

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**  
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

**Steer by wire pro řízení kol na více nápravách**

Diplomová práce

AUTOR PRÁCE: Bc. Václav Kopecký  
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jan Pokorný

2009

**UNIVERSITY OF PARDUBICE**  
**JAN PERNER TRANSPORT FACULTY**  
DEPARTMENT OF THE MEANS TRANSPORT

**Steer by wire for more than one axle steering**

Thesis

AUTHOR: Bc. Václav Kopecký  
SUPERVISOR: Ing. Jan Pokorný

2009

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména ze skutečnosti, 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 jména 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 Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. 2. 2009

Bc. Václav Kopecký



## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku řízení více náprav u silničních vozidel. Cílem této práce je analýza použitelných systémů pro řízení zadní nápravy a návrh elektromechanického systému řízení steer-by-wire se zaměřením především na zabezpečení systému pro případ selhání některé z jeho komponent.

První část práce je úvodem do problematiky řízení více náprav, především pak řízení všech kol u dvounápravového vozidla (4WS). Jsou zde vysvětleny výhody použití řízení všech kol a také možnosti řízení pomocí technologie steer by wire. Také jsou zde uvažována případná rizika elektronického systému.

Ve druhé části jsou analyzovány funkce a možnosti systémů použitelných pro řízení zadní nápravy nebo řízení více náprav. Jedná se současně o používané mechanické, elektrohydraulické a elektromechanické systémy. Jsou zde také uvedeny jejich aplikace na silničních vozidlech různých druhů a výhody, které jim přináší.

Třetí část je zaměřena na návrh elektromechanického systému steer by wire pro řízení zadní nápravy experimentálního vozidla s řízením všech kol 4WS. Návrh zahrnuje snímání vstupních dat pro řídicí jednotku, řídicí programy pro jednotlivé provozní situace a návrh akčního členu řízení zadní nápravy. Závěrečná část návrhu je věnována analýze možných kritických situací, spolehlivosti navrženého systému a možnostem zálohování pro zabezpečení systému v případě kritické poruchy některé z jeho komponent.

## **SUMMARY**

This diploma work deals with the problems of steering of several axles at road carriages. The aim of this work is to analyze usable systems for steering of the rear axle and to propose an electromechanical system steer-by-wire with the focus on system security in case of defection of one of its components.

The first part of this work is an introduction of the problems of the steering of several axles, mainly the steering of all wheels at two-axled vehicle (4WS). The advantages of using the all wheels steering and possibilities of steer-by-wire technology are explained there. Possible risks of an electronic system are also included there.

The second part of the diploma work analyzes the functions and possibilities of systems which are usable for steering of the rear axle or steering of several axles. It deals with the mechanical, electrohydraulic and electromechanical systems which are used nowadays. The advantages and applications of these systems on the road carriages of various types are also mentioned there.

The third part of the diploma work is focused on the proposal of an electromechanical system steer-by-wire intended for an experimental vehicle 4WS. The proposal contains the scanning of entering data for the electronic control unit, steering programmes for particular operating situation and a proposal of an actuator of the steering of the rear axle.

The concluding part of this work is dedicated to the analysis of possible critical situations, to the reliability of the proposed system and to the possibilities of redundancy for the security in case of critical defect of some of its components.

**Klíčová slova:**

řízení všemi koly, 4WS, kinematika zatáčení, Ackermannova podmínka geometrie, mechanické řízení, mechanismus řízení, převodka řízení, elektrohydraulické řízení, elektromechanické řízení, steer by wire, snímač úhlu natočení, snímač otáček, řídicí jednotka, řídicí podprogram, elektromotor, převodový poměr, kritická porucha, zálohování, spolehlivost systému, analýza FMEA, blokovací mechanismus.

**Key words:**

all wheel steering, four wheel steering, turning kinematics, Ackermann geometry condition, mechanical steering, electrohydraulic steering, electromechanical steering, steer by wire, steering wheel angle sensor, speed sensor, electronic control unit, control program, actuator, elektromotor, steering ratio, critical failure, redundancy, safety, reliability, FMEA analysis, latching device.

# OBSAH

<b>ABSTRAKT</b> .....	5
<b>SUMMARY</b> .....	6
<b>OBSAH</b> .....	8
<b>1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY</b> .....	10
1.1. STEER BY WIRE .....	11
1.2. ŘÍZENÍ VÍCE NÁPRAV .....	12
1.2.1 <i>Řízení všech kol dvounápravového vozidla (4WS, AWS)</i> .....	12
1.2.2 <i>Požadavky na řízení všemi koly</i> .....	13
1.2.3 <i>Přínos systému řízení všech kol 4WS</i> .....	13
1.3. KINEMATIKA ZATÁČENÍ VOZIDLA ŘÍZENÉHO PŘEDNÍMI KOLY .....	14
1.4. KINEMATIKA ZATÁČENÍ VOZIDLA S ŘÍZENÍM VŠECH KOL 4WS .....	15
1.4.1 <i>Zatáčení s nesouhlasným natočením zadních kol</i> .....	15
1.4.2 <i>Zatáčení se souhlasným natočením zadních kol</i> .....	16
<b>2. ANALÝZA SYSTÉMŮ PRO ŘÍZENÍ KOL ZADNÍ NÁPRAVY</b> .....	17
2.1. PASIVNÍ ŘÍDICÍ SYSTÉMY .....	17
2.1.1 <i>Elastokinematické řízení</i> .....	17
2.1.2 <i>Víceprvkové závěsy kol</i> .....	18
2.2. AKTIVNÍ ŘÍDICÍ SYSTÉMY .....	19
2.2.1 <i>Mechanický systém 4WS</i> .....	19
2.2.2 <i>Elektrohydraulický systém 4WS</i> .....	23
2.2.3 <i>Elektromechanický systém</i> .....	26
<b>3. APLIKACE ŘÍZENÍ VÍCE NÁPRAV</b> .....	29
3.1. ZEMĚDĚLSKÉ PRACOVNÍ STROJE .....	29
3.2. VÍCEPŘÍVĚSOVÉ SOUPRAVY .....	29
3.3. STAVEBNÍ STROJE .....	30
3.4. ROZMĚRNÁ A TĚŽKÁ NÁKLADNÍ VOZIDLA .....	30
3.5. VÍCENÁPRAVOVÉ NÁVĚSY KENNIS TRAILERS A NOOTEBOOM .....	31
3.6. AUTOBUSY .....	31
3.7. OSOBNÍ AUTOMOBILY .....	32
<b>4. NÁVRH SYSTÉMU STEER BY WIRE PRO ŘÍZENÍ ZADNÍ NÁPRAVY</b> .....	33
4.1. KONCEPCE SYSTÉMU STEER BY WIRE PRO ŘÍZENÍ ZADNÍ NÁPRAVY .....	34
4.2. NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ ZÁKLADNÍCH KOMPONENT .....	35
4.3. SNÍMÁNÍ VSTUPNÍCH VELIČIN .....	36
4.3.1 <i>Snímání polohy volantu Hallovými snímači</i> .....	36
4.3.2 <i>Snímání úhlu a rychlosti natočení volantu optoelektronickým snímačem</i> .....	36
4.3.3 <i>Hallův snímač otáček kol</i> .....	39
4.3.4 <i>Snímání polohy hřebenu zadní nápravy</i> .....	39
4.4. AKČNÍ ČLEN - ELEKTROMOTOR .....	40
4.4.1 <i>Řídicí signál pro akční člen</i> .....	40
4.4.2 <i>Požadavky na elektromotor</i> .....	40
4.4.3 <i>Návrh sestavy elektromotoru</i> .....	41
4.4.4 <i>Návrh parametrů elektromotoru</i> .....	41
Výpočet požadovaného momentu elektromotoru .....	41
4.4.5 <i>Stejnoseměrný elektromotor AMER MP80</i> .....	44



Parametry zvoleného motoru .....	44
Převodovka elektromotoru .....	45
4.4.6. <i>Asynchronní elektromotor</i> .....	46
Parametry zvoleného asynchronního motoru ESV 05 71B3 .....	46
4.5. ŘÍDICÍ JEDNOTKA .....	47
4.5.1. <i>Funkce Řídicí jednotky</i> .....	48
4.5.2. <i>Návrh řídicích podprogramů</i> .....	48
Řídicí podprogram „0“ pro přímou jízdu .....	48
Řídicí podprogram "P1" pro zatáčení vpravo při nízkých rychlostech .....	49
Řídicí podprogram "L1" pro zatáčení vlevo při nízkých rychlostech .....	50
Řídicí podprogram "P2" pro zatáčení vpravo při vyšších rychlostech .....	51
Řídicí podprogram "L2" pro zatáčení vlevo při vyšších rychlostech .....	52
<b>5. ANALÝZA SPOLEHLIVOSTI NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>53</b>
5.1. ANALÝZA FMEA (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) .....	53
5.1.1. <i>Formulace úlohy FMEA</i> .....	54
5.1.2. <i>Analýza konstrukce nebo procesu</i> .....	54
5.1.3. <i>Odhalení možných způsobů poruch</i> .....	54
5.1.4. <i>Stanovení možných následků poruch</i> .....	54
5.1.5. <i>Ohodnocení závažnosti, četnosti výskytu a pravděpodobnosti odhalení každé poruchy</i> .....	55
5.1.6. <i>Výpočet míry rizika - RPN (Risk Priority Number)</i> .....	55
5.1.7. <i>Výběr nejzávažnějších poruch</i> .....	55
5.1.8. <i>Návrh nápravných opatření</i> .....	56
5.1.9. <i>Výpočet výsledné míry rizika po úpravě</i> .....	56
5.1.10. <i>Uskutečnění nápravných opatření</i> .....	56
5.1.11. <i>Závěr a vyhodnocení analýzy</i> .....	57
5.1.12. <i>Ukázka formuláře pro FMEA</i> .....	57
5.2. VLASTNÍ ANALÝZA MOŽNÝCH PORUCH NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU .....	57
5.2.1. <i>Akční člen nereaguje</i> .....	58
5.2.2. <i>Řídicí jednotka nepracuje</i> .....	58
5.2.3. <i>Chybné nebo žádné vstupní signály</i> .....	58
5.2.4. <i>Klasifikace významnosti poruch</i> .....	59
5.2.5. <i>Vyhodnocení poruch navrhovaného systému</i> .....	60
5.3. SPOLEHLIVOST A BEZPORUCHOVOST SYSTÉMU .....	61
5.3.1. <i>Příklady možných způsobů zálohování a jejich vliv na spolehlivost</i> .....	63
5.3.2. <i>Spolehlivost navrhovaného systému</i> .....	64
<b>6. NÁVRH ZABEZPEČENÍ SYSTÉMU .....</b>	<b>66</b>
6.1. NÁVRH ZÁLOHOVÁNÍ KOMPONENT SYSTÉMU .....	66
6.1.1. <i>Zálohování napájení elektromotoru - záložní zdroj napětí</i> .....	66
<i>Superkapacitor jako zdroj záložního napětí</i> .....	67
6.1.2. <i>Zálohování akčního členu - sekundární elektromotor</i> .....	68
6.1.3. <i>Možné situace selhání primárního elektromotoru</i> .....	69
6.1.4. <i>Nouzový řídicí program pro sekundární elektromotor</i> .....	69
6.1.5. <i>Sestava akčního členu se sekundárním elektromotorem</i> .....	70
6.2. ARETACE KOL ZADNÍ NÁPRAVY V PŘÍMÉM SMĚRU .....	71
6.2.1. <i>Konstrukční řešení aretace zadních kol v přímém směru</i> .....	71
<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>8. POUŽITÁ LIERATURA .....</b>	<b>74</b>
<b>9. SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>76</b>
<b>10. SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>77</b>

## 1. Úvod do problematiky

Přesné a bezporuchové řízení je základním předpokladem provozuschopnosti vozidla. Správnému fungování řízení by tedy měla být věnována náležitá pozornost.

Většina současných osobních vozidel využívá klasickou koncepci řízení fungující na principu natáčení předních rejdových kol. Tento systém zahrnuje mechanismus řízení předních rejdových kol, převodku řízení často doplněnou hydraulickým posilovačem (tzv. servořízení), sloupek řízení a volant. Tato osvědčená koncepce je pro základní požadavky na řízení dostačující.

Stále častěji se však objevuje potřeba zvýšit stabilitu a obratnost osobních a užitkových automobilů. V některých situacích je vyžadováno přesnější řízení a jsou kladeny vyšší nároky na manévrovací schopnosti vozidla. Jedná se například o schopnost otočení vozidla na malém poloměru zatáčení, nebo například schopnost příčného pohybu vozidla. Při manévrování ve vyšších rychlostech je pak vyžadována především stabilita a pohotovější reakce řízení např. při vyhýbacím manévru. Nabízí se tedy otázka, zda je možné tyto požadavky splnit.

Někteří výrobci automobilů proto vyvíjejí nové systémy řízení. V současné době již existují vozidla s říditelnou zadní nápravou. Řízení kol může být jak pasivní – výchylka zadních kol je vyvolána silovými účinky při jízdě zatáčkou, tak i aktivní. Aktivní řízení zadní nápravy umožňuje lepší ovladatelnost vozidla, a to jak při pomalé jízdě a manévrování na omezeném prostoru (parkování apod.), tak i při změnách směru jízdy vysokou rychlostí. K tomu přispívají také možnosti aplikací nových technologií jako například systém elektronického řízení steer by wire. Výsledkem pak může být zcela nová koncepce řízení.

## 1.1. Steer by wire

Jednou z možných řešení řízení více náprav je aplikace technologie steer by wire (řízení po drátě), která zcela nahrazuje mechanickou vazbu mezi volantem a rejdovými koly vazbou elektronickou. Stejně jako u dalších vyspělých systémů vozidla, je i zde využito přesné elektroniky s řídicí jednotkou komunikující se senzory a akčními členy.

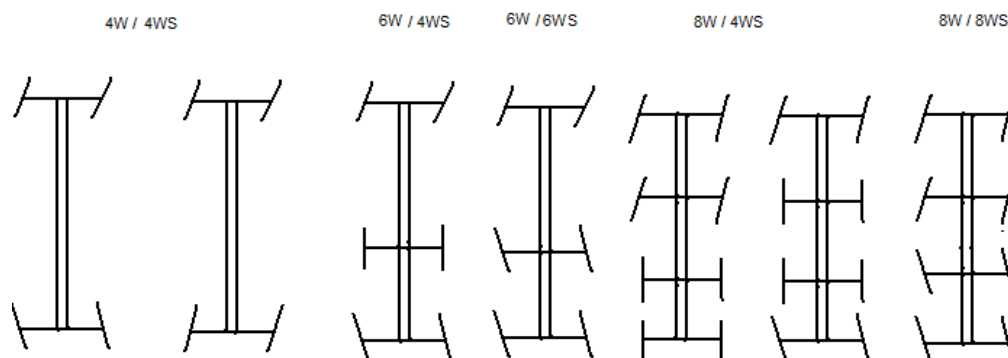
Aplikace elektronických systémů pro řízení vozidla přináší mnoho výhod. V první řadě tak lze propojit řízení se systémem elektronické stabilizace (ESP). Spolupráce elektronické řídicí jednotky systému (ECU) se senzory rychlosti, otáček kol, stáčení vozidla aj. pak umožňuje včasnou optimalizaci jízdní stability. Další výhodou je možnost variabilního převodu řízení při různých rychlostech a jízdních podmínkách. Aplikací systému steer by wire na řízení více náprav lze dosáhnout velice přesného manévrování.

Elektronický systém bohužel nemá pouze výhody, ale skrývá i jistá bezpečnostní rizika. V případě kritického selhání některé z komponent systému by mohlo dojít k nežádoucímu pohybu vozidla nebo zásadnímu narušení stability. Následkem takové situace by mohlo být vážné ohrožení bezpečnosti posádky nebo dokonce kolize s protijedoucím vozidlem apod. Současné bezpečnostní předpisy a legislativní normy proto aplikaci elektronického řízení steer-by-wire vylučují z běžného provozu na pozemních komunikacích. Systémy řízení steer-by-wire jsou proto omezeny pouze na prototypy a experimentální vozidla. V praxi tedy zatím nelze jejich výhod využít.

Bezpečnostní rizika je však možné snižovat použitím záložního systému, jako je tomu u technologie fly-by-wire používané již řadu let v letecké dopravě, kde je bezpečnost rovněž na prvním místě. Zálohované systémy by měly zaručit požadovanou spolehlivost a zabezpečit bezporuchové ovládání vozidla.

## 1.2. Řízení více náprav

V praxi jsou dnes nejpoužívanější koncepce vozidel se dvěma, třemi a čtyřmi nápravami. Některá speciální vozidla a jízdní soupravy mají i více než čtyři nápravy. Možnost řízení více náprav pak výrazně zlepšuje manévrovací schopnosti daného vozidla. Obzvláště u těžkých rozměrných vozidel a dlouhých jízdních souprav je řízení více náprav velmi výhodné. Podle počtu řízených kol se pak jednotlivé systémy označují 2WS, 4WS, 6WS, 8WS atd.

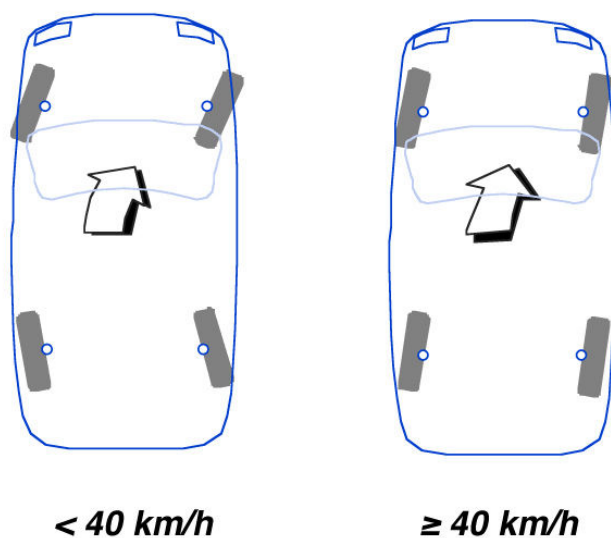


**Obr.1.2:** Příklad možných způsobů uspořádání řízených náprav

### 1.2.1 Řízení všech kol dvounápravového vozidla (4WS, AWS)

U dvounápravových vozidel jde o současné natáčení kol přední i zadní nápravy. Tento způsob řízení všech kol je označován jako 4WS (four wheel steering) nebo AWS (all wheel steering). Systém 4WS bývá používán u některých pracovních strojů a terénních nákladních vozidel. V poslední době se řízení čtyřmi koly začíná využívat stále častěji i u osobních automobilů.

