

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při bočním větru
Bc. Monika Žáková

Diplomová práce
2009

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Monika ŽÁKOVÁ**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Vliv řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při bočním větru**

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

1. Úvod 2. Stabilita vozidla 3. Systémy řízení zadní nápravy 4. Řízení po drátech ("Steer by wire") 5. Rozbor vlivu bočního větru na vozidlo 6. Analýza vlivu řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při bočním větru 7. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] VALA, M.; TESAŘ, M.: Teorie a konstrukce silničních vozidel I, Univerzita Pardubice, 2002, ISBN 80-7194-503-X [2] SLAMKA, J. a kol.: Interakcia dopravných prostriedkov s dopravnou cestou, státní výzkumná úloha č. III-4-6/01.06, VÚD Žilina, 1989, 41 str., 96 str. příloh [3] POKORNÝ, J.; SLAMKA, J.: Účinek nárazového bočního větru na směrovou stabilitu vozidla, Sborník příspěvků čtvrté mezinárodní vědecké konference "Nové výzvy pro dopravu a spoje", Univerzita Pardubice, 2006, Pardubice, Strany: 1215-1220, ISBN: 80-7194-880-2

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Pokorný

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 15.5.2009

Monika Žáková

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu práce, panu Ing. Janu Pokornému, za jeho odbornou pomoc při zpracování této práce a poskytnutí studijních materiálů k dané problematice. Velmi ráda bych poděkovala a vyslovila uznání všem, kteří mi vždy ochotně pomohli cennými informacemi.

Bc. Monika Žáková

ANOTACE

Předmětem diplomové práce je vliv řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při působení bočního větru. Teoretická část práce popisuje stabilitu vozidel, systémy řízení zadní nápravy a řízení po drátech (tzv. Steer by wire). Praktická část je věnována analýze vlivu řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při bočním větru. Cílem práce je rozbor vlivu působení bočního větru na vozidlo a jeho následné chování a dále způsob zamezení aerodynamické nestability vozidla s řízenou zadní nápravou při tomto rušivém vlivu.

KLÍČOVÁ SLOVA

stabilita; boční vítr; řízená zadní náprava; řízení po drátech

TITLE

Influence of steered rear axle on vehicle stability by the instrumentality of side wind

ANNOTATION

The subject of thesis is the influence of steered rear axle on vehicle stability by the instrumentality of side wind. The theoretical part of thesis describes the stability of vehicle management systems and management of the rear axle by wire. The practical part is devoted to analyzing the influence of steered rear axle on the stability of the vehicle during a side wind. The aim of this work is to analyze the impact of action of side wind on the vehicle and its subsequent behavior and the way to avoid the aerodynamic instability vehicle steered rear axle in this interference.

KEYWORDS

stability; side wind; steered rear axle; steer by wire

OBSAH

1 Úvod	8
2 Stabilita vozidla	9
3 Systémy řízení zadní nápravy	17
3.1 Pasivní řízení zadních kol.....	23
3.2 Aktivní řízení zadních kol.....	26
4 Řízení po drátech	37
4.1 Sběrnice CAN.....	37
4.2 „Drive by wire“.....	38
5 Vliv bočního větru na vozidlo	40
5.1 Citlivost vozidel na boční vítr.....	45
5.2 Chování vozidla v bočním větru.....	46
5.3 Působení bočního větru na vozidlo.....	48
6 Analýza vlivu řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při bočním větru	49
6.1 Výpočet příčného přemístění vozidla vlivem působení bočního větru.....	49
6.2 Regulace směrových úchylek náprav.....	52
6.3 Systém korekce směrových úchylek.....	55
6.4 Snímač bočního větru.....	57
7 Závěr	60
Seznam pramenů a odborné literatury	62
Seznam obrázků	63
Seznam příloh	65

1. Úvod

Zvyšující se nároky na úroveň dopravy osob i nákladů představují pro konstruktéry nové technické problémy. Mezi tradiční patří říditelnost a stabilita vozidla. V roce 1987 byla poprvé realizována myšlenka řízení zadních kol pro zvýšení jízdní stability osobních automobilů při vysokých rychlostech. Koncem minulého století se konstruktéři vážně zabývali myšlenkou, jak zvýšit stabilitu a obratnost osobních a užitkových automobilů.

Někteří výrobci nabídli vozidla s říditelnou zadní nápravou. Řízení kol bylo jak *pasivní*, kdy výchylka zadních kol byla vyvolána silovými účinky při jízdě zatáčkou, tak i *aktivní*. Aktivní řízení zadních kol umožnilo lepší ovladatelnost vozidla, a to jak při pomalé jízdě a manévrování na omezeném prostoru, tak i při změnách směru jízdy vysokou rychlostí.

Konstrukce podvozku s řízenými koly zadní nápravy je náročnější a také nákladnější oproti tradičnímu uspořádání. Když v průběhu osmdesátých let minulého století byla nabídnuta první technická řešení, ohlas byl poměrně chladný – zejména ve Spojených státech amerických. Původní aktivní systémy (označované 4 WS) se používaly výhradně u japonských vozů, později se řízení zadními koly rozšířilo i v Evropě. V současné době se však zdá, že výhody, které říditelná zadní náprava přináší, jsou opět se zájmem posuzovány.

Aktuálně je sledována u aktivního řízení zadních kol vyšší stabilita a ovladatelnost vozidel při různých jízdních situacích. Pokud hovoříme o stabilitě vozidel v souvislosti s aktivním řízením zadních kol, je třeba se zamyslet i nad otázkou, jak by se mohlo zabránit nestabilitě vozidel při působení bočního větru, a tedy nežádoucímu vybočení vozidla z požadovaného směru jízdy.

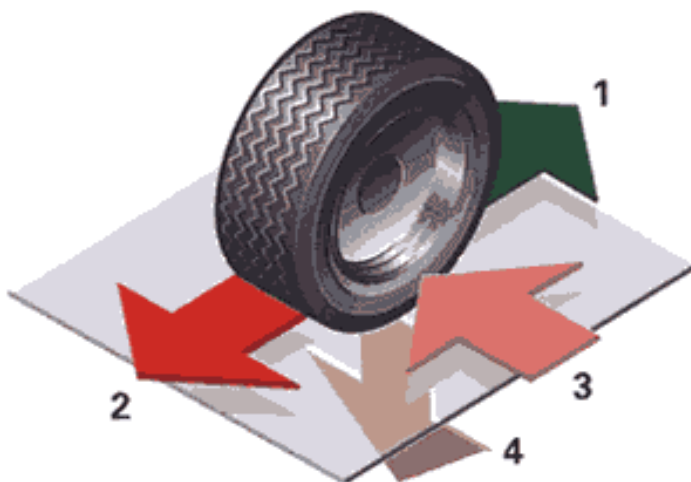
Cílem této práce je tedy uvážit myšlenku, jak by mohl automobil s řízením zadních kol samočinně korigovat směrové úchyly náprav, které vznikají při vybočení vozidla za působení bočního větru, aby se vozidlo nechovalo nestabilně.

2. Stabilita vozidla

Přínos podvozku resp. jízdních vlastností vozidla je svým významem srovnatelný s neméně důležitým výkonem motoru. Je to vzájemný vliv dynamických a aerodynamických sil působících v různých směrech a intenzitách při jízdě na vozidlo. Cílem je snaha o usměrnění těchto sil tak, aby zejména při vysokých rychlostech a změnách provozních situací byla pouze minimálně nepříznivě ovlivněna stabilita a výkon automobilu.

Jízdní vlastnosti ovlivňuje především celková hmotnost, rozložení hmotnosti na nápravy, geometrické dispozice vozu, odpružení, tlumení, stabilizace, nastavení celkové geometrie vozu a aerodynamika karosérie.

Jízdní stabilita a dobrá ovladatelnost vozidla patří k prvotním předpokladům aktivní bezpečnosti v kritických situacích. Základní podmínkou je přilnavost kol k vozovce – adheze. Při jízdě vozidla jsou tedy pro směrovou stabilitu rozhodující síly mezi koly a vozovkou znázorněné na **obr.1**.

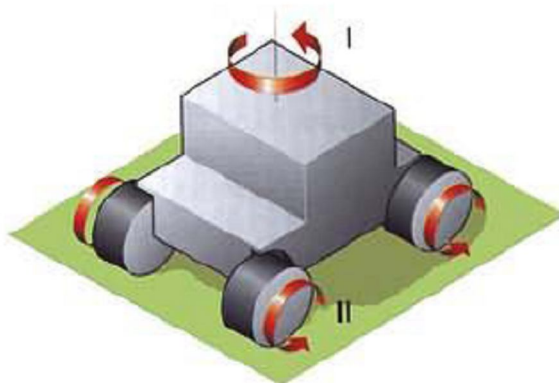


Obr.1

Síly působící na vozidlo

1-hnací síla, 2-brzdná síla, 3-boční síla, 4-tíha

Kromě toho na vozidlo dále působí momenty, které mají tendenci vozidlem otáčet kolem svislé, příčné a podélné osy, např. rotační moment setrvačnosti **I** a momenty setrvačnosti kol **II** (**obr.2**), které se snaží udržet vozidlo ve stávajícím směru a další síly, jako např. odpor vzduchu, boční vítr, odstředivá síla.



Obr.2
Momenty působící na vozidlo

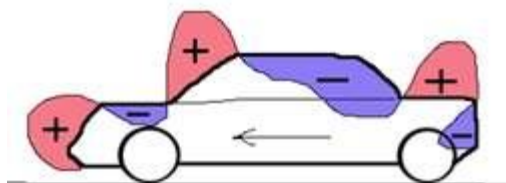
Chceme-li posoudit vozidlo z hlediska směrové stability, vyšetřujeme pohyby vozidla kolem svislé osy (z) a ve směru příčné osy (y), obvykle při stálé rychlosti jízdy na rovné vozovce v závislosti na rušivých vlivech bez působení řidiče. [10]

Směrová stabilita je charakterizována časovým průběhem pohybu vozidla, které je vychýleno z rovnovážného stavu impulsem řízení nebo rušivým vlivem.

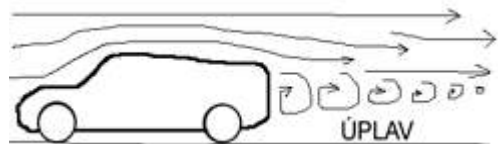
Považujeme-li konstrukční parametry vozidla za dané veličiny, pak směrovou stabilitu vozidla nejvíce ovlivňují hodnoty dopředné rychlosti a příčného zrychlení. Rušivé vlivy, které na vozidlo působí, mohou být vyvolány prostředím, ve kterém se vozidlo pohybuje (nerovnosti vozovky, proudění vzduchu). Při působení uvedených rušivých vlivů vznikají setrvačné síly a odstředivé síly, které způsobují vybočování a stáčení vozidla.

Při jízdě ustálenou rychlostí po rovině má největší podíl na odporech vozidla odpor aerodynamický. Velikost aerodynamického odporu je závislá na rychlosti vozidla v , velikosti čelní plochy S_x a hodnotě tvarového součinitele C_x . Čelní plocha je celková plocha obrysu vozidla při pohledu zepředu. Hodnota tvarového součinitele se zjišťuje výpočtem, je to bezrozměrná veličina, která se v praxi pohybuje u běžných vozidel od 0,25 do 0,40. Čím je hodnota menší, tím jsou aerodynamické vlastnosti vozidla lepší. Tvarový součinitel v sobě zahrnuje tři hlavní druhy odporů. Odpor vzniklý rozdílem tlaku vzduchu na povrchu karosérie (**obr.3**), může představovat 50 až 80%. Až jednou polovinou se na velikosti této hodnoty podílí odpor víření za zádi karosérie, tzv. *úplav* (**obr.4**), který je více závislý na celkovém tvaru karosérie než na velikosti aerodynamického dna (zadní část). Odpor vzniklý třením

vzduchu o povrch karosérie představuje 5 až 10%. Odpor vzniklý průchodem vzduchu přes vnitřní prostory karosérie (podběhy blatníků a kabina) představuje 10 až 20%.

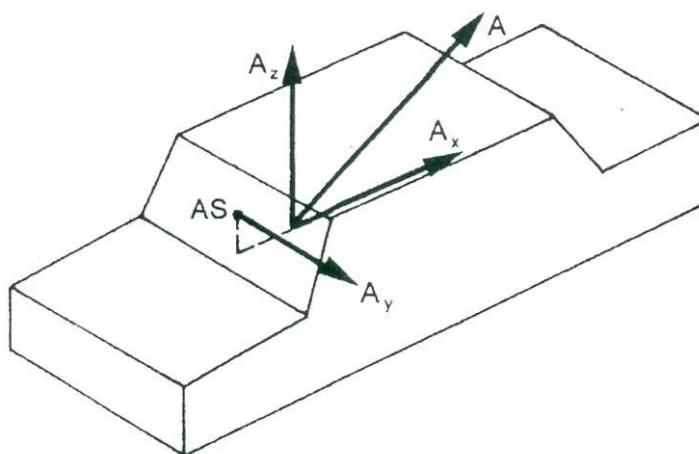


Obr.3



Obr.4

Výsledné působení vzdušných sil na vozidlo lze nahradit dvěma mimoběžnými silami, tzv. *vektorovým křížem* – síly A_y a A na **obr.5**, obě síly ovlivňují i stabilitu vozidla z hlediska podélné a příčné stability a stability směrové. Ovlivnění podélné a příčné stability je u běžných vozidel velmi malé. K podstatnému ovlivnění by došlo až za vysokých rychlostí relativního proudu vzduchu (300-400 km/h). Příčná aerodynamická síla však ovlivňuje směrovou stabilitu vozidla obdobně jako příčná síla v těžišti vozidla. Její působíště se označuje jako aerodynamický střed (AS).

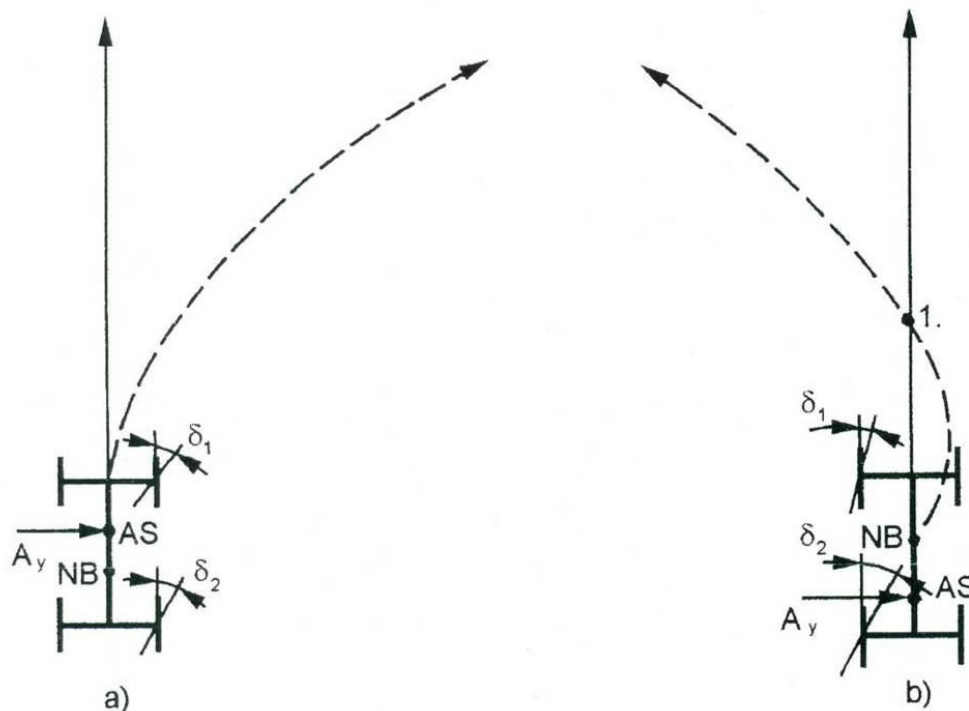


Obr.5

Působení vzdušných sil na vozidle

Při přímé jízdě v bočním větru vzniká příčná aerodynamická síla A_y , která vyvolá vznik bočních sil a směrových úchylek na nápravách. V důsledku toho se začne vozidlo z původního směru jízdy vychylovat. Výsledný pohyb pak bude ovlivněn polohou aerodynamického středu.

Případy chování vozidla v bočním větru jsou znázorněny na **obr.6**, předpokládáme, že se vozidlo dostane do bočního větru. Tím vznikne příčná síla A_y v aerodynamickém středu. Dále předpokládáme, že na vozidlo nepůsobí žádné jiné síly než aerodynamické.



Obr.6

Případy chování vozidla v bočním větru

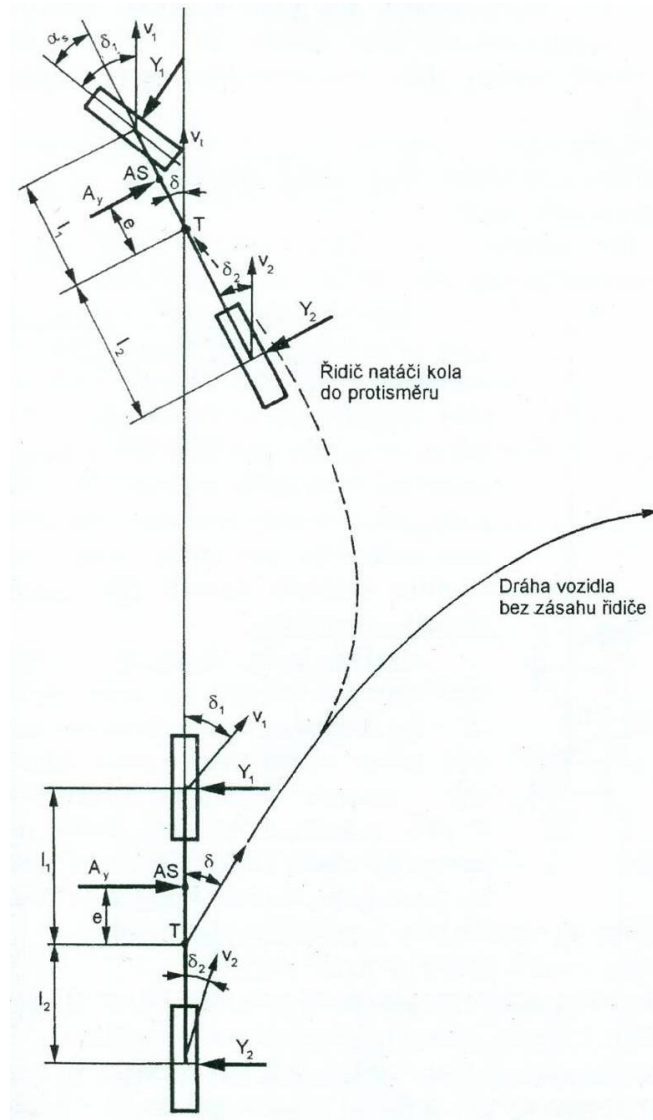
A_y -boční síla; AS-aerodynamický střed; NB-neutrální bod; δ_1 , δ_2 -úhly směrových úchylek náprav

Je-li aerodynamický střed před neutrálním bodem, vznikají na přední nápravě větší směrové úchylky a vozidlo se bude stáčet ve směru působící síly a bude se stále více vychylovat z původního směru jízdy (**obr.6a**). K návratu do původního směru by byl nutný zásah řidiče. Takové vozidlo se označuje jako aerodynamicky nestabilní.

Je-li aerodynamický střed za neutrálním bodem, vznikají větší směrové úchylky na zadní nápravě. Vozidlo se po počátečním vybočení začne stáčet proti směru působící síly – směrem k původní dráze (**obr.6b**). V bodě 1 by tedy stačil malý korigující zásah řidiče k uvedení vozidla do původního směru. Vozidlo v takovém případě označujeme jako aerodynamicky stabilní, protože se snaží vrátit samo do původního směru jízdy.

V obou uvedených případech jde o vozidla citlivá na boční vítr. Aby se vyrovnaly účinky působícího bočního větru a vozidlo jelo přímo, musí řidič natočit přední kola o úhel α_s .

Tato situace je znázorněna na **obr.7** pro jednostopý lineární model vozidla. Automobil z hlediska aerodynamické stability je tím lepší, čím méně musí řidič natáčet kola do protisměru.



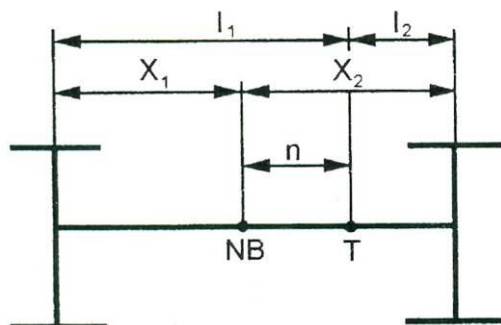
Obr.7

Vozidlo v bočním větru s korigujícím zásahem řidiče

A_y -boční síla; AS -aerodynamický střed; T -těžiště vozidla; Y_1, Y_2 -boční reakce; δ_1, δ_2 -úhly směrových úchylek náprav; δ -úhel směrové úchylky těžiště; v_1, v_2 -vektory rychlosti; α_s -korigující úhel natočení předních kol; e -vzdálenost AS od T ; l_1, l_2 -vzdálenost předních a zadních kol od těžiště

Jestliže aerodynamický střed leží v neutrálním bodě vozidla, pak vozidlo není citlivé na boční vítr. Bude se sice působením bočního větru vychylovat, ale nebude se stáčet.

Je-li aerodynamický střed mimo neutrální bod ve vzdálenosti x (**obr.9**), vzniká vzdušný moment $M_v = A_y \cdot x$, který se snaží působením příčné složky A_y stočit vozidlo z přímého směru.

