}^{-2}$ ). Pro dobré sledování změn ve směru bude vhodnější použití většího časového intervalu, který v sobě bude integrovat více změn provedených např. změnou směru v kruhovém objezdu. Změna směru vozidla o více než jednotky stupňů např. desetkrát za sekundu není ani v reálném provozu možná. Delší dobou integrace zrychlení příčného směru dokážeme odfiltrovat malé změny směru, které se mohou vyskytnout např. při vyhýbání výmolům nebo při neočekávaných situacích.

**Tabulka 11 – Požadavky na měření příčného zrychlení**

<b>Rozlišovací schopnost</b>	$0,27 \text{ m.s}^{-2}$
Interval výpočtu zrychlení	2 až 5x za sekundu
Interval hodnot zrychlení	0,27 až $10 \text{ m.s}^{-2}$

### Náraz automobilu (nouzový stav)

V našem případě je myšleno nouzovým stavem překročení zrychlení 2g (20 m.s<sup>-2</sup>), které je už myšleno jako náraz do překážky. Takový to stav by mohl v rámci bezpečnosti vyvolat např. nouzové volání operátora nebo některé záchranné složky.

Vyhodnocení těchto neobvyklých stavů, ke kterým by nemělo docházet je možné, a také se provádí pomocí akcelerometrů nebo s doplňkovými magnetickými čidly (magnetické senzory jsou finančně náročné, a tak nejsou tolik rozšířené) Tento nouzový stav automobilu je ovšem pro provoz nežádoucí a při běžném provozu k němu nemůže dojít.

### Vibrace

Všechna zrychlení způsobená provozem vozidla nepřesahují v obvyklých případech zrychlení 0,5g (5 m.s<sup>-2</sup>). Při vibracích byly ve vozidle zaznamenány hodnoty až 2g (20 m.s<sup>-2</sup>), jedná se ale o součet gravitace Země a vibrací. Mluvíme o hodnotě uvnitř vozidla, kde jsou již vibrace výrazně tlumeny kabinou, vozidla tlumiči apod. Vibrace nebude nutné sledovat s vysokou přesností, protože jde o rozlišení několika hodnot vystihujících řádově velikost nerovnosti vozovky. Dolní hranice zrychlení nyní bude vyšší než v předešlých případech, nyní bude postačovat 1m.s<sup>-2</sup>. Výpočet v jednotce z vibrací musí ale probíhat rychleji, aby byly zachyceny náhlé průjezdy přes nerovnosti.

Tabulka 12 – Požadavky na měření vibrací

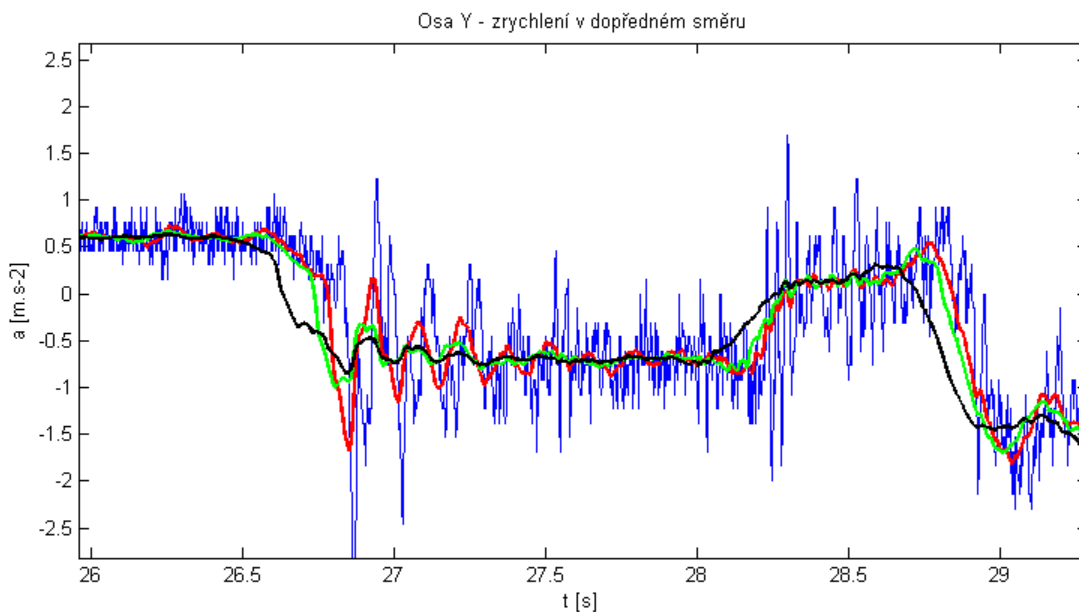
Rozlišovací schopnost	1 m.s <sup>-2</sup>
Interval výpočtu zrychlení	2 až 30x za sekundu
Interval hodnot zrychlení	1 až 20 m.s <sup>-2</sup>

#### 3.2.1 Vyhodnocení zrychlení, směru a vibrací

Sledování pohybu vozidla nemá za úkol umožnit plnou navigaci vozidla po pozemních komunikacích pomocí této jednotky, ale jde o vyhodnocování stavů, které vyžadují lepší rozlišovací schopnost systému, které umožní lepší sledování plynulosti dopravy, stavu vozovky nebo chování řidiče. Avšak tyto údaje lze využít pro účely zlepšení a upřesnění navigace vozidel.

Intervaly výpočtu zrychlení udávají, jak často se hodnota zrychlení mění v závislosti na reakcích člověka. K určení těchto intervalů je však potřeba měřit hodnoty zrychlení v řádech stovek hodnot za vteřinu. Měřené hodnoty dosahují velkého rozptylu  $\pm 3$  až  $\pm 4$  m.s<sup>-2</sup> i v intervalu desítek milisekund, a to i při jízdě stálou konstantní rychlostí. Hodnotu zrychlení bude tedy nutné filtrovat průměrováním mnoha hodnot za sebou, protože dle zkušeností zjištěných při práci s akcelerometry je patrné, že i při použití akcelerometrů s velmi dobrou přesností bude výstup kmitat s velkým rozptylem hodnot.

Na obrázku 40 je ukázka filtrace zrychlení tzv. klouzavým průměrem a původní záznam zrychlení akcelerometru v podélném směru. Průměrováno je 30, 50 a 100 hodnot zrychlení.



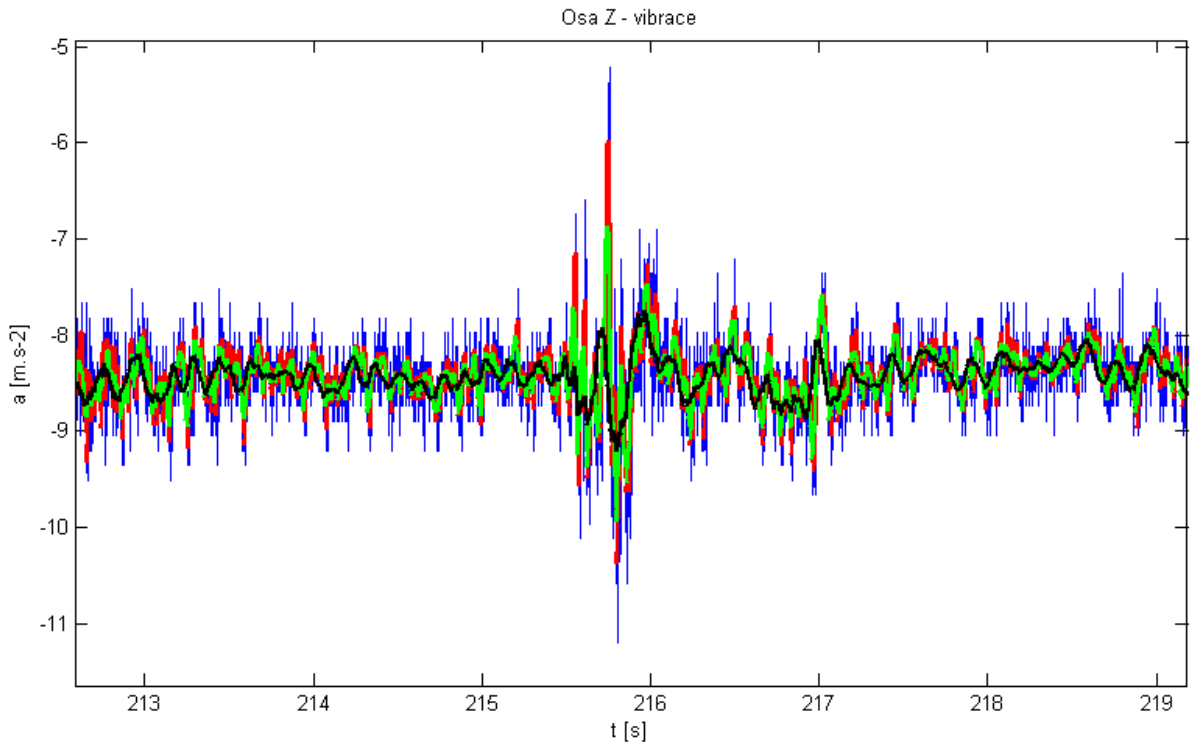
Obrázek 40 – Filtrace klouzavým průměrem

- Červená barva průměr 30 vzorků
- Zelená barva průměr 50 vzorků
- Černá barva průměr 100 vzorků

Z obrázku 40 je patrné, že jednotlivé průběhy mají určitá zpoždění, která jsou způsobená zvyšujícím se počtem vzorků v průměru. Z pohledu vyhodnocení informací jde ale o zanedbatelné zpoždění (max. 100 ms). Z grafu vyplývá, že pokud stále zvyšujeme počet vzorků v klouzavém průměru, pak dojde k nerozeznání významnějších změn např. mezi opakovaným zrychlením vozidla a poklesem maximálních hodnot o přibližně 30%. Tímto by pak byly naprosto zkresleny informace, které požadujeme např. pro vyhodnocení chování řidiče nebo určení kumulovaného zrychlení.

Z hlediska monitorování vibrací je potřeba sledovat hodnoty zrychlení přibližně o řád rychleji než u podélného zrychlení. Změny budou nastávat mnohem rychleji a klouzavý průměr s mnoha desítkami vzorků by nedokázal zachytit terénní nerovnosti. Jako vhodná velikost průměru se jeví klouzavý průměr s deseti vzorky, který alespoň částečně zmenší datový tok pro další zpracování. Na obrázku 41 je zobrazena ukázka využití klouzavého průměru pro vibrace ve vozidle. Jak je vidět i v tomto případě se neobejdeme bez průměrování, kdy se výstup akcelerometru jeví jako nepoužitelný, z důvodů oscilace výstupu v rozpětí  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .





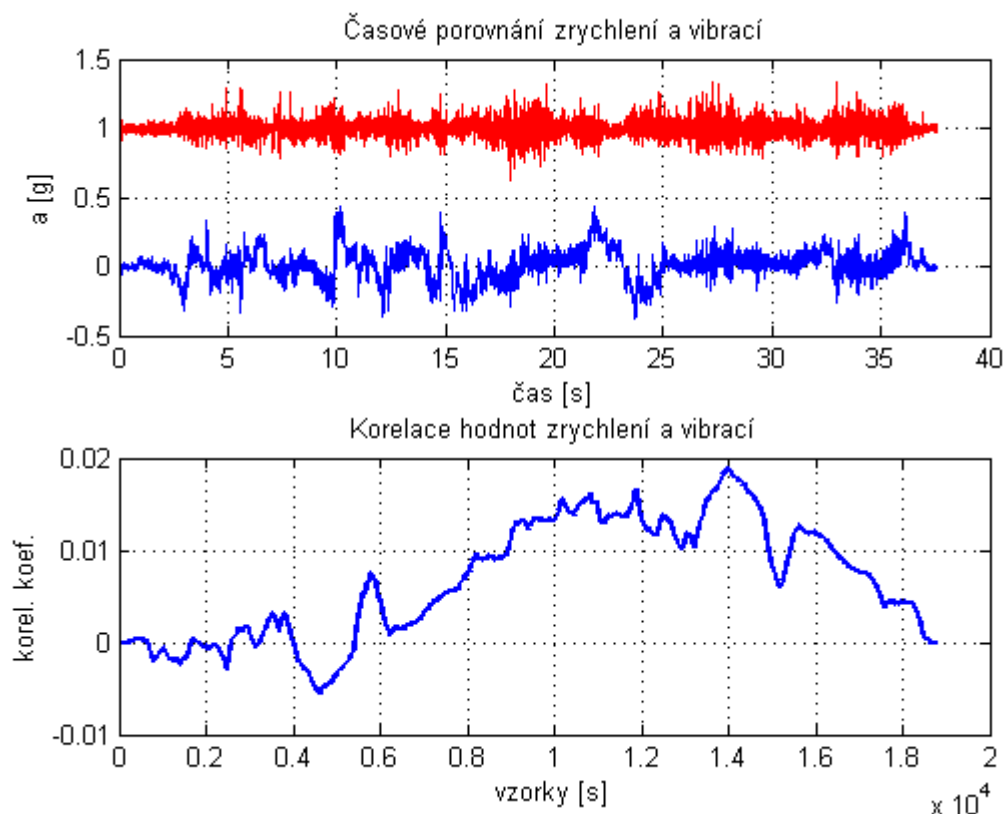
**Obrázek 41 – Filtrace vibrací klouzavým průměrem**

- Červená barva průměr 5 vzorků
- Zelená barva průměr 10 vzorků
- Černá barva průměr 30 vzorků

S počtem pěti vzorků dokážeme zachytit přetížení až do limitního nastavení akcelerometru, při testování až 2g.

### 3.2.2 Vibrace vozidla a korelace se skutečnou hodnotou zrychlení

Pro fundované využití měřených hodnot zrychlení je nutné provést analýzu zaměřenou na možnost ovlivnění podélného a příčného zrychlení vibracemi vozidla. Pro dokázání vztahu mezi zrychlením a vibracemi vozidla byla provedena korelace mezi experimentálně získanými průběhy, které byly naměřeny testovací jízdou ve městě Pardubice. Korelační koeficienty dosahovaly hodnot maximálně v úrovni 0,02 a neprokázaly tak významnou spojitost mezi měřenými průběhy zrychlení a vibrací a to i při testování dlouhých záznamů v délkách minut. Ukázka porovnání průběhů je zobrazena na obrázku 42. Spojitost mezi zrychleními se neprojevila ani na filtrovaných záznamech.



