

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA – TECHNICKÁ FAKULTA

Obchod a podnikání s technikou



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

# Měření tlaku v pneumatikách

Vedoucí práce:

Peterka Bohuslav, Ing., Ph.D.

Vypracoval:

Miroslav Nejedlý

Praha 2013

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Nejedlý Miroslav

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Měření tlaku v pneumatikách**

Anglický název

**Tire Pressure Monitoring Systems**

---

### Cíle práce

Cílem práce je popsat formou literární rešerše v současnosti používané metody a příslušné principy měření provozního tlaku v pneumatikách osobních, nákladních a speciálních vozidel a mobilních strojů. Zmapována bude zejména problematika tzv. TPMS systémů.

### Metodika

Student vyhledá odbornou literaturu a související informační zdroje k tématu práce. Student zpracuje literární rešerši, v které zmapuje současný stav poznání v oblasti zadané problematiky. Dále se student seznámí s pokyny Technické fakulty pro vypracování a odevzdání bakalářské práce. Student bude pracovat systematicky a průběžné výsledky bude konzultovat s vedoucím práce. Student vypracuje čistopis práce a ten v řádném termínu odevzdá na sekretariátu katedry.

### Osnova práce

1. Úvod
2. Literární rešerše
3. Závěr
4. Literatura

**Rozsah textové části**

30-40 stran

**Klíčová slova**

měření tlaku, pneumatiky, TPMS, diagnostika

**Doporučené zdroje informací**

VLK, F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-234-6573-0, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

RIPKA, P., ĎAĎO, S., KREIDL, M., NOVÁK, J. Senzory a převodníky. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03123-3.

ČÚPERA, Jiří. Diagnostika motorových vozidel I. 1. vyd. Brno : Avid, 2007. ISBN 978-80-903671-9-7

Příslušející normy a směrnice

**Vedoucí práce**

Peterka Bohuslav, Ing., Ph.D.

**Termín zadání**

listopad 2010

**Termín odevzdání**

duben 2012

**prof. Ing. Josef Pošta, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 10.2.2011

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Bohuslava Peterky, Ph.D. pouze za použití citovaných zdrojů. Souhlasím s půjčováním této bakalářské práce.

V Praze dne 9.4.2013

Miroslav Nejedlý

Podpis: .....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Bohuslavu Peterkovi, Ph.D. za čas, rady a odborné vedení při přípravě této práce.

## **Abstrakt (CZ)**

Náplní této bakalářské práce bylo vyhledání, sběr, nastudování a zpracování informací z dostupných zdrojů o problematice měření tlaku v pneumatikách. První část práce se věnuje popisu přímých systémů pro měření tlaku v pneumatikách, kdy na základě dostupných informací seznamuje s dnes používanými systémy. Druhá část je věnována nepřímým systémům pro měření tlaku v pneumatikách a jejich popisu. V třetí části je popsán systém centrálního huštění pneumatik a jeho funkce. V poslední kapitole jsou rozebrány možnosti napájení a legislativa týkající se systémů pro měření tlaku v pneumatikách. Celá práce je stručně shrnuta v závěru

**Klíčová slova:** měření tlaku, pneumatiky, TPMS, diagnostika

## **Abstrakt (EN)**

The aim of this Bachelor thesis was searching, collecting, studying and processing of information from available sources about tire pressure monitoring systems. First part is dedicated to description of direct tire pressure monitoring systems. Today used systems are introduced on the base of available information. Second part is about indirect tire pressure monitoring systems and its description. In the third part Central Tire Inflation System and its function are described. The last chapter discusses the possibility of power supplying and legislation related to tire pressure monitoring systems. Entire thesis is shortly summarized in conclusion.

**Key words:** pressure measurements, tires, TPMS, diagnostics

# Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Literární rešerše .....	2
2.1	Přímé systémy měření tlaku v pneumatikách.....	2
2.1.1	Plně integrovaný systém měření tlaku v pneumatikách - Freescale MPXY8300 .....	3
2.1.2	Stack TPMS.....	6
2.1.3	Moto – track .....	10
2.1.4	TPMS pro nákladní automobily .....	12
2.2	Nepřímé systémy měření tlaku v pneumatikách .....	15
2.2.1	Metoda otáčejícího se poloměru (konvenční metoda) .....	16
2.2.2.	Metoda využívající rezonanční frekvenci.....	19
2.3.	Centrální huštění pneumatik .....	20
2.3.1.	Historie CTIS.....	21
2.3.2	Dnes využívané CTIS.....	23
2.4.	Techncké a legislativní požadavky TPMS .....	25
2.4.1.	Napájení .....	25
2.4.2.	Legislativa a důvody povinného monitorování tlaku v pneumatikách osobních automobilů .....	28
3.	Závěr .....	29
4.	Literatura.....	31

## Seznam zkratek

ASIC - Application-specific Integrated Circuit (integrováný obvod pro zvláštní použití)

CAN – Controller Area Network (sériová datová sběrnice)

CHP – Centrální huštění pneumatik

CTIS – Central Tire Inflation System (systém centrálního huštění pneumatik)

FFT – Fast Fourier transform (rychlá Fourierova transformace)

MCU – Multipoint Control Unit (víceúčelová řídicí jednotka)

PWM – Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)

RF – Radio Frequency (rádiová frekvence)

RFID – Radio Frequency Identification (identifikace na rádiové frekvenci)

SAW – Surface Acoustic Wave (zvuková vlna šířící se podél povrchu materiálu)

SPI – Serial Peripheral Interface (sériové periferní rozhraní)



# 1. Úvod

Správný tlak v pneumatikách je důležitý faktor pro bezpečnost provozu nejen osobních automobilů, ale i dalších vozidel pohybujících se po pozemních komunikacích jako jsou motocykly nebo nákladní automobily. Podhuštěná pneumatika zhoršuje ovladatelnost vozidla a zvyšuje provozní náklady ve formě zvýšené spotřeby paliva a vyššího opotřebení pneumatik. Německý výrobce pneumatik Continental udává, že 90% defektů pneumatik je z důvodu nedostatečného tlaku v pneumatice. Dále podle statistiky tohoto výrobce jezdí 30 % vozidel na podhuštěných pneumatikách. Pokud by měli všechny automobily jen v Německu správný tlak v pneumatikách, ušetřilo by se ročně 3,4 miliard eur. Pravděpodobně z těchto důvodů se o toto téma začala zajímat i Evropská komise a nařídila povinné vybavení všech osobních automobilů prodávaných v EU systémy pro měření tlaku.

Systémy pro měření tlaku v pneumatikách se dělí do dvou hlavních skupin podle principu měření. První skupinou jsou přímé systémy měření tlaku. Tyto systémy měří tlak v pneumatice pomocí k tomu určeného snímače. Druhá skupina jsou nepřímé systémy pro měření tlaku v pneumatikách. Ty využívají snímače, které neměří přímo tlak v pneumatice, ale jiné veličiny (například valivý poloměr kola nebo frekvenci kmitání pneumatiky). Z těchto údajů pomocí řídicí jednotky dopočítávají tlak v pneumatice.

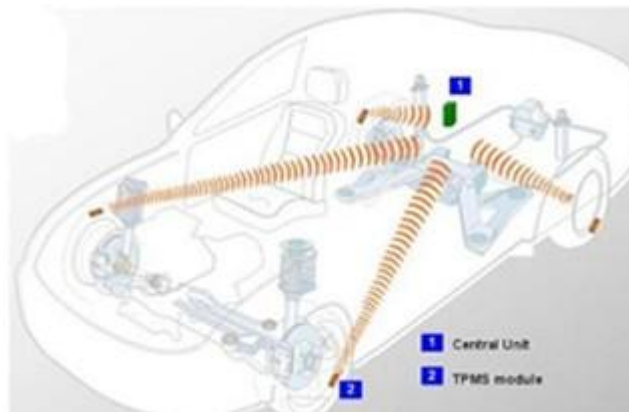
Další zvláštní skupinou jsou systémy centrálního dohušťování pneumatik (CTIS), které jsou využívány především u zemědělských a armádních vozidel, kde je žádoucí změna tlaku v pneumatikách podle aktuálních podmínek ve kterých se vozidlo nachází.

V této práci popíšeme běžně používané přímé a nepřímé systémy. U přímých systémů pro měření tlaku v pneumatikách popíšeme běžně používané systémy pro osobní automobily, motocykly a další vozidla. Dále se budeme věnovat problematice napájení systémů pro měření tlaku v pneumatikách. U nepřímých systémů měření tlaku v pneumatikách také popíšeme běžně používané druhy těchto měřících systémů. U systému centrálního huštění pneumatik zpracujeme jak historický vývoj, tak aktuálně používané řešení.

## 2. Literární rešerše

### 2.1 Přímé systémy měření tlaku v pneumatikách

Přímé systémy měření tlaku v pneumatikách obvykle využívají snímač tlaku a někdy i snímač teploty v každé pneumatice. Senzor měří fyzicky tlak v pneumatice a předá tento údaj do zařízení umístěného v kabině vozidla. Tyto systémy měří tlak v pneumatice na jakémkoliv kole bez závislosti na ostatních kolech oproti nepřímým systémům měření tlaku v pneumatikách.