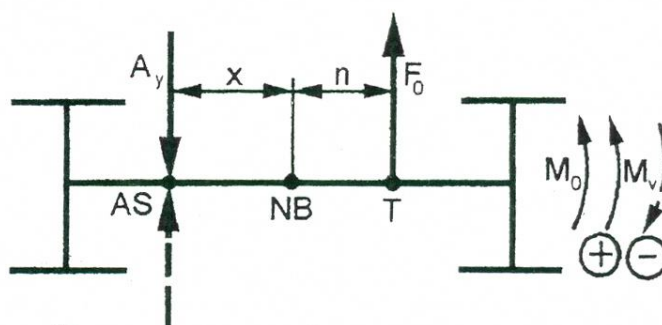


Obr.8

Poloha těžiště a neutrálního bodu

Z hlediska aerodynamické stability vozidla by měl aerodynamický střed ležet v neutrálním bodě nebo za ním (**obr.9**). Z hlediska směrové stability by současně těžiště mělo ležet v neutrálním bodě nebo před ním (**obr.8**).

Leží-li aerodynamický střed v neutrálním bodě, je vozidlo necitlivé na boční vítr a po počátečním vybočení udržuje stálý směr bez zásahu řidiče.



Obr.9

Působení vzdušného momentu

F_0 -odstředivá síla, M_0 -odstředivý moment, M_v -vzdušný moment

Požadavek polohy aerodynamického středu v neutrálním bodě nebo za ním je však v rozporu s aerodynamickým řešením karosérie z hlediska odporu vzduchu.

Téměř všechny soudobé osobní automobily mají karosérie vytvořeny tak, že jsou aerodynamicky nestabilní, a to tím více, čím lépe jsou tvarovány z hlediska odporu vzduchu (aerodynamický střed se posunuje dopředu). Žádné soudobé vozidlo nesplňuje podmínky stability v plném rozsahu a za všech jízdních režimů. [1] Výše uvedené dokazuje provedený test na různých vozidlech (viz.Příloha č.1).

Směrová stabilita vozidla představuje schopnost vozidla dodržovat řidičem stanovený směr jízdy při působení boční síly. Automobil je konstruován tak, aby se při rovnoměrné jízdě a s předepsaným zatížením choval stabilně, tzn. neutrálně až mírně nedotáčivě. Nestabilního (přetáčivého) směrového chování automobilu můžeme nechtěně dosáhnout těmito zásahy:

- posunutím těžiště do zadní části automobilu nesprávným rozložením nákladu,
- podhuštěním pneumatik na zadní nápravě,
- montáží pneumatik s menší boční tuhostí (např.diagonálních) na zadní nápravu,
- zvýšením hnací síly v zatáčce (sníží se boční tuhost pneumatik a roste směrová úchylka – u hnací zadní nápravy způsobí přetáčivost vozidla, u hnací přední nápravy pak nedotáčivost vozidla).

Porovnání směrových úchylek kol přední a zadní nápravy určuje směrové chování vozidla v zatáčce. Vozidlo neutrální zatáčí tak, jak je řízeno. V případě shodných pneumatik je těžiště vozidla uprostřed rozvoru.

Vozidlo nedotáčivé zatáčí méně než je řízeno (řidič koriguje směr natáčením volantu ve směru zatáčení), chování je stabilní, neboť větší poloměr zatáčení snižuje velikost odstředivé síly a následně reakce a směrové úchyly. Při shodných pneumatikách je těžiště v přední části vozidla.

Vozidlo přetáčivé zatáčí více než je řízeno (řidič koriguje směr natáčením volantu proti směru zatáčení), chování je nestabilní, neboť menší poloměr zatáčení zvětšuje velikost odstředivé síly a následně i reakce a směrové úchyly. Překročí-li reakce adhezní síly, může dojít k bočnímu smyku. Při shodných pneumatikách je poloha těžiště v zadní části vozidla.

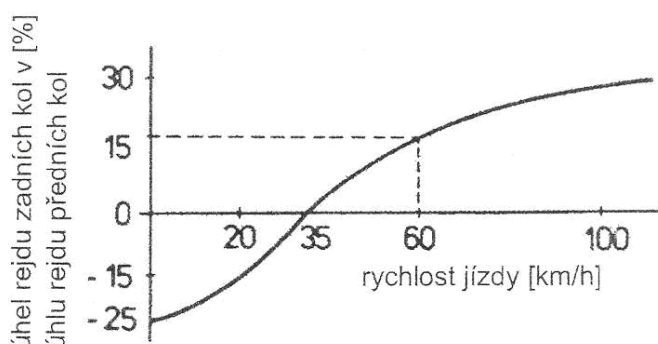
Vozidlo nedotáčivé a neutrální je tedy směrově stabilní. Vozidlo přetáčivé je po překročení kritické rychlosti směrově nestabilní. [9]

Požadované jízdní vlastnosti z hlediska směrové stability lze dosáhnout vhodnou volbou polohy těžiště, volbou pneumatik a tuhosti řízení. Z hlediska dosažení stability vozidla by těžiště tedy mělo ležet před neutrálním bodem, blíže k přední nápravě, nebo v neutrálním

bodě. Pokud jsou na vozidle použity různé pneumatiky, pak na zadní nápravě by měly být montovány pneumatiky s lepší schopností bočního vedení (větší součinitel směrové úchylky). Tuhost řízení by měla být co nejmenší. Zde je však rozpor – vlivem malé tuhosti řízení může dojít k rozkmitání kol, což je pro vozidlo nežádoucí.

3. Systémy řízení zadní nápravy

Myšlenka řízení zadních kol byla pro zvýšení stability vozidla při vysokých rychlostech realizována již v roce 1987. Zlepšení obratnosti (nesouhlasné řízení) a zvýšení jízdní stability (souhlasné řízení) jsou opačné požadavky na řízení zadních kol. Je proto nutné najít takové technické řešení, které podle zamýšleného jízdního manévru zajistí souhlasné nebo nesouhlasné řízení zadních kol.



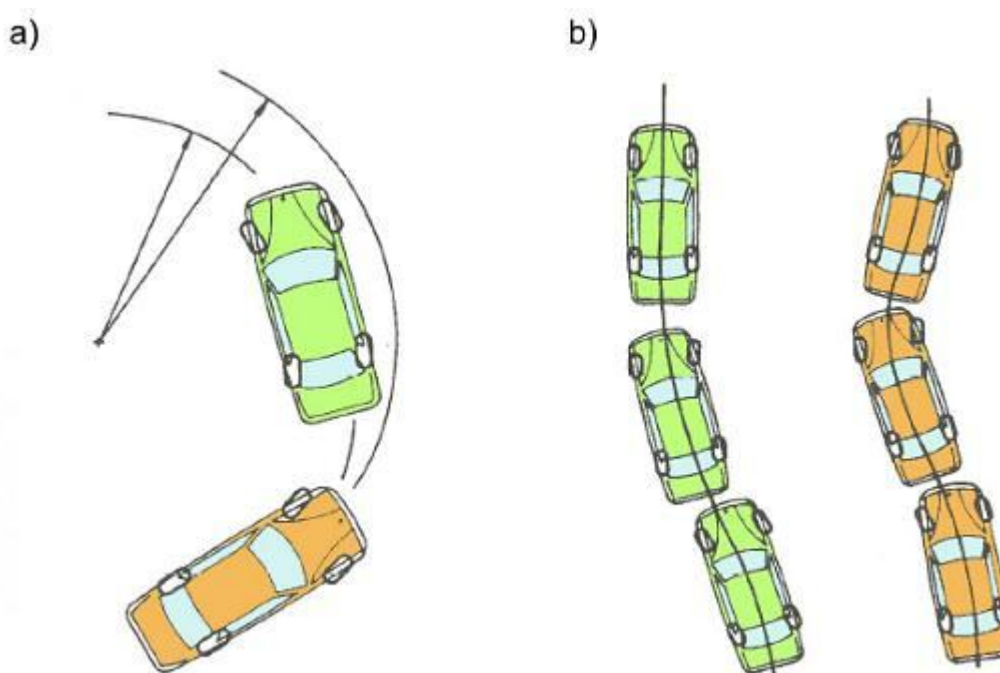
Obr.10

Závislost relativního úhlu rejdů zadní nápravy na rychlosti jízdy

Moderní zadní nápravy umožňují vlivem elastokinematického řízení souhlasné řízení, zadní kola se vlivem změny svislého zatížení kol (klopení) natáčejí ve stejném smyslu jako přední kola. Toto natočení je velmi malé a nezávislé na vůli řidiče. Nevýhodou tohoto tzv. „pasivního“ systému je, že působí i v přímém směru jízdy, najede-li kolo na nerovnost (zhoršení směrové stability).

Nová generace „aktivních“ řídicích systémů rozlišuje potřebu řízení zadních kol za účelem směrové stability od potřeby řízení při pomalém zatáčení. Znamená to tedy, že zadní kola jsou natáčena souhlasně i nesouhlasně s předními koly. Tyto systémy jsou značně nákladné, protože zadní kola musí být uložena otočně, aby se mohla natáčet a pro toto natáčení je zapotřebí dalšího ovládacího systému (samostatná převodka řízení, hydraulické zařízení). Tento systém musí rovněž vyhodnocovat okamžitou rychlost vozidla, protože při vyšších rychlostech (zhruba 35 km/h) způsobuje nesouhlasné řízení ztrátu jízdní stability.

Aktivní systémy řízení zadních kol se stále zdokonalují (hřebenové řízení ovládané krokovým motorkem, hydraulické válce řízené počítačem atd.). Cílem je lepší stabilita při předjíždění, zmenšení kmitání vozidla kolem jeho svislé osy, menší citlivost na boční vítr, neutrální chování při zatáčení a další prvky zvyšující aktivní bezpečnost moderního automobilu.



Obr.11

Vliv řízení zadních kol

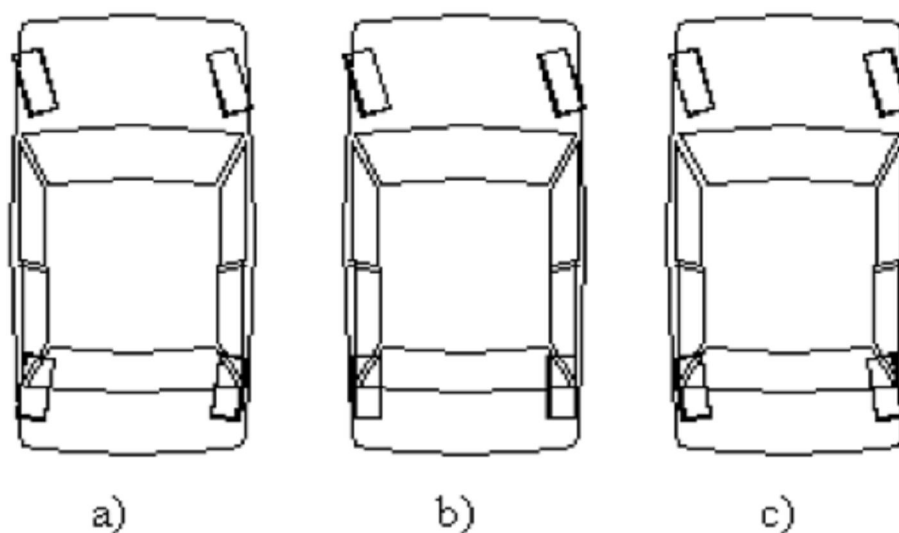
- a) na zmenšení poloměru zatáčení (natáčení v opačném směru),
- b) na zvýšení jízdní stability (natáčení ve stejném směru).

Cílem tohoto opatření je jednak zmenšení poloměru otáčení, ale zejména zvýšení jízdní stability (**obr.11**). Zmenšení průměru otáčení plyne bezprostředně z geometrických poměrů mezi koly a nastavbou vozidla. Možnosti k ovlivnění jízdní dynamiky se dají odhadnout z následující úvahy.

Posuzuje-li se nárůst bočních sil na předních, popř.zadních kolech bezprostředně po skokovém natočení volantů, ukazuje se, že u konvenčního řízení předními koly se zpočátku zadní náprava nepodílí na pohybovém ději. Při současném natočení předních

i zadních kol v opačném smyslu se okamžitě zvyšuje stáčivý moment a tím otáčení vozidla kolem svislé osy (**obr.11a**, stáčivý pohyb) a v případě souhlasného řízení (zadní kola jsou natáčena ve stejném smyslu jako přední) se stáčivý moment snižuje a bezprostředně dochází k bočnímu pohybu celého vozidla (**obr.11b**).

Zavedením aktivně řízených kol zadní nápravy jsou tedy sledovány dva cíle. Jednak zlepšení obratnosti při pomalé jízdě - nesouhlasné řízení, ale také zlepšení stability při jízdě vysokou rychlostí - souhlasné řízení (**obr.12**).



Obr.12

Způsoby řízení zadních kol

- a) *nesouhlasné řízení*; opačný smysl natočení kol, zvětšení stáčivého momentu,
- b) *konvenční řízení*; kola zadní nápravy se nevychylují,
- c) *souhlasné řízení*; stejný smysl natočení kol, zmenšení stáčivého momentu.

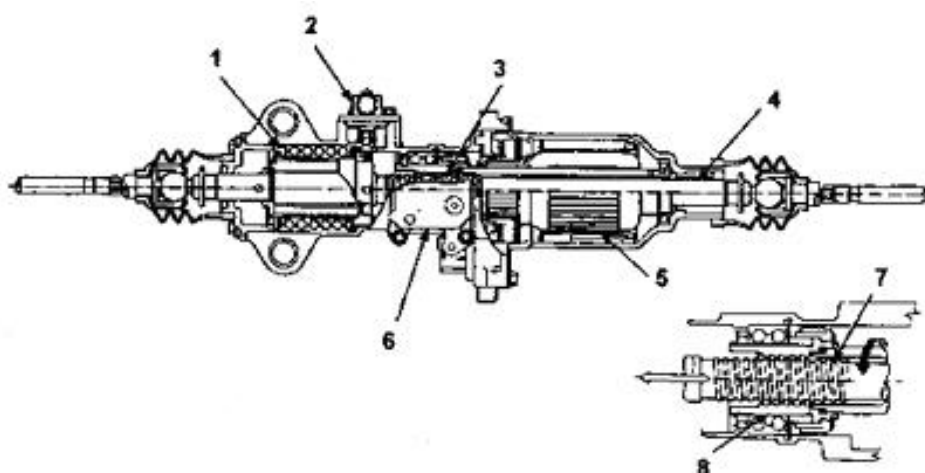
Ovládání výchytky zadních kol je prováděno zpravidla v závislosti na natočení volantů, ale ve dvou fázích, které jsou voleny s ohledem na rychlost vozidla. První fáze přísluší jízdě nízkou rychlostí. V této fázi jsou zadní kola natáčena proti smyslu natočení kol přední nápravy, dochází k redukci poloměru zatáčení – pól pohybu se vozidlu přiblíží a trajektorie pohybu vozidla může být více zakřivena. Druhá fáze přísluší jízdě vysokou rychlostí a zadní kola jsou natáčena ve smyslu natočení kol přední nápravy, dochází k nárůstu poloměru zatáčení, současně však celé vozidlo vybočuje z původní dráhy.

Pro tyto protichůdné požadavky je proto nutné najít takové technické řešení, které podle zamýšleného jízdního manévru zajistí souhlasné nebo nesouhlasné řízení zadních kol. Z technického hlediska je zajištění natáčení zadních kol poměrně náročné, neboť je třeba, aby zavěšení kola umožnilo natáčení. V konstrukci musí být zařazeny akční členy, které zajistí přesné nastavení, ale je také nutné použít řídicí systém, který akčním členům vydá potřebné instrukce.

Ovládací systémy se mohou lišit podle konstrukčního uspořádání. V letech 1985-1987 přicházejí japoňští konstruktéři (Honda Prelude a Mazda 626) s řešením cestou mechanického a elektrohydraulického ovládání zadních kol. Nejčastěji se aplikují tři systémy pro ovládání zadních kol:

- *mechanický systém* (např. Honda 4WS),
- *elektrohydraulický systém* (např. Mazda 626-4WS, Nissan, Mitsubishi Sigma),
- *elektromechanický systém* (např. Honda E-4WS).

Mechanický systém využívá mechanických převodů (např. planetový převod), je konstrukčně jednodušší, ale jeho parametry jsou nastaveny již při samotné konstrukci. Neumožňuje tedy potřebnou variabilitu nastavení při provozu. Proto jsou z hlediska řízení výhodnější systémy elektromechanické (**obr.13**) a elektrohydraulické (**obr.15**).

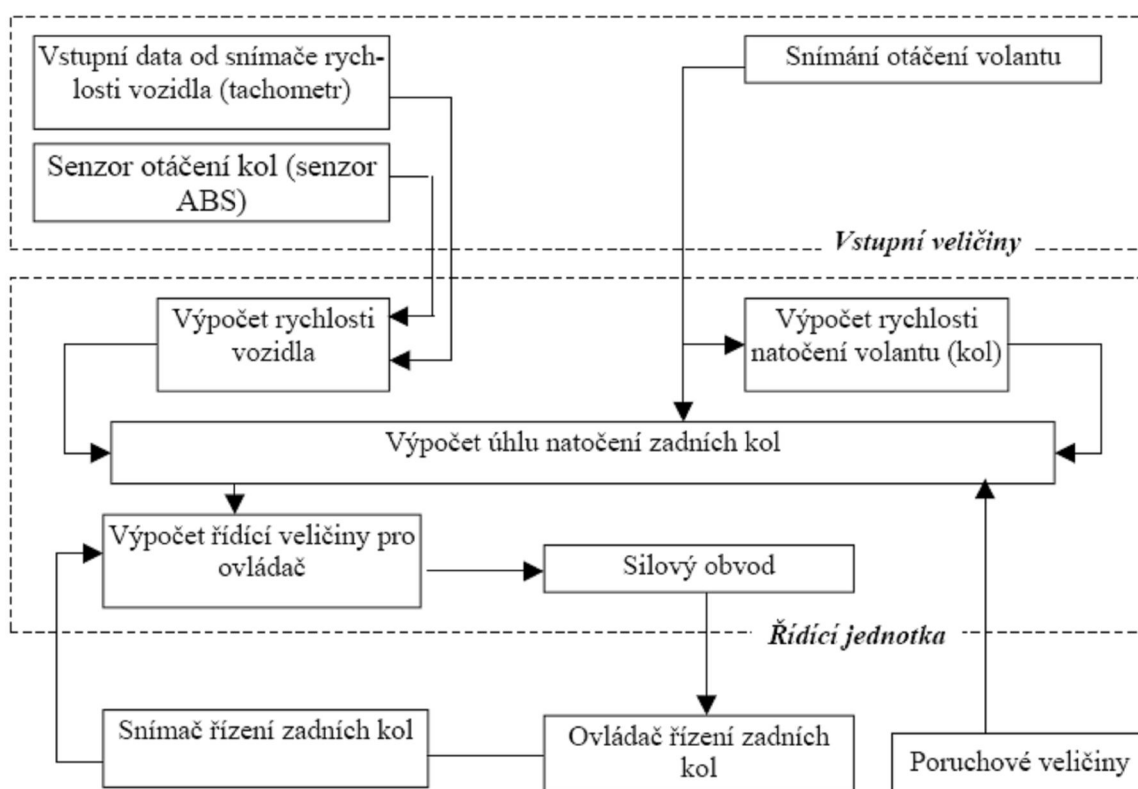


Obr.13

Elektromechanický systém řízení zadních kol (Honda E-4WS)

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

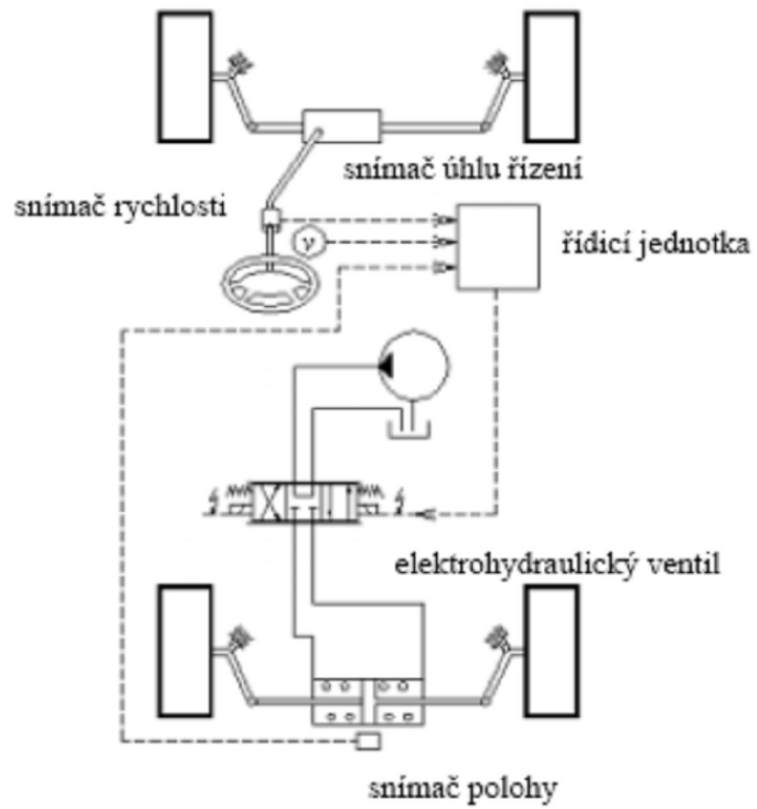
Řídicí systém musí zajistit, aby instrukce předávané akčním členům byly přesné a aby byly předávány rychle. Elektronické systémy mohou poměrně rychle vyhodnotit sledované parametry a přiřadit hodnotu výstupní veličině, která bude řídit silový člen (ať již elektrický či hydraulický). Řídicí jednotka rozhoduje na základě informace o pohybu volantu, ale výsledek je korigován s ohledem na okamžitou rychlost vozidla (případně zohlední i další veličiny – např. příčné zrychlení). Natočení zadních kol je kontrolováno snímačem polohy, který tvoří zpětnou vazbu obvodu řízení. Schéma uspořádání je znázorněno na **obr.14**.