Obrázek 42 – Korelace mezi záznamy zrychlení (modrá) a vibrací (červená)

**Shrnutí doporučení pro monitorovací jednotku:**

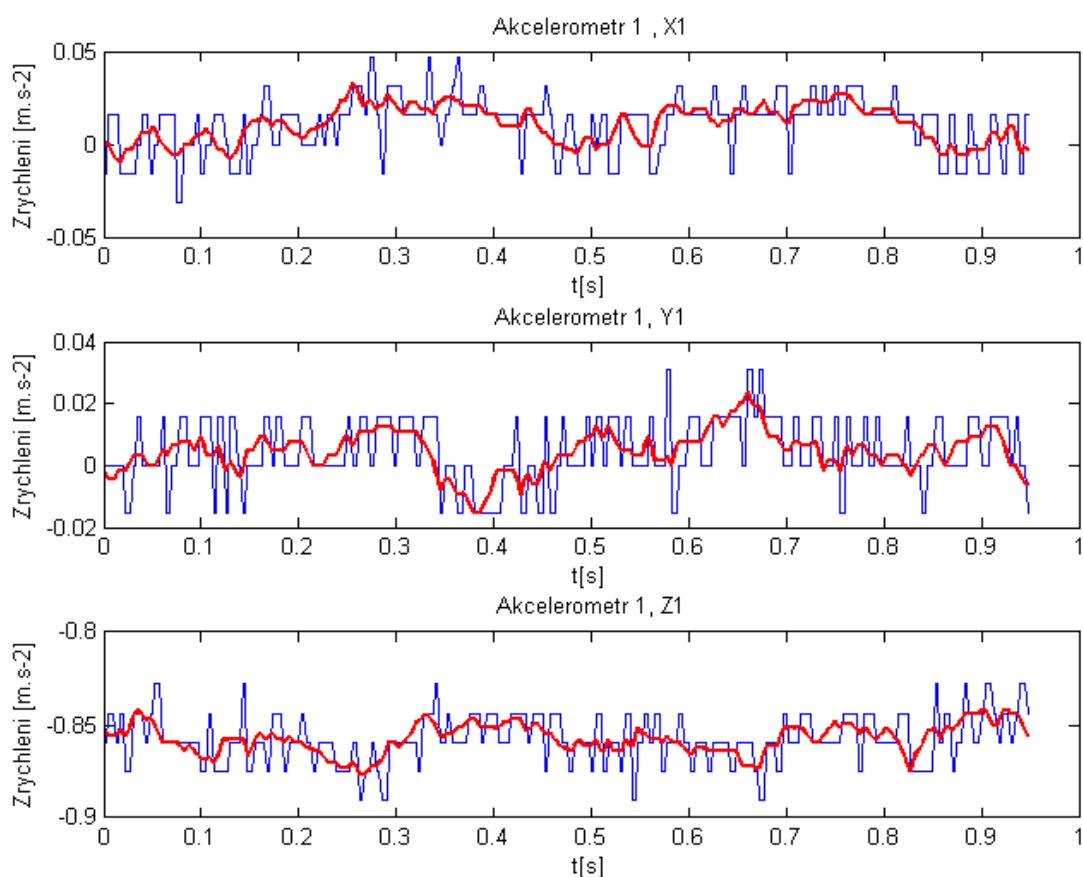
- Pro vyhodnocení limitních stavů v podélném a příčném zrychlení postačuje zaznamenávat jen překročení určité úrovně zrychlení a dostačující je i průměrování 50 vzorků.
- Datový tok na výstupu subsystému pro monitoring zrychlení by tak mohl být řádově ve stovkách bitů za sekundu
  - datový tok bude závislý na nárocích na požadované informace
- Nároky na HW pro zpracování signálu (přímo v jednotce měření zrychlení) budou:
  - monitoring 3 zrychlení
  - opakovací frekvence hodnot zrychlení na vstupu až ve stovkách hodnot za sekundu
  - rozlišení hodnot zrychlení je 8 bitů, z toho 5 bitů efektivních
  - výpočet tří klouzavých průměrů a sledování překročení limitního stavu
  - výpočet kumulovaných zrychlení pro podélný pohyb a změnu směru
  - ukládání výstupních dat do paměťového úložiště



### 3.2.3 Hranice šumu a efektivní rozsah zrychlení

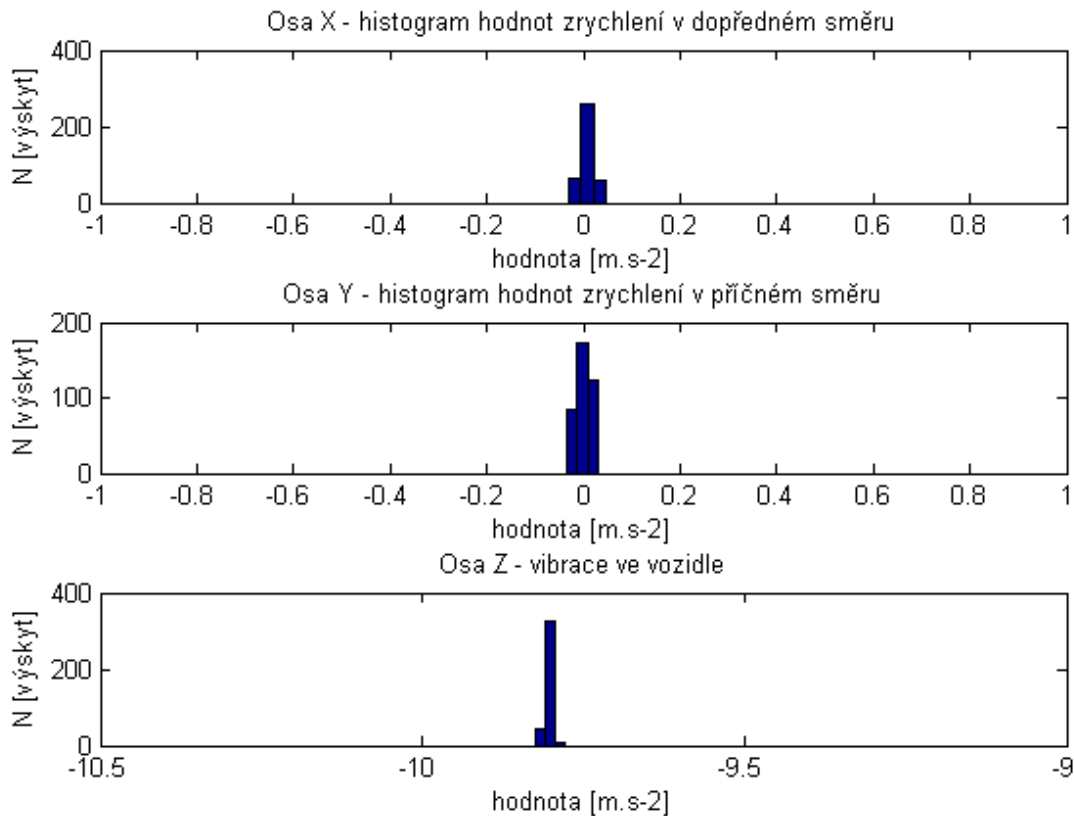
V testování je použitý již zmíněný akcelerometr LIS302DL. Tento typ akcelerometru splňuje požadavky na přesnost určení zrychlení i opakovací periodu měření zrychlení ve všech třech osách. Dle katalogového listu výrobce je vhodný na všechny aplikace, které vyžaduje systém pro dopravu (detekce změn pohybu a měření vibrací). Důležité požadavky jsou například teplotní odolnost nebo možnost poškození nadměrným přetížením.

Před vlastním použitím algoritmů na akcelerometru (filtrací, vyhodnocování limitních a dalších stavů atd.) je nutné určit interval hodnot šumu v klidové poloze akcelerometru. Tento šum je také jedním z důvodů použití filtrace. Právě v klidovém stavu dochází k trvalému kmitání nejnižších hodnot měřených zrychlení (především na prvním a druhém bitu. Nejnižšími hodnotami jsou myšleny poslední bity v bitovém rozlišení 8bitů. Průběh kmitání je ukázán na obrázku 43.



Obrázek 43 – Šum akcelerometru v klidovém stavu

Na Obrázku 43 je patrné, že šum je na všech třech osách. Dokazují to také histogramy zrychlení v klidovém stavu uvedené na obrázku 44. Nutno brát v úvahu, že akcelerometr nebyl zcela vyvážen (u takhle malé součástky je to obtížné), a proto se také v osách objevuje různé rozpoložení v okolí nulového zrychlení nebo v okolí gravitace  $9.81 \text{ m.s}^{-2}$ .



**Obrázek 44 – Histogram vibrací akcelerometru v klidovém stavu**

Klasický senzor má stabilně dané osmibitové rozlišení na svém výstupu, možnost nastavení rychlosti snímání sledovaných hodnot a rozsahu. V případě sestavení tabulky měřených hodnot je vidět, že rozlišení v oblasti požadovaných hodnot není postačující a je potřeba měřené hodnoty upravit použitím vhodného algoritmu, a to již zmíněnou filtrací. Bez filtrace nelze dosáhnout požadované přesnosti rozlišení právě v těch úrovních, které potřebujeme pro vyhodnocení pohybu vozidla.

Výhody použití filtrace:

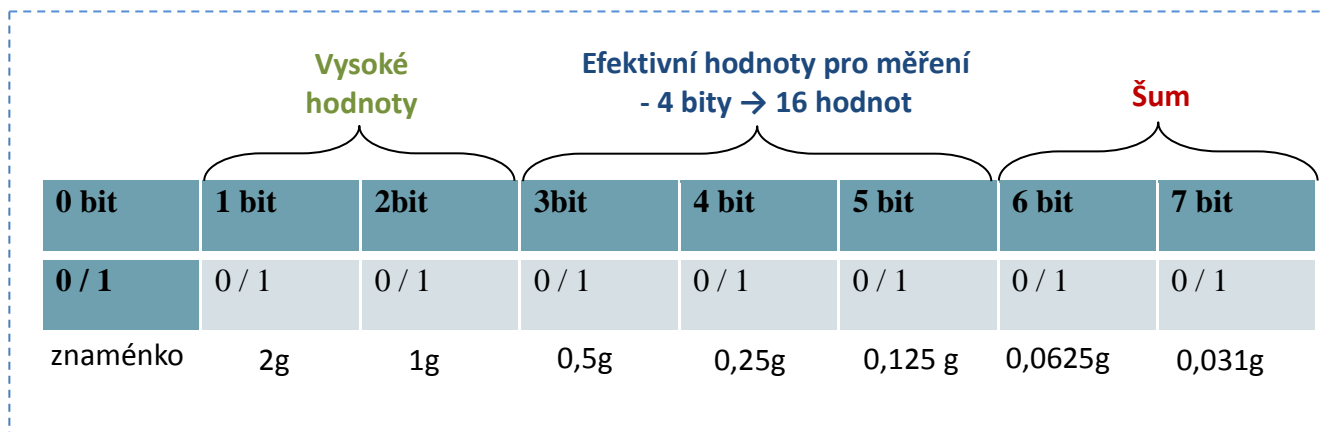
- Odstraníme šum, který je vytvářen v klidovém stavu vozidla (i při pohybu)
- Dosáhneme výrazně lepší přesnosti při určování příčného i podélného zrychlení
- Odstraníme náhodné překmity (špičky) hodnot zrychlení.

## Rozložení šumu a efektivních hodnot zrychlení

Celkový rozsah:  $\pm 2g$

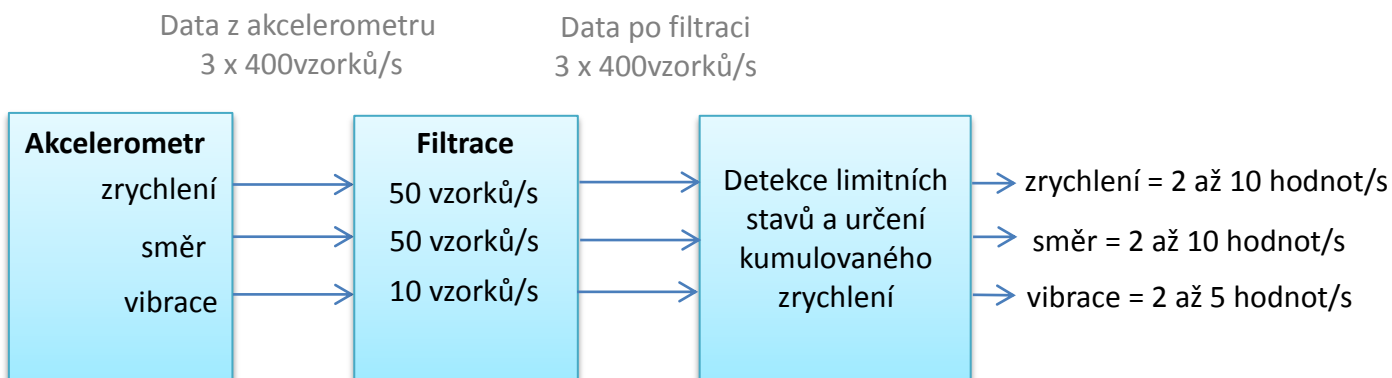
Rozsah: 8 bitů

Rozsah pro měření g: 7 bitů  $\rightarrow$  128 hodnot



Odstranění šumu a tím i zvýšení přesnosti je již zmíněné průměrování více hodnot za dostatečně dlouhou dobu. Z předešlé experimentální analýzy a využití vědomostí o reakčních dobách člověka lze usoudit, že časový interval pro průměrování bude přibližně 50 ms, pro vibrace max. 10 ms.

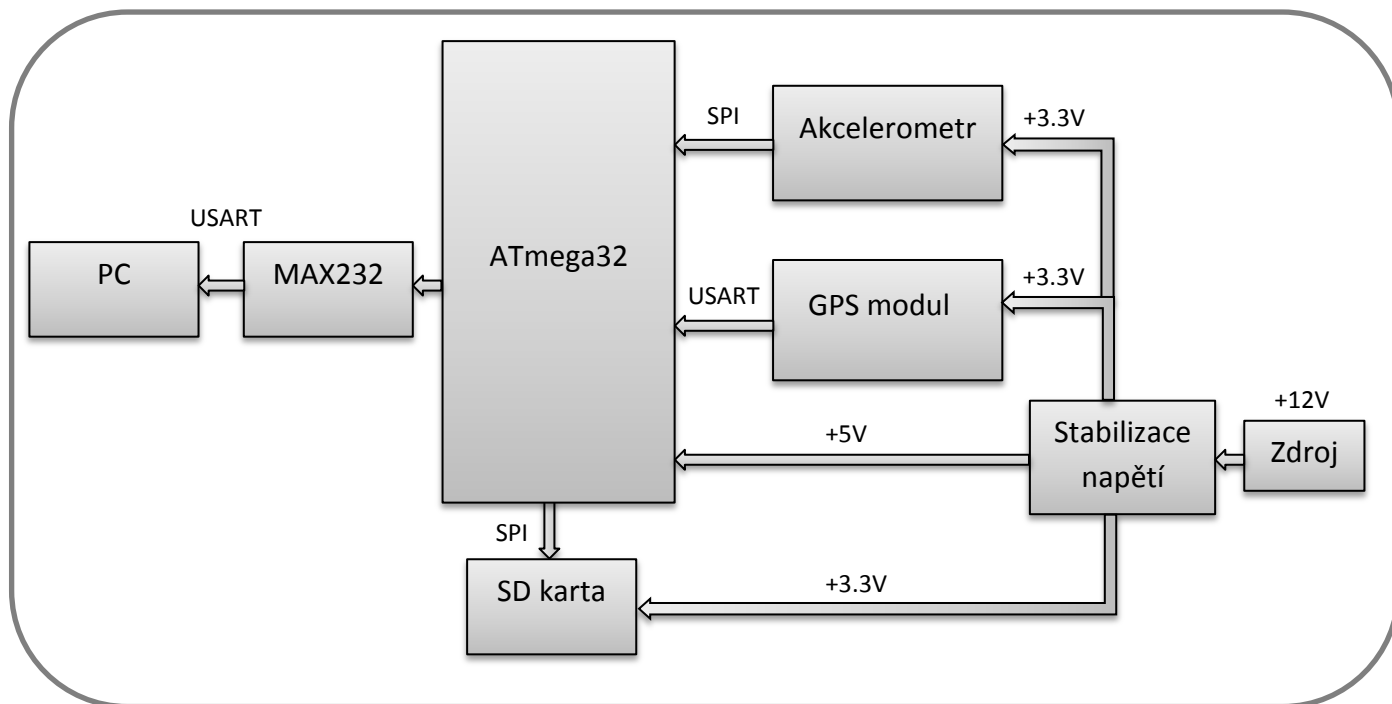
Z předchozí analýzy lze také určit způsob zpracování signálu z akcelerometru a algoritmus vyhodnocení zrychlení:



Velikost datového toku bude závislá na požadavcích uživatele a na době, po kterou se bude záznam z jízdy ukládat. Z důvodů omezení velikosti datového toku budou ukládány pouze změny hodnot po dosažení některého z limitních stavů. Limitní stavy budou určeny experimentálně dle naměřených průběhů během jízdy automobilu.