**Obr. 1. Schéma znázorňující komunikaci komponent přímého TPMS systému[1]**

1. Centrální jednotka
2. TPMS snímač

Snímače tlaku se mohou montovat dovnitř pneumatiky nebo vně pneumatiky do prostoru ventilku. Oba druhy se liší v různých aspektech a každé umístění se hodí pro jiné využití. Pokud je senzor umístěn zvenku na ráfek, jak nabízejí některé produkty, je větší riziko poškození senzoru mechanickým způsobem nebo dokonce odcizením. Pokud je snímač umístěn na vnitřní stranu pneumatiky, tyto problémy nevznikají, ale ke snímači je horší servisní přístup, například za účelem výměny baterie.

Snímač měření tlaku se skládá z těchto hlavních částí:

- Snímač tlaku
- Analogově-digitální převodník
- Mikrokontrolér
- Vysílač

[1]

### **2.1.1 Plně integrovaný systém měření tlaku v pneumatikách - Freescale MPXY8300**

Dříve bylo nutné navrhnout malý modul s několika integrovanými obvody a jejich pomocnými součástkami, které se umístily na desku plošných spojů, čímž systém ztrácel na kompaktnosti a spolehlivosti. Hmotnost ani rozměry nebyly nejmenší. Dnes je možné provést realizaci jen jedním inteligentním multisenzorovým obvodem řady MPXY8300.



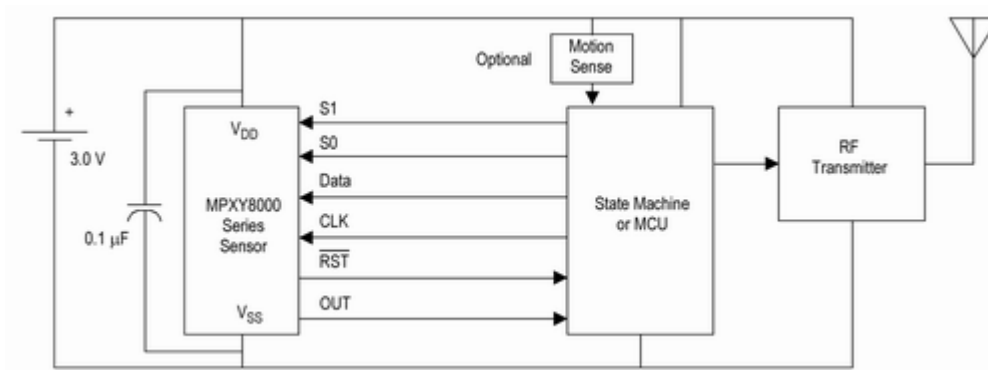
**Obr. 2. Freescale MPXY8300**  
[2]

Freescale integroval všechny potřebné komponenty do jednoho speciálně upraveného pouzdra a produktu dal označení MPXY8300. V tomto produktu je tedy kapacitní křemíkový senzor absolutního tlaku, řídicí programovatelný mikrokontrolér s jádrem HCS08 a RF vysílač pro bezdrátový přenos naměřených hodnot a digitální komunikaci senzorů v kolech s přijímací částí v kabině vozidla. Teploměr a akcelerometr jsou použity pro zjištění pohybu kola a kompenzaci změny tlaku v závislosti na změně teploty.

Systém detekce a měření tlaku v pneumatikách označovaný firmou Freescale jako TPMS, je založen na jednotlivých senzorech a vysílačích v kolech, které jsou napájeny baterií, a centrálním TPMS přijímačem. Každý TPMS vysílač se umístí na ráfek dovnitř pneumatiky a centrální TPMS přijímač je na pevném místě ve vozidle jako součást řídicího systému palubního počítače automobilu, jako samostatně pracující jednotka nebo jako přidaná periferie.

Integrovaný obvod řady Freescale MPXY 8300 je prakticky uvnitř realizovaný jako deska plošných spojů. Rozdíl je však v tom, že je výrazně menší a je realizován jako SiP (System in Package). Je tvořen následujícími bloky:

- Přesným senzorem absolutního tlaku
- Mikrokontrolérem s 8bitovým jádrem HCS08
- RF vysílačem
- Případně akcelerometrem (součástí typů MPXY83xxA a MPXY83xxB)



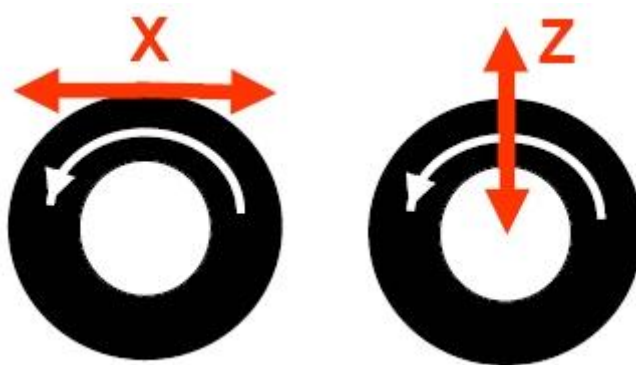
**Obr. 3. Schéma blokového zapojení TPMS systému integrovaného do jednoho obvodu MPXY8300. [2]**

Přesný senzor absolutního tlaku je tvořen integrovanou měřicí buňkou a ASIC CMOS řídicí a vyhodnocovací elektronikou. Princip měření je založen na změně kapacity vnitřního proměnného integrovaného kondenzátoru vlivem působícího tlaku na elektrodu kondenzátoru (pružná křemíková membrána). Jeho součástí je i druhý referenční uzavřený kondenzátor s oběma elektrodami pevnými eliminujícími parazitní vlivy, například vliv teploty. Výsledný tlak se zjistí porovnáním kapacity měřícího a referenčního kondenzátoru. Senzor měří externí absolutní tlak v rozsahu 100 – 800 kPa nebo 100 – 1500 kPa působícího vnějšího média, kterým může být plyn nebo kapalina. Tento tlak je vztažen k nulové hodnotě tlaku vakua ve vnitřní komoře senzoru. Klidovému stavu prohnutí membrány odpovídá prohnutí stěny rovnající se působícímu atmosférickému tlaku.

RF vysílač pracující na nosné frekvenci 315 nebo 434 MHz slouží ke komunikaci senzoru MPXY 8300 s okolním světem. Přenos se realizuje pomocí napětově řízeného oscilátoru a uzavřené smyčky fázového závěsu. Vysílaná data jsou před vysláním a po příjmu ukládány do vnitřní paměti.

Součástí senzorů MPXY83xxA nebo MPXY83xxB je i senzor zrychlení pro měření v osách Z a X. Senzor zrychlení v ose Z měří odstředivou sílu vznikající při jízdě a senzor

v ose X měří rozdíly v úhlové rychlosti kola. Tyto snímače mohou upozornit řidiče na závažné poruchy, jako špatně vyvážené, upevněné nebo házející kolo, které by mohlo způsobit nehodu. Dále data ze senzoru zrychlení mohou sloužit tlakovému senzoru k přesnějšímu měření. Z pohledu měření tlaku v pneumatice slouží k eliminaci či korekci vzájemných vlivů rychlosti otáčení pneumatiky a jejího tlaku. Pokud je kolo podhuštěné, tak se i více zahřívá a to má samozřejmě vliv i na vnitřní tlak pneumatiky.



**Obr. 4. Znázornění myšlených os X a Z**

TPMS přijímač může být realizován buď jako samostatné zapojení na desce plošných spojů nebo jako součást rozsáhlejšího řídicího systému. Základními částmi TPMS přijímače jsou mikrokontrolér a RF přijímač pracující na velmi vysoké frekvenci, které pracují opět na frekvenci 315 nebo 434 MHz s frekvenční modulací.[2]

### **2.1.2 Stack TPMS**

Produkt k měření tlaku v pneumatikách od firmy Stack je jedním ze zástupců bezbateriových systémů k měření tlaku v pneumatikách. Komunikuje bezdrátově a měří tlak i teplotu v pneumatikách. Výrobce udává, že systém je vhodný pro závodní automobily, kde je tlak a teplota pneumatik důležitý faktor pro dosažení dobrých sportovních výsledků.

TPMS od firmy Stack využívá patentovanou SAW senzorovou technologii. Díky ní byly odstraněny problémy spojené s montáží baterie a komplikované elektroniky v senzorech, které jsou umístěny v kolech. Snímač má rozměry dva milimetry tloušťky a průměr dvanáct milimetrů. Tento snímač měří teplotu i tlak v pneumatice. Ke snímači je přimontována anténa v pouzdru 21 x 16 mm. Celý systém váží 15 gramů a tím podle výrobce vznikl nejmenší a nejlehčí senzor na trhu.

V tomto systému je využíván již zmíněný SAW (SurfaceAcousticWave) snímač od firmy Transense Technologies. Tento patentovaný snímač umožňuje bezdrátový přenos a bezbateriové napájení. SAW snímače jsou pasivní (bez nutnosti napájení), levné, robustní, malé a lehké. Tyto zařízení k měření tlaku v pneumatikách svými vlastnostmi převyšují zařízení používající kapacitní a piezorezistivní snímače, které vyžadují další operační výkon a další elektroniku pro bezdrátové spojení.



