

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Směrové řízení vozidla

Ing. Pavel Brabec, Ph.D.

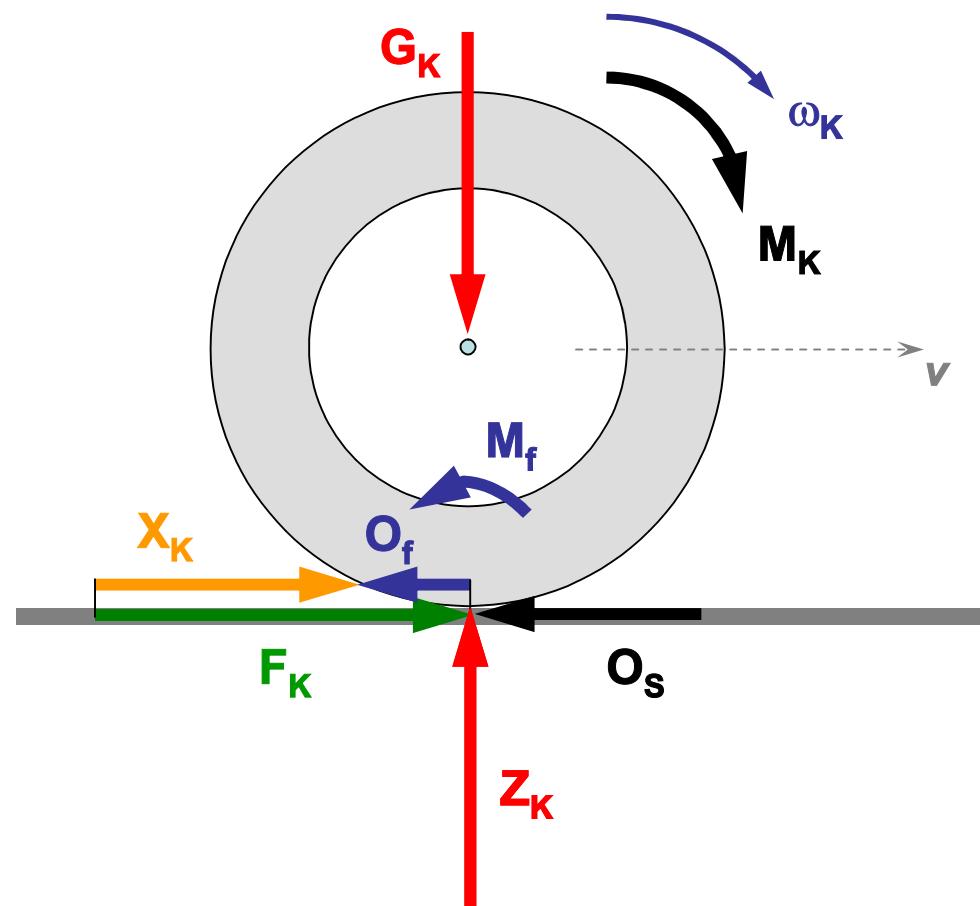
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Tento materiál vznikl v rámci projektu ESF CZ.1.07/2.2.00/07.0247
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření,
který je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

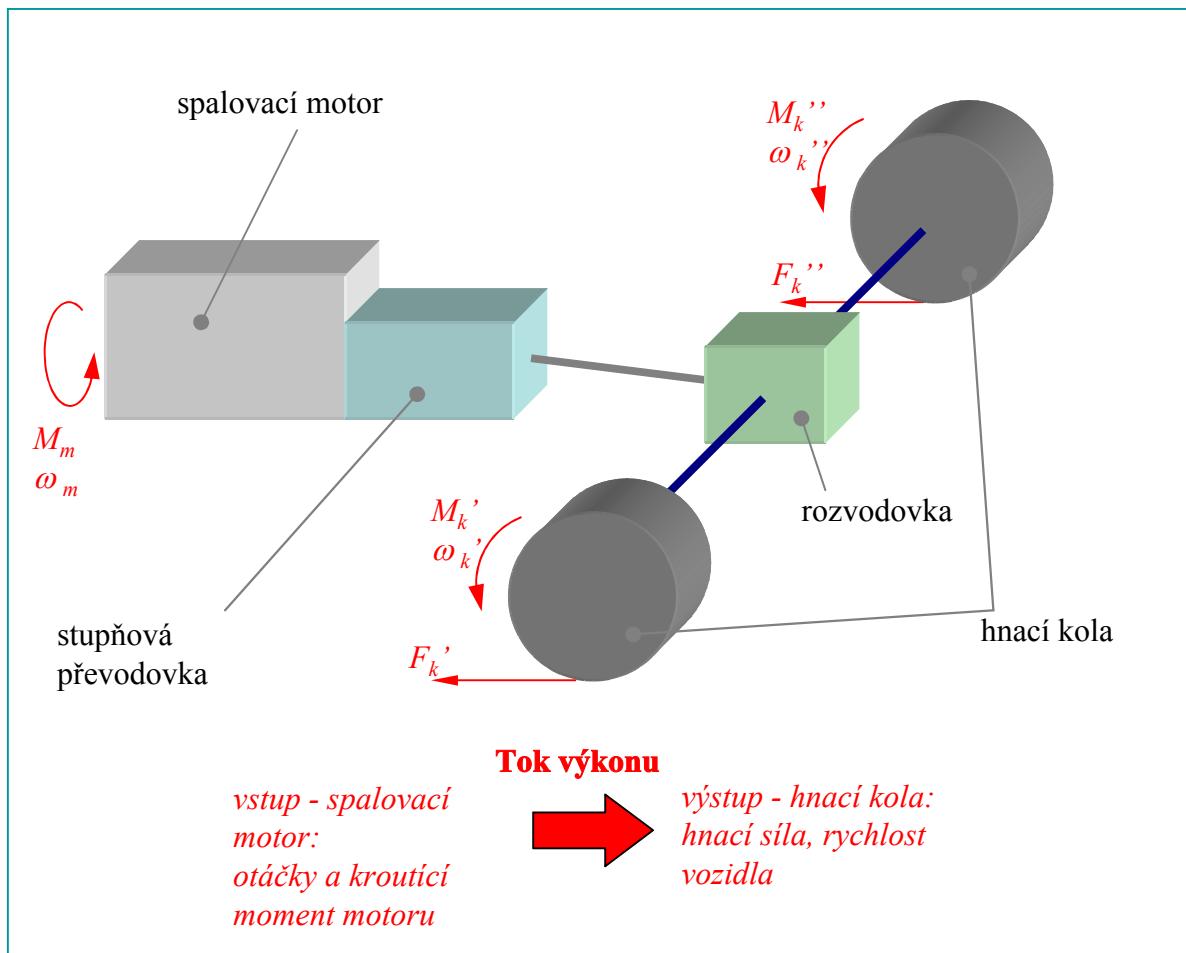
Síly na kole vozidla - valení





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Tok energie (výkonu) - hnací ústrojí vozidla (klasická koncepce)



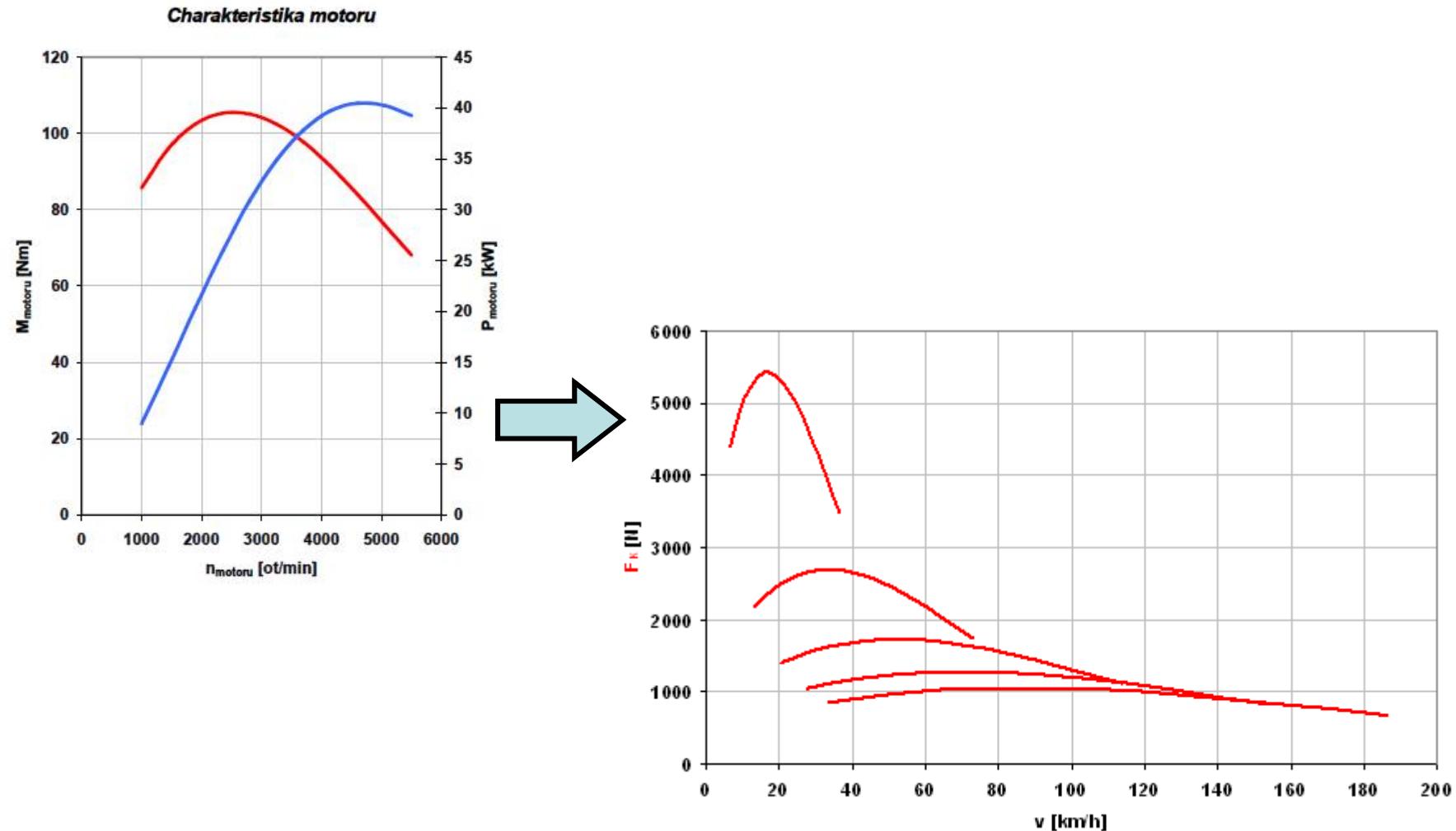
$$M_k = M_m \cdot i_c \cdot \eta_c = M_m \cdot i_p \cdot i_s \cdot \eta_c$$

$$v = \omega_k \cdot r = \frac{2\pi \cdot n_k}{60} \cdot r = \frac{2\pi \cdot n_m}{60 \cdot i_c} \cdot r$$



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

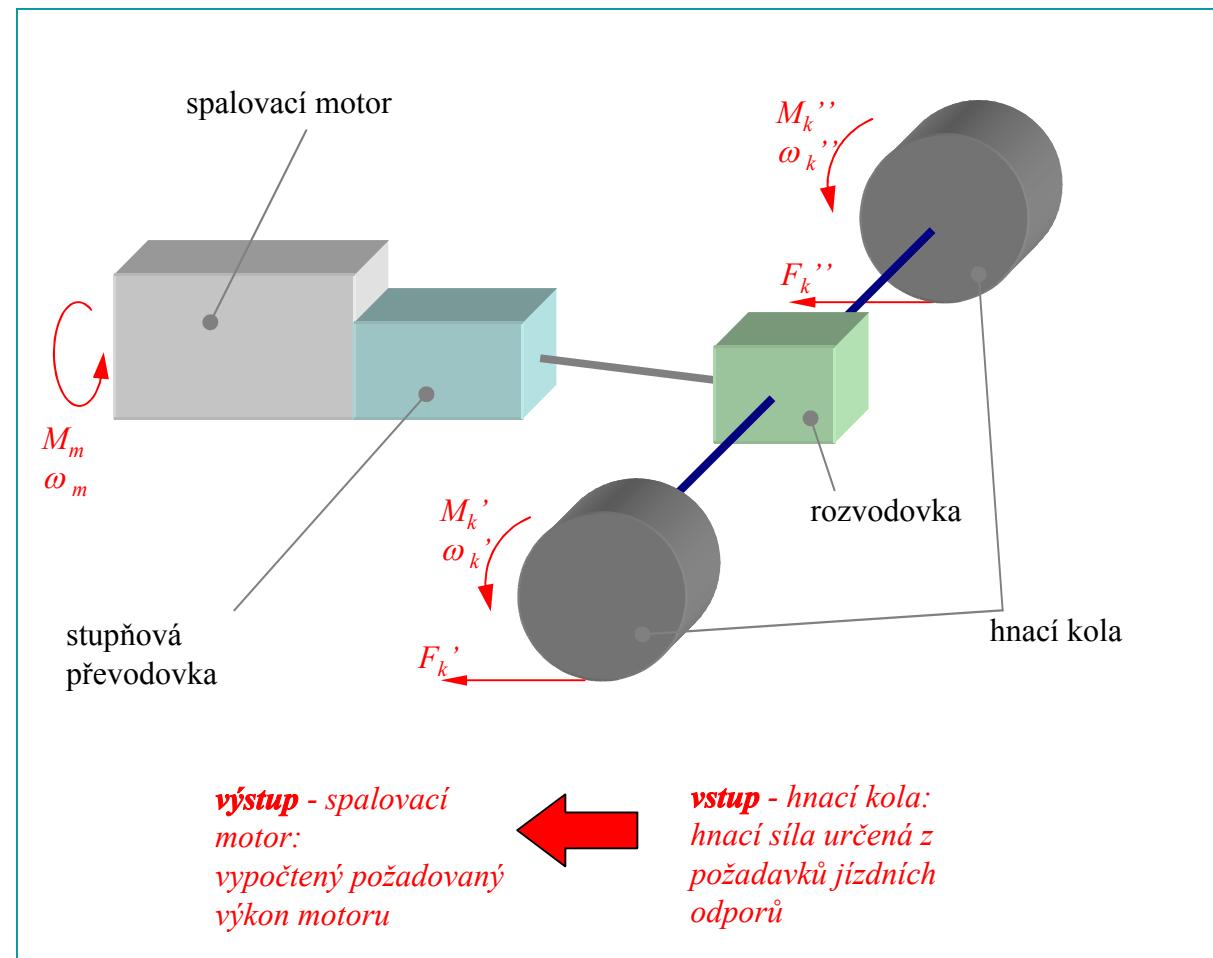
Tok energie (výkonu) - hnací ústrojí vozidla (klasická koncepce)





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Tok energie (výkonu) - hnací ústrojí vozidla (klasická koncepce)





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Jízdní odpory

- valení

$$O_f = f \cdot G \cdot \cos \alpha$$

- vzduchu (aerodynamický)

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_x \cdot S_x \cdot v_c^2 \quad v_c = v \pm v_v$$

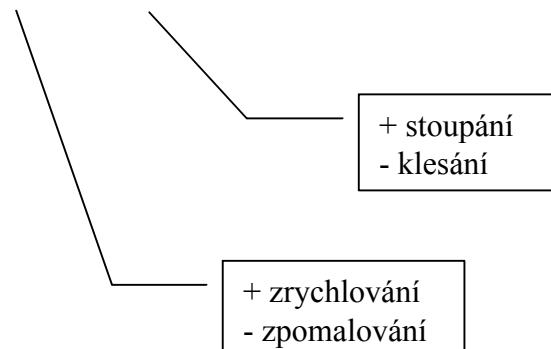
- stoupání

$$O_\alpha = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad s = 100 \cdot \tan \alpha$$

- setrvačnosti

$$O_s = \frac{dv}{dt} \cdot m \cdot \xi \quad \xi = 1 + \frac{J_m \cdot i_c^2 \cdot \eta_c + \sum J_k}{r^2 \cdot m}$$

$$F_k = \sum O = O_f + O_v \pm O_s \pm O_\alpha$$



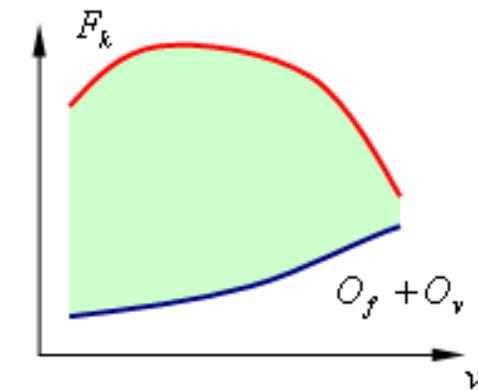
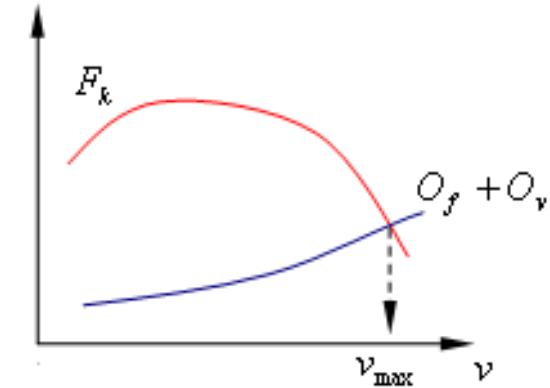


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Jízdní odpory

Pomocí hnací charakteristiky vozidla a vzorců pro jízdní odpory můžeme například určit:

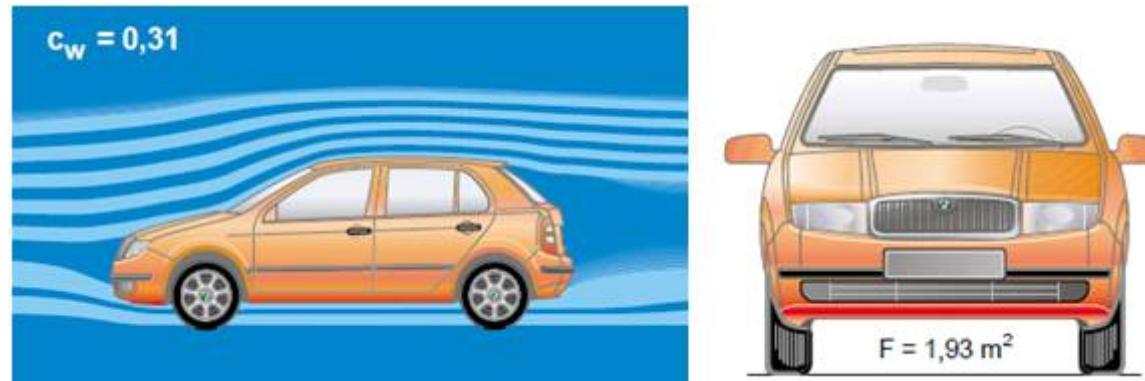
- maximální rychlosti vozidla na jednotlivé rychlostní stupně
- maximálního stoupání vozidla na jednotlivé rychlostní stupně
- maximálního zrychlení vozidla na jednotlivé rychlostní stupně
- ...



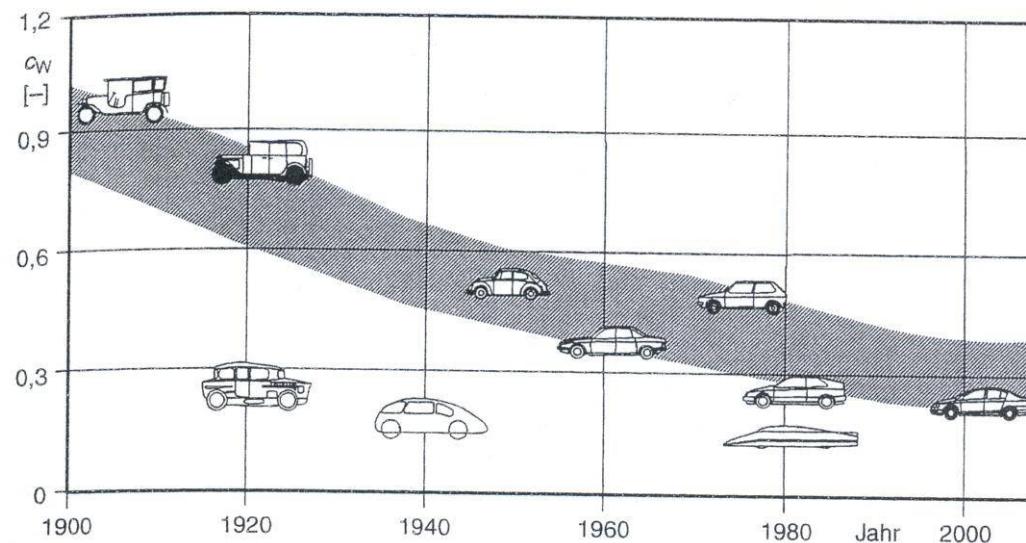


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Jízdní odpory



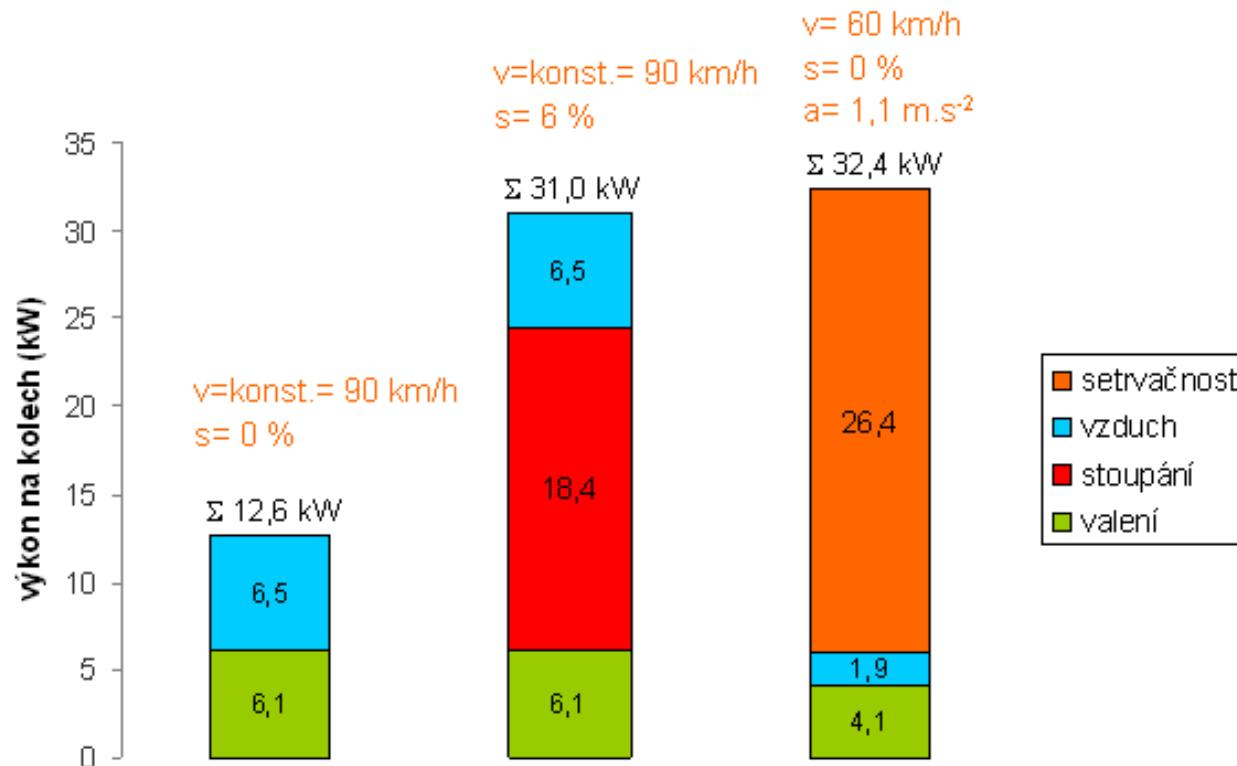
Obrázek – Ukázka součinitele odporu vzduchu a velikosti čelní plochy u vozidla Škoda Fabia první generace



Obrázek – Vývoj hodnoty součinitele odporu vzduchu



Jízdní odpory



Obrázek – Hodnoty výkonu na hnacích kolech pro standardní osobní automobil pro různé jízdní situace



Adheze

Přivedená obvodová síla na kola vozidla nemůže být libovolně veliká, její maximum je omezeno tzv. adhezí. Adheze je zejména závislá na povrchu vozovky, vlastnostech pneumatiky (druh, tvar a výška dezénu, materiál, tlak huštění, ...), zatížení nápravy (radiální), na rychlosti vozidla atd.

Součinitel adheze – představuje soudržnost pneumatiky s vozovkou a je definován jako poměr obvodové síly X_k a radiální reakce Z_k . Při zanedbání součinitele valení se rovná obvodová síla X_k síle hnací F_k .

$$\varphi = \frac{X_k}{Z_k} \approx \frac{F_k}{Z_k}$$

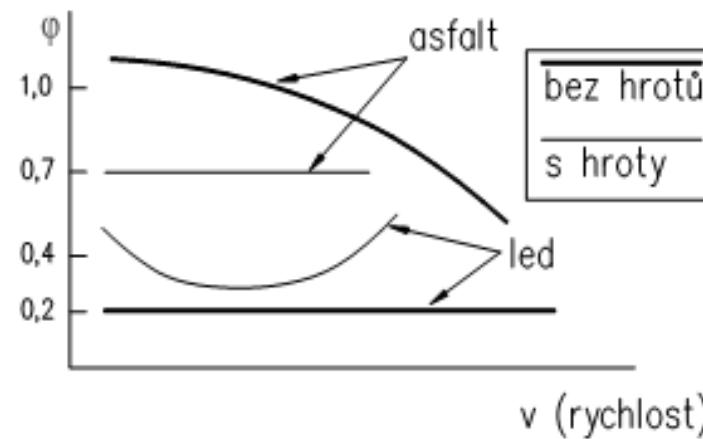
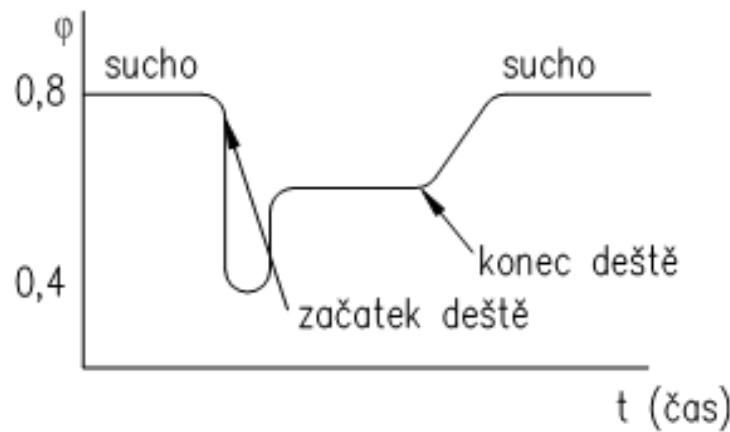
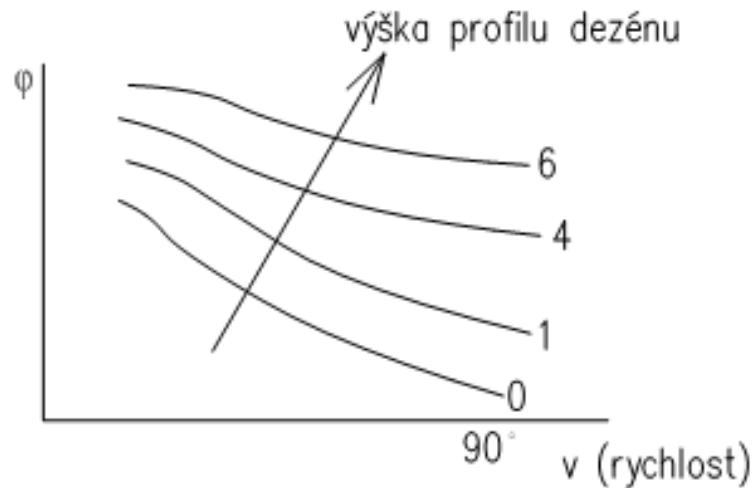
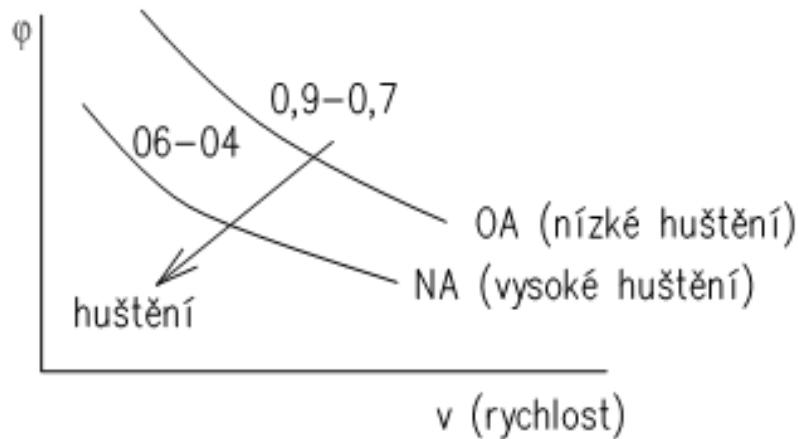
Vozovka	Součinitel adheze	
	suchý povrch	mokrý povrch
asfalt	0,6 – 0,9	0,3 – 0,8
beton	0,8 – 1,0	0,5 – 0,8
dlažba	0,6 – 0,8	0,3 – 0,5
polní cesta	0,4 – 0,6	0,3 – 0,4
sníh		0,2 – 0,4
náledí		0,1 – 0,3

Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

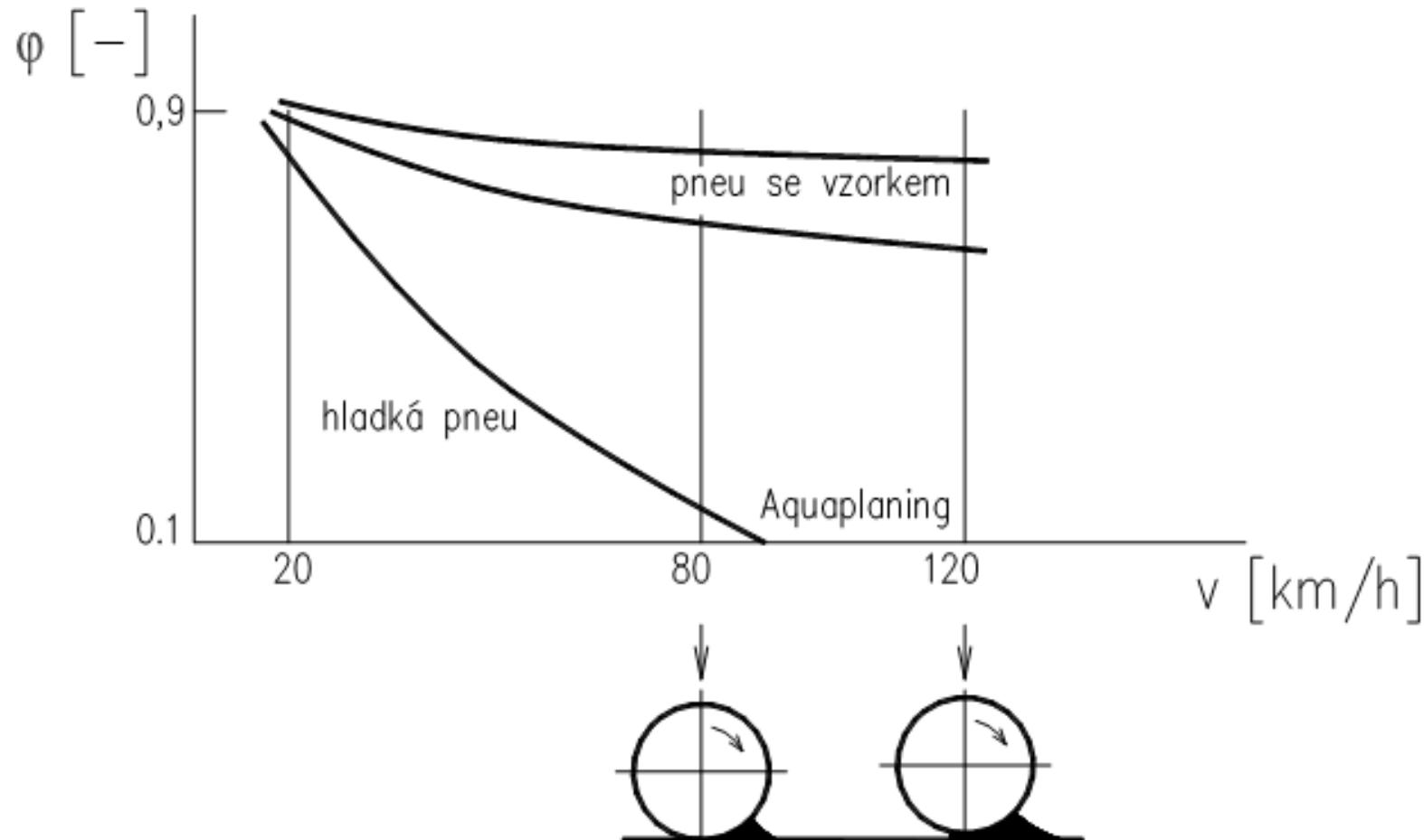
Adheze





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

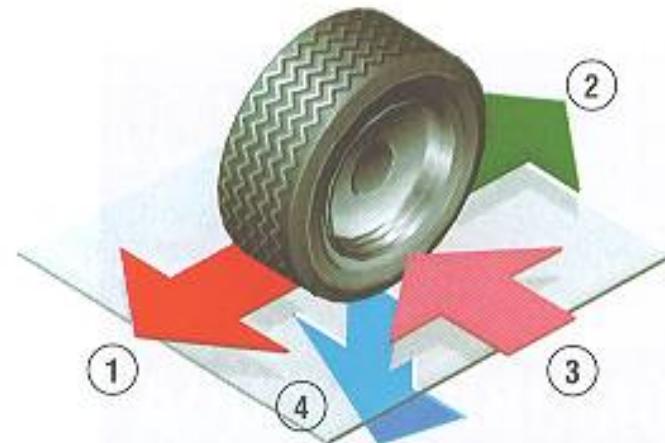
Aquaplaning



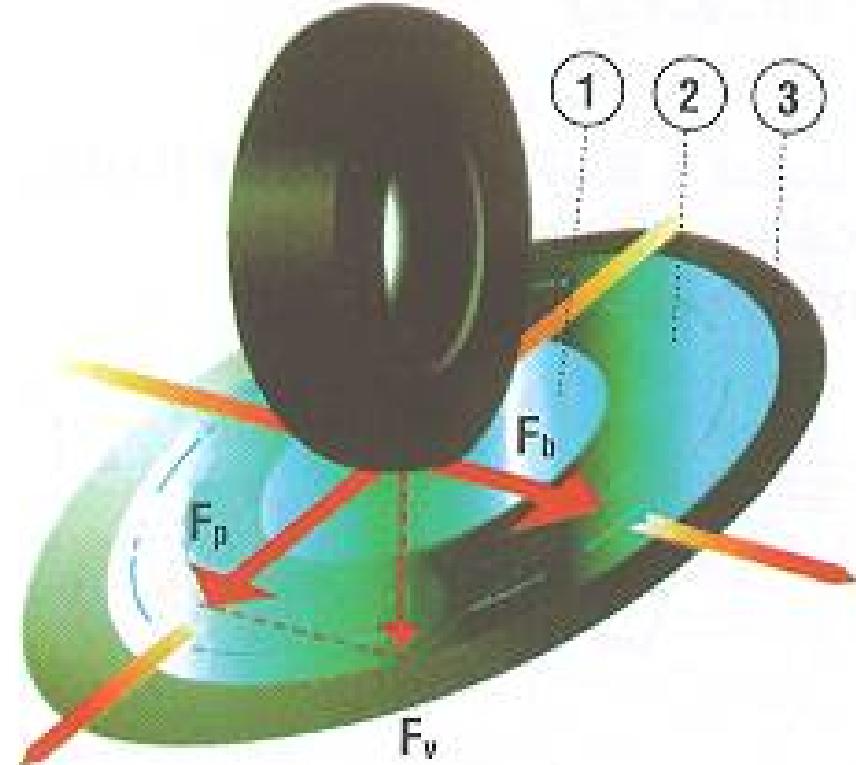


Kammova kružnice

$$F_k \leq F_{ad} \approx \varphi \cdot Z_k$$



Obr.: Síly působící ve styku kola s vozovkou:
1) podélná hnací síla, 2) podélná brzdná síla,
3) boční (odstředivá) síla, 4) hmotnost
vozidla připadající na jedno kolo a dynamické
zatížení tohoto kola;



Obr.: Schematické znázornění Kammovy třecí kružnice:
1) plocha odpovídající adhezi na náledí, 2) na mokré
vozovce, 3) na suché vozovce, F_p - podélná hnací, popř. v
opačném směru brzdná síla, F_b - boční, odstředivá síla, F_v
- výsledná síla (vektorový součet F_p a F_b).