## 4 Praktická realizace zařízení

V tomto posledním bloku bude popsán návrh celého zařízení, algoritmus výpočtové části a zhodnoceny výsledky funkčnosti a měření.



Obrázek 45 – Blokové schéma navržené jednotky

Jako zdroj napájení je využita automobilová síť, ale může být zvolen i jakýkoliv jiný stejnosměrný zdroj napájecího napětí do maximálního napětí +35V. Napětí je dále stabilizováno na +5V, které využívá mikroprocesor ATmega32 od firmy ATMEL a dále na +3.3V pro akcelerometr, SD kartu a GPS modul.

Komunikace mezi akcelerometrem, pamětí a mikroprocesorem probíhá pomocí SPI rozhraní. Komunikace mezi GPS modulem a mikroprocesorem je realizována po klasické sériové lince USART.

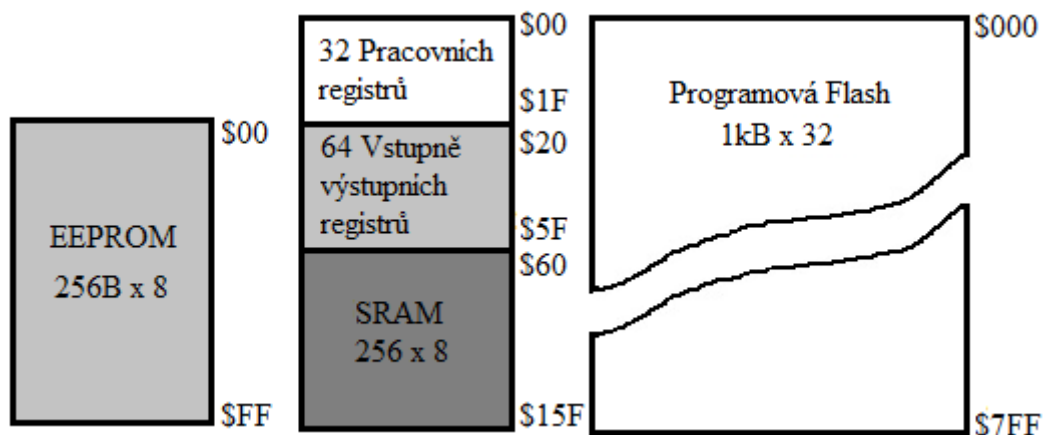
Po zpracování a vyhodnocení informací z akcelerometru a GPS modulu jsou informace o kumulovaném zrychlení, směru jízdy, vibracích, času a poloze uloženy buď do počítače s vhodným spuštěným terminálem, nebo uloženy do textového souboru na SD kartu (záleží na konkrétním požadavku uživatele).

## 4.1 Mikroprocesor

Je to část obvodu, která je mozkiem celé jednotky. Pro tuto práci jsem zvolil mikroprocesor ATmega32, se kterým jsem měl již předchozí zkušenosti. Na mikroprocesor byla kladena kritéria podpory komunikace přes SPI, sériovou linku a hlavně kritéria dostatečně veliké FLASH paměti (paměť pro programovou část) a také dostatečně veliké datové paměti. Dále také rychlost výpočetních operací musí být dostatečná, a to z důvodů průměrování, ukládání, sběru dat atd.

### 4.1.1 ATmega32

Jedná se o typický mikroprocesor z rodiny AVR. Poskytuje vysoce flexibilní a nízko nákladové řešení mnoha vestavěných řídicích aplikací. Využívá harvardské technologie RISC, což znamená, že má zvlášť paměť programu a zvlášť paměť pro data. Jednotlivé datové segmenty jsou tvořeny paměti typu FLASH, RAM, E2PROM. Pracuje v režimu piperine, tzn. během vykonávání jedné instrukce je další instrukce přesouvána z paměti programu.



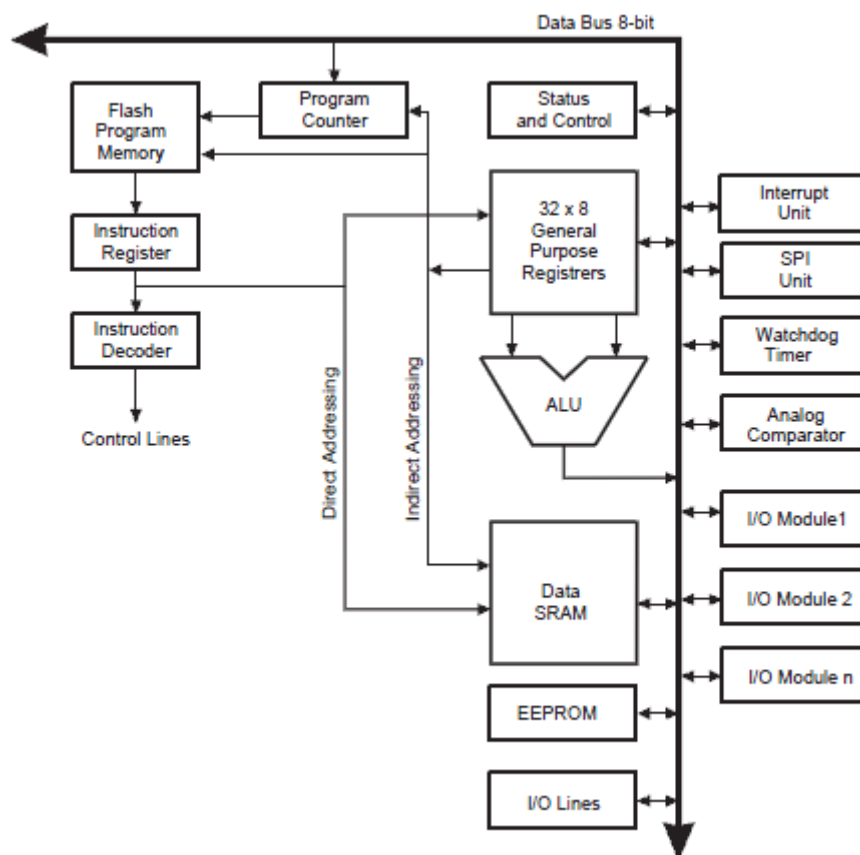
Obrázek 46 – Vnitřní struktura paměti ATmega32

Mikroprocesor ATmega32 je vybaven jednoduchým 8bitovým čítačem/časovačem. K dispozici je také další 8bitový asynchronní čítač/časovač (jeho hodinový kmitočet není odvozen od kmitočtu jádra, ale z „hodinkového“ krystalu 32,768 kHz). Nejdokonalejší je 16bitový čítač/časovač (režimy Output Compare, Input Capture, PWM a další). [16]

Dále je vybaven obvodem WDT (hlídač správného běhu programu) a analogovým komparátorem. Také je k dispozici zabudovaný synchronní a asynchronní sériový kanál USART a 10bitový A/D převodník (3 funkční režimy: 8 kanálů SE, 7 diferenčních kanálů, 2 diferenční kanály s volitelným ziskem 1x, 10x a 200x). SPI kanál a TWI rozhraní zajišťuje komunikaci s periferními obvody buď ve stylu sběrnice Microware, nebo I2C. Rozhraní SPI se také využívá pro programování mikroprocesorů. [18]

Zajímavostí je zabudovaný kalibrovaný RC oscilátor. V případě jeho použití není třeba připojovat krystal nebo vnější zdroj hodinového signálu. Relativní odchylka

generovaného kmitočtu je při napájecím napětí 5V a teplotě 25°C pouze  $\pm 1\%$ . Pomocí zabudované děličky lze vybrat kmitočty 1, 2, 4 nebo 8 MHz. JTAG rozhraní zajišťuje především podporu pro ladění aplikace přímo na čipu (nemusíme používat speciální emulační čipy). [16]



Obrázek 47 – Architektura ATmega32 [17]

Některé parametry ATmega13 dle katalogového listu:

- Instrukční soubor, který obsahuje 131 instrukcí
- 32 registrů délky 8 bitů
- Čtyři osmibitové vstupně/výstupní porty
- Hodinový kmitočet 0 až 16 MHz
- Paměť programu je tvořena FLASH pamětí, kapacita je 32 kB, počet přeprogramování je 10000 cyklů
- Datová paměť EEPROM kapacity 1024 B, počet přeprogramování je 100 000 cyklů
- Datová paměť SRAM kapacity 2 kB
- USART, SPI, TWI, podpora I2C

#### 4.1.2 Sériová linka

RS-232 sériový port nebo sériová linka se původně začala používat pro telekomunikační účely. Celkově se rozšířila až s příchodem osobních počítačů. V dnešní době nahradila tuto linku technologie USB, avšak RS-232 je stále využívána v řadě průmyslových odvětví.

Výhody sériové linky jsou spolehlivost a snadná dostupnost. Nevýhody mála odolnost vůči rušení a nízká přenosová rychlost. Proti rušení se využívá vyššího napětí než standardního 5V. Signály přenášené RS-232 jsou definovány standardem a obsahují 20 přenosových a řídicích signálů s nejvíce využívaným avšak nepřesně specifikovaným konektorem CAN9.

Přenos informace je asynchronní, to znamená, že data jsou vysílána v určitých sekvencích přesně danou rychlostí a uvozena startovací frekvencí, na kterou se synchronizují všechna přijímací zařízení. Všichni účastníci mají přesný oscilátor, díky kterému se odečítají data v přesných intervalech a stejnou nastavenou rychlost přenosu dat, která je v jednotkách Baud (1Bd = 1Bit/s), rychlost se volí v rozsahu od 110 do 921600Bd.

Odeslaná informace se skládá ze start bitu, který definuje začátek rámce, pak 8 datových bitů seřazených od nejnižšího LSB po nejvyšší MSB, pak paritní bit, který nemusíme využívat a poslední stop bit, který oznamuje ukončení rámce a zajišťuje určitou prodlevu pro zpracování dat.

Pro tuto práci bylo také využito obvodu MAX232, který bylo nutné použít s ohledem na přenos dat mezi mikroprocesorem a počítačem s využitím pinů Rxd, Txd a GND. Výstup počítače, jak je psáno výše, využívá vyššího napětí pro přenos z důvodů rušení a tak toto napětí musí být upraveno (sníženo) pro TTL logiku nebo naopak zpětně (zvýšeno) z úrovně TTL do počítače. MAX232 zastává funkci „nábojové pumpy“, která právě upravuje rozsah tohoto napětí. [18]

#### **Nastavení registrů**

Inicializace na nastavení registrů sériové linky musí proběhnout ještě před samotným přenosem dat. Nastavení těchto registrů u ATmega16 se provádí pomocí UCSRA, UCSRB, UCSRC a UBRR registrů. Nejprve musíme nastavit rychlost komunikace pomocí UBRR registru, zvolil jsem rychlost 9600kb, kvůli komunikaci s GPS modulem, který je nastaven právě na tuto rychlost. Pro nastavení přenosu dat využijeme UCSRB a UCSRC registry.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	UCSRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 48 – Registr UCSRB

V tomto registru jsou všechny potřebné funkce již nastaveny, zde nastavíme bit č. 3 (TXEN) a č. 4 (RXEN) pro povolení odesílání a přijímání dat. Pro posílání dat po sériové lince stačí data zapsat do registru UBR a kontrolovat příznak UDRE, abychom nepřepsali neodvysílaný obsah registru.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	UCSRC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	0	0	0	0	1	1	0	

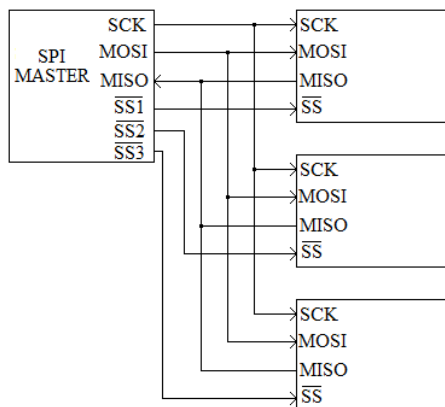
Obrázek 49 – Registr UCSRC

Zde nastavíme pouze registry č. 1 (UCZ0) a č. 2(UCZ1) pro osmibitovou informaci a registr č. 7 URSEL.

Atmega32 obsahuje vnitřní oscilátor až do hodnoty 16 MHz, který by mohl být využit, avšak v důsledku využití tohoto vnitřního krystalu vzniká chyba komunikace v řádech jednotek % a tak byl vybrán externí krystal o frekvenci 18,4320 MHz. Při této frekvenci je chyba přenosu 0,00% a rychlost přenosu dat 9600 kbit/s.

#### 4.1.3 SPI rozhraní

SPI rozhraní, neboli sériové periferní rozhraní se využívá především pro komunikaci mezi mikroprocesory a dalšími zařízeními (A/D převodníky, senzory, displeje, paměti atd.). Komunikace je tvořena pomocí společné sběrnice. Obvod (Slave), se kterým chceme řídicím obvodem (Master) navázat komunikaci (příjem/vysílání) se volí pomocí pinů označených CS nebo SS, které musí být v logické nule. Další významné piny jsou označeny MOSI, MISO a SCK. Na následujícím obrázku je příklad jednoho řídicího obvodu a třech podřízených obvodů (Obrázek 50). [18]



Obrázek 50 – SPI rozhraní



Pro začátek komunikace nastaví Master log. 0 na pin SS/CS, se kterým chce komunikovat. Dále vygeneruje hodinový signál SCK, se kterým vyšlou obě zařízení svoje data. Princip je takový, že při příjmu dat musíme také něco vysílat. Při komunikaci MOSI je Master výstup a Slave vstup, MISO naopak Master vstup a Slave výstup. Takto se komunikace opakuje stále, dokud chceme vysílat nebo se komunikace ukončí nastavením log. 1 na SS/CS. Pokud komunikujeme s dalším obvodem, nastavíme log. 0 na další obvod s pinem SS/CS. Délka vyslaných dat se může být buď osmibitová, nebo šestnáctibitová. [18]

### Nastavení registrů

Stejně jako u sériové linky nejprve inicializujeme rozhraní SPI. Inicializace SPI se provede pomocí registrů SPCR a SPSR.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>SPIE</b>	<b>SPE</b>	<b>DORD</b>	<b>MSTR</b>	<b>CPOL</b>	<b>CPHA</b>	<b>SPR1</b>	<b>SPR0</b>	<b>SPCR</b>
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Obrázek 51 – Registr SPCR**

Zde nastavíme registr č. 7 (SPIE), tím povolíme SPI komunikaci, dále bit č. 4 (MSTR), kterým nastavíme mikroprocesor na Master. Poté nastavíme rychlost komunikace pomocí bitů č. 1 (SPR1) a č. 0 (SPR0). Rychlost komunikace bude probíhat dle výpočtu frekvence procesoru/4, tedy  $18432000/4 = 4,608\text{MHz}$ .