**Obr. 5. Bezdrátový a bezbateriový snímač od firmy Stack využívající patentovanou technologii SAW. [3]**

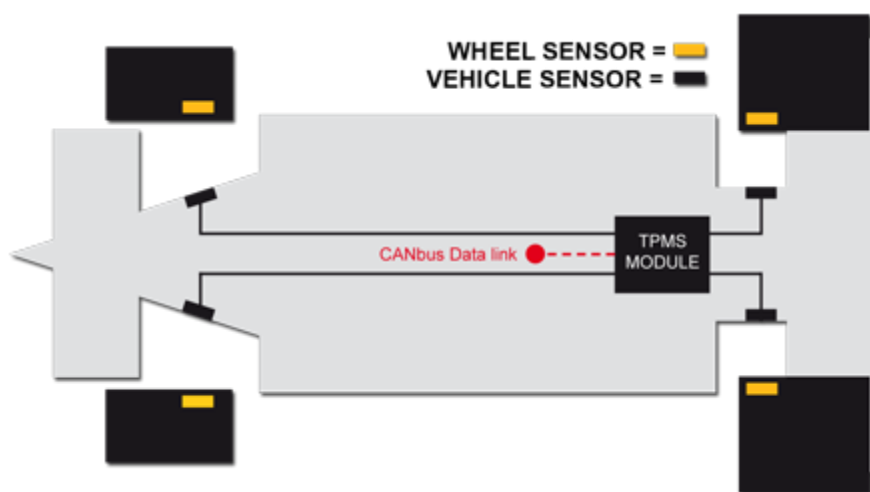
SAW snímač tlaku a teploty může být integrován do kola závodního automobilu s dobrými výsledky. Tyto systémy umožňují uživateli měřit tlak v každé pneumatice až dvacetkrát za sekundu. Větší vzorkovací frekvence může být využita ke zlepšení nastavení podvozku a ke včasnému poskytnutí informace o ztrátě tlaku v pneumatice.

Výhody vyšší vzorkovací frekvence (například 10 Hz) jsou:

- schopnost vidět dynamický efekt zatížení pneumatiky v každé zatáčce a v každém kole
- velmi rychlé varování o ztrátě tlaku v pneumatice

Každý snímač je namontován uvnitř pneumatiky na ráfku nebo na ventilku. Měřicí modul je namontován ve vhodné poloze ve vozidle. Čtyři antény jsou namontovány blízko kolům (do půl metru od kola) a jsou připojeny k měřicímu modulu. Dodávaná konfigurační sada softwaru nabízí komplexní pomoc při nastavení antény.

Jednotka může být konfigurována pomocí standardního RS 232 spojení z počítače. Ke konfiguraci je využíván k tomu určený počítačový software. Tento software může být použit ke sledování hodnot v reálném čase a importování dat ze snímačů pomocí knihovny. Dále je možné přizpůsobit systém zadáním atmosférického tlaku a vyladit tak systém na denní podmínky závodu.



**Obr. 9. Znázornění umístění snímačů tlaku a přijímačů signálu v závodním vozidle. [3]**



Přijímací modul dostává informace o tlaku a teplotě z každé pneumatiky na předem nastavené frekvenci v rozmezí jednoho až deseti hertzů. Data o tlaku a teplotě z každého kola jsou výstupem na CAN sběrnici s uživatelsky konfigurovatelnými CAN – ID zprávami. Výstup dat z CAN sběrnice může být připojen na barevný LED displej.

Výstup dat z CAN sběrnice může být nahráván do jakéhokoliv kompatibilního systému. Data mohou být nahrána do Stack'sMFRsystem a zobrazována v softwaru od firmy StackDataPro 5.

Software umožňuje zobrazení datových souborů v kombinaci s jinými parametry. To umožňuje nastavit optimální tlak a teplotu v pneumatikách.

Stack TPMS je dostupný ve dvou variantách: Pro a Lite. Systém Pro nabízí lepší rozlišení a přesnost než systém Lite. Systém Lite měří s přesností  $\pm 3,447$  kPa a systém Pro dosahuje čtyřikrát větší přesnosti.



**Obr. 6. LED displej firmy Stack vhodný pro závodní vozidla. [3]**

RFID zařízení včetně automatické detekce změn na kolech je dostupné pouze v systému Pro, což je důležité při častém měnění kol. TPMS Lite je omezený pouze na tři sady kol, kdežto TPMS systém Pro zvládne až sto sad kol.

System měření tlaku v pneumatikách od firmy Stack může být využit v těchto odvětvích:

- Motorsport – automobily, nákladní automobily a motocykly
- Užitkové dodávky a nákladní automobily
- Vojenská vozidla
- Terénní vozidla
- Zemědělská technika
- Osobní vozidla
- Veřejná doprava

[3]

### **2.1.3 Moto – track**

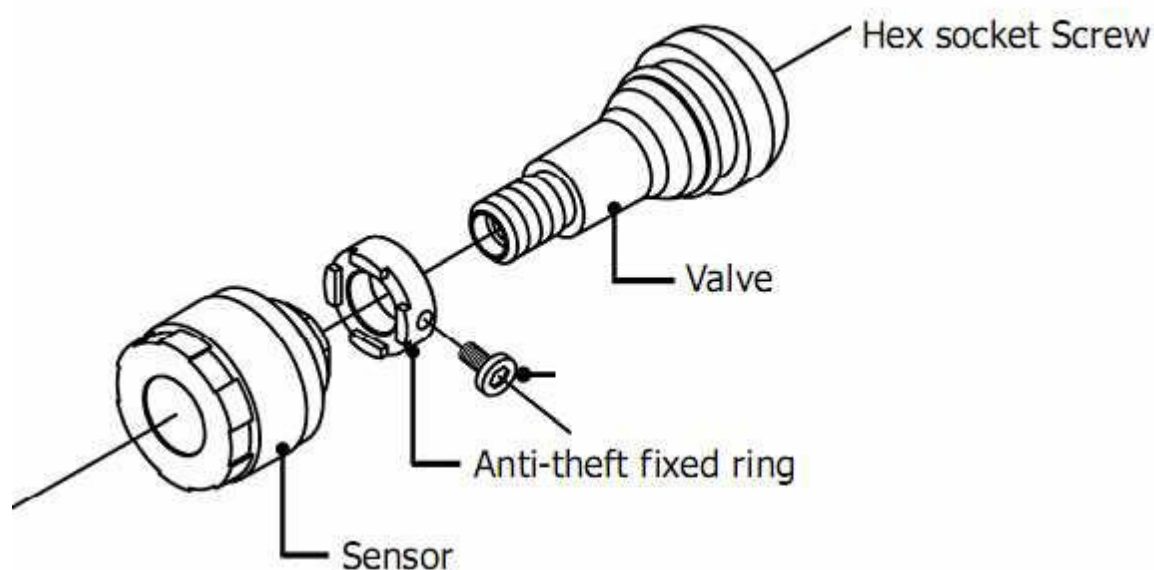
Moto – track je systém určený k měření tlaku v pneumatikách pro motocykly. Tento produkt vyrábí firma HawksHead Systems Inc, se sídlem v Severní Americe.

Moto – track využívá senzory umístěné mimo pneumatiku, které jsou napájeny baterií. Ke komunikaci používá RF 433,92 MHz. Tento systém měří tlak a teplotu v obou pneumatikách a může řidiče zvukově upozornit, pokud tlak v pneumatice klesne pod nastavenou hodnotu.



**Obr. 7. Snímač tlaku pro systém Moto – track. [4]**

Výhodou těchto senzorů je relativně malá hmotnost - 10 gramů. Sensory se montují přímo na ventilek, proto k jejich instalaci nemusíme demontovat pneumatiku. Sensory jsou proti ukradení pojištěny kroužkem, který se vkládá pod senzor. Po provedení montáže senzorů se musí ověřit těsnost mezi ventilkem a senzorem. Výrobce uvádí, že díky nízké hmotnosti se většinou ani nemusí nechávat znovu vyvážit kola, protože deset gramů je hodnota, která se může zanedbat.



**Obr. 8. Schéma znázorňující montáž snímače s kroužkem proti krádeži.**

Přijímač signálu se montuje na řídítka a je napájený jednou baterií typu AAA. Zařízení k přijímání a zobrazování údajů je vybaveno displejem, který zobrazuje informace o tlaku a teplotě v pneumatice. Dále se z displeje dozvíme aktuální čas, stav baterií v přijímači i v senzorech. Na řídítka se montuje pomocí sady, která je k tomu určena a je součástí výrobku. Dodává se na řídítka o průměru 28, 25 a 22 mm. [4]

## 2.1.4 TPMS pro nákladní automobily

Na světě se pohybují milióny osobních vozidel, které jsou vybaveny systémem pro měření tlaku v pneumatikách. U osobních automobilů je dnes už často dáno zákonem, že musí být tímto systémem vybaveny. Nákladní automobily tomuto nařízení nepodléhají, ale správný tlak v pneumatikách je důležitý pro jejich provozovatele, protože znamená snížení nákladů za pneumatiky a palivo. Zatím není žádné oficiální nařízení, aby nákladní automobily měly měření tlaku v pneumatikách, ale očekává se, že stejně jako u osobních automobilů, tak u nákladních automobilů brzy přijde podobné zařízení v platnost pro Evropskou unii.