Obr.14

Princip činnosti elektrohydraulického řídicího systému

Řídicí jednotka zpracovává vstupní veličiny (úhel natočení volantu, rychlost vozidla, poloha akčního členu, poruchové veličiny) a vyhodnocuje provozní stav. Výstupní elektrický signál předává elektrohydraulickému ventilu, ten ovládá výkonový tok silového hydraulického obvodu s hydromotorem (viz schéma na **obr.15**). Hydromotor prostřednictvím mechanické vazby ovládá natočení zadních kol. [13]

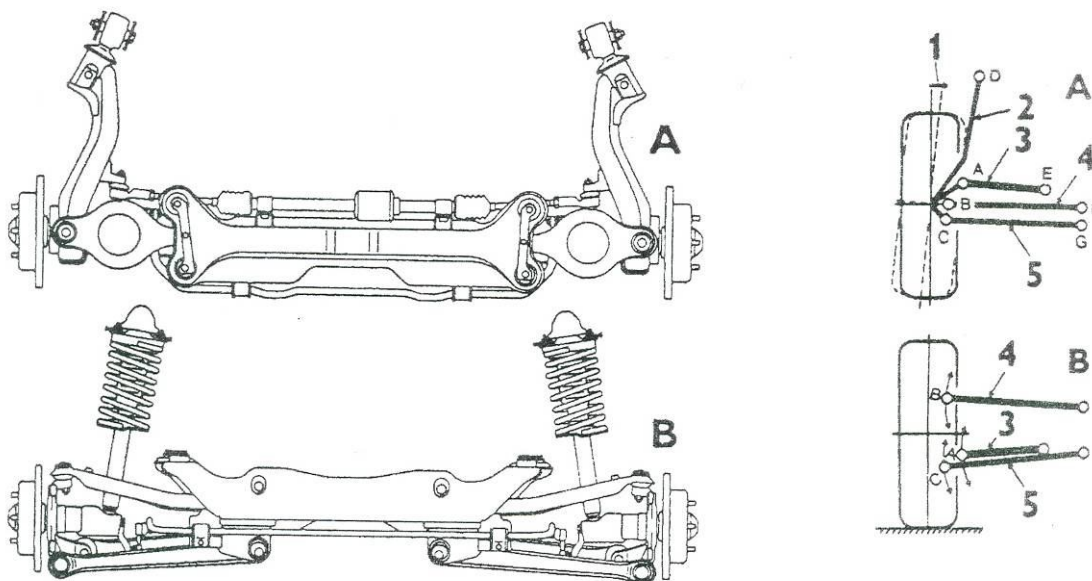


Obr.15
Elektrohydraulický systém řízení

3.1 Pasivní řízení zadních kol

Pasivní řízení zadní nápravou má např. Mitsubishi Sigma. K tomu slouží víceprvkové závěsy kol. Každé kolo je zavěšeno na jednom podélném a třech příčných, prostorově uspořádaných ramenech, jejichž kinematikou se dosahuje přesně programovaného *pasivního řízení* zadních kol (**obr.16**).

V celém rozsahu zdvihu kola se jen nepatrně mění sbíhavost kol i jejich příklon, díky čemuž se nemění charakteristika vozu až k mezním rychlostem. Závěsná ramena zadní nápravy jsou spojena s nápravnicí, resp. s karosérií pouzdry s kapalinovou náplní. Působením obvodových sil na zadních kolech (při brzdění) se pouzdra deformují a jako u běžných konstrukcí kyvadlových úhlových zadních náprav se zvětší rozbíhavost kol. Současně se však působením přidavných prvků podélných ramen zvětšuje sbíhavost, takže se oba vlivy kompenzují a výsledkem je takřka konstantní sbíhavost.

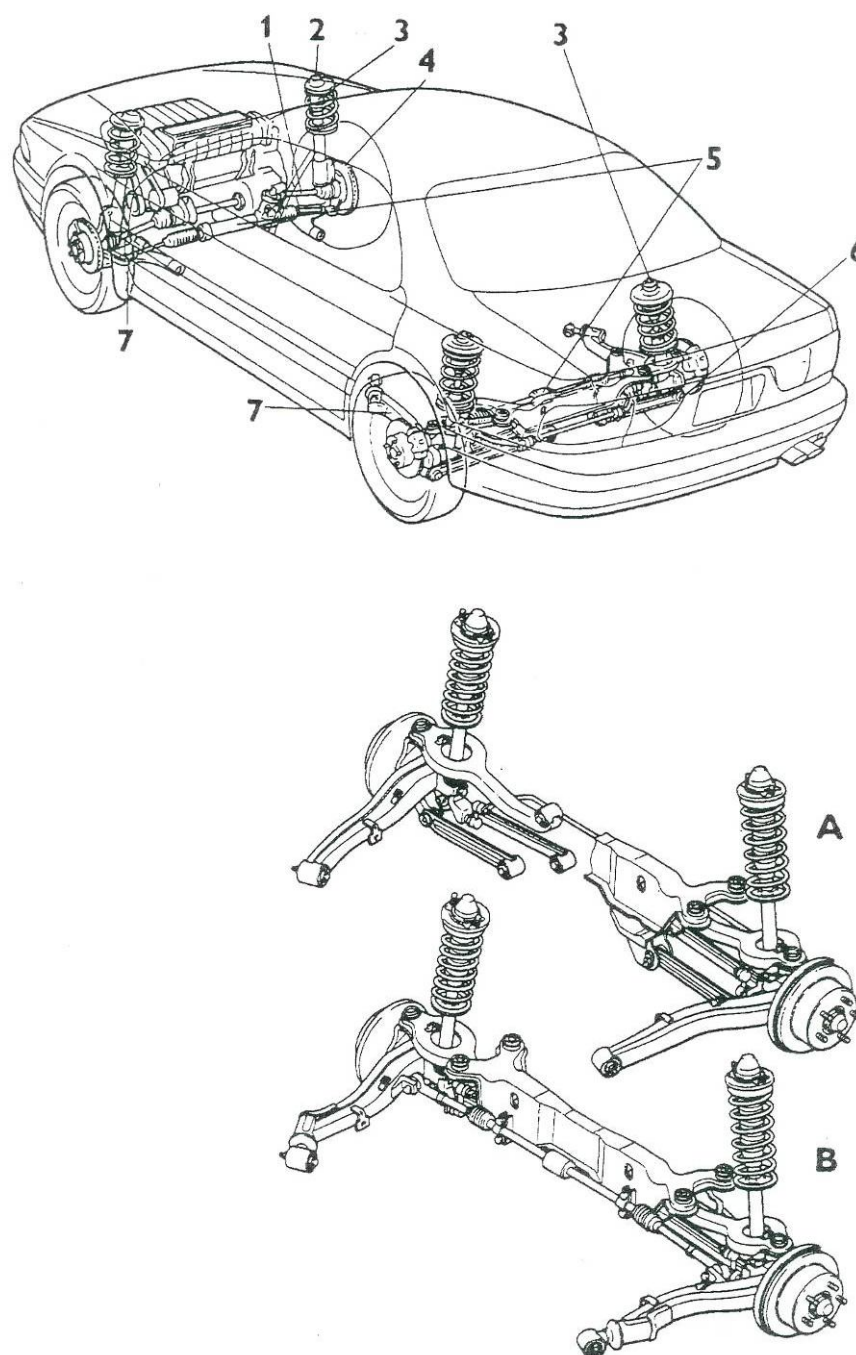


Obr.16

Zadní náprava osobního automobilu Mitsubishi Sigma

A-pohled shora, B-pohled zezadu, 1-programovaná změna sbíhavosti, 2-podélné rameno, 3-spodní pomocné rameno, 4-horní příčné rameno, 5-spodní příčné rameno

Osobní automobil Mitsubishi Sigma má podvozek vybavený množstvím elektronických prvků (obr.17).

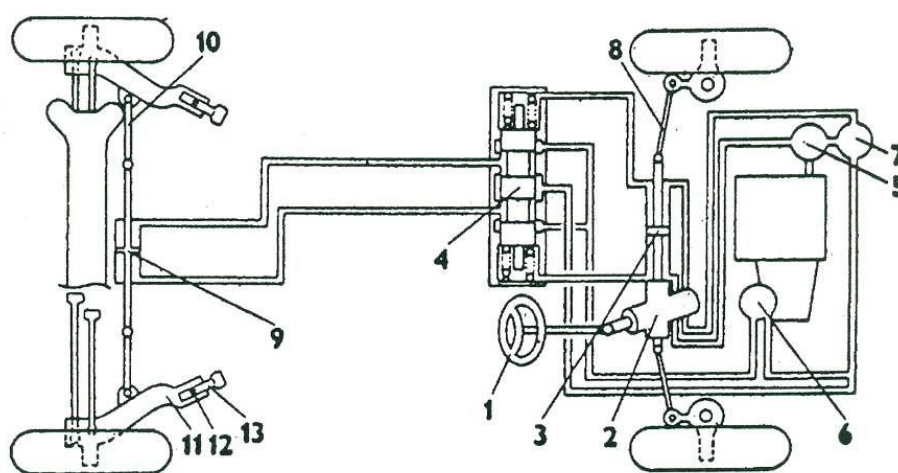


Obr.17

Hlavní prvky podvozku Dynamic TWO automobilu Mitsubishi Sigma

- A-zadní náprava s neřízenými koly, B- zadní náprava s řízenými koly,
1-regulace hnacího momentu, 2-přední náprava McPherson, 3-elektronicky řízené pérování,
4-protiblokovací soustava, 5-řízení všech kol, 6-víceprvkové závěsy zadních kol,
7-nezávislé zavěšení všech kol

Schéma soustavy řízení všech kol vozidla Mitsubishi Sigma je na **obr.18**. Řízení předních i zadních kol je jen ve stejném smyslu, zadních ovšem jen o $1,5^\circ$ a při rychlostech vyšších než zhruba 35 km/h. Účelem je totiž zvýšení stability jízdy velkými rychlostmi zejména při předjíždění, zmenšením natáčení vozu kolem svislé osy. Hřebenové řízení předních kol s posilovačem je spojeno hydraulickou soustavou s ústrojím řízení zadních kol. Dojde-li k jeho poruše, stabilizuje pružina ovládací píst zadních kol ve střední poloze a vůz se chová jako by měl jen řízená přední kola.



Obr.18

Soustava řízení všech kol Mitsubishi Sigma

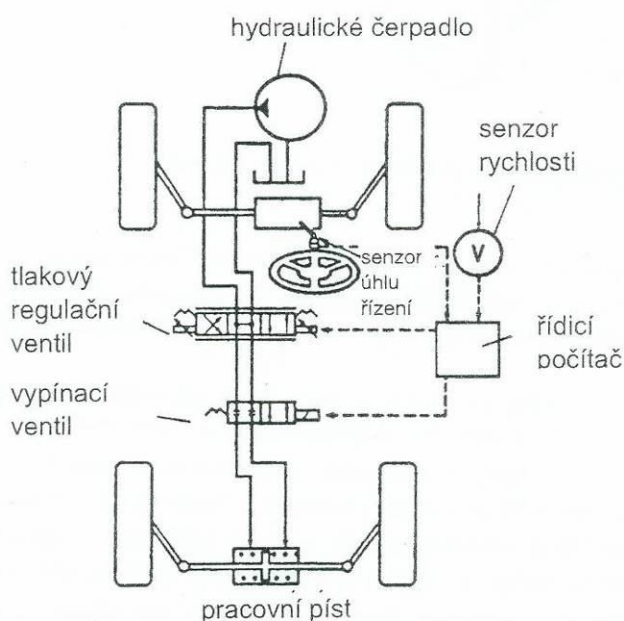
- 1-volant, 2-převodka řízení, 3-posilovač řízení předních kol, 4-řídící ventil, 5-čerpadlo posilovače řízení, 6-čerpadlo posilovače řízení předních kol, 7-nádržka provozní kapaliny, 8-řídící tyče přední nápravy, 9-hydraulická ovládací jednotka zadních kol, 10-řídící tyče zadní nápravy, 11-podélné rameno zadní nápravy, 12-seřiditelný závěs, 13-prvek pro nastavení sbíhavosti zadních kol

3.2 Aktivní řízení zadních kol

Aktivní řídicí systémy rozlišují potřebu řízení zadních kol, narozdíl od pasivních řídicích systémů, za účelem směrové stability od potřeby řízení zadní nápravy při pomalém zatáčení. Znamená to tedy, že zadní kola jsou natáčena souhlasně i nesouhlasně s předními koly.

Systém firmy Nissan „HICAS“ (High Capacity Actively Controlled Suspension) má dva hydraulické válce, které při vysokých rychlostech působí na uložení kyvadlové úhlové nápravy (vnější ložiska) a natáčí zadní kola ve stejném smyslu jako jsou natočena kola přední, natočení zadních kol je v obou směrech $0,5^\circ$. Povel k vychýlení zadních kol dává čidlo příčného zrychlení (při $0,5g$), bez ohledu na natáčení volantu. Při malých rychlostech další hydraulický válec natáčí zadní kola nesouhlasně k předním ($\text{max. } 7^\circ$).

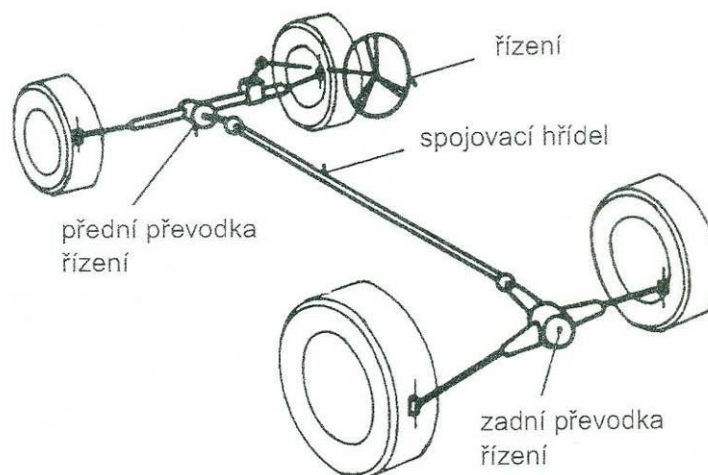
Systém SUPER HICAS je znázorněn na **obr.19**. Tento systém má úplnou – také dynamickou – kompenzaci úhlu směrové úchylnosti těžiště vozidla. Systém HICAS je velmi nákladný, a proto byly vyvinuty jednodušší způsoby řízení zadní nápravy mechanickou převodkou řízení a řídicími tyčemi (obdobně jako u konvenčních předních náprav). Propojení převodky řízení přední nápravy se zadní, a tedy závislost na otáčení volantu, se potom děje mechanickým způsobem kloubovým hřídelem (Honda Prelude) nebo elektronicky řízeným hydraulickým systémem (Mazda 626).



Obr.19

Systém řízení zadních kol SUPER HICAS firmy Nissan

System řízení všemi koly Honda 4 WS má mechanicky propojeny převodky řízení přední nápravy a zadní nápravy (**obr.20**). Přední převodka řízení je kloubovým spojovacím hřídelem propojena se zadní převodkou řízení. Ze zadní převodky řízení vedou řídicí tyče k zadním kolům.

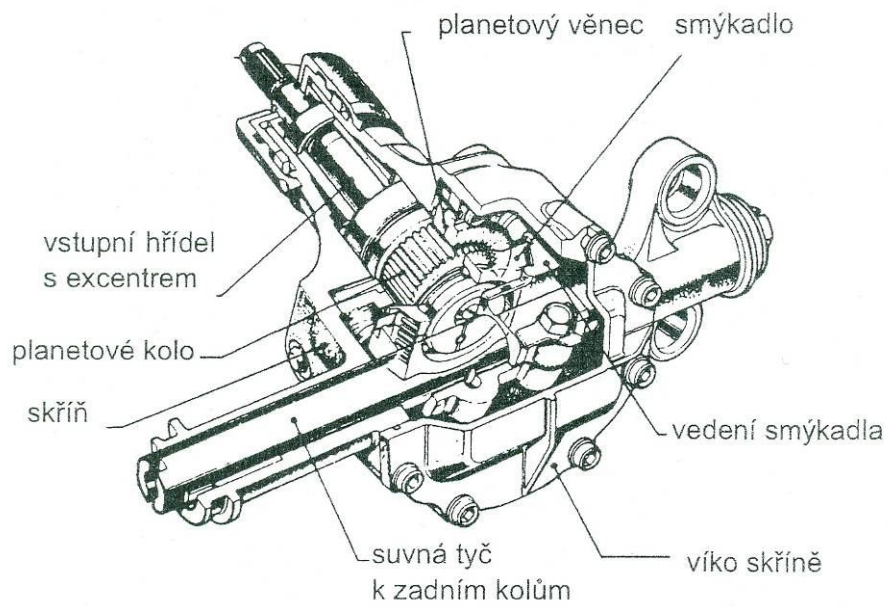


Obr.20

Základní schéma řízení všemi koly u systému Honda

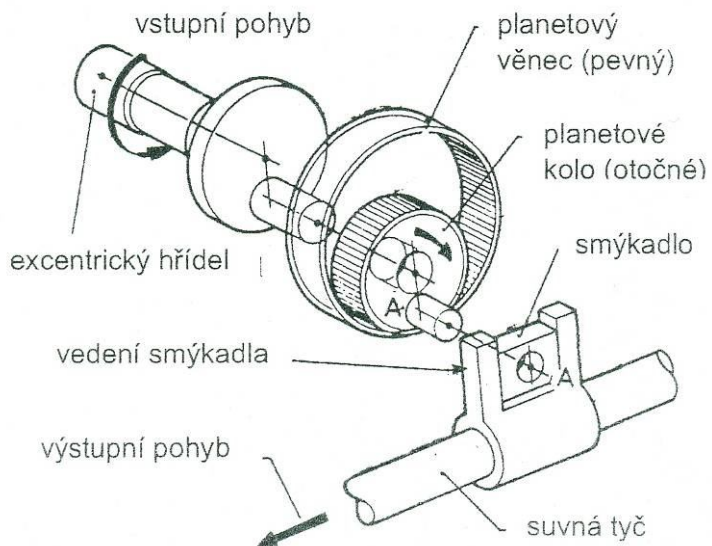
Zadní převodka řízení určuje kdy, jakým směrem a jak silně mají být zadní kola řízena. Konstrukce zadní převodky i přesto, že plní několik úloh je poměrně jednoduchá (**obr.21**), dva excentry, jeden planetový věnec s planetovým kolem a smýkadlo.

Princip činnosti převodky řízení systému Honda pro zadní nápravu je zjednodušeně znázorněn na **obr.22**. Rozhodující je pohyb osy **A-A**. Točí-li se planetové kolo ve směru šipky, pohybuje se osa A-A nejdříve mírně doleva, zadní kola se vychýlí ve stejném smyslu (max.1,7°). Tento děj se odehrává při středních a vysokých rychlostech. Při zvětšujícím se úhlu natočení volantu se pohybuje osa A-A nejdříve nahoru a s ní také smýkadlo. Je-li natočení volantu více než 240°, pak mění zmíněná osa svůj vodorovný směr pohybu, pohybuje se doprava, zadní kola se vychylují opačně než přední kola (nesouhlasné řízení), maximální rejz zadních kol je 5°, a to když úhel předních kol dosáhne 35°. Tak velké hodnoty úhlů rejdu jsou zapotřebí jen pro zaparkování nebo otočení vozidla do protisměru, v oblasti nízkých rychlostí.



Obr.21

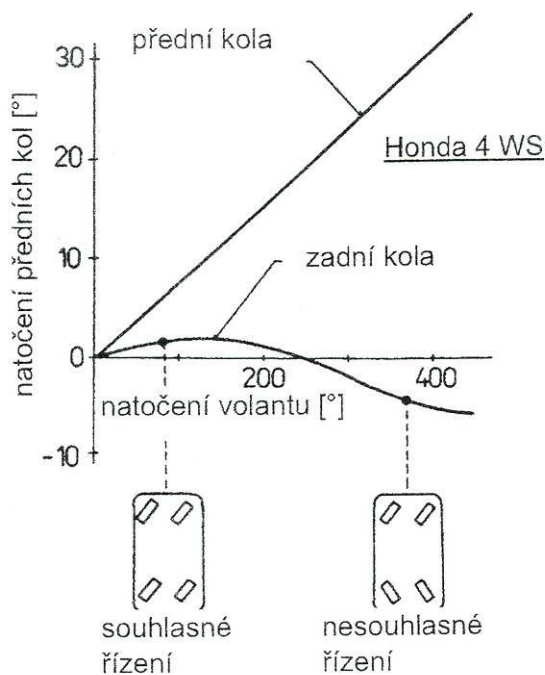
Konstrukce převodky řízení zadní nápravy systému Honda



Obr.22

Princip funkce převodky řízení Honda 4 WS pro řízení zadních kol

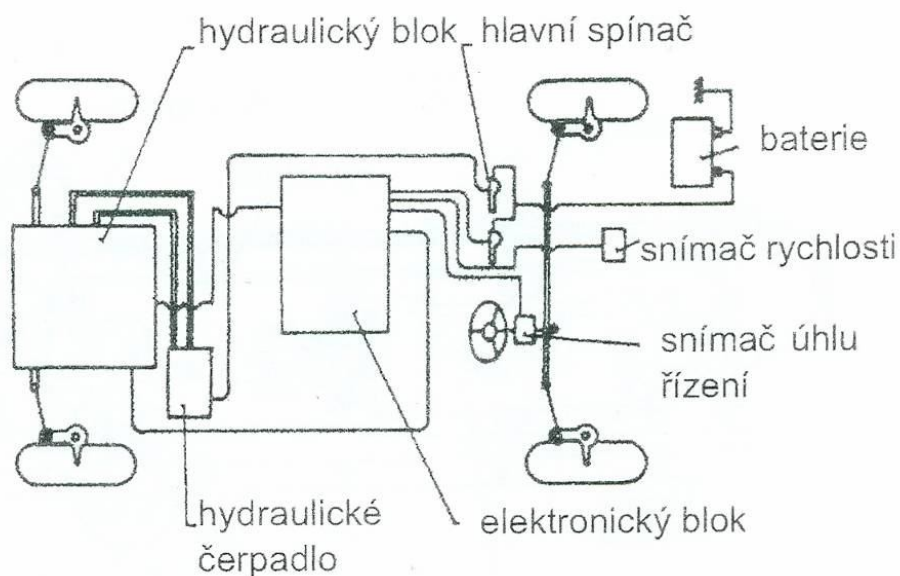
Závislost úhlů rejdu předních kol a zadních kol na úhlu natočení volantu je v diagramu na **obr.23**. Závisle na úhlu natočení volantu se pohybují zadní kola. Pro malé natočení volantu souhlasně, pro velké nesouhlasně s předními koly.