**Tabulka 13 – Nastavení rychlosti SPI**

SPI2X	SPR1	SPR0	Frekvence SCK
0	0	0	$f_{osc}/4$
0	0	1	$f_{osc}/16$
0	1	0	$f_{osc}/64$
0	1	1	$f_{osc}/128$
1	0	0	$f_{osc}/2$
1	0	1	$f_{osc}/8$
1	1	0	$f_{osc}/32$
1	1	1	$f_{osc}/64$

## 4.2 Akcelerometr

Akcelerometr LIS302DL od firmy STMicroelectronics má jednu nespornou výhodu, a to digitální komunikaci přes SPI nebo I2C rozhraní. Dnes je digitální výstup standardem téměř u každého akcelerometru, odpadá tak využití externího AD převodníku.

Tento akcelerometr má další výhodu proti jiným akcelerometrům, a to tzv. WHO\_I\_AM registr (0Fh), který má pevně nastavenou výstupní hodnotu dle které si můžete zkontrolovat, že akcelerometr je napájen správně a že pracuje správně.

Následně je nutné povolit výstup zrychlení pro každou osu zvlášť. Tato povolení se provádí v registru CTRL\_REG1 (20h).

DR	PD	FS	STP	STM	Zen	Yen	Xen
DR	Data rate selection. Default value: 0 (0: 100 Hz output data rate; 1: 400 Hz output data rate)						
PD	Power Down Control. Default value: 0 (0: power down mode; 1: active mode)						
FS	Full Scale selection. Default value: 0 (refer to table 2 for typical full scale value)						
STP, STM	Self Test Enable. Default value: 0 (0: normal mode; 1: self test P, M enabled)						
Zen	Z axis enable. Default value: 1 (0: Z axis disabled; 1: Z axis enabled)						
Yen	Y axis enable. Default value: 1 (0: Y axis disabled; 1: Y axis enabled)						
Xen	X axis enable. Default value: 1 (0: X axis disabled; 1: X axis enabled)						

Obrázek 52 – Nastavení akcelerometru [19]

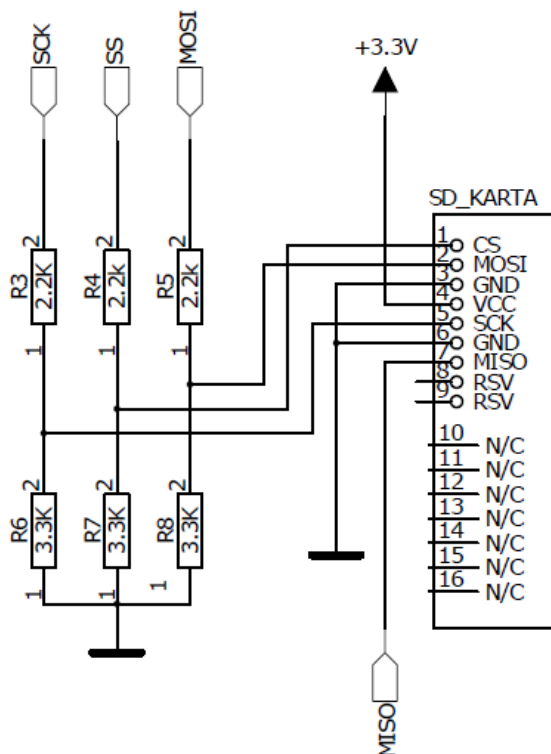
V tomto registru máme možnost nastavení výstupní frekvence dat pomocí bitů DR a PD (možnost nastavení je mezi 100Hz a 400Hz). Z důvodů rychlejšího a přesnějšího zpracování dat je nastavena frekvenci 400Hz.

Nakonec je potřeba provést nastavení rozsahu akcelerometru, které lze volit ze dvou režimů 2g a 8g. Nastavení se provádí pomocí bitu FS, který je zvolen na rozsah 2g. S ohledem na použití akcelerometru ve výpočetní jednotce je 2g dostačující.

Akcelerometr má spoustu dalších možností, jako jsou například vyvolání přerušení při určitých událostech, detekci volného pádu apod. Tyto vlastnosti však nejsou pro aplikaci v automobilu potřebné.

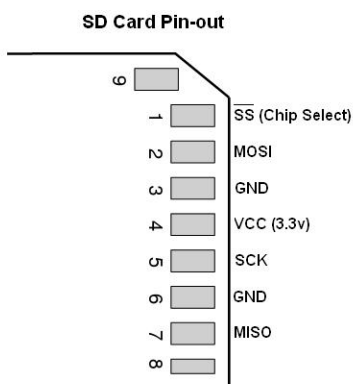
### 4.3 SD karta

SD karta se v dnešní době využívá v mnoha systémech a zařízeních, které vyžadují větší úložný prostor v řádu gigabajtů. V embedded (vestavných) zařízeních jí většinou využíváme, když potřebujeme paměť větší, než je vlastní paměť dat mikroprocesoru.



Obrázek 53 – Zapojení SD karty

Při použití SD karty je nutnost použití souborového systému. Nejčastějšími souborovými systémy pro práci s SD kartou jsou systémy FAT. Já jsem využil systémový soubor FATFs pro malé embedded systémy vhodný pro procesory 8051, AVR, PIC, ARM od japonského autora ChaN, dostupný na adrese <http://elm-chan.org/>.



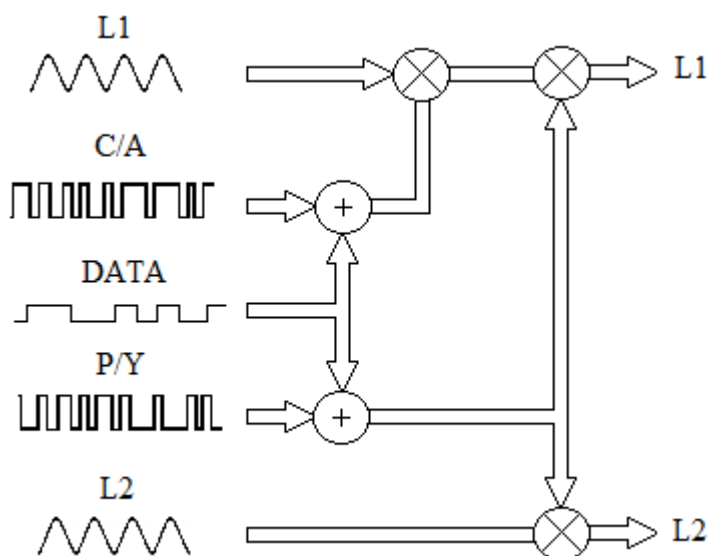
Obrázek 54 – Zapojení pinů SD karty [20]



Obrázek 55 – SD karta

## 4.4 GPS

GPS systém je v dnešní době hojně využíván, a to z pravidla v oblasti navigace jak pro vojenskou, tak i pro civilní dopravu. Kosmickou část tvoří družice, které obíhají kolem planety Země ve výšce cca 20 000 km. V pozemním sektoru využíváme GPS přijímače, které pouze přijímají signál. Pro přenos navigačních a dalších signálů je rezervováno 5 kmitočetů, přičemž družice vysílají především na dvou, a to prvním  $L_1 = 1575,42$  MHz a druhém  $L_2 = 1227,60$  MHz. Celý signál je pak modulován kódovou posloupností, dle které dokáže rozlišit jednotlivé družice. První  $L_1$  je využíván s kódem C/A (Coarse Acquisition) a je dostupný pro civilní využívání systému. Druhý  $L_2$  kanál je zakódován pomocí P/Y kódu, který je šifrován a provozovatel systému může omezit využívání výhradně pro vojenské účely. Každá družice vysílá zároveň oba signály. Vznik vyslaného signálu je popsán následujícím obrázkem (Obrázek 56). [18]



Obrázek 56 – Signál GPS

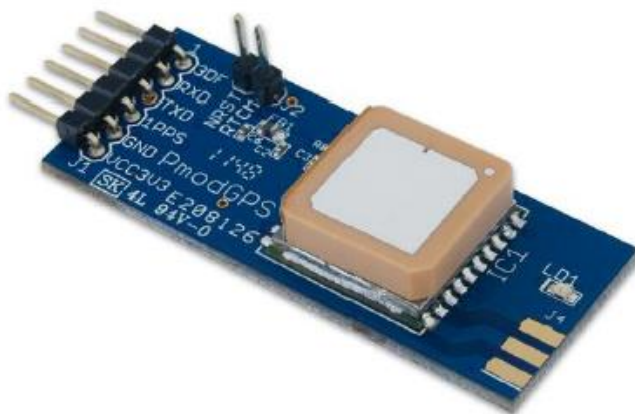
Z obrázku je patrné, jak je signál vytvořen, nejprve se přičte datový signál k C/A a P/Y kódu a poté se vynásobí s nosnou vlnou. Takto vzniklý signál je vyslán družicí směrem k Zemi.

Každá družice vysílá také spoustu dalších informací, např. tzv. efemeridu, což je přesné vyjádření polohy kosmického tělesa pro určitý čas. Dále almanach, což je informace o ostatních družicích, koeficienty ionosférického modelu apod.

Všechny tyto informace si přijímač uloží do paměti, co nejčastěji je aktualizuje, přijaté signály se porovnávají pomocí korelace. Díky synchronizaci obou signálů pak přijímač dokáže spočítat dobu přijetí signálu od družice. [18]

#### 4.4.1 GPS modul MT3329

Pro jednotlivé záznamy zrychlení, které budou odesílány do PC nebo ukládány na SD kartu, je nutné ukládat informaci o čase a jako doplňkovou informaci také informaci o poloze. K tomuto účelu byl vybrán GPS modul MT3329 od firmy MediaTek.



Obrázek 57 – Modul GPS MT3329 [21]

Tento modul má výhodu umístění malé knoflíkové baterie na spodní části, která zajišťuje uchování informace o čase i bez napájecího napětí. Další výhodou je připojení externí antény a samočinné vypnutí interní antény po jejím připojení. Modul má opět spoustu vlastností, které ani nebudou využity. Modul komunikuje po standardní sériové lince USART s možností nastavení rychlosti komunikace od 4.8 kBd do 115.2kBd. Modul ihned po připojení napájecího napětí vysílá každou vteřinu nastavenou sérii dat.

Vlastnosti modulu:

- Integrovaná keramická GPS anténa
- Standardní USART rozhraní
- Vstupní napětí 3.3V – 3.6V
- Možná až 10Hz obnova informace (standardně 1Hz)
- Přesnost 3m
- Nízká spotřeba 24mA při sledování a 30mA při zachycování signálu.
- Vysoká sensitivita -165dBm
- Možnost pohybu rychlostí až  $515\text{m/s}^{-1}$  v nadmořské výšce až 18 tisíc metrů

#### 4.4.2 Protokol NMEA

Používaný protokol je komunikační standard od asociace NMEA, kde spolu navzájem komunikuje jeden mluvčí a jeden nebo více posluchačů. Data jsou posílána ve formě vět ve formě ASCII znaků. Každá z vět začíná znakem \$ a končí formulací <CR><LF>.

Existuje mnoho vět, které je možné GPS přijímačem přijímat, nejpoužívanějšími jsou například: GPRMC, GPGGA, GGSV, GPGSA atd.

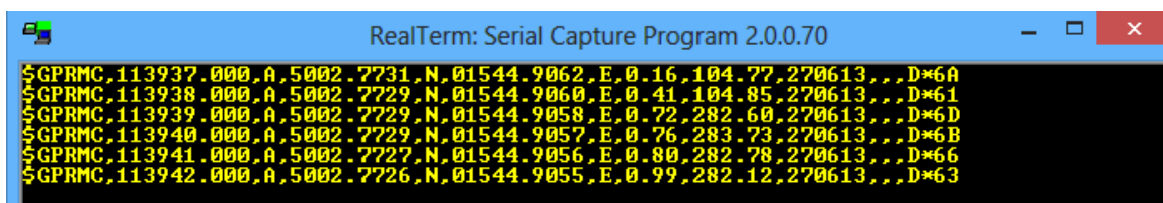
**GPRMC** – Doporučené minimální informace pro navigaci

\$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W\*6A

Tabulka 14 – věta GPRMC

Formát	Příklad	komentář
hhmmss	123519	Čas (UTC)
c	A	Stav (A=OK, V=varování)
ddmm.mmmm	4807.38	Zeměpisná délka
c	N	Indikátor sever/jih
ddmm.mmmm	01131.000	Zeměpisná délka
c	E	Indikátor východ/západ
d.d	022.4	Vodorovná rychlost
d.d	084.4	Kurz pohybu ve stupních
ddmmyy	230394	Datum
d.d	003.1	Magnetická deklinace ve stupních
c	W	Indikátor východ/západ
*xx	6A	Kontrolní součet

Pro naše účely je nastaveno pouze přijímání věty GPRMC, která obsahuje informaci o čase a aktuální poloze. Viz příklad z terminálu na obrázku 58.

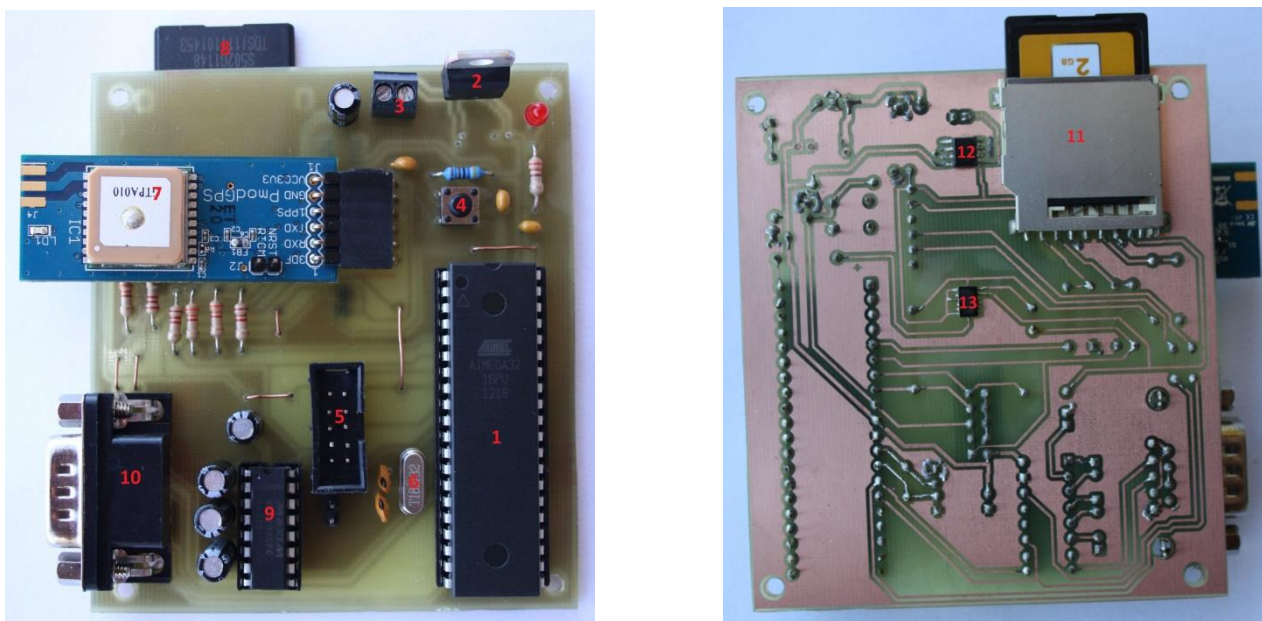


Obrázek 58 – Věta GPRMC zachycena terminálem

## 4.5 Realizace zařízení a plošného spoje

Návrh desky plošného spoje z hlediska rozměrů a velikosti by měl být v ideálním případě rozměrově co nejmenší (SMD součástky apod.), avšak s ohledem na prototyp a vývoj nebylo zařízení realizováno jako miniaturní. Velikost plošného spoje je 80 x 90mm. Deska byla navržena v prostředí PADS Logic, PADS Layout a PADS Router od firmy Mentor Graphics 2010, který je přímo navržen pro návrh a tvorbu plošných spojů. Většina součástek je tvořena THT technologií, pouze některé prvky jsou SMD (akcelerometr, stabilizátor napětí LE33 a slot pro SD kartu).