Natáčení zadních kol lze využít dvěma způsoby. Zadní kola se mohou natáčet v souhlasném směru jako kola přední nebo ve směru opačném. Pro některé jízdní situace je vhodnější souhlasné natočení - například při vyhýbacím manévru se natočením zadních kol do stejného směru snižuje stáčívá rychlost a vozidlo je stabilnější. Naopak při otáčení vozidla je vhodnější natočení zadních kol do opačného směru, což má za následek zmenšení poloměru zatáčení. Tyto jízdní situace obvykle souvisí s rychlostí jízdy (viz. **obr.1.2**).



*Obr.1.2: Varianty natáčení kol vozidla 4WS [7]*

### 1.2.2 Požadavky na řízení všemi koly

- Bezpečné zatáčení a manévrování ve všech provozních podmínkách.
- Splnění požadavků na řízení dle § 32 vyhl. č. 102/1995 Sb. (viz. Příloha1).
- Splnění Ackermannovy podmínky pro zatáčení.

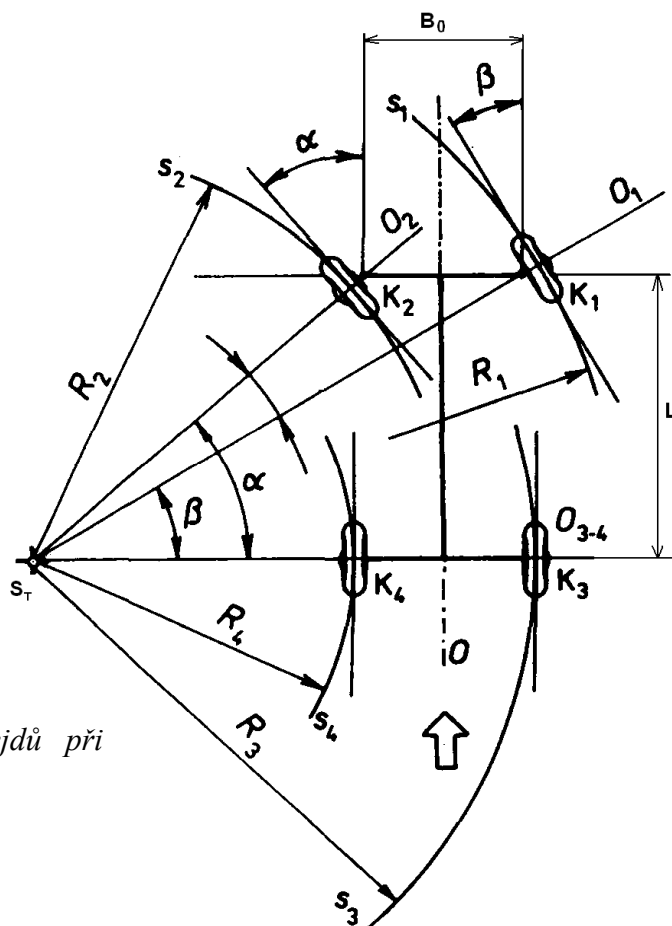
### 1.2.3 Přínos systému řízení všech kol 4WS

- Zlepšení obratnosti vozidla při jízdě nízkou rychlostí
  - menší poloměr zatáčení vozidla;
  - snadnější manévrování při parkování.
- Zvýšení stability při jízdě vysokou rychlostí
  - vyšší stabilita při předjíždění nebo změně jízdního pruhu;
  - zlepšení dynamické říditelnosti;
  - Snížení stáčivé rychlosti vozidla;
  - snížení nedotáčivosti vozů s motory před přední nápravou.
- Snížení opotřebení pneumatik.
- Snížení odporu valení při zatáčení.

### 1.3. Kinematika zatáčení vozidla řízeného předními koly

Základní podmínkou správné geometrie zatáčení vozidla je společný průsečík os všech kol - průmět os všech kol natočených do rejdu, který je situován na prodloužené ose zadní nápravy (viz. **obr. 1.3**)

Předpokladem je, že jsou řízena pouze přední bočně nepoddajná kola. Jedná se pak o, tzv. **Ackermannovu geometrii zatáčení**.



**Obr. 1.3:** Rozdíl velikosti rejdu při zatáčení [1]

Musí být zaručen rozdílný úhel natočení vnitřního kola ( $\alpha$ ) a vnějšího kola ( $\beta$ ).

Tento předpoklad vyjadřuje tzv. **Ackermannova podmínka zatáčení**:

$$\cot g\beta - \cot g\alpha = \frac{B_0}{L} \quad (1)$$

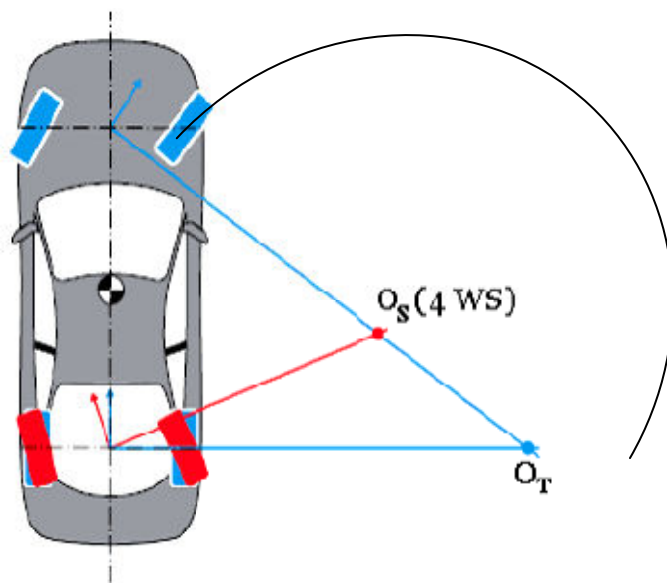
... kde  $B_0$  je vzdálenost rejdových čepů

$L$  je rozvor náprav.

## 1.4. Kinematika zatáčení vozidla s řízením všech kol 4WS

### 1.4.1 Zatáčení s nesouhlasným natočením zadních kol

- Kola zadní nápravy se natáčejí v *opačném smyslu* než kola přední.
- Střed zatáčení ( $O_S$ ) se posouvá blíží k vozidlu, před osu zadní nápravy (viz.**obr.1.4.1a**).

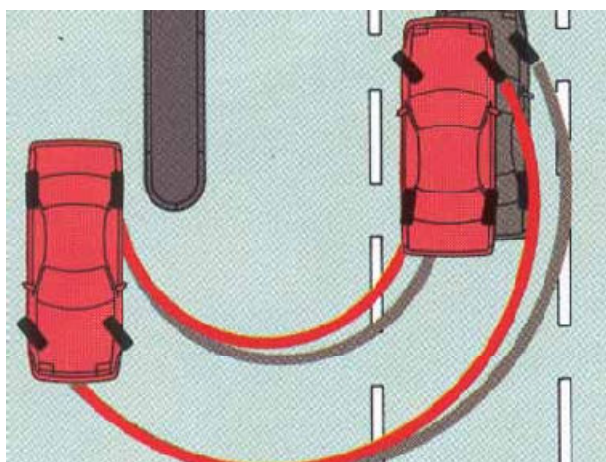


**Obr.1.4.1a:** Kinematika zatáčení při nesouhlasném natočení zadních kol [9]

**Předpoklad:** rychlosti jízdy do 40 km/h.

**Přínos:**

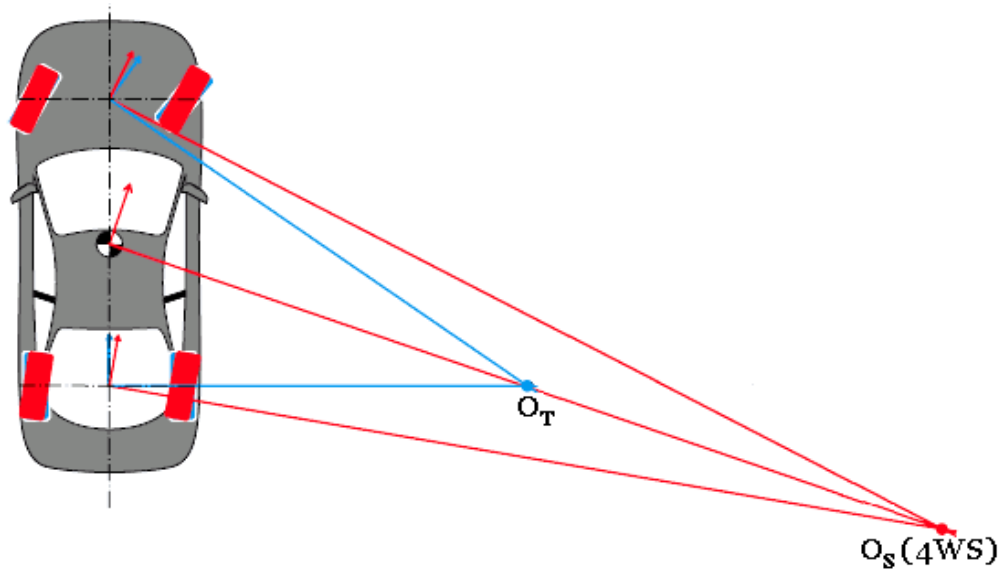
- Snadnější parkování.
- Otáčení na menším poloměru (viz.**obr.1.4.1b**).



**Obr. 1.4.1b:** Zmenšení poloměru zatáčení [9]

### 1.4.2 Zatáčení se souhlasným natočením zadních kol

- Zadní kola se natáčejí ve stejném smyslu jako kola přední.
- Posunutí středu otáčení za vozidlo → větší poloměr zatáčení (viz. **obr.1.4.2a**).

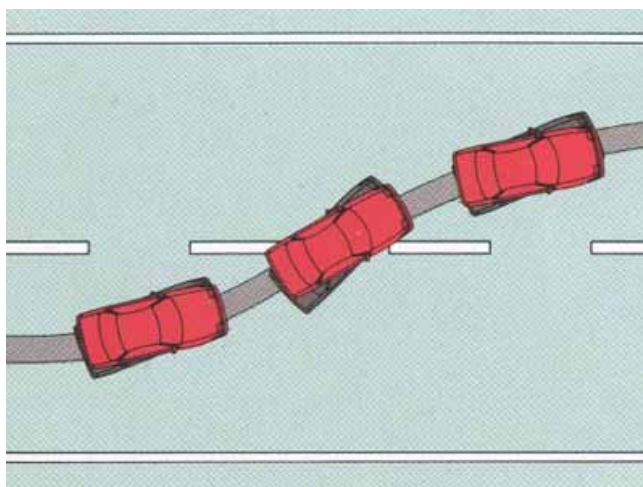


**Obr.1.4.2a:** kinematika zatáčení se souhlasným natočením zadních kol [9]

**Předpoklad:** rychlost jízdy nad 40 km/h.

**Přínos:**

- Snížení stáčivé rychlosti → pozitivní z hlediska vyhýbacího manévru.
- Zlepšení dynamické říditelnosti při zatáčení vysokou rychlostí.
- Vyšší stabilita při změně jízdního pruhu nebo při předjíždění (viz. **obr.1.4.2b**).



**Obr.1.4.2b:** Vyšší stabilita při změně jízdního pruhu [9]



## 2. Analýza systémů pro řízení kol zadní nápravy

### Základní rozdělení podle řídicího systému

- Pasivní - nezávislé na vůli řidiče
- Aktivní - možnost ovládní
  - a) mechanický systém řízení
  - c) elektrohydraulický systém řízení
  - d) elektromechanický systém řízení

### Podle směru natáčení kol rozeznáváme systémy:

- s nesouhlasným natočením zadních kol
- se souhlasným natočením zadních kol

### 2.1. Pasivní řídicí systémy

- *Elastokinematické řízení* (např. Opel Omega)
- *Víceprvkové závěsy kol* (např. Mitsubishi Sigma)

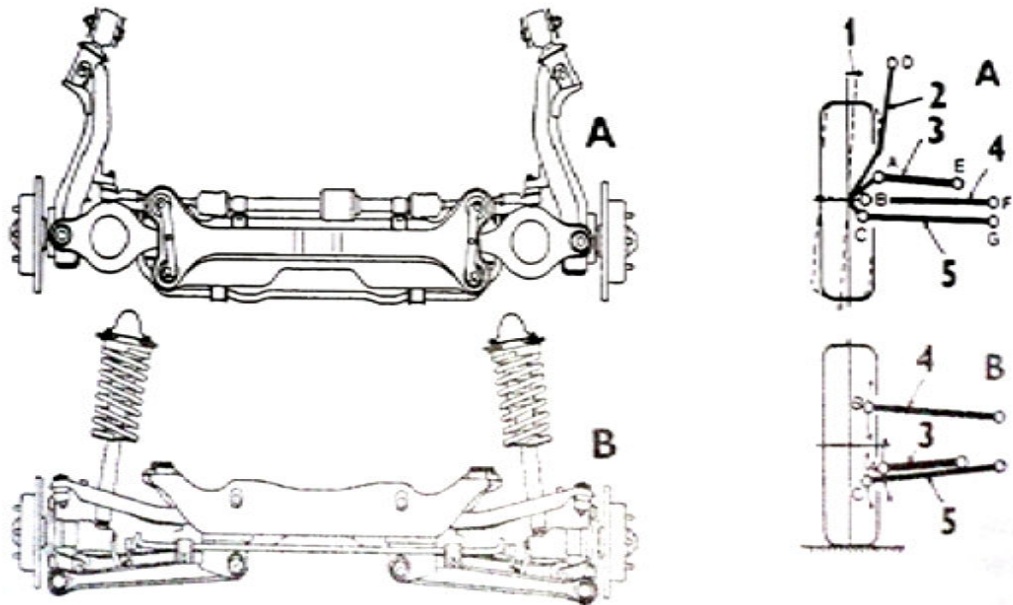
#### 2.1.1. Elastokinematické řízení

Závěsná ramena zadní nápravy jsou spojena s nápravnicí (karoserií) pouzdry s kapalinou.

- Zadní kola se vlivem změny svislého zatížení kol (klopení) natáčí ve stejném smyslu jako kola přední → pouze souhlasné řízení.
- Natočení zadních kol je velmi malé.
- Nezávislé na vůli řidiče.
- Nevýhoda: Působí i při jízdě v přímém směru - pokud vozidlo najede jedním kolem nápravy na nerovnost → zhoršení směrové stability.

### 2.1.2. Víceprvkové závěsy kol

- Každé kolo zavěšeno a na jednom podélném a třech příčných prostorově uspořádaných ramenech (viz. **obr. 2.1.2**).
- Kinematika takto uspořádaných ramen dosahuje přesně programovaného pasivního řízení zadních kol.
- V celém rozsahu zdvihu kola se nepatrně mění sbíhavost i příklon.



**Obr.2.1.2:** Zadní náprava osobního automobilu Mitsubishi Sigma s víceprvkovými závěsy kol. A – pohled z hora, B – pohled zezadu; [2]

1 – programovaná změna sbíhavosti,

2 – podélné rameno,

3 – spodní pomocné rameno,

4 – horní příčné rameno,

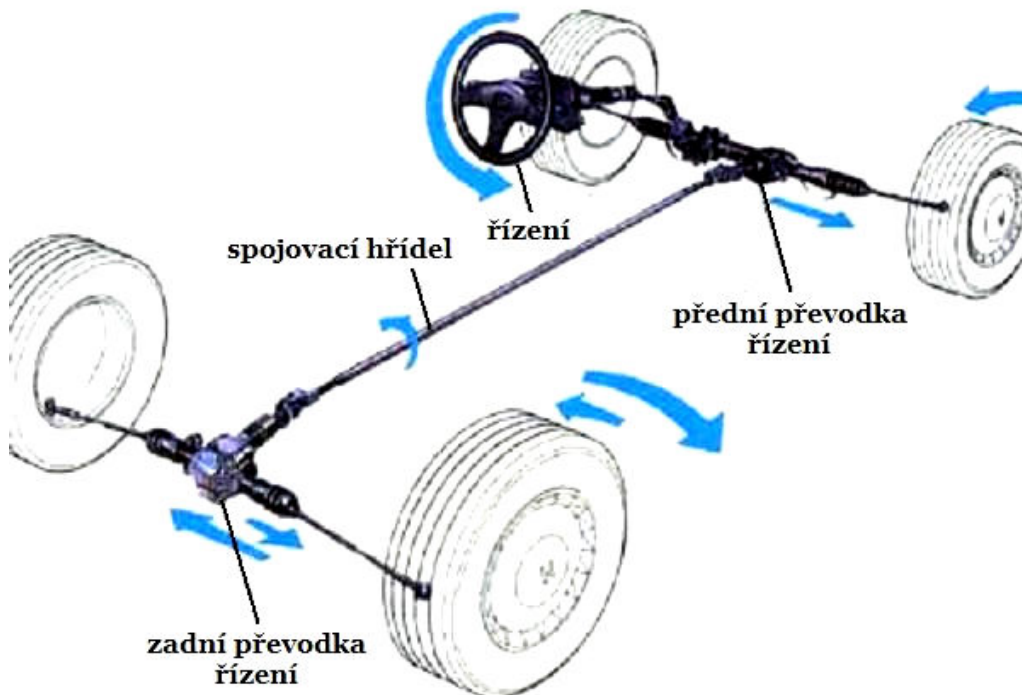
5 – spodní příčné rameno.

## 2.2. Aktivní řídicí systémy

- **Mechanický systém** (např. Honda Prelude 4WS)
- **Elektrohydraulický systém** (např. Nissan HICAS, Mazda 626–4WS)
- **Elektromechanický systém** (např. Renault Laguna Active Drive)

### 2.2.1. Mechanický systém 4WS

Všechny vazby mezi volantem a řízenými koly jsou řešeny mechanicky. Každá náprava má vlastní převodku řízení zabezpečující požadované vychýlení kol.