Obr.23

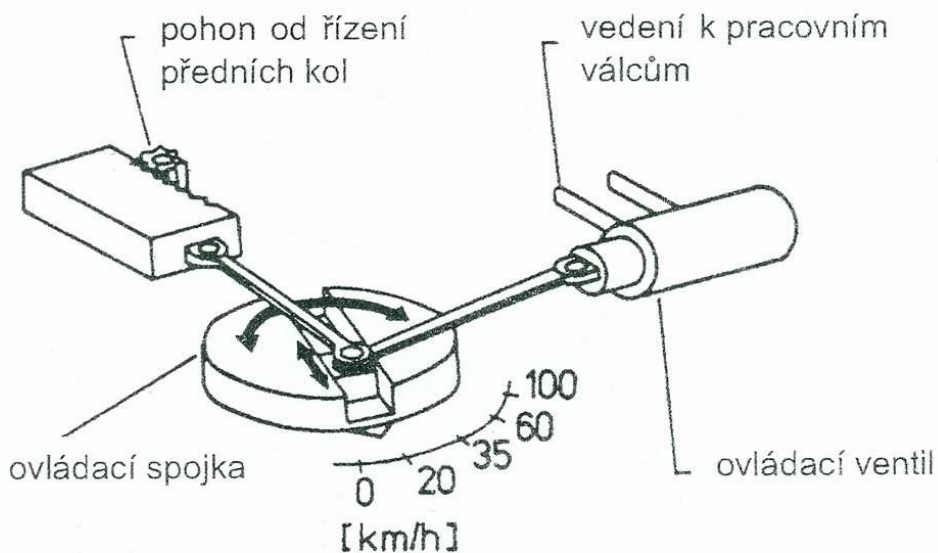
Závislost úhlu rejdu předních a zadních kol na úhlu natočení volantu (Honda 4 WS)

Řízení všemi koly *elektrohydraulickým* způsobem používá osobní automobil Mazda 626, viz **obr.24**, **obr.25** a **obr.26**.



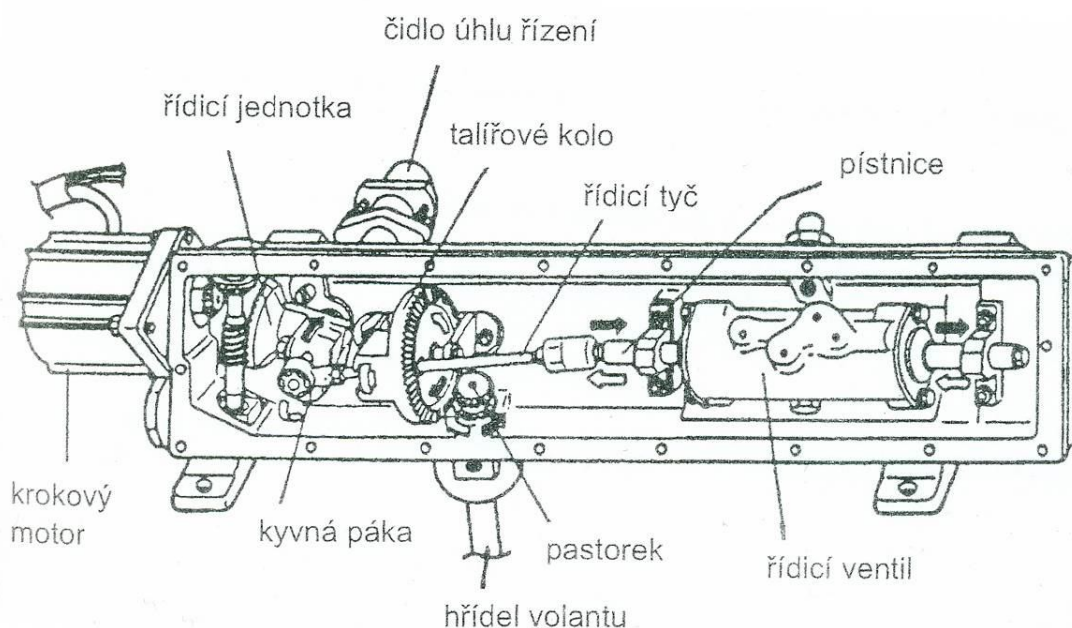
Obr.24

Elektrohydraulické řízení zadních kol u systému Mazda



Obr.25

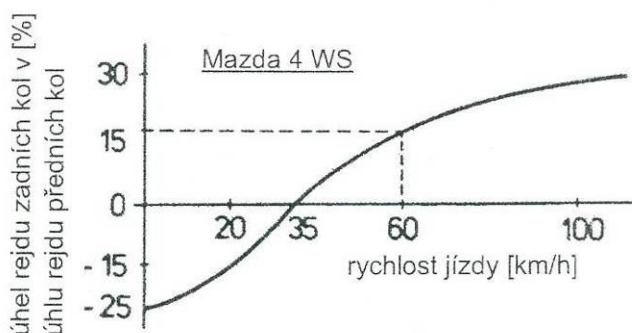
Princip řízení zadních kol automobilu Mazda 626



Obr.26

Mechanismus řízení relativního úhlu rejdu zadní nápravy na rychlosti jízdy (Mazda 4 WS)

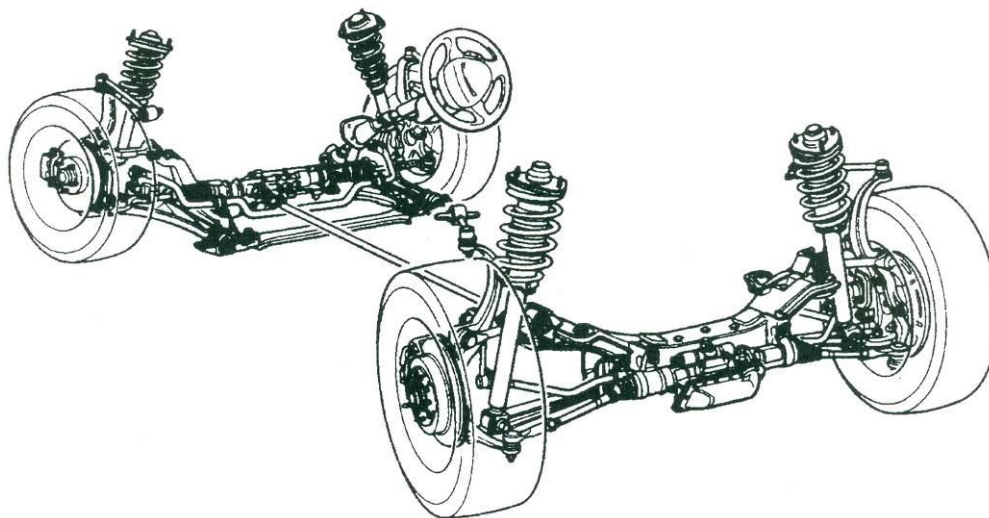
Řízení zadních kol je regulováno podle rychlosti jízdy. Rychlost jízdy je snímána čidlem a vyhodnocována elektronikou. Pro snadnou manévrovatelnost jsou kola až do rychlosti jízdy zhruba 35 km/h řízena nesouhlasně (tzn.proti smyslu řízení předních kol). Při vyšších rychlostech je řízení všech kol souhlasné, přirozeně zadní kola jsou vychylována výrazně méně, jak je zřejmé z diagramu na **obr.27**. Diagram znázorňuje relativní úhel rejdu zadní nápravy vyjádřený v procentech úhlu rejdu přední nápravy (je-li např.při rychlosti 60 km/h úhel rejdu předních kol 15°, pak úhel zadních kol podle **obr.27** je $15 \times (1/100) \times 10^\circ = 1,5^\circ$).



Obr.27

Závislost relativního úhlu rejdu zadní nápravy na rychlosti jízdy (Mazda 4 WS)

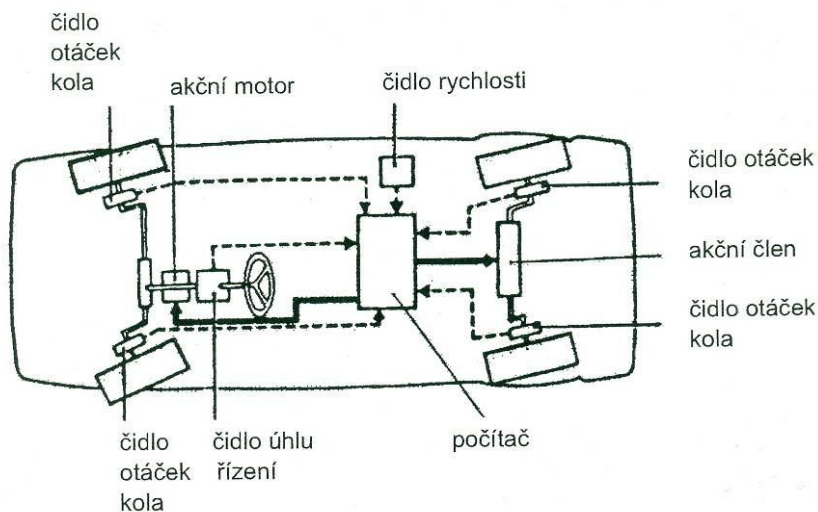
Další příklad řízení všech kol je na **obr.28**. Elektronické řízení kol reaguje podle rychlosti jízdy na natáčení předních kol (systém Mazda, **obr.27**).



Obr.28

Elektronicky ovládané řízení všech kol a jejich zavěšení u Mazdy Xedos 9

Výzkumný automobil FUTURA firmy Volkswagen je vybaven řízením čtyř kol, u kterého je prováděna regulace stáčivé rychlosti. Jako u většiny systémů řízení všech kol jsou snímány úhel natočení volantu a rychlost vozidla, a tyto signály jsou pak přiváděny do palubního počítače (**obr.29**). Kromě toho je u vozidla FUTURA zjišťována aktuální stáčivá rychlost a porovnávána s ideální hodnotou. Z rozdílu požadované a skutečné hodnoty pak vyplývá úhel řízení zadní nápravy.



Obr.29

Systém řízení všech kol automobilu FUTURA (Volkswagen)

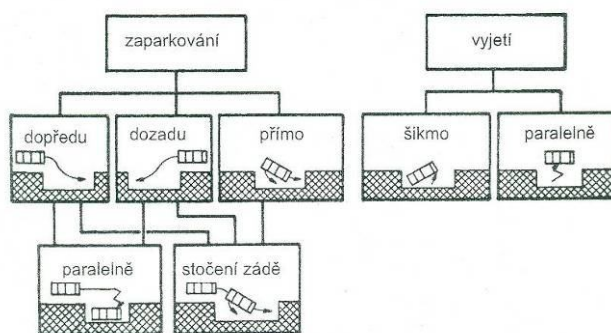
Jako žadány vedlejší efekt u vozidel s řízením všech kol je považována zvýšená obratnost při zaparkování. Přitom je v první řadě odstraněno nesouhlasné řízení zadních kol. Tak může být dosažen menší poloměr otáčení. Praktické zkoušky ale prokázaly, že tato vozidla kladou značné požadavky na přivyknutí řidiče. Souvisí to s podstatou problému, neboť při nesouhlasně řízených zadních kolech neleží pól otáčení vozidla na prodloužené ose zadní nápravy, nýbrž se přemísťuje směrem dopředu. Tímto vybočuje zád' vozidla při velkých úhlech natočení volantu silněji do strany než u konvenčních vozidel. Vzniká pak reálné nebezpečí, že zád' vozidla koliduje s dalšími vozidly nebo předměty.

Automobil FUTURA je z tohoto důvodu vybaven plně automatickým parkovacím systémem. Tomuto účelu slouží následující přídatná zařízení:

- počítačem ovládaný pohon řízení přední nápravy,
- rozšíření rozsahu úhlu řízení zadních kol dalece přes rozsah nutný pro dynamiku jízdy (cca 40°),
- rozsáhlý systém senzorů k rozpoznání okolí vozidla.

Schéma vozidla FUTURA s oběma pohony řízení pro přední a zadní nápravu a centrálním palubním počítačem je znázorněno na **obr.29**. Pro propočtení parkovacího manévru jsou, kromě senzorů měřících odstup, aktivovány i senzory otáček kol protiblokovacího systému. Pohon hřídele volantu je zajištěn pomocí elektromotoru přes ozubený řemen a elektromagnetickou spojku. V normálním provozu není možné při rozpojené spojnici žádné zpětné působení elektromotoru na moment v řízení.

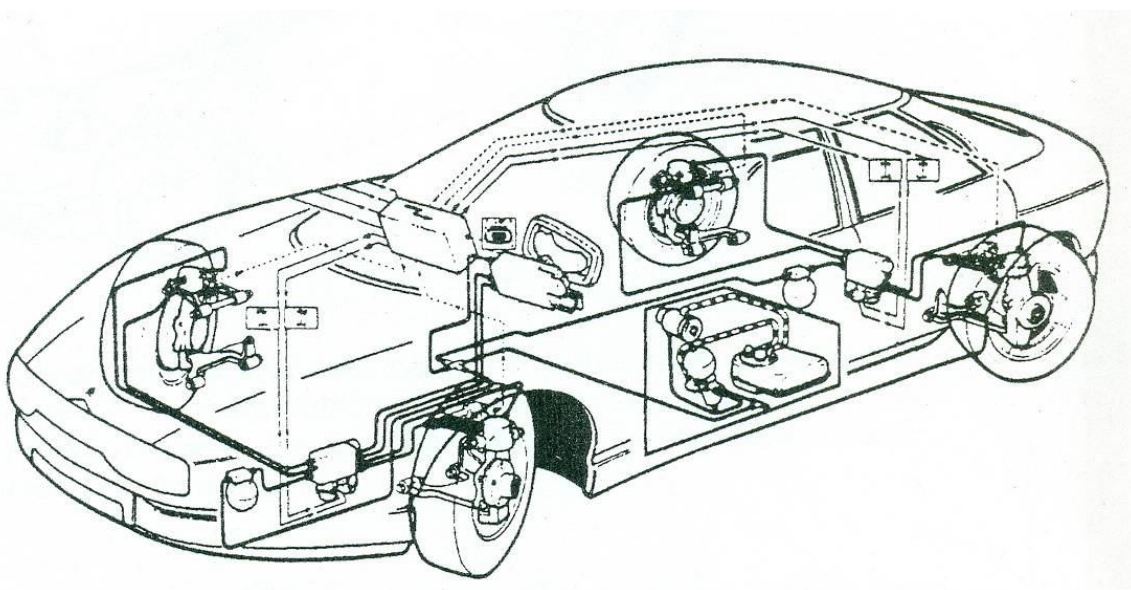
Pomocí velkých úhlů řízení na zadních kolech je FUTURA schopna parkovacích manévru, které daleko převyšují možnosti konvenčních vozidel. Na **obr.30** jsou znázorněny možné programované manévry vozidla FUTURA při automatickém parkování.



Obr.30

Automatické parkování vozidla FUTURA

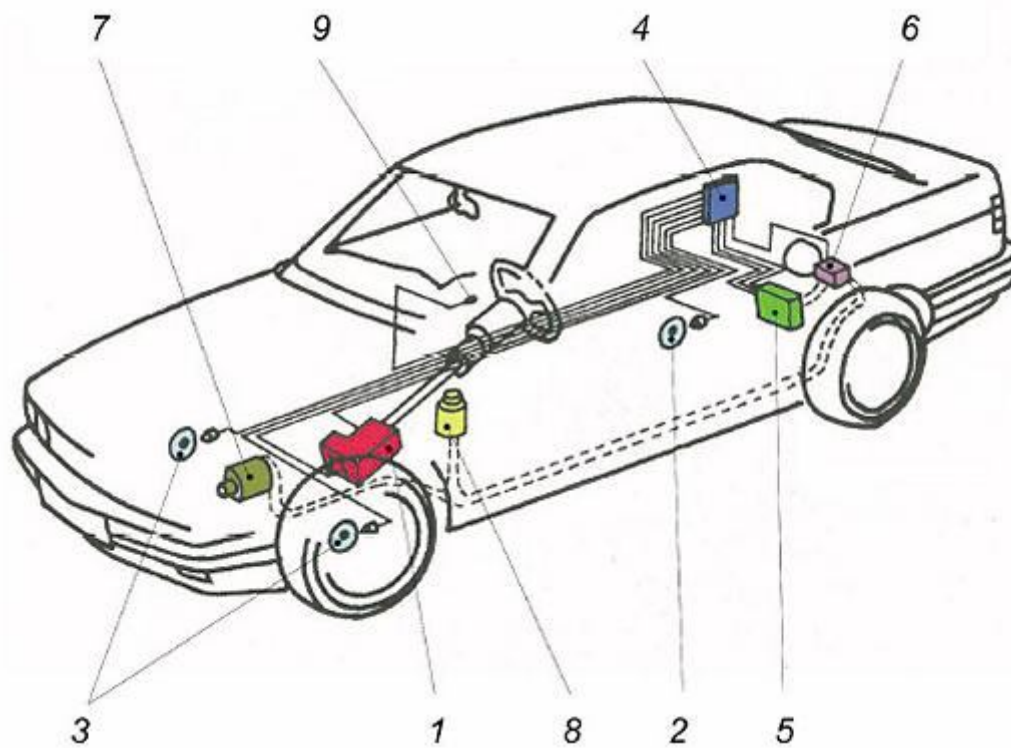
Na **obr.31** je znázorněno schéma soustavy řízení všech kol prototypu vozu Citroen Activa. Mezi volantem a koly není obvyklá mechanická vazba a každé kolo je natáčeno samostatným hydromotorem řízeným elektronickou centrálou. Ta určí úhel natočení jednotlivých kol v závislosti na úhlu a rychlosti natočení volantu, na rychlosti jízdy, úhlové rychlosti otáčení vozu kolem svislé osy a na příčném zrychlení. Základní impuls dává ovšem řidič volantem, jenž se ale natáčí ze středové polohy jen o 60° na každou stranu, takže věnec volantu může mít nezvyklý tvar čtyřúhelníku se zaoblenými rohy. Předností této soustavy je možnost individuálního ovládání každého kola. To je cenné právě pro výzkum a vývoj při hledání optimálního programu řízení všech kol, tj. koordinace jejich vzájemné polohy při nejrůznějších jízdních režimech, parkovacími manévry počínaje a předjížděním ve velkých rychlostech konče. Bezpečnost jízdy při eventuálním selhání elektroniky zajišťuje duplicitní hydromechanické ovládání. Tak jako u jiných soustav řízení všech kol se zadní kola mohou natáčet buď ve stejném smyslu jako přední, nebo opačně.



Obr.31

Soustava řízení všech kol prototypu vozu Citroen Activa

Aktivní kinematika zadní nápravy vyvinutá firmou BMW pod označením AHK (Aktive Hinterachskinematik) má prvky schematicky znázorněné na obr.32.



Obr.32

Prvky systému aktivní kinematiky zadní nápravy AHK vozů BMW

1-snímač úhlu natočení volantu, 2-snímač rychlosti jízdy, 3-snímač otáček předního kola (ABS), 4-řídící jednotka, 5-akční člen, 6-tlakový zásobník, 7-tříokruhové čerpadlo, 8-zásobní nádrž, 9-indikační kontrolka

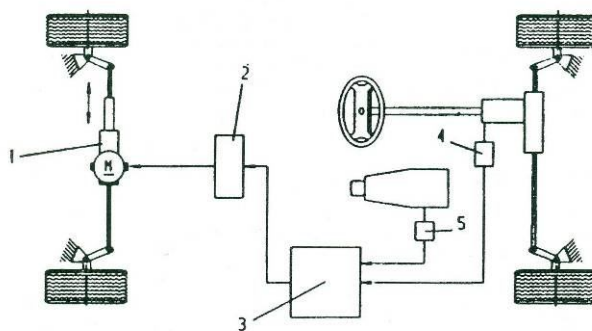
Vstupní veličinou systému jsou úhel natočení volantu a rychlost jízdy, které jsou z důvodu bezpečnosti systému měřeny stále. Snímač úhlu natočení volantu je součástí převodky řízení. Pro měření rychlosti jízdy slouží oba snímače otáček předních kol pro regulaci ABS, a také tachodynamo na zadní nápravě.

Z těchto vstupních veličin vypočítá řídicí přístroj osazený mikroprocesory optimální úhel natočení zadních kol pro danou jízdní situaci, a zadní kola jsou pomocí elektrohydraulického okruhu příslušně natočena. Natočení kol se děje elektrohydraulickým akčním členem, který akční polohu snímače zpětně ohlašuje kvůli bezpečnosti systému.

Energie pro akční člen je dodávána radiálním pístovým čerpadlem poháněným od motoru, které spolu s lopatkovým čerpadlem posilovače řízení a s radiálním pístovým čerpadlem úrovně regulace vytváří konstrukční jednotku ve tvaru tříokruhového čerpadla. Jednotka zdroje tlaku s tlakovým zásobníkem, plnicím ventilem a tlakovým senzorem udržuje provozní tlak pro akční člen v požadovaném pracovním rozsahu.

Hlavním cílem vývoje systému AHK bylo, aby řidič byl vhodnými jízdními vlastnostmi vozidla podporován pro nejrůznější řídicí manévry až k fyzikálně možným mezím. V mezních situacích může dojít ke smyku vozidla, který je charakterizován tím, že rychle vzrůstá úhel směrové úchyly těžiště vozidla, tzn. že podélná osa vozidla se prudce natáčí proti směru pohybu vozidla.

Podobně jako hydraulické systémy (pracovní válce, které natáčí zadní kola) mohou být zadní kola natáčena elektricky. Schéma elektrického řízení zadních kol EHL (Elektrische Hinterradlenkung) je na **obr.33**. Podstatným rozdílem oproti hydraulickému ovládní systému 4 WS je elektromechanické ovládní řízení zadních kol (akční členy působící na kola). Zadní kola jsou natáčena pomocí elektrického pohonu na zadní nápravě. Elektrický pohon tlačí na páku umístěnou uprostřed nápravy. Podobně jako u klasického předního řízení je tento pohyb symetricky přenášen prostřednictvím spojovacích tyčí řízení instalovaných na těhlicích, které natáčejí zadní kola pomocí kloubu a kulového čepu.



