



Pneumatická reaktivní stabilizace vozidel

The Pneumatic Reactiv Stabilization of Vehicles

autoreferát disertační práce

PRAHA 2016

AUTOR: Ing. Jan Hurtečák, MBA

Katedra: Elektrotechniky a automatizace

Školitel: prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.



TECHNICKÁ FAKULTA

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra elektrotechniky a automatizace



Pneumatická reaktivní stabilizace vozidel

The Pneumatic Reactiv Stabilization of Vehicles

Autoreferát doktorské disertační práce

Obor: Energetika

Vypracoval: Ing. Jan Hurtečák, MBA

Školitel: prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Praha 2016

Obsah:

1. Úvod	3
2. Cíle práce	4
3. Metody řešení	4
4. Výsledky disertační práce s uvedením nových poznatků	6
4.1. Praktický výpočet konkrétní navržené trysky	12
5. Vyhodnocení výpočtů z programu Matlab	13
6. Závěr	15
7. Seznam symbolů	16
8. Seznam odborné literatury	19
9. Summary	23
9.1 Key words	23
10. Publikační činnost ;	24

1. Úvod

Moderní dopravní prostředky jsou v dnešní době vybaveny mnoha prvky aktivní a pasivní bezpečnosti. Mezi základní patří systém ABS (protiblokovací systém – bývá ve výbavě jak u osobních automobilů, tak u nákladních vozidel a v posledních letech také u motocyklů). Tento protiblokovací systém je známý již od dvacátých let dvacátého století, ale jeho uvedení do praxe bránila tehdejší nižší technická a technologická úroveň výroby. Největší zájem tehdy měl letecký průmysl, první funkční pokus pojmenovaný Maxaret se objevil v padesátých letech a sestrojila jej britská společnost Dunlop.

V polovině šedesátých let se ABS objevilo v luxusním kupé FF (Ferguson Formula) dnes již zaniklé britské značky Jensen. Vzhledem ke značné složitosti, vysoké ceně, poměrně malé účinnosti a hlavně ryze mechanickému pojetí bylo brzy zřejmé, že tudy cesta k masivnímu rozšíření nepovede.

Automobily na silnici často mění směr (na rozdíl od přistávajících letadel) a tak je pohopitelné, že požadavky na funkčnost jsou v jejich případě vyšší, než u letadel, jakkoli je to u jiných zařízení zpravidla naopak.

Snaha automobilových výrobců ABS se tak od počátku sedmdesátých let upřela na prudce se rozvíjející elektroniku. Velmi aktivní byli v té době američtí výrobci, jmenovitě hlavně firma Chrysler. Ve spolupráci s firmou Bendix (známou například svým systémem v oblasti automobilových spouštěčů) vyvinul první elektronický protiblokovací brzdový systém s názvem Sure break. Bylo to integrované provedení a tento typ pracoval se třemi kanály a čtyřmi indukčními snímači. Od modelového roku 1971 byl doplňkovým vybavením na přání a za značný příplatek u luxusního modelu Imperial.

V polovině sedmdesátých let německý Bosch založil dceřinou společnost Teldix, která v roce 1978 uvedla na trh systém 2S. Firma Teldix při vývoji ABS spolupracovala se společností Mercedes – Benz a proto jako první vůz dostal jako součást příplatkové výbavy ABS typ S (W116) a postupně se rozšířil napříč modelovými řadami do všech typů automobilů.

Jen s nepatrným zpožděním začala ABS používat i firma BMW ve své řadě 7 (E23) a to dokonce v mírně vylepšené podobě. V první polovině osmdesátých let se pak systém ABS stal nejprve doplňkovým a postupně později standardním vybavením luxusních automobilů. V roce 1985 se stal sedan Ford Scorpio prvním sériově vyráběným automobilem na světě, který měl systém ABS v základní výbavě u všech verzí bez

ohledu na stát, ve kterém byl prodáván. Produkt však v tomto případě nepocházel od firmy Bosch, ale od společnosti Teves.

V současné době je protiblokovací systém povinnou výbavou všech nových vozidel prodávaných v Evropě – bez této bezpečnostní výbavy by nemohla úspěšně proběhnout homologace. K tomuto systému se jako rozvíjející prvky později vazebně elektronicky připojovaly další postupně vyvíjené části s nadstavbovými systémy, které dále zvyšují jízdní komfort, bezpečnost posádky vozidla i dalších okolních účastníků provozu na pozemních komunikacích.

Těmito dalšími prvky jsou zejména:

- BAS (brzdový asistent) – rozeznává nouzové situace a zajišťuje plný brzdný účinek
- ASR (protiskluzový systém) – zabraňuje protáčení kol při rozjezdu a akceleraci
- EMS (elektronické řízení výkonu motoru) – snižuje točivý moment motoru, dokud poháněná kola nezískají plnou adhezi
- MSR (regulace záběrového momentu motoru) - brání smyku při brzdění motorem
- ESP (regulace dynamiky jízdy) – zabraňuje smyku vozidla

Ve své disertační práci se zabývám zcela novou myšlenkou, zapojitelnou do stávajících systémů elektronické stabilizace vozidel jako nadstavba nad současné ryze adhezní provedení, které je zřejmě na vrcholu svých možností.

Jedná se o systém pneumatické stabilizace vozidel, tedy o využití silně stlačeného vzduchu, cíleně vyfukovaného v rozích karoserie z trysek v krátkých, řídicí jednotkou přesně definovaných intervalech. Tento stlačený vzduch se získává pomocí kompresoru přímo ve vozidle.