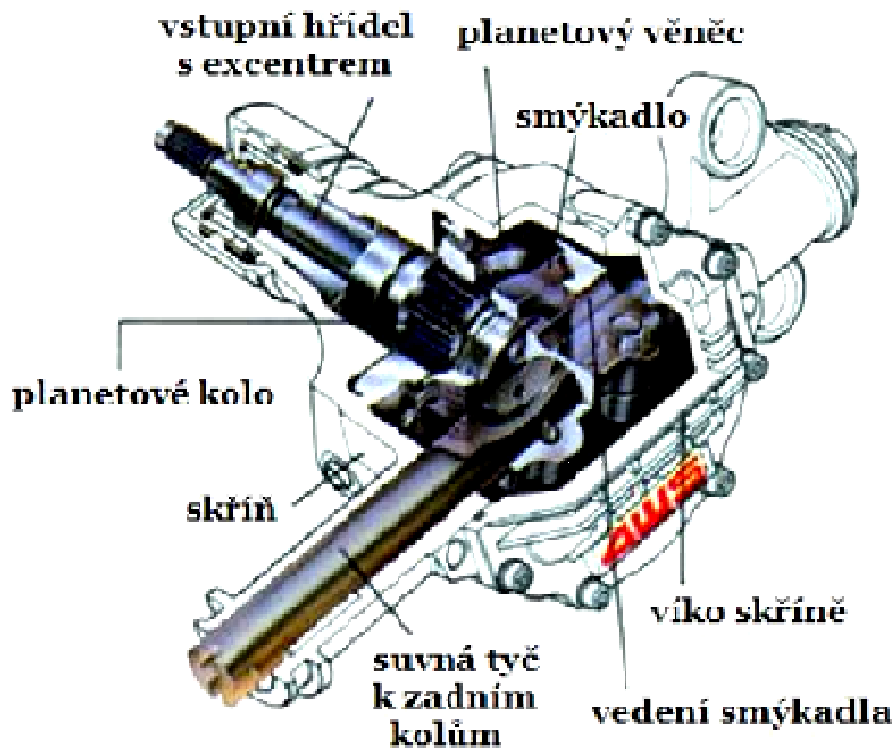


**Obr.2.2.1a:** Koncepte mechanického systému řízení všech kol 4WS (Honda)[9]

Převodka řízení přední nápravy je propojena spojovacím hřídelem s převodkou zadní nápravy (viz. **obr. 2.2.1a**). Podle otáčení spojovacího hřídele pak mechanismus řízení zadní nápravy vykonává požadovaný pohyb a zadní kola jsou vychýlena o příslušný úhel.

## Zadní převodka řízení

Konstrukce mechanismu převodky řízení zadní nápravy (**Obr.2.2.1b,c**) určuje jakým směrem a o jaký úhel mají být zadní kola natáčena.

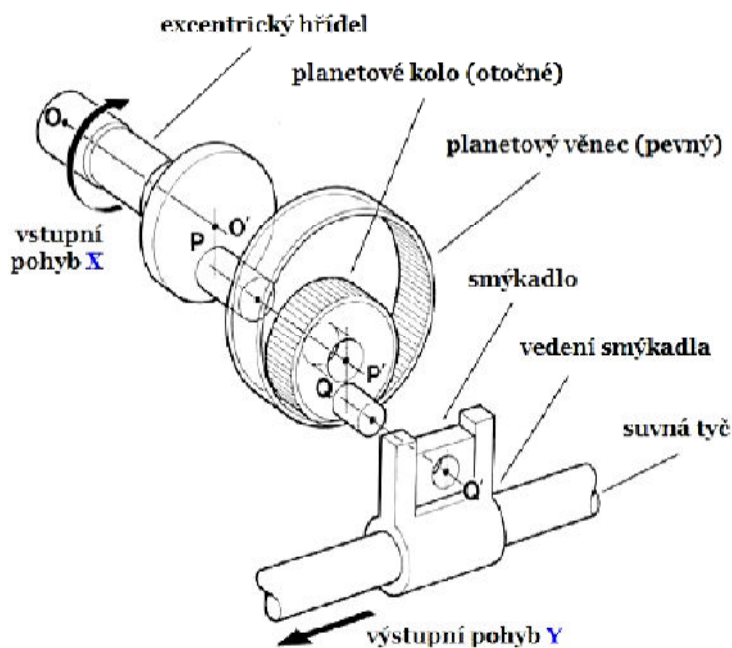


**Obr.2.2.1b:** Konstrukce mechanické převodky řízení zadní nápravy [9]

### Princip činnosti zadní převodky :

S rostoucím úhlem natočení volantu roste i úhel natočení vstupního excentrického hřídele (v závislosti na převodovém poměru převodky řízení přední nápravy).

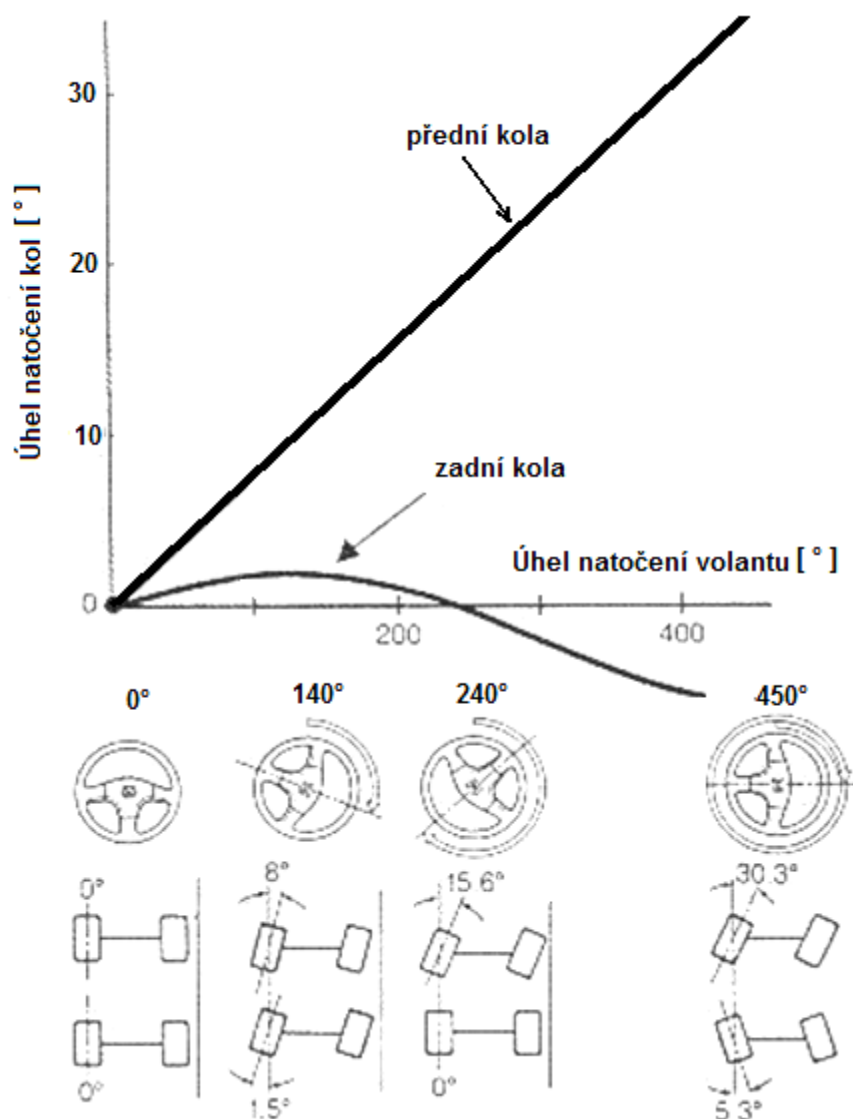
Excentr pohybuje planetovým kolem, které se odvaluje po vnitřním ozubení pevného planetového věnce. Smýkadlo spojené s planetovým kolem se pak pohybuje složeným pohybem (hypocykloidně) a vychyluje tak suvné tyče řízení zadních kol (viz. **obr.2.2.1c**).



*Obr.2.2.1c: Sestava mechanické převodky řízení zadní nápravy[2]*

### Fáze natáčení zadních kol

- Fáze 1 - Natáčení vstupního hřídele o určitý úhel způsobí pohyb planetového kola. S ním spojené smýkadlo je tak vychylováno v příčném směru (viz. obr.2.2.1c) a suvná tyč se posouvá stejným směrem jako hřeben převodky řízení přední nápravy → natáčení zadních kol do souhlasného směru. Výchylka suvné tyče narůstá až do úhlu natočení volantu  $140^\circ$ . To odpovídá maximálnímu natočení zadních kol o úhel  $+1,5^\circ$ . [9]
- Fáze 2 - Nárůstem úhlu natočení volantu nad  $140^\circ$  se výchylka suvné tyče zmenšuje až na nulovou hodnotu při dosažení úhlu  $240^\circ$  → zadní kola jsou opět v přímém směru. [9]
- Fáze 3 - Další nárůst úhlu na volantu vyvolává vychýlení suvné tyče do opačného směru → natočení zadních kol v opačném smyslu než kola přední až o max. úhel  $-5,3^\circ$  při úhlu na volantu  $450^\circ$  (viz. **Obr.2.2.1d**). [9]



**Obr.2.2.1d:** Závislost úhlu natočení předních a zadních kol na úhlu natočení volantu a jednotlivé režimy natáčení kol [9]

### Vyhodnocení mechanického systému:

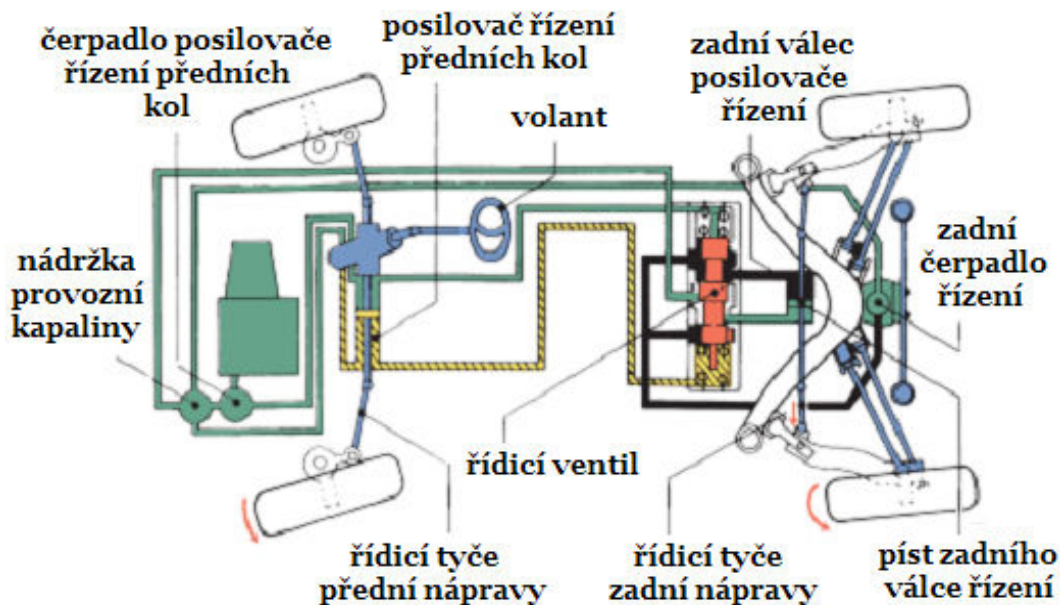
Mechanický převod pro řízení zadní nápravy je nejjednodušším řešením. Nevýhodou je nemožnost změny převodového poměru mezi natočením kol náprav při různých podmínkách manévrování, dále že neuvažuje vliv tuhosti pneumatik a rychlosti. Tento způsob by byl vhodný zejména pro pomalu se pohybující vozidla.

## 2.2.2. Elektrohydraulický systém 4WS

Základními prvky systému jsou elektrohydraulický akční člen spolu s olejovým čerpadlem řízeným řídicí jednotkou (viz. **obr.2.2.2a**).

Nezbytnou součástí systému jsou snímače a čidla vstupních dat pro ŘJ :

- Snímač úhlu natočení volantu
- Snímač rychlosti jízdy
- Polohový senzor a snímač příčného zrychlení
- Snímač otáček pravého a levého zadní kola



**Obr.2.2.2a:** Schéma elektrohydraulického systému[2]

### Funkce:

ŘJ zpracovává signály ze senzorů a čidel. Ze vstupních dat je vypočítáván potřebný úhel pro natočení zadních kol. Řídicí jednotka dává pokyn čerpadlu. Aktivaci čerpadla je zabezpečeno sání kapaliny z nádoby. Následně dle pokynu ŘJ je kapalina vedena přes řídicí ventil do pracovního válce (např. z pravé strany). Zde zatlačí na píst, ke kterému jsou připevněny tyče řízení a ty přes klouby vychýlí zadní kola do požadovaného směru.

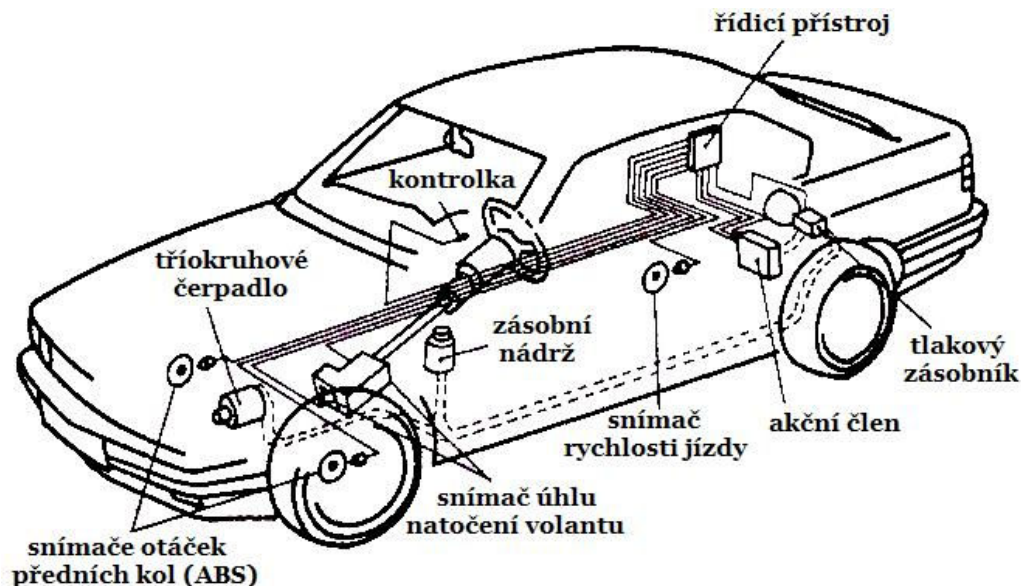
## System „AHK“ (Aktive Hinterachs-Kinematik)

### Vstupní veličiny:

- Vstupní veličinou je *úhel natočení volantu* ( $\alpha$ ) a *rychlost jízdy* ( $v$ ). Snímání vstupních dat zabezpečuje snímač úhlu natočení volantu integrovaný v převodce řízení a snímač rychlosti jízdy. Rychlost je měřena oběma snímači otáček předních kol pro regulaci ABS a také tachodynamem na zadní nápravě (viz. **obr.2.2.2b**)
- Navíc je určována poloha (natočení) kol zadní nápravy pomocí snímače polohy akčního členu. [2]

### Princip funkce:

- Z úhlu natočení volantu  $\alpha$  a rychlosti jízdy  $v$  řídicí jednotka vypočítává optimální úhel natočení zadních kol pro danou jízdní situaci.
- Zadní kola jsou natočena pomocí elektrohydraulického okruhu, resp. jeho akčním členem (AČ) – hydraulickým válcem
- Energie pro AČ je dodávána radiálním pístovým čerpadlem poháněným motorem. [2]



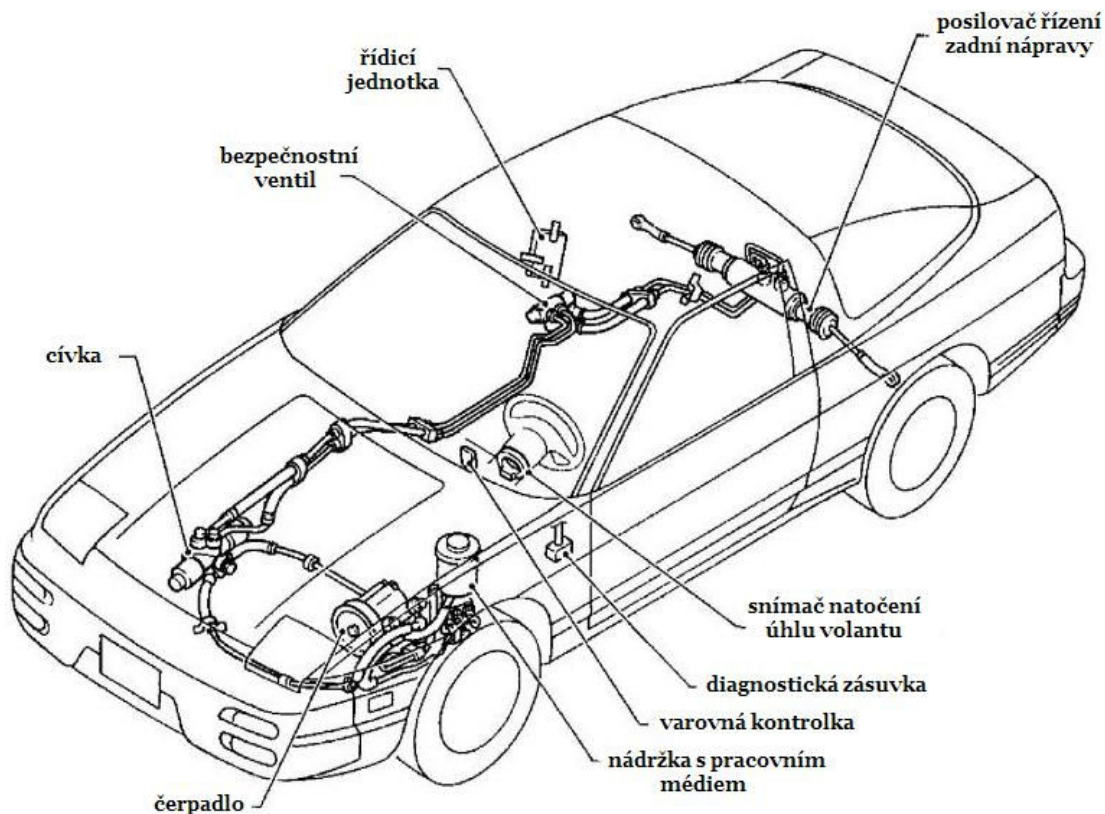
*Obr.2.2.2b: Elektrohydraulický systém AHK (BMW)[2]*



## Systém HICAS (High Capacity Actively Controlled Suspension)

Povel k vychýlení zadních kol dává čidlo příčného zrychlení při 0,5g bez ohledu na natáčení volantu. Řídící jednotka pak podle rychlosti vozidla určuje, o jaký úhel mají být natočena zadní kola.[10]

- Při nízké rychlosti – natočení zadních kol až 7°.
- Při vysoké rychlosti – natočení zadních kol až 0,5°.