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Možnosti směrového řízení u vozidel

- zatáčející kola přední nápravy (klasická koncepce u rychle jedoucích vozidel)





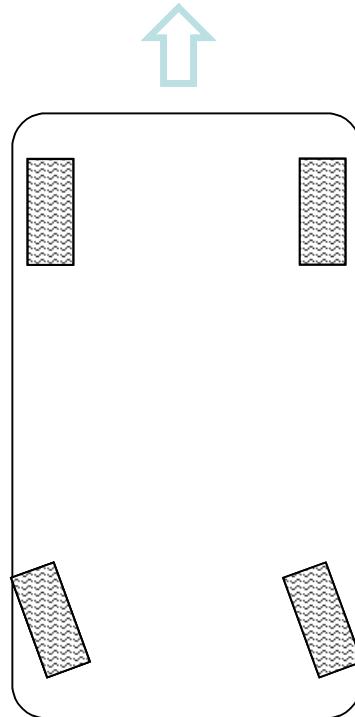
Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Možnosti směrového řízení u vozidel

- zatáčející kola zadní nápravy (pomalu jedoucí stroje – vysokozdvižné vozíky)

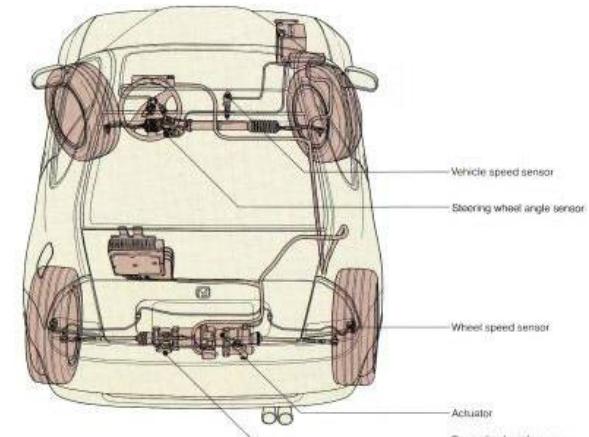
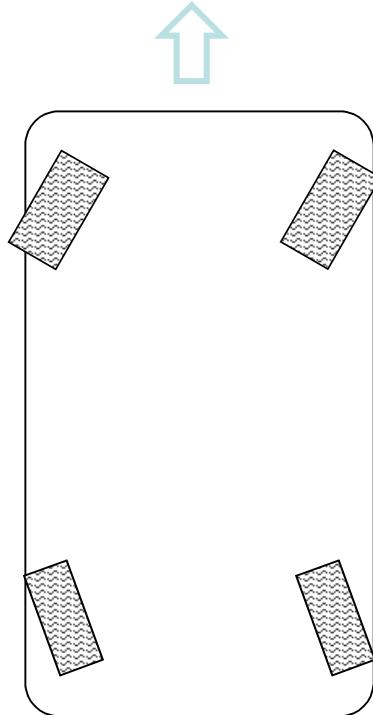




Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Možnosti směrového řízení u vozidel

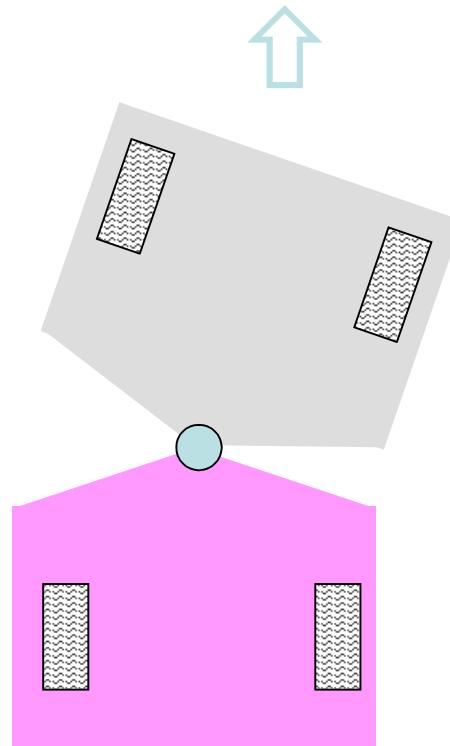
- zatáčející kola na obou nápravách (systém 4WS – osobní automobily, autobusy, ...)





Možnosti směrového řízení u vozidel

- kloubový rám (pracovní stroje - kolové nakladače)





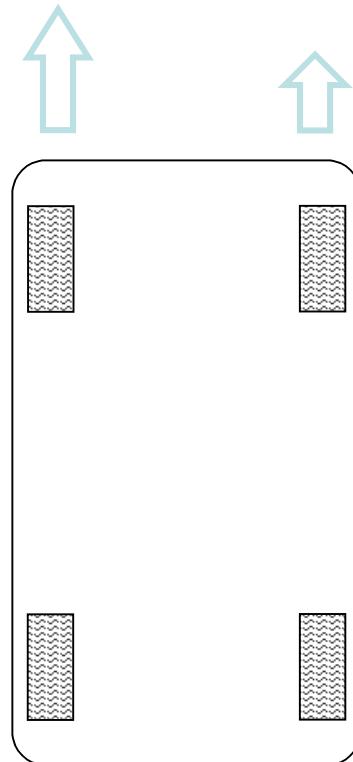
Směrové řízení vozidla

Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření



Možnosti směrového řízení u vozidel

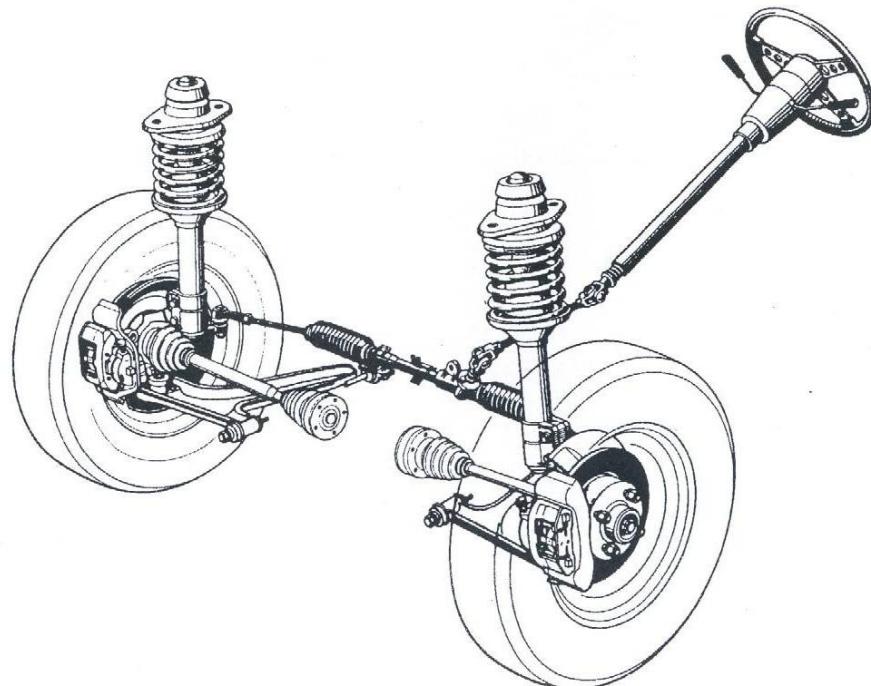
- nezávislý pohon levých a pravých kol (kolové pracovní stroje, pásové vozidla)



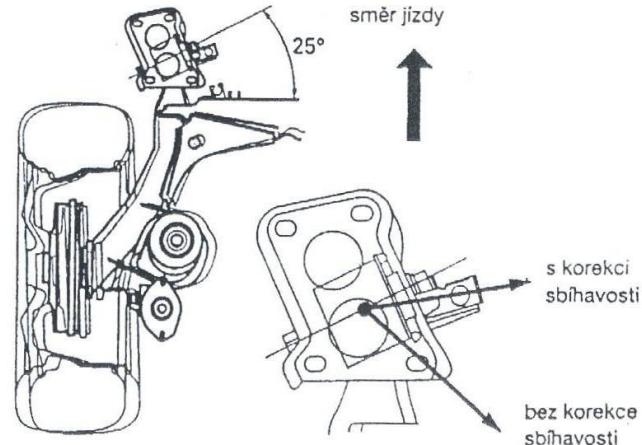


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

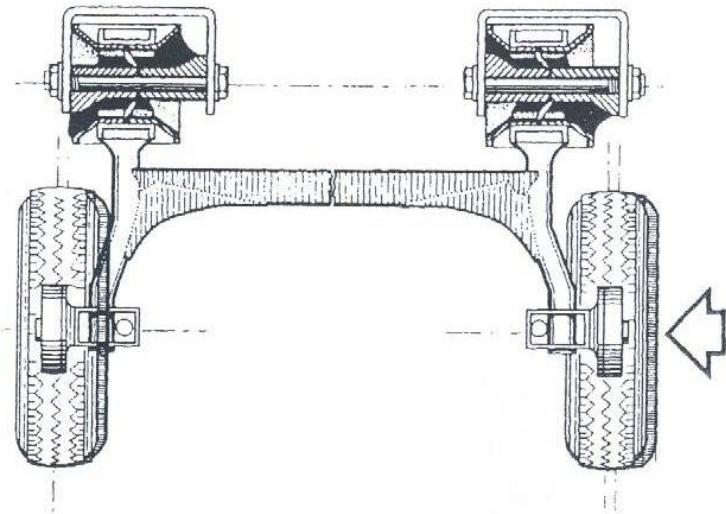
Aktivní a pasivní směrové řízení u náprav



Obr. Přední náprava McPherson automobilu VW Scirocco - řídící tyče jsou připevněny ke konci hřebene



Obr. Vliv boční sily na sbíhavost zadní nápravy Škoda Octavia, VW Golf IV

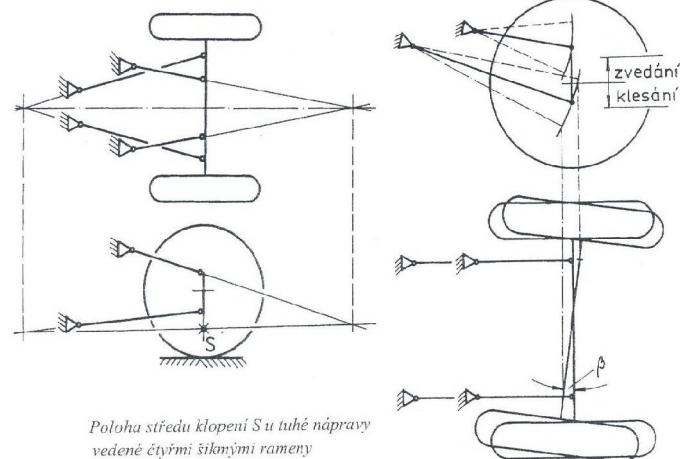


Obr. Spřažená náprava vozu VW Passat

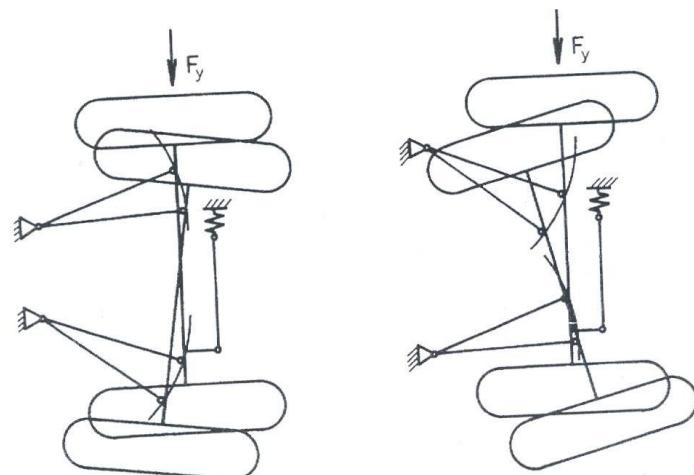
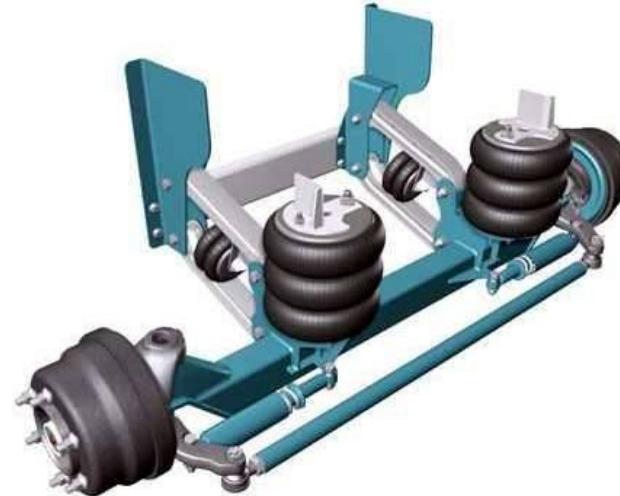


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Aktivní a pasivní směrové řízení u náprav



Poloha středu klopení S u tuhé nápravy
vedené čtyřmi šikmými rameny



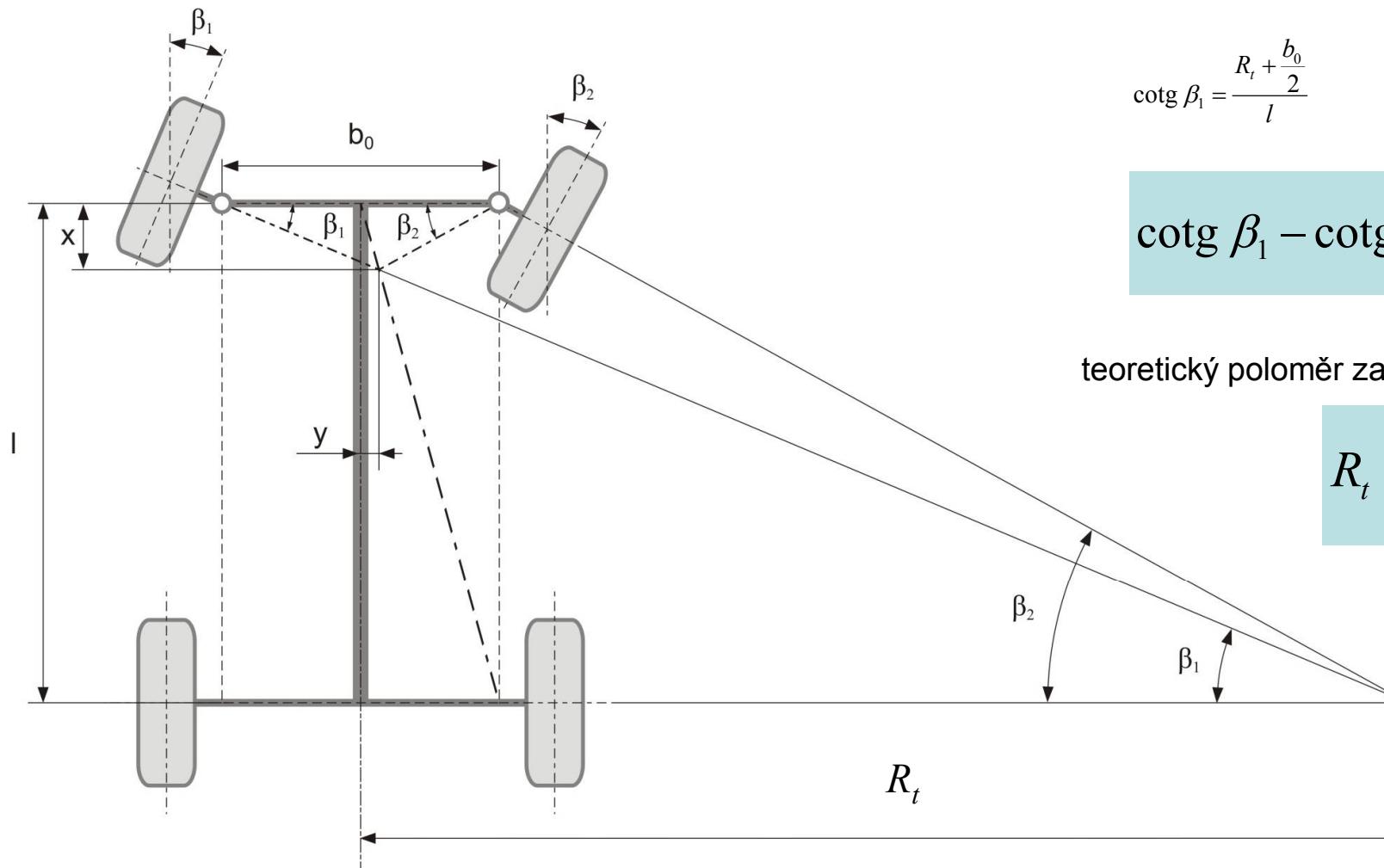
Obr. Vliv uspořádání vodících ramen na samořídící účinky tuhé nápravy
při pružném uložení Panhardské tyče





Ackermannova podmínka (teorie řízení)

- aby v zatáčce nedocházelo k prokluzu kol (jen odvalování), musí být úhel natočení (zatočení) kol rozdílný – mají jeden společný střed zatáčení



$$\cot \beta_1 = \frac{R_t + \frac{b_0}{2}}{l}$$

$$\cot \beta_1 = \frac{R_t - \frac{b_0}{2}}{l}$$

$$\cot \beta_1 - \cot \beta_2 = \frac{b_0}{l}$$

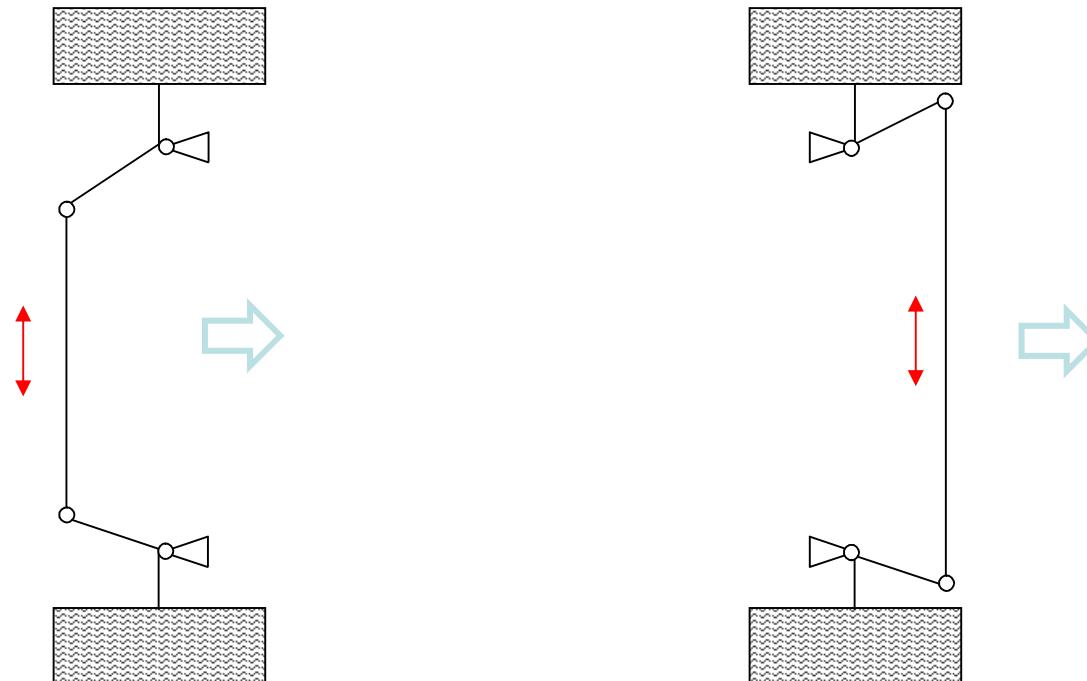
teoretický poloměr zatáčení

$$R_t = \frac{l}{\tan \beta}$$



Ackermannova podmínka (teorie řízení)

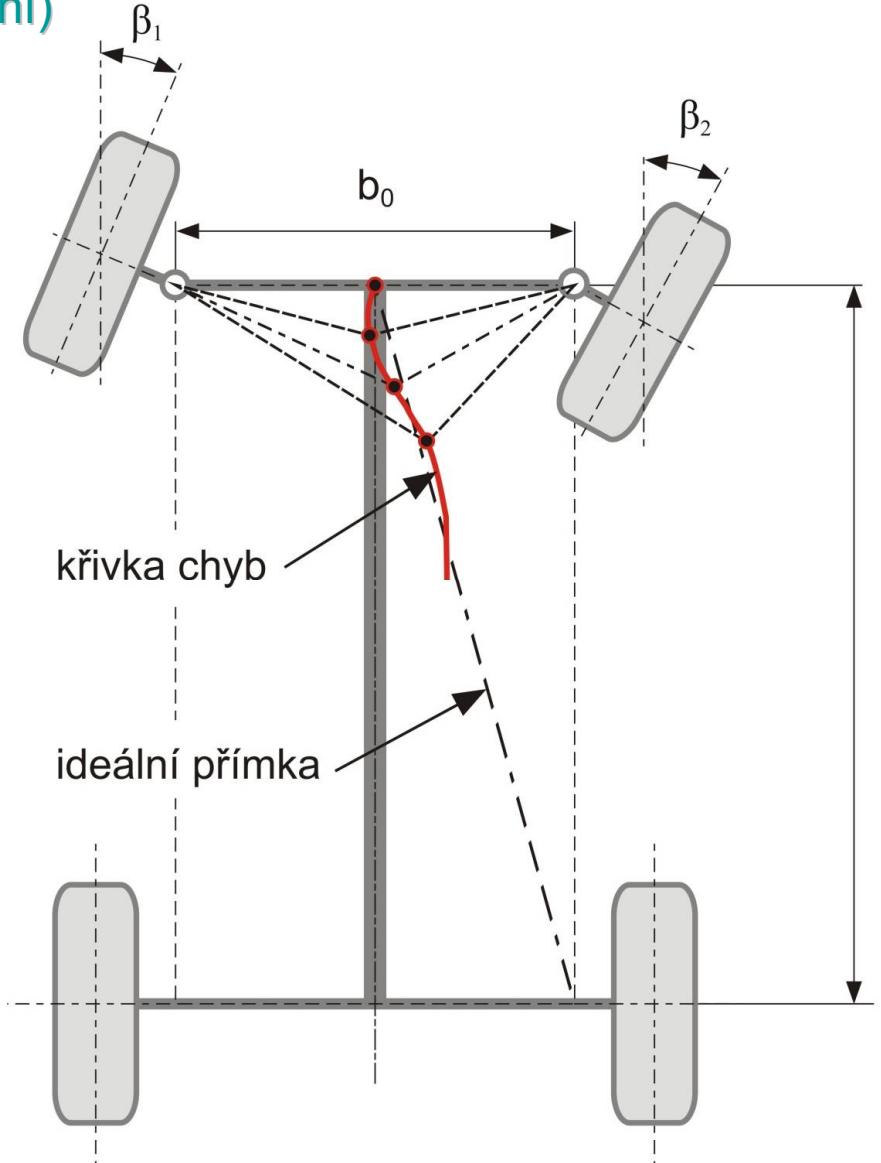
- podmínka se může přibližně splnit pomocí kloubového lichoběžníkového řízení





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

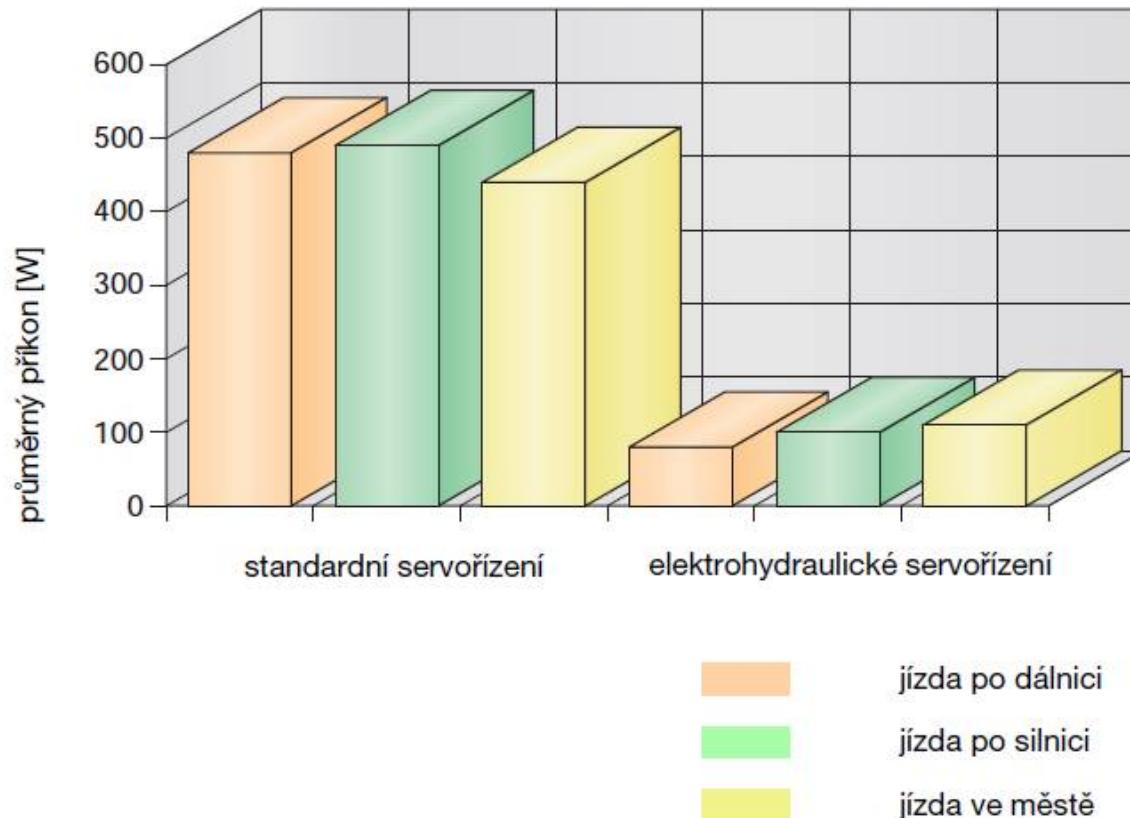
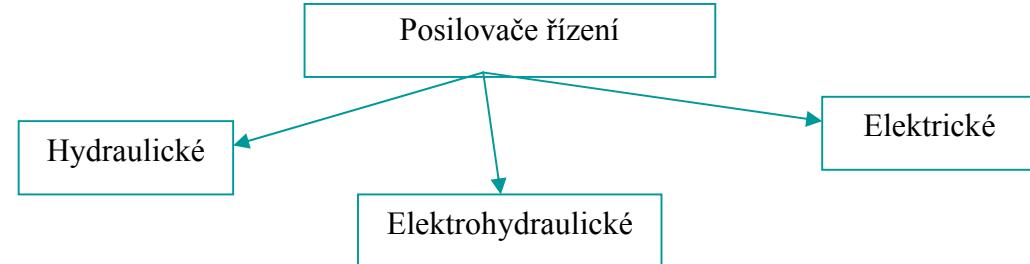
Ackermannova podmínka (teorie řízení)





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Posilovače řízení



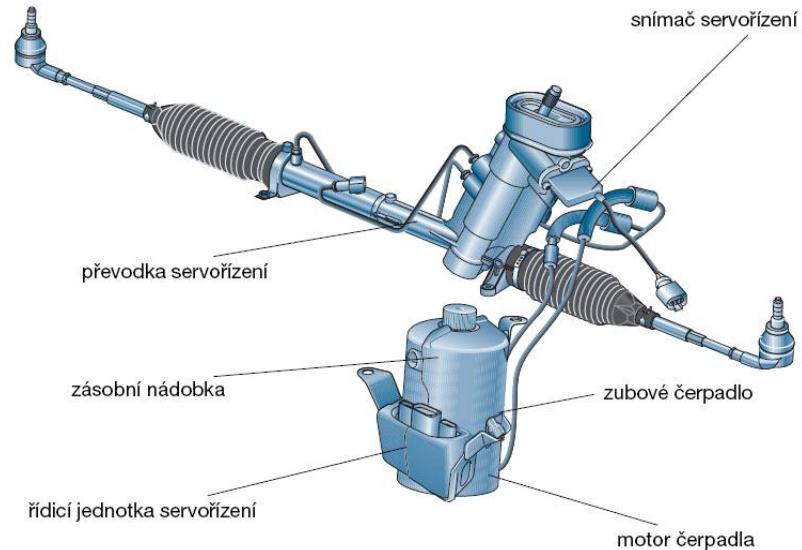
Ve srovnání s běžným standardním servořízením, jakého je bylo použito třeba u FELICIE nebo OCTAVIE, má elektrohydraulické servořízení následující výhody:

- úspora energie až 85 %
- vzhledem k menší energetické náročnosti a menšímu množství použitého oleje v hydraulickém systému je šetrnější k životnímu prostředí
- úspora paliva asi 0,2 l/100 km při obvyklých jízdních cyklech
- zvýšení pasivní bezpečnosti, neboť při malých rychlostech (parkovací manévr) je řízení lehce a při rychlostech vyšších, je řízení tužší