Obr.33

Blokové schéma elektrického řízení zadních kol EHL

M-elektrický pohon, 1-akční člen, 2-ovládací jednotka zadních kol, 3-řídicí počítač, 4-posilovač řízení předních kol, 5-čidlo rychlosti

Elektrické řízení zadních kol má následující výhody: stejné médium pro zpracování signálu a akční okruh, menší spotřeba energie, možnost zkoušek před montáží, žádné netěsnosti, žádné hydraulické vedení k zadní nápravě a bez obsluhy. [5]

4. Řízení po drátech

Většina současných řidičů začínala jezdit v automobilech, které v sobě neměly vůbec žádnou elektroniku (případně jen rádiové přijímače) a byly vybaveny pouze třemi regulačními obvody – regulátorem hladiny v karburátoru, regulátorem napětí v palubní síti a odstředivým regulátorem předstihu.

Koncem 70.let se začaly objevovat první elektronické regulátory předstihu. V posledních několika letech se však automobily začaly elektronikou doslova plnit.

Aplikace elektroniky v automobilové technice jsou velmi různorodé, ale lze je systematicky rozdělit do čtyř tříd:

- aplikace elektronických systémů pro řízení vozidla – asistenční systémy, automatická dálnice;
- aplikace elektroniky pro pohon vozidla;
- aplikace elektroniky vyvolané technologickými požadavky na výrobu, údržbu a vlastnosti vozidla;
- aplikace elektroniky vyvolané potřebami styku s dopravní infrastrukturou – dopravní telematika.

4.1 Sběrnice CAN

Rostoucí množství elektrických zařízení ve vozidle většinou ovládaných z přístrojové desky vyžadovalo nákladné instalace velkého počtu kabelových forem. Proto se pro přenos dat mezi četnými subsystemy automobilu začala používat digitální sběrnice. Začátkem 90. let byla navržena speciální sběrnice pro automobilové aplikace CAN, která se velmi rychle rozšířila. Řízení pomocí sběrnice CAN je řešeno tak, že vždy skupina podobných nebo blízkých systémů (např. skupina zadních světel, skupina spotřebičů levých předních dveří apod.) je připojena na tzv. řídicí jednotku, neboli procesor komunikující po sběrnici CAN. Mezi řídicí jednotkou a jednotlivými prvky je přímé propojení pomocí vodičů.

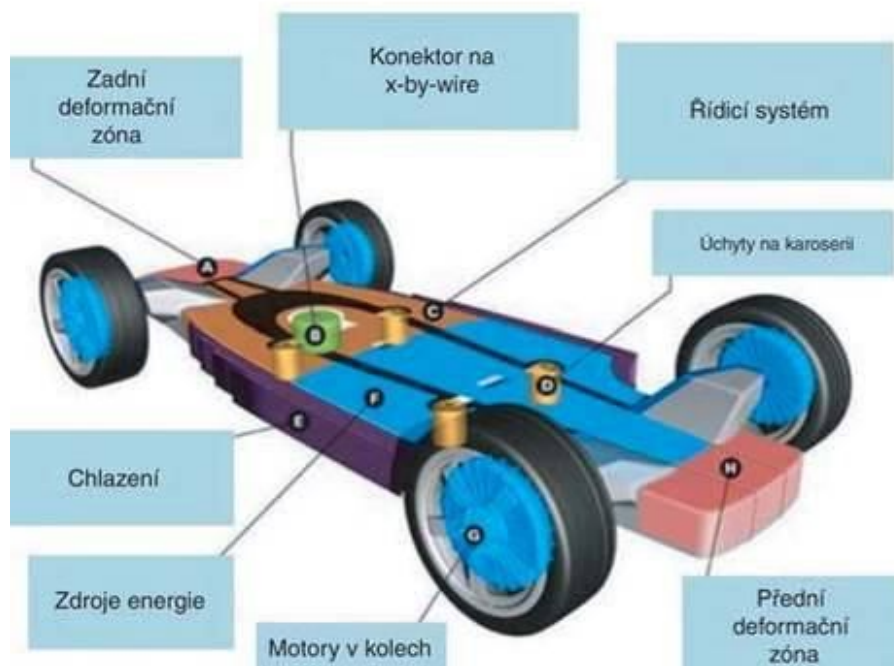
Vedle snížení množství kabelů umožnilo zavedení sběrnice CAN lepší funkci mnoha asistenčních systémů. Nyní je také možné použít efektivnější přístupy k diagnostice subsystemů vozidla a pro životně důležité systémy provádět průběžnou diagnostiku během provozu.

4.2 Drive-by-wire

Termíny drive-by-wire nebo x-by-wire byly převzaty z dopravních letadel, kde dnes pilot ovládá kormidlo pomocí servomechanismu a informace se přenášejí bez mechanického spojení čistě elektricky, tedy po drátě (fly-by-wire). V automobilové technice byla tato metoda zavedena kvůli tomu, že mnozí výrobci začali používat technologii označovanou jako platform nebo skateboard (**obr. 34**). V podstatě jde o návrat ke klasické koncepci odděleného podvozku a karoserie používané v první polovině minulého století. Rozdíl je v tom, že v „podvozku“ je uloženo téměř vše, co potřebuje automobil k jízdě: motorová skupina (motor, převodovka, rozvodovka), kola s řízením a brzdami, nádrže na palivo, baterie atd. Karoserii lze namontovat několika šrouby a připojit jen pomocí konektorů. Díky tomu je možné při opravě zapůjčit jinou karoserii nebo mít pro jedno auto několik karoserií pro různé účely atd. Není však možné přímo mechanicky spojit ovládací prvky automobilu (volant, brzdy, plyn) s podvozkem a motorem či koly. Přenos informace mezi ovládacími prvky a akčními členy probíhá čistě elektricky (po drátě) tedy způsobem drive-by-wire. Takto se přenášejí informace nejen pro řízení, ale i pro převodovku, spojku, brzdy atd., a proto se používá alternativní označení x-by-wire.

Poloha všech ovládacích prvků se přenáší pomocí servomechanismů, jejichž spolehlivost musí být srovnatelná se zařízeními v letecké či kosmické technice. Například servomechanismus pro přenášení polohy volantu a pro elektrohydraulické brzdy je nutné napájet ze dvou nezávislých zdrojů. To zvyšuje náklady, ale na druhé straně usnadňuje mnohá řešení, která by v klasické koncepci byla velmi obtížná. Adaptivní tempomat nemůže fungovat bez elektrohydraulických brzd, atd.

Zatímco u systémů x-by-wire není absence mechanického spojení rozpoznatelná, výrazné změny přináší metoda steer-by-wire, která přerušuje i mechanické spojení volantu. Jde vlastně pouze o důsledné pokračování aplikace posilovače řízení, který také přerušuje mechanické spojení volantu zařazením hydraulického servomechanismu. Mnohem větší pružnost řízení ale poskytuje elektrický servomechanismus. Na volantu je pouze snímač polohy a elektrický servomotor natáčí kola do žádané polohy. Další motor poskytuje řidiči zpětnou vazbu o jeho zásahu, aby řidič pocítil síly působící na volant. V tomto případě ale vůbec není nutné, aby pro nastavování žádané hodnoty polohy kol sloužil klasický volant. Může se použít joystick, který přináší mnohé výhody a zcela mění koncepci řízení automobilu.



Obr.34

Schématické znázornění podvozku platform

V leteckém průmyslu se koncepce fly-by-wire úspěšně používá již mnoho let a systém drive-by-wire ji dnes těsně následuje. V zásadě platí, že v systémech by-wire je přímé mechanické ovládání stroje nahrazeno elektronickým. To znamená, že například pohyby volantů se nepřenášejí mechanicky sloupkem řízení přes hřebenovou tyč k předním kolům jako u klasického ovládání. Místo toho je fyzický pohyb řidiče snímán a převeden na digitální elektronický signál, který se vysílá k inteligentně řízené elektromechanické ovládací jednotce, která ovládá kola. Na stejném principu je možno založit konstrukci brzdového nebo převodového systému. [14]

5. Vliv bočního větru na vozidlo

Mezi nepříjemné okamžiky, které mohou řidiče na silnici potkat, jistě patří náhlý náraz nebo poryv bočního větru. Pro nezkušeného řidiče nebo řidiče, který takovou situaci nepředpokládá, to může znamenat vážný problém, jehož následkem je nepřiměřená, někdy až panická reakce způsobená úlekem z náhlého a neočekávaného jevu. Stačí chvilková nepozornost řidiče a automobil prudce vybočí ze zvolené směru. V lepším případě se jenom ocitne za krajnicí, v tom horším bude v protisměru. Taková situace samozřejmě může vést až k vážné dopravní nehodě, tedy většinou střetu dvou protijedoucích vozidel, a to v poměrně vysokých rychlostech.

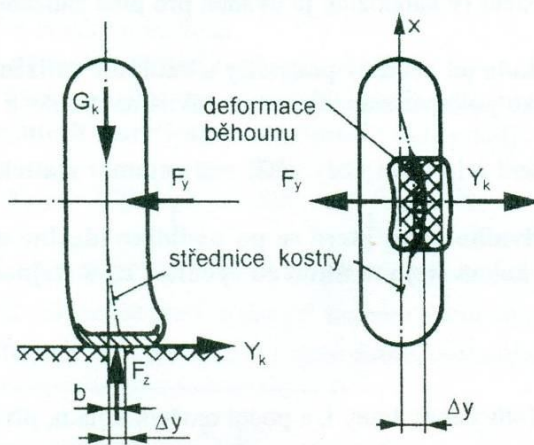


Při silném větrném poryvu může dojít k vybočení automobilu až o několik metrů, pozdní nebo nesprávná reakce řidiče tak může způsobit nehodu. Přitom se dá vítr

předpokládat: při výjezdu z lesa, na konci tunelu a na volně stojících mostech hrozí obzvláště velké nebezpečí. Záludně se chová vítr také při předjíždění nákladních vozů.

Pohodlná a stabilní jízda vozidla patří mezi důležité požadavky, které jsou na konstrukci a provoz vozidel kladeny. Dosažení vyššího komfortu jízdy si však vyžádalo celou řadu konstrukčních úprav jak vozidla, ale také vozovky. Přesto k neklidné rozrušené jízdě dochází, a to z různých příčin. Často k tomu přispívá řidič, který nedokáže správně odhadnout jízdní situaci a nereaguje adekvátně. Proto bývají součástí vozidla i systémy, které ke stabilnímu chování vozidla přispívají nezávisle na řidiči. Zdrojem nestabilit bývají změny provozních podmínek. Takovou změnou je průjezd zatáčkou, změna adheze, ale mohou to být kmitavé pohyby vozidla, jež bývají způsobeny například jízdou po nerovné vozovce. Poruchy stability jsou vyvolány i jinými impulsy – zdrojem může být také boční vítr. Houpání či kolébání výrazně ovlivní jízdní pohodlí. Důsledkem takových pohybů jsou změny v silovém působení. Změny mohou být tak výrazné, že kontakt kola s vozovkou není dostatečný (mění se velikost svisle působící síly) a tím je limitován i přenos podélných a bočních sil. Při valení kola musí kolo plnit několik funkcí. Jednou z nich je přenos bočních sil mezi kolem a vozovkou, což je potřebné k vedení vozidla.

Boční pružnost pneumatiky způsobuje při zatížení boční silou F_y boční posunutí středu kola Δ_y (**obr.35**). Vybočování středu kola je způsobeno deformací kostry pláště, deformací běhounu a bočním klouzáním běhounu po podložce. Pružnost pneumatiky v bočním směru je nežádoucí, protože vede k vybočování vozidla ze směru určeného rovinou kol a tím zhoršuje směrovou stabilitu a říditelnost vozidla.



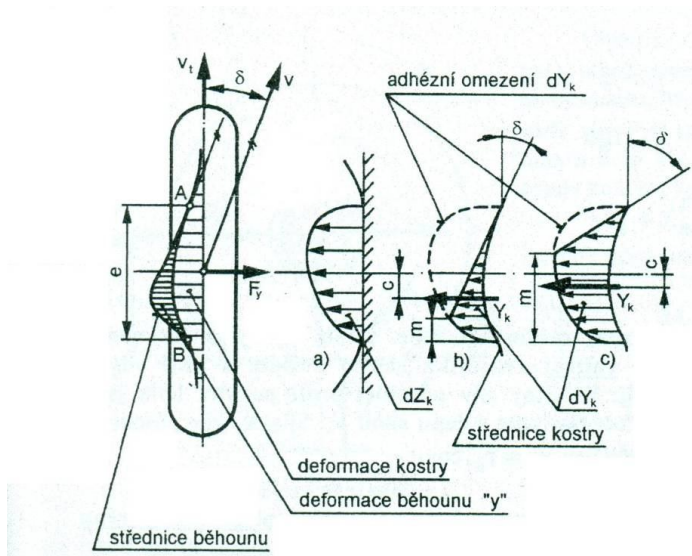
Obr.35

Boční pružnost pneumatiky

F_y -boční síla, G_k -tíha kola, Δ_y -boční posunutí středu kola, Y_k -boční reakce

Boční deformace kola znázorněná na **obr.35** vznikne při působení boční síly na stojící kolo. Tato deformace je závislá na velikosti boční síly F_y a na boční tuhosti pneumatiky c_y .

Rotuje-li kolo za působení boční síly F_y (**obr.36**), dochází ve spodní části pneumatiky k deformaci kostry, která je rozložena na větší část obvodu pneumatiky než odpovídá délce styčné plochy s vozovkou e . Běhoun pneumatiky přichází na začátku stopy (v bodě **A**) do styku s vozovkou v nedeformovaném stavu vůči kostře pneumatiky. Kostra je v tomto místě již bočně deformována. Jestliže při této deformaci nedochází ve styčné ploše k bočnímu pohybu elementů běhounu vůči vozovce, musí se vůči vozovce bočně pohybovat pneumatika. Výsledkem je, že kolo s boční pružností se valí v rovině danou směrovou úchylkou δ (úhel směrové úchylky). Je to úhel, který svírá tečna ke střednici běhounu v bodě **A** s podélnou rovinou symetrie nedeformované pneumatiky.



Obr.36

Valení kola za působení boční síly

F_y -boční síla, dZ_k -elementární vertikální reakce, dY_k -elementární boční reakce, m -oblast meze soudržnosti elementárních bočních reakcí, e -délka styčné plochy pneumatiky s vozovkou, δ -úhel směrové úchylky kola, v -skutečná rychlost pohybu kola, v_t -teoretická rychlost rotace kola, c -hodnota posunutí boční reakce oproti ose kola

Velikost elementárních bočních reakcí dY_k přenášených po délce styčné plochy pneumatiky s vozovkou je úměrná bočním deformacím y jednotlivých elementů běhounu podle vztahu:

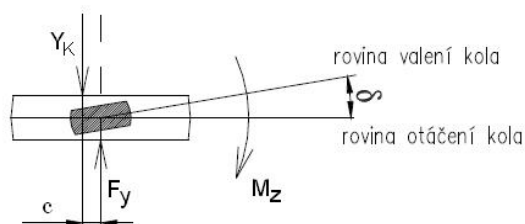
$$dY_k = c_y \cdot y \quad (1)$$

Tyto elementární boční síly nemohou překročit mez soudržnosti pneumatiky s vozovkou, která je úměrná rozložení elementárních vertikálních reakcí ve stopě pneumatiky dZ_k (obr.36a). Průběh těchto reakcí odpovídá nesouměrnému rozložení tlaku ve stopě.

Boční reakce dY_k (obr.36b) podél stopy vzrůstají až na hodnotu odpovídající mezi soudržnosti pneumatiky s vozovkou, která je na uvedeném obrázku znázorněna čárkovanou čarou. Oblast, ve které dY_k dosahuje meze soudržnosti je označena m . V této oblasti dochází k bočnímu pohybu elementů běhounu po vozovce. [1]

Výsledná boční reakce Y_k je posunuta oproti ose kola směrem dozadu o hodnotu c (obr.37), což má za následek vznik stáčecího momentu M_z o velikosti:

$$M_z = Y_k \cdot c \quad (2)$$



Obr.37

Valení kola za působení boční síly (detail)

M_z -stáčecí moment, Y_k -boční reakce, δ -úhel směrové úchylky kola, F_y -boční síla

Tento moment se snaží natočit rovinu rotace kola do směru valení kola, daného vektorem skutečné rychlosti pohybu kola v (obr.36).

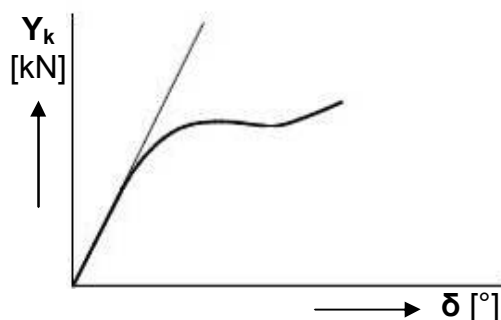
Při zvětšování působící boční síly se zvětšuje směrová úchylka δ a roste i oblast m (obr.36c), ve které dosahují elementární boční síly meze soudržnosti. Závislost mezi boční reakcí a směrovou úchylkou je ilustrativně znázorněna na obr.38. Tuto závislost lze vyjádřit vztahem:

$$Y_k = k \cdot \delta \quad (3)$$

kde k (N/stupeň nebo $N \cdot rad^{-1}$) je součinitel úhlu směrové úchylky neboli směrová tuhost pneumatiky. Platí, že boční reakce nesmí překročit adhezní sílu (v bočním směru). Tzn., že musí platit: [1]

$$Y_k \leq Z_k \cdot \varphi \quad (4)$$

Na **obr.38** a **obr.39** je pouze ilustrativně znázorněna závislost mezi boční silou a úhlem směrové úchytky a závislost stáčecího momentu na úhlu směrové úchytky.



Obr.38

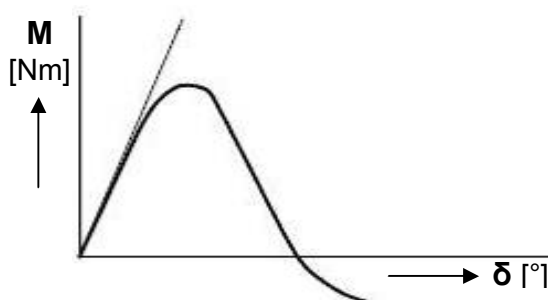
Závislost mezi boční silou a úhlem směrové úchytky

Při vzrůstající boční síle zpočátku roste spolu se směrovou úchytkou i velikost stáčecího momentu (**obr.39**). Se zvětšováním působící boční síly se však bude zmenšovat rameno c , na kterém tato síla působí (**obr.37**), což vede při větších směrových úchytkách ke zmenšování stáčecího momentu M_z .

V mezních situacích může být jeho hodnota i záporná, což je způsobeno nesymetrickým rozložením měrného tlaku na vozovku.

Boční tuhost pneumatiky a tedy i součinitel úhlu směrové úchytky závisí především na následujících faktorech:

- konstrukci a rozměrech pneumatiky,
- zatížení pneumatiky,
- huštění pneumatiky.

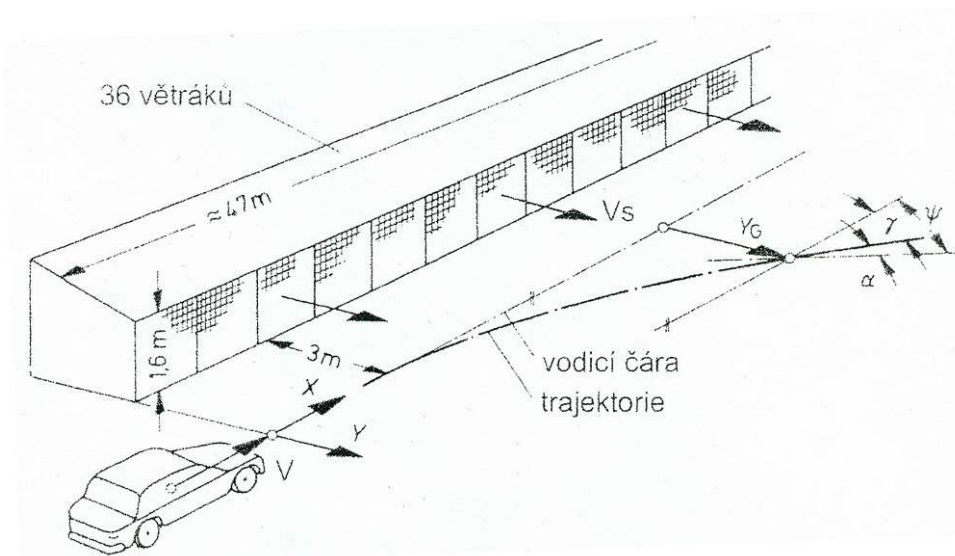


Obr.39

Závislost natáčecího momentu na úhlu směrové úchytky

5.1 Citlivost vozidel na boční vítr

Aerodynamická stabilita, tj. chování vozidel při působení bočního větru se zkouší na zkušební dráze vybavené zařízením pro simulování bočního větru. K tomu účelu se používá skupina ventilátorů. Nejjednodušší zařízení, které může být mobilní, má tři ventilátory. Dokonalejší simulátory mají vysoký počet ventilátorů (**obr.40**).