V dnešní době se pro nákladní automobily vyrábějí čtyři typy snímačů:

- **snímače umístěné na ráfku**
- **snímače v čepičce ventilku**
- **snímače umístěné ve ventilku**
- **snímače umístěné v prodloužené části ventilku.**

Montáž snímače na ráfek má ovšem nějaké nevýhody. Například pokud bychom ho namontovali do kol obytného automobilu, který bude dlouho stát na jednom místě, hrozí, že se systém poškodí, pokud by tlak v pneumatice z důvodu dlouhého nepoužívání klesl na nulovou hodnotu. Ráfek, na kterém je snímač uchycen, by tento snímač v takovém případě rozmačkal. Technik, který demontuje pneumatiku z ráfku s tímto systémem, musí vědět o jeho přítomnosti, jinak by mohl snímač poškodit.

SmarTire Systems Inc. nabízí snímače montované na ráfek. SmarTireSmartWave systém obsahuje snímače, které se montují nerezovým páskem na každé kolo. Snímače měří tlak a teplotu v pneumatice každých 12 sekund a poté bezdrátově odesílají data do přijímače jednou za tři až pět minut. Pokud snímač zjistí změnu tlaku o 20kPa, odešle

data okamžitě. Displej v kabině řidiče může být řešen jako jednoduché varující signalizační světlo nebo jako komplexní jednotka, která zobrazuje data v reálném čase.



**Obr. 9. Standardní snímač tlaku, který se montuje na ráfek. [13]**

Unikátní vlastností toho systému montovaného na ráfek je kolébka k uchycení senzoru, která nedovoluje chybnou montáž snímače.

Tradiční snímače montované na ráfek jsou umístěny u ventilku nebo přímo proti ventilku. Pokud je systém umístěn u ventilku, potom demontážní postup musí začínat proti ventilku pro obě stykové plochy pneumatiky. Pokud je snímač umístěn proti ventilku, pak se musí pro obě strany pneumatiky začínat také na straně proti ventilku. Montážní proces zase naproti tomu musí začínat naproti snímači a končit u snímače, aby se zkontrolovalo umístění snímače a zda není poškozený.

Další možností je umístit snímač do čepičky ventilku. Asi nejjednodušším řešením pro nákladní automobily je PressureProvalve cap, systém od DoranManufacturing LLC. Mohlo by se zdát, že nemůže být ani jednodušší řešení než snímač umístit do čepičky ventilku. Ale první věcí, kterou musí mechanici udělat, je zajištění snímače proti ukradení. K tomuto zajištění se používají speciální zámky, k jejichž demontáži je potřeba speciální klíč. Další chyba, která může vzniknout při použití tohoto řešení je při nesprávné montáži

vnitřku ventilku. Doran má speciální tester ventilku, pomocí kterého se zjistí, že ke snímači v čepičce ventilku jde tlak z pneumatiky. Když se testerem stlačí vnitřek ventilku, měl by být slyšet syčivý zvuk.



**Obr.10. Snímač pro nákladní automobily umístěný v čepičce ventilku. [13]**

Systemy, které mají snímač uvnitř ventilku, nelze použít pro nákladní automobily. Pokud se kterýkoliv ventilek se snímačem mění z ráfku na ráfek, musí se vyměnit gumové těsnění. To znamená, že mechanici musí být schopni vyměnit pneumatiku bez demontáže ventilku.



**Obr. 11. Snímač tlaku pro nákladní automobily s prodloužením ventilku.[13]**

U nákladních automobilů se musí používat prodloužený ventilek a tomu musí odpovídat i konstrukce TPMS systémů. Firma Mobile Awareness LLC nabízí zařízení, které se našroubuje na původní ventilek a slouží jako jeho prodloužení. Na jeho konci je potom běžný ventilek. Toto zařízení zjednodušuje údržbu, jen je nutné se ujistit, že neuniká vzduch mezi ventilkem a tímto prodloužením.

Další výhodou je ochrana tohoto senzoru při výměně pneumatiky. Snímače by se mohly poškodit pouze tehdy, pokud by se mechanik pokusil manipulovat s ráfkem a nesundal by tento snímač. Tento snímač se musí občas sundat, aby se nepoškodil při manipulaci s kolem, a proto je nutné mít k dispozici správné nářadí. To může způsobit problém, pokud dojde k poruše na cestě a v nákladním autě není toto nářadí. [5]

Všechny tyto typy umístění snímače tlaku jsou vhodné pro bezdušové pneumatiky. Pokud by se z nějakého důvodu využívala pneumatika s duší, tak je možné použít pouze snímače tlaku umístěné v čepičce ventilků nebo snímač s prodloužením ventilků.

## **2.2 Nepřímé systémy měření tlaku v pneumatikách**

Nepřímé systémy měření tlaku v pneumatice neměří přímo tlak v pneumatice jako přímé systémy, ale dopočítávají jej z různých dat sbíraných pomocí čidel otáčení kol a akcelerometrů. Výhodou nepřímých měřících systémů je, že k měření využívají snímače, které jsou často již součástí vozidla. U moderních automobilů je tato funkce zabudována přímo v řídicí jednotce, takže ani na dopočítávání tlaku není potřeba žádné další zařízení.

Nepřímé systémy měření tlaku v pneumatikách mají výhodu nízké ceny. Z důvodu plánovaného povinného měření tlaku v pneumatikách u osobních automobilů se dá očekávat velký rozmach těchto systémů, protože výrobci budou ve snaze dosáhnout co nejnižší ceny za TPMS volit pravděpodobně tuto možnost.

Nevýhodou těchto systémů v porovnání s přímými systémy je, že dovedou varovat řidiče až po ujetí určité vzdálenosti. Tato nevýhoda se projeví u automobilů, které dlouho stojí, protože při dlouhém stání může dojít k úniku tlaku až na velmi malou hodnotu a i krátká doba, než zareaguje nepřímý TPMS, může znamenat poškození ráfku a zničení pneumatiky. Přímý systém by v takovémto případě reagoval ještě před rozjetím vozidla. Ale podle nařízení, které připravuje Evropská komise, by měly varovat při podhuštění o 25 % při jízdě a to tyto systémy splňují.

K tomuto měření se v minulosti využívala hlavně metoda otáčejícího se poloměru, která využívá pouze snímače otáček kol. Dnes už se ale začíná tato metoda kombinovat s druhou uvedenou metodou (metoda rezonanční frekvence), čímž se získává více dat a systémy jsou díky tomu přesnější.

### **2.2.1 Metoda otáčejícího se poloměru (konvenční metoda)**

Nepřímé systémy měřící konvenční metodou využívají senzory využívané systémem ABS, které porovnávají úhlovou rychlost jedné pneumatiky s ostatními. Pokud má jedna pneumatika nižší tlak než ostatní, zmenší se její obvod a tím se zvětší počet otáček na ujetou vzdálenost v porovnání s ostatními pneumatikami. Pokud je vyhodnocen nízký tlak v jedné pneumatice, je řidič varován pomocí palubního počítače.

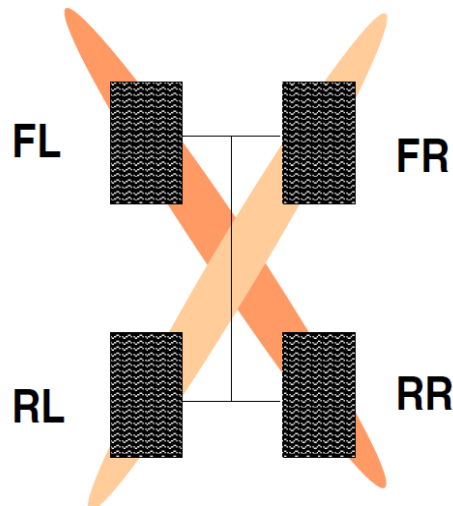
Nepřímé měření tlaku konvenční metodou má samozřejmě nějaké nedostatky. Problém vzniká, pokud dochází k prokluzu pneumatik na mokrých nebo namrzlých silnicích. Z tohoto důvodu může dojít k nesprávnému varování řidiče a tím se snižuje důvěra řidiče v tento systém.[6]

Moderní systémy nepřímého TPMS jsou dostatečně přesné na to, aby odhalily rozdíl v rychlosti otáčejícího se kola i u nízko profilových a runflat pneumatik. Nicméně poloměr pneumatiky se může lišit vlivem výrobních tolerancí, poloměrem zatáčení, rozložením sil na kola při zatáčení, akcelerací nebo brzděním, špatným stavem vozovky atd. Za účelem zvýšení přesnosti se v systémech zavádějí různé opravy a korekce.