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Posilovače řízení



Komponenty elektrohydraulického servořízení u vozu Škoda



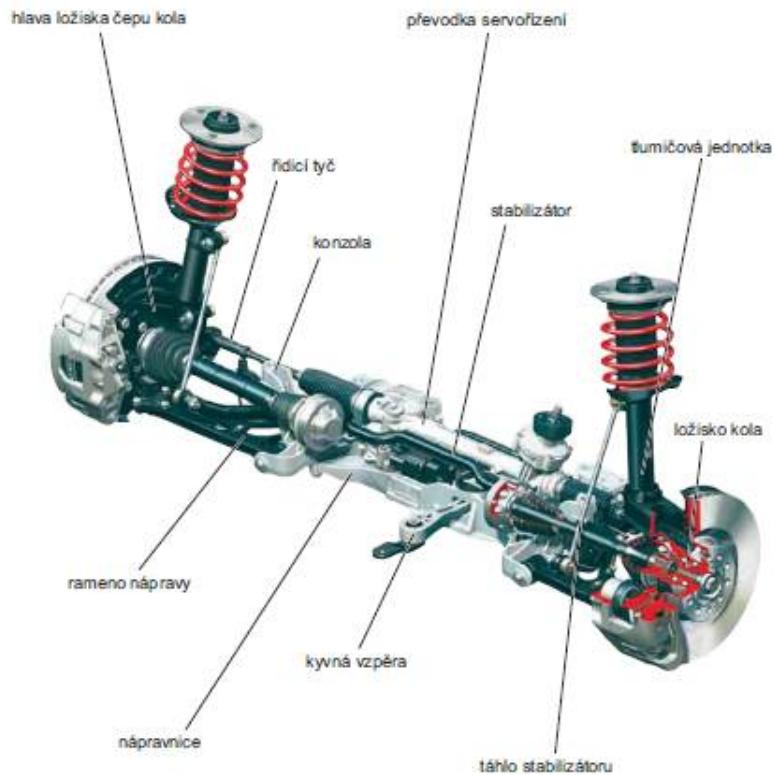
Uspořádání řízení s elektrickým posilovačem (TRW)



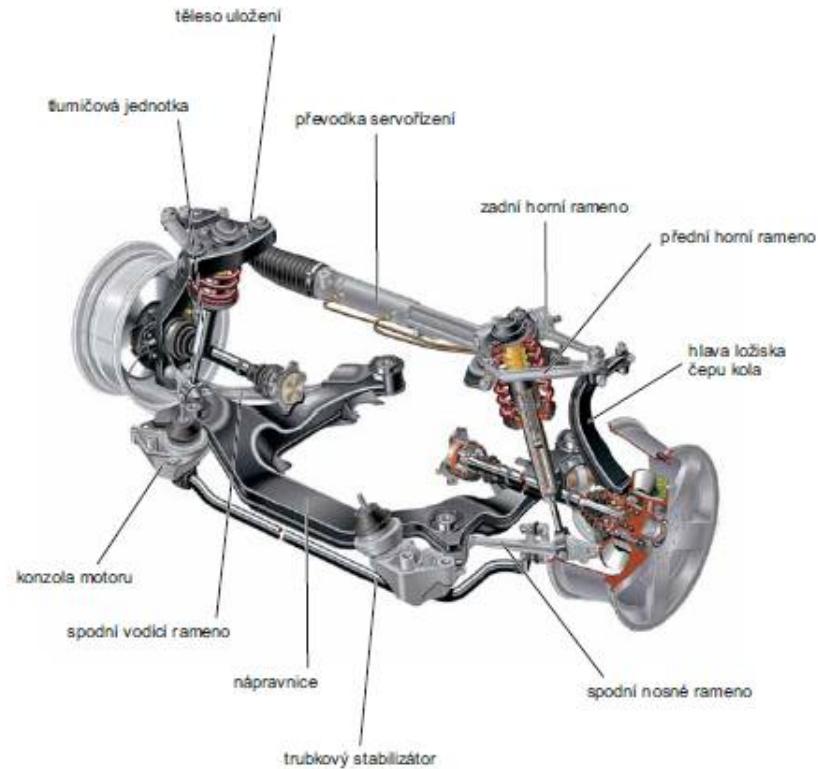
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Základní geometrie kol - odchylky

Přední náprava McPherson



Lichoběžníková přední náprava

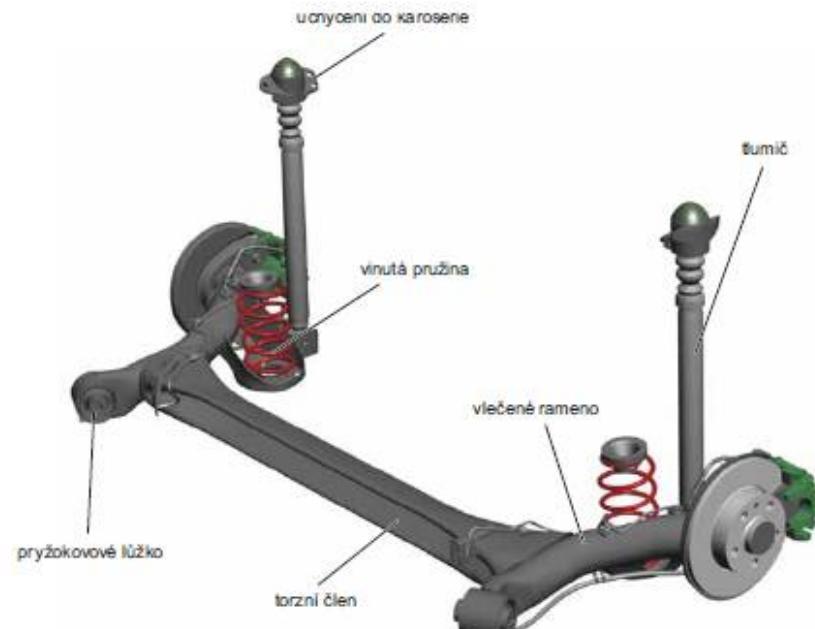




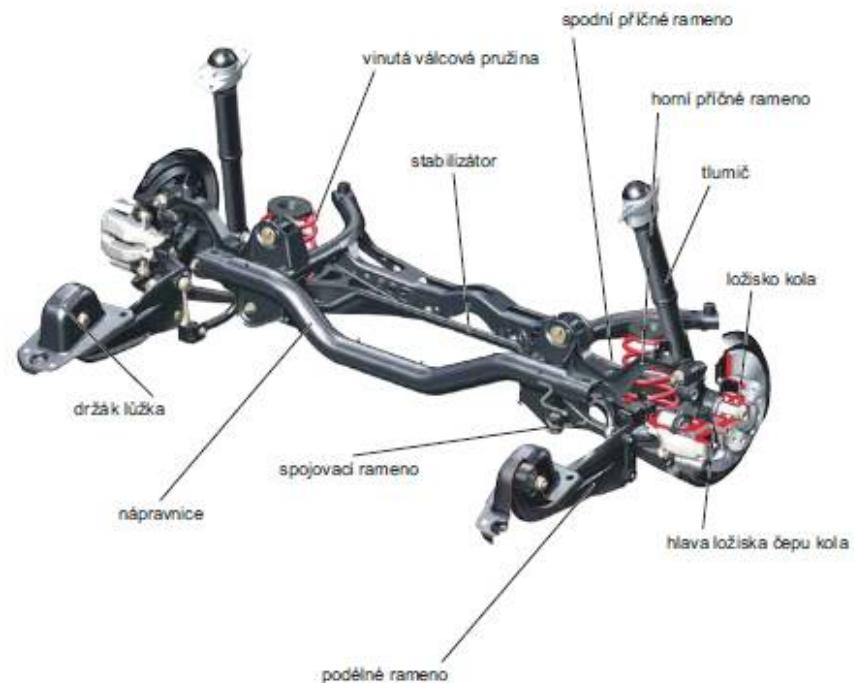
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Základní geometrie kol - odchylky

Kliková zadní náprava



Viceprvková zadní náprava s pevnou nápravnici



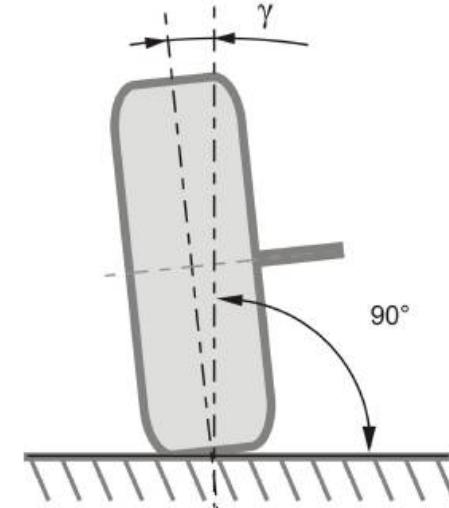


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Základní geometrie kol - odchylky

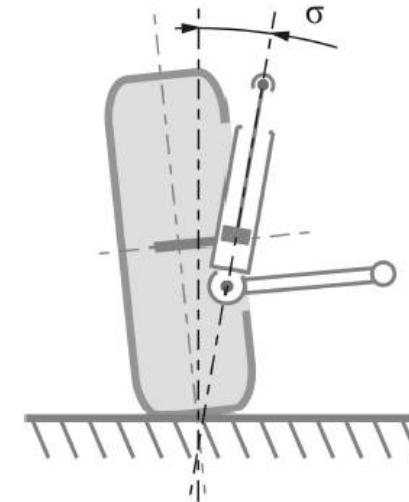
Úhel odklonu kola

- vznikne axiální síla, která vymezuje vůli v ložisku kola
- čím větší úhel odklonu kola, tím menší poloměr rejdu = lehčí řízení, ale zhorší se stabilita
- může snižovat sklon ke kmitání kol



Příklon rejdrové osy

- slouží k samočinnému vracení řízených kol do polohy pro přímou jízdu
- vlivem příklonu dochází při natáčení řízených kol k jejich zvedání

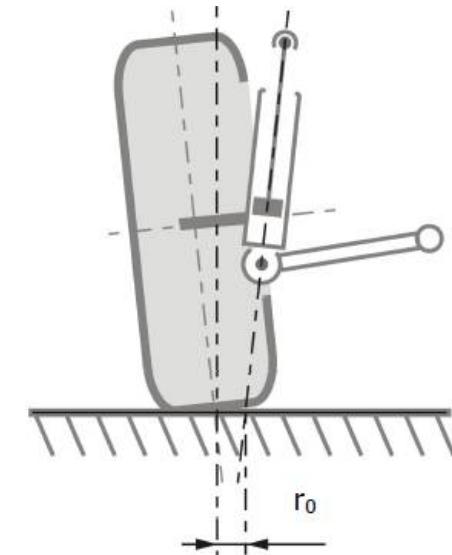




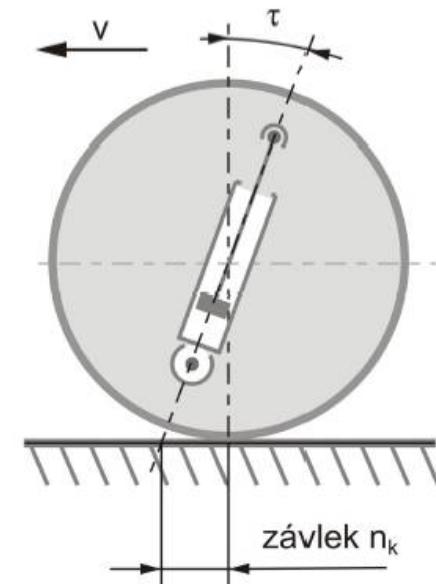
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Základní geometrie kol - odchylky

Poloměr rejdu - Na velikosti poloměru rejdu závisí velikost vrátného momentu - větší kladné hodnoty zvyšují tento moment. Čím je poloměr rejdu větší, tím více je přední náprava citlivější na podélné síly.



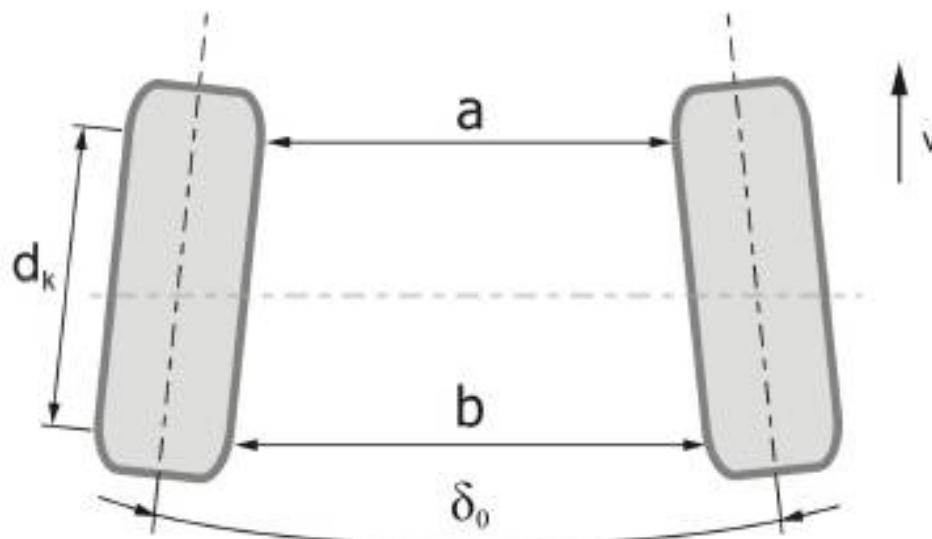
Záklon rejdrové osy - stabilizační účinek a navrací kola do přímé polohy. Příliš velká hodnota záklonu ale způsobuje, spolu se zvýšením stabilizace kol, také zvýšení potřebné síly na volant (do řízení).





Základní geometrie kol - odchylky

Sbíhavost (rozbíhavost) – při jízdě vzniknou na předních kolech malé boční síly, které vymezují vůle v kulových čepech lichoběžníkového řízení (zamezuje kmitání řízení)



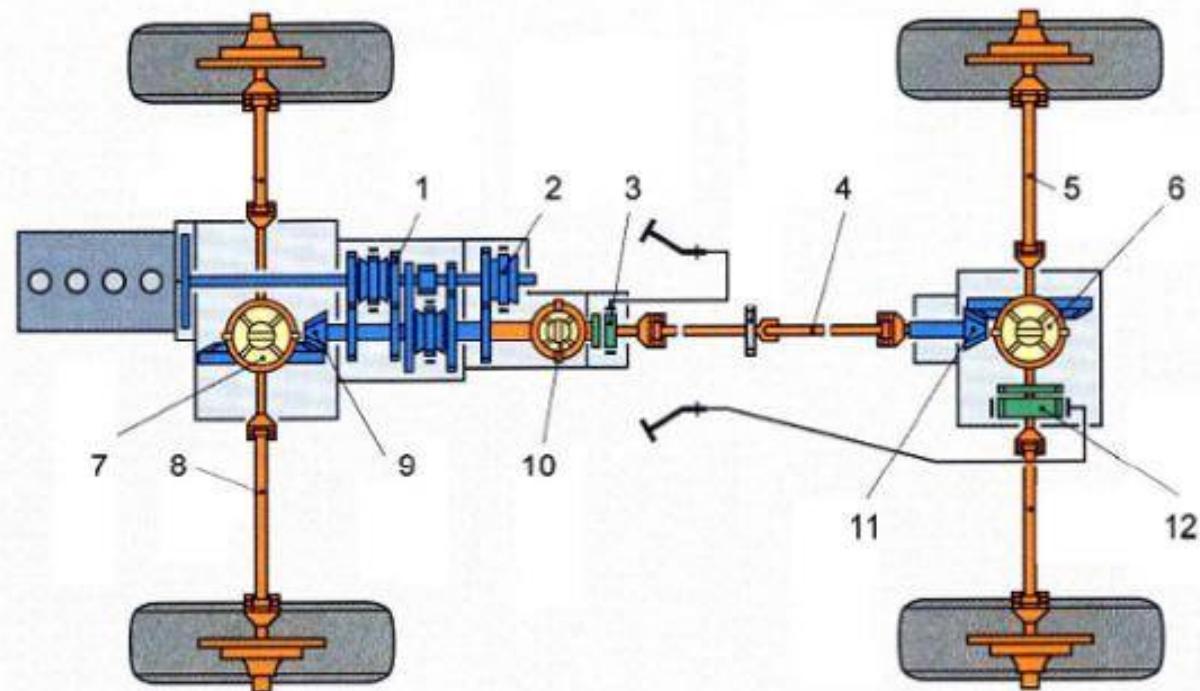
$$\delta_0 = \arcsin \frac{b-a}{d_k}$$



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Diferenciál

- mezikolový (6, 7)
- mezinápravový (10)
- mezvozidlový

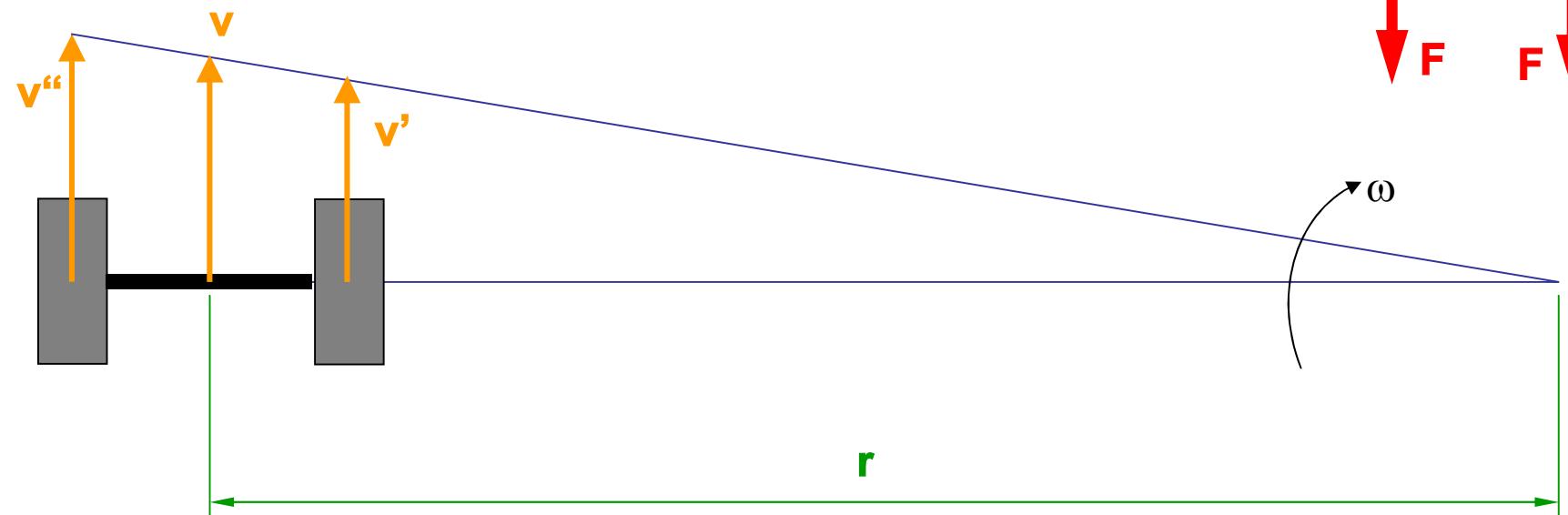


Obr.: Vozidlo s permanentním pohonem všech kol: 1 – převodovka; 2 – dělicí převodovka;
3, 12 – uzávěrka diferenciálu; 4 – kloubová hřídel; 5, 8 – hnací hřídel; 6, 7, 10 –
diferenciál; 9, 11 – rozvodovka.



Mezikolový diferenciál

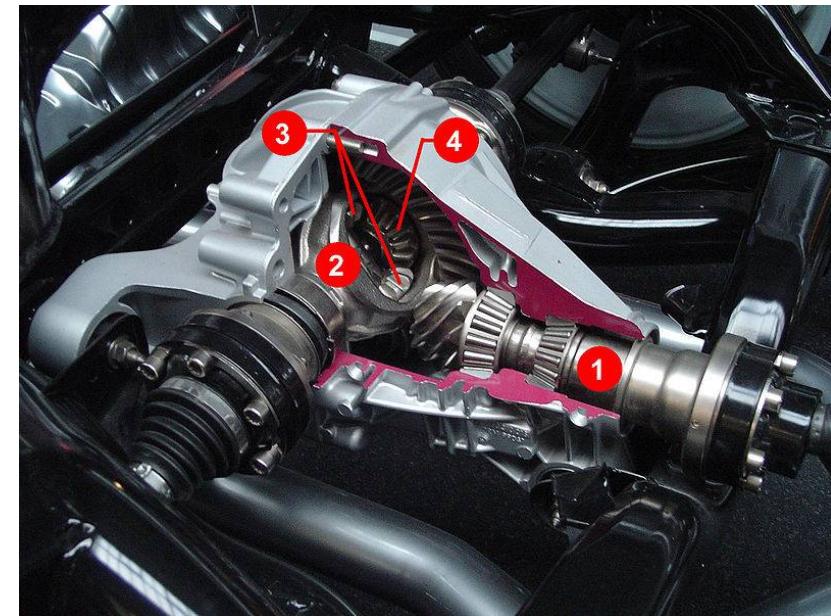
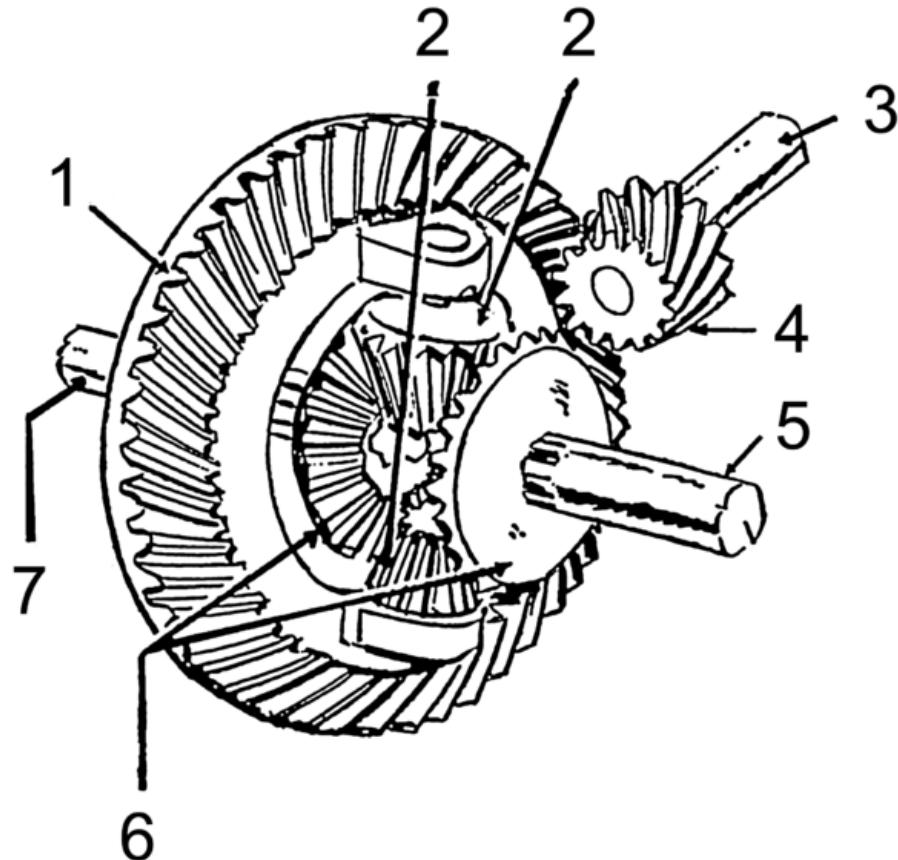
- jízda v zatáčce = obvodové rychlosti jednotlivých kol





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

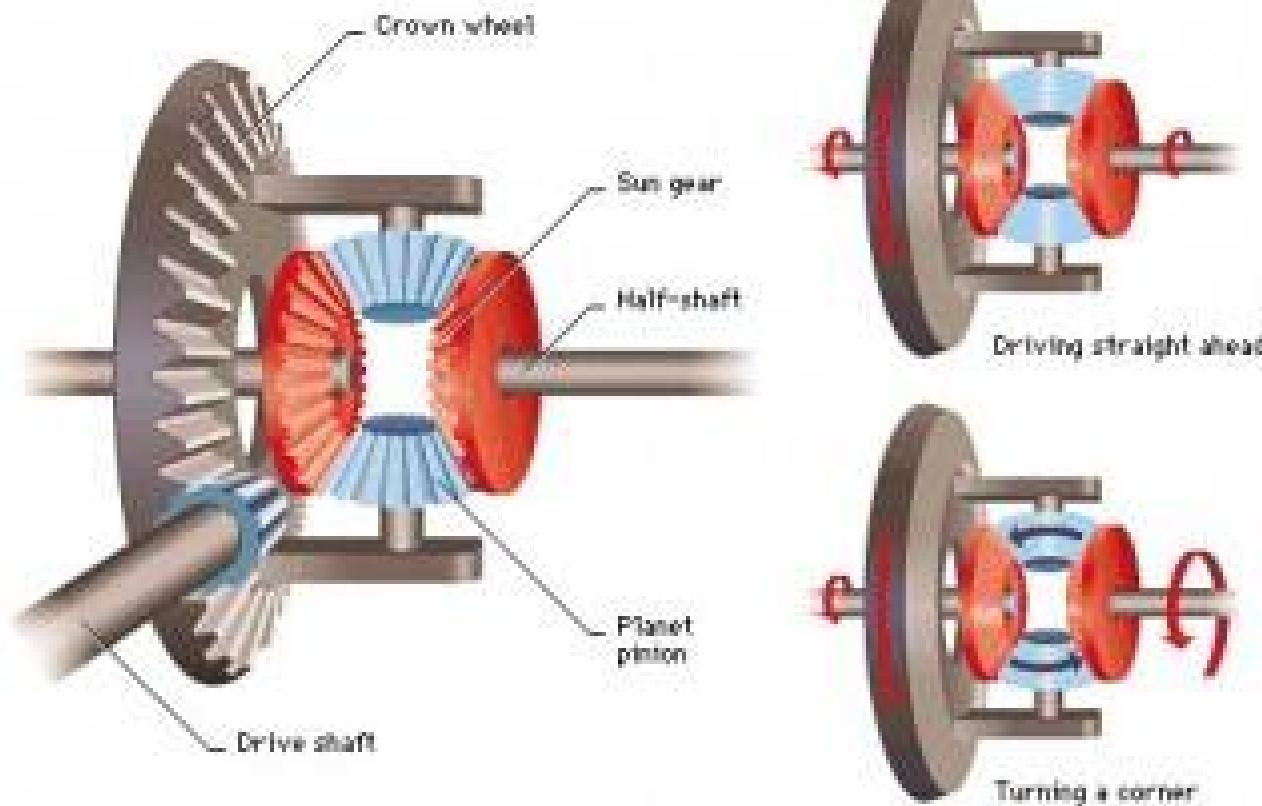
Mezikolový diferenciál





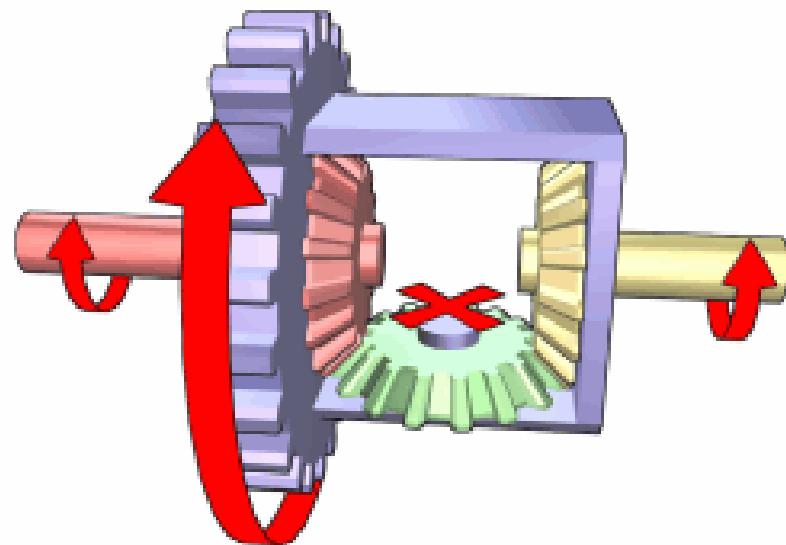
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Mezikolový diferenciál – popis funkce

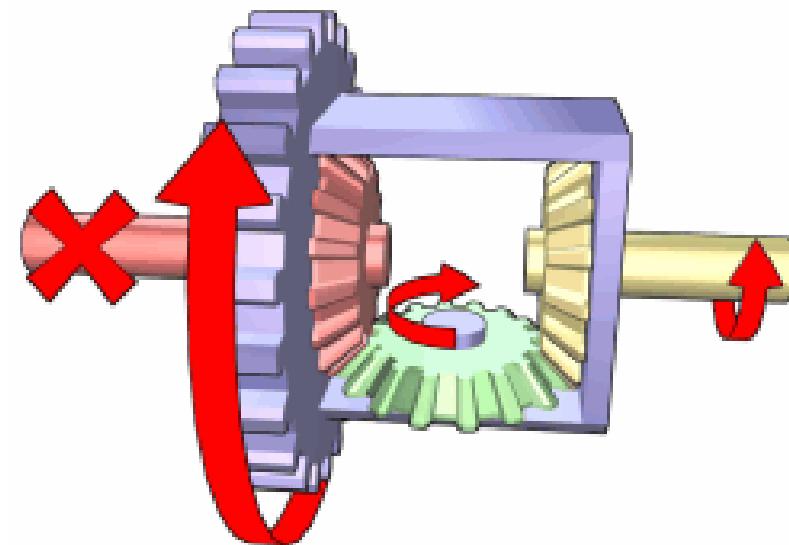




Mezikolový diferenciál – popis funkce



Funkce diferenciálu při stejných otáčkách výstupních hřídelí. Talířové kolo pohání přes satelit planetová kola výstupních hřídelí. Pokud se obě výstupní hřídele točí stejnou rychlostí, satelit se vůči talířovému kolu neotáčí.



Funkce při zablokování levé hřídele, satelit se začne otáčet a druhá výstupní hřídel se roztočí dvojnásobnou rychlostí.



Mezikolový diferenciál

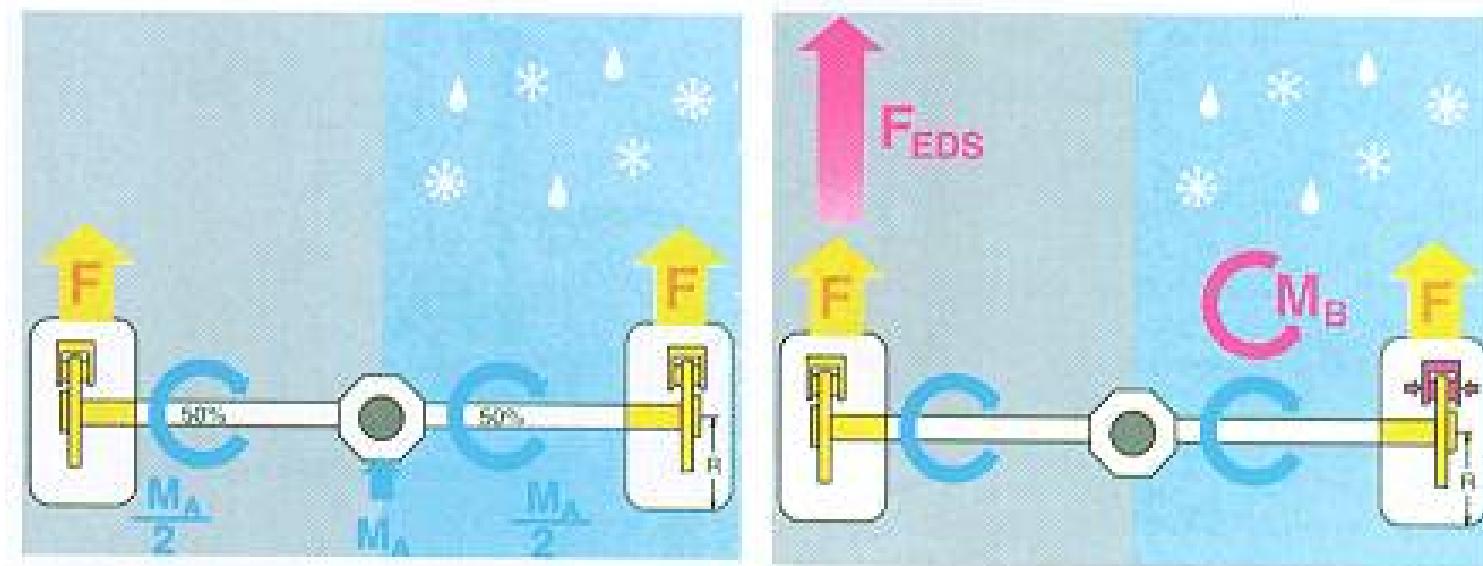
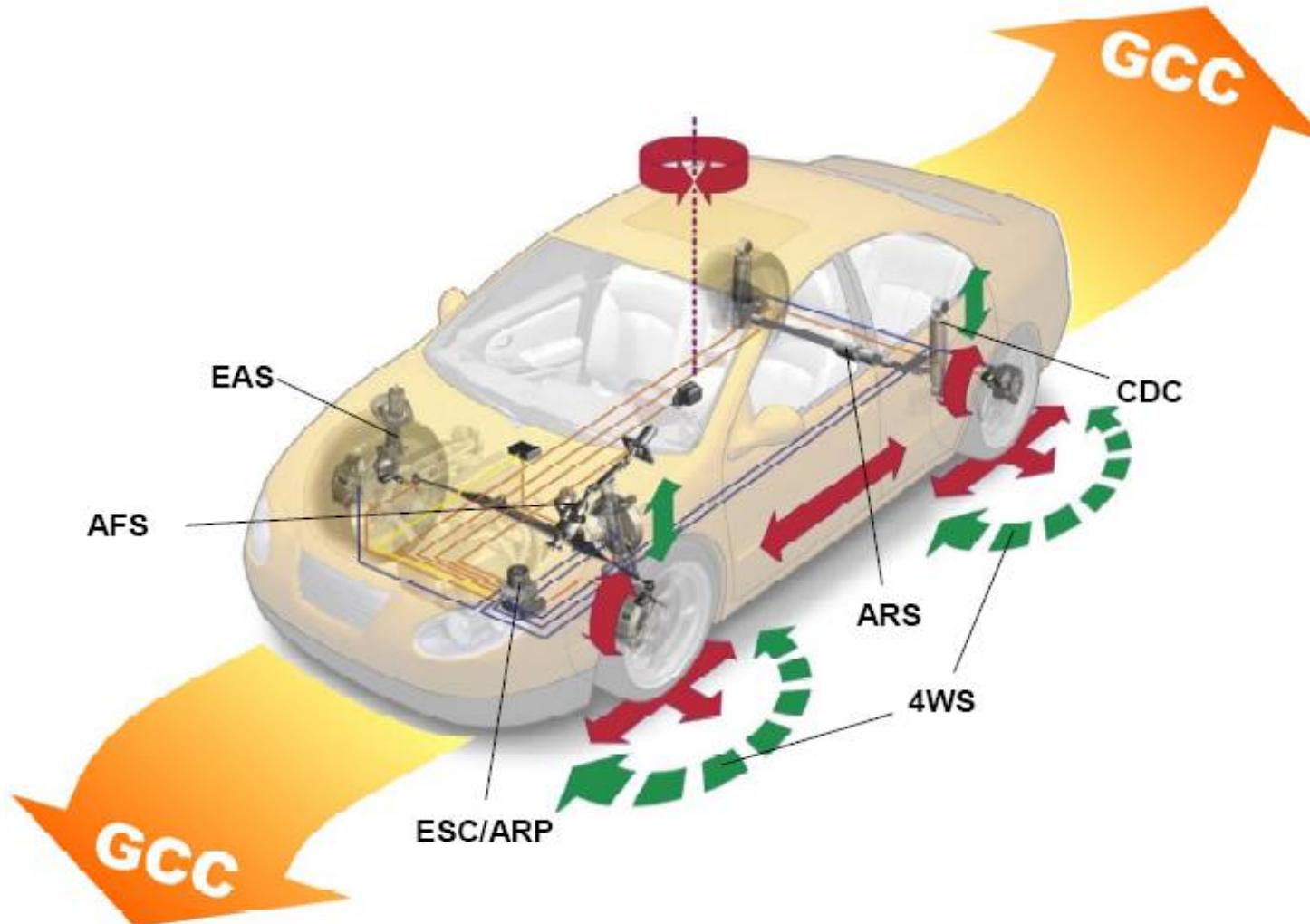


Schéma pohonu bez EDS („náhrada uzavírky diferenciálu“): diferenciál dělí točivý moment M_A rovnoměrně mezi obě hnací kola vozidla, a je-li jedno z nich na kluzkém povrchu, roztočí se, zatímco druhé, ač by mělo lepší možnost záběru, stojí. V téže situaci EDS přibrzdí prokluzující kolo a diferenciál přenese celý moment M_B nebo jeho velkou část na kolo schopné záběru. Vozidlo pak pohání síla F_{EDS} .



