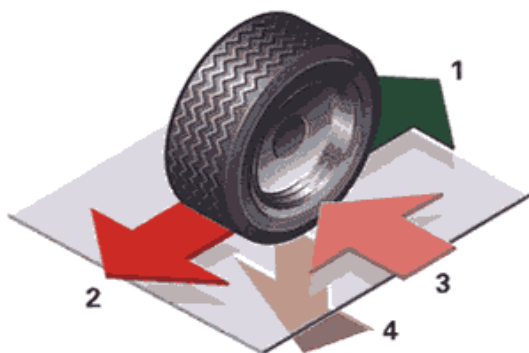


# ELEKTRONICKÝ STABILIZAČNÍ SYSTÉM JAKO PRVEK AKTIVNÍ BEZPEČNOSTI AUTOMOBILU

*Příspěvek z konference doktorského studia Fakulty stavební VUT v Brně 2004, obor Soudní inženýrství.*

## 1. ÚVOD

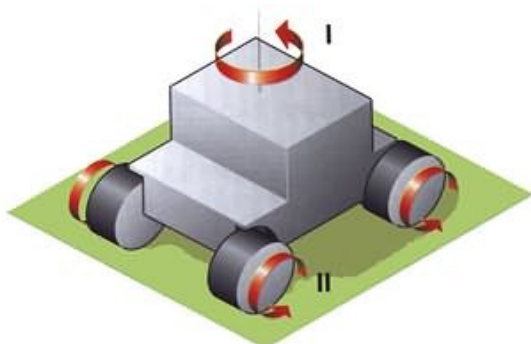
Jízdní stabilita a dobrá ovladatelnost vozidla v kritických situacích patří k prvotním předpokladům aktivní bezpečnosti. Základní podmínkou je přítom přilnavosti kol k vozovce – adheze. Ta je dána silami působícími za jízdy na plochu styku kola s vozovkou:



1 – hnací síla, 2 – brzdná síla, působící proti hnací síle,  
3 – stranové (boční) síly, zajišťující říditelnost vozu,  
4 – tíha, spolu s třením umožňují působení ostatních sil.

Kromě toho na vozidlo ještě působí:

- momenty které mají tendenci vozidlem otáčet kolem svislé, příčné i podélné osy; např. rotační moment setrvačnosti **I**,
- momenty setrvačnosti kol **II**, které se snaží udržet vozidlo ve stávajícím směru,
- další síly, jako např. odpor vzduchu, boční vítr, odstředivá síla:

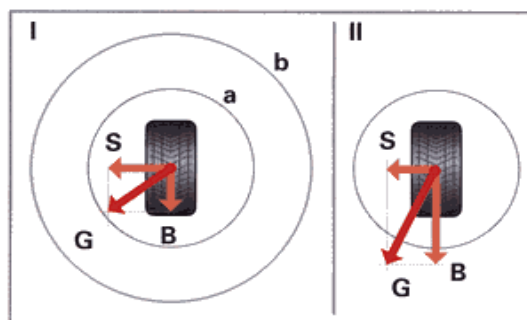


Okamžité adhezní vlastnosti lze znázornit tzv. **Kammovou třecí kružnicí**, jejíž průměr je úměrný přilnavosti kola k vozovce: čím lepší adheze, tím větší kružnice. Přítom výsledná síla **G** (součet příčné a podélné síly) působící na kolo musí být vždy menší než poloměr třecí kružnice, jinak nastává blokování nebo protáčení kola, což je vždy provázeno smykem, resp. ztrátou říditelnosti.

Velikost a směr jednotlivých sil vyjadřují vektory, které se znázorňují šipkami a sčítají se geometrickým skládáním.

- **Podélné síly (B)** vznikají buď hnacím momentem motoru, nebo brzděním (ať brzdami, či motorem).
- **Boční síly (S)** se na kolo projevují především při jízdě v zatáčkách (vlivem odstředivé síly působící na vozidlo), a také při bočním sklonu vozovky.