Podle následující rovnice se definuje diagonální rozdíl, podle kterého se zjišťuje únik tlaku z pneumatiky. Rovnice (1) by měla zohlednit rozdíl rychlosti otáčení kol v zatáčkách.

$$DEL = \frac{2 \cdot \{(FL+RR)-(FR+RL)\}}{FL+FR+RL+RR} \cdot 100 \quad (1)$$



**Obr.12. Schéma zobrazující, které rychlosti kol se ve vzorci sčítají.**

**FL: úhlová rychlost levého předního kola**

**FR: úhlová rychlost pravého předního kola**

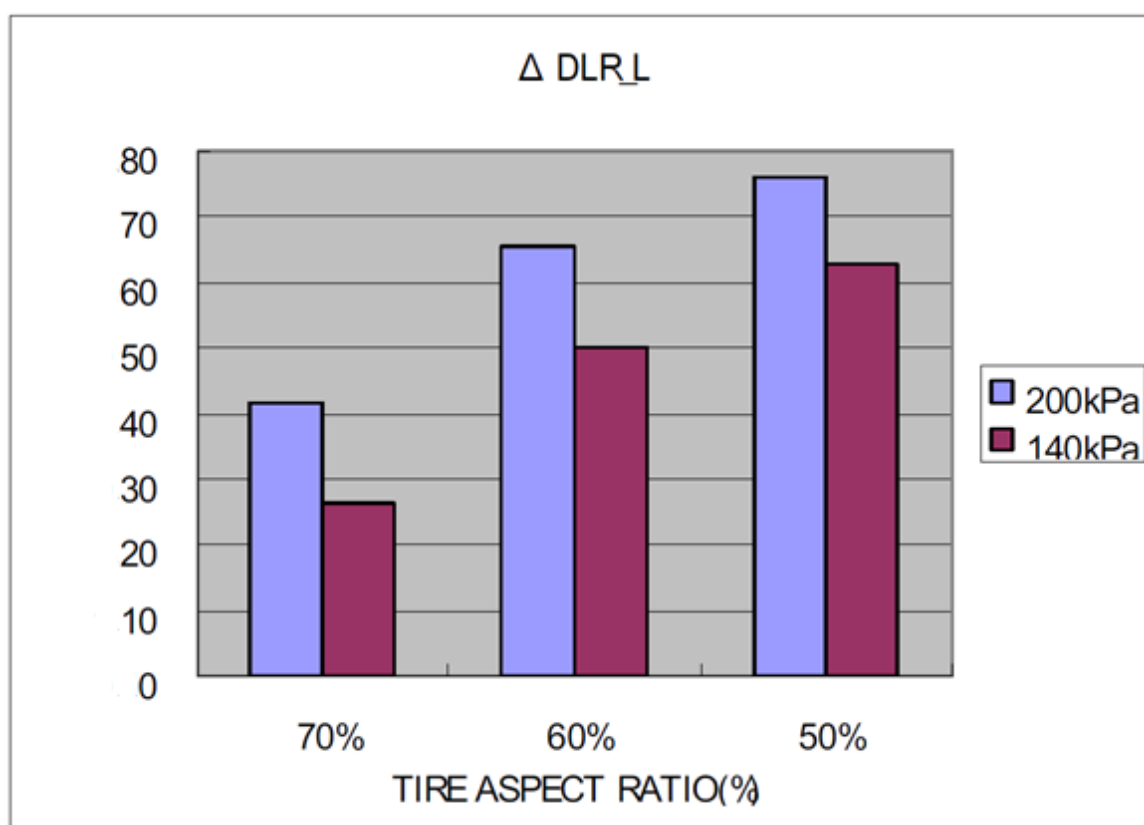
**RL: úhlová rychlost levého zadního kola**

**RR: úhlová rychlost pravého zadního kola**

Vlastnosti tohoto druhu nepřímého měření tlaku v pneumatikách jsou následující. V kolech nejsou žádné další senzory, může být použit i pro nízkoprofilové i runflat pneumatiky.

Pneumatika přirozeně ztrácí tlak z důvodu difúzního úniku tlaku. Tento stav nazýváme jako přirozený únik tlaku. Aby ho bylo možné detekovat, byla zavedena koncepce nazývaná „změna valivého poloměru pneumatiky při zatížení“, která znamená, že se hodnotí změna poloměru pneumatiky v procentech na zatíženém kole v závislosti na tlaku v pneumatice. Valivý poloměr pneumatiky se mění v měřítku nezávisle na profilu pneumatiky. Pneumatika s nižším tlakem (140 kPa) má menší poloměr než správně nahuštěná pneumatika (200 kPa) bez závislosti na profilu pneumatiku (70 – 50 %).

Graf níže (Obr.13) zobrazuje test provedený na pneumatikách rozměru 185/70R14, 205/60R15, 225/50R17 při zatížení 250 kg.



**Obr.13** Graf zobrazující na ose X profil pneumatiky a na ose Y změnu valivého poloměru pneumatiky v procentech při zatížení 250 kg. Test byl proveden pro běžně nahuštěnou pneumatiku (200 kPa) a pro podhuštěnou pneumatiku (140 kPa). [7]

Z výše uvedeného grafu je vidět změna valivého poloměru pneumatiky při snížení tlaku. Když se systém naučí správný poloměr pneumatiky, může ho kdykoli porovnat s aktuálním poloměrem a podle toho vyhodnotit aktuální stav tlaku.

Dnešní systémy poznají rozdíl v tlaku způsobený difúzním únikem během deseti minut, proto mohou včasné varovat řidiče.[7]

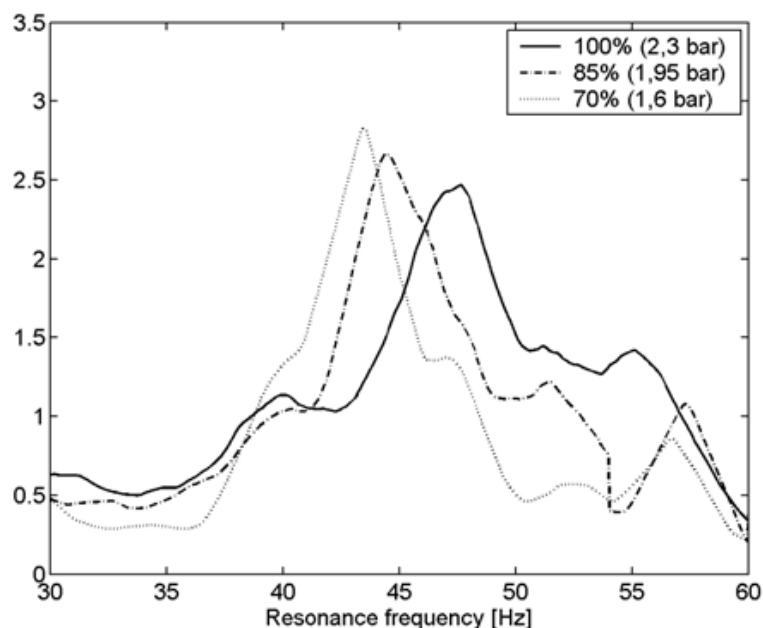
### **2.2.2. Metoda využívající rezonanční frekvenci**

Vibrační analýza využívá fakt, že konstrukce pneumatiky reaguje jako pružina při přejíždění nerovností ve vozovce. Vibrační analýza může být provedena pomocí metody založené na FFT nebo parametrické metody (s využitím autoregresního modelu). Cílem je sledovat rezonanční frekvenci, která je spojena s tlakem v pneumatikách.

Informační zdroje pro tuto metodu jsou čidla rychlosti kol a inerciální senzory.

Pneumatika kmitá ve vertikálním směru, což je vyvolané silničními nerovnostmi, akcelerací nebo brzděním. S klesajícím tlakem v pneumatice klesá i tuhost a to přináší nižší rezonanční frekvenci. Nejvýznamnější oblast pro tyto kmity je 10–20 Hz.

Pneumatika také kmitá v krutu a tyto kmity přímo ovlivňují úhlovou rychlost kol. Tyto kmity jsou také vyvolány silničními nerovnostmi. Opět platí, že pokud se sníží tlak v pneumatice, sníží se i frekvence kmitání. Nejvýznamnější oblast pro toto kmitání pneumatik je 40–50 Hz.



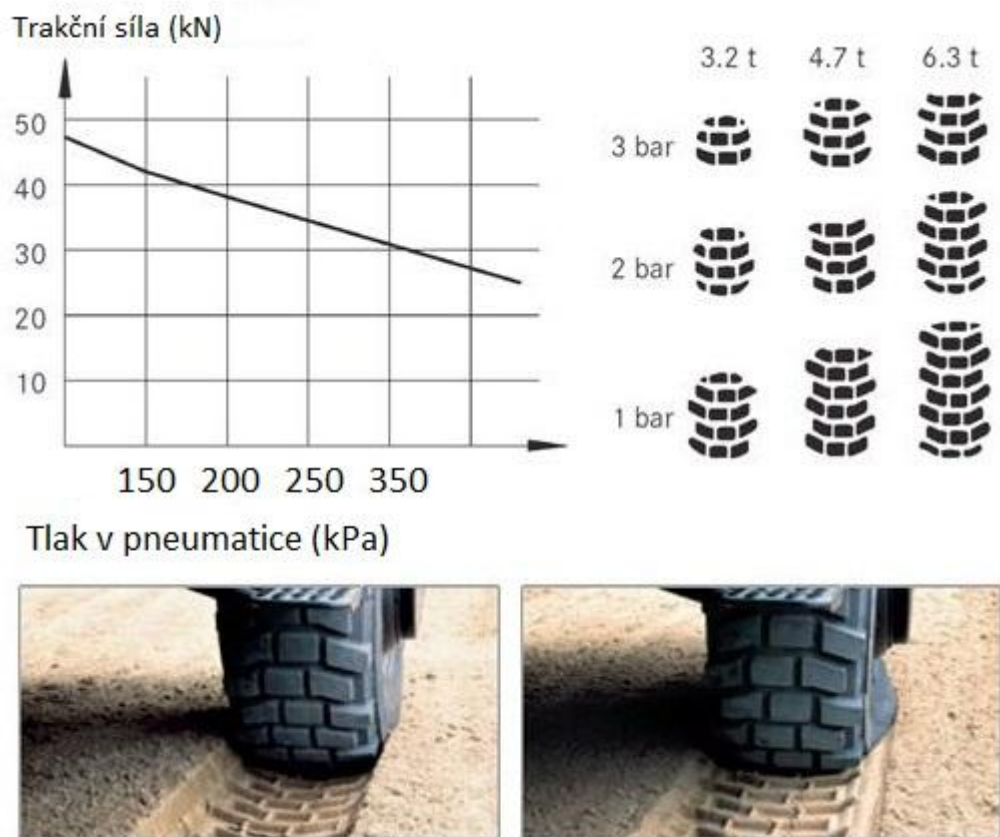
**Obr.14. Graf závislosti polohy rezonance torzních kmitů pneumatiky v závislosti na huštění. [19]**