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systémy jízdní stability ABS, ASR, ESP, ...





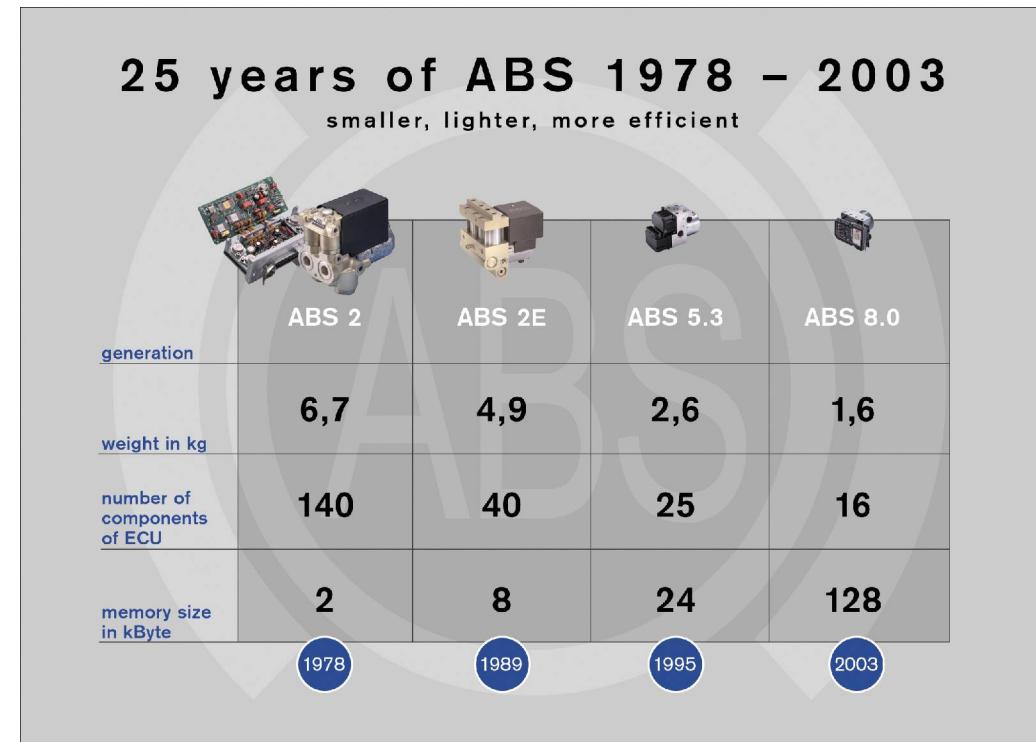
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ABS

První využití elektroniky v brzdové soustavě se v roce 1978 objevil protiblokovací brzdový systém ABS firmy Bosch.

ABS samočinně zaznamenává blokování jednotlivých kol a jejich optimální brzdnou účinnost reguluje přesně definovaným uvolňováním brzdícího tlaku. Skládá se z těchto částí:

- z elektronické řídící jednotku (ECU),
- ze snímačů otáčení každého kola,
- ze samotné hydraulické soustavy.





MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ABS

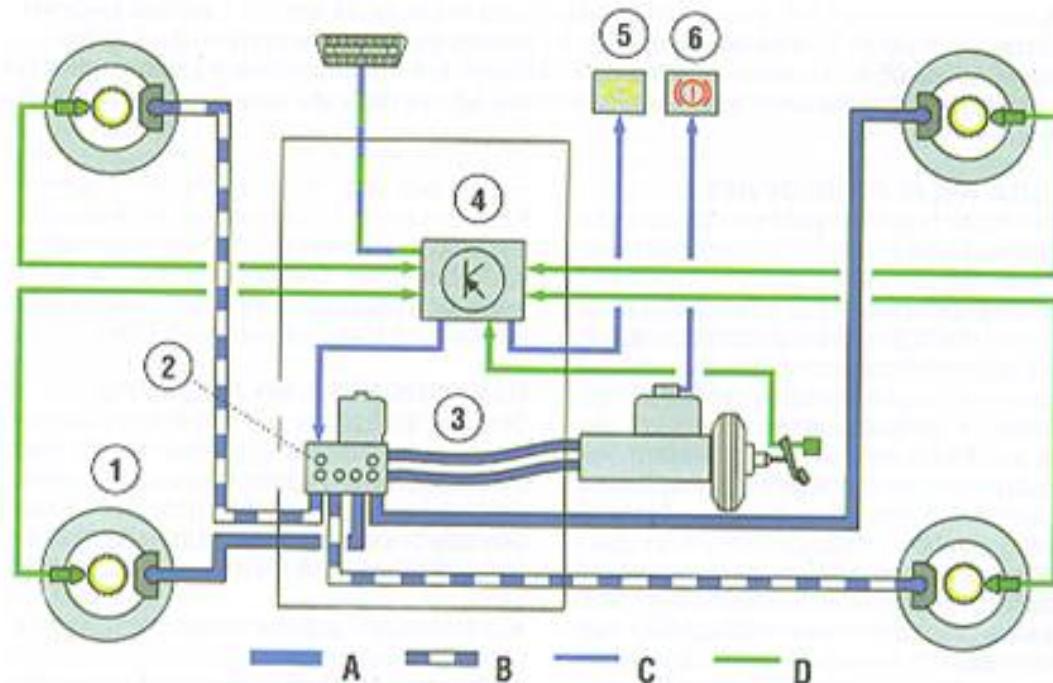
[video](#)



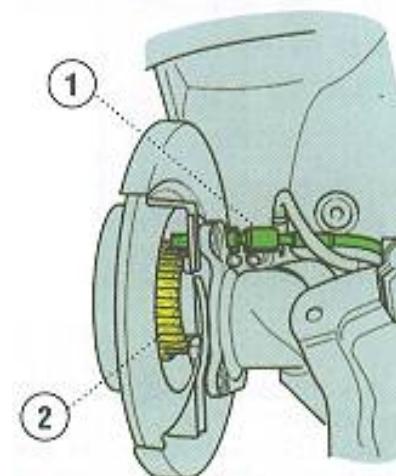
[video](#)



ABS



Obr.: Schéma uspořádání a funkce systému ABS: A, B-dva diagonálně propojené brzdrové okruhy, C-vstupní informace, D-výstupní informace; 1-snímače otáček kol, 2-hydraulická jednotka ABS, 3-hydraulické čerpadlo ABS, 4-řídící jednotka ABS, 5-kontrolka ABS, 6-kontrolka ruční brzdy a hladiny brzdrové kapaliny.



Obr.: Snímač otáček zadního kola: 1-čidlo snímače, 2-impulsní prstenec.



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ASR

Protiprokluzová soustava ASR (též TC nebo TCS) se v automobilech objevuje od roku 1986. Při rozjezdu nebo akceleraci zamezuje prokluzu jednoho či obou hnacích kol, resp. všech kol u verzí 4x4. Úkolem ASR je zabránit prokluzu a zajistit optimální přenos hnací síly ve styku kol s vozovkou. Funkce ASR je podobná činnosti systému EDS, ale ASR dokáže regulovat prokluz obou hnacích kol, přičemž využívá nejen pasivního brzdění kol, ale zasahuje i do řízení motoru - sníží podle potřeby jeho otáčky.

[video](#)



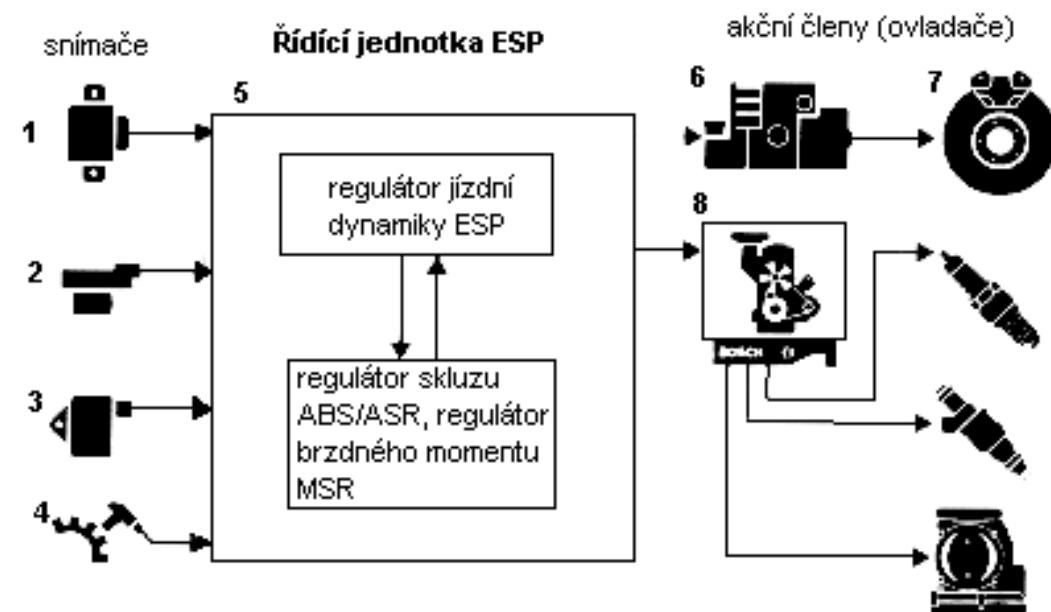


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ESP

Převrat v oblasti systémů ovlivňujících jízdní stabilitu vozidla přináší elektronický stabilizační program ESP (z angl. Electronic Stability Programme).

Také ESP, představené v roce 1995 bylo zpočátku určeno jen pro luxusní vozy. Když ale koncem roku 1997 vyšla najevo slabina v jízdní stabilitě jednoho z nových malých vozů, jeho problém vyřešilo především standardní zavedení ESP.

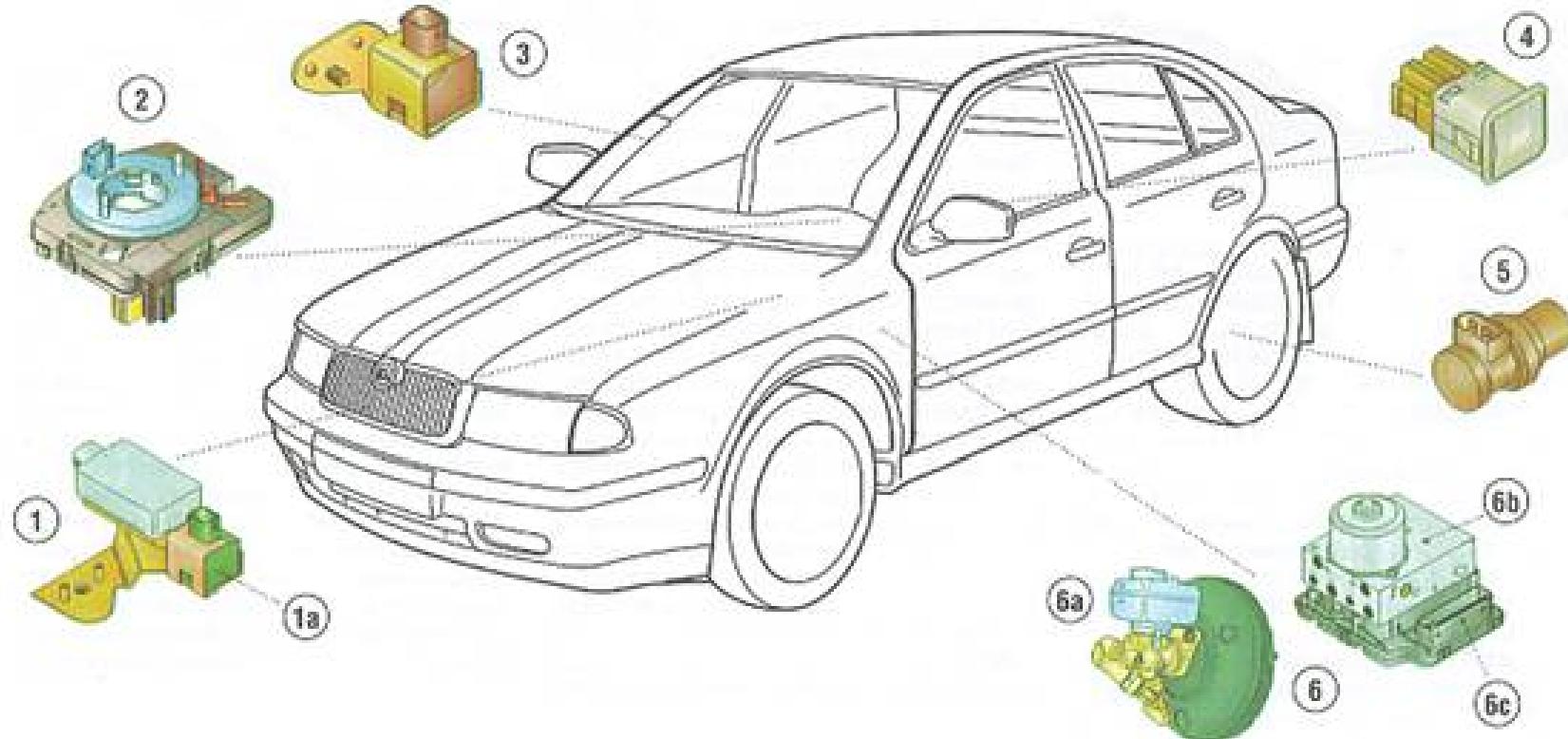


Obr.: Regulační soustava ESP (Bosch): 1-snímač stačivé rychlosti se snímačem bočního zrychlení, 2-snímač úhlu natočení volantu, 3-snímač neregulovaného brzdného tlaku, 4-snímače otáček, 5-řídící jednotka ESP, 6-hydraulická jednotka, 7-brzdy, 8-řídící jednotka managementu motoru.



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ESP - komponenty

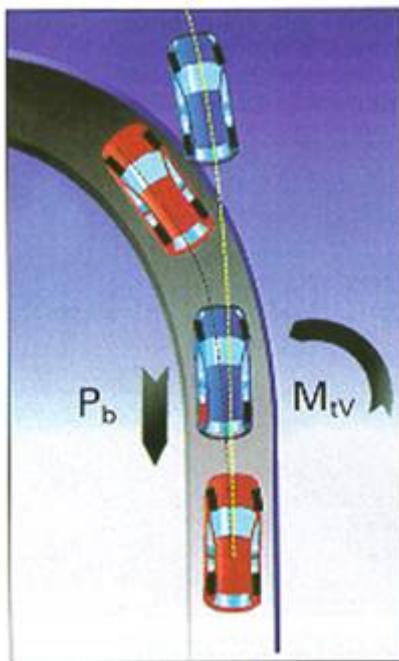


Obr.: Komponenty soustavy ESP: 1-snímač natáčení vozu okolo svislé osy, 1a-snímač příčného zrychlení, 2-snímač úhlu natočení volantu, 3-snímač podélného zrychlení, 4-tlačítko odpojení ABS/ESP, 5-snímače otáček kol, 6-zařízení pro vytvoření tlaku v brzdové soustavě, 6a-snímače brzdového tlaku a rozpoznání brzdění, 6b-hydraulický agregát, 6c-řídící jednotka.

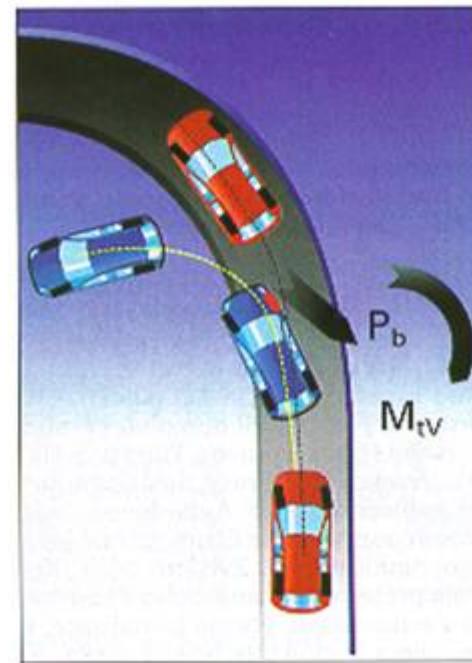


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ESP - princip



Obr.: Zásah ESP proti nedotáčivosti:
přibrzděním levého zadního kola silou
 P_b vznikne moment M_{tv} opačného
smyslu, který vozidlo navede správně
do zatáčky.



Obr.: Zásah ESP proti přetáčivosti:
přibrzděním pravého předního kola
vyvolá brzdná síla P_b vyrovnávací
moment M_{tv} , který vozidlo srovná do
žádoucího směru



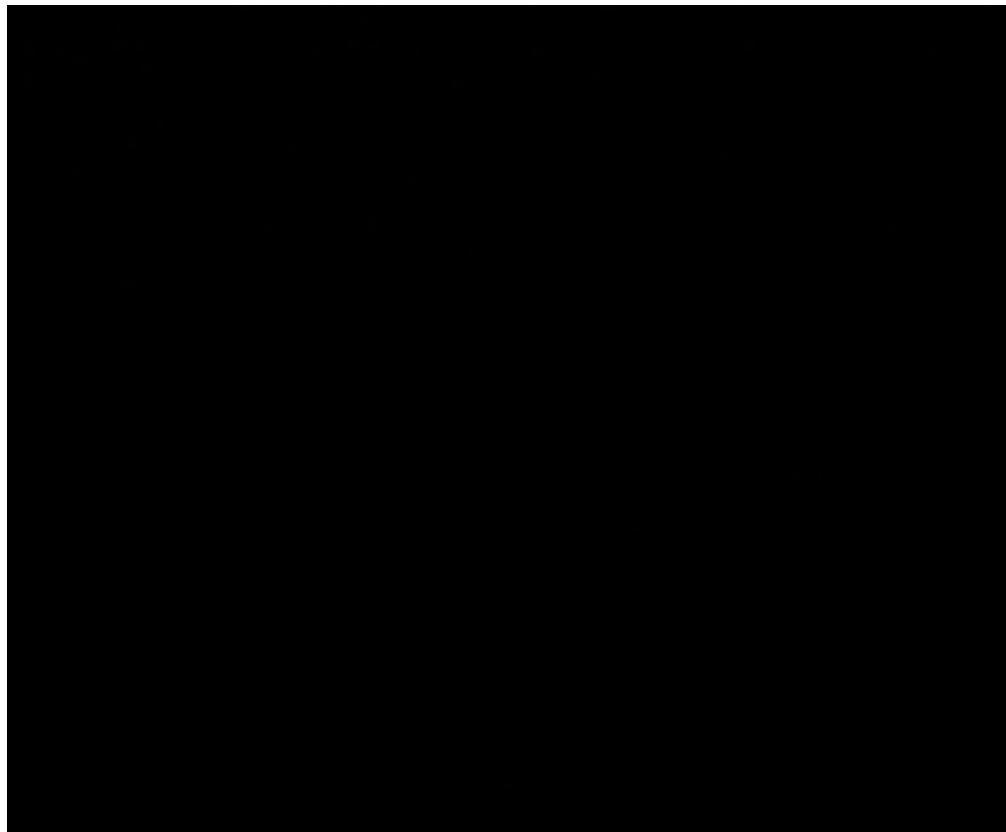
Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ESP - princip

video





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ESP se skládá z těchto hlavních komponentů:

- z elektronické řídící jednotky ECU (společná i pro ABS, EBV, MSR, EDS či ASR, ale pro ESP má rozšířené funkce; všechny potřebné údaje zpracovává každých 7 ms),
- ze sedmi druhů snímačů; jsou to
 - snímač pro rozpoznání brzdění, který sleduje brzdění řidiče,
 - snímače otáčení jednotlivých kol, informující nepřetržitě řídící jednotku o jejich rychlosti,
 - snímač úhlu natočení volantu, vyhodnocující požadovaný směr jízdy,
 - snímač příčného zrychlení, informující o velikosti příčných (odstředivých) sil v zatáčkách,
 - snímač natáčení vozidla kolem svislé osy, určující začátek smyku,
 - snímač brzdného tlaku, hlásící aktuální tlak v brzdové soustavě, z něhož řídící jednotka vyhodnocuje podélné zpomalení vozidla,
 - snímač podélného zrychlení,



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

ESP se skládá z těchto hlavních komponentů:

- propojení prostřednictvím sběrnice CAN-Bus s ECU motoru, popřípadě i ECU samočinné převodovky, aby ESP mohlo v případě potřeby zasahovat do režimu jejich řízení,
- tlačítko pro vypnutí funkce ESP, vhodné např. pro jízdu se sněhovými řetězy nebo při různých zkouškách vozidla.

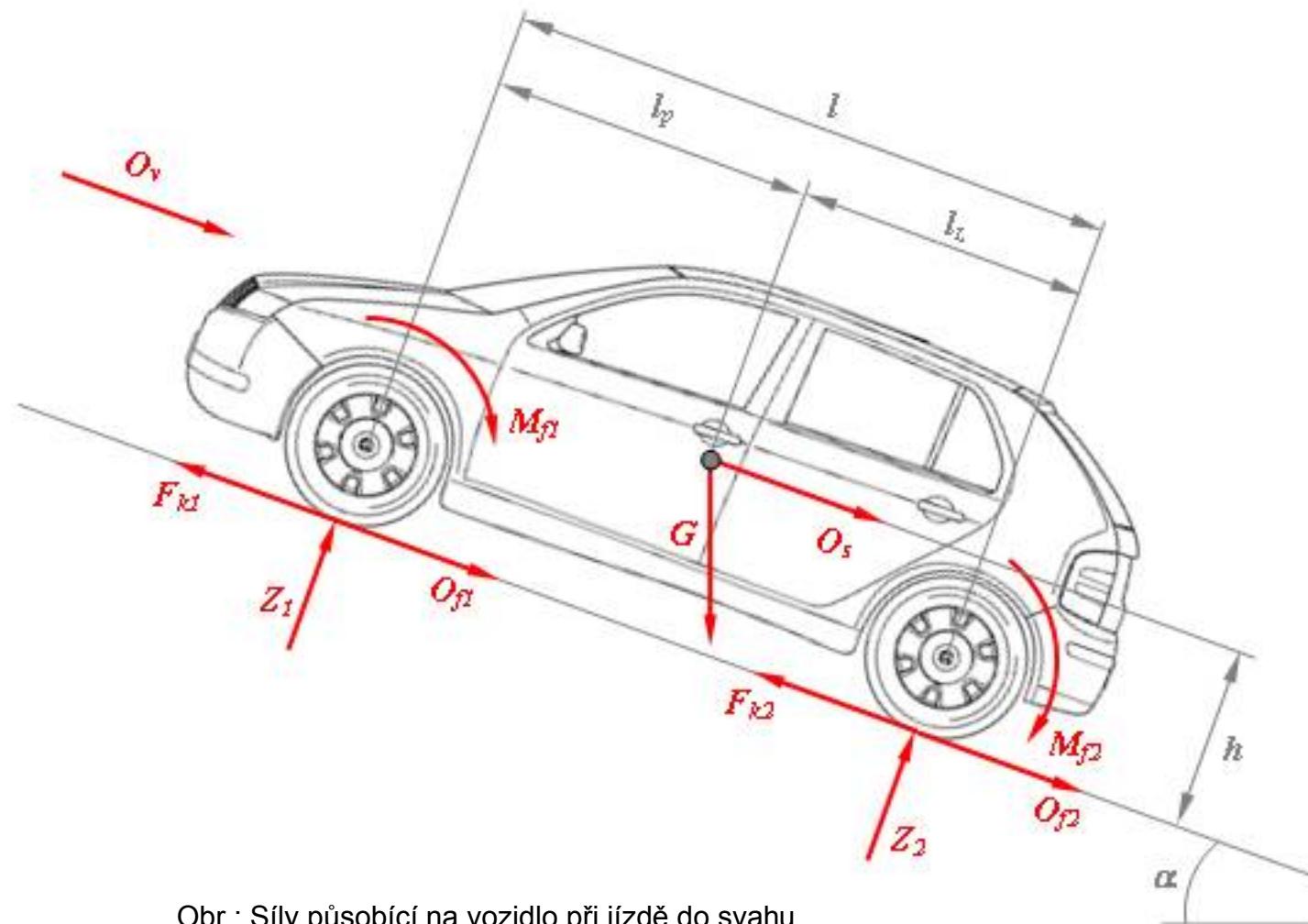
Řídící jednotka ESP ovládá při regulačním zásahu tyto systémy:

- čerpadlo pro vytvoření potřebného tlaku v brzdové soustavě, který je nutno vytvořit, pokud řidič nebrzdí (nový dvojčinný posilovač brzd s elektromagnetem dokáže během 200 ms vytvořit v brzdové soustavě tlak 13 až 18 MPa a směřovat jej na jediné kolo),
- hydraulickou jednotku pro rozdělování tlaku v brzdové soustavě k brzdám na jednotlivých kolech, která je třeba přibrzdovat (jde o rozšířený agregát ABS/ASR).



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Dynamika přímé jízdy – vliv polohy těžiště, přitěžování a odlehčování náprav při jízdě



Obr.: Síly působící na vozidlo při jízdě do svahu



Dynamika přímé jízdy – vliv polohy těžiště, přitěžování a odlehčování náprav při jízdě

ukázka pro vozidlo:

$m =$	1200
$g =$	9,81
$l_p =$	1,2
$l_z =$	1,3
$h =$	0,7
$h_v =$	0,8
$f =$	0,02
$\rho =$	1,25
$c_x =$	0,4
$S_x =$	3,1
$\zeta =$	1,2
$r =$	0,35

- kg (pohotovostní hmotnost vozidla)
 m/s^2 (gravitační zrychlení)
 m (vzdálenost přední nápravy od těžiště)
 m (vzdálenost zadní nápravy od těžiště)
 m (výška těžiště)
 m (výška působení Ov)
 $-$ (součinitel valení)
 kg/m^3 (hustota vzduchu)
 $-$ (součinitel aerodynamického odporu)
 m^2 (čelní plocha vozidla)
 $-$ (součinitel vlivu rotačních ploch při prvním rychlostním stupni)
 m (poloměr kola)

1) na rovině, stojící vozidlo

$$Z_1 = 6\ 121\ N$$

$$Z_2 = 5\ 651\ N$$

2) jízda konstantní rychlostí 120km/h na rovině

$$Z_1 = 5\ 813\ N$$

$$Z_2 = 5\ 959\ N$$

3) jízda rychlostí 70 km/h do svahu 10% se zrychlením $0,8m/s^2$

$$Z_1 = 5\ 314\ N$$

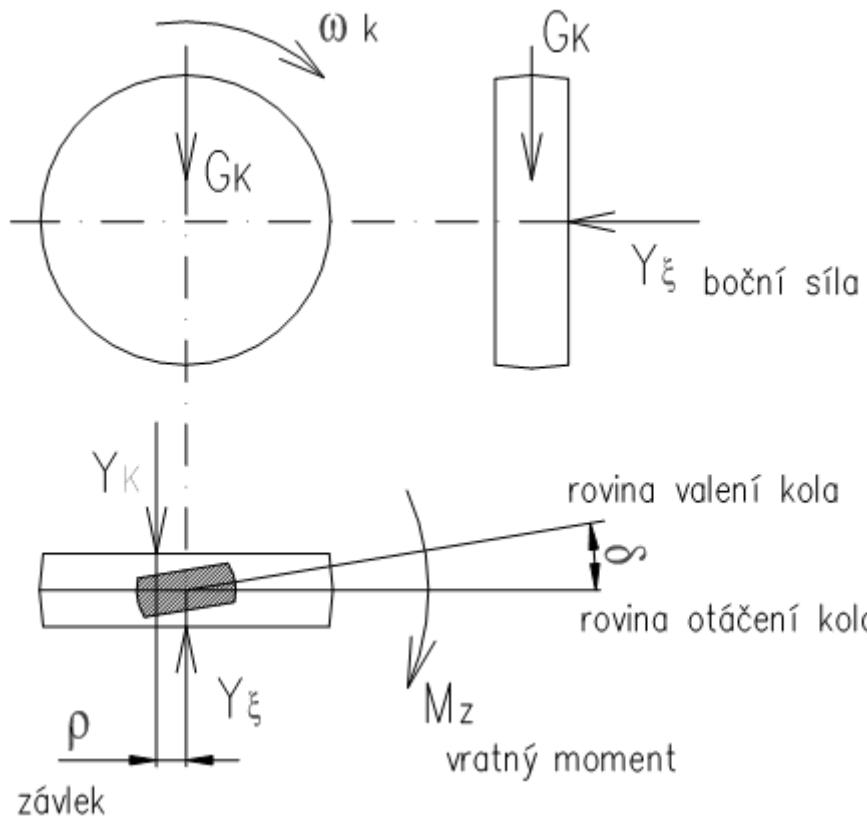
$$Z_2 = 6\ 399\ N$$



Dynamika jízdy v zatáčce – valení kola

$$\delta = \xi \cdot Y_K$$

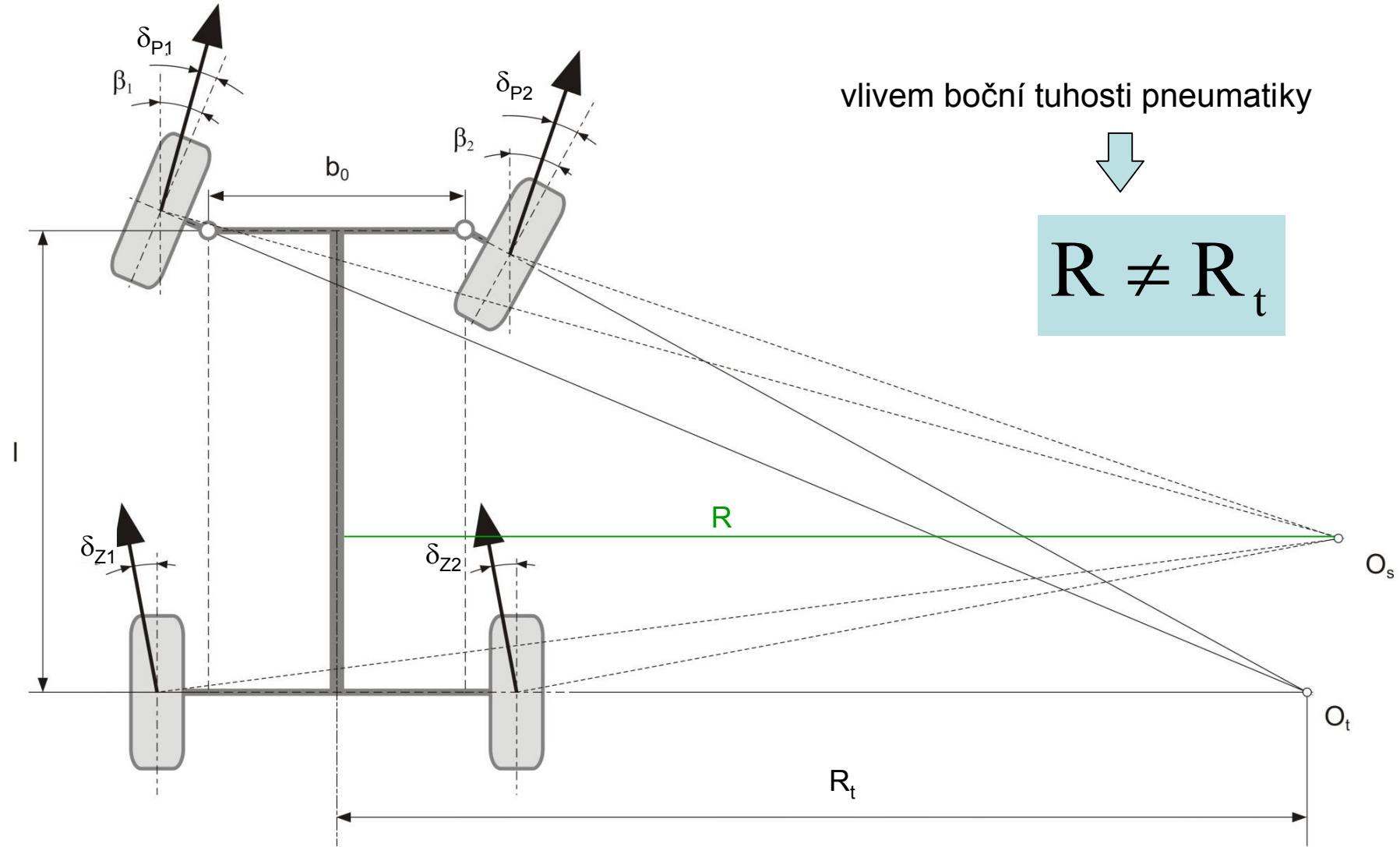
- kolo s boční pružností se valí v rovině danou směrovou úchylkou δ
- závisí na $-Y_K$, ξ (součinitel směrové odchylky [rad/N] $\Rightarrow 1/\xi$ = boční tuhost)