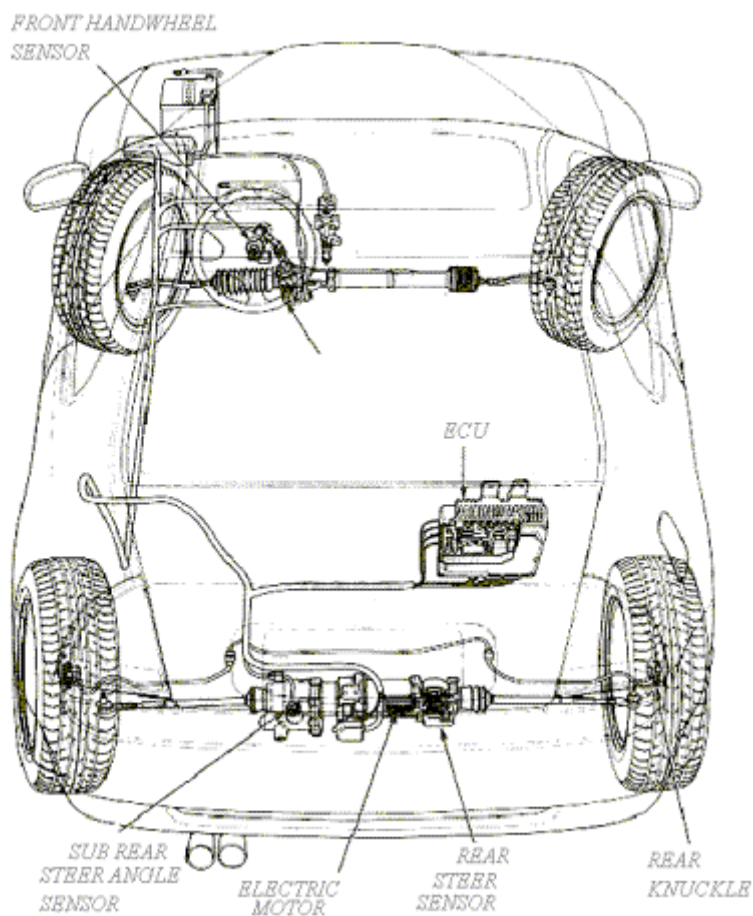
*Obr.2.2.2c: Schéma systému „HICAS“ (Nissan)[10]*

## Systém „SUPER HICAS“

Oproti systému HICAS má navíc úplnou, dynamickou kompenzaci úhlu směrové úchytky těžiště (tj. úhel mezi vektorem rychlosti těžiště vozidla a podélnou osou vozidla).[10]

### 2.2.3. Elektromechanický systém

Elektromechanický systém je také založen na principu zpracování dat ze snímače natočení volantu a snímače rychlosti jízdy pomocí elektronické řídicí jednotky (ECU) je pak vyhodnocen řídicí signál, který ovládá elektromotor umístěný na zadní nápravě. Natáčením elektromotoru do příslušného směru pak dochází k vychylování kol zadní nápravy.



*Obr.2.2.3a: Schéma elektromechanického systému [11]*

#### **Výhody elektromechanického systému řízení:**

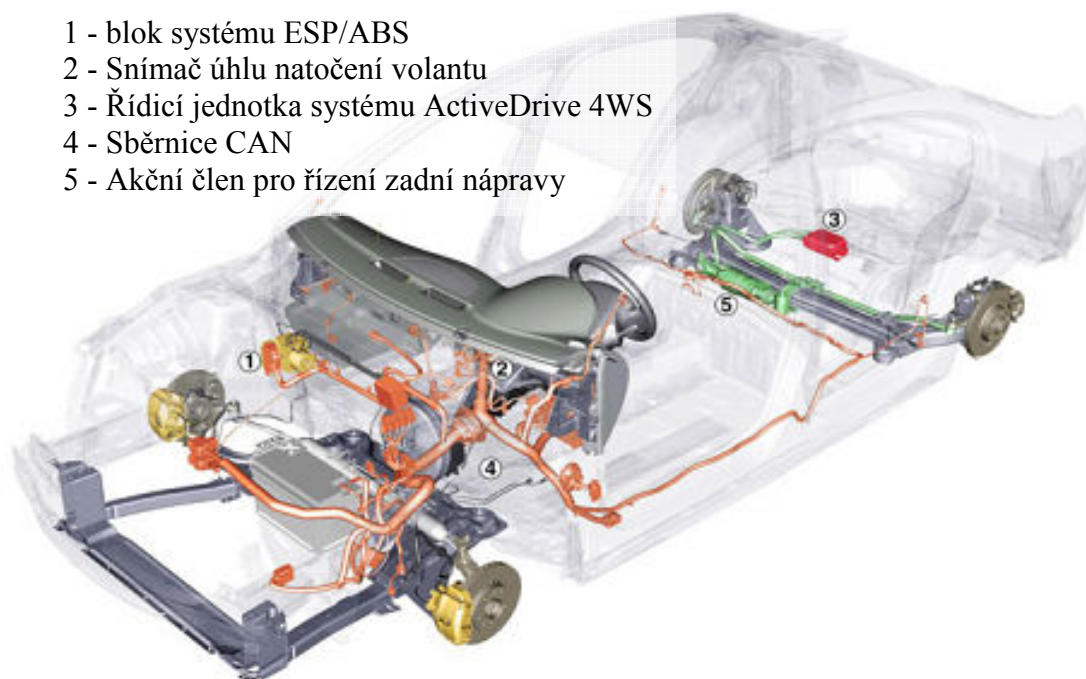
- menší počet mechanických konstrukčních součástí;
- menší nároky na prostor;
- úspora paliva vlivem nižší hmotnosti systému
- nenáročná údržba (odpadá kontrola množství oleje a kontrola těsnění).

## System Active Drive

System aktivního zatáčení všech kol Active Drive je výsledkem spolupráce automobilky Renault a Renault Sport Technologies. System byl poprvé představen ve vozidle Renault Laguna GT v roce 2008.

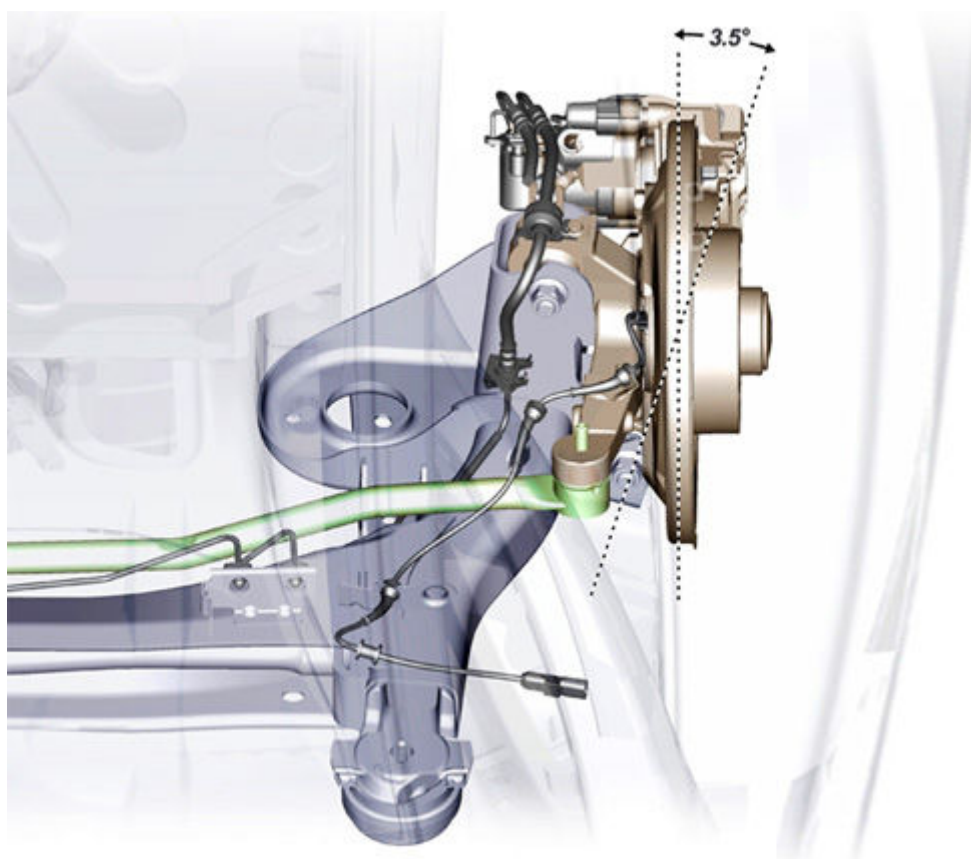
### Jak funguje Active Drive

System Active Drive použitý v nové Laguně GT využívá informace od řídicí jednotky stabilizačního systému ESP a ABS (rychlost vozu, úhel natočení volantu), na jejich základě řídí funkci elektromotoru umístěného na zadní nápravě. Tento elektromotor pomocí jednoduchého mechanismu natáčí kola na jednu nebo na druhou stranu podle povelů řídicí jednotky systému Active Drive (viz.**obr.2.2.3b**) [12]



**Obr.2.2.3b:** *System Active Drive (Renault Laguna GT)[12]*

Řídicí jednotku a elektrický ovladač dodala Renaultu renomovaná japonská firma Aisin, která má se systémem řízení všech kol mnohaleté zkušenosti. V závislosti na rychlosti a jízdni situaci se zadní kola otáčejí buďto v souhlasném nebo nesouhlasném směru s předními koly. Do rychlosti 60 km/h je směr zatáčení zadní nápravy opačný (nesouhlasný), což usnadňuje manévrovatelnost a obratnost vozu při nízkých rychlostech. Nová Laguna GT se v poloměru otáčení vyrovná např. Renaultu Clio s mnohem menším rozvorem. Naopak při rychlosti nad 60 km/h je směr natočení všech kol stejný (souhlasný), tím se zdatně zvyšuje stabilita vozu a šetří se i pneumatiky. Úhel natočení zadních kol je ve většině případů menší než 2°. Při maximálním natočení předních kol se zadní kola mohou vychýlit až o 3,5° (viz. **obr.2.2.3c**). Celková reakční schopnost systému je velmi vysoká, ke změně v nastavení dochází každých 10 ms.[12]



**Obr.2.2.3c:** Detail otočného uložení zadního kola [12]

### 3. Aplikace řízení více náprav

#### 3.1. Zemědělské pracovní stroje

Vysoké požadavky na dobrou manévrovatelnost mají různé pracovní stroje využívané v zemědělství a zahradnictví (viz.**obr.3.1a,b**).

U těchto pracovních strojů je řízení všech kol dnes běžně využíváno. Řízení je zde obvykle řešeno hydraulickým převodem. Používané systémy většinou umožňují přepínání jednotlivých módů řízení podle potřeby.



*Obr.3.1a: Agribuggy Stealth [13]*



*Obr.3.1b: JohnDeere X304 4WS [14]*

#### 3.2. Vícepřívěsové soupravy

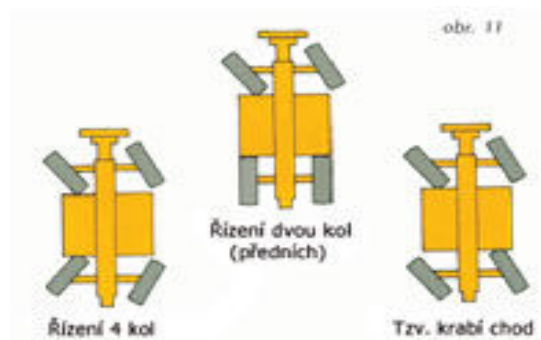
Natáčení více náprav je využíváno také například u vícepřívěsových souprav používaných k transportu zemědělských produktů a nákladu převážně v uzavřených areálech (viz.**obr.3.2**). Zde je použito mechanického systému řízení pomocí natáčení spojovacích ojí.



*Obr.3.2: Vícepřívěsové soupravy Wellmaster Carts [15]*

### 3.3. Stavební stroje

Ve stavebnictví jsou stejně tak jako v zemědělství kladeny vysoké nároky na manévrování s pracovními stroji jako jsou například bagry a kolové nakladače (viz. obr.3.3). U těchto vozidel se proto také často uplatňuje řízení všech kol. Možností volby režimu řízení lze dosáhnout nesouhlasného natočení zadních kol pro otáčení na malém poloměru nebo tzv. krabí chod při souhlasném natočení zadních kol.



*Obr.3.3: JCB 530-70 4WS a možnosti režimů řízení [16]*

### 3.4. Rozměrná a těžká nákladní vozidla

Další skupinou vozidel, kde je použití přiřizování více náprav velmi rozšířené jsou rozměrná vozidla, jejichž poloměry zatáčení dosahují více než 10 metrů a manévrování je složité. Zde se uplatňují systémy řízení několika náprav (viz. obr.3.4) především pro zmenšení poloměru zatáčení a nižší opotřebení pneumatik při zatáčení.



*Obr.3.4: Liebherr LTM1500-8.1 500T (16x10x14) - řízení 14WS [17]*

### 3.5. Vícenápravové návěsy KENNIS TRAILERS a NOOTEBOOM

Řízení více náprav je nezbytné především u velmi dlouhých nákladních souprav, obvykle pro transport nadměrných nákladů (viz. **obr.3.5**). Pro schopnost průjezdu soupravy požadovaným koridorem je nutné řízení náprav návěsu. Řízení je zde řešeno většinou mechanickým nebo hydraulickým systémem.



*Obr.3.5: Souprava KENNIS TRAILERS[18]*

### 3.6. Autobusy

Také v osobní dopravě lze nalézt uplatnění systému řízení více náprav. Využívají ho některé třinápravové autobusy (viz. **obr.3.6**) za účelem zmenšení poloměru zatáčení.

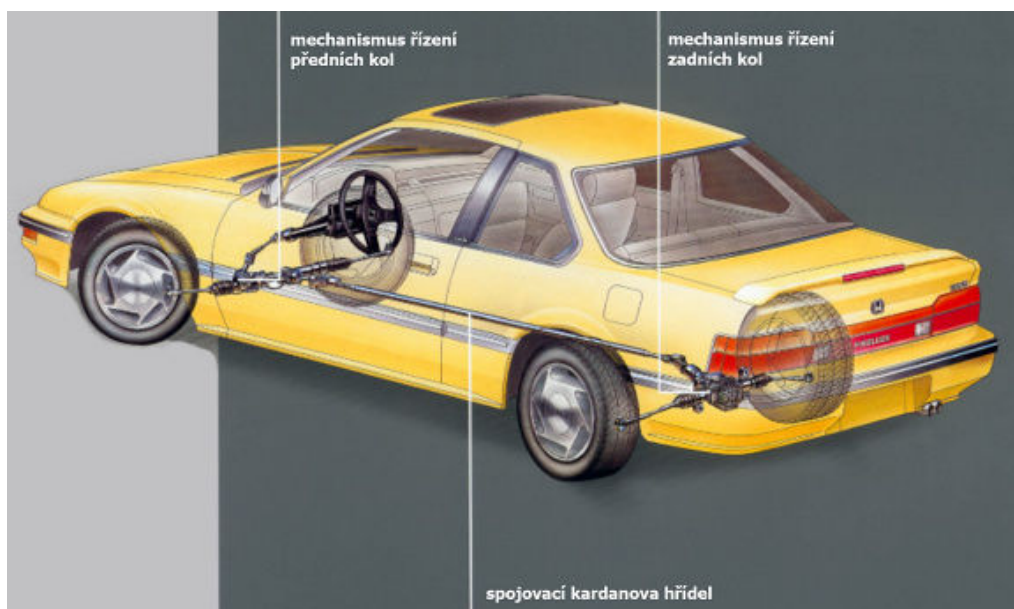


*Obr.3.6: Podvozek autobusu Scania s přední i zadní říditelnou nápravou [19]*

### 3.7. Osobní automobily

U osobních automobilů se systém řízení všech kol aplikuje především za účelem zvýšení stability při zatáčení ve vyšších rychlostech a zároveň pro lepší ovladatelnost při parkovacích manévrech v nízkých rychlostech.

Někteří výrobci využívají mechanický systém 4WS - např. Honda Prelude (viz. **obr.3.7**) nebo elektrohydraulický systém HICAS (Nissan). V poslední době se s rozvojem elektroniky začínají častěji používat také elektromechanické systémy (např. Renault Laguna GT). Pro vysoké náklady a složitost těchto systémů je však řízení všech kol u osobních automobilů stále výjimečné.



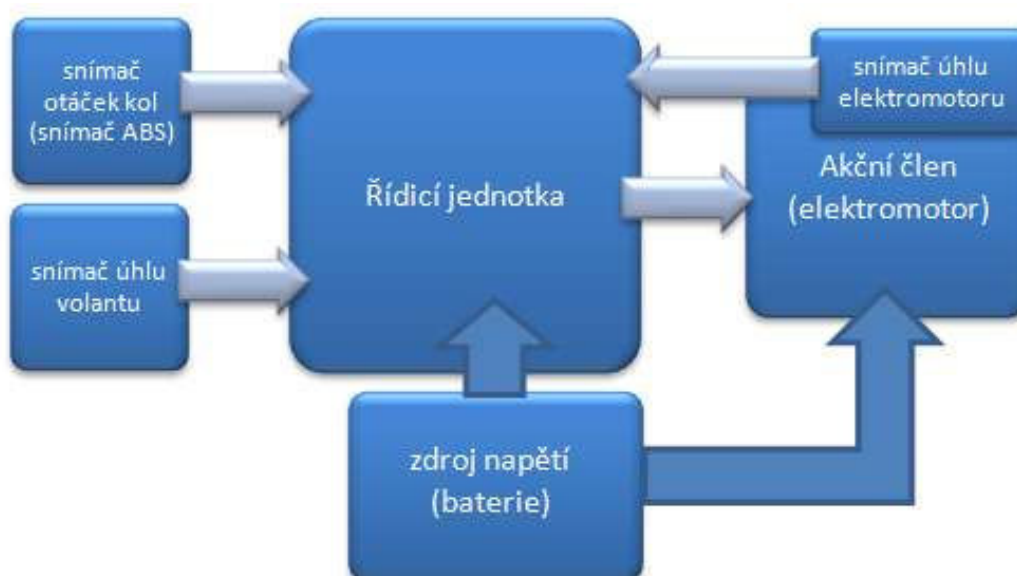
**Obr.3.7:** mechanický systém řízení všech kol Honda Prelude 4WS [9]



## 4. Návrh systému steer by wire pro řízení zadní nápravy

Předpokladem pro návrh systému steer by wire jsou následující základní prvky a uspořádání (viz. **obr.4**). Jejich funkce a parametry budou popsány v následujících kapitolách.