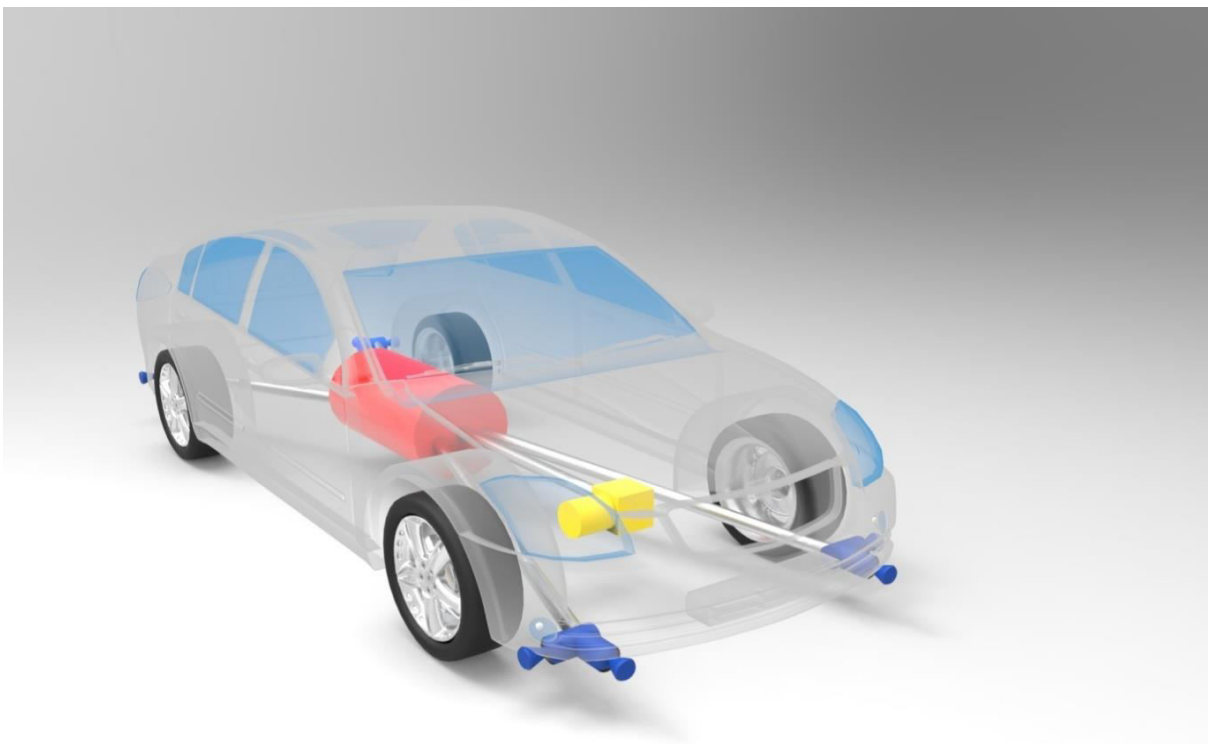
2. Cíle práce

1. Provést přehled a zhodnocení možností současných systémů stabilizace vozidla.
2. Teoreticky navrhnout pneumatický systém stabilizace vozidla spolupracující s ESP.
3. Teoreticky spočítat parametry trysky a korekční sílu získanou v jednotlivých diferenčních krocích činnosti pneumatického systému při stabilizaci vozidla.
4. Vyhodnotit možnosti navrženého pneumatického systému stabilizace vozidla.

3. Metody řešení

Novým trendem ve vývoji a možnou nadstavbou k výše popsanému adheznímu bezpečnostnímu systému může být pneumatická stabilizace vozidel. Jde o myšlenku využití Newtonova zákona akce a reakce pomocí silně stlačeného vzduchu a trysek umístěných v rozích karoserie blízko kol, kterými by se v kritické chvíli dalo krátce a prudce vyfouknout určité množství vzduchu. Získaná korekční síla bude působit proti odstředivé síle a pomůže udržet vozidlo v původní dráze.

Potřebné komponenty jsou: Zásobník stlačeného vzduchu, tlakové potrubí k tryskám, vlastní trysky u kol, rychlé ventily u trysek, vysokotlaký kompresor a napojení na řídicí jednotku stávajícího ESP. Navigace ve vozidle může být konstruována tak, aby dokázala porovnat poloměr blížící se zatáčky s aktuální rychlostí vozidla a tak v součinnosti s dalšími senzory (především vnější teplota a vlhkost) rozpoznat dopředu hrozbu kolizní situace..



Obr.1 Schématický nákres uspořádání komponentů ve vozidle

Červenou barvou je označen tlakový zásobník stlačeného vzduchu umístěný v těžišti vozidla, žlutě vysokotlaký kompresor, bíle tlaková potrubí a modře trysky v rozích karoserie. Jejich

umístění do stran umožňuje hlavně korekci začínajícího smyku, umístění směrem před vozidlo může pomoci také při rozpoznání hrozícího nárazu do překážky (tyto radarové bezpečnostní systémy jsou již součástí některých vozidel) a trysky směřované dozadu mohou pomoci při zapadnutí např. do sněhu nebo při potížích s vyjetím zledovatělého úseku v prudkém kopci, za jistých okolností (dostatečná vzdálenost od vzadu jedoucího vozidla) také při akceleraci automobilu.

4. Výsledky disertační práce s uvedením nových poznatků

Obecný postup výpočtu (seznam použitých symbolů je v kapitole 7 na str. 16)

Počáteční stav v tlakové nádobě

$$V_{0c}, p_{0c}, T_{0c}, \rho_{0c}$$

$$\text{Platí } m_0 = V_0 \cdot \frac{p_0}{T_0} ; \quad \rho_0 = \frac{p_0}{r \cdot T_0}$$

kde

m_0 (m^3) = celkové množství stlačeného vzduchu v tlakové nádobě a v potrubí (je dáno součinem objemu vzduchu a celkové hustoty)

$$w_{krit} = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot (T_0 - T_{krit})} = \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T_{krit}} \quad (1)$$

kde

a ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) = obecná rychlost zvuku (v tomto případě = w_{krit})

$$\dot{m} = m_{krit} = A_{krit} \cdot w_{krit} \cdot \rho_{krit} \quad (2)$$

Potom

$$a_{krit} = w_{krit} = \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T_{krit}} = \sqrt{2 \cdot c_p (T_{0c} - T_{krit})}$$

$$\kappa \cdot r \cdot T_{krit} = 2 \cdot c_p \cdot (T_{0c} - T_{krit})$$

$$\kappa \cdot r = 2 \cdot c_p \left(\frac{T_{0c}}{T_{krit}} - 1 \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_{0c}}{T_{krit}} &= \frac{\kappa \cdot r}{2 \cdot c_p} + 1 = \frac{\kappa \cdot (c_p - c_v) + 2 \cdot \kappa}{2 \cdot c_p} = \\ &= \frac{\kappa \cdot (\kappa - 1) + 2 \cdot \kappa}{2 \cdot \kappa} = \frac{\kappa - 1 + 2}{2} = \frac{\kappa + 1}{2} = 1,2 \end{aligned}$$