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Dynamika jízdy v zatáčce – teoretický a skutečný poloměr zatáčení

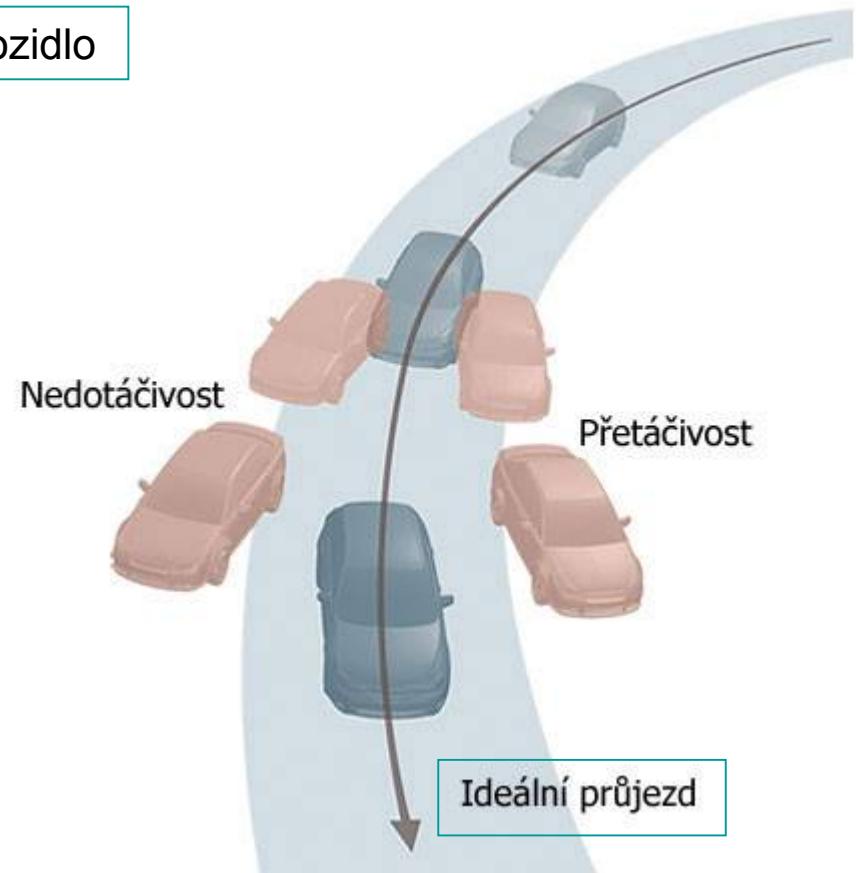




Dynamika jízdy v zatáčce – vozidlo nedotáčivé a přetáčivé

- stejně se chovající pneumatiky vpředu i vzadu

$$\delta_P \cong \delta_Z \quad \Rightarrow \quad R \cong R_t \quad \Rightarrow \quad \text{neutrální vozidlo}$$





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Dynamika jízdy v zatáčce – vozidlo nedotáčivé a přetáčivé

- pneumatiky na přední nápravě mají menší boční tuhost, větší boční síla na přední nápravě

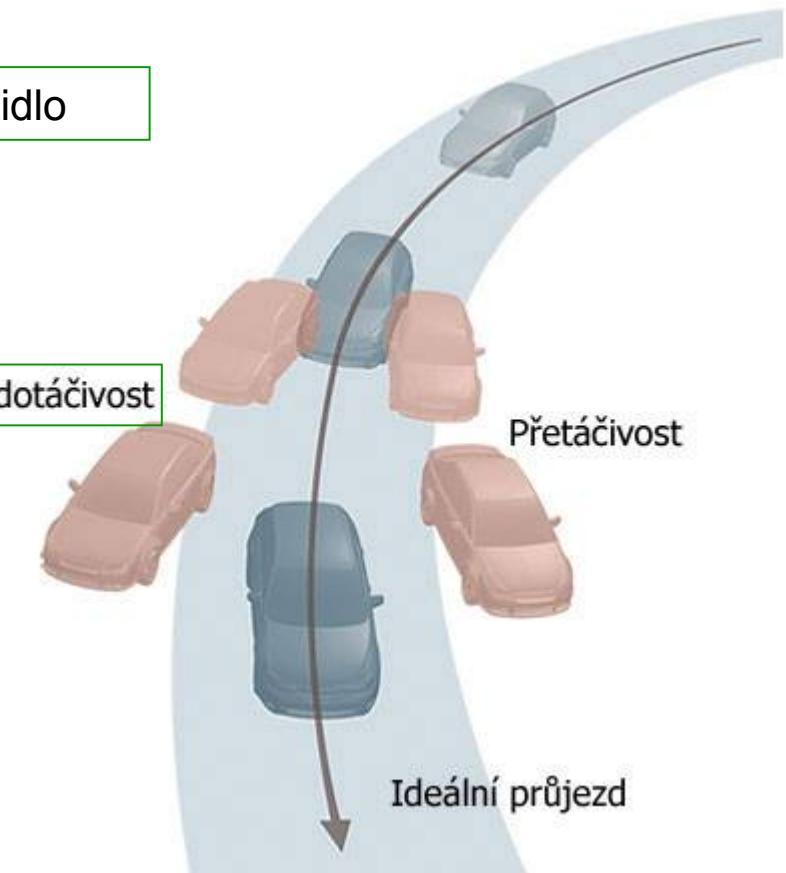
$$\delta_P > \delta_Z \rightarrow R > R_t \rightarrow \boxed{\text{nedotáčivé vozidlo}}$$

stabilní

Nedotáčivost

Přetáčivost

Ideální průjezd





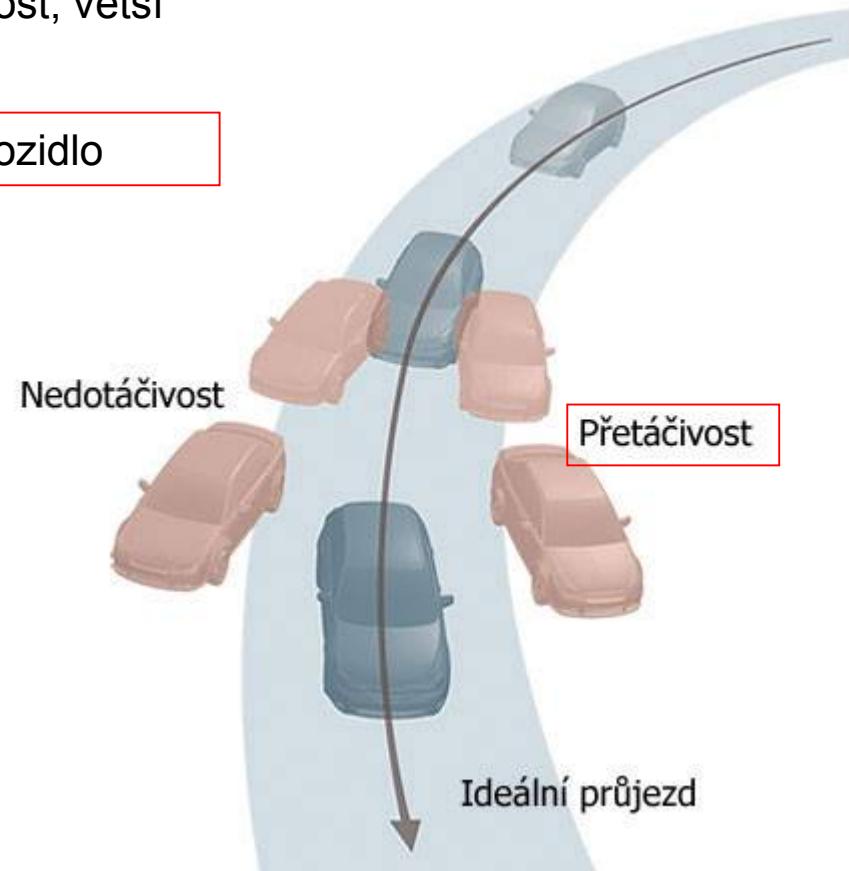
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Dynamika jízdy v zatáčce – vozidlo nedotáčivé a přetáčivé

- pneumatiky na zadní nápravě mají menší boční tuhost, větší boční síla na zadní nápravě

$$\delta_P < \delta_Z \rightarrow R < R_t \rightarrow \text{přetáčivé vozidlo}$$

nestabilní





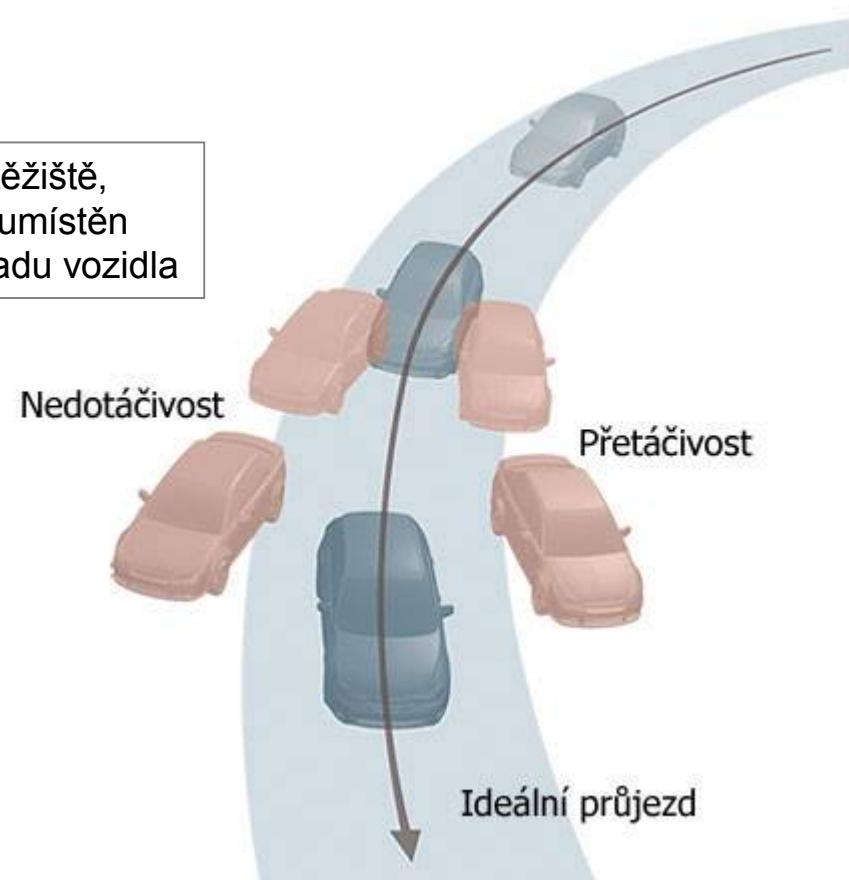
Dynamika jízdy v zatáčce – vozidlo nedotáčivé a přetáčivé

- velikost úhlu δ mezi rovinou otáčení a valením kola můžeme ovlivnit velikostí boční síly nebo boční tuhostí pneumatiky

např.:

- přední pneumatiky radiální, zadní diagonální = **přetáčivé**
- snížení tlaku v zadních pneumatikách = **přetáčivé**

podélná poloha těžiště, např. agregát je umístěn vpředu, nebo vzadu vozidla

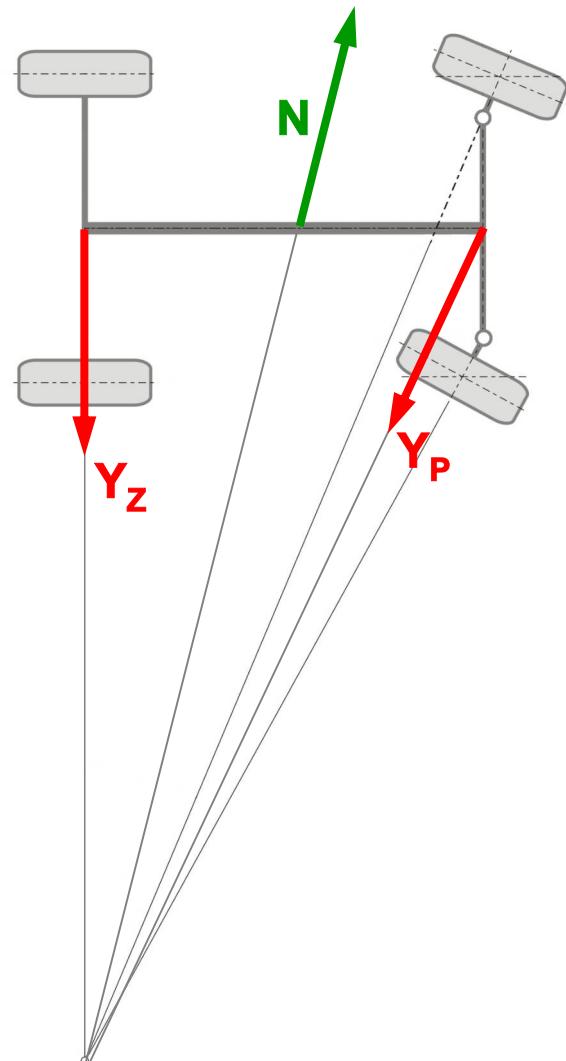


Vozidlo by mělo být mírně nedotáčivé !!!



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

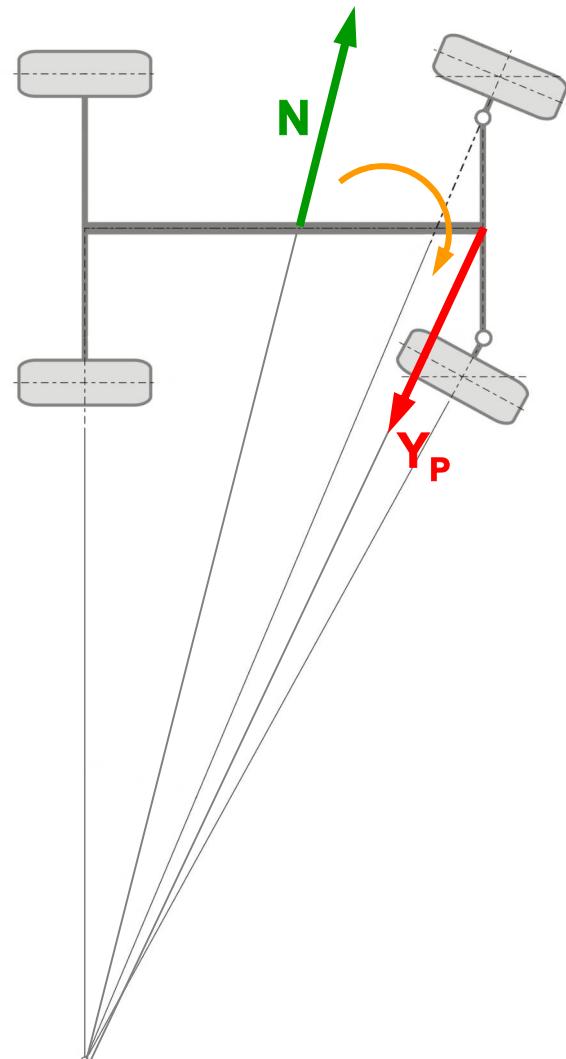
Dynamika jízdy v zatáčce – síly na vozidle





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

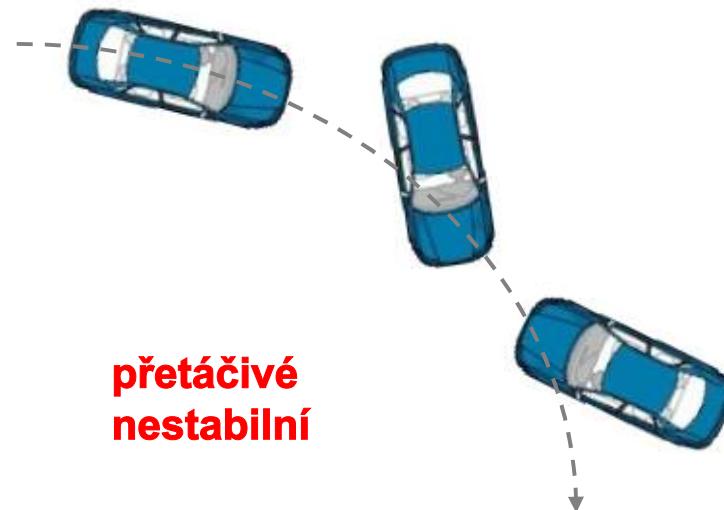
Dynamika jízdy v zatáčce – síly na vozidle



náhon zadní nápravy



dříve nastane smyk na zadní nápravě
– viz Kammova kružnice (vektorový
součet sil F_K a Y_Z) = tzn. $\mathbf{Y}_Z = \mathbf{0}$

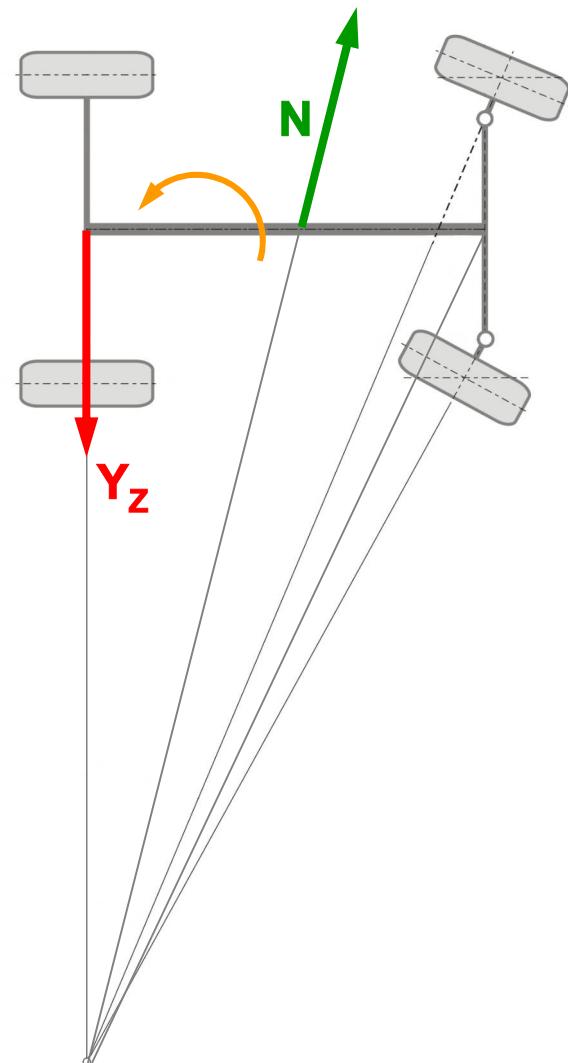


**přetáčivé
nestabilní**



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Dynamika jízdy v zatáčce – síly na vozidle



náhon přední nápravy



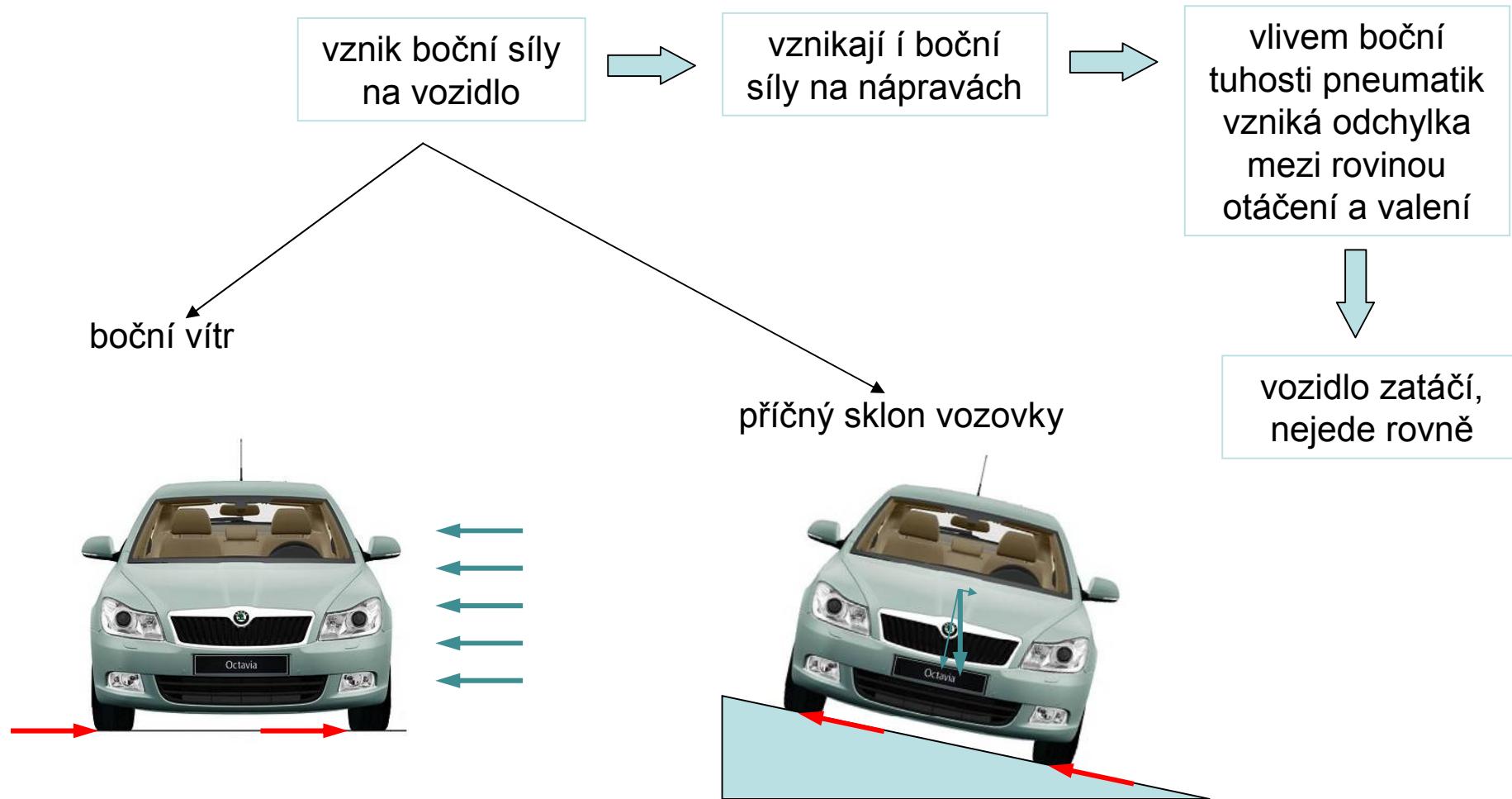
dříve nastane smyk na přední nápravě
– viz Kammova kružnice (vektorový
součet sil F_K a Y_P) = tzn. $Y_P = 0$



**nedotáčivé
stabilní**



Další možnosti vzniku bočních síly na vozidlo





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Aktivní řízení u vozidel (dynamické řízení PN)

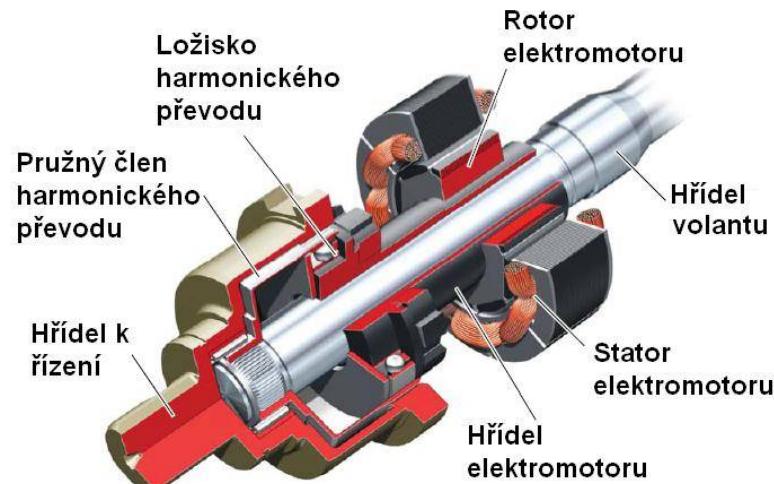
- tento systém sériově používá např. BMW, Audi, Honda...
- má přerušenou tyč řízení a do tohoto místa vsazen planetový převod, který je zapojen jako diferenciál s dvěma vstupy (volant, elektromotor) a jedním výstupem k vlastnímu řízení.
- tato koncepce splňuje zákonnou podmínu pevné mechanické vazby volant-kola a zároveň umožňuje měnit převodový poměr řízení a tím vlastní natočení kol od natočení volantu
- v podstatě lze s tímto systémem natočit kola aniž by se volant pohnul a naopak, tato vlastnost se používá jednak pro zvýšení komfortu, ale hlavně pro zvýšení stability v mezních situacích jako doplněk k ESP.



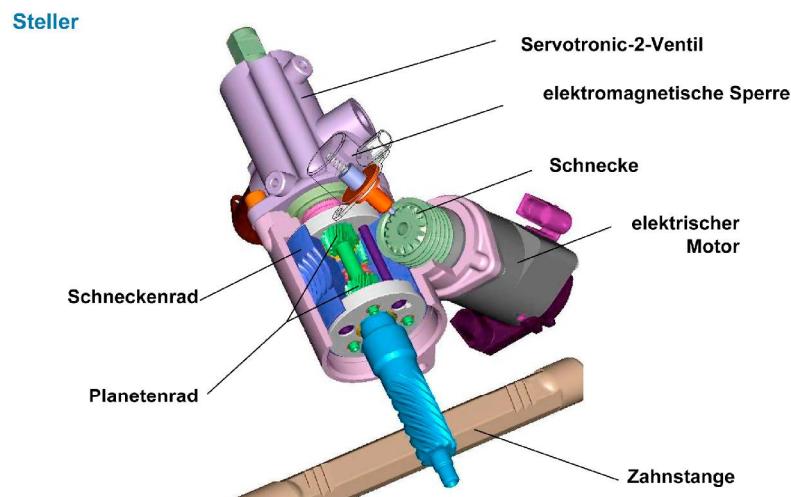
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Aktivní řízení u vozidel (dynamické řízení PN)

- konstrukční uspořádání převodovky aktivního řízení



Audi



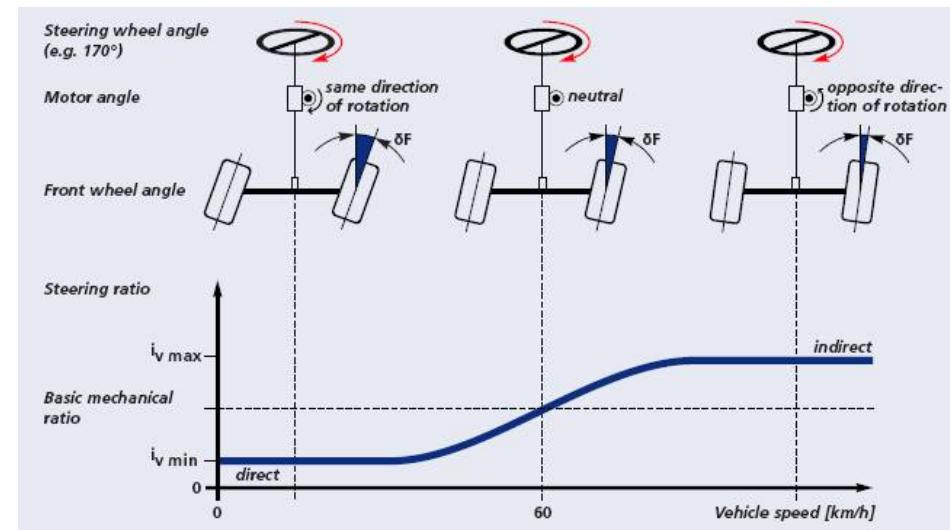
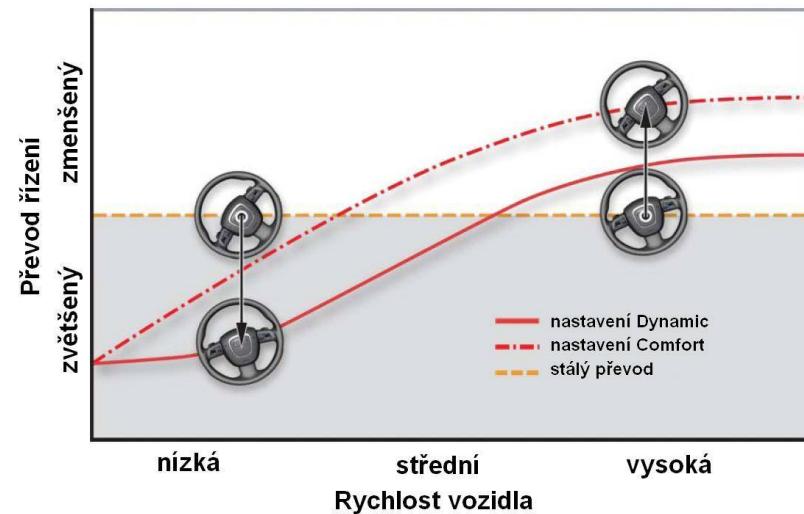
BMW



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Aktivní řízení u vozidel (dynamické řízení PN)

- průběh převodového poměru v závislosti na rychlosti a nastavení

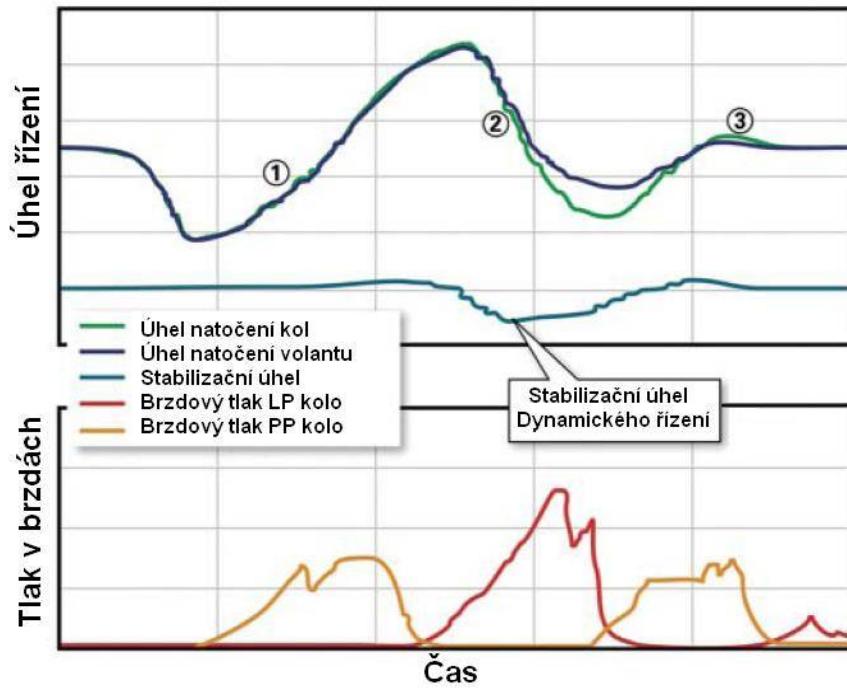
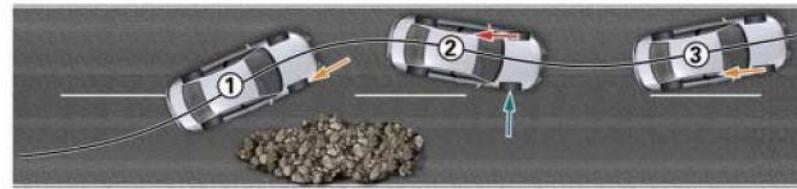


Audi

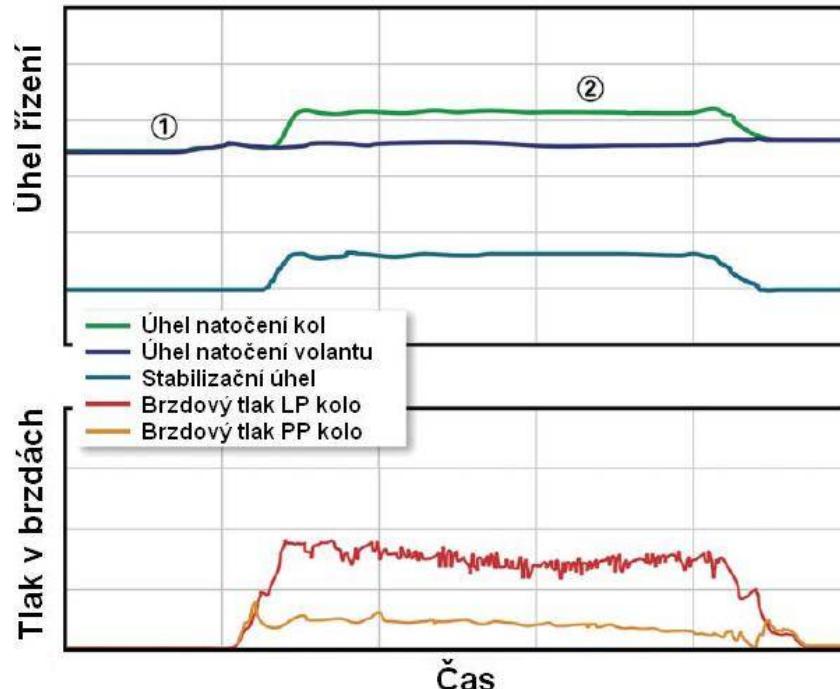
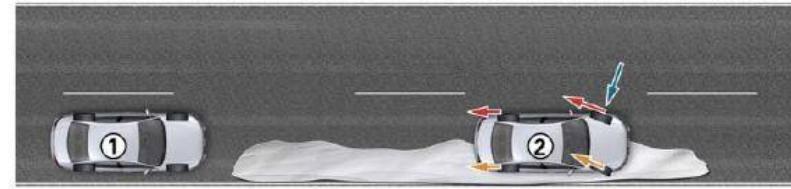
BMW



Aktivní řízení u vozidel (dynamické řízení PN)



Obrázek - vyhýbací manévr s ESP a aktivním řízením



Obrázek - brzdění na z části zledovatélé vozovce, ESP + aktivní řízení



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém řízení SBW

Dalším stupněm vývoje řídících mechanismů by v blízké budoucnosti mohly být tzv. systémy **By-Wire**. Jednoduše by tento termín mohl být přeložen jako „řízení po drátě“.