Obvod je navržen na jednovrstvém plošném spoji, kde všechny vodivé cesty jsou vedeny spodní straně desky kvůli již zmiňovaným SMD součástkám, na spodní straně je také rozlita zem jako polygon mědi. Plošný spoj, osazování a pájení akcelerometrů bylo realizováno v domácích podmínkách. Obrázky návrhu plošných spojů desky jsou uvedeny v příloze C.



Obrázek 59 – Navržená jednotka (vrchní a spodní část)

1 – mikroprocesor Atmega32, 2 – Stabilizátor 7805 (+5V), 3 – konektor pro připojení zdroje napětí (+12V), 4 – Tlačítko RESET, 5 – programovací konektor, 6 – externí krystal, 7 – GPS modul MT3329, 8 – SD karta, 9 – převodník MAX232, 10 – konektor pro sériovou linku RS232, 11 – slot pro SD kartu, 12 – Stabilizátor LE33 (+3V), 13 – akcelerometr LIS302DL.



## 4.6 Softwarová část zařízení

Programová část pro mikroprocesor byla vytvořena v jazyce C, který je vhodný a velmi využívaný pro embedded aplikace. Program byl napsán s využitím AVR Studia 4.0, které je možná trochu zastaralé, ale k tomuto účelu postačující, a je také zcela zdarma. Překlad programu do strojového kódu byl realizován GCC kompilátorem, který je součástí vývojového prostředí.

Program začíná vložением potřebných knihoven, definováním důležitých proměnných jako například frekvence procesoru, nastavení rychlosti sériové linky apod. Po definování proměnných program skočí do hlavní smyčky `main()`, kde nastane další definování proměnných a zavolání důležitých inicializačních funkcí programu, jako je např. inicializace SPI, inicializace sériové linky, povolení přerušení, inicializace časovače atd.

Ještě před vstupem do nekonečné smyčky `for(;;)` se zavolá kalibrace akcelerometru (samotná kalibrace bude popsána dále) a poté následuje vstup programu do nekonečné smyčky `for(;;)`, která nikdy nebude ukončena. V nekonečné smyčce `for(;;)` se nejprve načtou hodnoty z akcelerometru, odečte se kalibrační hodnota a následuje průměrování. Po vykonání průměrování skočí program do funkce `ZpracujData()`, kde jsou předány aktuální prvky pole se zprůměrovanými hodnotami akcelerometru a jsou připraveny pro další zpracování. Ve funkci `ZpracujData()`, opět nejprve proběhne deklarace proměnných, poté se zkontroluje podmínka pro časovač a výpočet kumulovaného zrychlení (bude popsáno dále). Dále program pokračuje vyhodnocením limitních stavů nejprve vibrací a poté příčného zrychlení (zatočení), pokud je jedna z těchto podmínek vyhodnocena kladně, začne výpočet maximální hodnoty daného překmitu zrychlení. Po ukončení tohoto výpočtu se načte aktuální čas a aktuální poloha s GPS modulu, dále proběhne zavolání funkce `PrevodG()`, která provede převod aktuální hodnoty vibrací, zatočení i kumulovaného zrychlení na jednotky zrychlení g. Po převodu program uloží aktuální hodnoty výše zmíněných operací buď na SD kartu, nebo je pošle přes sériovou linku do PC. Po tomto procesu se vyhodnotí druhá podmínka pro zatočení a provede se duplicitně stejným způsobem. Celý tento program běží stále dokola, dokud nedojde k vypnutí napájení. Program je uložen ve dvou hlavních c. souborech, kde v prvním je samotný program a ve druhém s názvem funkce. c jsou uloženy některé z vykonávajících funkcí programu.

### 4.6.1 Čítač/Časovač

Čítač a časovač jsou velmi využívané prostředky pro časování některých operací při pracování s mikroprocesory ATmega. Zde je časovač využito právě pro účely výpočtu kumulovaného zrychlení. Požadavek byl, aby se absolutní hodnota podélného zrychlení ukládala do paměti mikroprocesoru každých 10 vteřin. Pro tyto účely se jeví časovač jako velmi vhodný. Ukázka části kódu časovače:



```

ISR(TIMER1_OVF_vect)
{
    // 10sec
    // ovf = 18432000/1024/65536 = 0.2746/sec
    // ovfCount = 10 * 0.2746 = 2.746
    // T = 2.746 / (18432000/1024/65536) = 9.998 sec

    static unsigned int count = 0;

    if(++count > 2)
    {
        count = 0;
        timeElapsed = TRUE;
    }
}

```

Zdrojový kód 1 – Časovač

#### 4.6.2 Kalibrace akcelerometru

Některé z akcelerometrů mají vlastní registry, do kterých lze uložit kalibrační hodnoty, které se za běhu programu nemění a lze je určit napevno při startu programu. Tento akcelerometr však takovou možnost nenabízí, proto jsem přistoupil k řešení kalibrace jiným způsobem. Za předpokladu, že je jednotka pevně umístěna ve vozidle a dál se již nehýbe, spustíme program, který pro jistotu ještě vyčká 2 vteřiny, a poté se zavolá funkce KalibraceAkcelerometru() nejprve nastaví akcelerometr (rozsah akcelerometru, frekvenci vysílání atd.) a poté načte klidové hodnoty, které uloží do příslušných proměnných. Tyto klidové kalibrační hodnoty se při každém načtení při následném běhu programu odečtou od aktuálních nových hodnot, které jsou načteny z akcelerometru. Tímto způsobem je zajištěno, že při každém měření budou hodnoty X=0, Y=0 a Z=1. Tento způsob však vyžaduje, aby byla jednotka pevně ukotvena a při jízdě se nehýbala. Ukázka části kódu KalibraceAkcelerometru():

```

int* KalibraceAkcelerometru() // kalibrace a nastaveni akcelerometru
{
    static int data[3];

    PORTA=0xFF;           // Nahozeni vseh pinu na portu A do 1
    DDRA = 0xFF;
    PORTA = 0xFE;         // vyber prvniho akcelerometru//
    SPI_Prenos(0x20);     //adresa $20 nastaveni
    SPI_Prenos(0b11000111); // nastaveni akcelerometru
    PORTA = 0xFF;
    data[0] = CtiDataZOsy(0b10101001);
    data[1] = CtiDataZOsy(0b10101011);
    data[2] = CtiDataZOsy(0b10101101);
    return &data[0];
}

int* kalibrace = KalibraceAkcelerometru();
for(int i = 0; i < PO CET_OS; i++)
{
    hodnota_kalibrace[i] = *(kalibrace + i);
}

for(;;)
{
    data[0] = CtiDataZOsy(OSA_X);
    data[1] = CtiDataZOsy(OSA_Y);
    data[2] = CtiDataZOsy(OSA_Z);

    data[0]-=hodnota_kalibrace[0] ;
    data[1]-=hodnota_kalibrace[1] ;
    data[2]-=hodnota_kalibrace[2] +65;
    ...
}

```

Zdrojový kód 2 – Kalibrace

#### 4.6.3 Funkce CtiDataZOSy()

Tato funkce není nikterak složitá má pouze za úkol načíst aktuální data z osy akcelerometru, avšak je nutné zmínit jednu malou úpravu, kterou je nutnou provést s daty před průměrováním. Pokud jsou data > 127, pak je nutné odečíst hodnotu 256. Pro čtení dat tato úprava nutná není, avšak při průměrování by způsoboval průchod přes nulu chybu. Celé to vyplývá z konstrukce akcelerometru a přiřazení dat hodnotám s rozsahem 0 až 255. Viz. Tabulka 15.

Tabulka 15 – Rozsah akcelerometru

8-bitový formát								<-127;128>	<0;255>	g
1	0	0	0	0	0	0	0	-128	128	-2
1	0	0	0	0	0	0	1	-127	129	-1,98425
1	0	0	0	0	0	1	0	-126	130	-1,9685
1	0	0	0	0	0	1	1	-125	131	-1,95276
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	1	1	1	1	1	1	0	-2	254	-0,0315
1	1	1	1	1	1	1	1	-1	255	-0,01575
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0,015748
0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0,031496
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0	1	1	1	1	1	0	0	124	124	1,952756
0	1	1	1	1	1	0	1	125	125	1,968504
0	1	1	1	1	1	1	0	126	126	1,984252
0	1	1	1	1	1	1	1	127	127	2

Při průměrování nastává problém průchodu nulou při formátu dat ve formátu s rozsahem <0;255>, proto je nutné data převést na sloupec s rozsahem <-127;128>.

Ukázka části kódu CtiDataZOSy():

```
int CtiDataZOSy(int osa) // Ctení dat z akcelerometru
{
    int data;
    PORTA = 0xFE;
    SPI_Prenos(osa);
    data = SPI_Prenos(0);
    PORTA = 0xFF;

    if (data > 127)
    {
        data = data - 256;
    }
    return data;
}
```

#### 4.6.4 Klouzavý průměr

Klouzavé průměrování je zde prováděno neustále ve hlavní smyčce for(;;). Nejprve jsou načteny hodnoty z akcelerometru, které jsou ukládány postupně do pole proměnných, a je vypočítán průměr. Poté co je counter větší než velikost tohoto pole je přidána nová hodnota zrychlení a vypočítán nový klouzavý průměr. Klouzavý průměr je vypočítáván dvojnásobně z důvodů potřeby rozdílných velikostí klouzavého průměru pro vibrace a zrychlení.

Ukázka kódu klouzavého průměru:

```
for(;;)
{
    data[0] = CtiDataZOsy(OSA_X);
    data[1] = CtiDataZOsy(OSA_Y);
    data[2] = CtiDataZOsy(OSA_Z);
    data[0]-=hodnota_kalibrace[0] ;
    data[1]-=hodnota_kalibrace[1] ;
    data[2]-=hodnota_kalibrace[2] +65;

    for(i=0;i<POCET_OS_ZRYCHLENI;i++)
    {
        soucet_zrychleni[i] += data[osy_zrychleni[i]];
        buffer_zrychleni[i][counter % N_ZRYCHLENI] = data[osy_zrychleni[i]];
    }
    for(i=0;i<POCET_OS_VIBRACE;i++)
    {
        soucet_vibrace[i] += data[osy_vibrace[i]];
        buffer_vibrace[i][counter % N_VIBRACE] = data[osy_vibrace[i]];
    }
    counter++;

    if(counter >= N_ZRYCHLENI)
    {
        for(i=0;i<POCET_OS_ZRYCHLENI;i++)
        {
            prumerovana_data[osy_zrychleni[i]]=soucet_zrychleni[i]/N_ZRYCHLENI;
            soucet_zrychleni[i] -= buffer_zrychleni[i][(counter) % N_ZRYCHLENI];
        }
    }
    if(counter >= N_VIBRACE)
    {
        for(i=0;i<POCET_OS_VIBRACE;i++)
        {
            prumerovana_data[osy_vibrace[i]] = soucet_vibrace[i]/N_VIBRACE;
            soucet_vibrace[i] -= buffer_vibrace[i][(counter) % N_VIBRACE];
        }
    }
    if(counter >= N_ZRYCHLENI)
    {
        ZpracujData(prumerovana_data);
    }
    if(counter == 2 * N_ZRYCHLENI) {
        counter = N_ZRYCHLENI;
    }
}
```

Zdrojový kód 4 – Klouzavý průměr

#### 4.6.5 Funkce PrevodG()

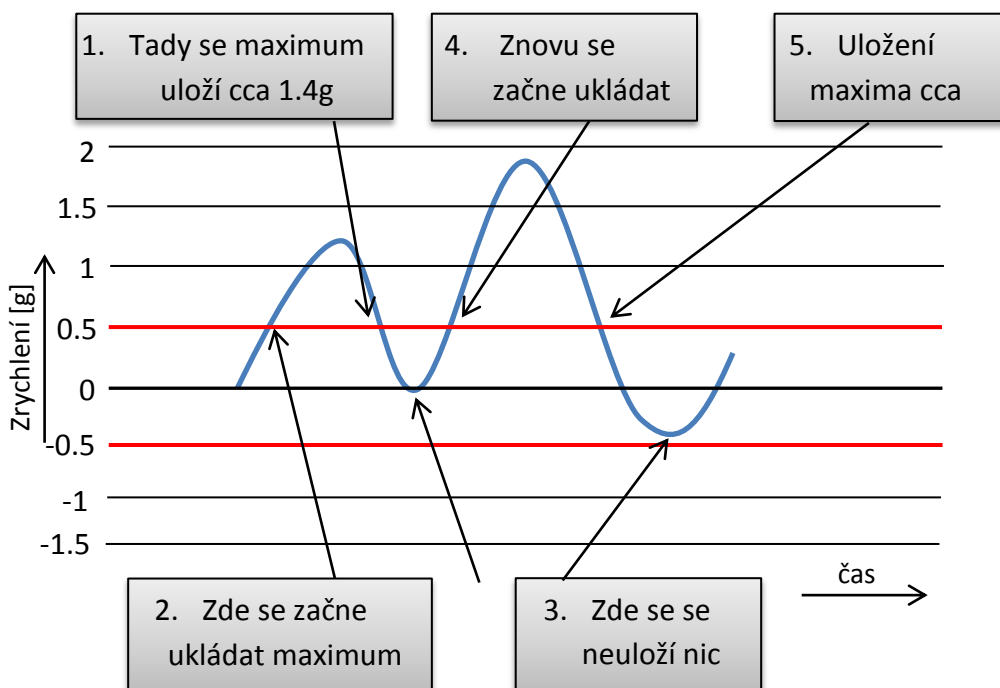
Funkce PrevodG() je nutná pro zapsání čísla z osmibitového vyjádření do vyjádření v jednotkách g.

```
double PrevodG(int pom, int nastaveni_akc) // prevod_g
{
    int znamenko;
    int c_x;
    double f_x;
    if((pom >> 7) == 1)
    {
        // prvni bit 1 = zaporne g
        znamenko = -1; // zachovani znamenka
        c_x = ~(pom-1); // prevod na kladne cislo
    }
    else
    {
        znamenko = 1; // kladne g
        c_x = pom;
    }
    f_x = (c_x/(double)(128/nastaveni_akc));
    return f_x;
}
```

Zdrojový kód 5 – Převod g

#### 4.6.6 Algoritmus určení maxima

Pro stanovení maxima po průchodu pevně danou úrovní, ke kterému dojde při zatočení nebo průjezdu nerovností, bylo potřeba vytvořit co nejjednodušší funkci, bez potřeby využití dynamické paměti, která by zvyšovala nároky, jak na hardwarovou část, tak na softwarovou část. Pro tyto účely byl vytvořen následující algoritmus (Obrázek 60).