Dále

$$Q_{krit} = \frac{p_{krit}}{r \cdot T_{krit}} \quad (3)$$

$$\frac{T_{0c}}{T_2} = \left(\frac{p_{0c}}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \Rightarrow T_2 = T_{0c} \left(\frac{p_2}{p_{0c}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

$$\frac{w_2^2}{2} = c_p \cdot (T_{0c} - T_2) = c_p \cdot T_{0c} \left(1 - \frac{T_2}{T_{0c}} \right)$$

$$\frac{w_2^2}{2} = c_p \cdot T_{0c} \left[1 - \frac{p_2^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{p_{0c}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \right] \quad (4)$$

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot T_{0c} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_{0c}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]} = \sqrt{2 \cdot \frac{c_p}{r} \cdot \frac{p_{0c}}{Q_{0c}} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_{0c}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_{0c}}{\rho_{0c}} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_{0c}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]} \quad (5)$$

Rychlost zvuku $a = \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T}$ (6)

$$a_{krit} = \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T_{krit}}$$

Výstupní rychlost vzduchu

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot C_p \cdot (T_0 - T_2)} \quad (7)$$

Pro tlak v kritickém místě p_{krit} pak platí

$$p \cdot v^\kappa = \text{konst.}$$

kde

v ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) = měrný objem

Dále s uvažováním stavové rovnice ideálního plynu $p \cdot v = r \cdot T$ získáme

$$\frac{p_0}{p_{krit}} = \left(\frac{T_0}{T_{krit}} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \quad (8)$$

V kritickém průřezu je následující stav

$$T_{krit} = T_{0c} \cdot \frac{2}{\kappa + 1} \quad (9)$$

$$p_{krit} = p_{0c} \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \quad (10)$$

$$\rho_{krit} = \frac{1}{V_{krit}} = \frac{p_{krit}}{r \cdot T_{krit}} = \frac{p_{0c}}{r \cdot T_{0c}} \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \quad (11)$$

Množství vzduchu, který proteče tryskou

$$\dot{m} = A_{krit} \cdot \sqrt{\kappa \cdot r \cdot T_{krit}} \cdot \varrho_{krit} = A_{krit} \cdot \sqrt{\kappa \cdot r \cdot \frac{\kappa}{\kappa-1} \cdot T_{0c}} \cdot \varrho_{krit} \quad (12)$$

kde

\dot{m} (kg · s⁻¹) = hmotnostní tok

A (m²) = průřez trysky

Pro další výpočty za časový okamžik uvažujeme

$$t = t_0 + \Delta t$$

Po aplikaci rovnice adiabaty

$$p_0 \cdot V_{0c}^\kappa = (p_{0c} - \Delta p) \cdot (V_{0c} + \Delta V)^\kappa \quad (13)$$

Pro další výpočty si volíme $\Delta V = 0,01 \text{ m}^3$

1. Krok $t = t_0$, $V = V_0$, $p = p_0$
2. Krok $t + \Delta t$, $V = V_0 + \Delta V$, $p = p_0 - \Delta p$

Dle stavové rovnice $\Delta m = \Delta V \cdot \varrho_0 = \Delta t \cdot \dot{m}_{krit} \Rightarrow \Delta t \frac{\Delta m}{\dot{m}_{krit}}$

V dalším kroku výpočet opakujeme s novými hodnotami

$$t_{i+1} = t_i + \Delta t_{i+1}$$

$$p_{i+1} = p_i - \Delta p_{i+1}$$

$$T_{i+1} = T_i - \Delta T_{i+1}$$

$$t_{i+2} = t_{i+1} + \Delta t_{i+2}$$

$$p_{i+2} = p_{i+1} - \Delta p_{i+2}$$

$$T_{i+2} = T_{i+1} - \Delta T_{i+2}$$

Výtok z trysky w_2 je rychlost, při které expanze vzduchu v průřezu A_2 klesne na tlak atmosférický $p_2 = p_e$. Při výtoku z trysky při jednotlivých diferenciálních krocích, kdy tryskou proteče množství Δm vzduchu odpovídající zvětšení objemu v tlakové nádobě o Δv , (jde o virtuální zvětšení objemu při tlaku a teplotě vzduchu v tlakové nádobě), průběžně klesá tlak a teplota v tlakové nádobě při respektování adiabatické změny stavu. Z toho plyne, že s poklesem teploty a tlaku vzduchu v tlakové nádobě s časem bude současně klesat tlak a rychlost proudění v celé trysce. Vzhledem k tomu, že tryska má pevný geometrický tvar, znamená to, že v první fázi expanze bude tlak p_2 ve výstupním průřezu trysky větší, než je tlak atmosférický a z toho důvodu bude výtoková rychlost nižší, než by byla při dokonalé expanzi. Reaktivní síla trysky je v tomto případě dána součtem toku hybnosti vzduchu ve výstupním průřezu a tzv. tlakem tahu daného jako součin výstupního průřezu trysky A_2 a rozdílu tlaků na trysce a v atmosféře $p_2 - p_e$.

Při poklesu tlaku a teploty v tlakové nádobě nastane případ, kdy tlak p_2 bude roven tlaku p_e a tryska bude pracovat s maximální účinností. Při dalším poklesu tlaku a teploty v tlakové nádobě dojde k jevu, který je označován jako přeexpandovaná tryska, kde vzduch v trysce před výstupem z trysky má nižší tlak, než je tlak p_e , ale vyšší rychlost, než by odpovídalo ideální expanzi. Tento děj je provázen řadou rázových vln a energetickými ztrátami. V práci je navržena tryska s optimální geometrií, která je výhodná pro co největší účinnost trysky s uvážením výše uvedeného jevu tak, aby tryska plnila svoji úlohu nejlépe v první fázi výfuku vzduchu při začínající pneumatické stabilizaci vozidla, kdy jsou síly největší.