Obr.40

Zařízení pro zkoušky citlivosti vozidel na boční vítr

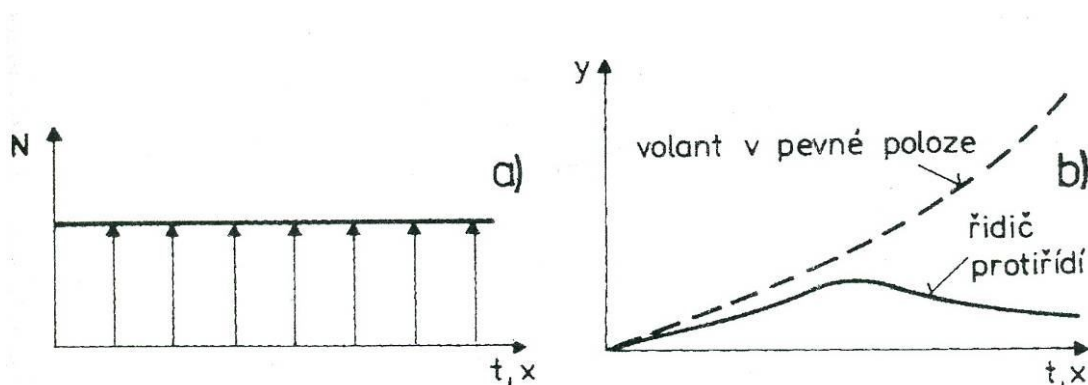
Citlivost automobilu na boční vítr se hodnotí podle pohybů vozidla při konstantní poloze volantu $\beta_V = 0$. Sleduje se vybočení vozidla z přímé dráhy. [6]

Test citlivosti vozidel na boční vítr

Praktické provedení citlivosti vozidel na boční vítr je znázorněno ve srovnávacím testu šestnácti automobilů v bočním větru v **Příloze č.1**. V uvedeném testu bylo použito šestnáct výkonných ventilátorů o průměru dva metry, které vytvářely proud vzduchu o rychlosti 90 km/h. Automobily projížděly konstantní rychlostí 100 km/h kolem speciální stěny dlouhé 32 metrů. Každý vůz danou zónou projel pětkrát a výsledná hodnota se určila průměrem.

5.2 Chování vozidla v bočním větru

Chování vozidla při rušivém vstupu, kterým je boční vítr, je následující. Jede-li vozidlo v bezvětří a náhle skokem vzroste boční vzdušná síla, pak se vozidlo vychýlí z původní přímé dráhy (**obr.41**). Řidič na tuto poruchu reaguje řízením vozidla, tzn. natáčí volant tak, že se vozidlo dostane opět do původního směru.



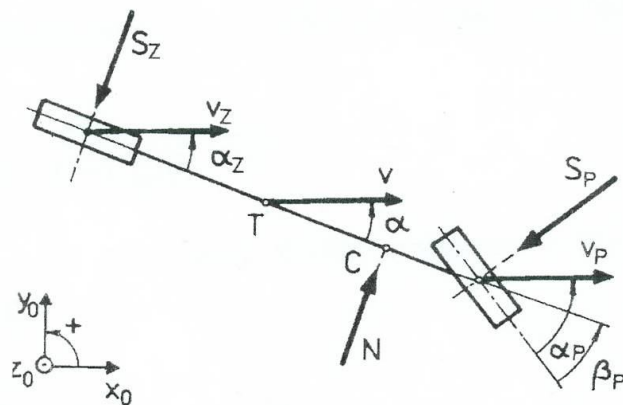
Obr.41

Vliv bočního větru na pohyb vozidla

a) skokový průběh boční vzdušné síly, b) trajektorie těžiště

Při vyšetřování vlastností samotného vozidla se nejdříve určí velikost úhlu natočení volantu, který je nutný k tomu, aby vozidlo při účinku bočního větru sledovalo přímou dráhu. Dále se vyšetří tzv. citlivost na boční vítr, která je určena pohybem vozidla bez zásahu řidiče (úhel natočení volantu $\beta_V = 0$).

Aby řidič vyrovnal účinek náhle působícího bočního větru, musí natočit kola vozidla o určitý úhel β_P (**obr.42**), čímž vozidlo i při bočním větru jede přímo. Poloha vozidla plyne podle **obr.42** z podmínky, že vektory rychlosti v , v_P , v_Z musí být rovnoběžné s osou x_0 . Boční vzdušná síla N vyvolá vodorovné reakce na kolech, tzn. boční vodící síly S_P a S_Z , a tím také úhly směrových úchylek α_P a α_Z . Poněvadž působíště boční vzdušné síly (tj. tlakový střed) leží blíže k přední nápravě, je $S_P > S_Z$, tzn. při stejných pneumatikách vpředu i vzadu je také $\alpha_P > \alpha_Z$. Podmínka docílení přímého směru je podle **obr.42** splněna tehdy, jestliže přední kola jsou natočena o přídavný úhel rejdu β_P .

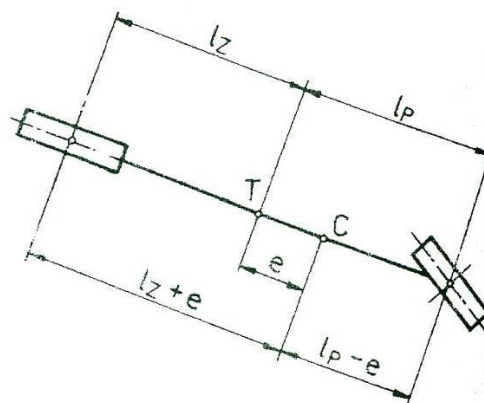


Obr.42

Síly a úhly na jednostopém modelu při přímé jízdě v bočním větru

β_p -korigující úhel natočení volantu; α_p, α_z -směrové úchylky přední a zadní nápravy;
 S_p, S_z -boční vodící síly; v, v_p, v_z -vektory rychlosti; N -boční síla; C -tlakový střed

Automobil je tím lepší, čím méně musí řidič při bočním větru protiřídít. Na **obr.43** jsou vyneseny vzdálenosti $l_z + e$ a $l_p - e$, které udávají vzdálenost tlakového středu C od přední a od zadní nápravy. Protože těžiště vozidla má být z hlediska říditelnosti ve středu rozvoru nebo před ním (aby vozidlo nebylo přetáčivé), musí být tlakový střed C posunut vhodným tvarem karosérie směrem dozadu. Vozidla s předním pohonem jsou většinou necitlivá na boční vítr. To nespočívá ve vlastnostech předního pohonu, ale v tom, že hnací ústrojí je vpředu a tím také těžiště je více vpředu a vzdálenost e je malá. [4]



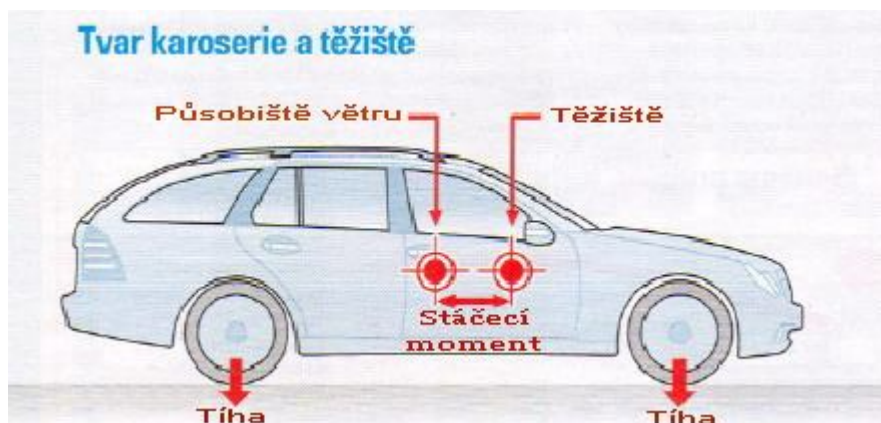
Obr.43

Poloha těžiště T a tlakového středu C

e -vzdálenost těžiště od tlakového středu; C -tlakový střed; $l_z + e, l_p - e$ - vzdálenost tlakového středu od přední a od zadní nápravy

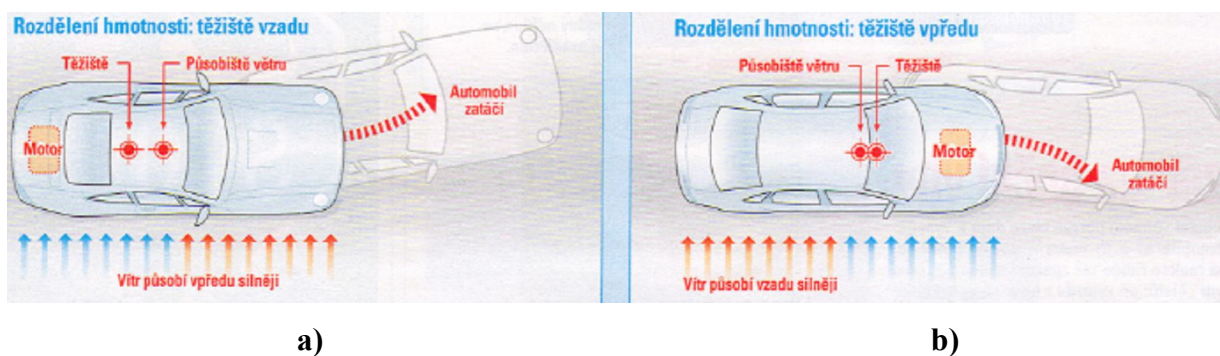
5.3 Působení bočního větru na vozidlo

Působení bočního větru závisí na tvaru karosérie a na těžišti vozidla. Vedle velikosti vozu při působení bočního větru rozhoduje také působíště větru. Pokud se nenachází působíště větru blízko těžiště, vytváří se moment, který vozidlo stáčí z požadovaného směru (**obr.44**). Působíště větru dané tvarem karosérie by mělo ležet v příčné úrovni těžiště. Čím se nachází dál, tím větší vzniká stáčecí moment.



Obr.44

Vznik stáčecího momentu působením bočního větru



Obr.45

Vliv bočního větru na rozdělení hmotnosti vozidla

K boční výchylce dané tlakem větru na karosérii se u vozu s motorem (a těžištěm) vzadu přidává určitý stáčecí efekt, působící ve směru větru (**obr.45a**).

Motor vpředu posouvá těžiště také dopředu. Vítr se proto opírá do karosérie více vzadu a způsobuje „táhnutí“ vozu proti směru vzduchu (**obr.45b**). [17]

6. Analýza vlivu řízené zadní nápravy na stabilitu vozidla při bočním větru

6.1 Výpočet příčného přemístění vozidla vlivem působení bočního větru

Míra ovlivnění směrové stability, resp. vychýlení vozidla, je v případě bočního větru závislá především na velikosti příčné aerodynamické síly A_y . Pro určení její velikosti lze s určitými úpravami nebo zjednodušením přistupovat analogicky jako v případě čelního aerodynamického odporu:

- experimentálně,
- modifikovaným výpočtem.

Experimentálně se velikost odporu vzduchu zjišťuje v aerodynamickém tunelu měřením na skutečném vozidle. Z experimentální zkoušky lze rovněž zjistit velikost součinitele odporu vzduchu.

Výpočet bočního odporu vzduchu automobilu získáme modifikací známého vztahu pro výpočet čelního odporu vzduchu:

$$A_y \cong F_y = \frac{\rho}{2} \cdot c_y \cdot S_b \cdot v_y^2 \quad [\text{N}] \quad (5)$$

kde:

ρ – hustota vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),

c_y – součinitel odporu vzduchu při bočním náběhu proudu vzduchu, závislý na tvaru vozidla,

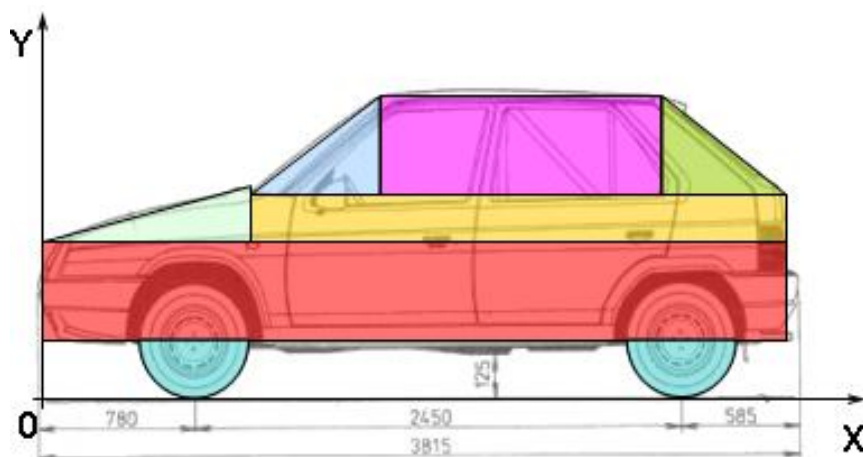
S_b – boční plocha (m^2), na kterou vztahujeme c_y ,

v_y – příčná složka výsledné relativní rychlosti vzduchu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Boční plocha se stanoví planimetrováním z výkresu vozidla v bočním pohledu nebo paralelním promítnutím vozidla do roviny rovnoběžné s podélnou osou vozidla (rovina xz).

Z uvedeného vztahu nám vyplývá, že velikost bočního aerodynamického odporu, resp. příčné aerodynamické síly, nejvíce ovlivňuje rychlost příčné složky relativní rychlosti vzduchu (roste s druhou mocninou) a velikost boční plochy.

Pro stanovení velikosti příčné posunutí vozidla vlivem příčné aerodynamické síly lze pro jednoduchost vycházet z předpokladu, že působí výsledné aerodynamické síly se umístí do těžiště boční plochy automobilu. Těžiště boční plochy lze určit například tak, že průmět vozidla na svislou rovinu procházející podélnou osou vozidla se umístí do souřadného systému a rozdělí se na elementární obrazce, u kterých lze poměrně snadno určit souřadnice těžiště vzhledem k počátku souřadného systému (**obr.46**).



Obr.46

Rozdělení boční plochy na elementární obrazce

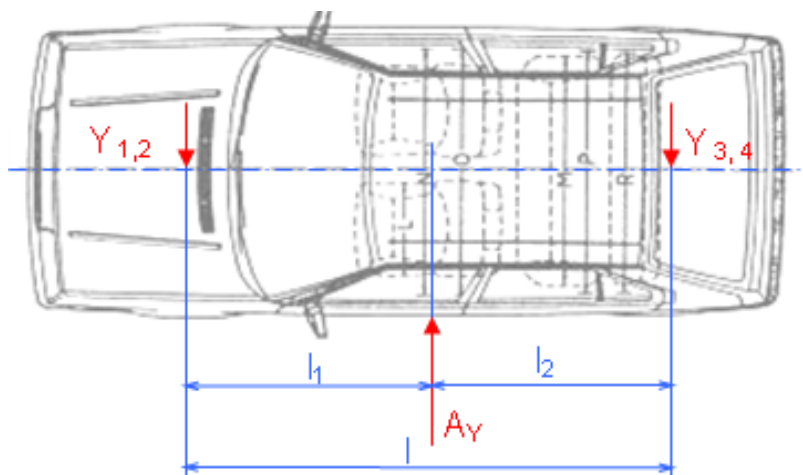
Znamé hodnoty souřadnic elementárních obrazců a jim příslušné velikosti obsahů dosadíme do známého vztahu pro výpočet souřadnic těžiště složené plochy:

$$x_T = \frac{\sum x_i \cdot S_i}{\sum S_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i \cdot S_i}{\sum S_i} \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Příčná aerodynamická síla s působíštěm v těžišti boční plochy automobilu bude mít vliv na:

- náklon karosérie (skříně) vozidla,
- velikost reakcí vozovky na kolech přední a zadní nápravy.

Za normálních podmínek, kdy nehrozí ztráta adheze u kol na odlehčované straně vozidla, se dá předpokládat, že obě pneumatiky přední i zadní nápravy budou deformovány stejně velikou boční silou, a tudíž se budou odvalovat se stejnou směrovou úchytkou (vozidlo jede v přímém směru a nejsou prováděny žádné korekce volantem).



Obr.47

Určení velikosti reakcí vozovky na kola náprav

Velikosti reakcí vozovky na kola přední a zadní nápravy jsou potom určeny polohou výslednice aerodynamických sil vůči nápravám (**obr.47**):

$$\begin{aligned} Y_{1,2} &= A_Y \cdot \frac{l_2}{l} \\ Y_{3,4} &= A_Y \cdot \frac{l_1}{l} \end{aligned} \quad [\text{N}] \quad (7)$$

Za uvedených předpokladů:

$$\begin{aligned} Y_{1,2} &= Y_1 + Y_2 \quad , \quad Y_1 = Y_2 \\ Y_{3,4} &= Y_3 + Y_4 \quad , \quad Y_3 = Y_4 \end{aligned} \quad (8)$$

lze pomocí známých tuhostí pneumatik následně určit velikosti úhlů směrových úchytek na jednotlivých kolech:

$$Y_K = k \cdot \delta \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_2 = \frac{Y_{1,2}}{2 \cdot k} \\ \delta_3 &= \delta_4 = \frac{Y_{3,4}}{2 \cdot k} \end{aligned} \quad [^\circ, \text{rad}] \quad (9)$$

Pohybuje-li se vozidlo rychlostí v po dobu t úsekem, ve kterém na ně působí stálý boční vítr, lze potom stanovit velikost příčného přemístění: [3]

$$s_b = \frac{\sin \delta}{v \cdot t} \quad [\text{m}]$$

(10)

6.2 Regulace směrových úchylek náprav

Má-li se vozidlo v praxi chovat stabilně při působení bočního větru, musí být korigováno boční přemístění vozidla. Otázkou tedy je, jaké systémy je třeba zkonstruovat, aby zajišťovaly vždy požadovaný směr vozidla a pomohly tak řidiči při tomto rušivém vlivu.

Tato myšlenka se dá realizovat spojením přes vnitřní komunikační síť se stabilizačním systémem ESP (Elektronic Stability Program) a může tak řidiče podpořit v nežádoucích jízdních situacích opravami (korekcemi) směrových úchylek náprav, vzniklých při bočním přemístění za působení bočního větru. Již na základě spojení stabilizačního systému ESP lze zajistit funkce, které podstatně zvyšují bezpečnost silničního provozu.

Aby mohl *systém korekce směrových úchylek* na nežádoucí jízdní situace reagovat, je třeba si odpovědět na dvě otázky:

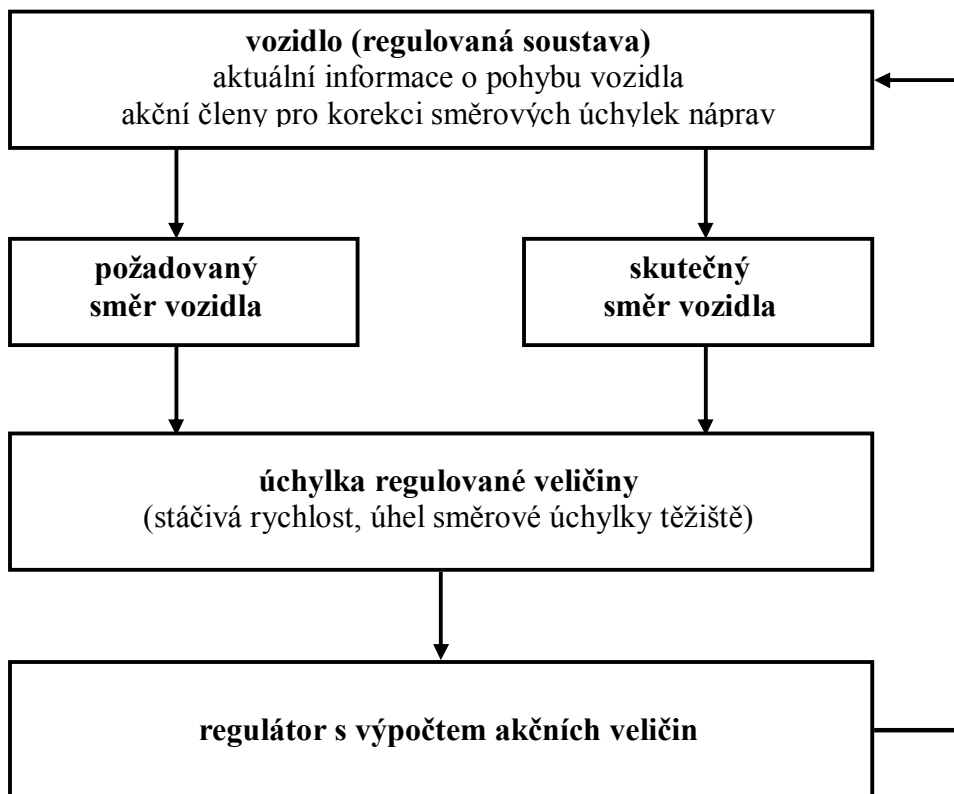
1. Kam řidič vozidlo směřuje?
2. Kam vozidlo skutečně jede?

Úlohou *systému korekce směrových úchylek* je tedy zjistit skutečné chování automobilu ze signálů úhlu natočení volantu a úhlu směrové úchyly těžiště odhadnutého v regulačním obvodu a co nejvíce přiblížit chování vozidla požadovanému jízdnímu stavu.

Regulační obvod má k dispozici následující veličiny potřebné k vyvození korekce směrových úchylek při působení bočního větru:

- stáčivá rychlost,
- úhel natočení volantu,
- příčné zrychlení,
- úhel směrové úchyly těžiště.

Pokud je tedy vozidlo vybaveno stabilizačním systémem ESP, asistenční *systém korekce směrových úchylek* již nepotřebuje žádné další komponenty.



Obr.48

Základní blokové schéma regulace směrových úchylek náprav

Pokud se požadovaná (optimální) hodnota liší od skutečné, je vypočítán regulační zásah. *Systém korekce směrových úchylek* rozhodne o tom, jakým směrem a jak moc natočit kola řízené zadní nápravy, aby se vozidlo nechovalo nestabilně při působení bočního větru. Poté systém na základě informací ze snímačů přezkoumá, zda byl regulační zásah úspěšný. Pokud vyhodnotí, že byl zásah úspěšný a skutečný směr bude tedy opět souhlasit se směrem požadovaným, regulace bude ukončena a vůz bude dále sledován. Jestliže ne, regulační zásah proběhne znovu. Po ukončení korekcí všech nestabilních stavů ukončuje systém svoji činnost. Základní schéma regulace je znázorněno na **obr.48**. Při regulaci musí být zadána řídicí veličina, která je stále porovnávána se skutečnou hodnotou regulované veličiny. Z regulační úchylky pak vyplývá pokyn pro akční člen.