Obrázek 60 – Postup ukládání maxima

Na konci toho průběhu ukládání jsou uloženy hodnoty 1.4g a 1.8g. Počet uložených hodnot ovlivníme stanovenou úrovní průchodu.

Ukázka programu hledání maxima:

```
if (data[0] > 14 || data[0] < -14) //mez 14 = 0.2204g zatoceni
{
    velkaZatacka = true;
    if (sy == 0 && data[0] > 14)
        sy = 1;
    else if (sy == 0 && data[0] < -14)
        sy = -1;
    if ((sy * data[0]) > (sy * velikostZatacky))
        velikostZatacky = data[0];
    } else {
    if (velkaZatacka == true)
    {
        //prevod g, nacteni casu GPS, ulozeni hodnot
    }
    velkaZatacka = false;
    sy = 0;
    velikostZatacky = 0;
}
```

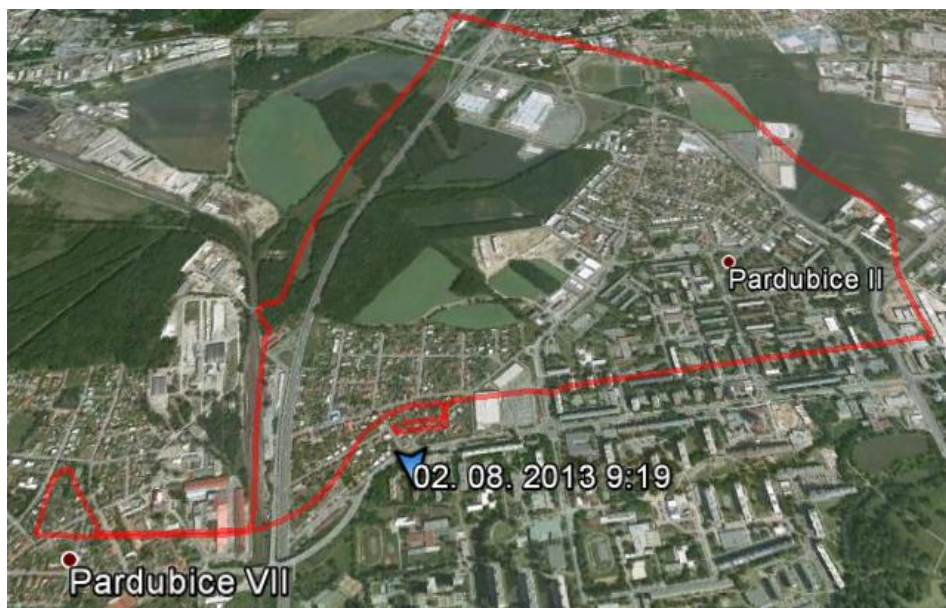
Zdrojový kód 6 – Algoritmus hledání maxima

#### 4.7 Měření a testování jednotky

Po oživení a uvedení jednotky do provozu byla nejprve provedena testovací měření. První z nich bylo ověření, zda odpovídají průměrované hodnoty realitě, tedy ověření funkčnosti průměrování. V klidovém stavu hodnoty odpovídali požadovaným hodnotám  $x=0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  (směr),  $y=0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  (zrychlení),  $z=-10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  (vibrace).

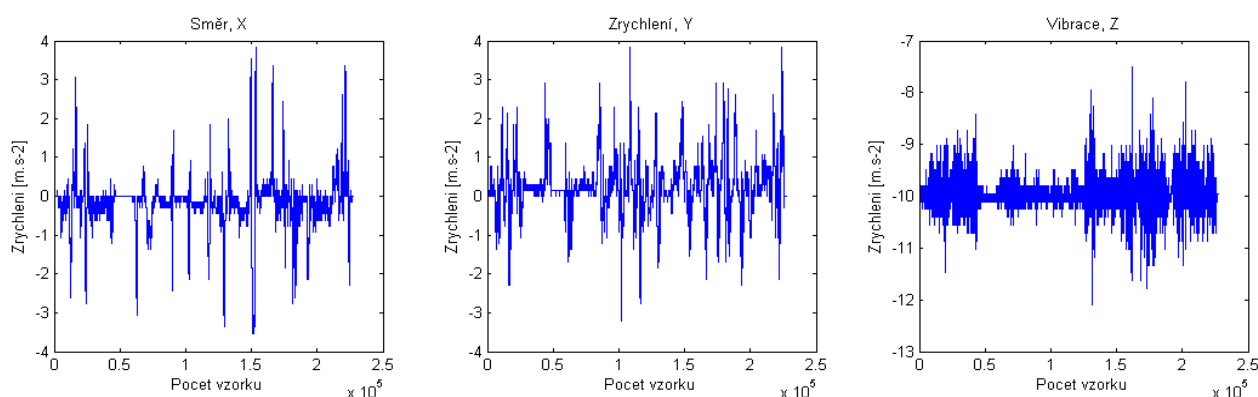
Následovalo provedení několika testovacích jízd a měření pro odhad a určení vyhodnocovacích úrovní.

Jedno z měření proběhlo v Pardubicích dne 2. 8. 2013, na trase dlouhé 7,48 km. Průběh jízdy byl souběžně zaznamenáván mobilním telefonem s GPS modulem pro budoucí porovnání. Trasa byla vybrána tak, aby zahrnovala rychlé i pomalé úseky a zároveň, aby obsahovala téměř nový povrch vozovky, tak i starší povrch s výmoly. Průběh jízdy odpovídal klasickému městskému provozu v letním počasí a při normálních povětrnostních. Ukázku trasy ukazuje obrázek 61 na následující stránce.



Obrázek 61 – Trasa průměrování

Hodnoty průměrování pro podélné a příčné zrychlení jsou zvoleny na 50 prvků. Pro vibrace bylo zvoleno 25 prvků. Tyto hodnoty jsou zvoleny dle předchozí analýzy (viz Kapitola 3) z naměřených dat testovací jednotkou. Je nutné zmínit, že hodnoty pro vibrace jsou lehce pozmeněny. Původně navrhované hodnoty průměrování 5 nebo 10 prvků se ukázaly jako velmi malé, kdy byly vibrace téměř stále zachycovány, vlivem mnoha malých otřesů. Průměrování 25 prvky pro vibrace se ukázalo jako dostačující. Průběh průměrovaných naměřených dat ukazuje obrázek 62.



Obrázek 62 – Ukázka průměrování 25 a 50 vzorky

Zde je vidět, že v příčném směru zrychlení nebyla překročena hranice zrychlení  $4 \text{ m.s}^{-2}$ . Dále v podélném směru ve stejném případě také nebyla překročena hranice  $4 \text{ m.s}^{-2}$  a v posledním případě vibrací, nepřekročila maximální dosažená hodnota zrychlení  $2.5 \text{ m.s}^{-2}$ . Tyto informace potvrzují předpoklady z předchozí analýzy.



Dále je patrné, že určení hranic pro příčné a podélné zrychlení lze realizovat snadněji než pro vibrace. Vibrace fluktuují v mnohem užším pásmu hodnot než předešlé dvě zrychlení. Návrh vyhodnocovacích úrovní pro vibrace bude tedy nutné provést dle konečných požadavků uživatele. Pokud budeme chtít zohledňovat pouze větší výmoly, můžeme si dovolit zvolit vyšší úrovně a tím i přesnější rozeznání větších výmolů. Pokud ale budeme chtít zohledňovat menší nerovnosti a otřesy, budou zvoleny úrovně nižší a v důsledku toho dostaneme více záznamů, které budou nepřehledné.

Po úspěšném otestování jednotky byly navrženy hranice vyhodnocovacích úrovní následovně: směr= <16;-16> odpovídá hodnotě  $\pm 2,5 \text{ m.s}^{-2}$ , zrychlení = načítání hodnoty vždy po 10 vteřinách, tedy žádná úroveň a vibrace = <79;-79> odpovídá hodnotě  $\pm 12,44 \text{ m.s}^{-2}$ . S takto nastavenými limity proběhlo další testovací měření.

Měření proběhlo dne 2. 8. 2013 opět ve městě Pardubice, tentokrát na kratším úseku (Obrázek 63), který je postačující pro vyzkoušení stanovených vyhodnocovacích úrovní.



Obrázek 63 – Trasa testovacího měření

Průběh této jízdy byl také zaznamenáván mobilním telefonem s GPS modulem pro budoucí porovnání výsledků. Záznam z testovací jednotky byl ukládán do klasického textového souboru s příponou \*.txt. Příklad výstupu z textového souboru je zobrazen na obrázku 64. Celý záznam je přiložen v příloze D.

```

capture79_16 – Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
vibrace cas:11:25:17 poloha:A,5002.7429,N,01544.883 vibrace=-1.265g zatoceni=-0.171g k_zrychleni=0.265g
vibrace cas:11:25:19 poloha:A,5002.7460,N,01544.896 vibrace=-1.250g zatoceni=-0.62g k_zrychleni=0.265g
vibrace cas:11:25:20 poloha:A,5002.7468,N,01544.903 vibrace=-1.281g zatoceni=-0.93g k_zrychleni=0.265g
vibrace cas:11:25:21 poloha:A,5002.7471,N,01544.911 vibrace=-1.265g zatoceni=0.0g k_zrychleni=0.265g
vibrace cas:11:25:22 poloha:A,5002.7469,N,01544.921 vibrace=-1.250g zatoceni=0.62g k_zrychleni=0.265g
vibrace cas:11:25:23 poloha:A,5002.7469,N,01544.930 vibrace=-1.250g zatoceni=-0.46g k_zrychleni=0.265g
vibrace cas:11:25:24 poloha:A,5002.7469,N,01544.939 vibrace=-1.250g zatoceni=-0.46g k_zrychleni=0.265g
zatoceni cas:11:25:27 poloha:A,5002.7472,N,01544.958 vibrace=-1.62g zatoceni=-0.296g k_zrychleni=0.265g
zatoceni cas:11:25:28 poloha:A,5002.7483,N,01544.961 vibrace=-1.15g zatoceni=-0.281g k_zrychleni=0.265g
zatoceni cas:11:25:29 poloha:A,5002.7498,N,01544.964 vibrace=-1.31g zatoceni=-0.359g k_zrychleni=0.265g
vibrace cas:11:25:30 poloha:A,5002.7510,N,01544.965 vibrace=-1.250g zatoceni=0.203g k_zrychleni=0.265g
zatoceni cas:11:25:31 poloha:A,5002.7528,N,01544.966 vibrace=-1.62g zatoceni=0.281g k_zrychleni=0.265g

```

Obrázek 64 – Záznam měření

Jeden řádek dat ve výstupním souboru odpovídá překročení stanovené vyhodnocovací úrovně, kde první slovo na řádce značí, o jakou událost se jednalo, zda o

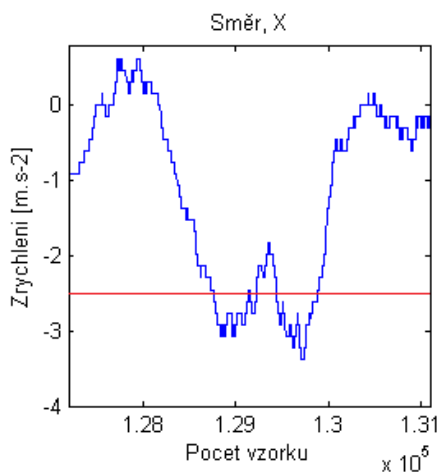
vibrace nebo změnu směru (zatočení). Dále následuje čas, poloha, vibrace, zatočení a hodnota kumulovaného zrychlení. Pokud hodnota překročila stanovenou mez například u vibrací, pak je uložena maximální dosažená hodnota vibrace + další aktuální hodnoty zatočení a kumulovaného zrychlení. Stejně uložení dat probíhá i po překročení úrovně pro změnu směru.

Na obrázku 65 lze porovnat uložený záznam z testovací jednotky se záznamem jízdy z mobilního telefonu.



Obrázek 65 – Záznam měření z GPS

Z porovnání je patrné, že ze začátku záznamu jsou zaznamenány vibrace, které byly způsobeny nerovností povrchu, a dále je zaznamenáno 3x zatočení ve stejném čase jako na záznamu z GPS. Záznam je uložen 3x z důvodu zvoleného algoritmu ukládání maximální hodnoty. Jak již bylo uvedeno, uložení hodnoty proběhne při překročení stanovené meze, avšak někdy se stane, že signál nepřekročí stanovenou mez jednou ale vícekrát (Obrázek 66).



Obrázek 66 – Vícečetné překročení stanovené meze směru  $-2,5 \text{ m.s}^{-2}$



V praxi se ukázalo, že při takto zvolených mezích dochází k častému ukládání hodnot vibrací, proto byla zvolená mez vibrací upravena na vibrace =  $\langle 82; -82 \rangle$  odpovídá hodnotě  $\pm 12,913 \text{ m.s}^{-2}$ .

S takto nastavenou úrovní byla opět provedena testovací jízda, kde se počet záznamů vibrací snížil a celý výstup se jevil jako lépe využitelný pro další vyhodnocování. Celý záznam a výstup z testovací jízdy je přiložen v příloze E.

## Závěr

V závěru práce bych chtěl uvést, že se podařilo navrhnout a sestrojít jednotku, která vyhodnocuje vybrané veličiny měřené při pohybu vozidla v reálném čase. K vyhodnocení pohybu vozidla jsem využil akcelerometru LIS302DL, který je umístěn přímo na zadní části navržené jednotky. Akcelerometr dostačuje jak svým rozsahem (2g, 8g), tak rychlostí odesílání dat, která je 400 Hz a komunikuje s mikroprocesorem Atmega32 pomocí SPI rozhraní.

Dále je k jednotce připojen GPS modul, ze kterého jsou získávány údaje o aktuálním přesném čase a poloze jednotky. GPS modul je napájen přímo ze stabilizátoru napětí, který napájí celou jednotku +5V, takže odpadá nutnost připojení dalšího zdroje napětí. GPS modul komunikuje s mikroprocesorem pomocí sériové linky (USART) rychlostí 9600 Bd, která je pro dané využití také dostačující. Data z GPS modulu (věta \$GPMRC) jsou přijímána vždy po jedné vteřině nezávisle na tom, zda informace v danou chvíli využíváme nebo nevyužíváme. Čtení času a polohy proběhne vždy společně s uložením požadovaných hodnot z akcelerometru.

Osazení tří akcelerometrů podle zadání mělo řešit měření podélného zrychlení a změny směru, měření vibrací mimo kabinu vozidla a zjištění nouzového stavu při nárazu. Po analýzách signálů však bylo zjištěno, že všechna měření jsou ve velké míře řešitelná jedním akcelerometrem. Toto řešení bylo současně potvrzeno potenciálním výrobcem zařízení a také provozovatelem většího vozového parku, kteří mají zájem o nejnižší cenu zařízení a snadnou montáž do vozidel.

Zařízení pracuje tak, že po pevném umístění jednotky do vozu zařízení spustíme a proběhne čekací smyčka, která trvá 2 vteřiny, poté jsou inicializovány všechny potřebné funkce pro komunikaci jednotky. Jednotka pokračuje kalibrací, která je nutná pro správné měření dat. Kalibrace proběhne tak, že jsou načteny klidové hodnoty všech tří os akcelerometru, které jsou pokaždé odečteny od aktuálních hodnot akcelerometru při pohybu vozidla. Dále jednotka pokračuje průměrováním hodnot. Pro osy X, Y (podélné a příčné zrychlení) je zvoleno průměrování 50 prvků a pro osu Z (vibrace) je zvoleno průměrování 25 prvků. Tyto hodnoty byly navrženy z počáteční analýzy a experimentálního měření. Počáteční načtení a průměrování hodnot trvá jednotce, která běží s mikroprocesorem o frekvenci 18,4320 MHz, přibližně 4ms (bez počátečních kalibračních 2s). Následně proběhne vyhodnocení limitních stavů, které jsou nastaveny uživatelem: výpočet kumulovaného zrychlení každých 10 vteřin, čtení času a polohy z GPS atd. Celý tento proces, kdy jednotka průměruje a vykonává předešlé úkony, trvá přibližně 200  $\mu$ s. Z tohoto času lze usuzovat, že jednotka zpracovává informace dostatečně rychle.