Na Kammově třecí kružnici, znázorňující adhezní podmínky, odpovídá větší poloměr suchému asfaltu, menší poloměr mokré vozovce. Pokud výsledný vektor, získaný vektorovým součtem podélných a příčných sil, zůstává uvnitř příslušné kružnice pneumatika se řádně odvaluje a vede vozidlo požadovaným směrem.



Překročí-li však velikost výsledného vektoru poloměr kružnice pneumatika přestává vést vozidlo, a to se začíná smýkat – sunout se ve směru výsledného vektoru.

Jestliže v přímé jízdě intenzivně brzdíme, ale vektor podélné síly se ještě pohybuje před hranicí kružnice platné pro daný povrch, kolo se stále odvaluje a bezpečně vede vozidlo v požadovaném směru. Pokud však sešlápneme pedál brzdy ještě víc (a vozidlo není vybaveno protiblokovací soustavou **ABS**), vektor podélné síly přesáhne kružnici přilnavosti a dojde k zablokování kola, protože adheze není schopna přenést vzniklou sílu. Vůz ztrácí ovladatelnost a dostává se do smyku.

V zatáčce nebo na vozovce s příčným sklonem se ovšem kolo může zablokovat i tehdy, když vektor podélné, tj. brzdící síly je menší než poloměr příslušné Kammovy kružnice, protože v místě styku pneumatiky s vozovkou působí navíc i vektor síly příčné, resp. odstředivé. Rozhoduje totiž součet obou vektorů, a pokud ten překročí frikční kružnici, kolo se zablokuje a nastává smyk vozidla ve směru výsledného, součtového vektoru.

Podobná situace může nastat i při razantním zrychlení nebo třeba na sněhu, dojde-li k protáčení jednoho z hnacích kol. Proto je brzdění nebo přidání plynu v zatáčkách, zejména na mokru nebo náledí, nebezpečné. Vozidlo snadno ztrácí ovladatelnost a sune se ve smyku ven ze zatáčky.

### 2. STABILIZAČNÍ SYSTÉM

Elektronické stabilizační systémy motorových vozidel jsou rozšířením antiblokovacích (ABS) protiskluzových (ASR) systémů moderních vozidel.

Na rozdíl od antiblokovacích a protiskluzových systémů, které umožňují ovládat skluz nebo prokluz pouze v podélném směru vozidla, umožňují stabilizační systémy regulaci i v příčném směru, tj. zvyšují stabilitu vozidel při průjezdech zatáčkou, snižují nebezpečí smyku při brzdění, zrychlování nebo volnému pohybu vozidla.

Stabilizace je dosaženo samočinnými zásahy do brzd jednotlivých kol a hnacího momentu motoru, bez zásahu řidiče, ovšem kolísání úhlu směrové úchytky závisí také na jeho reakci. Současně se sníží kroučící moment.

Vozidlo se stabilizačním systémem se až do kritické situace chová stejně jako vozidlo bez něj. Pokud však dojde ke kritické situaci, vozidlo vybavené stabilizačním systémem nedovolí zvýšení rychlosti vozidla. Zjistí-li systém pomocí snímačů příčné dynamický kritický stav vozidla, který se liší od požadovaného chování vozidla, přibrzdí příslušná kola a tím se vytvoří točivý moment kolem svislé osy vozidla, který kompenzuje nežádoucí stav vozidla vyrovnáním směru popřípadě sníží kroučící moment motoru. Úlohou stabilizačních systémů je zjistit ze signálů snímačů chování vozidla v dynamickém stavu, vyhodnotit a co nejvíce jej přiblížit chování v normálním stavu.

Hrozí-li vybočení zadní části u přetáčivého pohybu vozidla, jsou přibrzděna vnější kola a největší brzdná síla působí na přední vnější kolo. Zmenší se stáčívá rychlost a omezí nárůst úhlu směrové úchytky vozidla. Konečný krátký zásah do brzd na vnějším předním kole vede k úplné stabilizaci vozidla.

U nedotáčivého chování jsou přibrzděna vnitřní kola a největší síla působí na zadní vnitřní kolo. Stejně tak při chybě řidiče je schopen systém během několika milisekund vyhodnotit situaci, přibrzdit příslušné kolo a snížit kroučící moment motoru, aby došlo ke stabilizaci vozidla.