V případě zjištění nežádoucí situace řídicí jednotka po vyhodnocení a porovnání zadaných dat do systému zakročí pomocí akčních členů systému. Automatické natočení zadních kol je možné provést pomocí elektrohydraulického okruhu. Podobně jako hydraulické systémy (pracovní válce, které natáčí zadní kola) mohou být zadní kola natáčena elektromechanicky. Podstatným rozdílem oproti hydraulickému ovládní systému je elektromechanické ovládní řízení zadních kol (mechanická převodka řízení ovládaná krokovým motorkem). Podrobněji jsou možnosti natočení zadních kol popsány ve třetí kapitole („Systémy řízení zadní nápravy“).

Elektronické systémy mohou poměrně rychle vyhodnotit sledované parametry a přiřadit hodnotu výstupní veličině, která bude řídit silový člen (ať již elektrický či hydraulický).

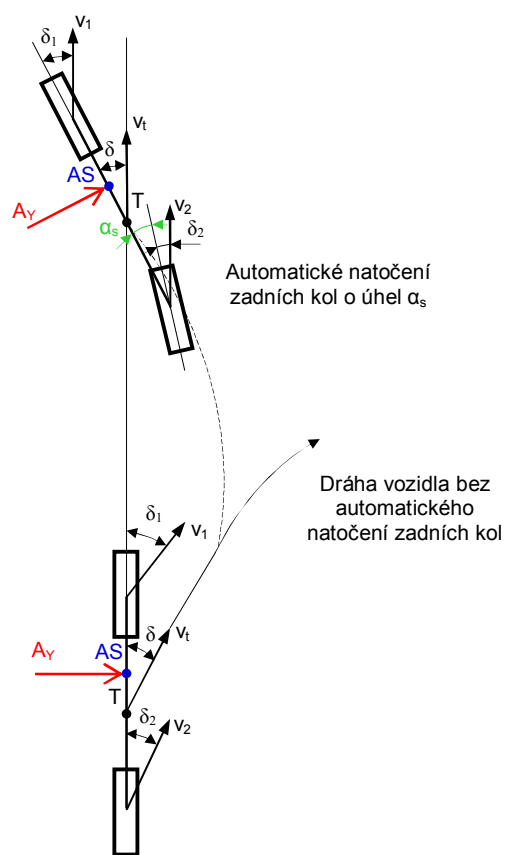
Za účelem dosažení aerodynamicky stabilního vozidla je tedy potřeba korigovat vzniklé směrové úchyly na nápravách. Předpokládejme tedy, že se vozidlo při přímé jízdě ocitne v bočním větru. Tím vznikne příčná síla A_y (**obr.6**) v aerodynamickém středu. Dále předpokládejme, že na vozidlo nepůsobí jiné síly než aerodynamické. Za těchto podmínek jsou případy chování vozidla v bočním větru podrobněji popsány ve druhé kapitole této práce („Stabilita vozidel“).

V následující části budou řešeny korekce směrových úchylek náprav bez nutného zásahu řidiče tak, aby se vozidlo nestalo aerodynamicky nestabilním. *Systém korekce směrových úchylek* bude znázorněn na jednostopém modelu vozidla.

6.3 Systém korekce směrových úchylek

Nežádoucí situaci za působení bočního větru lze v podstatě vyjádřit dvěma způsoby chování automobilu.

První způsob nastane, je-li aerodynamický střed (AS) před neutrálním bodem (NB), pak platí, že $\delta_1 > \delta_2$. Vozidlo se bude stáčet ve směru působící síly A_y a bude se stále více vychylovat z původního směru jízdy (**obr.6a**). Bez aktivního řízení zadní nápravy by byl k návratu do požadovaného směru jízdy nutný zásah řidiče (**obr.7**). Na **obr.49** je znázorněno, jakým směrem se v daném případě budou samočinně natáčet kola zadní nápravy pomocí *systému korekce směrových úchylek*. Automatickým natočením zadních kol o úhel α_s se vyrovnají směrové úchylky δ_1 a δ_2 a vozidlo je nasměrováno do požadovaného směru jízdy.

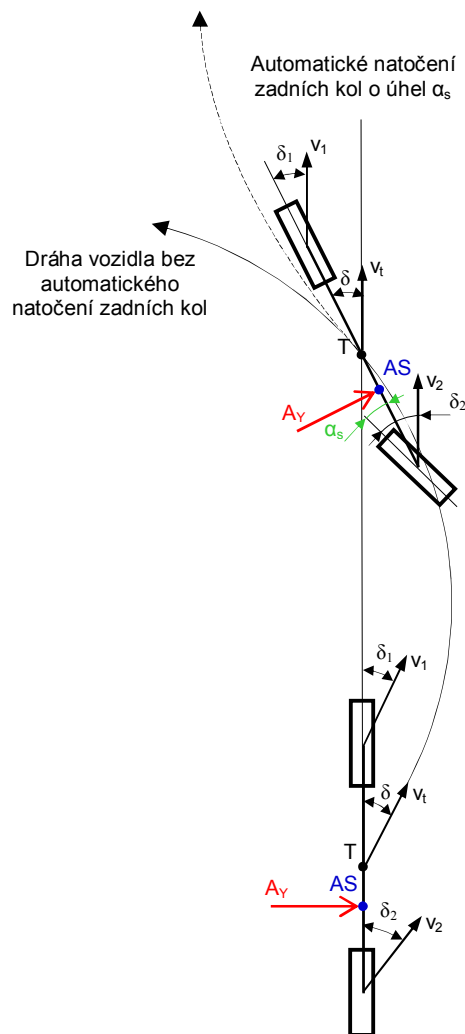


Obr.49

Korigující zásah řízené zadní nápravy za předpokladu, že AS leží před NB

A_y -boční síla; AS-aerodynamický střed; T-těžiště vozidla; δ_1 , δ_2 -úhly směrových úchylek náprav; δ -úhel směrové úchylky těžiště; v , v_1 , v_2 -vektory rychlosti; α_s -korigující úhel natočení zadních kol

Druhý případ nastává je-li AS za NB, pak platí, že $\delta_1 < \delta_2$. Vozidlo se po počátečním vybočení začne stáčet proti směru působící síly A_y – směrem k původní dráze (**obr.6b**). Řidič opět musí, byť menším korigujícím zásahem, uvést vozidlo do požadovaného směru. Na **obr.50** je opět znázorněno, jakým směrem se v tomto případě natáčí kola zadní nápravy, aby se vozidlo vrátilo samočinně do požadovaného směru jízdy. Tím jsou tedy opět vyrovnány směrové úchyly δ_1 a δ_2 a vozidlo je nasměrováno do požadovaného směru jízdy.



Obr.50

Korigující zásah řízení zadní nápravy za předpokladu, že AS leží za NB

A_y -boční síla; AS-aerodynamický střed; T-těžiště vozidla; δ_1 , δ_2 -úhly směrových úchylek náprav; δ -úhel směrové úchylny těžiště; v , v_1 , v_2 -vektory rychlosti; α_s -korigující úhel natočení zadních kol

System korekce směrových úchylek nejenže stále samočinně vyhodnocuje okamžitou situaci vozidla, ale v případě potřeby podle naprogramovaného scénáře zasáhne s rychlostí a naprostou přesností takovým způsobem, který je pro sebezkušenějšího řidiče nedostížitelný. V nežádoucích situacích, které působení bočního větru bezesporu představuje, koriguje za řidiče jízdu vozidla do požadovaného směru a vyrovnává vznikající směrové úchytky.

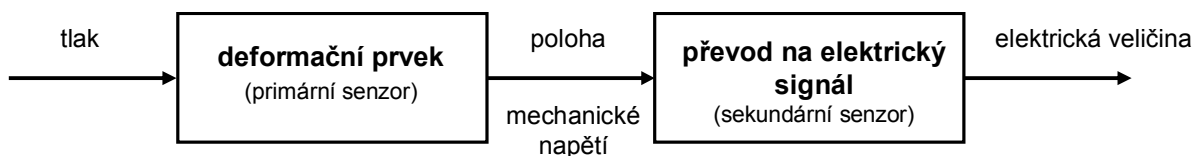
Na rozdíl od systémů, kdy úhel řízení zadních kol závisí na úhlu natočení volantu β_V , nyní i pro přímou jízdu (tzn. $\beta_V=0$) dochází k automatickému natočení zadních kol o úhel α_s , a vozidlo tak samočinně reguluje nežádoucí směr vozidla. Úhel natočení zadních kol je dynamicky upravován pod kontrolou počítačového modelu v řídicí jednotce vozidla bez pevné vazby na natočení předních kol. Přesné modelování dynamiky vozidla umožňuje optimalizovat dráhu vybočení vozidla, přičemž bere v úvahu statické údaje (rychlost vozidla, úhel natočení volantu) a dynamické údaje (pohyby volantem, stáčení).

6.4 Snímač bočního větru

Pro rychlejší odhalení (zjištění) působení bočního větru na vozidlo a s tím samozřejmě související rychlejší tok informací do systému je možno uvažovat na vozidle použití „snímače bočního větru“, který by fungoval jako snímač tlaku s elektrickým výstupem.

V moderní automatizační technice nacházejí uplatnění takové snímače, které poskytují výstupní signál vhodný pro dálkový přenos a pro následné zpracování v elektronických obvodech.

Základem celé řady takových snímačů, tedy elektromechanických tlakoměrů, bývá některý z deformačních tlakoměrných prvků (např. membrána). Na deformační prvek (primární senzor) navazuje vhodný senzor s elektrickým výstupem (sekundární senzor), který vyhodnocuje deformaci způsobenou změnou měřeného tlaku (**obr.51**). Tímto způsobem se převede signál deformačního prvku na elektrický signál.



Obr.51

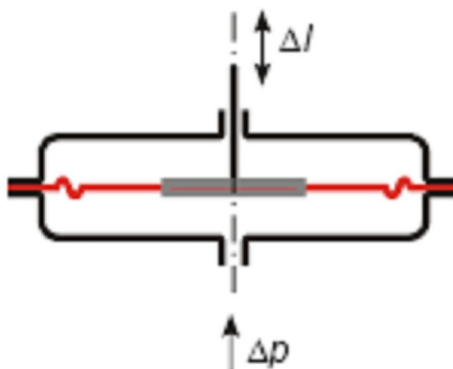
Schéma snímače tlaku s elektrickým výstupem

Jedná se tedy o snímač s vícenásobným převodem. Výsledkem působení síly při deformaci měřicího prvku je buď změna polohy nebo změna mechanického napětí, a proto se k vyhodnocení deformace a k převodu na elektrický signál využívají:

- *senzory polohy* (potenciometrické, indukčnostní, kapacitní, optické),
- *senzory mechanického napětí* (tenzometrické, rezonanční, piezoelektrické).

V technické praxi se setkáváme s termíny *snímač tlaku* a *převodník tlaku*. Pojmeme *snímač tlaku* se obvykle označuje tlakoměr, který slouží jako automatizační prvek, např. měřící člen v regulačním obvodu. Citlivou částí snímače, která je v bezprostředním styku s měřeným objektem, je čidlo (senzor). Snímač tedy tvoří určitý konstrukční celek a čidlo je jeho součástí. Čidlem (senzorem) tlaku je např. membrána. Označení *převodník tlaku* má velmi podobný význam jako snímač tlaku. Jedná se o elektronické zařízení sloužící k měření tlaku, které je schopno přenést informaci o měřeném tlaku pomocí elektrických signálů k dalším zařízením.

Pro případ, kdy na vozidlo působí boční vítr by bylo vhodné použít membránové snímače tlaku jako primární senzor. Tato metoda snímání tlaku používá k získání signálu nejprve jako mechanický mezistupeň tenkou membránu, která je jednou stranou vystavena měřenému tlaku (v tomto případě tedy náporu větru) a jeho působením se méně nebo více prohýbá (**obr.52**).



Obr.52

Princip činnosti membránového tlakoměru

Δp – měřený tlak, Δl – průhyb membrány

Membránové tlakoměry používají jako tlakoměrný element kovovou membránu kruhového tvaru zvlněnou soustřednými kruhy (**obr.52**). Membrána je sevřena mezi dvěma přírubami. Tloušťka a průměr membrány může být v širokém rozmezí přizpůsobována danému rozsahu tlaku. U nízkých rozsahů měřeného tlaku se používají membrány s větším průměrem, jejichž průhyby se pohybují v oblasti 1 až 0,1 mm. Vysoké tlaky vyžadují silnější membrány menšího průměru, které se prohýbají jen o několik μm . Membrána snímače je velmi tenká, má malý průměr a její deformace je možno snímat elektricky (např. kapacitně, indukčně či piezoelektricky). Dalšími výhodami deformačních tlakoměrů jsou malé rozměry, malá hmotnost, velký měřicí rozsah, dostatečná přesnost, jednoduchost a spolehlivost i v těžkých provozech. Nevýhodou deformačních tlakoměrů je elastické dopružování, popřípadě trvalé deformace měřicího prvku během provozu. Nevýhodou je i ovlivňování údaje okolní teplotou. Teplota ovlivňuje modul pružnosti materiálu deformačního prvku a teplotní roztažností převodového ústrojí pozměňuje mechanický převod. Deformační tlakoměry vyžadují pravidelnou kalibrační kontrolu, zvláště při měření pulsujících tlaků.

Průhyb membrány, vyvolaný nápořem větru, se sekundárním senzorem převede na elektrický signál a přivede signál až k řídicí jednotce *regulace směrových úchylek náprav*. Systém by signály vyhodnotil a v případě potřeby by zasáhnul automatickým natočením zadních kol podle **obr.49** nebo **obr.50**.

Díky údajům, které do systému přicházejí z čidel, systém rozpozná, že se vozidlo dostává do nestabilního stavu a vypočítá opatření, jak tomu zabránit. Po ukončení korekcí všech nestabilních stavů ukončí systém svoji činnost. Stabilizace je tedy dosaženo samočinnými zásahy zadních kol vozidla.

Z důvodu přesnějšího zjištění velikostí bočních sil by bylo vhodné umístit na vozidlo více snímačů bočního větru. Optimální umístění pro tyto snímače by bylo po obou stranách vozidla v přední i zadní části.

7. Závěr

Řízení všech kol (4WS = four wheel steering) není v žádném případě nová věc. V polovině osmdesátých let jej zavedlo do výroby hned několik japonských automobilek. Podle vývojářů a konstruktérů zažije řízení všech kol v nejbližších letech renesanci. Přispívá k tomu současné široké uplatnění elektronických systémů v osobních automobilech. Jednotlivé systémy jsou navíc úzce propojeny, takže informace ze snímačů jsou využívány několika samostatnými zařízeními.

Automobily budoucnosti budou řidiče více podporovat, informovat ho, přizpůsobovat se automaticky stavu provozu a aktuálním podmínkám a snažit se ulehčit jeho činnosti. Již dnes zajišťuje vyšší bezpečnost a komfort řidiče řada pasivních a aktivních systémů. Zatímco v dobách jen nedávno minulých, zhruba před deseti lety, byla posádka automobilu odkázána na jezdecké umění a zkušenosti řidiče, v současné době už mnoho důležitých jízdních parametrů má pod kontrolou technika.

Systémy posilující provozní bezpečnost automobilů a ochranu jeho posádky, jako je např. protismyková ochrana ABS, nebo ESP, si již našly cestu do moderních aut, a řidiči si na ně rychle zvykli. Tím to však zdaleka nekončí, vývojáři pokračují v úsilí o maximální bezpečnost vozidel a lidí, včetně chodců, a v současné době se buď připravuje, nebo už nastupuje do reálného nasazení nová generace těchto řešení, označovaných souhrnně jako asistenční a podpůrné systémy řidiče.

Pro usnadnění řízení automobilu je možné jej vybavit tzv. asistenčními systémy, které nepřebírají řízení za řidiče, pouze mu napomáhají. Řidič může vždy udělat jiný krok, než který doporučuje asistenční systém s jistými drobnými výjimkami, jež prosadila expertní skupina CARS 21 [2] v rámci Evropské unie. Automatické zařízení může plně převzít kontrolu nad vozidlem bezprostředně před vznikem kolize, kdy řidič nestačí reagovat.

V minulosti byly asistenčními systémy vybavovány luxusní a drahé vozy, s klesající cenou se však prosazují i v automobilech střední třídy. Systémy ABS a ASC je již vybavena většina současných vozů. Rychlý pokrok v tomto směru je také vyvolán rozvojem elektroniky a zejména klesající cenou mikroprocesorů. Automobily vybavené směrníci CAN mají okolo dvou desítek procesorů. Tento počet se zvýší až na dvojnásobek, má-li automobil základní asistenční systémy a přístup x-by-wire. V nových automobilech je i mnoho konvenčních regulačních obvodů, které při řešení složitějších úloh musí spolupracovat (např. ABS, aktivní pérování a řízení motoru při činnosti systému ASC).

Nejsledovanější problematikou aktivního řízení zadních kol je stabilita vozidel při různých jízdních situacích. Konstrukce podvozku s řízenými koly zadní nápravy je náročnější pro konstrukční řešení a také nákladnější než rozdíl od konvenčního řízení. Řízená zadní náprava silničních vozidel má ale zásadní vliv na zlepšení stability při jízdě vysokou rychlostí a na ovladatelnost vozidla při pomalé jízdě. Při jízdě vysokou rychlostí se snižuje riziko smyku zadních kol a řidič automobil snáze a rychleji uvede do přímého směru. Dobrá říditelnost a stabilita zvyšuje úroveň aktivní bezpečnosti vozidel, což je v automobilovém průmyslu velice důležité pro ochranu cestujících.

Pokud hovoříme o stabilitě vozidel v souvislosti s aktivním řízením zadních kol, je třeba se zamyslet nad otázkou, jak by se mohlo zabránit nestabilitě vozidel při působení bočního větru. Náhlý poryv bočního větru může být zrádný a velmi nebezpečný. Krátký poryv větru vytlačí automobil bleskurychle ze zvolené stopy – někdy i několik metrů daleko. Pokud zrovna automobil nemá přesné a citlivé řízení, v lepším případě se může lehce ocitnout až za samotnou krajnicí. V tom horším bude automobil v protisměru. Stačí jen chvilková nepozornost řidiče a automobil prudce vybočí ze zvoleného směru.

Systém korekce směrových úchylek popsany v šesté kapitole této práce zjišťuje skutečnou směrovou úchylku těžiště vozidla a *regulace směrových úchylek* na základě této informace umožňuje optimalizovat činnost systému vlivem natočení zadních kol a může proto vozidlo v nežádoucích situacích lépe udržet v jízdním pruhu a působit proti riziku vybočení vozidla vlivem bočního větru. V případě, že to tedy bude situace vyžadovat, bude systém schopen samočinně zasáhnout do manévrování vozidla.

V nežádoucích situacích, které působení bočního větru bezesporu představuje, koriguje *systém korekce směrových úchylek* za řidiče jízdu vozidla do požadovaného směru. Systém dokáže reagovat mnohem rychleji a přesněji než samotný řidič a dokáže zvolit adekvátní variantu. Zatímco v prvních fázích asistenčních systémů bylo hlavním úkolem varovat řidiče v co nejkratším čase, nová generace ve spojení s citlivými senzory už je schopná činnosti provádět automaticky.

Pomocí různých snímačů je tedy možné předávat vozidlu takové informace, které informují vozidlo o aktuální situaci a jsou potřebné k provedení určitých zásahů, aby se vozidlo nestalo nestabilním a tím zároveň neovladatelným. V případě působení bočního větru na vozidlo je tedy možné uvažovat použití *snímače bočního větru*, který by dodával potřebné informace do systému. Využití tohoto snímače by bylo potřeba otestovat na konkrétním vozidle za reálných podmínek při působení bočního větru.