Jednotka vyhodnocuje a ukládá limitní stavy, které jsou potřebné pro zjišťování informací o průběhu jízdy řidiče, chování řidiče, plynulosti pohybu, stavu vozovky apod. Tyto údaje mohou být v praxi využitelné pro dopravní společnosti, které chtějí mít přehled o svých vozidlech a mohli by tak optimalizovat provoz. Jednotka by s úpravami mohla být

využitelná jako černá skříňka ve vozidle, která by upřesňovala statisticky významné faktory nehodovosti apod.

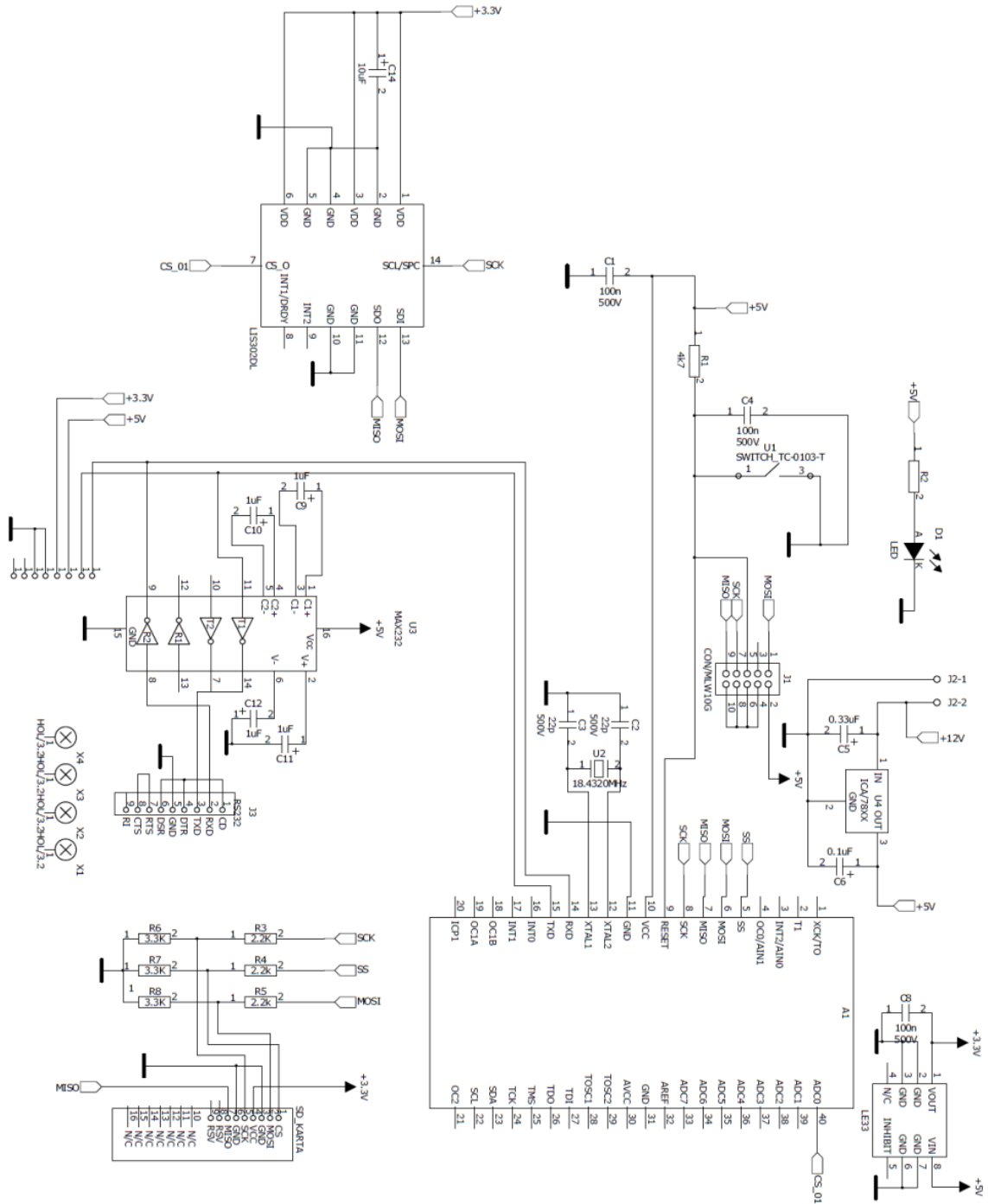
Tato jednotka byla navržena jako testovací vzorek. Vhodným vylepšením by tedy byla její minimalizace s využitím SMD součástek, vlastní baterií, MicroSD pamětí atd. Dále za použití vhodného zdrojového kódování a odesílání dat například přes GSM by bylo možné sledovat více zařízení v reálném čase a sledovat tak pohyb více vozidel zároveň.

## Literatura

- [1] **VLK, František., 2005:** *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel 2.vyd.* Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, str. 576. ISBN 80-239-3717-0
- [2] **VEMOLA, Aleš., 2006:** *Diagnostika automobilů I. 1.vyd.* Brno: Nakladatelství Littera, str. 128. ISBN 80-85763-31-1>.
- [3] *Corrsys-Datron Sensor system GmbH. Corrsys-Datron.* [Online] 17. březen 2013. [cit. 2013-03-17.] Dostupné z: <http://www.corrsys-datron.com/>
- [4] **BOSCH, R. 2003.** *Snímače v motorových vozidlech.* 1. vyd. Robert Bosch GmbH., 148 str. ISBN 80-903132-5-6.
- [5] Tíhové zrychlení. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/T%C3%ADhov%C3%A9\\_zrychlen%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/T%C3%ADhov%C3%A9_zrychlen%C3%AD).
- [6] **VLK, František., 2003:** *Dynamika motorových vozidel 2.vyd.* Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, str. 432. ISBN 80-239-3717-0
- [7] Autolexicon. [online]. [cit. 2013-03-22] Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/aerodynamika/>
- [8] Autolexicon. [online]. [cit. 2013-03-26] Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/brzdna-draha/>
- [9] BRADÁČ, A., KREJČÍŘ, P., LUKAŠÍK, L., OŠLEJŠEK, J., PLCH, J. Brno 1997: Soudní inženýrství. Akademické nakladatelství CERM
- [10] Omgpham.com: Aerodynamics of engine cooling [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://omgpham.com/aerodynamics-of-engine-cooling-part-1>
- [11] ElektriKa.cz: Vliv osvětlení na reakční dobu řidiče. [online]. [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: <http://elektriKa.cz/data/clanky/reakcni-doba-ridice>
- [12] **SMĚLÝ, M., 2008:** *Signalizační záchytné systémy*, VUT BRNO. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008\\_sekce/pdf/2\\_3/Smely\\_Martin\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/2_3/Smely_Martin_CL.pdf)
- [13] **VOJÁČEK, Antonín.** *Jak pracují nové 3D MEMS akcelerometry Freescale* [online]. 2007 [cit. 2013-04-18] Dostupný z WWW: <http://hw.cz/Produkty/Nove-soucastky/ART1875-Jak-pracuji-nove-3D-MEMS-akcelerometry-Freescale-.html>
- [14] **VOJÁČEK, Antonín.** *Principy akcelerometrů - 2. díl – Piezorezistivní* [online]. 2007 [cit. 2013-04-18]. Dostupný z: <<http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART306-principy-akcelerometru--2-dil--piezorezistivni.html>>.
- [15] **KADUBEC, Petr.** *Vliv teploty na snímače vibrací* [online]. Brno, 2008. 53 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. Dostupné z WWW:<[http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2008/BP\\_Kadubec.pdf](http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2008/BP_Kadubec.pdf)>.

- [16] **MATOUŠEK, D.** Práce s mikrokontroléry ATmega16. BEN: technická literatura, Praha **2006**. 317 stran. ISBN 80-7300-174-8.
- [17] **Atmel.** *Datasheet AVR ATmega32* [online]. 2013[cit. 2013-30-07] Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>
- [18] **VODĚREK, Daniel.** *Využití 3D akcelerometru pro sledování pohybu vozidla*. Pardubice, **2011**. Bakalářská. Univerzita Pardubice.
- [19] STMicroelectronics. *Datasheet LIS302DL*[online]. 2013[cit. 2013-07-30] Dostupný z WWW: [http://www.st.com/web/catalog/sense\\_power/FM89/SC444/PF152913](http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM89/SC444/PF152913)
- [20] Radiolocman. [online]. [cit. **2013-07-30**] Dostupné z: <http://www.radiolocman.com/shem/schematics.html?di=65357>
- [21] **MediaTek.** *Datasheet MT3329* [online]. 2013[cit. 2013-30-07] Dostupný z WWW: [http://www.mediatek.com/\\_en/01\\_products/04\\_pro.php?sn=50](http://www.mediatek.com/_en/01_products/04_pro.php?sn=50)
- [22] Katalog automobilů [online]. [cit. **2013-07-30**] Dostupné z: <http://mnogoavtomobilej.narod.ru/cheshskij/skoda/Skoda-Fabia/>
- [23] Forum amoBBS [online]. [cit. **2013-07-30**] Dostupné z: <http://www.amobbs.com/thread-3673692-1-1.html>

# Příloha A – Schéma navrženého obvodu



## **Příloha B – Seznam součástek**

R1 – 470R

R2 – 330R

R3 – 2K2

R4 – 2K2

R5 – 2K2

R6 – 3K3

R7 – 3K3

R8 – 3K3

C1 – 100n

C2 – 22pF

C3 – 22pF

C4 – 100n

C5 – 0.33uF

C6 – 0.1uF

C8 – 100n

C9 – 1uF

C10 – 1uF

C11 – 1uF

C12 – 1uF

C13 – 10uF

A1 – Atmega32

A2 – LIS302DL

A3 – slot SD030

A4 – konektor S1G20S

J1 – konektor MLW10G

J3 – CAN9

LE1 – stabilizátor LE33

U1 – TC0103

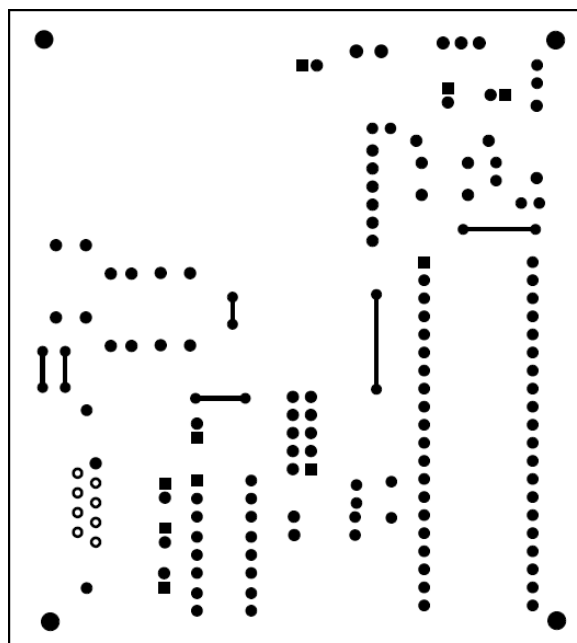
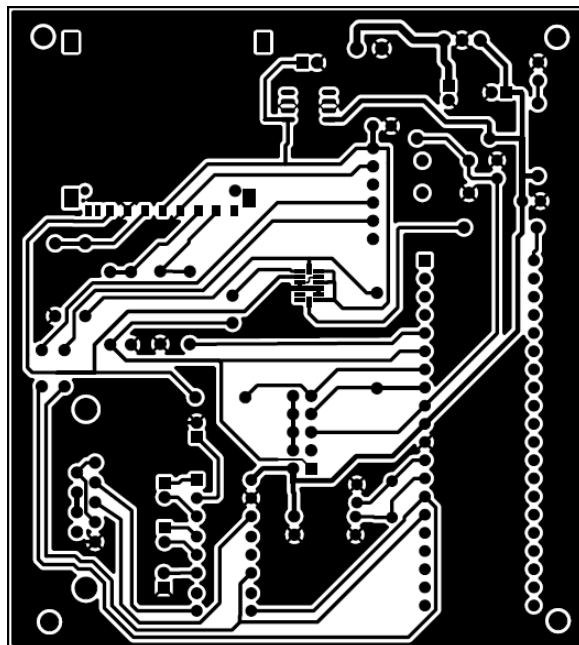
U2 – krystal 18.4320 MHz