Zde je graf závislosti nahuštění pneumatik a torzních kmitů. V grafu jsou zachyceny tři testovací jízdy s různými tlaky v pneumatikách. [19]

### 2.3. Centrální huštění pneumatik

Zkratka CTIS (Central Tire Inflation System) v překladu znamená systém centrálního huštění pneumatik. Toto zařízení se využívá především u armádních, zemědělských a popřípadě i terénních strojů.

Tento systém je výhodný zejména při udržování konstantního tlaku v případě poškození pneumatiky a při cíleném zvýšení nebo snížení tlaku v pneumatice. Snížením tlaku v pneumatice dojde ke zvětšení styčné plochy pneumatiky s podkladem a tím se sníží tlak na podklad, což je výhodné zejména v zemědělství, kde se snížením tlaku v pneumatikách sníží nežádoucí jev utužování půdy. Snížení tlaku v pneumatice také pomůže zvýšit trakční sílu a to až dvojnásobně, jak ukazuje následující graf.



**Obr.15. Graf zobrazující poměr tlaku v pneumatice a trakční síly pneumatiky. [10]**

Zvýšení tlaku v pneumatice snižuje spotřebu paliva a snižuje opotřebení pneumatik. Oba tyto aspekty se pozitivně projeví v nákladech na provoz stroje.

### 2.3.1. Historie CTIS

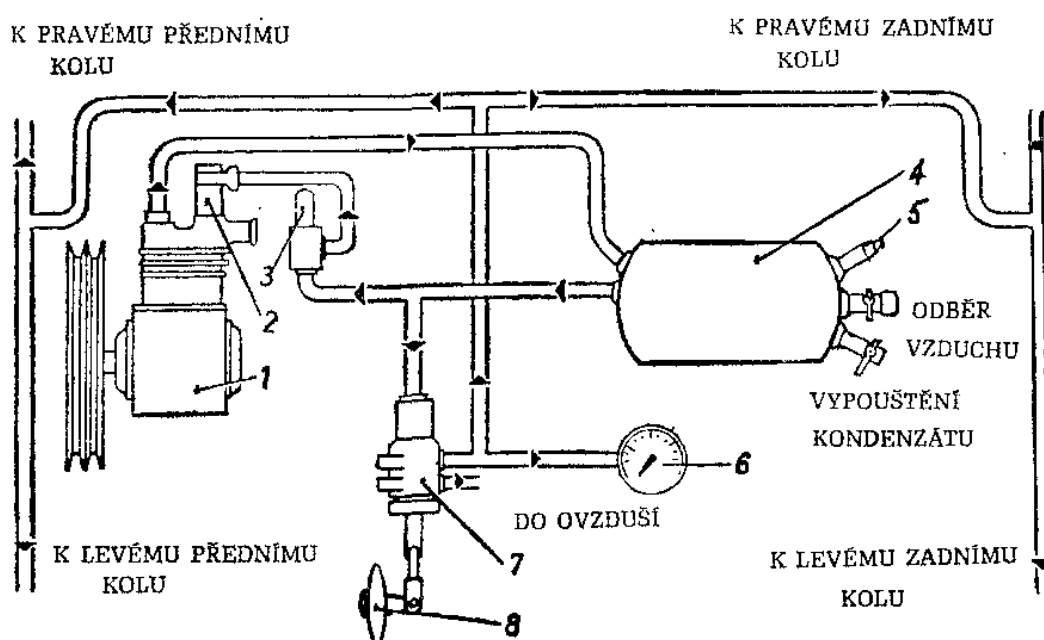
V minulosti byl CTIS označován jako CHP (Centrální Huštění Pneumatik). Tento druh regulace umožňoval kontrolovat a v závislosti na charakteru vozovky měnit z místa řidiče tlak vzduchu v pneumatikách u stojícího i jedoucího vozidla.

CHP byl využíván především u armádních vozidel jako například tatra 813 nebo lehký terénní automobil GAZ 66. Na příkladu vozidla GAZ 66 si Centrální huštění pneumatik popíšeme.

Tento systém byl vybaven pístovým kompresorem, který byl chlazený vzduchem a mazaný z mazací soustavy motoru. Potřebný tlak vzduchu byl udržovaný vyrovnávačem tlaku, který se skládal z regulátoru tlaku a odlehčovacího válce.

Regulátor tlaku automaticky udržoval tlak vzduchu vpouštěním vzduchu do odlehčovacího válce a jeho vypouštěním z válce. Při dosažení tlaku 490 až 540 kPa se tlakem vzduchu v odlehčovacím válci odtláčil sací ventil kompresoru a ten začal pracovat naprázdno. Pokud tlak v systému klesl na hodnotu 390 – 440 kPa, tak se kompresor opět uvedl v činnost.

Ovládací šoupátko bylo možné nastavit do třech poloh a to - „Zvýšení tlaku“ - „Neutrální poloha“ a „Snížení tlaku“.



**Obr.16. Schéma centrálního huštění pneumatik: 1 - kompresor; 2 - odlehčovací válec; 3 - regulátor tlaku; 4 - vzduchojem; 5 - pojistný ventil; 6 - tlakoměr; 7-ovládací šoupátko; 8-ovládací rukojeť [8]**

Vzduch z kompresoru postupuje potrubím do vzduchojemu, který je spojen potrubím s ovládacím šoupátkem. Po nastavení rukojeti do polohy „Zvýšení tlaku“ proudí vzduch ze vzduchojemu do pneumatik (při otevřených ventilech pneumatik). Nastavením rukojeti do polohy „Snížení tlaku“ se vzduch (při otevřených ventilech pneumatik) z pneumatik vypouští do atmosféry. Při přesunutí rukojeti do neutrální polohy zůstává vzduch ve vzduchojemu.

Tento systém byl náročnější na údržbu, protože vyžadoval mazání různých manžet a ucpávek, ale dokázal zajistit poměrně jednoduchou obsluhu z místa řidiče za jízdy. [8]

### **2.3.2 Dnes využívané CTIS**

Na světě jsou v dnešní době dva hlavní výrobci CTIS. Jednou je americká společnost Dana Corporation a druhou je Francouzská společnost Syegon. Dana Corporation vyrábí CTIS ve dvou verzích a to pro vojenské použití a pro komerční použití. [9]

Aby mohlo být kolo stále připojeno k přívodu vzduchu a přívod se vlivem otáčení neukroutil, je vzduch veden středem hnací hřídele. Na konci je vyveden z náboje kola a napojen na ventilek pneumatiky.

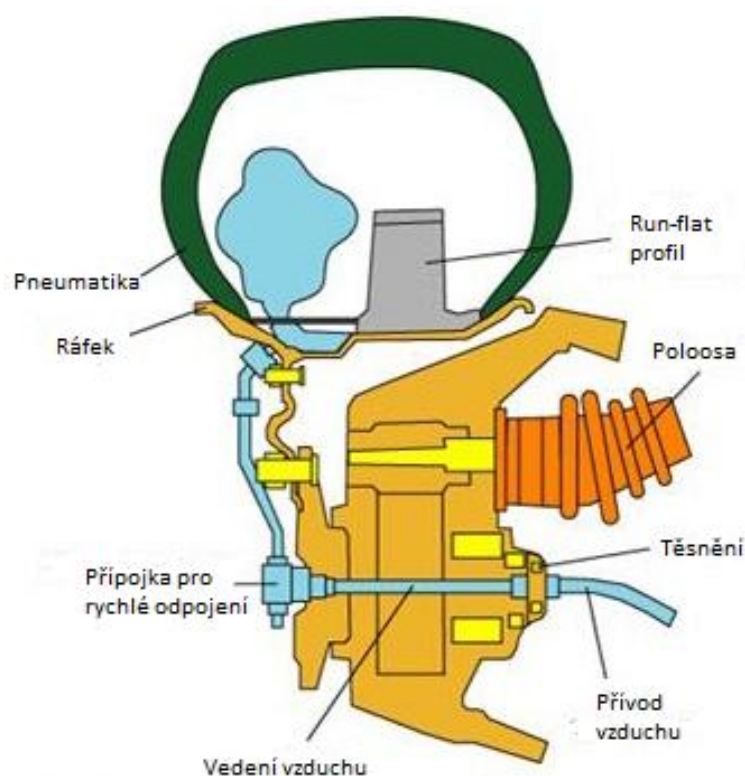
V každém kole je ventil. Pokud se jedná o dvojmontáž, ventil je připojen k vnějšímu kolu a tlak se mezi pneumatikami vyrovnává. Ve chvíli, kdy není systém využíván, ventil odděluje tlak v pneumatice od systému, čímž prodlužuje jeho životnost. [10]

Systém dále obsahuje elektronickou řídicí jednotku, která se obvykle montuje do kabiny vozidla. ECU zpracovává řidičovi požadavky, každých deset minut zkontroluje tlak v jednotlivých pneumatikách a dále řídí chod celého systému.