Tyto systémy se již běžně používá v letecké technice a u různých prototypů vozidel.

O jaké systémy by mohlo jít:

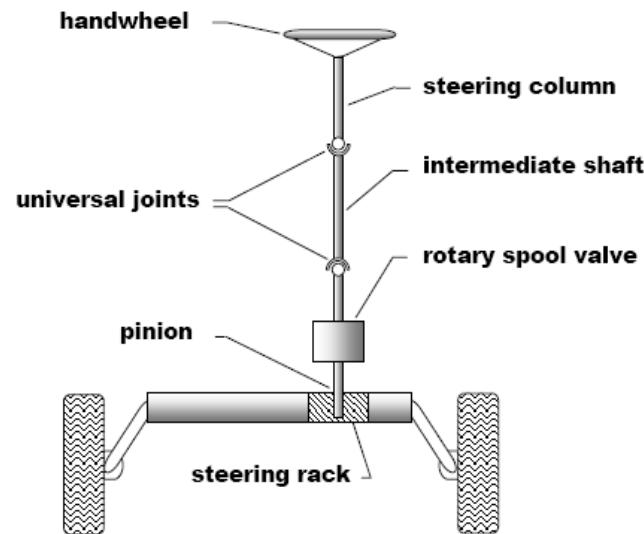
- Brake By Wire,
- Steer By Wire,
- Turbo By Wire
- Clutch By Wire
- ...



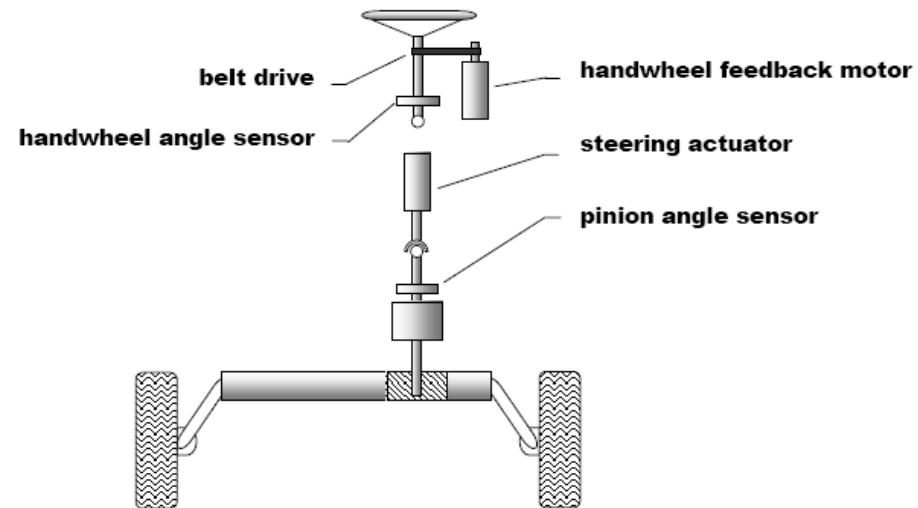
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém řízení SBW

Steer By Wire - není použita pevná vazba mezi ovládacím členem (volantem) a řídící tyčí kola



Conventional steering system



Steer-by-wire system



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém řízení SBW

- Tento systém se již běžně používá v letecké technice a u různých prototypů vozidel, kde k jeho sériovému nasazení zatím brání legislativa.
- Velice vhodnou se nabízí kombinace systému steer-by-wire se systémy ESP.
- Uvolnění „tuhého“ spojení předních kol automobilu by mohlo vytvořit podmínky pro optimalizaci kinematických vazeb a tím potom zdokonalit systém směrového řízení.



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

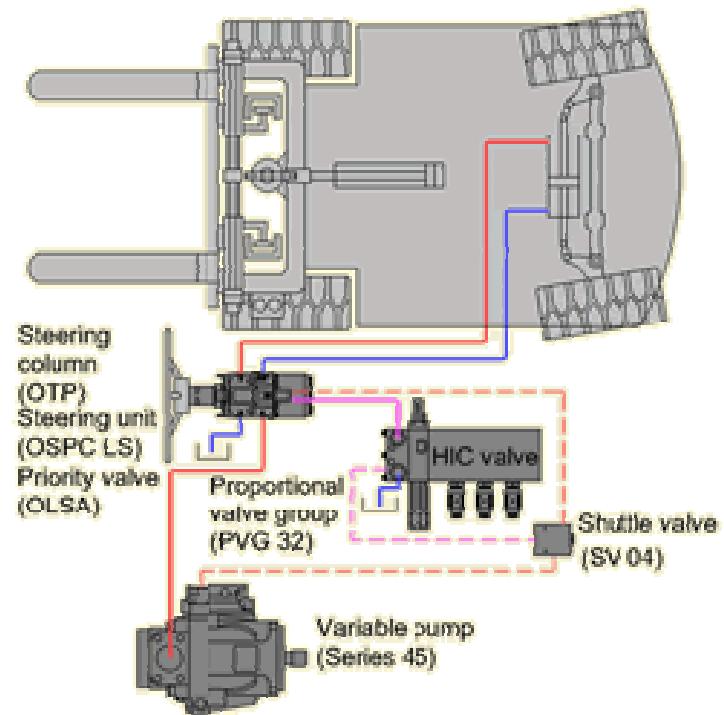
Systém řízení SBW



Obrázek - První letadlo se systémem fly-by-wire



Obrázek - Mechanismus směrového řízení u vysokozdvížných vozíků





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém řízení SBW



Obrázek – řízení SBW firmy ZF



Směrové řízení vozidla



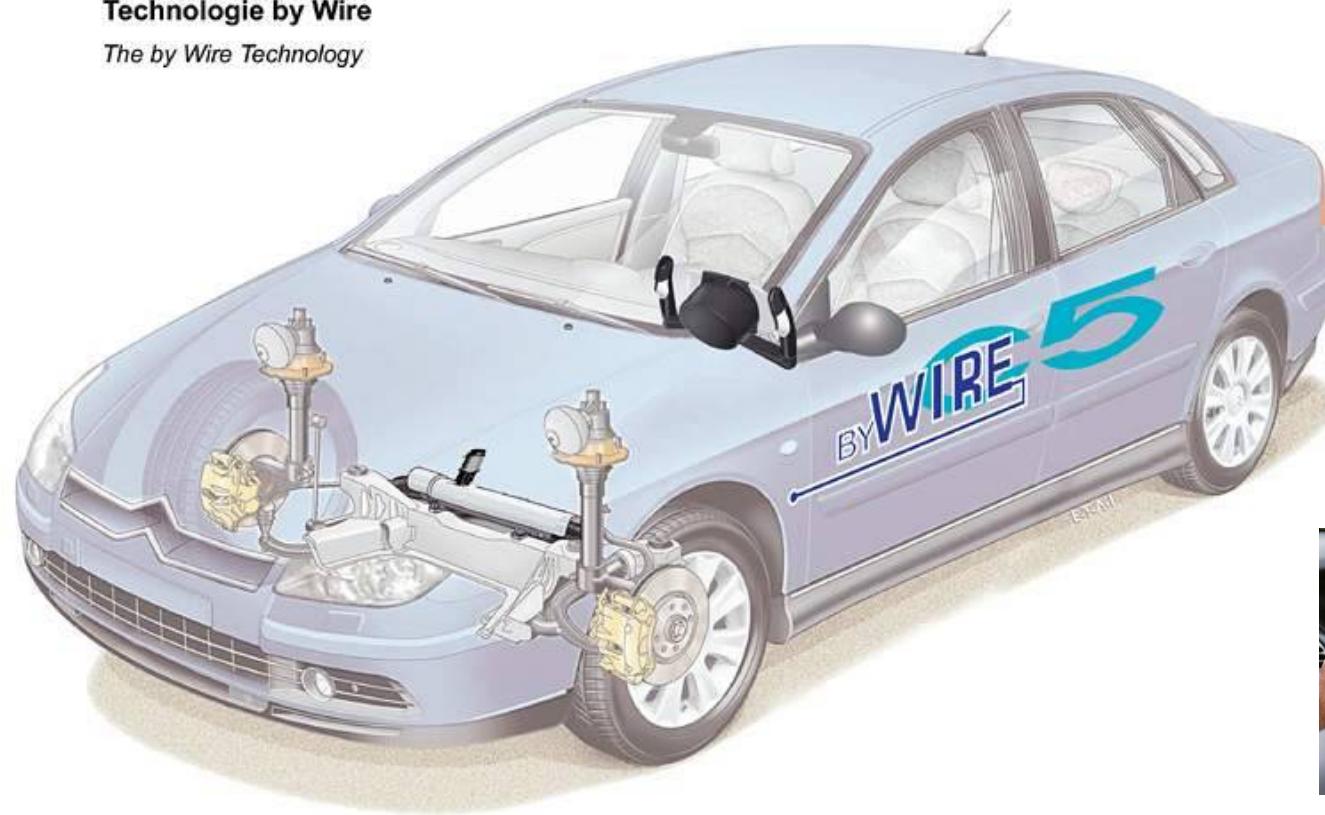
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém řízení SBW



Technologie by Wire

The by Wire Technology



CITROËN Direction de la Communication®



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS



a)



b)



c)

Obrázek - Způsoby řízení zadních kol

a) nesouhlasné řízení, pro pohyb velmi nízkou rychlostí, pomoc při parkování (přibližně do 40 km/h); b) konvenční řízení, kola zadní nápravy se nevychylují; c) souhlasné řízení, pro zvýšení stability při rychlé jízdě.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS

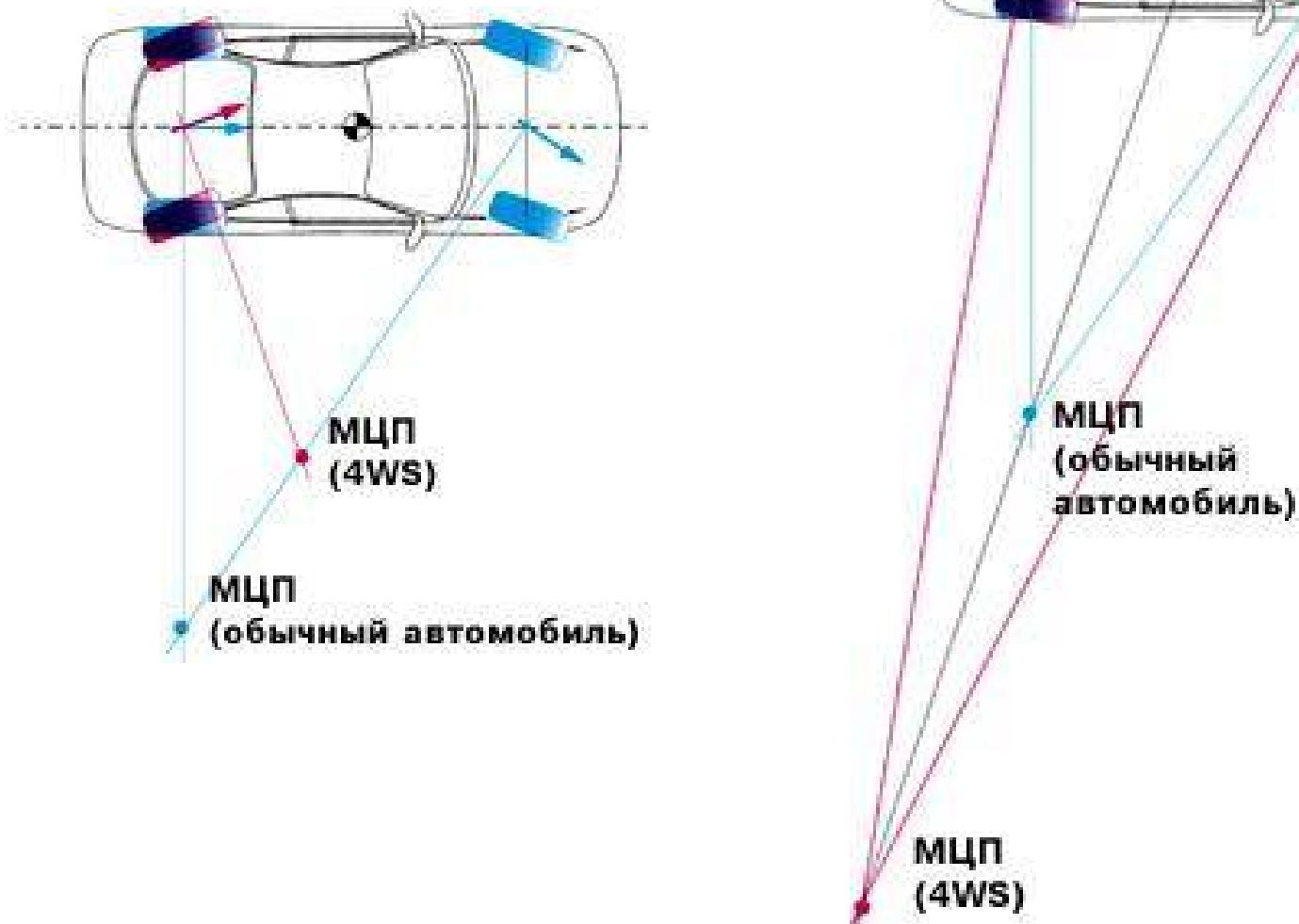


Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

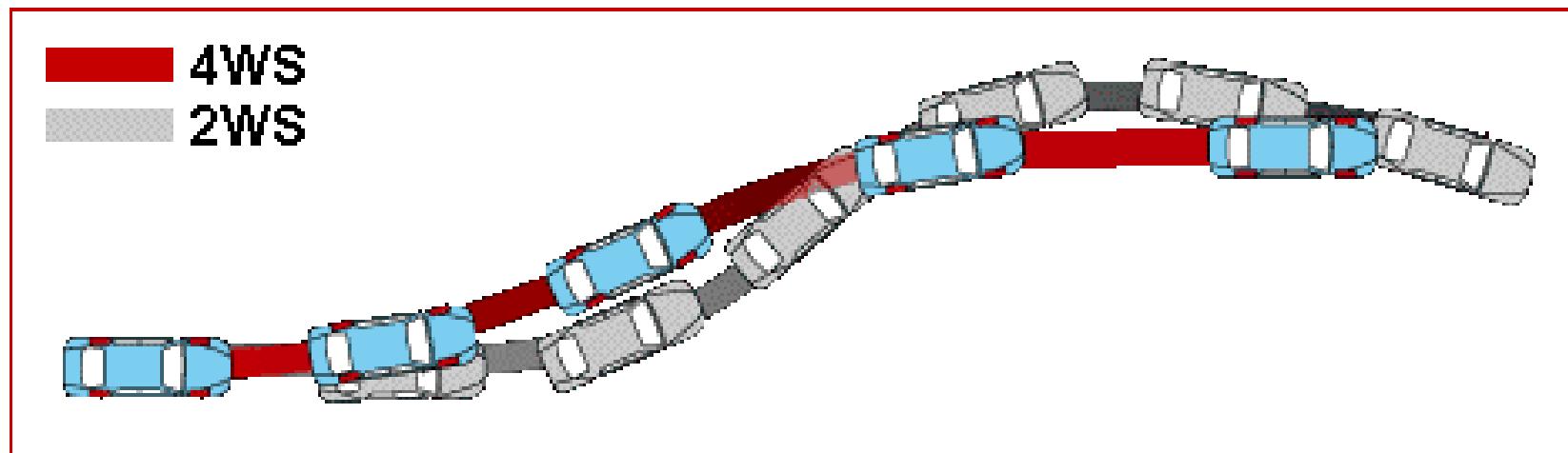
Systém 4WS





Systém 4WS

Z obrázku je zřejmé, že natáčení zadních kol může mít příznivý vliv na stabilitu pohybu vozidla.



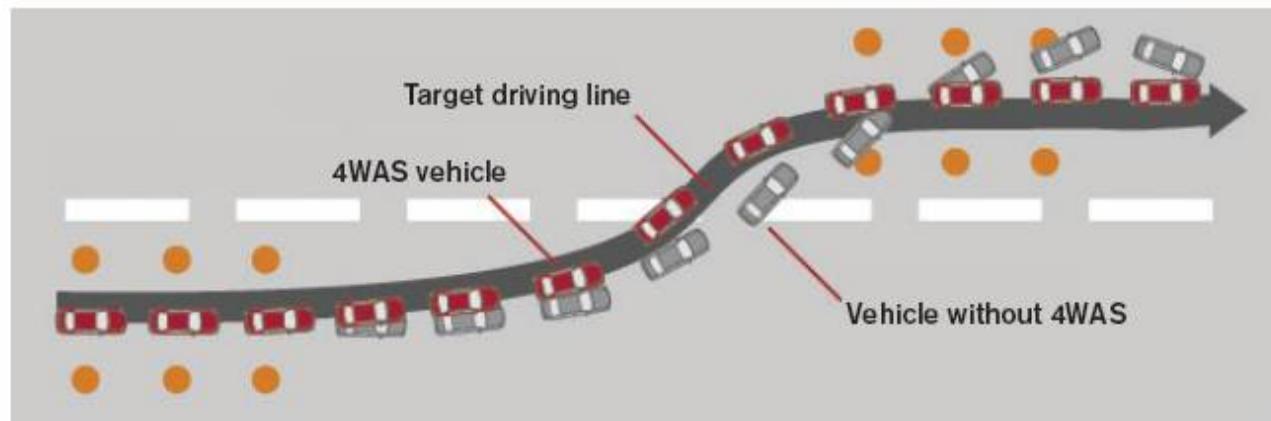
Obrázek - Porovnání vyhýbajícího manévrku u vozidla 2WS a 4WS (zlepšení stability při jízdě vysokou rychlostí) - Zdroj: Mazda



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

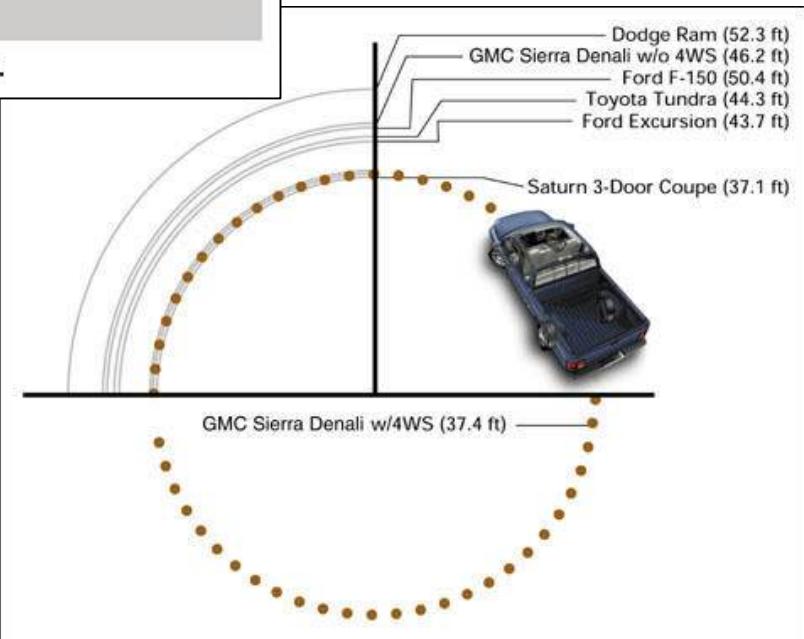
Systém 4WS

Avoiding an obstacle during expressway driving



The driver can follow the intended target line while maintaining vehicle stability.

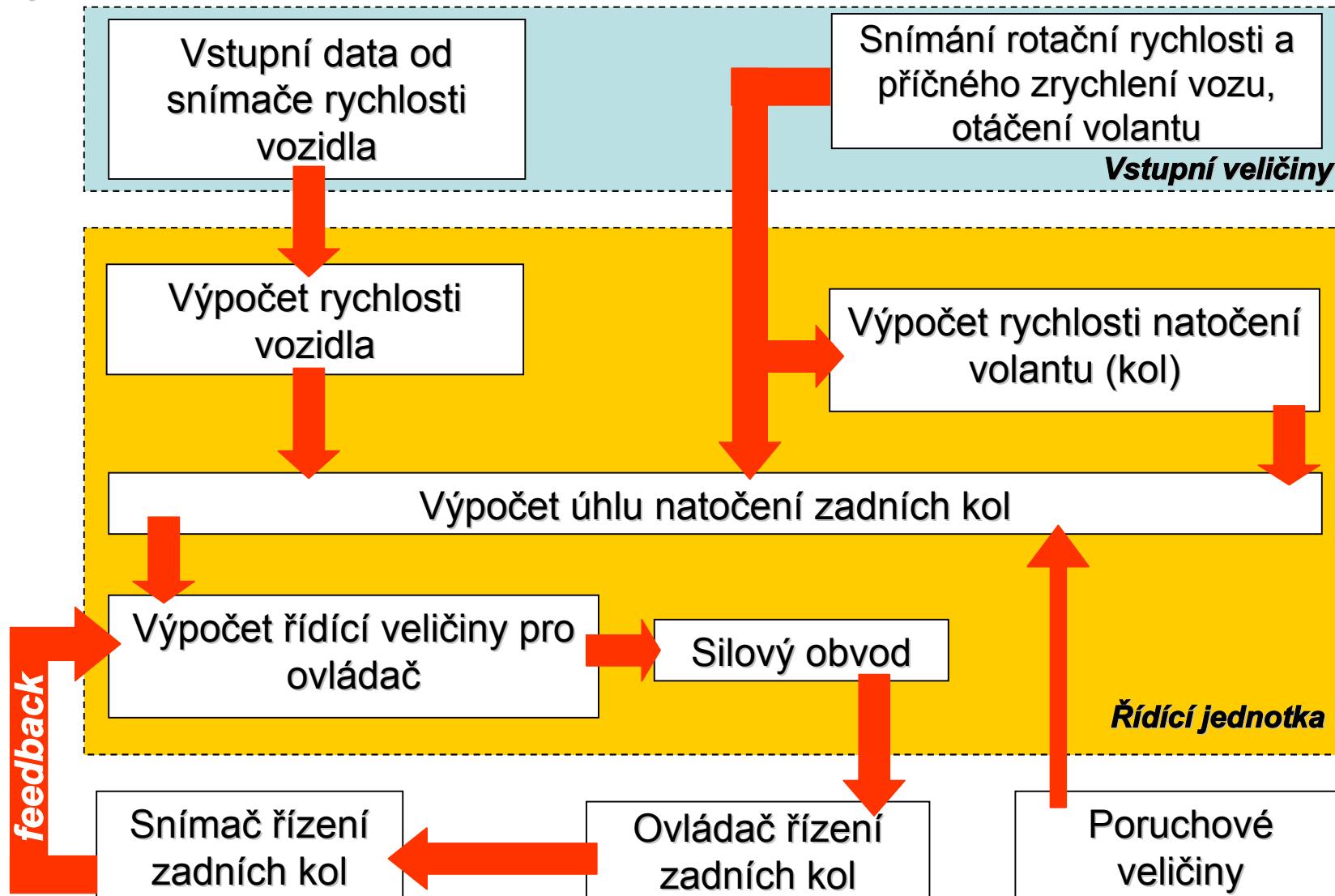
Zdroj: NISSAN Infiniti G37



Zdroj: DELPHI QUADRASTEER (fa GM)



Systém 4WS





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

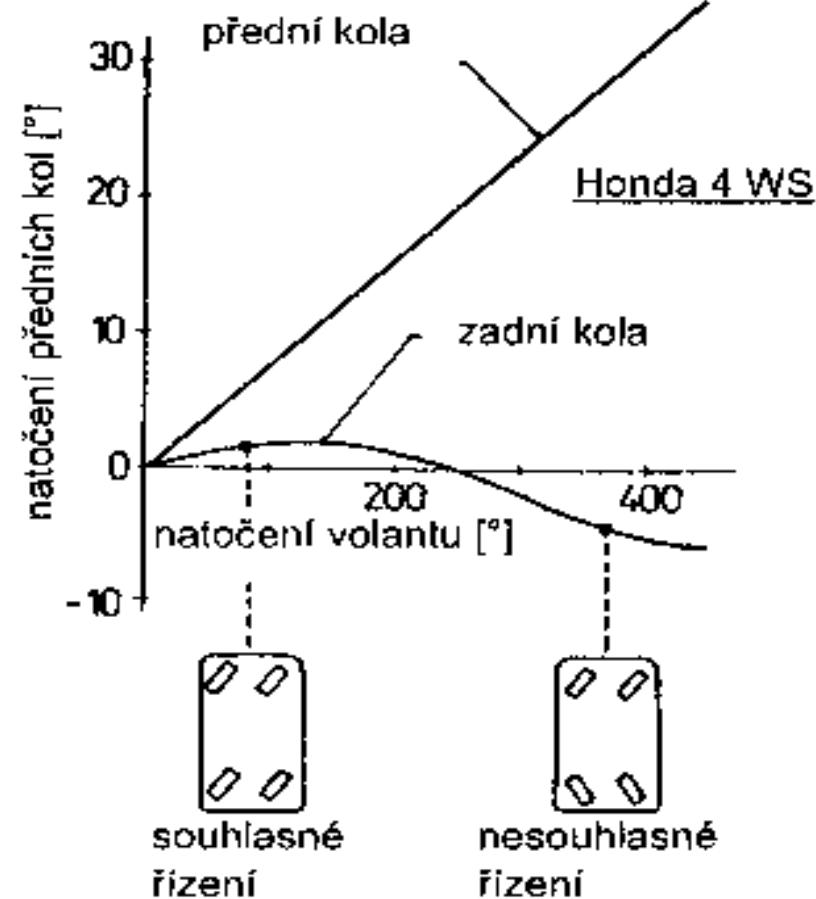
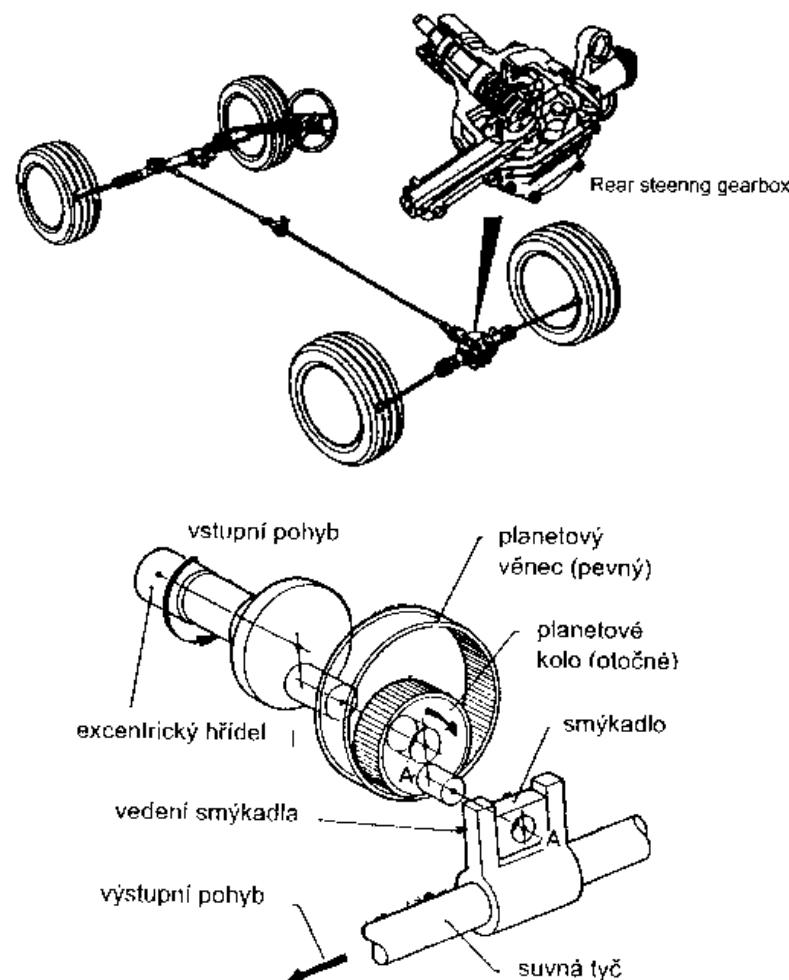
Systém 4WS

- Nejčastěji se aplikují tři systémy pro ovládání zadních kol:
- mechanický systém (např. Honda 4WS)
- elektrohydraulický systém (např. Mazda 626, BMW, Nissan, Mitsubishi Sigma)
- elektromechanický systém (např. Honda E-4WS, Delphi Quadasteer, Continental, Renault)



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

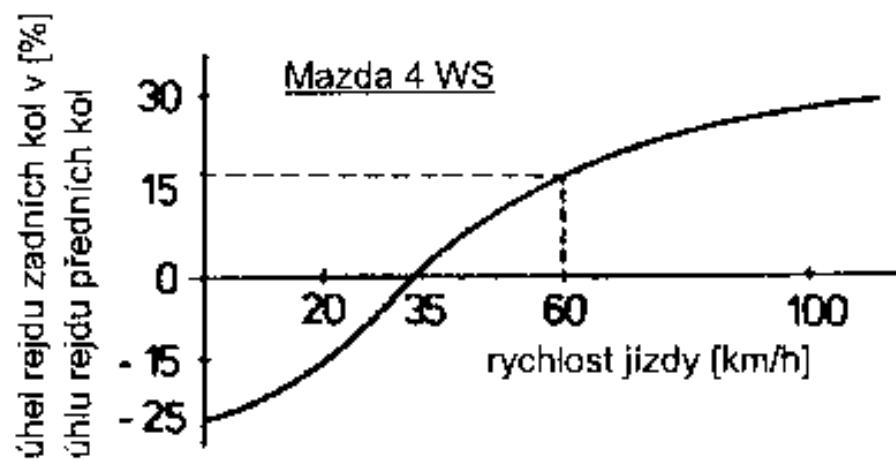
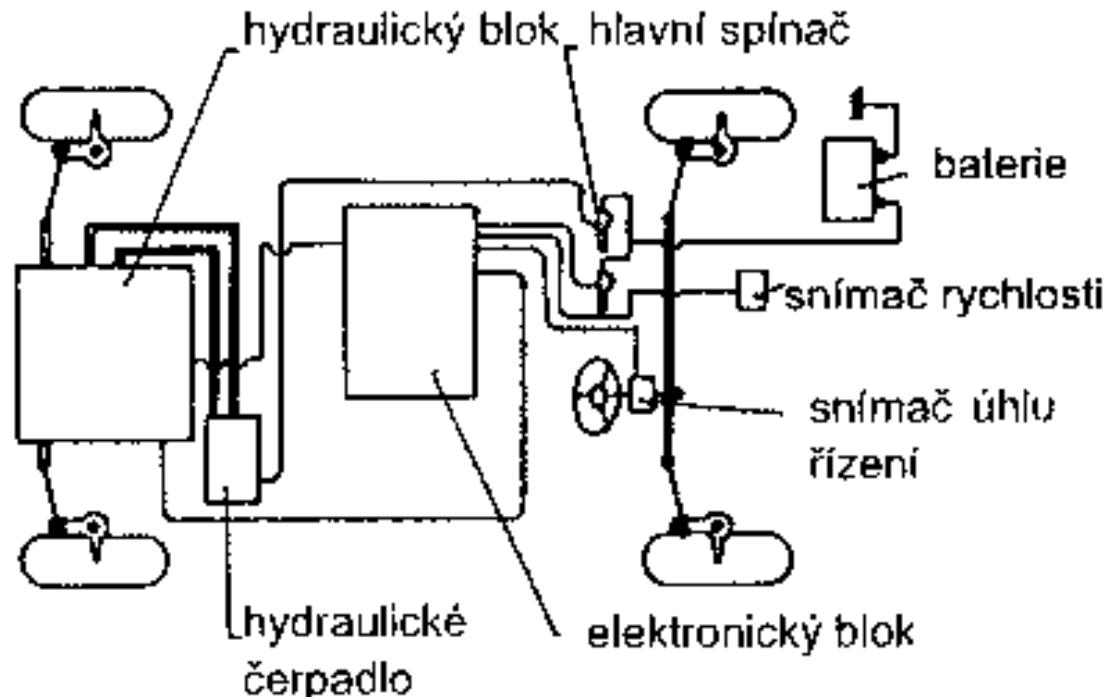
Systém 4WS - mechanický systém