Z rovnice kontinuity

$$\dot{m} = m_{krit} = A \cdot w \cdot \rho = A_2 \cdot w_2 \cdot \rho_2$$

s využitím

$$T_2 = T_0 \cdot \left(\frac{p_e}{p_{0c}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

$$\rho_2 = \frac{p_2}{r \cdot T_2}$$

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot (T_0 - T_2)}$$

bude výstupní průřez trysky A_2

$$\dot{m}_{krit} = A_2 \cdot \rho_2 \cdot w_2 \Rightarrow A_2 = \frac{\dot{m}_{krit}}{\rho_2 \cdot w_2} \quad (14)$$

Výsledná korekční síla vyfukovaného stlačeného vzduchu v první fázi expanze (podexpandovaná tryska)

$$F = \dot{m} \cdot w_2 + A_2 \cdot (p_2 - p_e) \quad (15)$$

kde

F (N) = získaná korekční síla

V případě ideální expanze platí

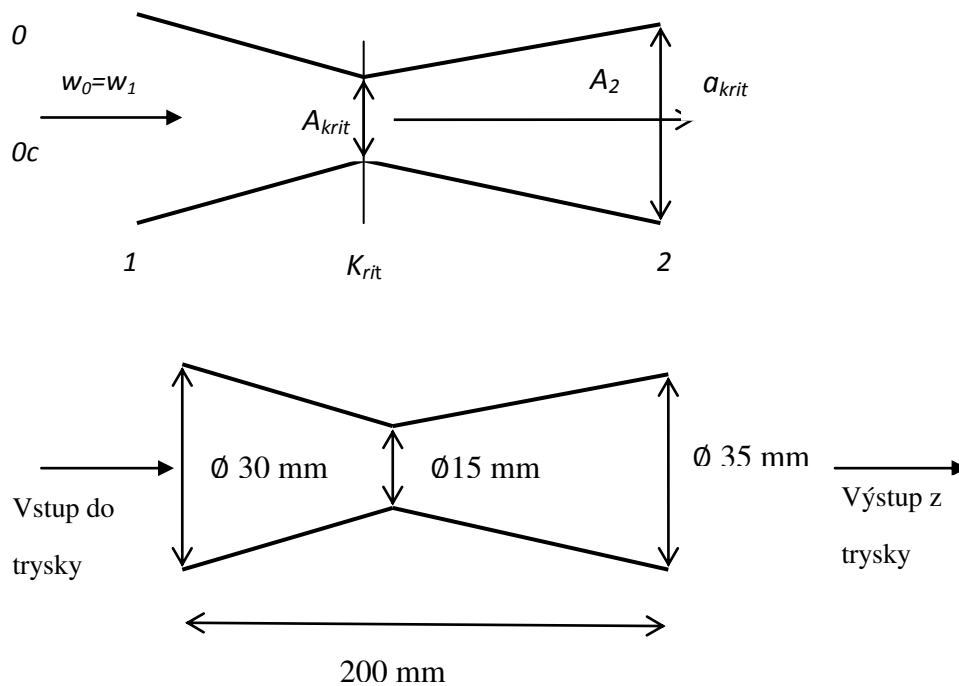
$$F = \dot{m} \cdot w_2 \quad (16)$$

V případě přeexpandované trysky platí

$$F = \dot{m} \cdot w'_2 \quad (17)$$

kde

w'_2 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) = myšlená rychlost při ideální expanzi na tlak p_e

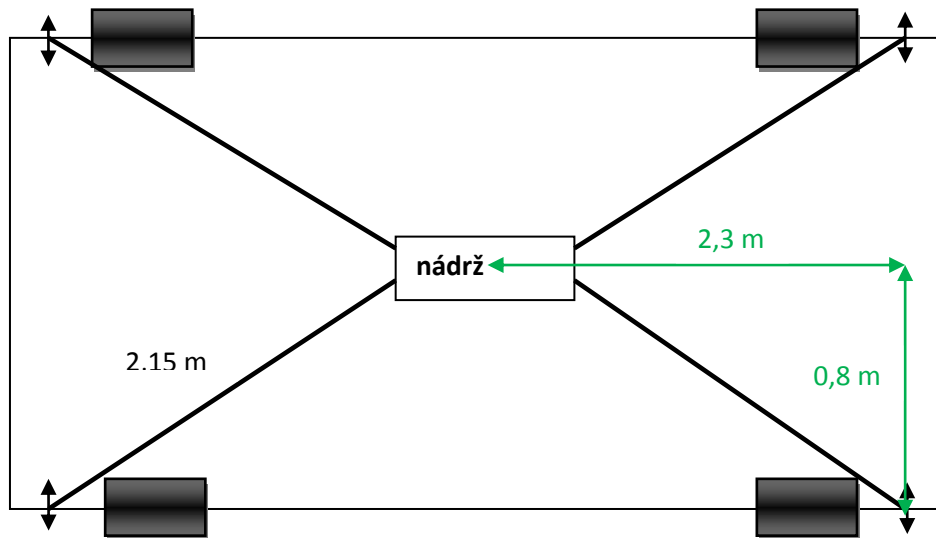


Obr. 2 Návrhové rozměry trysky

4.1. Praktický výpočet konkrétní navržené trysky

Vstupní podmínky:

- Tlak v nádobě $p = 155 \text{ barů} \rightarrow 15,5 \text{ MPa}$
- Objem nádoby $V = 50 \text{ l} = 0,05 \text{ m}^3$
- Objem potrubí $V = 0,0061 \text{ m}^3$
- Vnitřní průměr potrubí $0,03 \text{ m}$
- Teplota vzduchu $50 \text{ °C} \rightarrow 323 \text{ K}$
- Ventily umístěny u trysek
- Diferenční krok $dV = 0,01 \text{ m}^3$
- Hmotnost vozidla $m = 1000 \text{ kg}$
- Rychlost vozidla $v = 80 \text{ kmh}^{-1} = 22,2 \text{ ms}^{-1}$
- Poloměr zatáčky $r = 50 \text{ m}$



Obr. 3 Schéma umístění komponentů s tlakovou nádrží v těžišti vozu

5. Vyhodnocení výpočtů z programu Matlab

Výsledky, získané v programu Matlab, jsou zpracovány do následujících tabulek a jejich hodnoty jsou zaokrouhleny na tři platná místa, což odpovídá třídě přesnosti kvalitních měřících přístrojů.