Na palubě je ovládací panel, kterým řidič tento systém ovládá. Na panelu je možné volit tlak v pneumatikách podle aktuálních podmínek, dále panel zobrazuje aktuální tlak v jednotlivých kolech a zvolený režim.

Pokud vozidlo jede rychleji je vhodné mít vyšší tlak v pneumatikách, proto je CTIS vyráběný společností Dana Corporation vybaven snímačem rychlosti, který předává údaje o rychlosti centrální řídicí jednotce. Pokud vozidlo po určitou dobu jede rychleji, tak systém automaticky zvýší tlak v pneumatikách na odpovídající tlak této rychlosti.

Tento systém využívá stejný kompresor, který dodává tlak do brzd. Proto je nutný tlakový spínač, který vždy upřednostňuje brzdy před CTIS. [9]



**Obr.17. Obrázek zobrazující přívod vzduchu do kola u vozidel Hummer. [9]**

Na výše uvedeném obrázku je zobrazené vedení vzduchu do pneumatiky. Vedení vzduchu jde od kompresoru skrz náboj kola do pneumatiky. Přípojka pro rychlé odpojení



je nutná z důvodu rychlé výměny kola, popřípadě výměny pneumatiky. Na obrázku je zobrazený Run-flat profil, který umožňuje jízdu i v případě, že pneumatika je velmi poškozená a kompresor není schopný udržet požadovaný tlak. Tento Run-flat profil je využíván například na vozidlech Hummer a je obvykle vyroben z umělé hmoty. [9]

## **2.4. Technické a legislativní požadavky TPMS**

### **2.4.1. Napájení**

Přímé systémy pro měření tlaku v pneumatikách běžně využívají napájení pomocí baterie typu Li-ion při napětí 3 V nebo NiMH baterie při napětí 1,25 V. Snímače umístěné v pneumatikách obvykle přenášejí údaje o tlaku do palubního počítače jednou za několik minut, aby se prodloužila životnost baterie, což samozřejmě není ideální.

U některých systémů přecházejí snímače do režimu spánku ve chvílích, kdy vozidlo není v pohybu, aby se minimalizovala spotřeba elektrické energie. Bohužel opětovné probuzení nastává až po rozjetí vozidla a během této chvíle je možné, že nastane situace, kdy řidič nebude včas informován o nedostatečném tlaku v pneumatice.

Další problém je nutná výměna baterie. Pokud majitel automobilu nechá baterii vyměnit až v případě, že bude vybitá, riskuje tak zvýšení nákladů v podobě nutného sejmutí a opětovného nasazení pneumatiky. Rozšířenější a zřejmě i lepší řešení je měnit baterii při každé výměně pneumatiky, ovšem toto řešení více zatěžuje životní prostředí těžkými kovy z baterií a i přes veškerou snahu US DOT NHTSA hodnocení ukazují, že baterie v TPMS systémech selže průměrně jednou za životní cyklus vozidla. [20]

#### **2.4.1.1. Bezbateriové systémy měření tlaku v pneumatikách**

Bezbateriové systémy mají řadu výhod oproti systémům napájeným z klasické baterie. U bezbateriových systémů odpadá výměna baterie a s tím spojené náklady na její výměnu. Výrobci využívající systém bez baterie udávají prakticky neomezenou životnost, zatímco životnost baterie se udává přibližně šest let. Dále odpadá problém s teplotou, při které je baterie schopna podávat požadovaný proud. Výrobce bezbateriových systémů ETV udává, že jejich produkt Visistyre funguje nezávisle na teplotě okolního prostředí.[11]

Z těchto důvodů se výrobci TPMS zaměřili na získávání energie z jiného zdroje, než jsou baterie. Jako funkční technologie se ukázalo získávání elektrické energie přeměnou z vibrací.

Ze zařízení se získává střídavý proud, který se dále přeměňuje na proud stejnosměrný. Experiment, který byl proveden na WayneState University, prokázal vyšší mechanickou odolnost zařízení s asymetrickou strukturou oproti piezoelektrickému modulu. Při experimentu dosáhli zajímavých hodnot. Získali energii  $47\mu\text{W}$  se závažím vázícím 21,6 gramů při rychlosti jízdy přibližně 80 km/h.[12]

#### **2.4.1.2 Piezoelektrická technologie napájení do TPMS**

Jedním z nejvíce populárních způsobů získávání energie pro systémy TPMS je piezoelektrický jev využívající Plumbum Zirconate Titanate sloučeniny. Piezoelectricita vyplývá ze schopnosti krystalů a některých keramických materiálů produkovat elektrický náboj v závislosti na mechanickém namáhání. Tento typ energie může být vyráběn uvnitř pneumatiky. Je možné ji ukládat do kondenzátoru a využívat ji k napájení TPMS.

Hlavní část úspěchu piezomateriálů pro TPMS spočívá v rozvíjení masového výrobního procesu, který umožňuje cenově výhodnou výrobu těchto zařízení. EoPlex technologie využívá jeden takový proces s pěti různými patentovanými materiály. Jeho cílem je vyvinout piezoelektrický snímač, který by byl velikosti mince, byl by levný a bylo by možné ho vložit do pneumatiky. Dále se snaží o to, aby byl tento snímač bezbateriový a odesílal informace do kabiny automobilu bezdrátově.

Proces 3D tištění zahrnuje tvrdý keramický vnější obal, piezoelektrický materiál k výrobě elektrické energie, řadu vodičů a kontaktů pro sběr elektrického náboje, přechodný materiál pro poskytnutí místa potřebného ke kmitání piezoelektrického materiálu a další specializované vodiče nebo dielektrika.

AdvancedCeramics vyvinula vlastní viskózní otáčející se proces pro výrobu téměř jakéhokoliv keramického materiálu do formy vláken. To může být využito k výrobě energie, sběru energie a ovládání zařízení pro různé aplikace, zahrnující systémy pro měření tlaku v pneumatikách. Tento patentovaný proces zpracovává různé průřezy vláken v širokém rozsahu průměrů od 15  $\mu\text{m}$  do 1,5 mm.

Procesní vlastnosti jsou založeny na čistém vyhoření, protože je to na celulózovém základu. Je to levná a kvalitní výrobní technologie. Transpondéry vyrobené pomocí technologie “viscose suspension spinning process“ byly úspěšně testované v silničním provozu ve vozidlech Honda Civic, Lincoln Navigator a Dodge Dakota.

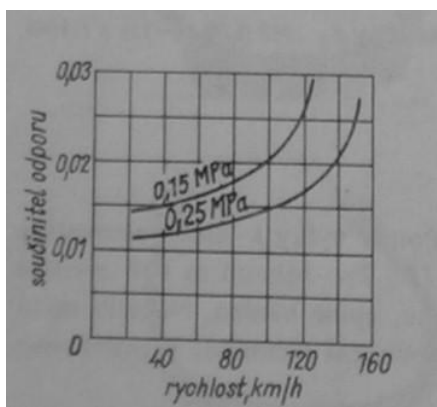
Průlom byl udělán v tom, že se vyrobil flexibilní piezoelektrický materiál. Předtím byl takový materiál křehký a nešel ohýbat. Nyní se výrobce tohoto materiálu zaměřuje na zlevnění technologie a na její prosazení v automobilovém průmyslu.