#### Funkce ESP:

- podpora řízení v extrémních situacích při působení boční síly,
- zvýšená jízdní stabilita a dodržování jízdní stopy odpovídající úhlu natočení volantu,
- maximální brzdění v extrémních situacích,
- lepší využití součinitele přilnavosti,
- lepší ovladatelnost vozidla,
- zmenšení nebezpečí kolize a překlopení vozidla.

Řídící jednotka ESP se skládá z regulátoru jízdní dynamiky a podřízených regulátorů ABS/ASR a regulátoru brzdného momentu motoru MSR. Jednotka ESP dostává v průběhu jízdy ze snímačů informace o měřených veličinách jako stáčívé rychlosti, bočním zrychlení, úhlu natočení volantu a neregulovaném brzděném tlaku. Další informace kterými jednotka pracuje jsou odhadovány. Mezi tyto veličiny patří podélná rychlost vozidla, síly na pneumatiky a hodnoty skluzu. Z těchto odhadovaných veličin se dají určit boční síly na kolech, úhly směrových úchytek kol a těžiště popřípadě příčná rychlost vozidla. Řídící jednotka po vyhodnocení a porovnání s do systému zadanými daty v případě rozpoznání kritické situace zakročí pomocí akčních členů systému. Zásah je možný pomocí hydraulické soustavy do brzd jednotlivých kol, nebo pomocí řídicí

jednotky motoru, která je schopna upravit vstříkování, úhel zážehu apod.

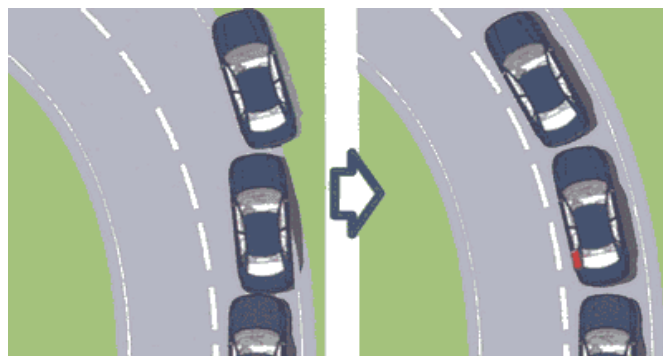
Regulátor jízdní dynamiky ESP reguluje stáčívou rychlost a úhel směrové úchytky a vypočítává stáčívý moment, který je třeba k přizpůsobení skutečných veličin na požadované. Je omezen maximálním možným příčným zrychlením zjištěným pro konkrétní vozidlo při jízdních zkouškách.

#### ESP se skládá z těchto komponentů:

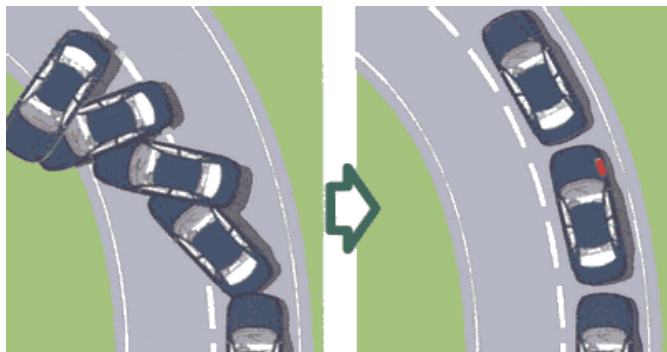
- elektronické řídicí jednotky ECU, která je sice společná i pro ABS, EBV, MSR, EDS či ASR, ale pro ESP má rozšířené funkce všechny potřebné údaje zpracovává každých 7 ms, to znamená přibližně 143krát za sekundu (připomeňme, že dobrý řidič je schopen reagovat na začínající smyk se zpožděním asi 0,5 s, nejlepší jedinci za 0,2 s, přičemž nikdo nemůže přibrzdit jen jediné kolo, a navíc zvolit právě to správné),
- ze sedmi druhů snímačů:
  - snímač pro rozpoznání brzdění, který sleduje brzdění řidiče,
  - snímač otáčení jednotlivých kol, informující nepřetržitě řídicí jednotku o jejich rychlosti,
  - snímač úhlu natočení volantu, vyhodnocující požadovaný směr jízdy,
  - snímač příčného zrychlení, informující o velikosti příčných (odstředivých) sil v zatáčkách,
  - snímač natáčení vozidla kolem svislé osy, určující začátek smyku,
  - snímač brzděného tlaku, hlásící aktuální tlak v brzdové soustavě, z něhož řídicí jednotka vyhodnocuje podélné zpomalení vozidla,
  - snímač podélného zrychlení, nezbytný u vozidel s pohonem 4x4,
- propojení prostřednictvím sběrnice CAN-Bus s ECU motoru, popřípadě i ECU samočinné převodovky, aby ESP mohlo v případě potřeby zasahovat do režimu jejich řízení,
- tlačítko pro vypnutí funkce ESP, vhodné např. pro jízdu se sněhovými řetězy nebo při různých zkouškách vozidla.