Veličiny jsou postupně uváděny zleva doprava, jak stlačený vzduch prochází tryskou.

- Index "0" = veličiny vstupující do trysky
- Index "krit" = veličiny v kritickém, tedy nejužším místě trysky
- Index "2" = veličiny na výstupu z trysky
- Veličina " d_m " = hmotnost vzduchu proteklého tryskou za diferenční krok
- Veličina " d_t " = čas, po který tento diferenční krok trvá
- Veličina F = síla získaná v jednotlivém diferenčním kroku
- Veličina F_{celk} = postupný součet všech získaných korekčních sil
- Veličina t_{celk} = celkový čas všech deseti diferenčních kroků

Tab. 1. Tlak v tlakové nádobě 15,5 MPa, teplota 323 K

	p_o (Pa)	T_o (K)	m_{krit} (kg · s ⁻¹)	w_{krit} (m · s ⁻¹)	T_{krit} (K)	p_{krit} (Pa)	w_2 (m · s ⁻¹)	T_2 (K)	d_m (kg)	d_t (s)	F (N)	F_{celk} (N)	t_{celk} (s)
1	1,55*10⁷	323	5,15	329	269	8,19*10⁶	704	76	1,67	0,32	1,18*10³	1,18*10³	0,32
2	1,23*10⁷	303	4,23	318	252	6,51*10⁶	674	76	1,42	0,34	0,96*10³	2,14*10³	0,66
3	1,01*10⁷	286	3,57	309	238	5,34*10⁶	649	76	1,23	0,35	0,80*10³	2,94*10³	1,00
4	8,51*10⁶	272	3,08	302	227	4,50*10⁶	628	76	1,08	0,35	0,68*10³	3,62*10³	1,36
5	7,30*10⁶	260	2,70	295	217	3,86*10⁶	609	76	0,98	0,36	0,59*10³	4,21*10³	1,72
6	6,35*10⁶	250	2,40	290	209	3,36*10⁶	592	76	0,88	0,37	0,52*10³	4,73*10³	2,09
7	5,60*10⁶	242	2,15	284	201	2,96*10⁶	576	76	0,81	0,38	0,47*10³	5,20*10³	2,46
8	4,99*10⁶	234	1,95	280	195	2,63*10⁶	563	76	0,74	0,38	0,42*10³	5,62*10³	2,85
9	4,48*10⁶	227	1,78	275	189	2,37*10⁶	550	76	0,69	0,39	0,38*10³	6,00*10³	3,23
10	4,06*10⁶	220	1,63	272	184	2,14*10⁶	538	76	0,54	0,39	0,29*10³	6,29*10³	3,63
									10,0	3,63			

Tab. 2 Vypočtené ideální průměry na konci trysky v závislosti na tlaku vzduch v tlakové nádobě v jednotlivých krocích výpočtu

Tlak v nádrži (Mpa)	Ideální průměr na konci trysky (mm)									
	15,5	45,5	42,2	39,5	37,3	35,5	33,9	32,5	31,3	30,3

Z těchto údajů byl zvolen výstupní průměr trysky 35 mm jako kompromis s ohledem na vyšší účinnost trysky ve střední části uvažovaného časového intervalu celkového výfuku vzduchu z tlakové nádrže.

Závislost odstředivé síly na poloměru zatáčky

$$F_{odsř} = m \cdot \frac{v^2}{r} = 9877 \text{ N}$$

Kde m – hmotnost vozidla

v – rychlost vozidla

r – poloměr zatáčky

6. Závěr

Tato disertační práce obsahuje mojí zcela novou myšlenku nadstavby současných ryze adhezních způsobů řešení stabilizace vozidel při jejich začínajícím smyku pomocí pneumatického stabilizačního systému umístěného ve vozidle. Výhodou je snadné zakomponování do činnosti stávajících systémů ESP, které jsou řízeny centrální výkonnou řídicí jednotkou.

Pomocí praktických výpočtů byla ověřena myšlenka praktického využití s pozitivními výsledky – byly získány odpovědi na základní otázku: Jak velké odstředivé síly vznikající při průjezdu vozidla zatáčkou zvoleného poloměru danou rychlostí je možno tímto pneumatickým způsobem kompenzovat v technických a technologických mantinelech současnosti?

V modelovém případě (hmotnost vozidla 1000 kg, rychlost 80 km/hod a poloměr zatáčky 50m) vychází odstředivá síla působící na vozidlo 9877 N.

Jako hlavní variantu jsem zvolil vstupní tlak v tlakové nádobě ve vozidle 15,5 MPa a teplotu 323 K, která je prakticky snadno dosažitelná.

Maximální dosažitelná velikost kompenzační síly generované výše popsáním a navrženým pneumatickým systémem proti síle odstředivé u jedoucího vozidla je v tomto modelovém případě 6283 N, (tab. 1 na str. 14), což je 63,61 % vypočtené odstředivé síly působící na vozidlo.

Získaný výsledek je výborně využitelnou hodnotou, neboť dává velmi široké mantinely pro možnosti praktického využití s korekcemi odstředivých sil v reálném čase. Navíc je zřejmé, že adhezivní síla na jednotlivých kolech (zvláště při použití zimních pneumatik) nikdy nebude nulová a to ani při zcela zledovatělém povrchu vozovky.