PiezoTAG Ltd. uvádí, že piezoelektrické TPMS představují další generaci ve snímání tlaku v pneumatikách a měření teploty v pneumatikách. Nabízejí bezbateriový provoz a získávání energie z vibrací v pneumatice, nikoliv z její rotace. Společnost také tvrdí, že tato technologie nabízí častější RF komunikaci (až každých 6 vteřin). Není ani potřeba žádných iniciátorů a podobných zařízení.[13]

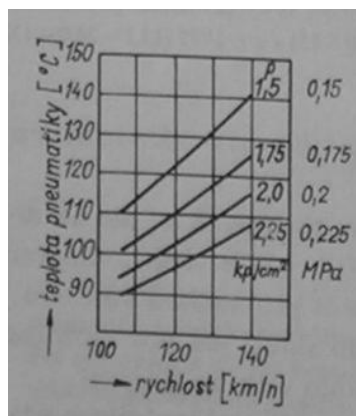
## 2.4.2. Legislativa a důvody povinného monitorování tlaku v pneumatikách osobních automobilů

Od 1. listopadu 2012 vstoupilo v platnost nařízení Evropské komise o povinném monitorování tlaku v pneumatikách u osobních automobilů, které budou nově homologované. Vozidla již homologována, toto nařízení postihne až od 1. listopadu 2014. Proto nejpozději od prvního listopadu 2014 budou všechny nové automobily v Evropské unii vybavené systémem pro monitorování tlaku v pneumatikách[14]

V nařízení stojí, že tyto předepsané systémy by měly řidiče varovat při podhuštění o 25 % předepsaného tlaku nebo dříve. Odborníci firmy Continental jsou ale jiného názoru. Podle nich by tato hranice měla být již 10 % ztráty předepsaného tlaku. Argumentují tím, že pokud systém bude člověka varovat až relativně pozdě, tak by se situace s tlakem v pneumatikách na silnicích mohla ještě zhoršit. Zavedení takovýchto systémů vede k nedbalosti řidičů. Ti se pak spolehnou jen na automatickou funkci automobilu a přestanou pravidelně kontrolovat tlak ručně. Ať je toto rozhodnutí správné nebo špatné, s největší pravděpodobností vstoupí v platnost.



Obr. 18. Vliv huštění pneumatiky a rychlosti na ztráty valením [16]



Obr.19. Vliv rychlosti a huštění pneumatiky na její teplotu. [16]

V USA bylo podobné nařízení přijaté již v roce 2000. Nařizuje pro všechny nové modely osobních automobilů od roku 2008 měřit tlak v pneumatikách. Podobně jako podle nařízení Evropské komise musí osobní automobily prodávané v USA varovat řidiče při podhuštění pneumatiky větším než 25 %.

Tato nařízení samozřejmě vedou k velkému rozmachu TPMS. Osobní automobily bez nich nebude možné prodávat a brzy se tyto systémy měření tlaku v pneumatikách stanou běžnou součástí všech osobních automobilů prodávaných v EU.[15]

Z níže uvedených diagramů jsou jasně patrné důvody sledování předepsaného tlaku v pneumatikách.

### **3. Závěr**

Práce je zaměřena na popis dnes využívaných systémů pro měření tlaku v pneumatikách (tzv. TPMS) formou literární rešerše.

U přímých systémů měření tlaku v pneumatikách je popsán plně integrovaný systém měření tlaku v pneumatikách - Freescale MPXY8300. Ten vyniká komplexností řešení a osobně vidím v jeho uplatnění velkou budoucnost.

Produkt Stack TPMS je určen pro závodní automobily a dal by se považovat za nositele technologie. Proti konkurenci vyniká hlavně použitím RFID zařízení, které by se mohlo rozšířit i do běžného provozu kvůli výměnám zimních pneumatik za letní. Další popsáný systém pro měření tlaku v pneumatikách je Moto – track, který je určený pro motocykly.

V následující kapitole jsou v této práci popsány TPMS pro nákladní automobily formou jednotlivých koncepcí umístění snímače na příkladech produktů od různých výrobců.

U nepřímých systémů měření tlaku v pneumatice jsou popsány dvě hlavní metody. První z nich je metoda otáčejícího se poloměru (tzv. konvenční metoda), která je využívána nejčastěji. Dále je popsána metoda využívající měření rezonanční frekvence pneumatiky, která je modernější a dnes často doplňuje konvenční metodu.

Dále je v práci popsán systém centrálního huštění pneumatik, kde je na příkladu vozidla Gaz 66 znázorněn historický vývoj této technologie. Mně osobně tento systém velmi imponuje díky své jednoduchosti a absenci jakékoliv elektroniky. Popis centrálního huštění pneumatik je dále popsán na moderních systémech centrálního huštění pneumatik, které jsou využívány v dnešní době.

V další části je popsána problematika napájení systémů pro měření tlaku v pneumatikách a jsou zde uvedeny dva hlavní způsoby napájení.

Mimo systémy pro monitorování tlaku v pneumatikách je v práci krátký popis nařízení, které vstoupilo v platnost 1. listopadu 2012 a nařizuje povinné využívání těchto systémů u automobilů homologovaných právě po tomto datu a dále nařizuje povinné používání těchto systémů ve všech osobních automobilech vyrobených po 1. listopadu 2014 bez ohledu na to, kdy byly homologovány. Myslím, že toto nařízení velmi ovlivňuje vývoj TPMS, protože všichni výrobci osobních automobilů musí tyto systémy začít používat do všech nově vyrobených automobilů.

## 4. Literatura

[1] Hawes, James; Fisher, John; Mercer, Todd (2008), *TirePressure Monitoring Systems Guide*, Mitchell, ISBN 1587181770.

[2] VOJÁČEK, Antonín. Plně integrovaný systém měření tlaku v pneumatikách - Freescale MPXY8300. *Hw.cz* [online]. 15.leden 2008 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/soucastky/plne-integrovaný-system-mereni-tlaku-v-pneumatikach-freescale-mpxy8300.html>

[3] *Stack TPMS: TyrePressure Monitoring Systems* [online]. 2011 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.stackltd.com/tpms.html>

[4] *MOTO-TRACK Motorcycle TPMS system* [online]. 2010 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.tpms.ca/MOTOTRACK.html>

[5] TPMS fortrucks: A lookat band-mounted, valve cap and valve stem extensionsystems. *MTD* [online]. 2007, č. 1 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.moderntiredealer.com/Article/Story/2007/10/TPMS-for-trucks-A-look-at-band-mounted-valve-cap-and-valve-stem-extension-systems/Page/1.aspx>

[6] TirePressure Monitoring Systems. *Tirerack* [online]. 2012 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.tirerack.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=44>

[7] DIFFUSION DEFLATION DETECTION USING WHEEL SPEED SIGNALS. *Nhtsa* [online]. 2001, č. 1 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-01/esv/esv19/05-0082-O.pdf>

- [8] ZVĚŘINA, Miroslav. PŘÍRUČKA pro řidiče lehkého terénního automobilu GAZ 66 a GAZ 66 K. Praha, 1977. ISBN 14589/1975. Dostupné z: [http://kaufner.webz.cz/soubory/gaz66/prirucka\\_gaz66.pdf](http://kaufner.webz.cz/soubory/gaz66/prirucka_gaz66.pdf)
- [9] How Self-inflating Tires Work. OBRINGER, Lee Ann. HowStuffWorks [online]. 2011 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://auto.howstuffworks.com/self-inflating-tire2.htm>
- [10] CTIS (Central Tire Inflation System). SAJDL, Jan. Autolexicon.net [online]. [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/ctis-central-tire-inflation-system/>
- [11] TheVisiTyreTMBatterylessAdvantage. *VisiTyre* [online]. 2010 [cit. 2012-04--8]. Dostupné z: <http://www.etv.com.au/BA.htm>
- [12] VIBRATION ENERGY HARVESTING DEVICE BASED ON ASYMMETRIC AIR-SPACED CANTILEVERS FOR TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM. *ProceedingsofPowerMEMS* [online]. 2009, č. 1 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: [http://cap.ee.ic.ac.uk/~pdm97/powermems/2009/pdfs/papers/104\\_0125.pdf](http://cap.ee.ic.ac.uk/~pdm97/powermems/2009/pdfs/papers/104_0125.pdf)
- [13] EnergyHarvestingLooks To SolveCritical TPMS Issues. *Electronic design* [online]. February 19, 2009 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://electronicdesign.com/article/power/energy-harvesting-looks-to-solve-critical-tpms-iss>
- [14] Pozdravy z Bruselu: monitorování tlaku v pneu od 1. listopadu povinně pro všechny. MIHÁLIK, Miro. *Autoforum* [online]. 2012 [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zivot-ridice/pozdravy-z-bruselu-monitorovani-tlaku-v-pneu-od-1-listopadu-povinne-pro-vsechny/>



- [15] Systém pro monitorování tlaku v pneumatikách bude povinný od roku 2012. *Auto.cz* [online]. 24.2.2009 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/system-monitorovani-tlaku-v-pneumatikach-povinny-roku-2012-5369>
- [16] MACKERLE, Julius. *Automobil dneška a zítřka*. Spálená 51, Praha 1: SNTL, 1977. ISBN 04-215-77.
- [17] TirePressure Monitoring System (TPMS). *Sullivantire* [online]. 2005 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.sullivantire.com/tires/tire-pressure-monitoring-system.aspx>
- [18] Transportsafety products. *Mobileawareness* [online]. 2008 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: [http://www.mobileawareness.com/product\\_detail.php?pid=146](http://www.mobileawareness.com/product_detail.php?pid=146)
- [19] IndirectTirePressure Monitoring Using Sensor Fusion. *Society ofAutomotiveEngineers* [online]. 2002, č. 1, s. 7 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.control.isy.liu.se/~fredrik/reports/02SAEtpi.pdf>
- [20] Other Energy Options Sought as the End of TPMS Battery Life Nears. CONSOLACION, Rudy. *TPMS Direct* [online]. 2012 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://tpmsdirect.wordpress.com/2012/04/13/www-tpmsdirect-2-2/>