SEZNAM PRAMENŮ A ODBORNÉ LITERATURY

- [1] VALA, M.; TESAŘ, M.: *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*, Univerzita Pardubice, 2002, ISBN 80-7194-503-X
- [2] SLAMKA, J. a kol.: *Interakcia dopravných prostriedkov s dopravnou cestou*, státní výzkumná úloha č.III-4-6/01.06, VÚD Žilina, 1989, 41 str., 96 str. příloh
- [3] POKORNÝ, J.; SLAMKA, J.: *Účinek nárazového bočního větru na směrovou stabilitu vozidla*, Sborník příspěvků čtvrté mezinárodní vědecké konference „Nové výzvy pro dopravu a spoje“, Univerzita Pardubice, 2006, Pardubice, Strany: 1215-1220, ISBN: 80-7194-880-2
- [4] VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel*, Brno 2000, ISBN 80-238-5273-6
- [5] VLK, F.: *Koncepce motorových vozidel*, Brno 2000, ISBN 80-238-5276-0
- [6] VLK, F.: *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*, Brno 2001, ISBN 80-238-6573-0
- [7] VLK, F.: *Podvozky motorových vozidel*, Brno 2000, ISBN 80-238-5274-4
- [8] Valení kola [online]. Dostupné z:
http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/Dopravni_technika/Prednaska_5_DT.pdf
- [9] Vlastnosti automobilu [online]. Dostupné z:
http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/ZVM/Prednaska_6.pdf
- [10] Elektronický stabilizační systém [online]. Dostupné z:
<http://home.tiscali.cz:8080/niceone/28%20ESP%20OCTAVIA.pdf>
- [11] Slovníček AHK [online]. Dostupné z:
<http://www.autoklinika.cz/glossary/ahk-aktive-hinterachs-kinematik.html>
- [12] Slovníček 4WS [online]. Dostupné z:
<http://www.autoklinika.cz/glossary/>
- [13] Řízení zadních kol [online]. Dostupné z:
[http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241BOZEK/publikace/2002/4WS - rizeni_zadnich_kol.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241BOZEK/publikace/2002/4WS-rizeni_zadnich_kol.pdf)
- [14] Současné trendy automobilových systémů [online]. Dostupné z:
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1183>
- [15] Drive-by-wire [online]. Dostupné z:
http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/solutions?contentId=260239&lang=cs
- [16] Řízení po drátech [online]. Dostupné z:
http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/solutions?contentId=260255
- [17] Časopis AutoTIP 09/2007

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č.1	Síly působící na vozidlo.....	9
Obrázek č.2	Momenty působící na vozidlo.....	10
Obrázek č.3	Rozdíl tlaku vzduchu na povrchu karosérie.....	11
Obrázek č.4	Odpor víření vzduchu za zadí karosérie.....	11
Obrázek č.5	Působení vzdušných sil na vozidle.....	11
Obrázek č.6	Případy chování vozidla v bočním větru.....	12
Obrázek č.7	Vozidlo v bočním větru s korigujícím zásahem řidiče.....	13
Obrázek č.8	Poloha těžiště a neutrálního bodu.....	14
Obrázek č.9	Působení vzdušného momentu.....	14
Obrázek č.10	Závislost relativního úhlu rejdu zadní nápravy na rychlosti jízdy.....	17
Obrázek č.11	Vliv řízení zadních kol.....	18
Obrázek č.12	Způsoby řízení zadních kol.....	19
Obrázek č.13	Elektromechanický systém řízení zadních kol (Honda E-4WS).....	20
Obrázek č.14	Princip činnosti elektrohydraulického řídicího systému.....	21
Obrázek č.15	Elektrohydraulický systém řízení.....	22
Obrázek č.16	Zadní náprava osobního automobilu Mitsubishi Sigma.....	23
Obrázek č.17	Hlavní prvky podvozku Dynamic TWO automobilu Mitsubishi Sigma.....	24
Obrázek č.18	Soustava řízení všech kol Mitsubishi Sigma.....	25
Obrázek č.19	Systém řízení zadních kol SUPER HICAS firmy Nissan.....	26
Obrázek č.20	Základní schéma řízení všemi koly u systému Honda.....	27
Obrázek č.21	Konstrukce převodky řízení zadní nápravy systému Honda.....	28
Obrázek č.22	Princip funkce převodky řízení Honda 4 WS pro řízení zadních kol.....	28
Obrázek č.23	Závislost úhlu rejdu předních a zadních kol na úhlu natočení volantu.....	29
Obrázek č.24	Elektrohydraulické řízení zadních kol u systému Mazda.....	30
Obrázek č.25	Princip řízení zadních kol automobilu Mazda 626.....	30
Obrázek č.26	Mechanismus řízení relativního úhlu rejdu zadní nápravy na rychlosti jízdy.....	31
Obrázek č.27	Závislost relativního úhlu rejdu zadní nápravy na rychlosti jízdy.....	31
Obrázek č.28	Elektronicky ovládané řízení všech kol u Mazdy Xedos 9.....	32
Obrázek č.29	Systém řízení všech kol automobilu FUTURA (Volkswagen).....	32
Obrázek č.30	Automatické parkování vozidla FUTURA.....	33
Obrázek č.31	Soustava řízení všech kol prototypu vozu Citroen Activa.....	34
Obrázek č.32	Prvky systému aktivní kinematiky zadní nápravy AHK vozů BMW.....	35

Obrázek č.33 Blokové schéma elektrického řízení zadních kol EHL.....	36
Obrázek č.34 Schématické znázornění podvozku platform.....	39
Obrázek č.35 Boční pružnost pneumatiky.....	41
Obrázek č.36 Valení kola za působení boční síly.....	42
Obrázek č.37 Valení kola za působení boční síly (detail).....	43
Obrázek č.38 Závislost mezi boční silou a úhlem směrové úchylky.....	44
Obrázek č.39 Závislost natáčecího momentu na úhlu směrové úchylky.....	44
Obrázek č.40 Zařízení pro zkoušky citlivosti vozidel na boční vítr.....	45
Obrázek č.41 Vliv bočního větru na pohyb vozidla.....	46
Obrázek č.42 Síly a úhly na jednostopém modelu při přímé jízdě v bočním větru.....	47
Obrázek č.43 Poloha těžiště T a tlakového středu C.....	47
Obrázek č.44 Vznik stáčecího momentu působením bočního větru.....	48
Obrázek č.45 Vliv bočního větru na rozdělení hmotnosti vozidla.....	48
Obrázek č.46 Rozdělení boční plochy na elementární obrazce.....	50
Obrázek č.47 Určení velikosti reakcí vozovky na kola náprav.....	51
Obrázek č.48 Základní blokové schéma regulace směrových úchylek náprav.....	53
Obrázek č.49 Korigující zásah řízené zadní nápravy za předpokladu, že AS leží před NB....	55
Obrázek č.50 Korigující zásah řízené zadní nápravy za předpokladu, že AS leží za NB.....	56
Obrázek č.51 Schéma snímače tlaku s elektrickým výstupem.....	57
Obrázek č.52 Princip činnosti membránového tlakoměru.....	58

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 Srovnávací test šestnácti automobilů v bočním větru

Příloha č.1

SROVNÁVACÍ TEST 16 automobilů v bočním větru

Kyryl, Ivan, Andrew, Katrina – co jméno, to velký orkán, tornádo nebo hurikán ničí všechno rychlostí 120 km/h. Ale i daleko slabší větry (kolem 80 km/h) umí napáchat značné škody, zvláště když udeří prudce, nárazově. Číhají například v lesním průseku, na mostě nebo při výjezdu z tunelu a jsou hodně záluďné.

Krátký poryv větru vytlačí jedoucí automobil bleskurychle ze zvolené stopy – někdy i několik metrů daleko. Pokud zrovna nejedete ve voze s přesným a citlivým řízením, můžete se lehce ocitnout až u samotné krajnice.

V netradičním testu byla u šestnácti různých vozů zjištěna jejich reakce při silném bočním větru a byly naměřeny odchylky ze zadaného směru. Zúčastnili se zástupci z téměř všech automobilových tříd – malé vozy, kompakty, sedany, sportáky, velkoprostorové a terénní automobily a také souprava s obytným přívěsem.

Nejen tvar karosérie a koncepce pohonu ale ovlivňují směrovou stabilitu, jízdní chování závisí rovněž na stavu nákladu, rozdělení zatížení a předmětech na střeše. Každopádně moderní technické prvky jako stabilizace přívěsu nového Mercedes-Benzu C nebo samočinně korigující řízení u Volkswagenu pomohou řidiči udržet automobil ve zvolené stopě, když fouká silný vítr ze strany. Zbytek závisí na předvídatelném způsobu jízdy, svižných reakcích řízení a zvolené rychlosti.

Při následujícím testu bylo účinku bočního větru vystaveno šestnáct automobilů. Do boku jim foukal vítr rychlostí 90 km/h.

Zkrápěná jízdní dráha napomáhá měření (**obr.1 vlevo**). Rotory s metrovými lopatkami z lokomotivy umístěné těsně vedle sebe vytvářejí větrnou stěnu (**obr.1 uprostřed**). Podle mokré stopy se stanovuje odchylka vozu z přímého směru (**obr.1 vpravo**).

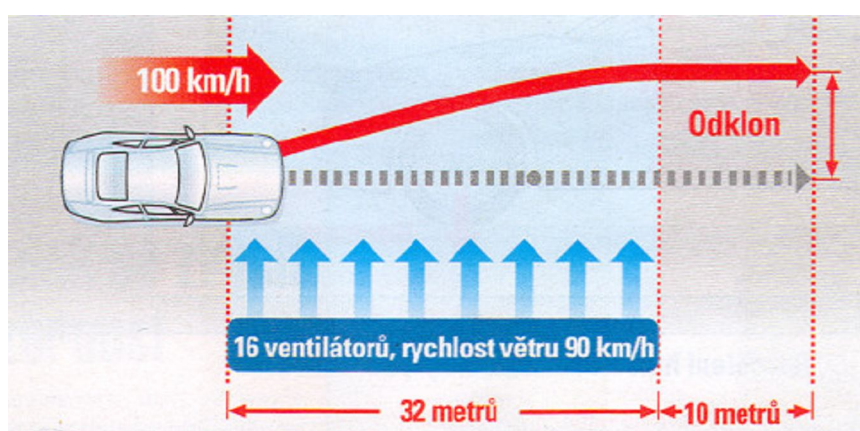


Obr.1

Podmínky zajišťované před začátkem testu

Metodika měření:

Automobily projíždějí konstantní rychlostí 100 km/h (souprava s obytným přívěsem 80 km/h) kolem speciální stěny dlouhé 32 metrů. Tu tvoří šestnáct výkonných ventilátorů o průměru dva metry, které vytvářejí proud vzduchu o rychlosti 90 km/h. Podle Beaufortovy stupnice síly větru (**tabulka str.2**) to odpovídá bouři stupně deset (plný víchr). Deset metrů za koncem stěny z větráků se u pravého předního kola měří odchylka od původního směru. Každý vůz danou zónou projede pětkrát, výsledná hodnota se určí průměrem. Řidič při jízdě sleduje vodicí čáru na silnici, kolem ventilátorů se projíždí bez hnutí volantem a bez korekce řízení.



Obr.2

Schéma průběhu testu

Zkoušený automobil vjíždí do měřicí zóny, kterou tvoří šestnáct silnoprůdých ventilátorů. Ty vytvářejí nepřetržitý boční vítr zprava. Odchylka od původního jízdního směru se měří pásmem. Každý vůz projíždí danou oblastí pětkrát, výsledný odklon se určil průměrem.

BEAUFORTOVA STUPNICE SÍLY VĚTRU			
Stupeň	Název	Rychlost (km/h)	Stručný popis
0	Bezvětrí	Méně než 1	Kouř stoupá kolmo vzhůru
1	Vánek	1 až 5	Směr větru viditelný podle pohybu kouře
2	Větrík	6 až 11	Šelestění listí stromů
3	Slabý vítr	12 až 19	Trvale pohybuje listy stromů a větvičkami
4	Mírný vítr	20 až 28	Zdvihá prach a útržky papíru
5	Čerstvý vítr	29 až 39	Rozhýbává listnaté keře
6	Silný vítr	40 až 49	Telegrafní dráty sviští, nelze použít deštník
7	Mírný víchr	50 až 61	Obtížná chůze v protivětru, stromy se kymácejí
8	Čerstvý víchr	62 až 74	Láme i větší větve, chůze proti větru je nemožná
9	Silný víchr	75 až 88	Strhává komíny a střešní krytiny
10	Plný víchr	89 až 102	Vyvrací stromy, páchá škody na obydlích
11	Vichřice	103 až 116	Rozsáhle pustoší
12	Orkán	Více než 117	Ničivé účinky (odnáší střechy a těžké předměty)

1.automobil



Obr.3 Audi Q7

„s těžkotonážníkem moc nepohnete“

Navzdory velkému bočnímu profilu se Q7 dobře drží zvolené stopy. Díky vyšší hmotnosti a příznivému těžišti nemá boční vítr příliš mnoho šancí. Odchylka 1,81 metru z přímého směru je dokonce o 400 mm menší než u passatu.



2.automobil



Obr.4 Audi TT

„nízká karosérie, skvělá stabilita“

Kupé s relativně krátkou a nízkou karosérií a tvrdým podvozkem je parádně vyvážené. Vítr se nemá moc do čeho opřít, vytlačí vůz z přímého směru jenom o 1,5 metru. Málo citlivé řízení umožňuje rychlou korekci směru.



3.automobil



Obr.5 BMW 540i

„tuhá karosérie se málo odklání“

Sedan se zadním pohonem to má při bočním poryvu těžší než kombi s koncepcí vše vpředu. Vítr se do karosérie opírá více vpředu, těžiště se kvůli pohonu zadních kol posouvá k zádi. Odchylka 1,86 metru je ale lepší než u SUV od Nissanu.



4.automobil



Obr.6 Ford Galaxy

„dost vysoký, a přesto stabilní“

Boční odklon 2,14 metru je kvůli poměrně velkému profilu dobrá hodnota. Stejně jako u Passatu Variant platí, že motor a pohon (čili těžiště) leží daleko vpředu, vůz se tak ve větru lépe chová. Vysoká zád' MPV spíše stabilizuje než aby mu vadila.



5.automobil



Obr.7 Mazda MX-5

„nízký profil, lehká konstrukce“

Malý a plochý roadster dobře odolává bočnímu větru, relativně malá hmotnost ale stěží vůz v přímém směru. K tomu se přidává vliv zadního pohonu. Odklon 1,80 metru od požadované dráhy leží na úrovni bachratého Audi Q7.



6.automobil



Obr.8 Mercedes-Benz C

„příliš hmotnosti je vzadu“

Podobně jako u BMW 5 se těžiště „céčka“ se zadním pohonem vzdaluje od působení větru, čímž roste silová páka. Mercedes nabízí větru relativně velkou plochu, na rozdíl od bavoráku, ale vyjíždí na užších pneumatikách a vybočí tedy přibližně o 100 mm více.



7.automobil



Obr.9 Mercedes-Benz Sprinter

„jako skříňová stěna“

S mohutnou karosérií sprinteru má boční vítr jednoduchou práci, prázdnou dodávku vytlačí přes tři metry daleko z původního směru. Při plném naložení vozu je to trochu lepší, odchylka činí pouze 2,84 metru.



8.automobil



Obr.10 Nissan Qashqai

„vysoký, ale přitom stabilní“

SUV s poměrně vysokou karosérií má velký profil, těžiště se kvůli pohonu všech kol posouvá více dozadu. Tuhé řízení účinně vzdoruje poryvům větru. Vůz vybočí z přímého směru o 1,90 metru, ve verzi s přiřaditelným pohonem zadních kol (AWD) o několik centimetrů méně.



9.automobil



Obr.11 Opel Agila

„katastrofální držení stopy“

Vysoká karosérie, výrazný boční náklon a úzká jízdní stopa vnášejí neklid do jízdního chování. Lehký vůz se odchýlil od přímého směru o 2,83 metru, horší už byl jenom sprinter. Necitlivé řízení výrazně ztěžuje reakce řidiče.



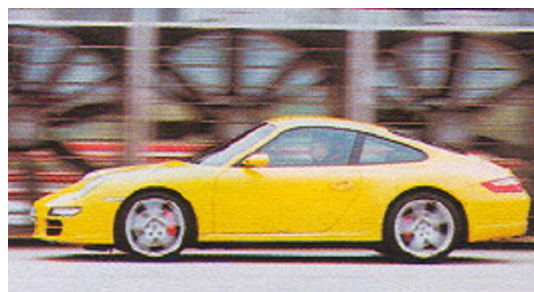
10.automobil



Obr.12 Porsche 911 Carrera

„špatná rovnováha vzadu“

Kupé má nízoučkový profil, nápor větru jej přesto kvůli největšímu podílu hmotnosti vzadu (39:61) vynáší ze stopy více než například Audi TT. Při nájezdu do větrné uličky reaguje vůz citlivě, tuhý podvozek a přesné řízení umožňují optimální vyrovnání.



11.automobil



Obr.13 Škoda Roomster

„vítr se má do čeho opřít“

K vysoké karosérii se přidává ještě poměrně měkké zavěšení a úzké pneumatiky. Boční poryv větru vychýlí automobil z původní dráhy o 2,16 metru, což je jedna z nejhorších dosažených hodnot.



12.automobil



Obr.14 Toyota Aygo

„snadná kořist pro silný vítr“

Aygo je malé, lehké a s tenkými pneumatikami – při poryvu větru o rychlosti 90 km/h nemá automobil příliš šancí uspět. Boční odklon činí 2,74 metru, jenom o 100 milimetrů méně než dodávkový vůz Mercedes-Benz Sprinter.



13.automobil



Obr.15 Toyota RAV4

„čtyřkolka neurazí ani nenadchne“

SUV od Toyoty je vzhledem k délce karosérie 4395 mm poměrně vysoké (1685 mm), přečnívá regulérní kombi. Vítr se snáz opírá do velké plochy, pohon všech kol posouvá těžiště dozadu. Výsledkem je boční odklon 1,96 metru.



14.automobil



Obr.16 VW Golf

„stabilní s korekcí řízení“

Vítr se více opírá do vysoké zádi, těžiště se ale sune vpřed, kde je motor a pohonné ústrojí. Díky tomu vůz dobře odolává silným porывům větru, navíc má zadní náprava tuhé ustavení. Poloaktivní řízení lehce koriguje takzvané snášení větrem.



15.automobil



Obr.17 VW Touran

„velký profil proti větru“

Základem je golf, kompaktní MPV má ale vyšší karosérii, takže se do něj více opírá boční vítr. Těžiště umístěné více vzadu velkou plochu kompenzuje. Elektromechanické řízení aktivním zásahem do řízení koriguje směr jízdy. Odklon 2,14 metru je hodně.



16.automobil



Obr.18 VW Passat
„kombi lepší než sedan“

Větší plocha vzadu stabilizuje více kombi než sedan. Střešní box zvyšuje profil a tím také boční vychýlení na 1,90 metru, nosič kol na zádi přidává dalších 800 mm. Větší zatížení zadní nápravy snižuje stabilitu vpředu.



Obr.19

Střešní box na passatu téměř neovlivňuje aerodynamiku (**obr.19**), boční vychylka při jízdě s ním se zvětšila jenom o pět centimetrů.



Obr.20

Zadní nosič kol zvětšuje směrovou stabilitu, proti základnímu sedanu o 130 mm (obr.20).



Obr.21

Navzdory velkému profilu přívěsu vybočila souprava jenom o metr (obr.21).

Jízda s přívěsem – ESP myslí za nás

Přívěs a boční poryvy větru byly dříve noční můrou nejednoho řidiče. Nejdříve totiž vybočil z požadovaného směru vůz a krátce po něm také přívěs, celá souprava se rozvlnila. Dnes tuto situaci řeší moderní technika. Systémy značek Opel, Volkswagen a Mercedes-Benz zásahem do brzd automobilu stabilizují vlnivý pohyb přívěsu. Například elektronika nového „céčka“ rozpozná připojený přívěs a nastaví citlivější charakteristiku ESP. Jakmile se přívěs začne vlnit, systém podle impulzů přibrzdí jedno nebo všechna kola tak dlouho, dokud se celá soustava nestabilizuje. Některé systémy mají pro potlačení neklidu na oji přívěsu přidavné mechanické nebo elektronické zařízení. V testu se nejlépe osvědčil elektronický systém Trailer Control (obr.22 ve výřezu).



Obr.22

Přívěs vybočil z přímého směru pouze o 1,22 metru, přestože se čekalo daleko více. Díky elektronické stabilizaci a systému Trailer Control (ve výřezu obr.22) dokonce jenom o 1,03 metru. [17]

Závěr testu:

K netradičnímu testu nastoupilo šestnáct různých automobilů, přičemž boční vítr ovlivňoval jízdní chování všech. Zatímco krátký Opel Agila vybočil téměř tři metry z původního směru, mohutné Audi Q7 se chovalo pozoruhodně stabilně a na dráze 42 metrů uhnulo jenom o 1,81 metru. Obecná chvála vozů s předním pohonem také není na místě, jak dokazuje BMW 540i. Záleží na spoustě parametrů, rozhodující roli hrají hmotnost a její umístění ve voze.

Shrnutí technických údajů testovaných automobilů

Technické údaje	Volkswagen Passat s přívěsem Fendt 520	Audi TT Coupé 3.2 quattro	Porsche 911 Carrera 4S	Volkswagen Golf 1.4 TSI	Mazda MX-5 1.8	Audi Q7 4.2 FSI quattro	Volkswagen Passat 2.0 TDI Variant	BMW 540i	Nissan Qashqai 2.0 4WD
Motor/uložení	R4/vpředu napříč	V6/vpředu napříč	boxer/vzadu podélně	R4/vpředu napříč	R4/vpředu podélně	V8/vpředu podélně	R4/vpředu napříč	V8/vpředu podélně	R4/vpředu napříč
Poháněná kola	přední	všechna	všechna	přední	zadní	všechna	přední	zadní	všechna
Pohotovostní hmotnost	1670 + 1318 kg	1460 kg	1610 kg	1395 kg	1100 kg	2395 kg	1670 kg	1805 kg	1540 kg
Rozdělení hmotnosti P/Z	56/44 %	60/40 %	39/61 %	62/38 %	50/50 %	47/53 %	58/42 %	52/48 %	58/42 %
Vnější rozměry	10 424 x 2500 x 2570 mm	4178 x 1842 x 1352 mm	4427 x 1852 x 1300 mm	4204 x 1759 x 1466 mm	3995 x 1720 x 1245 mm	5086 x 1983 x 1737 mm	4774 x 1820 x 1517 mm	4841 x 1846 x 1468 mm	4315 x 1783 x 1606 mm
Odklon z přímého směru	1,22 m/1,03 m¹⁾	1,50 m	1,65 m	1,67 m	1,80 m	1,81 m	1,85 m	1,86 m	1,90 m

Technické údaje	Volkswagen Passat s boxem/nosičem kol	Mercedes-Benz C 350	Toyota RAV4 2.0 D-4D	Ford Galaxy 2.0 TDCi	Volkswagen Touran 1.4 TSI	Škoda Roomster 1.9 TDI	Toyota Aygo 1.0	Opel Agila 1.0	Mercedes-Benz Sprinter 313 CDI
Motor/uložení	R4/vpředu napříč	V6/vpředu podélně	R4/vpředu napříč	R4/vpředu napříč	R4/vpředu napříč	R4/vpředu napříč	R3/vpředu napříč	R3/vpředu napříč	R4/vpředu podélně
Poháněná kola	přední	zadní	všechna	přední	přední	přední	přední	přední	zadní
Pohotovostní hmotnost	1745/1705 kg	1610 kg	1650 kg	1870 kg	1580 kg	1345 kg	865 kg	995 kg	2200 kg
Rozdělení hmotnosti P/Z	50/50 (49/51) %	52/48 %	59/41 %	56/44 %	59/41 %	61/39 %	61/39 %	59/41 %	60/40 %
Vnější rozměry	4774 x 1820 x 1517 mm	4581 x 1770 x 1448 mm	4395 x 1815 x 1635 mm	4820 x 1961 x 1723 mm	4391 x 1794 x 1620 mm	4205 x 1684 x 1607 mm	3410 x 1615 x 1465 mm	3500 x 1620 x 1695 mm	5910 x 1993 x 2700 mm
Odklon z přímého směru	1,90/1,98 m	1,95 m	1,96 m	2,14 m	2,14 m	2,16 m	2,74 m	2,83 m²⁾	2,84 m²⁾

Poznámky: ¹⁾ Se stabilizátorem Alko Trailer Control, ²⁾ S nákladem.

Do 2,00 m - stabilní , 2,01 až 2,50 m - labilní , od 2,51 m - riskantní