Po prostudování vypočtených výsledků je nutno pro praktické využití doporučit sušení nasávaného vzduchu do kompresoru, neboť výstupní teploty na trysce jsou nízké a hrozilo by její zamrzání v důsledku vzdušné vlhkosti běžně ve vzduchu obsažené.

7. Seznam symbolů

R (Ω) = elektrický odpor

ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) = hustota

l (m) = délka

S (m^2) = průřez

R_0 = odpor tenzometru bez mechanického zatížení

ΔR = přírůstek odporu tenzometru při poměrném prodloužení ϵ

k = konstanta vyjadřující vlastnosti tenzometru (jeho citlivost)

k_1, k_2 jsou konstanty vyjadřující vlastnosti tenzometru, tedy jeho citlivost

v ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) = měrný objem

p (Pa) = tlak

ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) = hustota

g ($\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$) = tíhové zrychlení

h (m) = potenciální výška

P (J) = tlaková energie

κ = Poissonova konstanta (pro vzduch má hodnotu 1,4)

i_c = celková entalpie plynu

c_p ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) = měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku (pro vzduch = $717 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T_c (K) = celková teplota plynu

T (K) = statická teplota

u (J) = vnitřní energie plynu

c_v ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) = měrná tepelná kapacita při stálém objemu (pro vzduch = $1004 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

r ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) = plynová konstanta (pro vzduch = $287,04 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

i = statická entalpie plynu

p_e = atmosférický tlak

s = entropie

m_0 (m^3) = celkové množství stlačeného vzduchu v tlakové nádobě a v potrubí (je dáno součinem objemu vzduchu a celkové hustoty)

V (m^3) = objem

w ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) = rychlost

a ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) = obecná rychlost zvuku

\dot{m} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) = hmotnostní tok

A (m^2) = průřez trysky

$A_{krit} (m^2) =$ průřez trysky v kritickém (nejužším) místě

$A_2 (m^2) =$ výstupní průřez trysky

$F (N) =$ síla

$w_2 (m \cdot s^{-1}) =$ myšlená rychlost při ideální expanzi na tlak p_e

$P_0 (Pa) =$ počáteční tlak v tlakové nádobě

$V_0 (Pa) =$ počáteční objem v tlakové nádobě

$T_0 (Pa) =$ počáteční teplota v tlakové nádobě

$\rho_0 (kg \cdot m^{-3}) =$ počáteční hustota vzduchu v tlakové nádobě

$T_{krit} (K) =$ teplota v kritickém/nejužším místě trysky

$m_{krit} (kg) =$ hmotnostní úbytek v kritickém/nejužším místě trysky

$w_{krit} (m \cdot s^{-1}) =$ rychlost v kritickém (nejužším) místě trysky

$a_{krit} (m \cdot s^{-1}) =$ rychlost zvuku v kritickém (nejužším) místě trysky

$p_{krit} (Pa) =$ tlak v kritickém (nejužším) místě trysky

$\rho_{krit} (kg \cdot m^{-3}) =$ hustota v kritickém (nejužším) místě trysky

$V_{krit} (m^3) =$ objem v kritickém (nejužším) místě trysky

$T_2 (K) =$ výstupní teplota z trysky

$d_m (m^3) =$ hmotnost vzduchu proteklého tryskou za diferenční krok

$d_t (s) =$ čas diferenčního kroku

$F_{celk} (N) =$ součet všech získaných korekčních sil

$t_{celk} (s) =$ celkový čas všech deseti diferenčních kroků

$F_{odstř} (N) =$ odstředivá síla

8. Seznam odborné literatury

- [1] Zhao, LH, Fan, AM, Qin, L: *The Optimization Research on Vehicle ESP Control Strategy* Edited by: Yarlagadda, P, Kim, YH MECHATRONICS AND INDUSTRIAL INFORMATICS, PTS 1-4 Book Series: Applied Mechanics and Materials Volume: 321-324 Pages: 1548-1553 Published: 2013 ISSN: 1660-9336
- [2] Zhao, J, Zhang, J, Zhu, B: *Development and Verification of the Tire/Road Friction Estimation Algorithm for Antilock Braking System* MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING Article Number: 786492 Published: 2014 ISSN: 1024-123X
- [3] Xia, CG, Wang, JL, Edited by: Yuan, L: *A Study of Vehicle Dynamics Stability Based on Fuzzy Control* MEMS, NANO AND SMART SYSTEMS, PTS 1-6 Book Series: Advanced Materials Research Volume: 403-408 Pages: 5107-5111 Published: 2012 ISSN: 1022-6680
- [4] PARK, JH, Ho, KS: *A Study on Improving Driving Stability System by Yaw Moment Control* 요우모멘트를통한주행안정성향상제어알고리즘에관한연구 JOURNAL OF THE KOREA INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING 한국정보통신학회논문지 Volume: 10 Issue: 2 Pages: 392-397 Published: 2006 ISSN: 2234-4772
- [5] Berlemann, M, Matthes, A: *Positive externalities from active car safety systems A new justification for car safety regulations* JOURNAL OF POLICY MODELING Volume: 36 Issue: 2 Pages: 313-329 Published: MAR-APR 2014 ISSN: 0161-8938
- [6] Zhao, JZ, Zhang, L, Zhang, ZF, Wang, GY, Chen, Y, Edited by: Liu, XH; Zhang, KF; Li, MZ: *The Vehicle Stability Test System Based on Active Brake Control for Overturning Prevention* MANUFACTURING PROCESS AND EQUIPMENT, PTS 1-4 Book Series: Advanced Materials Research Volume: 694-697 Pages: 1340-1348 Published: 2013 ISSN: 1022-6680
- [7] Zhang, L, Wang, GY, Yu, FZ, Zhang, ZF, Edited by: Wang, PC; Liu, XD; Han, YQ: *The vehicles ESP safe test system based on aid wheels breaking control vehicle system* ADVANCED DESIGNS AND RESEARCHES FOR MANUFACTURING, PTS 1-3 Book Series: Advanced Materials Research Volume: 605-607 Pages: 1710-1716 Published: 2013 ISSN: 1022-6680
- [8] Wang, DJ, Wang, YY, Feng, HH, Wang, LH, Liu, C, Edited by: Xu, LL, Tian, WY, Mao, E: *The Optimization of Braking Force Distribution Control Strategy for ESP System* INFORMATION ENGINEERING FOR MECHANICS AND MATERIALS