### 3. STABILIZAČNÍ SYSTÉM V PRAXI

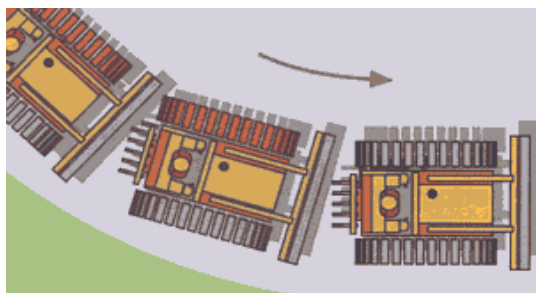
Má-li v praxi přední náprava při rychlé jízdě do zatáčky tendenci vybočovat směrem ven ze zvoleného směru jízdy (vůz se začne chovat nedotáčivě). ESP nejprve omezí točivý moment motoru a sníží tak síly omezující boční vedení předních kol. Pokud zásah ubráním plynu nestačí, ESP začne přibrzďovat zadní kolo na vnitřní straně zatáčky, dokud tendence vozidla ke smyku nezmizí. Účinek brzdy natáčí vozidlo do zatáčky a stabilizuje tak jízdu.



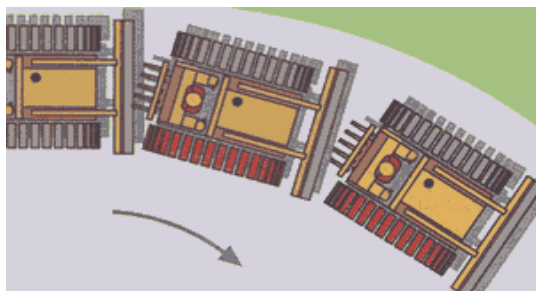
II. ESP se aktivuje také má-li zád' vozu tendenci vybočovat z ideální linie jízdy a vůz se začíná chovat přetáčivě, popř. když by docházelo ke smyku všech čtyř kol (např. na náledí). ESP začne přibrzďovat přední kolo na vnější straně zatáčky, dokud tendence vozidla ke smyku nezmizí.



Základy tohoto principu jsou známy z ovládání pásových vozidel. Chce-li pásové vozidlo projet pravotočivou zatáčku, musí pás na vnitřní straně zatáčky přibrzďit a na vnější straně zrychlit.

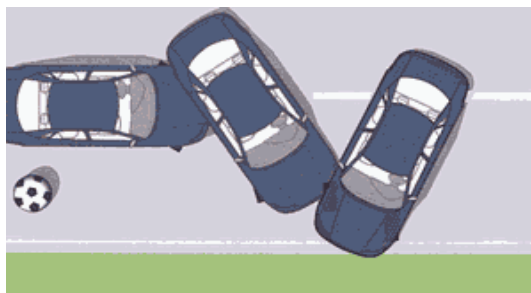


Chce-li se vrátit do původního směru, musí se pás, který byl dosud na vnitřní straně zatáčky a nyní je na vnější, zrychlit a druhý přibrzďit.



Na stejném principu provádí svoje zásahy do brzdění i ESP. Uvažujme nejprve vozidlo **bez** ESP.