<b>Snímání vstupních veličin</b>	Snímač natočení volantu Snímač otáčení kol (senzor ABS) Snímač polohy zadní nápravy
<b>Řídicí jednotka</b>	Výpočet rychlosti jízdy Výpočet úhlu natočení zadních kol Výběr řídicího programu a transformace na řídicí signál
<b>akční člen (elektromotor)</b>	nastavení mechanismu řízení zadní nápravy do požadované polohy
<b>zabezpečení</b>	záložní napájení - superkapacitor záložní akční člen aretače zadních kol v přímém směru



**Obr.4:** Prvky systému a blokové schéma jejich základního uspořádání

## 4.1. Koncepce systému steer by wire pro řízení zadní nápravy

Návrh vychází ze systému elektrohydraulického servořízení (EPHS) firmy TRW používaného pro řízení přední nápravy ve vozidlech Škoda Fabia.

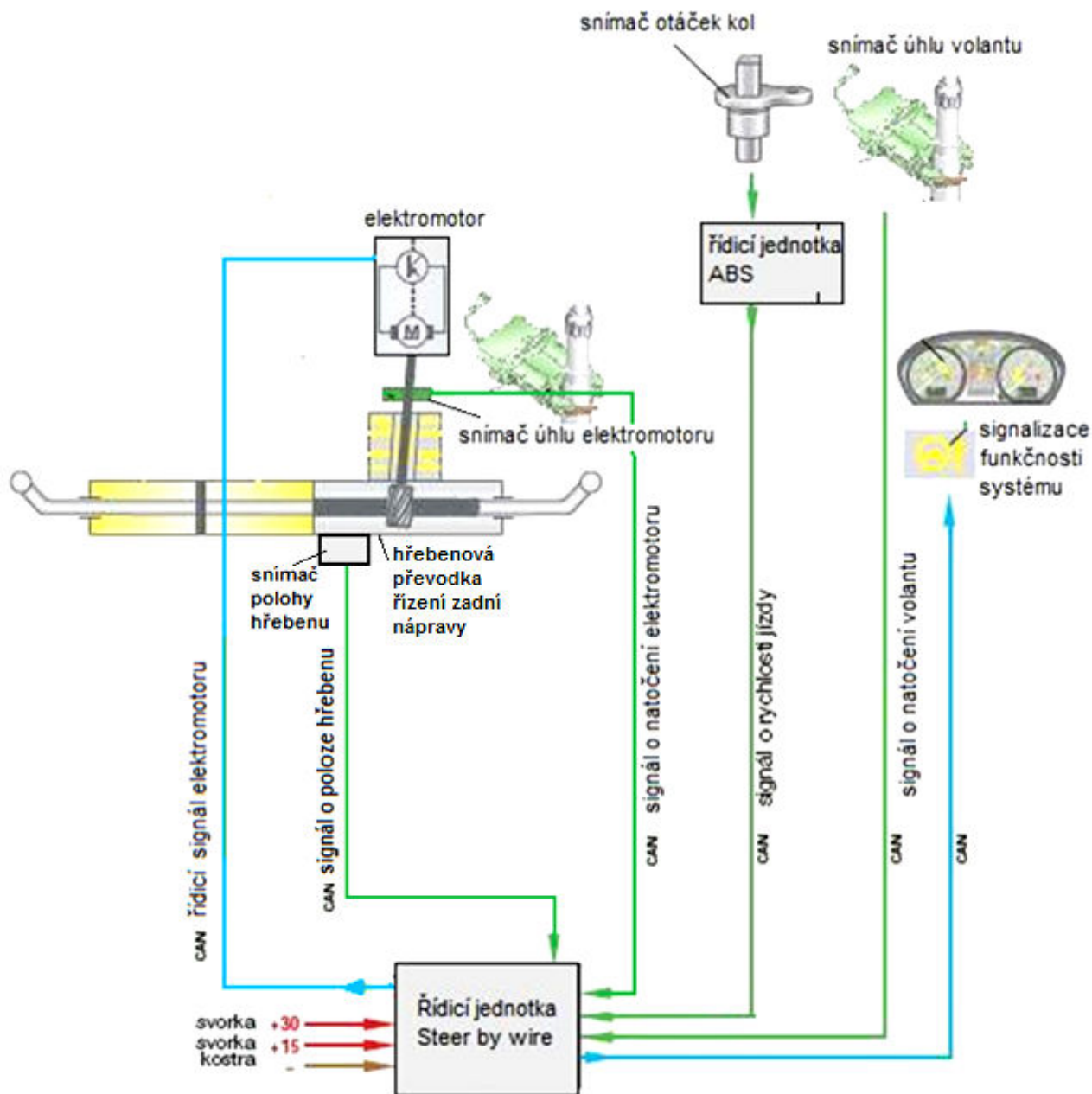
Pro aplikaci na řízení zadní nápravy s využitím technologie steer by wire zde však navrhuji jisté úpravy:

- Namísto elektrohydraulické čerpadlové jednotky bude použita čistě **elektronická řídicí jednotka** vybavena pamětí a řídicími programy.
- Na základě signálů od snímačů vstupních veličin (otáčky kol a úhel natočení volantu) řídicí jednotka vyhodnocuje jízdní situaci a volí příslušný řídicí podprogram (viz.kapitola 4.5.2), který transformuje na řídicí signál (viz.kapitola 4.4.2) pro **akční člen (elektromotor)**.
- **Řídicí signál pak určuje směr a rychlost otáčení elektromotoru.**
- **Na vstupním hřídeli hřebenové převodky řízení bude nasazen pastorek spojený s hřídelem elektromotoru.** Jeho otáčením dojde k posuvu ozubeného hřebenu a tím jsou již standardně vychylovány spojovací tyče mechanismu řízení a následně natáčena kola zadní nápravy.
- **Elektromotor bude opatřen snímačem úhlu natočení** pro kontrolu a určení jeho polohy. Poloha zadních kol bude navíc kontrolována snímačem polohy hřebenu v zadní převodce řízení. Tato zpětná vazba umožňuje kontrolu správné funkce systému a vyhodnocení případných kritických poruch (viz.kapitola 5.2)

**Pro vyšší bezpečnost systému je součástí návrhu také:**

- **Zálohování hlavních komponent** systému (viz.kapitola 5.3.2)
- **Zabezpečovací mechanismus pro aretaci zadních kol** v přímém směru (viz.kapitola 6.2), který bude aktivován v případě nouzového režimu.

## 4.2. Návrh uspořádání základních komponent

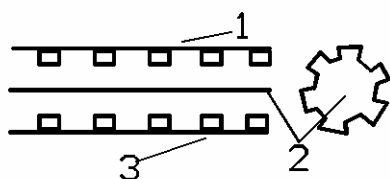


*Obr.4.2: Schéma navrženého systému steer by wire pro řízení zadní nápravy*

### 4.3. Snímání vstupních veličin

Pomocí snímačů na principu Hallova jevu lze rozpoznat pohyb (např. otáčení) snímaného prvku opatřeného ozubením. Pohybem ozubeného kola kolem Hallova snímače na permanentním magnetu je způsobena změna v magnet. poli.

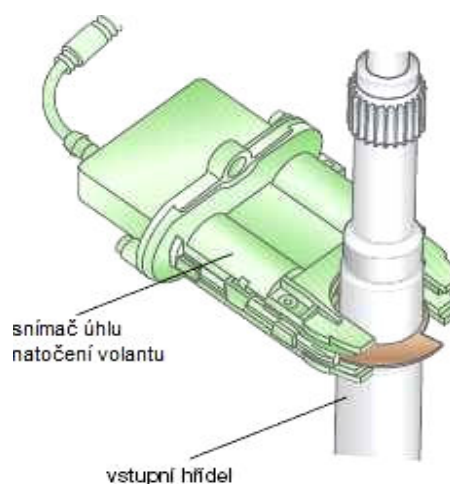
#### 4.3.1 Snímání polohy volantu Hallovými snímači



1 – kryt s permanentními magnety

2 – kódovací kotouč

3 - deska s plošnými spoji s Hallovými snímači



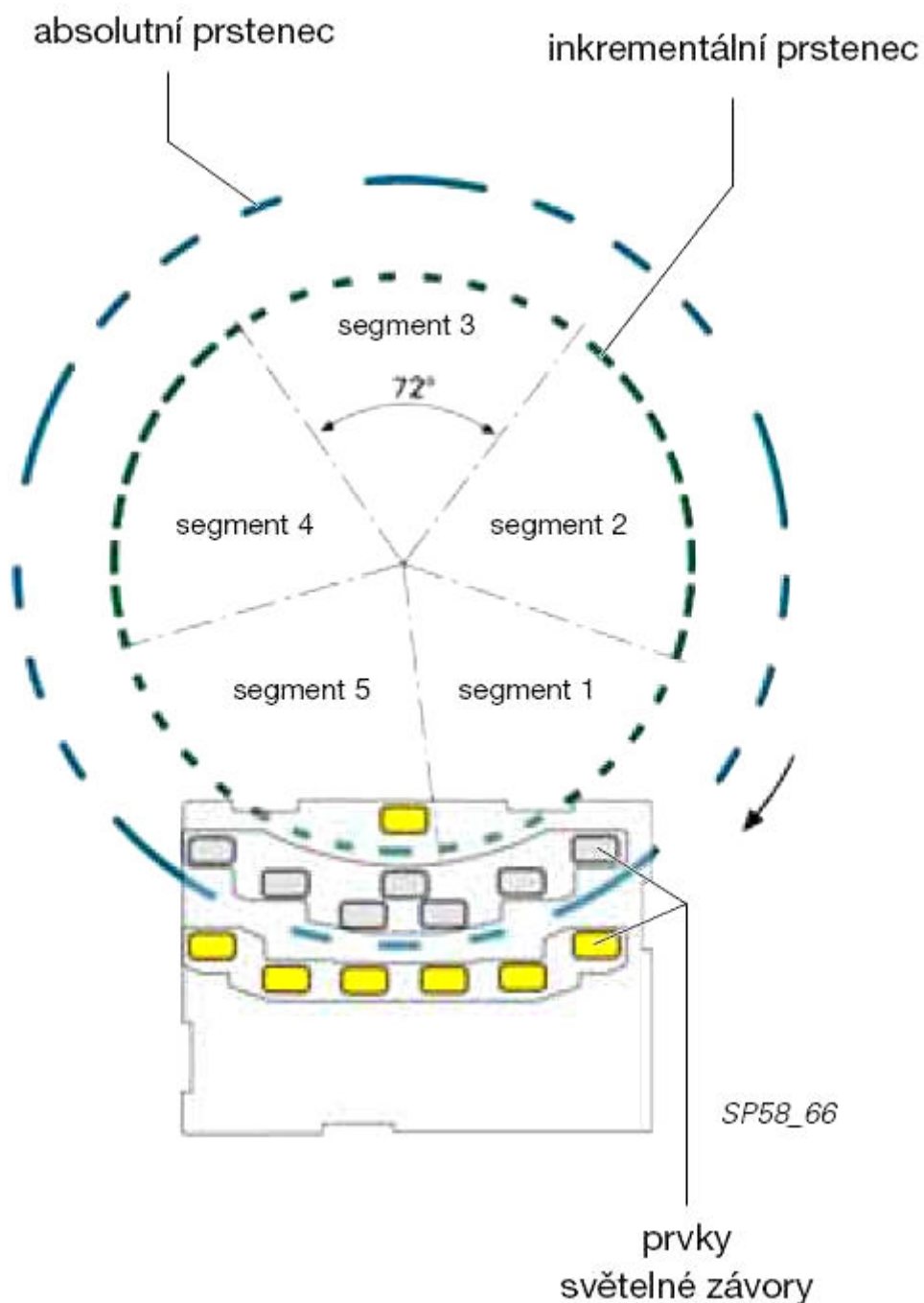
Obr.4.3.2: Snímač úhlu natočení volantu [7]

#### 4.3.2 Snímání úhlu a rychlosti natočení volantu optoelektronickým snímačem

Přesnější variantou snímání úhlu natočení volantu je optoelektronický snímač tvořený kódovacím kotoučem se dvěma kódovacími prstenci a 7 světelnými závorami, přičemž každá je tvořena vždy jedním zdrojem světla a jedním optickým snímačem. Kódovací kotouč je tvořen dvěma prstenci - vnějším (absolutním) a vnitřním (inkrementálním = přírůstkovým).

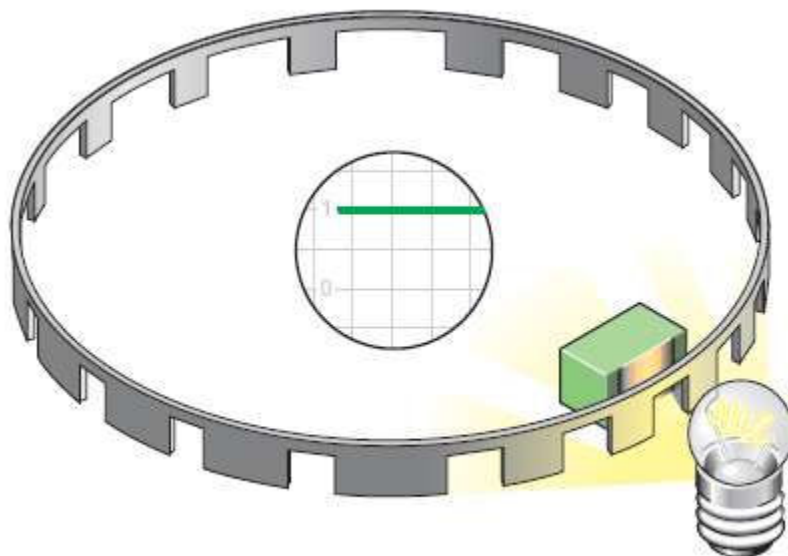
Inkrementální prsteneček je rozdělen do pěti částí (segmentů) s úhlem  $72^\circ$  a je snímán světelnou závorou. V inkrementálním prstenci jsou otvory (mezery). V každém segmentu jsou mezery různě široké, ale v rámci jednoho segmentu jsou mezery stále stejně velké. Tím je dáno kódování segmentů. Úhel určuje absolutní prsteneček, který je snímán šesti světelnými závorami. [7]

Snímač dokáže rozpoznat úplná otočení volantem (360°) a úhly stále přičítá. Je konstruován tak, že umožňuje změřit úhel  $\pm 1044^\circ$  ( $\pm 2,9$  otočení volantem).

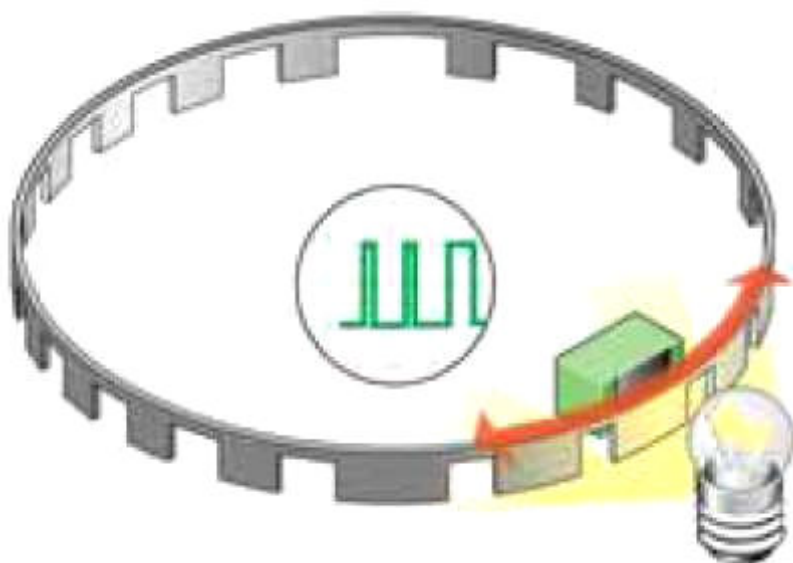


**Obr.4.3.2:** Kódovací prstence a prvky světelné závory optoelektrického snímače [7]

### Vznik signálu snímače:



*Obr.4.3.2a : Prochází-li světlo mezerou, dopadá na optický snímač, vzniká napětí.[7]*

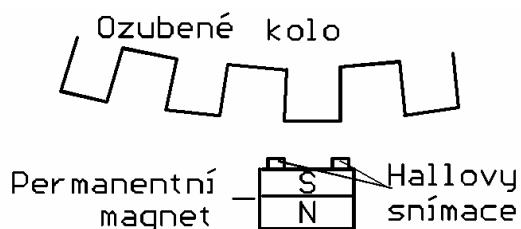


*Obr.4.3.2b : Otáčením inkrementálního prstence vzniká série signálních napětí.[7]*

Stejným způsobem vzniká na každé světelné závoře absolutního prstence série signálních napětí. Všechny série signálních napětí jsou vyhodnocovány v řídicí jednotce. Vzájemným porovnáváním signálů je systém schopen vypočítat, jak dalece se kódovací kotouč pootočil, přičemž se za výchozí polohu pohybu bere poloha absolutního prstence.[7]

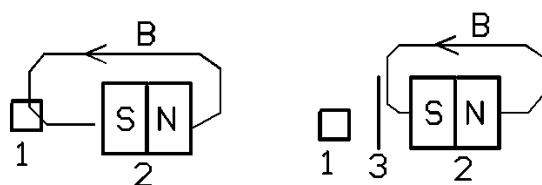
### 4.3.3 Hallův snímač otáček kol

K měření otáček kol je nejvhodnější diferenciální Hallův snímač. Diferenciální uspořádání Hallova snímače spočívá v plně integrovaném provedení. U těchto snímačů jsou dva kompletní Hallovy systémy umístěné v definované vzdálenosti na jednom čipu a příslušná elektronika (operační zesilovač) vyhodnocuje rozdíl obou Hallových napětí. Tyto snímače mají výhodu, že jejich výstupní signál je značně nezávislý na absolutní hodnotě intenzity magnetického pole a jeho diferenciální snímače snímají pouze prostorovou změnu magnetické indukce.



Obr.4.3.3a: Hallův snímač otáček [1]

Ve snímači otáček se často používají Hallovy závory (obr. 4.3.3a). Téměř uzavřeným magnetickým obvodem rotuje clonka, která při svém průchodu odvádí magnetický tok od snímače. Spolehlivá funkce je zajištěna, i když clonka proniká různě hluboko do závory.



Obr.4.3.3b: Hallůva závora [1]

1 – Hallův integrovaný obvod

2 – Permanentní magnet

3 – Pohyblivá clona

### 4.3.4 Snímání polohy hřebenu zadní nápravy

K průběžnému sledování polohy hřebenu řízení zadní nápravy lze využít odporového snímače dráhy. Pracuje na principu rezistoru, který můžeme zapojit jako potenciometr nebo reostat. Při změně polohy se pohyblivý kontakt (jezdec) posouvá vůči odporové dráze. Na výstupních kontaktech se objeví napětí odpovídající dané změně polohy.