- SCIENCE, PTS 1 AND 2 Book Series: Applied Mechanics and Materials Volume: 80-81 Pages: 1065-1069 Part: 1-2 Published: 2011 ISSN: 1660-9336
- [9] Markkula, G; Benderius, O; Wahde, M: *Comparing and validating models of driver steering behaviour in collision avoidance and vehicle stabilisation* VEHICLE SYSTEM DYNAMICS Volume: 52 Issue: 12 Pages: 1658-1680 Published: DEC 2 2014 ISSN: 0042-3114
- [10] Li, SK, Yang, LX, Gao, ZY, Li, KP: *Stabilization strategies of a general nonlinear car-following model with varying reaction-time delay of the drivers* ISA TRANSACTIONS Volume: 53 Issue: 6 Pages: 1739-1745 Published: NOV 2014 ISSN: 0019-0578
- [11] Vogelgesang, B, Bauer, C, Rettig, R, Edited by: Valldorf, J, Gessner, W: *Performance of GMR-elements in sensors for automotive application* Conference: 9th International Forum on Advanced Microsystems for Automotive Application Location: Berlin, GERMANY Date: MAR 16-18, 2005 Advanced Microsystems for Automotive Applications 2005 Pages: 435-446 Published: 2005
- [12] Chretien, B, Holzmann, F, Glasser, N, Glaser, S, Mammar, S: *Development and assessment of the cooperation between drive line and stability control* IEEE2010 AMERICAN CONTROL CONFERENCE Book Series: Proceedings of the American Control Conference Pages: 6133-6138 Published: 2010 ISSN: 0743-1619
- [13] Cristian, P, Catalina, M, Edited by: Lupulescu, NB, Lepadatescu, D, Mastorakis, NE: *Intelligent Safety Systems* Conference: 1st International Conference on Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems Location: Transilvania Univ Brasov, Brasov, ROMANIA Date: SEP 24-26, 2009 ADVANCES IN MANUFACTURING ENGINEERING, QUALITY AND PRODUCTION SYSTEMS, VOL II Book Series: Mathematics and Computers in Science and Engineering Pages: 420-425 Published: 2009
- [14] Schindler, V: *Future driver assistance systems* Conference: 6th International VDI Congress on Car Safety Location: Berlin, GERMANY Date: OCT 18-19, 2007 CAR SAFETY 2007: INNOVATIVE OCCUPANT AND PARTNER CRASH PROTECTION Book Series: VDI BERICHTE Volume: 2013 Pages: 19-33 Published: 2007
- [15] Jarasuniene, A, Jakubauskas, G: *Improvement of road safety using passive and active intelligent vehicle safety systems* TRANSPORT Volume: 22 Issue: 4 Pages: 284-289 Published: 2007

- [16] Willig, R, Morbe, M, Edited by: Valldorf, J, Gessner, W: *New generation of inertial sensor cluster for ESP- and future vehicle stabilizing systems in automotive applications* Conference: 7th International Conference on Advanced Microsystems for Automotive Applications Location: BERLIN, GERMANY Date: MAY 22-23, 2003 ADVANCED MICROSYSTEMS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS 2003 Pages: 113-125 Published: 2003
- [17] Tao, L, Zhang, W, Ji, C, et al.: *Design of Electronic Hydraulic Brake System for the Hybrid Passenger vehicle* Conference: IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL) Location: Zhengzhou, PEOPLES R CHINA Date: AUG 15-17, 2012
2012 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION AND LOGISTICS (ICAL) Book Series: IEEE International Conference on Automation and Logistics Pages: 218-221 Published: 2012
- [18] Zhang, Z, Dai, R, Zhou, Ch, Edited by: Jiang, ZY, Han, JT, Liu, XH: *The Design and Simulation Test Research of Electrical Mechanical Brake* Conference: 2nd International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes (ICAMMP 2011) Location: Guilin, PEOPLES R CHINA Date: DEC 16-18, 2011 ADVANCED DESIGN TECHNOLOGY Book Series: Advanced Materials Research Volume: 421 Pages: 526-531 Published: 2012
- [19] Hsiao, T, Liu, NCh, Chen, SY: *Robust Estimation of the Friction Forces Generated by Each Tire of a Vehicle* Conference: American Control Conference (ACC) Location: San Fransisco, CA Date: JUN 29-JUL 01, 2011 AMERICAN CONTROL CONFERENCE Book Series: Proceedings of the American Control Conference Pages: 5261-5266 Published: 2011
- [20] Kolacek, S, Cerny, M, Edited by: Skarpa, P: *AUTOMOTIVE SENSORS AND MEASURING THEIR SIGNALS* Conference: International Ph.D. Students Conference on MendelNet 2011 Location: Fac Agron, Brno, CZECH REPUBLIC Date: NOV 23, 2011
MENDELNET 2011 Pages: 862-872 Published: 2011
- [21] Mizan, M, Karwowski, K: *Laboratory station for testing of traction control of electric vehicle with separate wheel drives* PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY Volume: 83 Issue: 12 Pages: 69-73 Published: 2007
- [22] Song, JH (송정훈): *Development and Evaluation of ESP Systems for Enhancement of Vehicle Stability during Cornering (II)*