U3 – MAX232

U4 – stabilizátor 7805

D1 – LED 3.5mm

## Příloha C – Návrh plošného spoje





## Příloha D – Kompletní záznam z testovacího měření

zatoceni cas:11:26:13 poloha:A,5002.6135,N,01544.680 vibrace=-0.984g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.593g  
zatoceni cas:11:26:15 poloha:A,5002.6040,N,01544.654 vibrace=-1.46g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.593g  
zatoceni cas:11:26:15 poloha:A,5002.6040,N,01544.654 vibrace=-0.968g zatoceni=0.359g k\_zrychleni=0.593g  
zatoceni cas:11:26:21 poloha:A,5002.5909,N,01544.568 vibrace=-0.640g zatoceni=0.328g k\_zrychleni=0.593g  
vibrace cas:11:26:24 poloha:A,5002.5891,N,01544.526 vibrace=-1.343g zatoceni=0.312g k\_zrychleni=0.703g  
zatoceni cas:11:26:25 poloha:A,5002.5886,N,01544.512 vibrace=-1.109g zatoceni=0.312g k\_zrychleni=0.703g  
vibrace cas:11:26:25 poloha:A,5002.5886,N,01544.512 vibrace=-1.296g zatoceni=0.140g k\_zrychleni=0.703g  
vibrace cas:11:26:30 poloha:A,5002.5862,N,01544.442 vibrace=-1.265g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=0.703g  
vibrace cas:11:26:31 poloha:A,5002.5858,N,01544.429 vibrace=-1.250g zatoceni=0.93g k\_zrychleni=0.703g  
zatoceni cas:11:26:34 poloha:A,5002.5848,N,01544.394 vibrace=-0.984g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=0.796g  
vibrace cas:11:26:35 poloha:A,5002.5843,N,01544.383 vibrace=-1.250g zatoceni=0.15g k\_zrychleni=0.796g  
vibrace cas:11:26:36 poloha:A,5002.5834,N,01544.373 vibrace=-1.250g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=0.796g  
zatoceni cas:11:26:38 poloha:A,5002.5830,N,01544.357 vibrace=-1.15g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.796g  
zatoceni cas:11:26:39 poloha:A,5002.5827,N,01544.350 vibrace=-1.78g zatoceni=0.343g k\_zrychleni=0.796g  
zatoceni cas:11:26:40 poloha:A,5002.5824,N,01544.344 vibrace=-0.953g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.796g  
vibrace cas:11:26:43 poloha:A,5002.5867,N,01544.330 vibrace=-1.250g zatoceni=0.109g k\_zrychleni=0.796g  
vibrace cas:11:26:44 poloha:A,5002.5957,N,01544.329 vibrace=-1.406g zatoceni=-0.78g k\_zrychleni=0.828g  
vibrace cas:11:26:45 poloha:A,5002.6013,N,01544.325 vibrace=-1.265g zatoceni=-0.31g k\_zrychleni=0.828g  
vibrace cas:11:26:46 poloha:A,5002.6106,N,01544.323 vibrace=-1.265g zatoceni=0.78g k\_zrychleni=0.828g  
vibrace cas:11:26:47 poloha:A,5002.6178,N,01544.319 vibrace=-1.265g zatoceni=-0.15g k\_zrychleni=0.828g  
vibrace cas:11:26:48 poloha:A,5002.6240,N,01544.313 vibrace=-1.296g zatoceni=-0.93g k\_zrychleni=0.828g  
vibrace cas:11:26:49 poloha:A,5002.6312,N,01544.305 vibrace=-1.265g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=0.828g  
zatoceni cas:11:26:50 poloha:A,5002.6384,N,01544.298 vibrace=-0.984g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.828g  
zatoceni cas:11:26:52 poloha:A,5002.6508,N,01544.284 vibrace=-1.156g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=0.828g  
vibrace cas:11:26:53 poloha:A,5002.6563,N,01544.277 vibrace=-1.281g zatoceni=0.125g k\_zrychleni=0.828g  
zatoceni cas:11:26:53 poloha:A,5002.6563,N,01544.277 vibrace=-1.62g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=1.62g  
zatoceni cas:11:27:01 poloha:A,5002.6774,N,01544.253 vibrace=-1.46g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=1.62g  
zatoceni cas:11:27:07 poloha:A,5002.6735,N,01544.235 vibrace=-1.46g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=1.250g  
zatoceni cas:11:27:08 poloha:A,5002.6715,N,01544.233 vibrace=-1.15g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=1.250g  
zatoceni cas:11:27:13 poloha:A,5002.6528,N,01544.231 vibrace=-0.812g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=1.250g  
vibrace cas:11:27:16 poloha:A,5002.6342,N,01544.233 vibrace=-1.281g zatoceni=-0.31g k\_zrychleni=1.406g  
zatoceni cas:11:27:30 poloha:A,5002.5844,N,01544.239 vibrace=-0.937g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=1.406g  
zatoceni cas:11:27:34 poloha:A,5002.5795,N,01544.254 vibrace=-1.15g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=1.406g  
zatoceni cas:11:27:40 poloha:A,5002.5797,N,01544.318 vibrace=1.0g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=1.437g  
zatoceni cas:11:27:44 poloha:A,5002.5823,N,01544.370 vibrace=-0.890g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=1.437g  
vibrace cas:11:27:47 poloha:A,5002.5835,N,01544.408 vibrace=-1.296g zatoceni=-0.15g k\_zrychleni=1.437g  
vibrace cas:11:27:49 poloha:A,5002.5856,N,01544.432 vibrace=-1.250g zatoceni=0.31g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:27:50 poloha:A,5002.5863,N,01544.444 vibrace=-1.31g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:27:51 poloha:A,5002.5870,N,01544.457 vibrace=-1.250g zatoceni=0.156g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:27:53 poloha:A,5002.5893,N,01544.484 vibrace=-1.328g zatoceni=0.46g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:27:54 poloha:A,5002.5900,N,01544.498 vibrace=-1.250g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:27:55 poloha:A,5002.5903,N,01544.512 vibrace=-1.265g zatoceni=0.46g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:27:58 poloha:A,5002.5916,N,01544.556 vibrace=-1.250g zatoceni=-0.46g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:27:59 poloha:A,5002.5926,N,01544.573 vibrace=-1.62g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:28:00 poloha:A,5002.5935,N,01544.589 vibrace=-1.281g zatoceni=-0.15g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:28:05 poloha:A,5002.6040,N,01544.673 vibrace=-0.906g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:28:06 poloha:A,5002.6074,N,01544.688 vibrace=-0.937g zatoceni=-0.296g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:28:07 poloha:A,5002.6110,N,01544.703 vibrace=-0.937g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:28:08 poloha:A,5002.6146,N,01544.718 vibrace=-0.890g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:28:09 poloha:A,5002.6182,N,01544.733 vibrace=-0.921g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=1.453g  
zatoceni cas:11:28:10 poloha:A,5002.6227,N,01544.746 vibrace=-0.906g zatoceni=-0.359g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:28:11 poloha:A,5002.6283,N,01544.758 vibrace=-1.312g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=1.453g  
vibrace cas:11:28:12 poloha:A,5002.6338,N,01544.769 vibrace=-1.328g zatoceni=-0.78g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:13 poloha:A,5002.6415,N,01544.778 vibrace=-1.250g zatoceni=-0.15g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:14 poloha:A,5002.6487,N,01544.787 vibrace=-1.328g zatoceni=0.15g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:16 poloha:A,5002.6620,N,01544.803 vibrace=-1.250g zatoceni=0.15g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:17 poloha:A,5002.6693,N,01544.811 vibrace=-1.328g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:18 poloha:A,5002.6769,N,01544.819 vibrace=-1.265g zatoceni=-0.31g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:19 poloha:A,5002.6846,N,01544.826 vibrace=-1.281g zatoceni=0.156g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:20 poloha:A,5002.6918,N,01544.833 vibrace=-1.250g zatoceni=0.93g k\_zrychleni=1.515g  
zatoceni cas:11:28:21 poloha:A,5002.6995,N,01544.841 vibrace=1.0g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=1.515g  
vibrace cas:11:28:23 poloha:A,5002.7193,N,01544.854 vibrace=-1.250g zatoceni=0.46g k\_zrychleni=1.578g

zatoceni cas:11:28:25 poloha:A,5002.7379,N,01544.868 vibrace=-0.937g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=1.578g  
zatoceni cas:11:28:26 poloha:A,5002.7474,N,01544.876 vibrace=-1.46g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=1.578g  
zatoceni cas:11:28:27 poloha:A,5002.7564,N,01544.882 vibrace=-0.968g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=1.578g  
zatoceni cas:11:28:28 poloha:A,5002.7619,N,01544.892 vibrace=-1.46g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=1.578g  
zatoceni cas:11:28:35 poloha:A,5002.7833,N,01544.959 vibrace=-1.78g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:36 poloha:A,5002.7819,N,01544.967 vibrace=-1.15g zatoceni=0.359g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:37 poloha:A,5002.7815,N,01544.970 vibrace=1.0g zatoceni=0.312g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:38 poloha:A,5002.7813,N,01544.973 vibrace=-1.296g zatoceni=0.31g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:39 poloha:A,5002.7783,N,01544.976 vibrace=-1.15g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:40 poloha:A,5002.7700,N,01544.977 vibrace=-1.281g zatoceni=-0.15g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:41 poloha:A,5002.7672,N,01544.976 vibrace=-1.250g zatoceni=0.62g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:42 poloha:A,5002.7640,N,01544.976 vibrace=-0.937g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:43 poloha:A,5002.7615,N,01544.974 vibrace=-1.15g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:44 poloha:A,5002.7594,N,01544.972 vibrace=-1.125g zatoceni=0.437g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:45 poloha:A,5002.7586,N,01544.968 vibrace=-1.250g zatoceni=0.15g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:46 poloha:A,5002.7582,N,01544.961 vibrace=-1.281g zatoceni=0.15g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:47 poloha:A,5002.7579,N,01544.953 vibrace=-1.296g zatoceni=-0.46g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:48 poloha:A,5002.7575,N,01544.944 vibrace=-1.250g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:50 poloha:A,5002.7569,N,01544.926 vibrace=-1.296g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=1.875g  
vibrace cas:11:28:51 poloha:A,5002.7564,N,01544.917 vibrace=-1.250g zatoceni=0.15g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:53 poloha:A,5002.7557,N,01544.902 vibrace=-1.109g zatoceni=0.296g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:54 poloha:A,5002.7553,N,01544.895 vibrace=1.0g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:55 poloha:A,5002.7559,N,01544.890 vibrace=-1.15g zatoceni=-0.312g k\_zrychleni=1.875g  
zatoceni cas:11:28:56 poloha:A,5002.7546,N,01544.887 vibrace=-1.15g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=2.125g

## Příloha E – Kompletní záznam trasy upraveného testovacího měření



vibrace cas:11:33:58 poloha:A,5002.7519,N,01544.913 vibrace=-1.328g zatoceni=-0.62g k\_zrychleni=0.109g  
zatoceni cas:11:34:05 poloha:A,5002.7590,N,01544.952 vibrace=-1.125g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=0.218g  
zatoceni cas:11:34:06 poloha:A,5002.7589,N,01544.955 vibrace=-0.984g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=0.218g  
zatoceni cas:11:34:07 poloha:A,5002.7591,N,01544.958 vibrace=-0.937g zatoceni=-0.328g k\_zrychleni=0.218g  
zatoceni cas:11:34:09 poloha:A,5002.7601,N,01544.963 vibrace=-0.843g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.218g  
zatoceni cas:11:34:15 poloha:A,5002.7737,N,01544.969 vibrace=-1.31g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.218g  
zatoceni cas:11:34:16 poloha:A,5002.7751,N,01544.971 vibrace=-1.15g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=0.218g  
vibrace cas:11:34:27 poloha:A,5002.7891,N,01545.056 vibrace=-1.390g zatoceni=-0.31g k\_zrychleni=0.296g  
zatoceni cas:11:34:39 poloha:A,5002.7966,N,01545.171 vibrace=-1.31g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=0.359g  
zatoceni cas:11:34:40 poloha:A,5002.7994,N,01545.174 vibrace=-0.984g zatoceni=-0.375g k\_zrychleni=0.359g  
zatoceni cas:11:34:42 poloha:A,5002.8061,N,01545.180 vibrace=-1.31g zatoceni=-0.421g k\_zrychleni=0.359g  
zatoceni cas:11:34:43 poloha:A,5002.8103,N,01545.182 vibrace=-0.968g zatoceni=-0.453g k\_zrychleni=0.359g  
zatoceni cas:11:34:44 poloha:A,5002.8141,N,01545.183 vibrace=-0.953g zatoceni=-0.437g k\_zrychleni=0.359g  
vibrace cas:11:34:53 poloha:A,5002.8601,N,01545.172 vibrace=-1.312g zatoceni=-0.93g k\_zrychleni=0.453g  
vibrace cas:11:34:58 poloha:A,5002.8963,N,01545.165 vibrace=-1.359g zatoceni=0.46g k\_zrychleni=0.453g  
vibrace cas:11:34:59 poloha:A,5002.9043,N,01545.164 vibrace=-1.296g zatoceni=0.46g k\_zrychleni=0.453g  
zatoceni cas:11:35:02 poloha:A,5002.9283,N,01545.158 vibrace=-1.109g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.484g  
zatoceni cas:11:35:04 poloha:A,5002.9438,N,01545.158 vibrace=-0.937g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=0.484g  
zatoceni cas:11:35:05 poloha:A,5002.9513,N,01545.158 vibrace=-1.78g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=0.484g  
vibrace cas:11:35:20 poloha:A,5003.0511,N,01545.278 vibrace=-1.375g zatoceni=-0.46g k\_zrychleni=0.562g  
zatoceni cas:11:36:19 poloha:A,5003.3388,N,01545.430 vibrace=-1.31g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=0.921g  
vibrace cas:11:36:24 poloha:A,5003.3580,N,01545.440 vibrace=-1.421g zatoceni=-0.140g k\_zrychleni=0.921g  
zatoceni cas:11:36:58 poloha:A,5003.4920,N,01545.481 vibrace=-1.46g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=1.140g  
zatoceni cas:11:36:59 poloha:A,5003.4935,N,01545.484 vibrace=-0.875g zatoceni=0.296g k\_zrychleni=1.140g  
zatoceni cas:11:37:00 poloha:A,5003.4939,N,01545.489 vibrace=-0.984g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=1.187g  
zatoceni cas:11:37:20 poloha:A,5003.4148,N,01545.623 vibrace=-0.937g zatoceni=-0.312g k\_zrychleni=1.343g  
zatoceni cas:11:39:19 poloha:A,5002.8867,N,01545.968 vibrace=-1.46g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=2.250g  
zatoceni cas:11:39:20 poloha:A,5002.8850,N,01545.967 vibrace=-0.984g zatoceni=0.265g k\_zrychleni=2.250g  
zatoceni cas:11:39:21 poloha:A,5002.8835,N,01545.966 vibrace=-1.31g zatoceni=-0.390g k\_zrychleni=2.250g  
zatoceni cas:11:40:46 poloha:A,5002.8034,N,01545.172 vibrace=-1.109g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=2.937g  
zatoceni cas:11:40:47 poloha:A,5002.8052,N,01545.166 vibrace=-0.984g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=2.937g  
zatoceni cas:11:41:14 poloha:A,5002.7796,N,01544.970 vibrace=1.0g zatoceni=-0.312g k\_zrychleni=3.156g  
zatoceni cas:11:41:15 poloha:A,5002.7790,N,01544.964 vibrace=1.0g zatoceni=-0.328g k\_zrychleni=3.156g  
zatoceni cas:11:41:16 poloha:A,5002.7784,N,01544.958 vibrace=-0.937g zatoceni=-0.406g k\_zrychleni=3.156g  
zatoceni cas:11:41:17 poloha:A,5002.7744,N,01544.956 vibrace=-1.156g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=3.156g  
zatoceni cas:11:41:18 poloha:A,5002.7718,N,01544.954 vibrace=-1.187g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=3.156g  
zatoceni cas:11:41:19 poloha:A,5002.7683,N,01544.953 vibrace=-0.953g zatoceni=-0.265g k\_zrychleni=3.156g  
vibrace cas:11:41:20 poloha:A,5002.7648,N,01544.954 vibrace=-1.312g zatoceni=0.46g k\_zrychleni=3.156g

vibrace cas:11:41:21 poloha:A,5002.7615,N,01544.955 vibrace=-1.343g zatoceni=-0.78g k\_zrychleni=3.156g  
zatoceni cas:11:41:22 poloha:A,5002.7588,N,01544.956 vibrace=1.0g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=3.281g  
zatoceni cas:11:41:23 poloha:A,5002.7562,N,01544.956 vibrace=-1.15g zatoceni=0.281g k\_zrychleni=3.281g  
zatoceni cas:11:41:24 poloha:A,5002.7550,N,01544.952 vibrace=-0.984g zatoceni=0.312g k\_zrychleni=3.281g  
vibrace cas:11:41:28 poloha:A,5002.7529,N,01544.928 vibrace=-1.328g zatoceni=0.171g k\_zrychleni=3.281g  
vibrace cas:11:41:29 poloha:A,5002.7518,N,01544.920 vibrace=-1.312g zatoceni=0.0g k\_zrychleni=3.281g  
zatoceni cas:11:41:33 poloha:A,5002.7483,N,01544.891 vibrace=-1.93g zatoceni=-0.281g k\_zrychleni=3.593g  
zatoceni cas:11:41:34 poloha:A,5002.7479,N,01544.886 vibrace=-1.15g zatoceni=-0.296g k\_zrychleni=3.593g

## **Příloha F – Obsah přiloženého CD**

Přiložené CD obsahuje:

- Text práce – VoderekD\_ VyhodnoceniPohybu\_ZN\_2013.pdf
- Adresář software – program pro jednotku v AVR
- Adresář DPS – podklady pro výrobu plošného spoje v programu PADS