#### 4.4. Akční člen - elektromotor

Pro ovládání natáčení zadních kol bude využito hřebenového řízení. Vstupní hřídel hřebenové převodky však bude natáčena akčním členem (elektromotorem). Otáčky elektromotoru pak způsobí vychýlení hřebenu do příslušného směru.

##### 4.4.1. Řídicí signál pro akční člen

Na základě signálů ze snímačů bude v řídicí jednotce zvolen podprogram pro řízení (viz.kapitola 4.5.2). Vybraný podprogram bude následně transformován na řídicí signál pro akční člen. Řídicí signál představuje řetězec impulzů a má určenou hodnotu spouštěcího napětí, kterým je aktivován silový obvod s elektromotorem. Podle vstupních parametrů je určena amplituda a frekvence impulzů, tím je dán okamžik a interval sepnutí krokového elektromotoru. Směr otáčení rozhoduje přepínač měnící polaritu napětí. Určitý počet otáček elektromotoru v daném směru pak odpovídá požadovanému úhlu natočení kol zadní nápravy.

Instrukce předávané akčnímu členu musí být přesné a musí být předávány velice rychle. Současná elektronika je schopna vyhodnocovat sledované parametry a přiřadit správné hodnoty výstupnímu signálu až tisíckrát za sekundu.

##### 4.4.2. Požadavky na elektromotor

Motor musí zajistit spolehlivé natočení zadních kol a musí být zajištěn potřebný točivý moment pro překonání třecích odporů na zadních kolech. S dynamikou natáčení kol souvisí také potřebný výkon a otáčky motoru. Důležité jsou také přechodové oblasti funkce motoru (rozběh a brzdění). Motor by také měl splňovat požadavky na odolnost vůči nepříznivým vlivům a provozním podmínkám (vliv teploty, vlhkost, prašnost prostředí). Energetická náročnost motoru musí být uzpůsobena možnostem napájení ze zdroje napětí 12V.

Navržená řešení: **a) stejnosměrný elektromotor s impulzním regulátorem**  
**b) střídavý asynchronní motor s napěťovým měničem**



### 4.4.3. Návrh sestavy elektromotoru

Celý elektromotor bude umístěn v hliníkové skříni, kterou bude chráněn před stříkající vodou či prachem a nečistotami. Točivý moment se bude na hřeben řízení přenášet hřídelem přes šnekový převod a pastorek pohonu. Přenos momentu z elektromotoru na pastorek bude zajištěn elektromagnetickou spojkou s vratnou pružinou. Bude-li systém 4WS v činnosti, bude elektromagnet pod napětím a spojka bude sepnuta. Vypnutím systému dojde k přerušení proudu a rozpojení spojky díky vratné síle v pružině. Na druhé straně hřídele rotoru bude umístěn snímač pro měření otáček motoru. Signál o otáčkách bude využívat řídicí jednotka jako zpětnou vazbu.

### 4.4.4. Návrh parametrů elektromotoru

#### Výpočet požadovaného momentu elektromotoru

Ke správnému fungování mechanismu řízení zadní nápravy je nutný dostatečný moment elektromotoru. Elektromotor musí překonávat několik odporů působících na mechanismus i na samotná rejdová kola. Jedná se zejména o vratný moment kol nápravy od příklonu rejdového čepu, moment vzniklý třením mezi kolem a vozovkou, momenty vznikající třením v mechanismu řízení a momenty setrvačnosti všech pohyblivých částí mechanismu.

#### Celkový moment potřebný k natočení kol:

$$M = \frac{M_{vrat.} + M_{tření kol} + M_{tření mech}}{i} \quad (2)$$

...kde  $M_{vrat.}$  je vratný moment od příklonu osy rejdového čepu

$M_{tření kol}$  je moment od tření mezi koly a vozovkou

$M_{tření mech}$  je moment od tření v mechanismu řízení

$i$  je převodový poměr v převodce řízení

### Výpočet vratného momentu od příklonu osy rejdového čepu:

Svislé zatížení 1 kola :  $F_{ZK} = 2452,5\text{N}$

Úhel příklonu rejdové osy  $\sigma = 5^\circ$

Maximální úhel natočení kola :  $\alpha_{2\text{MAX}} = 20^\circ$

Dynamický poloměr kola :  $r_d = 270\text{ mm}$

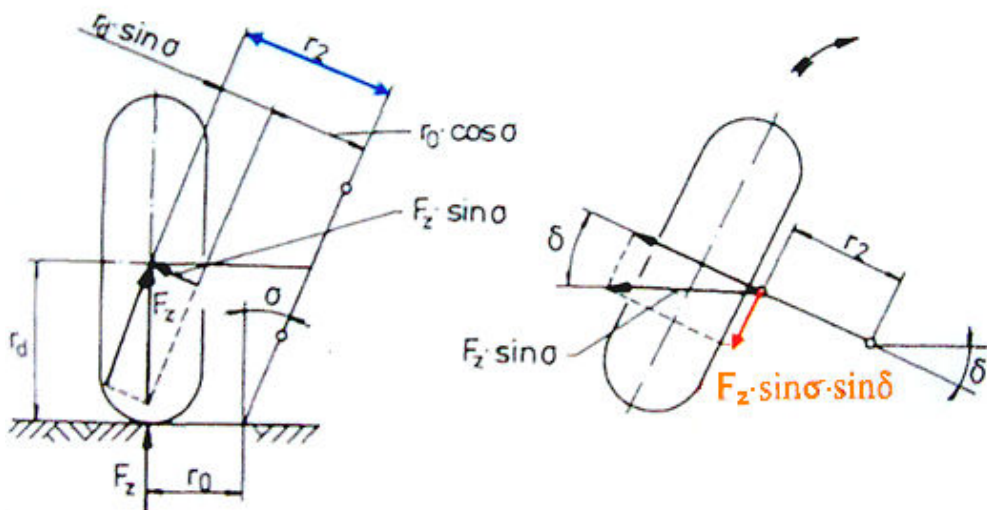
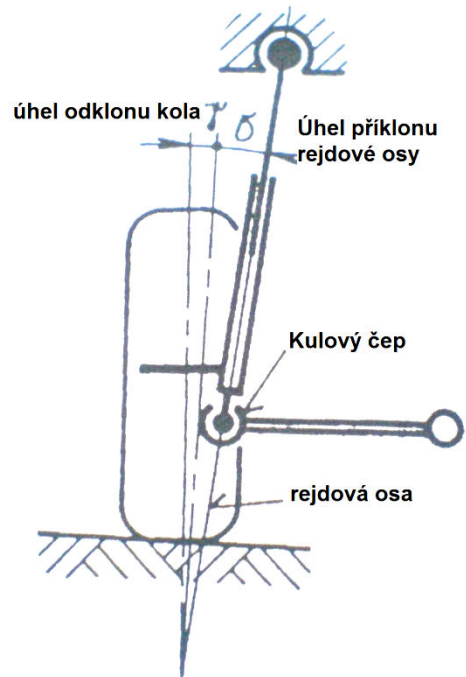
Poloměr rejdu  $r_o = 60\text{ mm}$

Rameno působícího vratného momentu:

$$r_2 = r_d \cdot \sin\sigma + r_o \cdot \cos\sigma \quad (3)$$

$$r_2 = 270 \cdot \sin 5^\circ + 60 \cdot \cos 5^\circ$$

$$r_2 = 83,3\text{ mm}$$



**Obr.4.4.4:** určení vratného momentu vlivem příklonu rejdové osy [1]

**Vratný moment kola od příklonu rejdové osy :**

$$M_{\text{vrat.1}} = F_z \cdot \sin\sigma \cdot \sin\delta \cdot r_2 \quad (4)$$

$$M_{\text{vrat.1}} = 2452,2 \cdot \sin 5^\circ \cdot \sin 20^\circ \cdot 83,3$$

$$M_{\text{vrat.1}} = 2452,2 \cdot 0,087 \cdot 0,342 \cdot 83,3$$

$$M_{\text{vrat.1}} = 6077,8\text{ Nmm}$$

**Celkový vratný moment kol zadní nápravy:**

$$M_{\text{vrat.}} = 2 \cdot M_{\text{vrat.1}} = 12155,6\text{ Nmm}$$

### Výpočet momentu od tření kol s vozovkou

Maximální moment od tření mezi koly a vozovkou působí při nulové rychlosti. Dochází ke tření dotykové plochy pneumatiky o vozovku. Orientačně lze počítat s hodnotou koeficientu tření mezi pryží na suché vozovce  $\mu_1 = 0,25$ . Odvalování kol se tření značně snižuje a při vyšších rychlostech je jeho hodnota zanedbatelná.

$$M_{\text{tření kol}} = 2 \cdot \mu_1 \cdot F_{ZK} \cdot r_0 = 2 \cdot 0,25 \cdot 2452 \cdot 60 = 73\,566 \text{ Nmm}$$

### Výpočet momentu od tření v mechanismu řízení

Tření v mechanismu řízení je zanedbatelné, pokud jsou čepy a podložky v mechanismu řízení vhodně mazány. Použitím axiálního ložiska a kulového kloubu je tření minimalizováno. Hodnotu koeficientu tření v mechanismu lze pak uvažovat  $\mu_2 = 0,015$ . Střední průměr čepu volím 30 mm.

$$M_{\text{tření mech}} = F_T \cdot d_{\text{stř.}} = 2 \cdot F_{ZK} \cdot \mu_2 \cdot d_{\text{stř.}} = 2 \cdot 2452,2 \cdot 0,015 \cdot 30 = 2206,9 \text{ Nmm}$$

### Celkový moment potřebný k natočení kol do maximálního úhlu rejdu:

a) Při nulové rychlosti jízdy (maximální tření mezi koly a vozovkou)

$$M = \frac{M_{\text{vrat.}} + M_{\text{tření kol}} + M_{\text{tření mech.}}}{i}$$
$$M = \frac{12155,6 + 73566 + 2206,9}{12,857} = 6839 \text{ Nmm}$$

b) Při jízdě (zanedbatelný moment od tření kol)

$$M = \frac{12155,6 + 2206,9}{12,857} = 1117,1 \text{ Nmm}$$

### Moment potřebný k natočení kol zpět do přímého směru:

$$M = \frac{-12155,6 + 2206,9}{12,857} = -773,8 \text{ Nmm}$$

Výpočet momentu potřebného k natočení kol vychází z hodnot geometrie kol odpovídající běžnému osobnímu automobilu. Jedná se však pouze o orientační hodnoty. Pro konkrétní vozidlo je nutné dosadit přesné parametry zatížení kola,

příklonu osy rejdového čepu a hodnoty maximálního úhlu natočení kol a podle výsledné hodnoty celkového momentu vybrat vhodný elektromotor.

#### 4.4.5. Stejnosměrný elektromotor AMER MP80

Parametry zvoleného motoru

MP 80

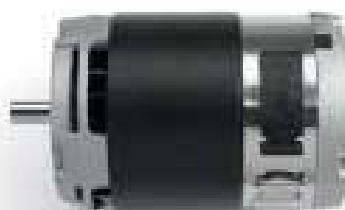
Napájení : 12V

Výkon : 250W

Otáčky :  $n_1 = 1500 \text{ot/min.}$

Ochranné krytí IP44 proti vodě

Možnost připojení el.mag. brzdy



MP80S/2 B14

B14



Type	IEC	A	B	C	D	E	F	H	J	K	L*	M	N	P	Q	R
B14	63	-	-	-	11	23	M5	-	-	-	142	75	60	-	3	114
	71	-	-	-	14	30	M6	-	-	-		85	70	-	2.5	

Obr.4.4.5a: Rozměry provedení MP80S/2 B14[20]

Pro regulaci směru otáčení a intervalu sepnutí je nutné navíc použít impulzní regulátor otáček elektromotoru.

## Převodovka elektromotoru

Pro dosažení vhodného točivého momentu a otáček je zapotřebí připojit k elektromotoru převodovku. Odpovídající parametry pro motor výkonu 250W má šneková převodovka se samosvorným převodem. (viz. **Obr.4.4.5b**)

Typ	ot/min	i =	Nm	SF	kg
MRT40	200	7	10	>3	8,5
MRT40	140	10	14	>3	8,5
MRT40	93	15	20	2,2	8,5
MRT40	70	20	26	1,5	8,5
MRT40	50	28	32	1,5	8,5
MRT40	35	40	42	1,0	8,5

**Obr.4.4.5b:** Parametry převodovky MRT40 firmy Varvel

Výstupní otáčky z převodovky:  $n_2 = 93$  ot/min.

**Rychlost otáčení vstupního hřídele zadní převodky řízení :**

$$\omega_1 = \frac{n_2 \cdot 360}{60} = \frac{93 \cdot 360}{60} = 558^\circ / s \quad (5)$$

**Doba natočení zadních kol do max. rejdu :**

$$t_1 = \frac{\alpha_{2\max} \cdot i}{\omega_1} \quad (6)$$

...kde  $\alpha_{2\max}$  je max. úhel rejdu zadních kol

$i$  je převodový poměr v hřebenové převodce řízení

a) Při rychlosti jízdy (do 40 km/h) - max. úhel rejdu zadních kol je  $20^\circ$

$$t_1 = \frac{\alpha_{2\max} \cdot i}{\omega_1} = \frac{20 \cdot 12,857}{558} = \frac{257}{558} = 0,46 \text{ s}$$

b) Při vyšší rychlosti jízdy (nad 40 km/h) - max. úhel rejdu zadních kol je  $5^\circ$

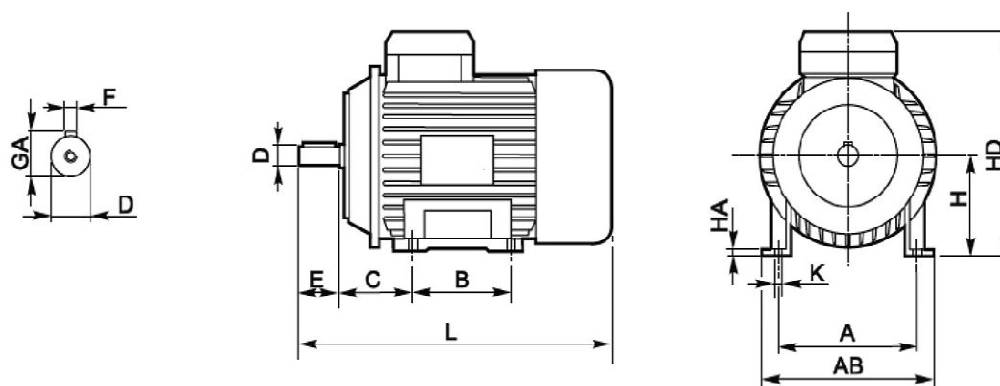
$$t_2 = \frac{\alpha_{2\max} \cdot i}{\omega_1} = \frac{5 \cdot 12,857}{558} = \frac{64,285}{558} = 0,115 \text{ s}$$

#### 4.4.6. Asynchronní elektromotor

Asynchronní motory nemají stálé magnetické pole ani elektrické buzení. Vzhledem k tomu, že rychlost rotoru a rychlost magnetického pole statoru nejsou stejné, nazývají se takovéto motory asynchronní. Asynchronní motory nepoužívají kartáče, jsou proto provozně velmi spolehlivé. Navíc asynchronní motory reagují velmi rychle, a proto se hodí i pro použití na řízení. Podrobnosti viz **obr.4.4.6** :

#### Parametry zvoleného asynchronního motoru ESV 05 71B3

<b>Výkon:</b>	0.37 kW
<b>Otáčky:</b>	1400 min <sup>-1</sup>
<b>Počet pólů:</b>	4
<b>Napětí:</b>	230V/400V 50Hz
<b>Krytí:</b>	IP55, Hliníkový plášť
<b>Pro teplotu okolí:</b>	Od -30°C do +40°C
<b>Třída izolace:</b>	93
<b>Pro nadmořskou výšku:</b>	do 1000m
<b>Standardní nátěr:</b>	RAL5010



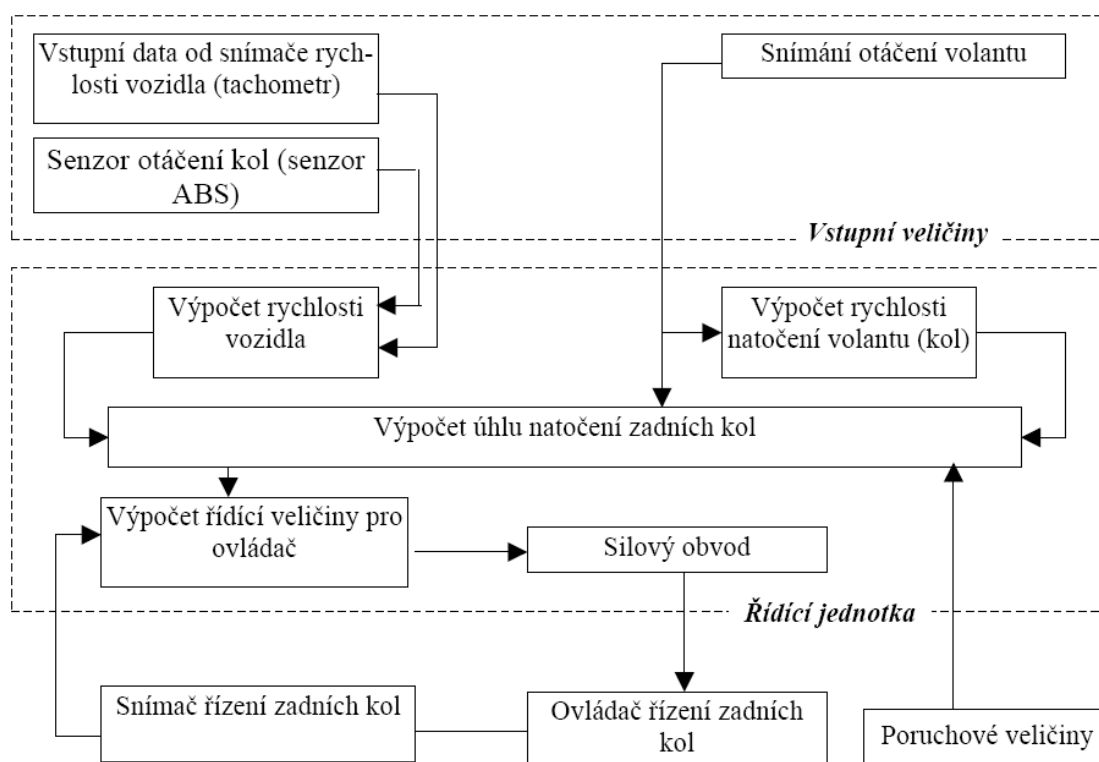
	B3												
	C	D	E	F	GA	L	AB	A	B	H	HA	HD	K
56	36	9	20	3	10.2	195	110	90	71	56	6	129	5.8
63	40	11	23	4	12.5	210	117	100	80	63	7	148	7
71	45	14	30	5	16.0	234	135	113	90	71	7	172	7

**Obr.4.4.6:** Rozměry asynchronního motoru ESV 05 71B3[21]

**Pro aplikaci ve vozidle se stejnosměrným napětím 12V je nutno použít měnič na střídavé napětí.**

## 4.5. Řídicí jednotka

Signály ze snímačů jsou neustále vyhodnocovány v procesoru řídicí jednotky. Hodnoty otáček kol ze senzorů ABS jsou přepočítávány na rychlost jízdy. Ze signálu snímače natočení volantu je vypočítán úhel natočení volantu. Tyto hodnoty jsou následně porovnány s hodnotami a podmínkami uloženými v paměti ŘJ. K tomu je možné využít ukládání dat do tabulky v paměti procesoru. Na základě naprogramovaných pravidel se ŘJ rozhoduje mezi jednotlivými podprogramy pro řízení zadní nápravy. Propojením řídicí jednotky s počítačem je možné paměť a uložené řídicí podprogramy diagnostikovat, případně také přeprogramovat a upravit pro různé požadavky a provozní podmínky. Je tak možné nastavit například jiný převodový poměr pro úhel natočení kol zadní nápravy.