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

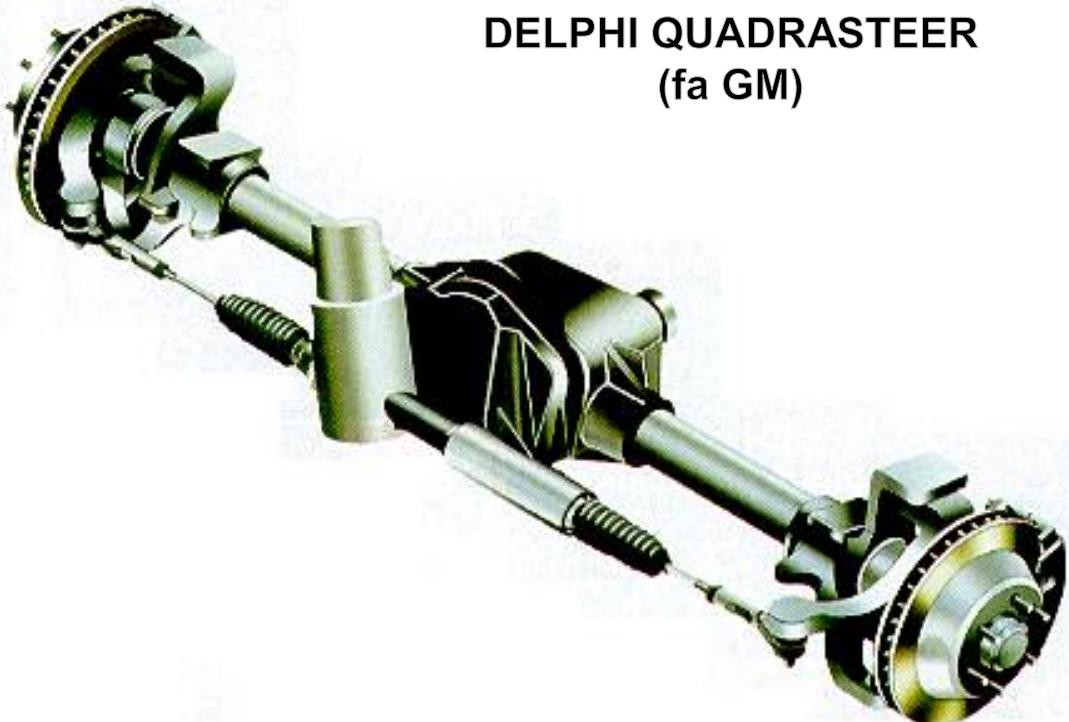
Systém 4WS - elektrohydraulický systém



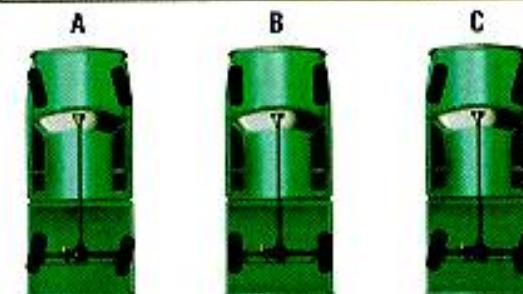
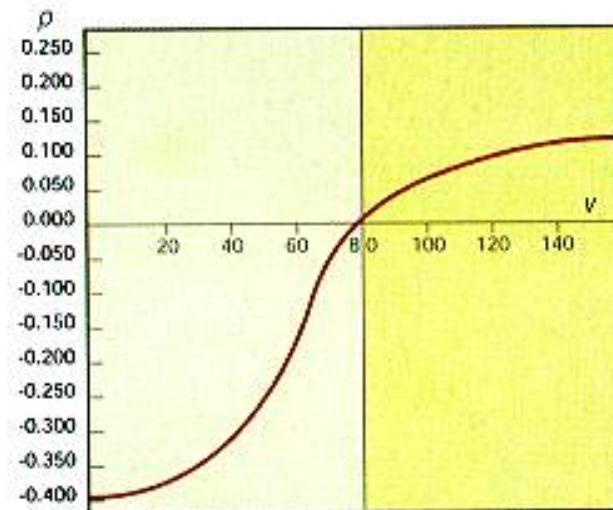


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém



**DELPHI QUADRASTEER
(fa GM)**

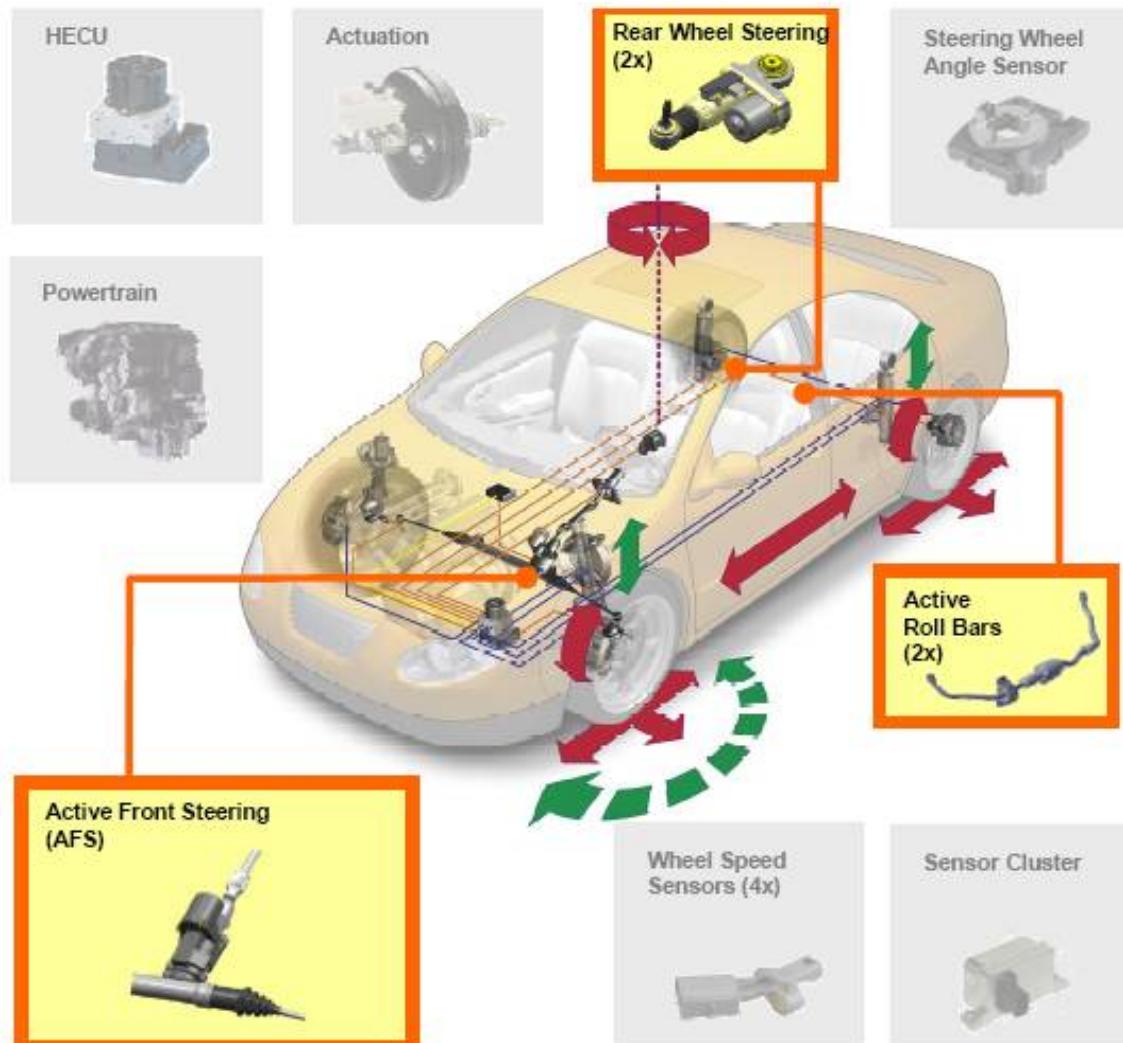


Obrázek - Schématické znázornění elektricky ovládané hřebenové převodky a celé řiditelné tuhé zadní nápravy.



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém



GCC -Global Chassis Control (fa Continental)

Basic Functionality (ESP):

- Anti-lock Brake System (ABS)
- Traction Control System (TCS)
- Electronic Brake-force Distr. (EBD)
- Active Yaw Control (AYC)

Enhanced Functionality by Functional Integration (GCC):

- Yaw Torque Compensation by braking on μ -split (braking distance, steering effort)
- Active Yaw Control with **steering intervention** (optional suspension) prior to engine and brake intervention
- Understeer Intervention
- Comfortable compensation of load alterations
- Handling Support (Lead Steering)



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém

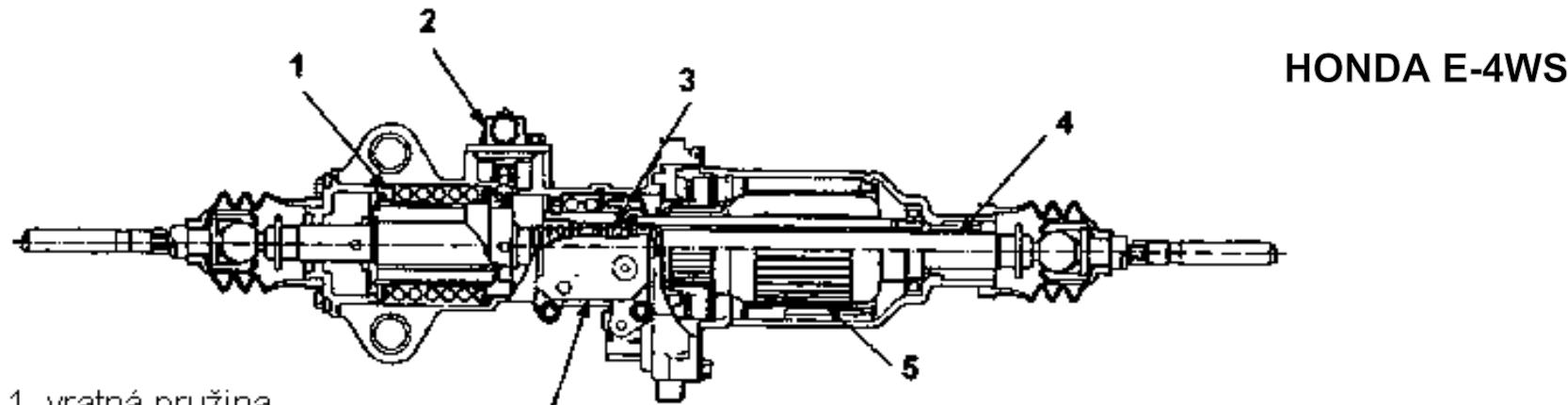
GCC -Global Chassis Control (fa Continental)

The diagram illustrates a rear wheel steering system. It features a central hydraulic cylinder connected to two rear wheels via linkages. A small blue rectangular component is labeled "HECU". To the left, there's a grey circular component labeled "Powertrain" and a white rectangular component labeled "Active Front Steering (AFS)". On the right side, there's a grey rectangular component labeled "EBD)". The entire assembly is set against a yellow background with the text "Rear Wheel Steering" prominently displayed at the top.

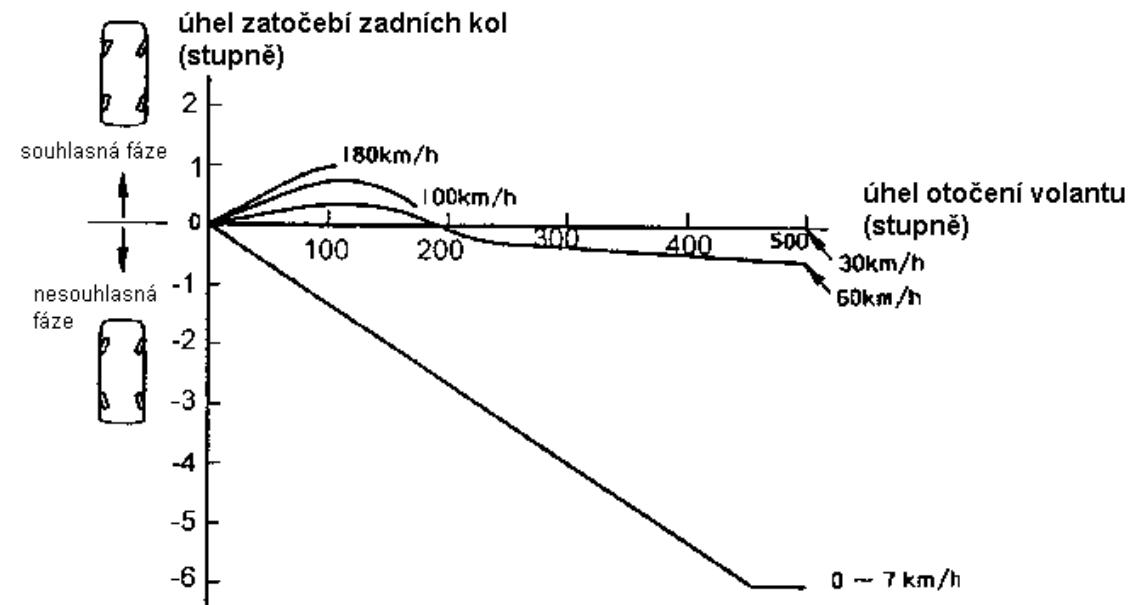
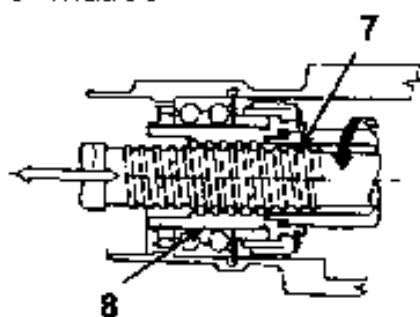


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém



- 1 vratná pružina
- 2 pomocný snímač řízení kol
- 3 kuličky závitu
- 4 hřídel s valivým závitem (viz. detail)
- 5 motor
- 6 hlavní snímač řízení kol
- 7 závit kuličkového mechanismu
- 8 matice





Směrové řízení vozidla



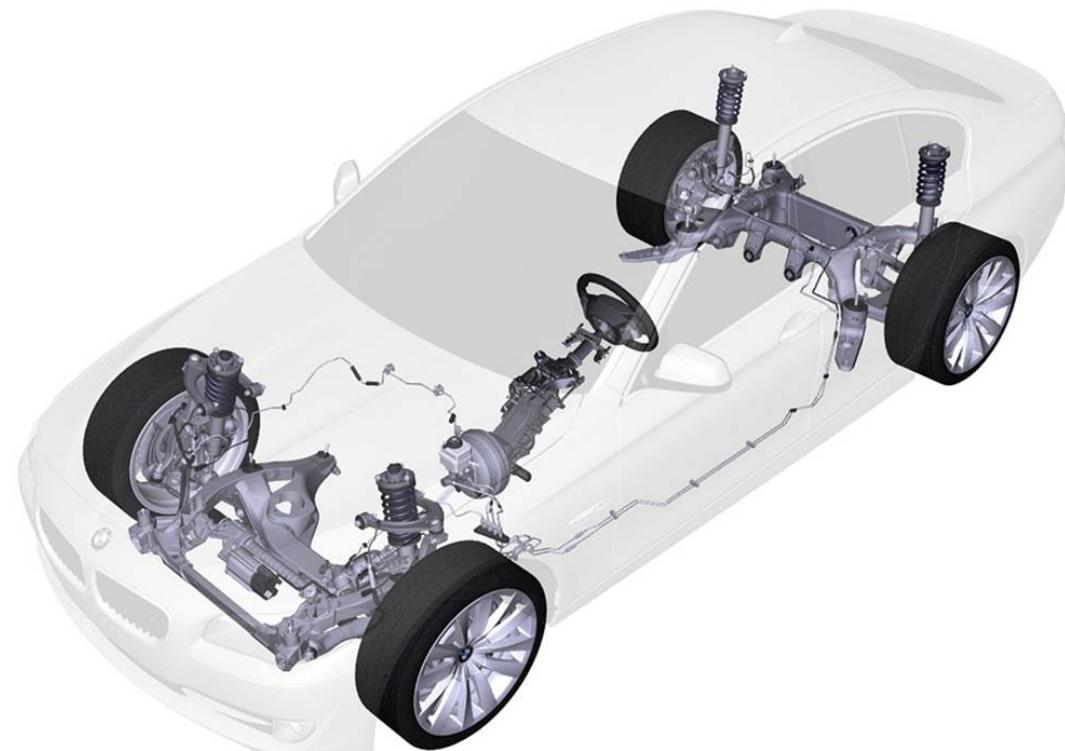
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém

Nové BMW řady 5 (7)

26. 11. 2009

Osmistupňová převodovka, elektromechanické řízení, **řízení všech kol**, systém nočního vidění s rozpoznáváním chodců, parkovací asistent, prostorové vidění při parkování...





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém

Nové BMW řady 5 (7)

26. 11. 2009

Osmistupňová převodovka, elektromechanické řízení, **řízení všech kol**, systém nočního vidění s rozpoznáváním chodců, parkovací asistent, prostorové vidění při parkování...

[video](#)



[www](#)



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém

Renault Laguna GT





MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Systém 4WS - elektromechanický systém

Renault Laguna GT



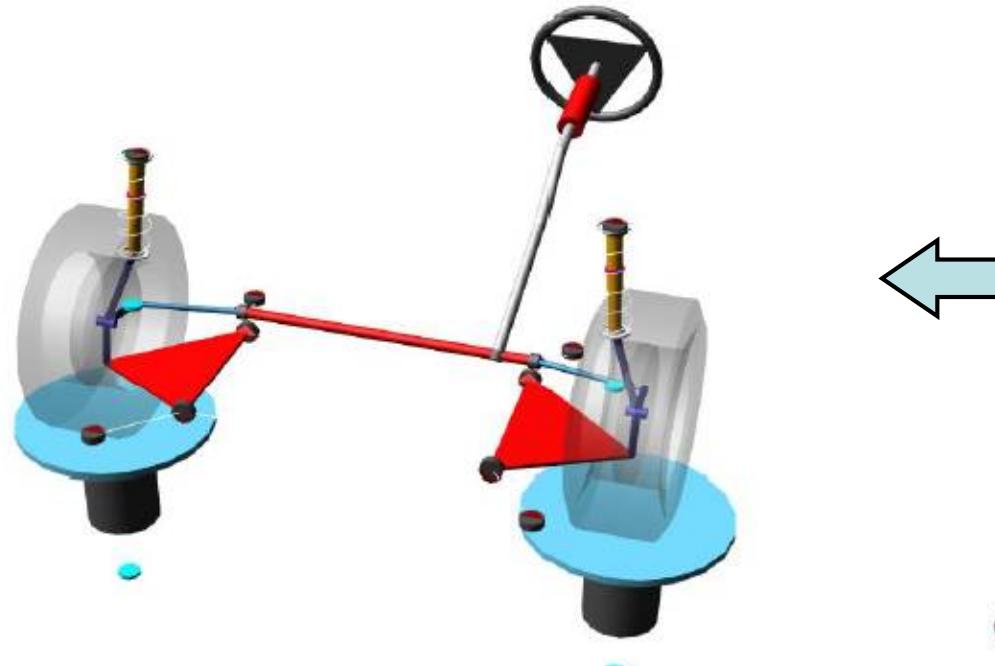
[video](#)



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Simulace versus experiment

- jednoduchý simulační model neobsahuje např. elastické uložení prvků nápravy, jednotlivé prvky jsou namodelovány jako naprostě tuhé





Směrové řízení vozidla

Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření



TUL – zkušební stanoviště

Na našem pracovišti vzniklo experimentální laboratorní stanoviště pro měření a optimalizaci **elektrohydraulického systému steer-by-wire**.

Zkušební zařízení je navrženo:

- pro zkoušení systému při nulové rychlosti – situace při parkování,
- umožní rychlé přizpůsobení stanoviště pro použití různých náprav automobilů a pneumatik,
- umožní simulaci chování systému pro různé typy povrchů s rozdílným součinitelem adheze,
- umožní vytvářet změnu zatížení nápravy např. v závislosti na obsazení vozu.

Cíl do budoucna:

- stanoviště s elektromechanickým systémem
- použití v automobilu

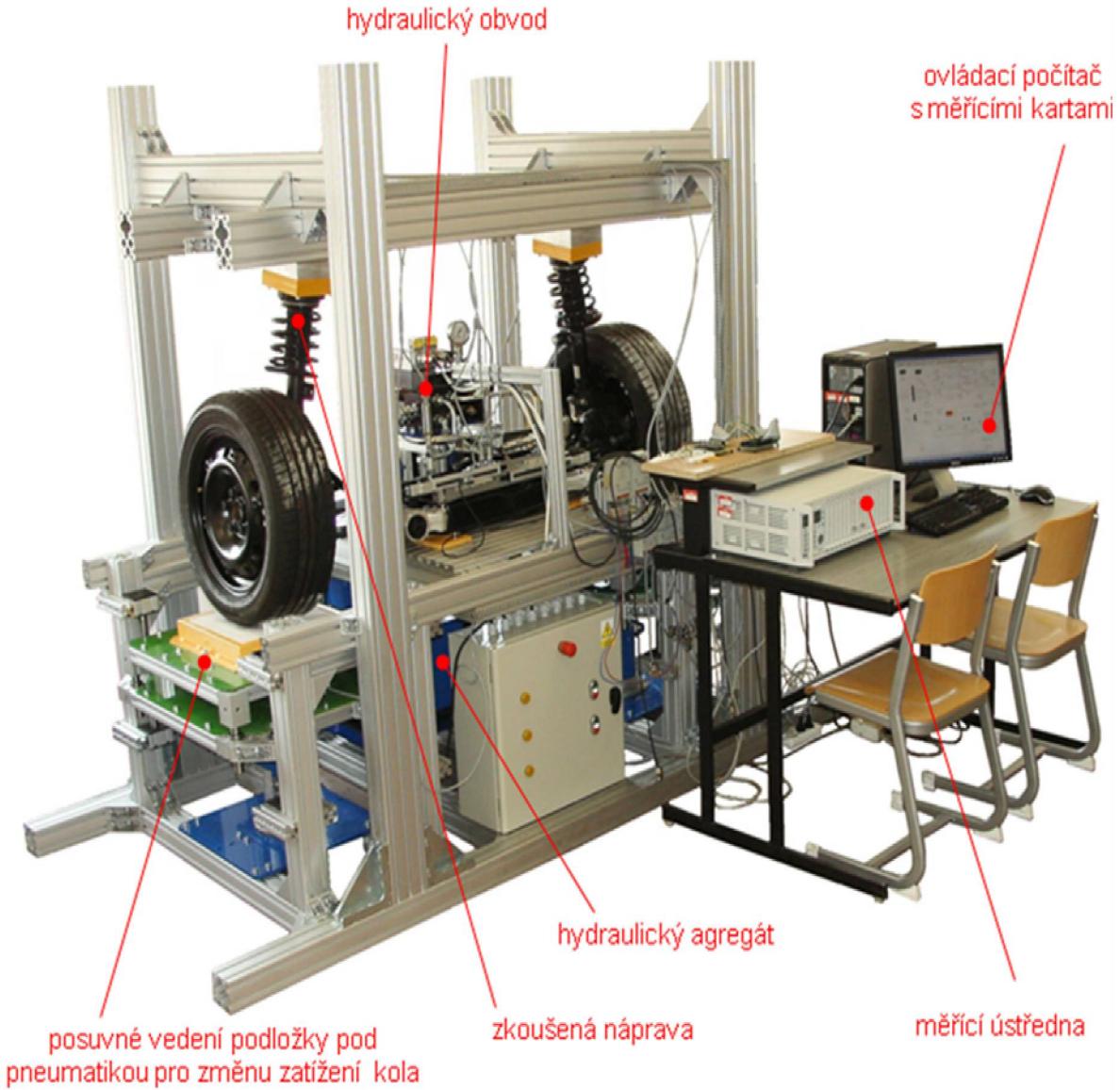
Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště

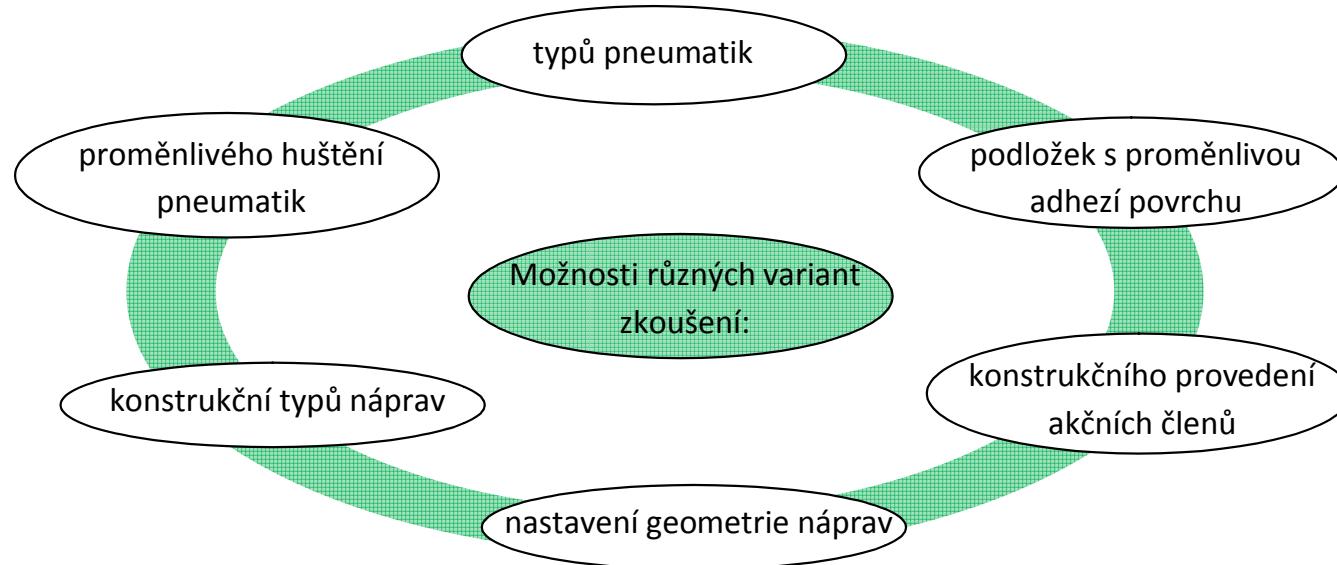
Obrázek - Laboratorní model (speciální zkušební zařízení v laboratoři katedry vozidel a motorů) – k ovládání každého z kol je užito mechanismu s lineárními hydromotory. Pro řízení a sběr dat byla použita multifunkční karta MF624 a software Matlab/Simulink a rovněž i měřicí ústředna MGCPplus (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH), software catman@Easy.



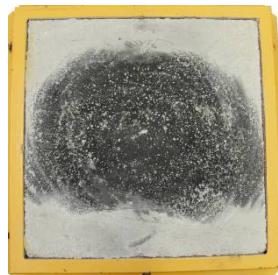


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště



Sledování vlivů různých parametrů na systémy směrového řízení na zkušebním zařízení



Výměnné podložky pod kolem: a) betonová podložka,

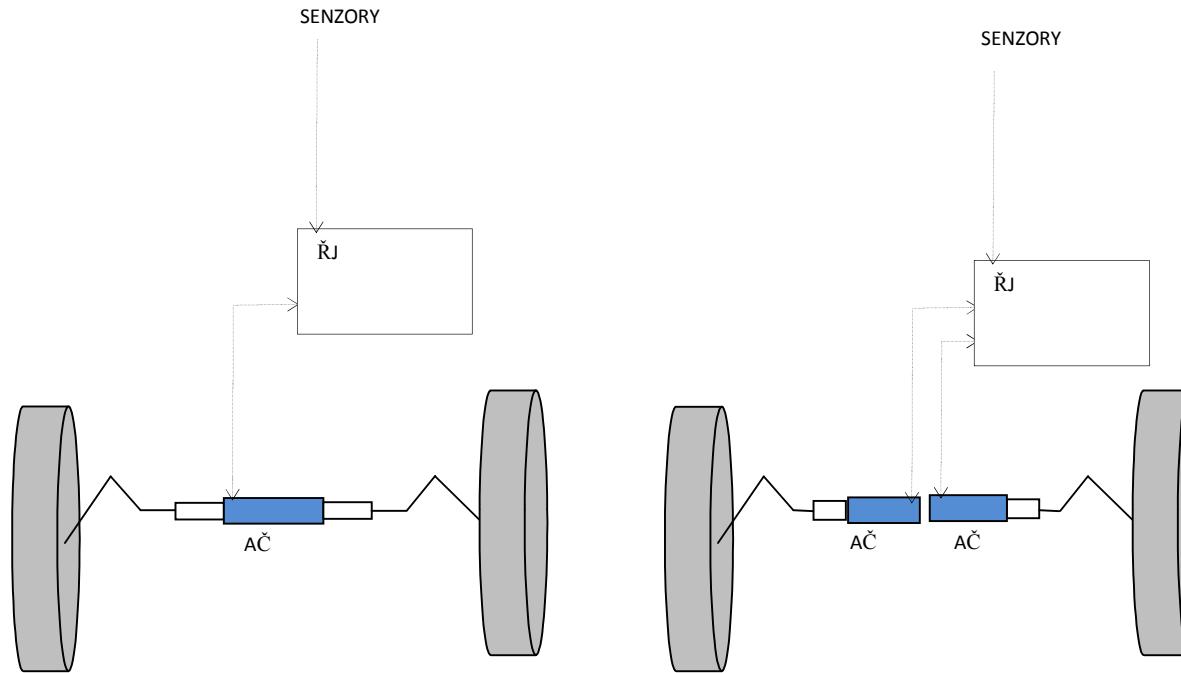
b) asfaltová drť,

c) led



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště

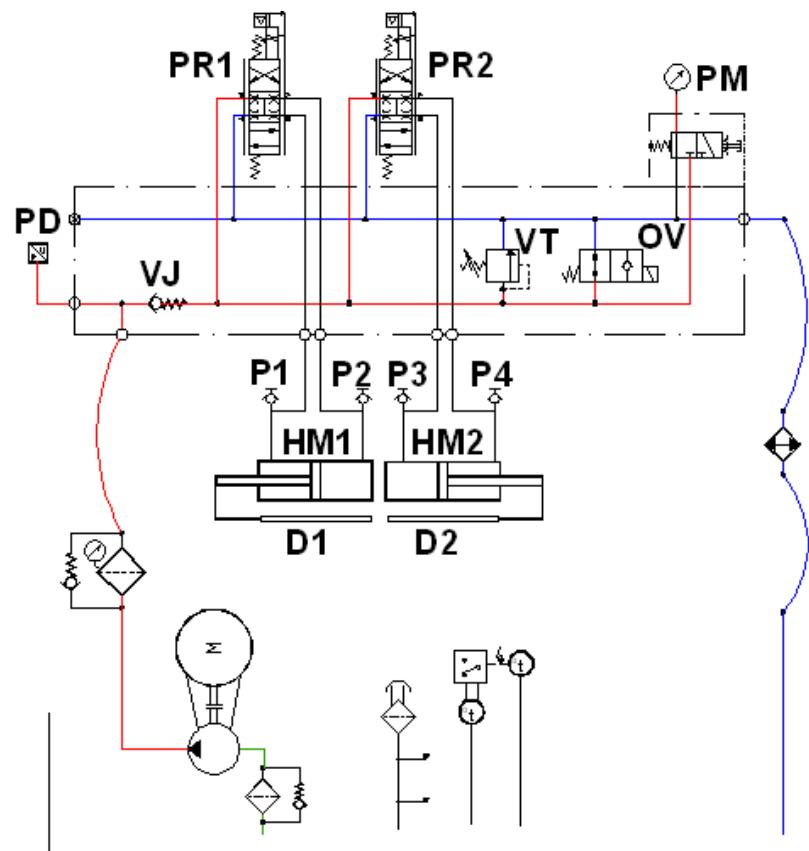


Zjednodušené schéma uspořádání akčních členů řízení typu steer by wire s řídicí jednotkou (ŘJ) a) jedním akčním členem (AČ)
- vlevo , b) se dvěma akčními členy (AČ) - vpravo



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště / volba hydraulických prvků



Prvky hydraulického obvodu	
Prvky hydraulického obvodu	označení
Elektromotor	M
Čerpadlo s vnitřním ozubením	
Proporcionální ventil D1FP PARKER	PR1, PR2
Připojovací kostka	
Ventil jednosměrný PARKER	VJ
Odlehčovací ventil PARKER	OV
Pojistný ventil PARKER	VT
Tlakoměr PARKER	PM
Digitální tlakový snímač PARKER	PD
Hydraulický válec PARKER	HM1, HM2
Snímač tlaku P6A Hottinger	P1, P2, P3, P4
LM 10 Renishaw + WA 200 Hottinger	D1, D2

Schéma hydraulického obvodu.