- 차량의선회시주행안정성강화를위한ESP시스템개발및성능평가(II) Transactions of the KSME, A Volume: 30 Issue: 12 Pages: 1551-1556 Published: 2006
- [23] Karnopp, D: *Vehicle Stability*, University of California, 2004, ISBN 0-8247-5711-4
- [24] Gscheidle, R.:*Příručka pro automechaniky*. 3. vydání. Praha: Europa Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [25] Vlk, F: *Dynamika motorových vozidel*, Nakladatelství a zasilatelství Vlk, Brno 2001, ISBN 80-238-5273-6
- [26] Bosch, R: *Regulace jízdní dynamiky ESP*, Technická příručka BOSCH, 1. české vydání, 2001, ISBN 80-902585-8-1
- [27] Toolingu. *Hydraulics and Pneumatics training*. [online].(2012) <<http://www.toolingu.com/definition-570120-31776-reducing-valve.html>>.
- [28] Argaláš, M.: *Vzduchové trysky*. [online]. (2004). [citováno 2013-02-22] <http://www.trysky.cz/produkty_vztrysky.php>.
- [29] Pacejka, H, B: *Tyre and Vehicle Dynamics*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2002, ISBN 0-7506-5141-5
- [30] Gmíterko, A.: *Mechatronika – Hnacie faktory*, charakteristika a koncipovanie mechatronických sústav, Strojnícka fakulta TU, Košice, ISBN 80-8073-157-8.
- [31] Kabeš, K., Vaculíková, E.: *Mechatronické systémy – charakteristika, návrh, řízení, Automatizace*, roč. 49, č. 5, 2006, str. 330-332.
- [32] *Perspektivy mechatroniky*, sborník konference, SOŠ a SOU Lanškroun, 25-09-2007.
- [33] Valášek, M. a kol.: *Mechatronika*, vydavatelství ČVUT, Praha, 1996.
- [34] Das, S.: *Mechatronic Modeling and Simulation Using Bond Graphs*. Taylor & Francis Group, c2009, 483 s. ISBN 978-1-4200-7314-0.
- [35] Gregora, S. a kol.: *Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel*, UP, Pardubice, 2008, ISBN: 978-80-7194-982-8.
- [36] Gscheidle, R. a kol.: *Příručka pro automechanika*, SOBOTÁLES, Praha, 2001, 629 s, ISBN: 80-85920-76-X.
- [37] Lechler, R.:*Vzduchové trysky*. [online]. [citováno 2013.02-26]. <http://www.hennlich.cz/uploads/CZ_vzduchov%C3%A9.pdf>.
- [38] Vémola, A.: *Dynamika jízdy vozidel*. [online]. [citováno 2013-02-19]. <<http://opvk.cdvinfo.cz/file/dynamika-jizdy-vozidel/>>
- [39] Kussoir, Z.: *Princip vytváření tahu*. [online]. (2002). [citováno 2013-02-20]. <<http://www.leteckemotory.cz/teorie/teorie-01.php>>.

- [40] Cerha, J.: *Hydraulické a pneumatické mechnismy I*. 2. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci. 2010. ISBN 80-7372-560-0.
- [41] Drábková, S.: *Mechanika tekutin*. 1.vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO. 2007.ISBN 978-80-248-1508-4.
- [42] Raen s.r.o. *Stlačený vzduch – snižování energetické náročnosti*. [online]. [citováno 2013-02-21]. < <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/2179.pdf>>.
- [43] Camozzi, 2/2 - a 3/2- cestné ventily série A. [online]. [citováno 2013-02-25]. < <http://www.stasto.cz/data.aspx?data=76779b1e-8f85-4a17-9aa8-e64654abab3c>>.
- [44] Festo, *Rychlé ventily MH*. [online]. [citováno 2013.02-26]. < https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/7398/PSI_207_1_cs.pdf>.
- [45] Nožička, J.: *Dynamika plynů* ČVUT, Praha, Česká technika, 2005. ISBN 80 – 01 – 03300 - 7
- [46] Kunzel, G.: *Automobilová mechatronika*, ČZU, Power point prezentace
- [47] Hornová, M.: *Pneumatické prvky a jejich aplikace u vozidel*, ČZU, Bakalářská práce
- [48] Vojáček, A.: *hw.cz* [online]. [cit.25.3.2015]. Dostupný na WWW: <http://www.hw.cz/soucastky/jak-pracuji-nove-3d-mems-akcelerometry-freescale.html>
- [49] Autor neveden. *nd-skoda-volkswagen.cz* [online]. [cit. 12.4.2015]. Dostupný na WWW: <http://www.nd-skoda-volkswagen.cz/cz/autodily-skoda/octavia/electrosoucasti/cidla-snimace/?from=30&pouzedily=1>
- [50] Autor neveden. *skoda - dily.cz* [online]. [cit. 14.4.2015]. Dostupný na WWW: <http://www.skoda-dily.cz/nahradni-dil/1j0907651-senzor-zrychleni-g200-oe-10306.html>
- [51] Časopis *Autotip*, číslo 26, prosinec 2013

9. Summary

This all is about advantages and disadvantages. Read about the new method of the pneumatic car stabilization as the support ESP method. Let's get to know about trends of development in car production and concentrates on car stabilization. We summarize properties of present systems with their advantages and disadvantages, also describe the new method of the pneumatic car stabilization as the support of ESP method.

9.1 Key words

Pneumatic stabilization, compressed-air reservoir, quick vents by jets car stabilization, principle of action and reaction, pressured air, the ABS and ESP, energy recuperation

10. Publikáční činnost (celkem deset položek)

Konference:

1. Hurtečák, J., Volf, J.: *Development trends of ESP*, Mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2013, Hradec Králové, prosinec 2013.

ISBN 978 - 80 - 87952 - 00 - 9

2. Hurtečák, J., Volf, J., Novák, V.: *Possibilities of using pneumatic stabilization of vehicles*, Zvolen, červen 2015. ISBN 978-80-228-2781-2

Články:

1. Hurtečák, J., Volf, J.: *Vývojové trendy ESP*, Jemná mechanika a optika 9/2014, str. 250 - 252. ISSN 0447 - 6441

2. Hurtečák, J., Volf, J.: *Možnosti využití energie výfukových plynů ve spalovacích motorech*, Jemná mechanika a optika 4/2015, str. 140 - 141 ISSN 0447 - 6441

3. Hurtečák, J., Volf, J., Novák, V.: *Pneumatic stabilization of vehicles*, Scientia Agriculturae Bohemica (SAB), Publisher: Czech University of Life Sciences Prague, ISSN 1211-3174
akceptováno