**Obr.4.5:** Blokové schéma systému a funkce řídicí jednotky [5]

### 4.5.1. Funkce řídicí jednotky

Řídicí jednotka zpracovává signály ze snímačů získává tak hlavní vstupní veličiny : **úhel natočení volantu  $\beta_v$ , rychlost jízdy vozidla  $v$** , dále také kontrolní veličiny jako je **úhel natočení akčního členu a poloha hřebenu řízení zadní nápravy** a poruchové veličiny nesoucí informaci o funkčnosti jednotlivých komponent (viz. **obr. 4.5**)

Podle rychlosti jízdy a úhlu natočení volantu je pak vypočítána hodnota úhlu natočení zadních kol pro jízdu v nízkých rychlostech a hodnota úhlu ve vysokých rychlostech. Vypočítaná hodnota úhlu natočení kol odpovídá určitému intervalu sepnutí silového obvodu s akčním členem. Sepnutí akčního členu je realizováno řídicím signálem o určité hodnotě spouštěcího napětí.

### 4.5.2. Návrh řídicích podprogramů

#### Řídicí podprogram „0“ pro přímou jízdu

- rychlost libovolná  $v \in \{R\}$
- úhel natočení volantu  $\beta_v = 0$  ,

Přímá jízda nevyžaduje zásah do řízení. Elektromotor je tedy v klidu. Tento program lze využít také pro nouzový režim při vyhodnocení kritické poruchy některé z komponent systému.

PODPROGRAM "0" pro přímý směr jízdy	
úhel natočení volantu	$\beta_v = 0$
střední úhel natočení předních kol	$\alpha_1 = 0$
střední úhel natočení zadních kol	$\alpha_2 = 0$



## Řídicí podprogram "P1" pro zatáčení vpravo při nízkých rychlostech

- rychlost jízdy  $v \leq 40\text{km/h}$  ( $v \leq 11\text{m/s}$ )

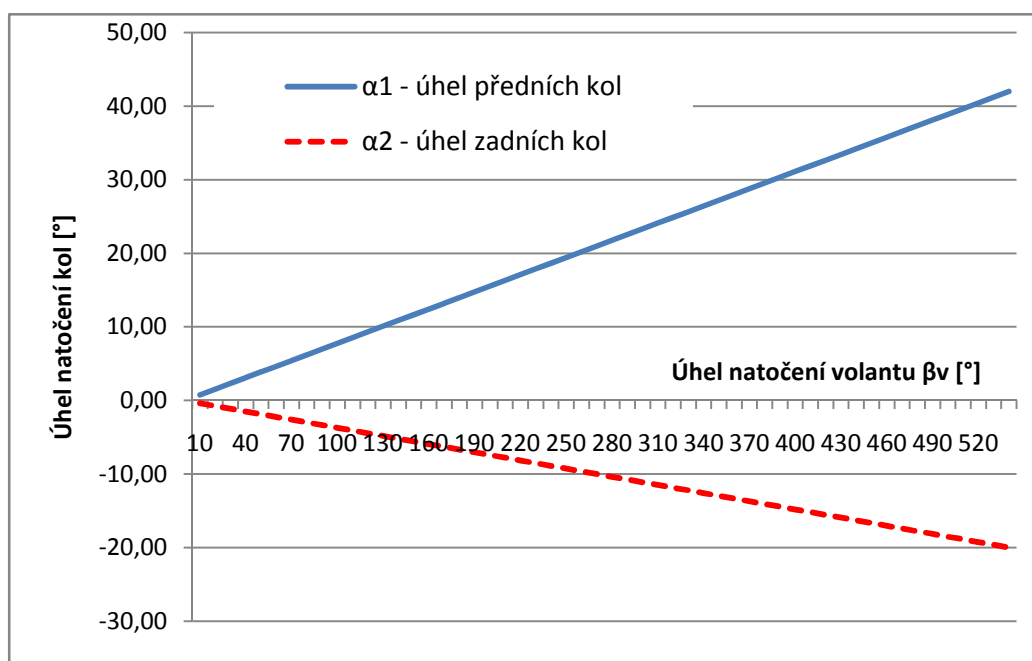
Program vychází z předpokladu nízké rychlosti jízdy. Například při parkování nebo otáčení vozidla, kdy je vhodné dosažení co nejmenšího poloměru zatáčení. Proto je výhodnější nesouhlasné natočení zadních kol. Při maximálním rejdu dochází k natočení předních kol o střední úhel  $\alpha_{1\text{MAX}} = 42^\circ$ . Této hodnotě bude odpovídat maximální střední úhel rejdu zadních kol, omezený na hodnotu  $\alpha_{2\text{MAX}} = -20^\circ$ .

**Převodový poměr mezi natočením**

kol přední a zadní nápravy je tedy:

$$i_1 = \frac{\alpha_{1\text{MAX}}}{\alpha_{2\text{MAX}}} = \frac{42}{-20} = -2,1$$

PODPROGRAM "P1" pro zatáčení vpravo	
úhel natočení volantu	$0 < \beta_v \leq 540^\circ$
střední úhel natočení předních kol	$0 < \alpha_1 \leq 42^\circ$ $\alpha_1 = \beta_v / 12,857$
střední úhel natočení zadních kol	$0 > \alpha_2 \geq -20^\circ$ $\alpha_2 = \alpha_1 / -2,1$
otáčky vstupního hřídele	$n_{p2} = 93\text{ot/min.}$
Interval sepnutí pro max. úhel rejdu	$T_{1\text{max}} = 0,46\text{ s}$



**Graf 1 :** Závislost nesouhlasného natočení předních kol  $\alpha_1$  a zadních kol  $\alpha_2$  na úhlu natočení volantu  $\beta_v$

## Řídicí podprogram "L1" pro zatáčení vlevo při nízkých rychlostech

- rychlost jízdy  $v \leq 40\text{km/h}$  ( $v \leq 11\text{m/s}$ )

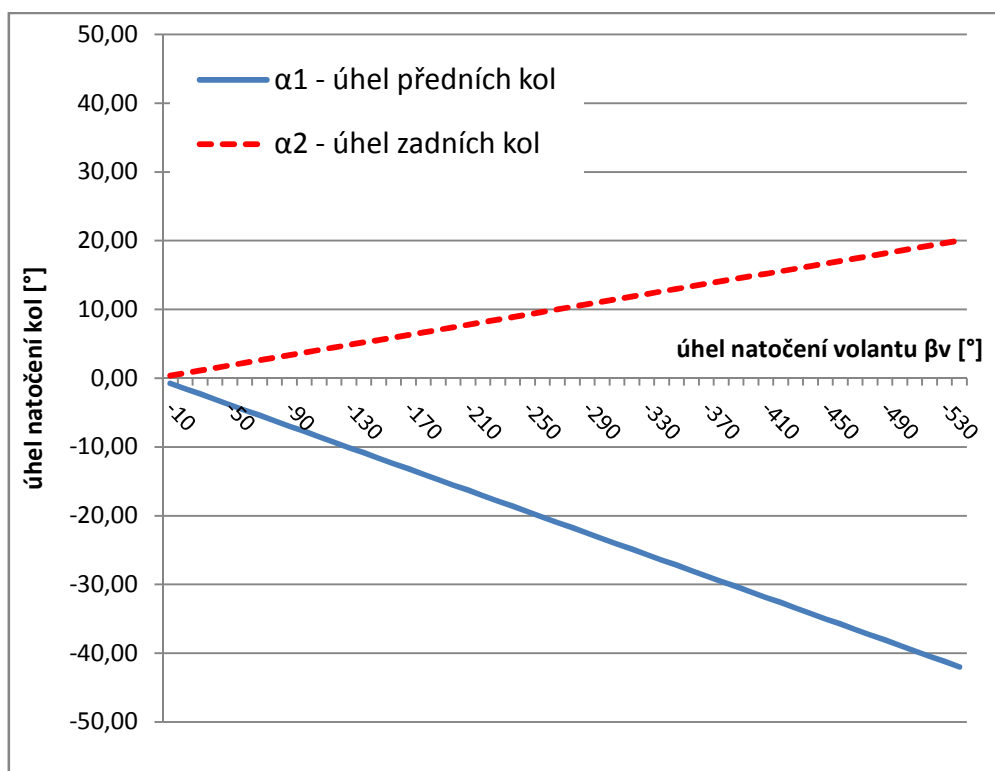
Program „L1“ pracuje obdobně jako program „P1“. Zadní kola se také natáčejí nesouhlasně. Směr otáčení elektromotoru je však opačný.

Převodový poměr mezi natočením

kol přední a zadní nápravy je :

$$i_1 = \frac{\alpha_{1\text{MAX}}}{\alpha_{2\text{MAX}}} = \frac{-42}{20} = -2,1$$

PODPROGRAM "L1" pro zatáčení vlevo		
úhel natočení volantu	$0 > \beta_v \geq -540^\circ$	
střední úhel natočení předních kol	$0 > \alpha_2 \geq -42^\circ$	$\alpha_1 = \beta_v / 12,857$
střední úhel natočení zadních kol	$0 \leq \alpha_2 \leq 20^\circ$	$\alpha_2 = \alpha_1 / -2,1$
otáčky vstupního hřídele	$n_{p2}=93\text{ot/min.}$	
Interval sepnutí pro max. úhel rejdu	$T_{1\text{max}} = 0,46 \text{ s}$	



**Graf 2:** Závislost nesouhlasného natočení předních kol  $\alpha_1$  a zadních kol  $\alpha_2$  na úhlu natočení volantu  $\beta_v$

## Řídicí podprogram "P2" pro zatáčení vpravo při vyšších rychlostech

- rychlost jízdy  $v > 40\text{km/h}$  ( $v > 11\text{m/s}$ )

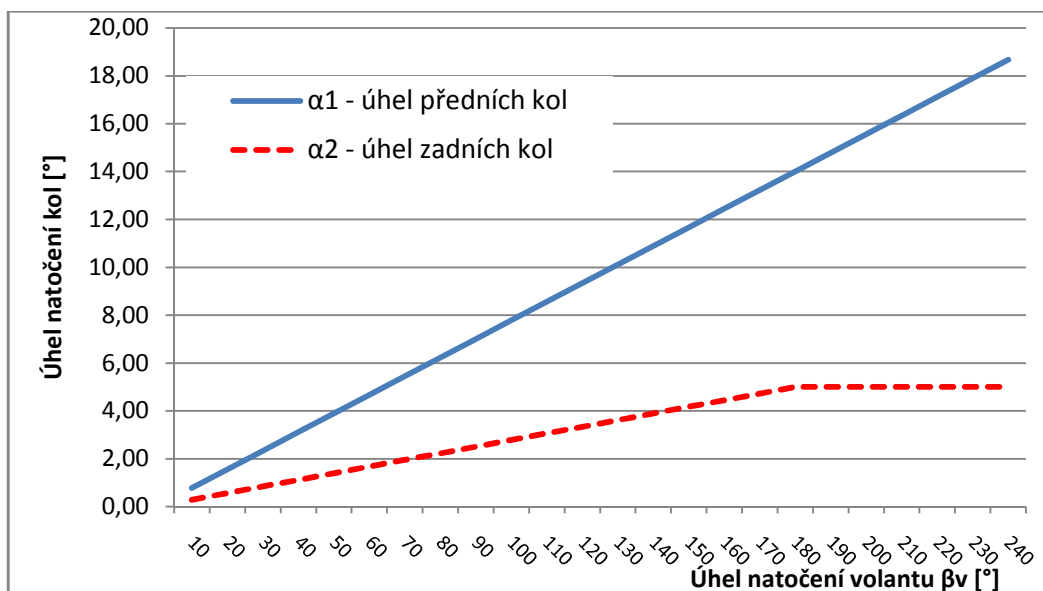
Podprogram vychází z rychlosti jízdy vyšší než 40km/h. Například při předjíždění nebo při vyhýbacím manévru. Pro tyto situace je výhodnější souhlasné natočení zadních kol. Při vyšších rychlostech je předpokládáné natočení volantu do 180°, které odpovídá natočení předních kol  $\alpha_{1(180)} = 14^\circ$ . Z hlediska stability je žádoucí, aby kola zadní nápravy dosahovala maximálního středního úhlu  $\alpha_{2\text{MAX}} = 5^\circ$ . (viz graf č. 3)

**Převodový poměr mezi natočením**

**kol přední a zadní nápravy pak je:**

$$i_2 = \frac{\alpha_{1(180)}}{\alpha_{2\text{MAX}}} = \frac{14}{5} = 2,8$$

PODPROGRAM "P2" pro zatáčení vpravo		
úhel natočení volantu	$0 < \beta_v \leq 180$	
střední úhel natočení předních kol	$0 < \alpha_1 \leq 14$	$\alpha_1 = \beta_v / 12,857$
střední úhel natočení zadních kol	$0 < \alpha_2 \leq 5$	$\alpha_2 = \alpha_1 / 2,8$
otáčky	$n_{P2} = 93\text{ot/min.}$	
Interval sepnutí pro max. úhel rejdu $5^\circ$	$T_{2\text{max}} = 0,115\text{s}$	



**Graf 3:** Závislost souhlasného natočení předních kol  $\alpha_1$  a zadních kol  $\alpha_2$  na  $\beta_v$

## Řídicí podprogram "L2" pro zatáčení vlevo při vyšších rychlostech

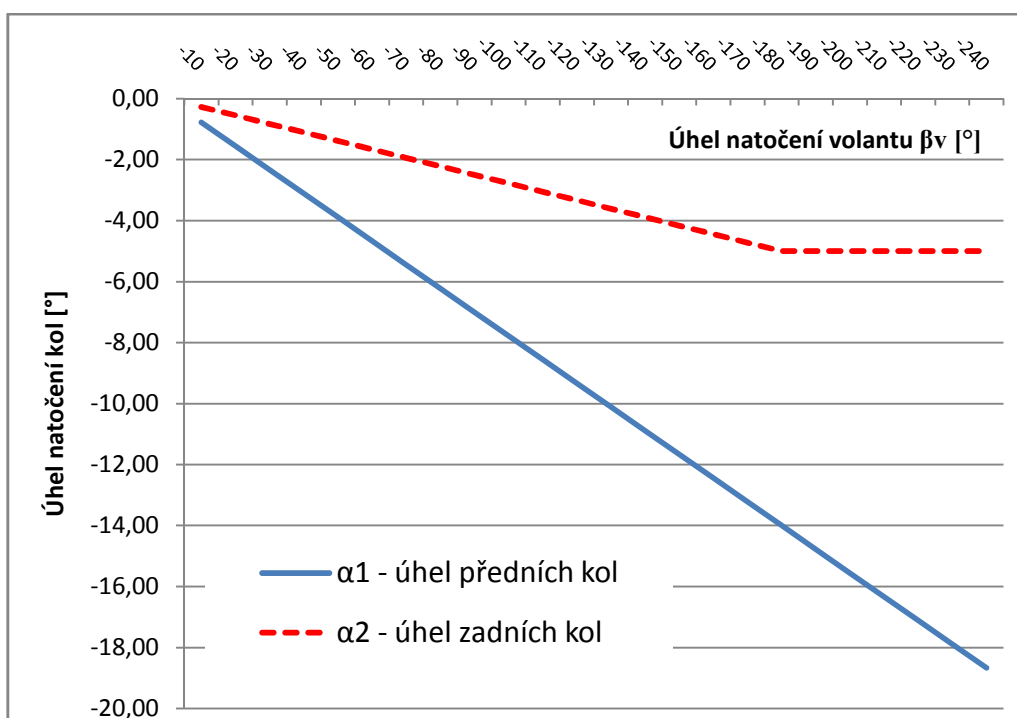
- rychlost jízdy  $v > 40\text{km/h}$  ( $v > 11\text{m/s}$ )

Podprogram „L2“ pracuje obdobně jako podprogram „P2“. Zadní kola se natáčejí souhlasně až do středního úhlu  $\alpha_{2\text{MAX}} = -5^\circ$ . Směr otáčení elektromotoru je však opačný. (viz graf č. 4)

Převodový poměr mezi natočením kol přední a zadní nápravy pak je:

$$i_2 = \frac{\alpha_1(180)}{\alpha_{2\text{MAX}}} = \frac{-14}{-5} = 2,8$$

PODPROGRAM "L2" pro zatáčení vlevo		
úhel natočení volantu	$-180 < \beta_v \leq 0$	
střední úhel natočení předních kol	$0 > \alpha_1 \geq -14$	$\alpha_1 = \beta_v / 12,857$
střední úhel natočení zadních kol	$0 > \alpha_2 \geq -5$	$\alpha_2 = \alpha_1 / 2,8$
otáčky vstupního hřídele	$n_{P2} = 93\text{ot/min.}$	
Interval sepnutí pro max. úhel rejdu $5^\circ$	$T_{2\text{max}} = 0,115\text{s}$	



Graf 4 : Závislost souhlasného natočení předních kol  $\alpha_1$  a zadních kol  $\alpha_2$  na  $\beta_v$

## 5. Analýza spolehlivosti navrhovaného systému

V případě kritického selhání některé z komponent systému (např. porucha řídicí jednotky nebo zkrat či zadření elektromotoru) by mohlo dojít k nežádoucímu pohybu vozidla nebo zásadnímu narušení stability. Následkem takové situace by mohlo být vážné ohrožení bezpečnosti posádky nebo dokonce kolize s protijedoucím vozidlem apod. Navrhovaný systém je proto podrobně analyzovat i z hlediska případných poruch jeho komponent. Prevence poruch je lepší než jejich pozdější odhalování a odstraňování. Systematický postup pro odhalování možných příčin poruch konstrukcí, nebo procesů, a jejich předcházení již v etapě návrhu je analýza FMEA

### 5.1. Analýza FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).

FMEA je systematická procedura, která zajišťuje, že bude uděláno všechno pro vyloučení všech myslitelných poruch konstrukce nebo procesu, popř. pro zmírnění jejich následků. Poprvé byla použita v projektu Apollo, dnes je povinná v leteckém průmyslu, velmi rozšířená je v automobilním průmyslu, i v elektrotechnické, elektronické a přístrojové technice. Je doporučována normami ISO 9000. [6]

#### Základní kroky FMEA

- 1) Formulace úlohy a vytvoření týmu FMEA.
- 2) Analýza konstrukce nebo procesu.
- 3) Odhalení všech potenciálních způsobů poruch.
- 4) Stanovení možných následků každé poruchy.
- 5) Ohodnocení závažnosti, pravděpodobnosti (četnosti) výskytu a pravděpodobnosti odhalení každé poruchy.
- 6) Výpočet míry rizika (RPN) pro každou poruchu.
- 7) Výběr nejzávažnějších možných poruch.
- 8) Návrh nápravných opatření.
- 9) Opakování FMEA a výpočet výsledné míry rizika.
- 10) Uskutečnění nápravných opatření.