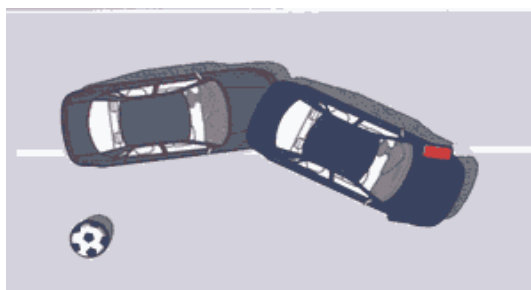
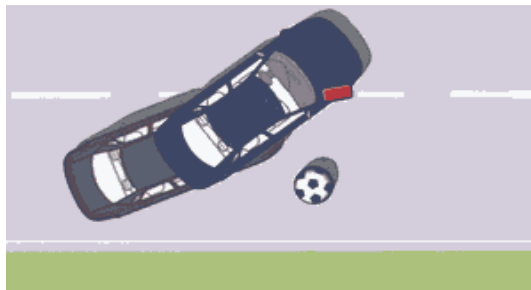
Vozidlo se musí vyhnout předmětu, které se náhle objeví na vozovce. Řidič nejprve trhne volantem doleva a hned na to zase doprava.



Vozidlo se po tomto manévru dostává do smyku, jeho zadní část se pohybuje rychleji. Otáčením vozidla kolem svislé osy se vozidlo stává pro řidiče neovladatelné.

### Vozidlo vybavené ESP.

Vozidlo se snaží překážce vyhnout. Díky údajům, které přicházejí z čidel, rozpozná ESP, že se vozidlo dostává do nestabilního stavu. Systém vypočítá opatření, jak tomu zabránit: ESP přibrzďí levé zadní kolo. Tím podpoří zatočení vozidla doleva. Stranová vodící síla na předních kolech zůstává zachována.



Zatimco vuz jeste zataci doleva, strhava ridič volant doprava. Aby se podpořilo zatočení doprava, přibrzdí ESP přední pravé kolo. Zadní kola se otáčejí volně, a tím zajišťují vytvoření optimální stranové vodící síly. Prováděný manévr může vést ke smyku a k otáčení vozidla kolem jeho svislé osy. Aby se zabránilo vybočení zadní části vozu, přibrzdí ESP levé přední kolo. Ve zvláště kritických situacích je možno kolo přibrzdit nebo dokonce i krátce zablokovat, aby došlo k omezení stranové vodící síly na přední nápravě.

Po ukončení korekcí všech nestabilních stavů ukončuje ESP svoji činnost.

Brzdy působí vždy na to z kol, které pomáhá k vyrovnání vozidla do správného směru. ESP tak pomáhá nejen nezkušenému řidiči, ale i ostřílenému profesionálovi zvládat kritické situace, protože potlačuje vznik smyku v samém zárodku.

#### 4. ZÁVĚR

ESP v kritických situacích výrazně snižuje riziko nehody, protože koriguje za řidiče jízdu do požadovaného směru a vyrovnává vznikající odchylky. Dokáže zhruba třicetkrát častěji reagovat na vzniklé nebezpečí než ideální řidič. Nejenže stále samočinně vyhodnocuje okamžitou situaci vozidla, ale v případě potřeby podle naprogramovaného scénáře zasáhne s rychlostí a naprostou přesností způsobem pro sebezkušenějšího řidiče nedostižným.

Vůz tak zůstává i na vozovkách se sníženou adhezí snadno ovladatelný a sám zabraňuje vzniku smyků – pokud ovšem nedojde k překročení fyzikálních zákonů, které ani ESP nedokáže přelstít!

ESP je zatím nejdokonalejší ze soustav ovlivňujících jízdní dynamiku. Využívá prvky i ústrojí většiny ostatních uváděných elektronických systémů, avšak významně rozšiřuje jejich možnosti.

#### 5. LITERATURA

- [1] VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 2002.
- [2] <http://www.skoda-auto.cz>  
<http://www.bencar.cz>  
<http://www.popsci.com>  
<http://www.lboro.ac.uk/departments/el/research/esc-miniconference/papers/pearson.pdf>  
<http://www.accidentreconstruction.com>  
<http://www.conti-online.com>