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště / řídicí a měřicí systém hydraulického obvodu

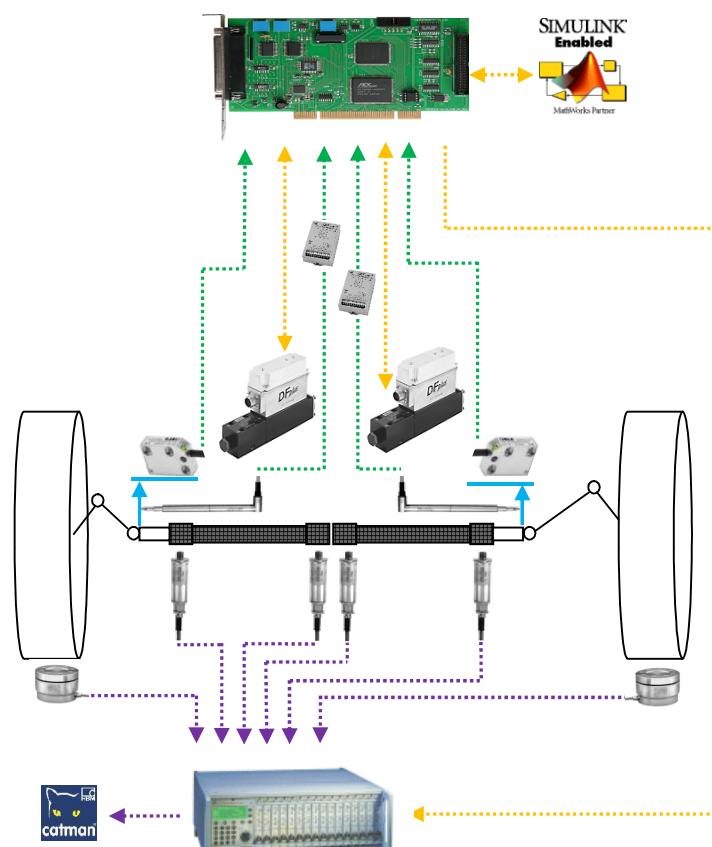


Schéma řízení hydraulického obvodu a snímání vybraných veličin

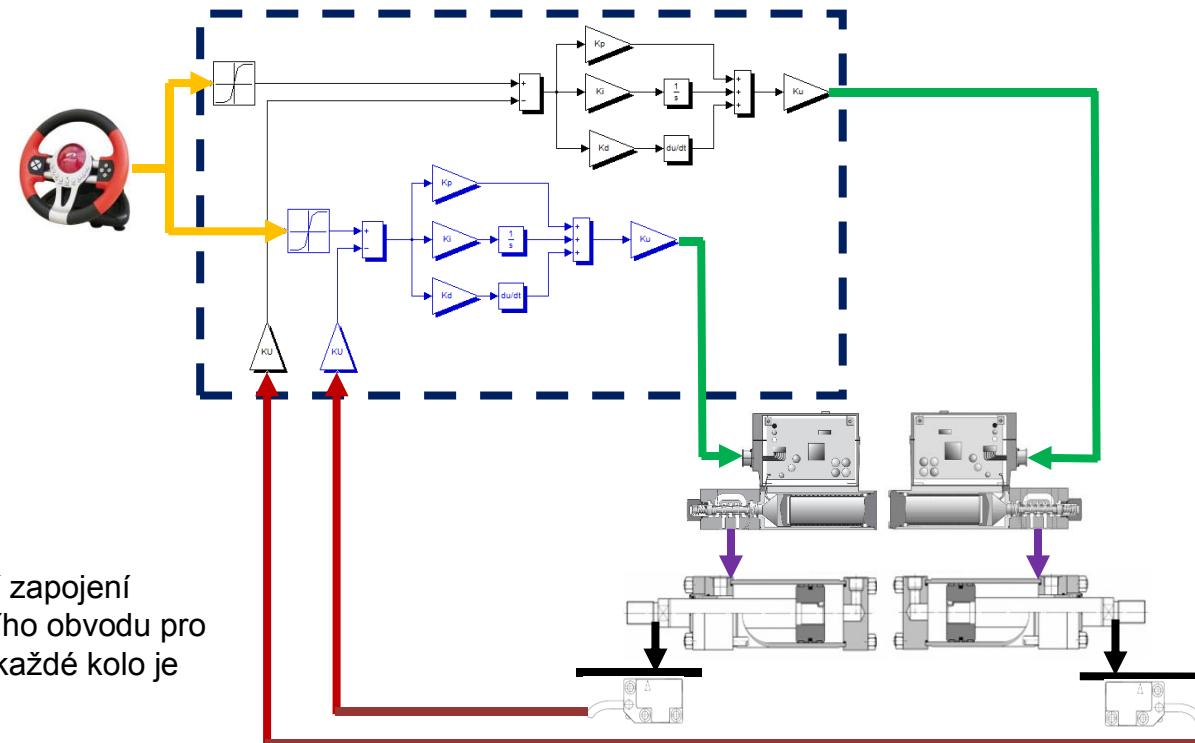
Použitá technika pro měření a zpracování signálu na zkušebním zařízení	
Řízení procesu:	
MF 624 multifunční vstupně-výstupní karta (fy HUMUSOFT)	software Matlab/Simulink Real – Time Toolbox
Polohy akčních členů	Lineární indukční snímač WA200 (fy Hottinger) + měřicí zesilovač AE501 (fy Hottinger)
	Lineární inkrementální snímač LM10 (fy Renishaw)
Snímání údajů:	
Měřicí ústředna MGCPplus (fy Hottinger)	software catman®Easy
Tlaky v kapalině	Tenzometrický snímač P6A (fy Hottinger)
Síly pod podložkou	Tenzometrický snímač U3 (fy Hottinger)



TUL – zkušební stanoviště / regulační systém modelu steer by wire

Z hlediska propojení řízení kol se nabízejí dvě základní varianty:

- 1) každé kolo je řízeno samostatně
- 2) jedno kolo je hlavní (MASTER) a druhé ho následuje (SLAVE)





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště

Nejprve bylo nutné navrhnut potřebný výkon systému, tzn. identifikovat možné silové zatížení mechanismu řízení.

Bylo nutné provést měření:

- a) **síly vznikající při parkování** – převažuje odporová síla vznikající při smýkání pneumatiky po vozovce
- b) **síly vzniklé při jízdě** – převažují dynamické síly dané rychlou změnou a boční síly vzniklé při průjezdu zatáčkou



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště

- a) síly vznikající při parkování – převažuje odporová síla vznikající při smýkání pneumatiky po vozovce



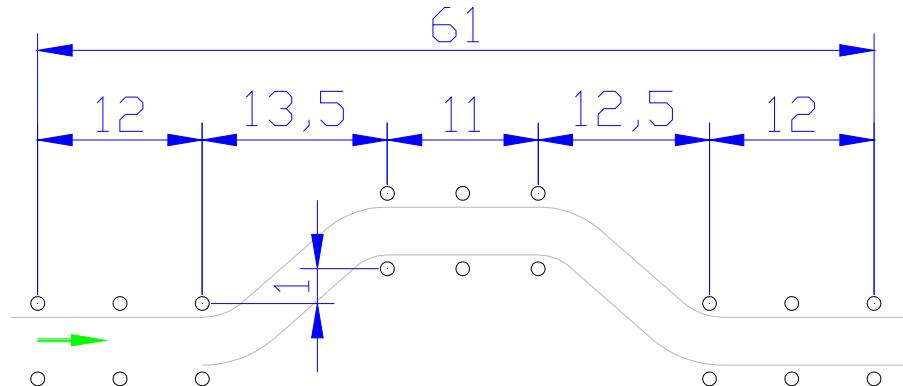


Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště

b) síly vzniklé při jízdě – převažují dynamické síly dané rychlou změnou a boční síly vzniklé při průjezdu zatáčkou

- tzv. „losí“ test





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště

b) síly vzniklé při jízdě – převažují dynamické síly dané rychlou změnou a boční síly vzniklé při průjezdu zatáčkou

- tzv. „losí“ test





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště / OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ SYSTÉMU

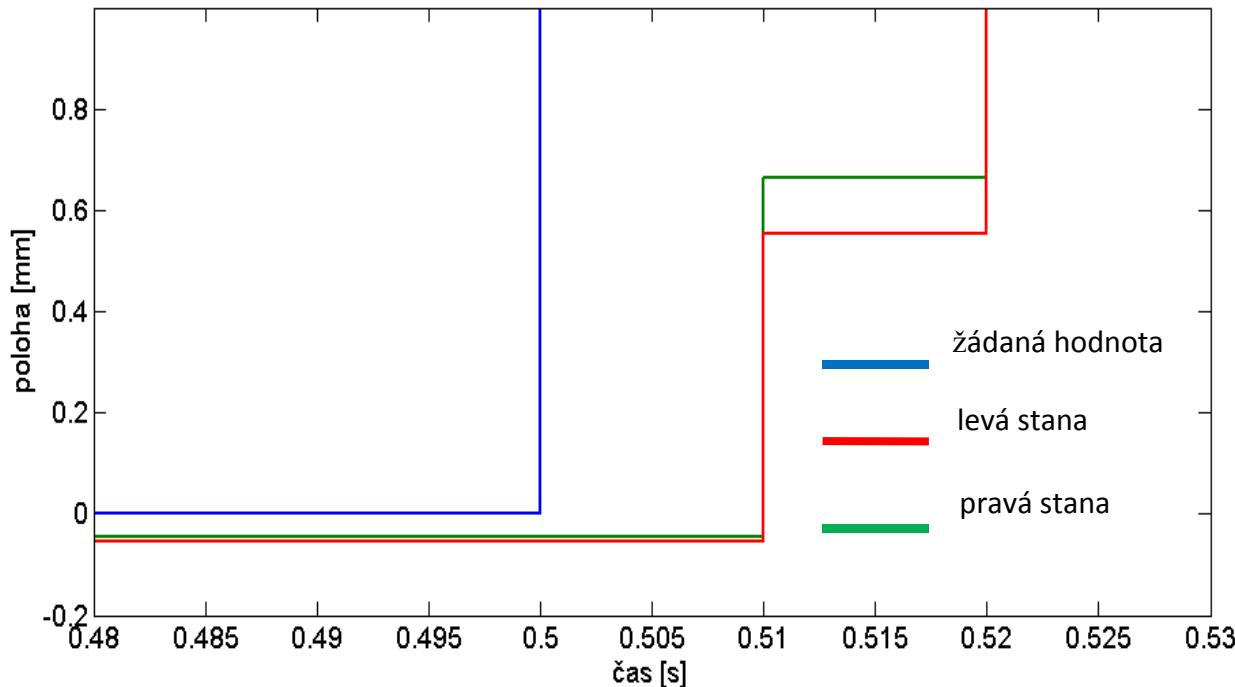
1. Frekvenční charakteristika soustavy
2. Dopravní zpoždění systému
3. Simulace „losího testu“ na experimentálním zařízení



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště / OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ SYSTÉMU

Dopravní zpoždění systému

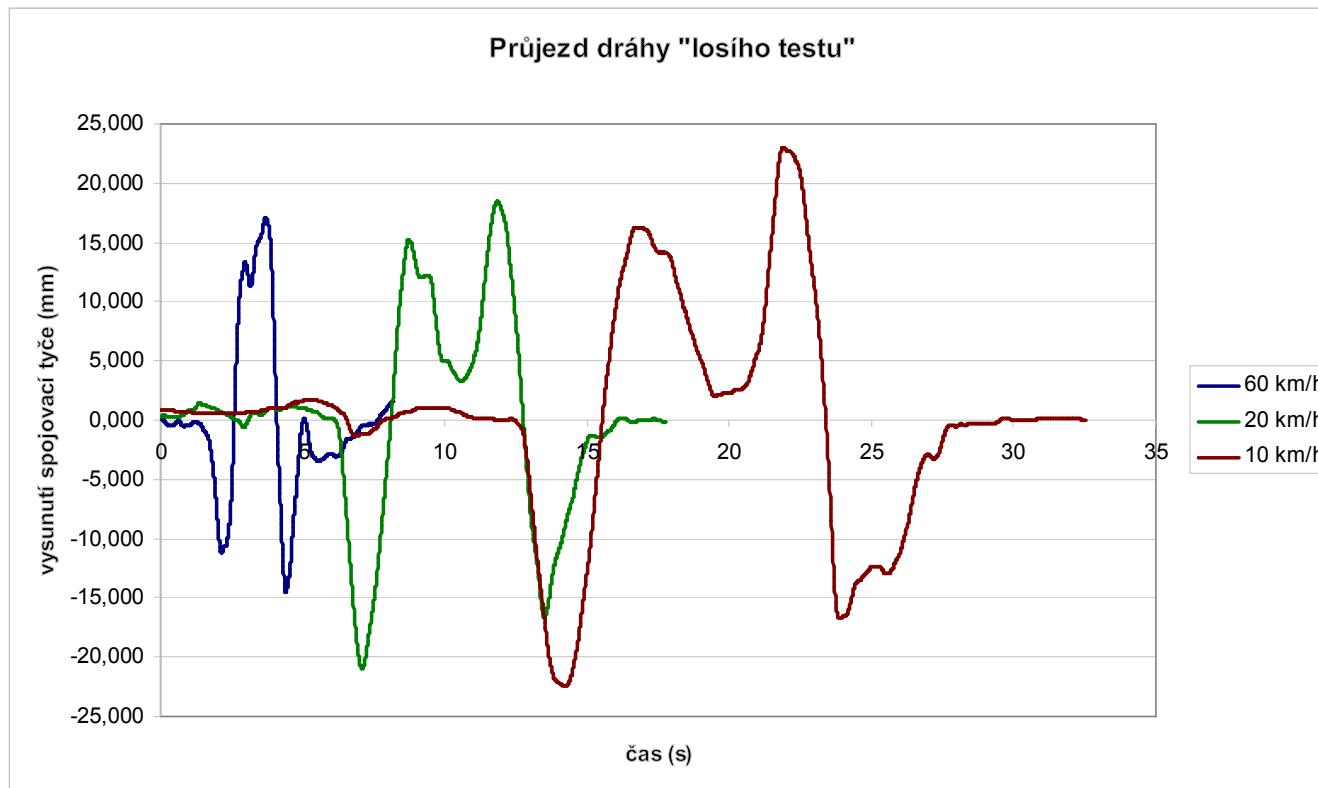


Dopravní zpoždění systému - vazba mezi řídící jednotkou (řídicím počítačem) a vysunutím akčního člena (pístu hydraulického válce) – nezávislé řízení kol, vzorkovací frekvence 100 Hz



TUL – zkušební stanoviště / OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ SYSTÉMU

„Losí test“ – průjezd předepsané dráhy vozidlem

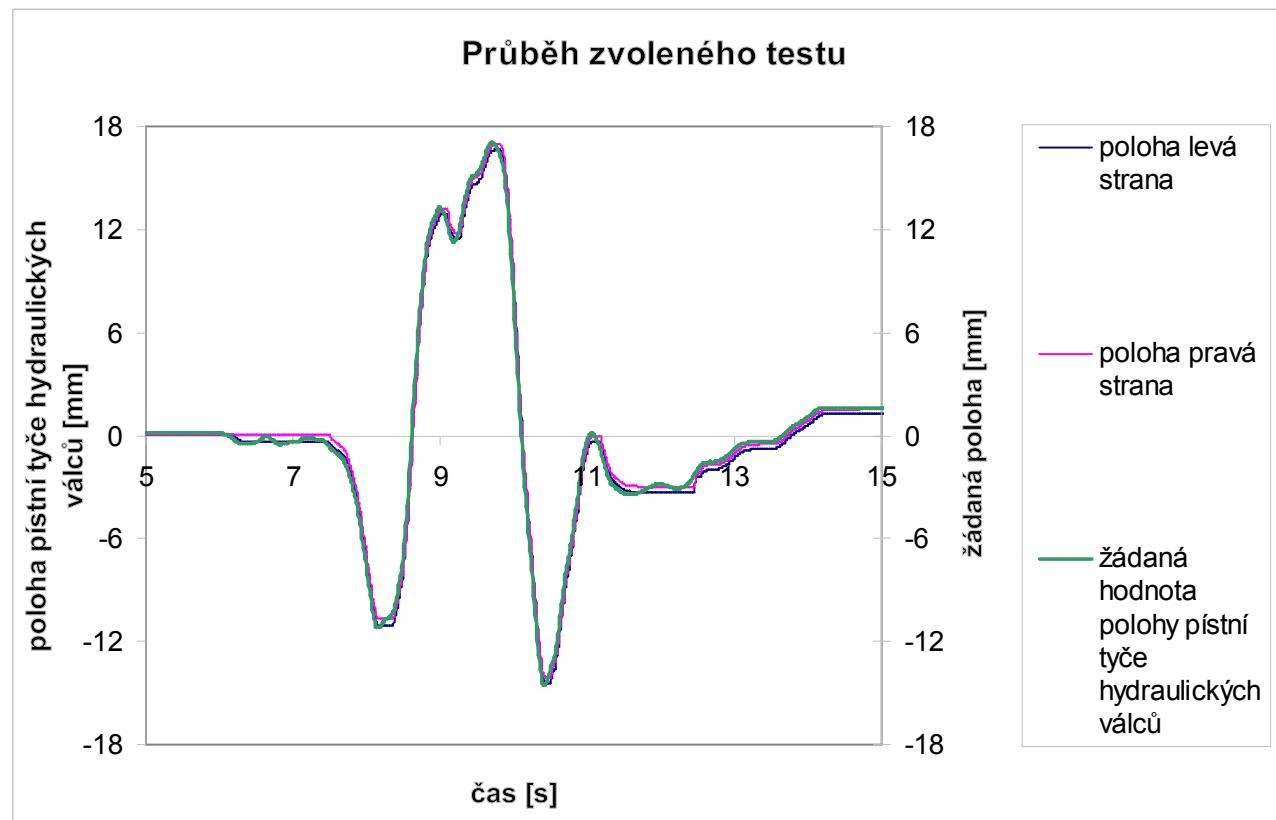


„Losí testy“ – grafy závislosti výchylky tyče řízení vozidla Škoda Roomster na čase při průjezdu předepsanou dráhou za různých rychlostí na letišti Hradčany-Mimoň



TUL – zkušební stanoviště / OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ SYSTÉMU

„Losí test“ – rychlosť 60 km/h (vzorkovací frekvence 100 Hz)



„Losí test“ na zkušebním zařízení – vysunutí akčních členů (pístní tyče hydraulických válců) – $v = 60 \text{ km/h}$, vzorkovací frekvence 100 Hz, zatížená 4,5 kN v nulové poloze směrového řízení (přímá jízda), pneumatiky 15" (huštění 0,23 MPa)



Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště / OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ SYSTÉMU



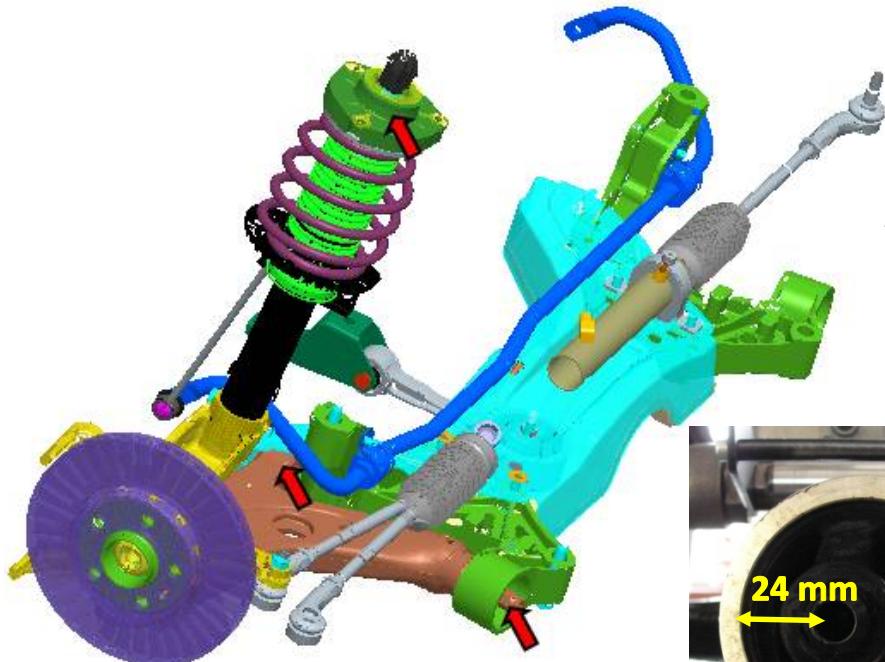
[video](#)



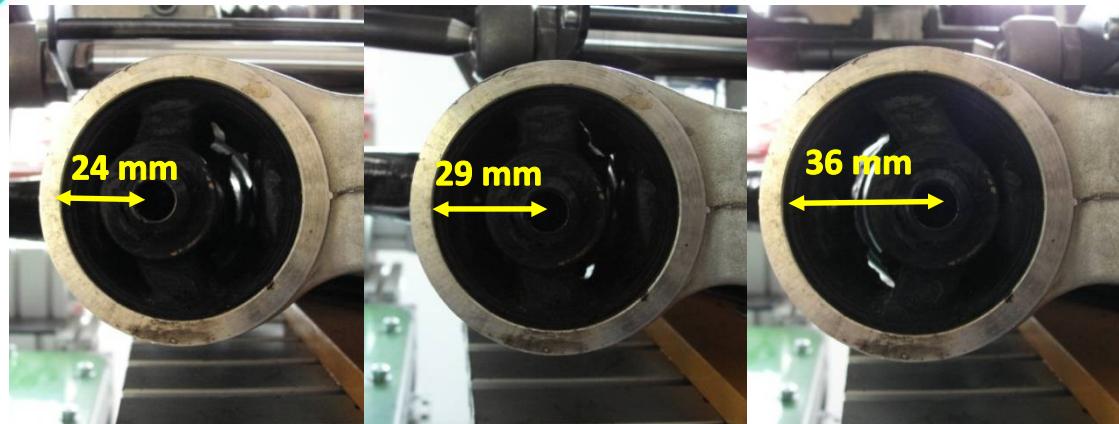
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště / elastokinematika nápravy

Velikost skutečného úhlu směrového natočení kola



Přední náprava vozidla typu McPherson – červené šipky označují pružné (poddajné) elementy použité v konstrukci nápravy



Deformované levé pryžové lůžko – natočení kola vpravo (obrázek vlevo), přímá jízda (obrázek uprostřed), natočení kola vlevo (obrázek vpravo)

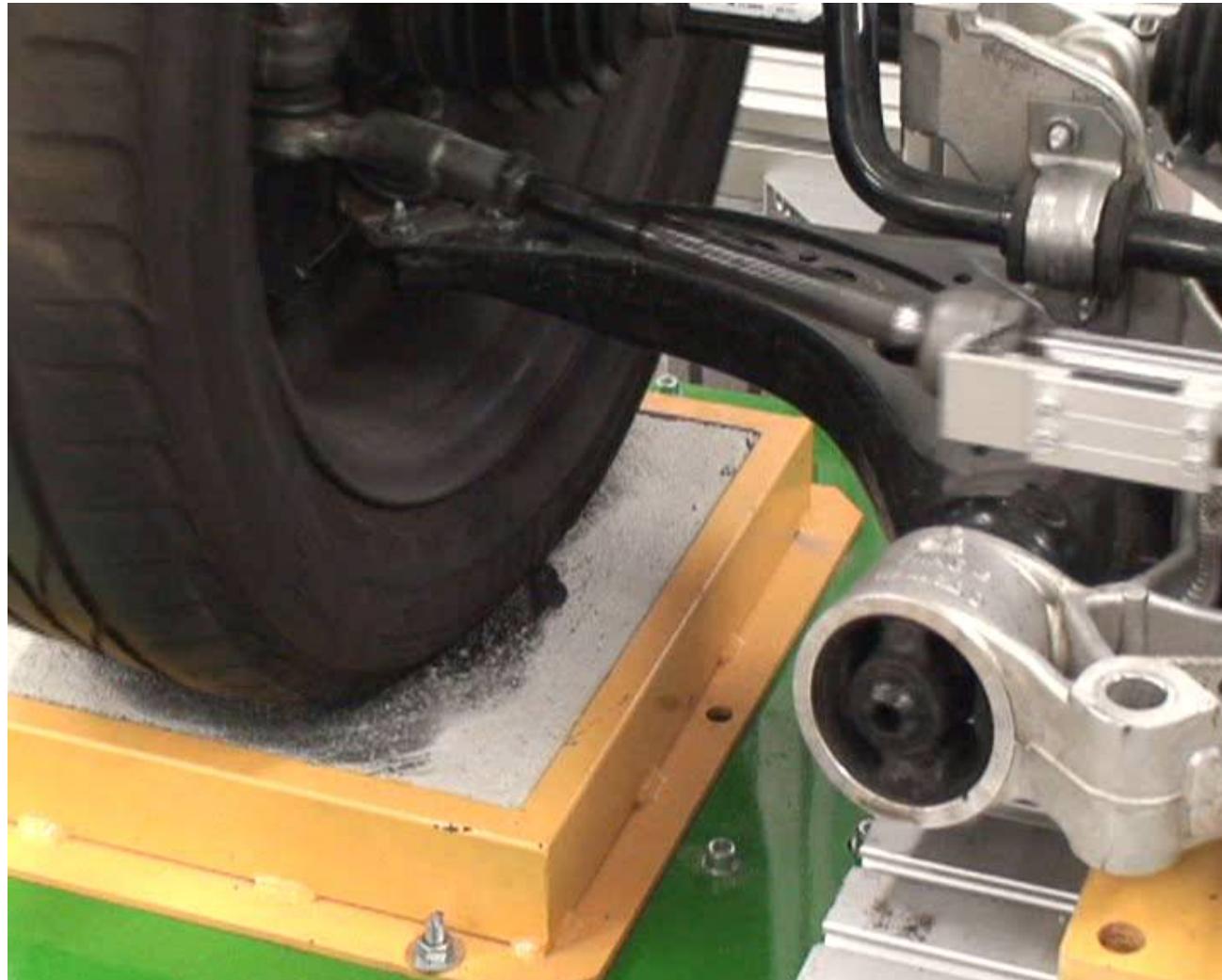


Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

TUL – zkušební stanoviště / elastokinematika nápravy



[video](#)



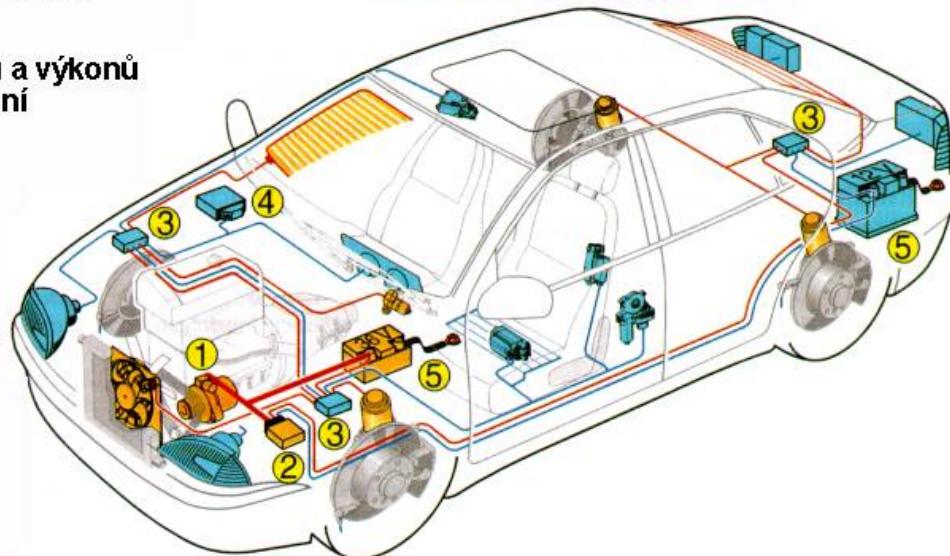
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Na závěr – vícenapěťový systém vozidla

Moderní automobil bude používat více elektrických aktivních systémů (by-wire, pohony pomocí elektromotorů – posilovač řízení, čerpadlo chladícího systému, kompresor klimatizace, ...), které budou potřebovat větší výkony. Proto se uvažuje o použití víceúrovňových napěťových systémů.

- ① Svorka pólu - generátor startéru
- ② DC/DC-převodník 14V/24V
- obousměrný
- ③ Rozdělovač signálů a výkonu
- decentrální zajištění
- diagnóza
- ④ Řízení energie
- koordinace
generátora,
spotřebičů a
pohonné jednotky
- ⑤ 2-bateriová
palubní síť
- spolehlivost
startování
- bezpečnost
(systémy by-wire)

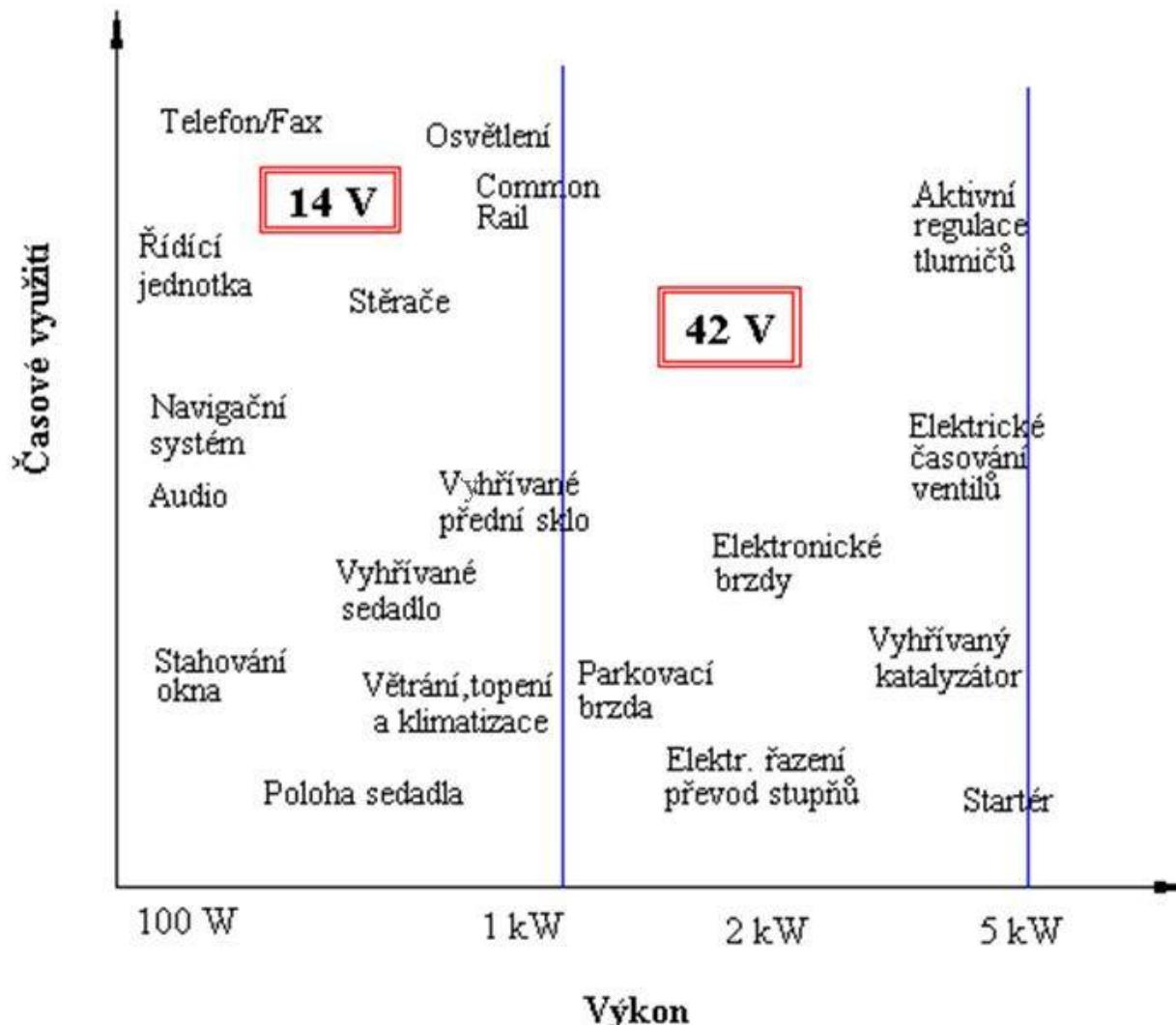
Komponenty 14V
Komponenty 42V





Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Na závěr – vícenapěťový systém vozidla





Směrové řízení vozidla



Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření

Použitá literatura:

- VLK, F.: Dynamika motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2000.
- VLK, F.: Převodové ústrojí motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2000.
- BEROUN, S. – SCHOLZ, C.: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů. Skriptum, TU v Liberci, Liberec 1999
- BEROUN, S. – SCHOLZ, C.: Základy automobilové techniky. Skriptum, Vysoká škola Škoda Auto, a.s., Mladá Boleslav 2003
- VOŽENÍLEK, R.: Model směrového řízení vozidla typu steer by wire. Disertační práce. TU v Liberci 2010
- BRAESS, H.H. – SEIFFERT, U. – Vierweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. ATZ/MTZ-Fachbuch. Vieweg. Wiesbaden 2005
- materiály firmy Škoda Auto, a.s.
- materiály firmy Continental TEVES
- časopis Automobil
- <http://cs.wikipedia.org>
- www.novinky.cz
- <http://cs.autolexicon.net>



Směrové řízení vozidla

Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření



Děkuji za pozornost.