### 5.1.1. Formulace úlohy FMEA

FMEA - „kolektivní záležitost“ - využívají se znalosti z různých oborů: „projekt - technologie - výroba/montáž - užití“. Pro každou úlohu (analýzu) je vytvořen zvláštní tým a po jejím skončení je rozpuštěn. Vedoucím týmu je tzv. „moderátor“. Před zahájením je nutno formulovat účel analýzy FMEA, dohodnout kompetence týmu, vztah k managementu a zodpovědnost za nápravná opatření, rozpočet a termín pro analýzu.[6]

### 5.1.2. Analýza konstrukce nebo procesu

**FMEA konstrukce (výrobku).** Cíl: odhalit problémy, které mohou způsobit havárii, ohrožení bezpečnosti, špatnou funkci nebo zkrácení života. Hlavní otázka: „Jak může výrobek selhat?“

**FMEA procesu.** Cíl: odhalit možné problémy při výrobě, montáži nebo stavbě. Uvažovat aspekty: „lidé - materiál - zařízení - metody - prostředí“. Hlavní otázka: „Jak může porucha procesu ovlivnit výrobek, účinnost procesu nebo bezpečnost?“. [6]

### 5.1.3. Odhalení možných způsobů poruch

Před zahájením FMEA se každý člen týmu musí podrobně seznámit s potřebnou dokumentací. Následuje společné vyhledávání všech možných způsobů poruch, které mohou ovlivnit kvalitu, spolehlivost a bezpečnost výrobku (procesu) během jeho celkového užitečného života. [6]

### 5.1.4. Stanovení možných následků poruch

- a) Všechny možné způsoby poruch se zapíše do zvláštního formuláře FMEA.
- b) Pro každý způsob poruchy se identifikují všechny možné následky (některá porucha jich může mít více) a zapíše do formuláře.
- c) Zapiší se také všechny možné příčiny jednotlivých poruch. [6]

### 5.1.5. Ohodnocení závažnosti, četnosti výskytu a pravděpodobnosti odhalení každé poruchy

Každému následku každé poruchy se přiřadí 3 čísla, charakterizující závažnost, četnost (pravděpodobnost) výskytu, a pravděpodobnost odhalení -- a zapíše se do formuláře. Klasifikace: bodové ohodnocení (1 - 10): 1 - nejlepší, 10 - nejhorší případ. [6]

Příklady:

Závažnost (následek) poruchy:

- 10 - velmi nebezpečný, porucha může způsobit smrt nebo vážné zranění,
- 1 - zanedbatelný, porucha je nepostřehnutelná.

Četnost výskytu:

- 10 - velmi vysoká, porucha téměř nevyhnutelná,
- 1 - zanedbatelná, porucha je nepravděpodobná.

Pravděpodobnost včasného odhalení:

- 10 - nulová; objekt není kontrolován, nebo poruchu nelze detekovat,
- 1 - téměř jistá, začínající porucha je zjevná, objekt je pravidelně (a 100%) kontrolován.

### 5.1.6. Výpočet míry rizika - RPN (Risk Priority Number)

Pro každou poruchu se vypočítá tzv. rizikové číslo (risk priority number)

„ $RPN = \text{Závažnost} \times \text{Četnost} \times \text{Detekce}$ “ (může být mezi 1 a 1000)

Je také možno sečíst RPN pro jednotlivé poruchy = RPN celé konstrukce. [6]

### 5.1.7. Výběr nejzávažnějších poruch

Jednotlivé poruchy se seřadí podle jejich celkové nebezpečnosti (podle - RPN). Tým FMEA stanoví mezní hodnotu RPN\*, a bude dále usilovat o zmírnění závad, jejichž  $RPN > RPN^*$ .

Pozornost je ale nutno věnovat všem poruchám, které měly velmi vysoké (8 - 10) hodnocení závažnosti následků, četnosti výskytu nebo nemožnosti včasného odhalení. [6]

#### **5.1.8. Návrh nápravných opatření**

Členové týmu společně navrhnou opatření pro snížení míry rizika (RPN) vytipovaných případů. Snížení lze dosáhnout jakýmkoliv způsobem z oblasti "závažnost - četnost - detekce". Nejlepším řešením je eliminovat příčinu dané poruchy (např. jiným konstrukčním řešením nebo volbou vhodnějšího materiálu) - potom se nemusí ani snižovat její nebezpečnost, ani zlepšovat možnost včasného odhalení apod.

Zlepšení detekce (např. umístěním snímačů nebo pravidelnými prohlídkami) omezuje možnost vzniku závažné poruchy, ale neznamená skutečné zlepšení konstrukce. [6]

#### **5.1.9. Výpočet výsledné míry rizika po úpravě**

Pro každou upravenou položku se znovu ohodnotí "závažnost" - "četnost" - "detekce", vypočítá se její nová hodnota RPN a zapíše do formuláře FMEA.

Rovněž se vypočítá a zapíše opravená součtová hodnota RPN pro celou konstrukci (stavbu nebo proces). Porovnání s původní hodnotou ukáže, jak účinná byla analýza FMEA, popř. pozměňovací návrhy. [6]

#### **5.1.10. Uskutečnění nápravných opatření**

Doporučená opatření se zapíše do formuláře FMEA, kde se uvedou i termíny a zodpovědní pracovníci, ale také osoby, které budou kontrolovat jejich splnění. [6]



### 5.1.11. Závěr a vyhodnocení analýzy

FMEA může významně snížit podíl chyb vznikajících při návrhu, výrobě nebo stavbě, ale i kolaudačních závad a poruch během života. Tímto způsobem FMEA snižuje náklady a zvyšuje bezpečnost, spolehlivost a kvalitu. Často vede i ke zlepšení konstrukce. [6]

### 5.1.12. Ukázka formuláře pro FMEA

Výsledky z analýzy způsobů a následků poruch včetně míry jejich rizika a doporučených nápravných opatření se zaznamená do formuláře (viz.obr.5.1.12)

Výrobek (objekt) : \_\_\_\_\_ FMEA č. : \_\_\_\_\_  
 Tým FMEA: \_\_\_\_\_ Datum analýzy : \_\_\_\_\_  
 Vedoucí týmu: \_\_\_\_\_ Datum revize : \_\_\_\_\_  
 Strana č.: \_\_\_\_\_ z \_\_\_\_\_

Proces FMEA										Nápravná opatření			Výsledky			
Identif. číslo	Předmět, funkce, proces	Způsob poruchy	Následek poruchy	Závažnost	Příčina poruchy	Výskyt	Současná kontrola	Detekce	Míra rizika MR	Doporučené opatření	Zodpovědná osoba a datum provedení	Opatření provedeno	Závažnost	Výskyt	Detekce	Míra rizika MR
Celková míra rizika :										Výsledná míra rizika po úpravách :						

**Obr.5.1.12: Formulář pro záznam z analýzy FMEA [6]**

## 5.2. Vlastní analýza možných poruch navrhovaného systému

Aby vůbec mělo smysl navrhovat daný systém, musí být proveden rozbor všech možných poruch, které mohou nastat. Důkladnou analýzou těchto rizik lze vyhodnotit možné příčiny a navrhnout opatření zajišťující bezpečnost i v případě selhání některé z komponent systému. Velmi důležitou částí návrhu systému je zabezpečení v případě poruchy některé z jeho komponent.

### 5.2.1. Akční člen nereaguje

porucha	možné příčiny	řešení
Napájení elektromotoru je odpojeno od zdroje	přerušeni elektrického vedení	Záložní zdroj
	zkrat ve vedení	
Porucha v elektromotoru	zkrat v elektromotoru	Záložní elektromotor!!!
	přehřátí elektromotoru, přepálení obvodů	
	mechanické poškození (zadření) elektromotoru	
Elektromotor nevykonává příkazy řídicí jednotky	chyba řídicího signálu	Záložní ŘJ!!!
	přerušeni spojení mezi ŘJ a elektromotorem (porucha vodiče nebo konektoru)	Záložní vedení

**Tabulka 5.2.1:** Možné příčiny a poruchy akčního členu

### 5.2.2. Řídicí jednotka nepracuje

porucha	Možná příčina	řešení
Napájení je odpojeno od zdroje	přerušeni napájení (porucha el.vodiče nebo konektoru)	Záložní zdroj
	Zkrat ve vedení	Záložní vedení
Porucha řídicí jednotky	zkrat v ŘJ, přehřátí ŘJ, přepálení obvodů	Záložní ŘJ!!!
	chyba v řídicím programu	Záložní ŘJ!!!

**Tabulka 5.2.2:** Možné poruchy řídicí jednotky nebo napájení ŘJ

### 5.2.3. Chybné nebo žádné vstupní signály

porucha	Možná příčina	Řešení
Chybná vstupní data	vada snímačů - snímač úhlu natočení volantu, nebo snímače otáček kol	Nouzový podprogram
	přerušeni spojení mezi snímačem a ŘJ (porucha vodiče nebo konektoru)	Nouzový podprogram

**Tabulka 5.2.3:** Poruchy snímačů vstupních dat

#### 5.2.4. Klasifikace významnosti poruch

Relativní významnost poruch se posuzuje z hlediska závažnosti jejich důsledků. Systém kategorizace důsledků poruch by měl pokrývat všechny předpověditelné důsledky jednotlivých poruch systému a umožnit jednoznačné zařazení každé poruchy do některé z navržených kategorií. Je nutné rozlišení, zda selhání systému je spojeno pouze se vznikem materiálních škod, nebo může vést k ohrožení života a zdraví lidí.

- **nezávažný důsledek** vyvolá porucha, která nesníží ani jinak neovlivní funkční schopnosti, efektivnost a výkony objektu pod stanovenou a přijatelnou limitní hodnotu,
- **závažný důsledek** vyvolá porucha, která by mohla snížit funkční schopnosti objektu pod přijatelnou limitní hodnotu, ale jejíž důsledek je v provozu obsluhou zvládnutelný,
- **kritický důsledek** vyvolá porucha, která by mohla snížit funkční schopnosti objektu pod přijatelnou limitní hodnotu a mohla by tím přivodit takové zvýšení rizika poruchy, které by mohlo vést až ke katastrofické poruše, pokud by nebyla přijata neprodleně nebo ve stanovené době odpovídající nápravná opatření,
- **katastrofický důsledek** vyvolá porucha, která by mohla mít za následek vážné poškození objektu takové povahy, že by tím vylo vyloučeno bezpečné ukončení funkce objektu, nebo která by mohla vést k újmě na zdraví nebo ke ztrátám či ohrožení života lidí nebo k velké hmotné či jiné škodě.

### 5.2.5. Vyhodnocení poruch navrhovaného systému

Důsledky možných poruch navrhovaného systému lze rozdělit na závažné a kritické a katastrofické. (viz. **Tabulka 5.2.5**) Například chyby vstupních dat od snímačů mohou ovlivnit výpočet řídicí veličiny a způsobit nežádoucí natočení kol. Takový důsledek může být katastrofální, pokud však ŘJ bude schopna chybný signál od snímačů rozpoznat, lze je řešit přepnutím systému do nouzového režimu přímou jízdou, kdy zadní kola zůstanou zablokována v přímém směru. Vozidlo pak nadále funguje se standardním řízením předních kol.

Důsledky poruch řídicí jednotky mohou být závažné (např. při selhání napájení) a v některých případech i katastrofické (například při poruše řídicí jednotky může dojít i k nežádoucím povelům pro elektromotor, což může způsobit nechtěné vybočení vozidla

Pokud dojde k poruše samotného elektromotoru, následky mohou být kritické nebo přímo katastrofické. V případě, že dojde k zablokování v určité poloze (např. zadřením nebo spálením elektromotoru) při pomalé jízdě by mohlo dojít ke znemožnění přímé jízdy. V případě selhání a zablokování elektromotoru při vyhýbacím manévru ve vysoké rychlosti, by mohlo vozidlo ztratit stabilitu, sjet mimo vozovku nebo způsobit kolizi s jiným vozidlem. Tento případ je tedy obzvlášť nebezpečný a následky mohou být i tragické. V návrhu systému je nutné tento případ eliminovat vhodným systémem zabezpečení.

<b>porucha</b>	<b>důsledek</b>	<b>klasifikace důsledku</b>
<i>Napájení elektromotoru je odpojeno od zdroje</i>	<i>elektromotor nevykonává svou funkci</i>	<i>Závažný</i>
<i>Porucha v elektromotoru</i>	<i>elektromotor nevykonává příkazy ŘJ</i>	<i>Kritický</i>
<i>Elektromotor nevykonává příkazy řídicí jednotky</i>	<i>elektromotor je neovladatelný</i>	<i>Katastrofický</i>
<i>Napájení ŘJ je odpojeno od zdroje</i>	<i>ŘJ nevykonává svou funkci</i>	<i>Závažný</i>
<i>Porucha řídicí jednotky</i>	<i>ŘJ vykonává nežádoucí funkci</i>	<i>Katastrofický</i>
<i>Chybná vstupní data</i>	<i>ŘJ vykonává nežádoucí funkci</i>	<i>Katastrofický</i>

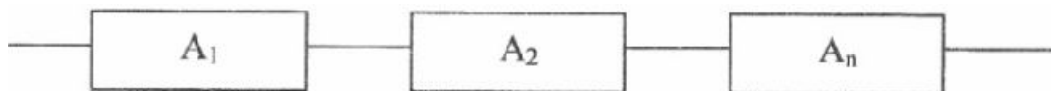
**Tabulka 5.2.5:** Klasifikace důsledků poruch

### 5.3. Spolehlivost a bezporuchovost systému

Spolehlivost jednotlivých komponent má přímý vliv na výslednou spolehlivost a bezpečnost celého systému. Projevuje se zde také způsob uspořádání jednotlivých prvků. Sériovým propojením prvků systému lze dosáhnout určité míry spolehlivosti (bezporuchovosti), která je dána součinem dílčích hodnot bezporuchovosti jednotlivých prvků. Zdvojením systému pomocí paralelního uspořádání lze dosáhnout vyšší míry bezporuchovosti.

Spolehlivost soustavy je obecně závislá na spolehlivosti prvků soustavy a způsobu jejich zapojení. Předpokládá se, že každý prvek i celá soustava se mohou nacházet vždy v jednom ze dvou stavů: v *bezporuchovém stavu* nebo ve *stavu poruchy*. [3]

**Sériová soustava** – sériovým spojením se rozumí logické funkční uspořádání prvků, skutečně uspořádání prvků může být libovolné. Blokové schéma soustavy se sériovým spojením je na **obr. č. 5.3a**. Bloky odpovídají prvkům, mezi vstupem a výstupem existuje pouze jedno spojení procházející všemi bloky. [3]



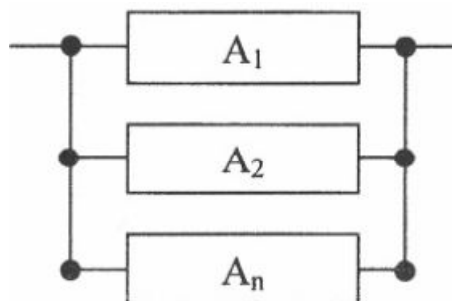
**Obr. 5.3a:** Řazení prvků sériové soustavy [3]

Bezporuchový stav sériové soustavy nastane pouze tehdy, budou-li v bezporuchovém stavu všechny prvky. Této podmínce odpovídá průnik jevů bezporuchovosti  $n$  prvků soustavy:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (7)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu sériové soustavy  $R(t)$  se snižuje s rostoucím počtem prvků a zvyšuje se s růstem spolehlivosti prvků. [3]

**Paralelní (zálohovaná) soustava** – Paralelní soustava (znázorněná na **obr. 5.3b**) má výhodu v tom, že porucha celé soustavy nastane v případě, že se poškodí všechny tvořící prvky. Všechny prvky jsou z hlediska vzniku poruch navzájem nezávislé. [3]

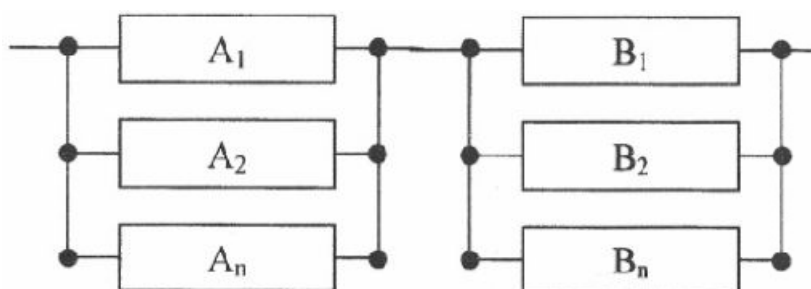


**Obr. č. 5.3b :** Řazení prvků paralelní soustavy [3]

$$F(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (8)$$

U paralelní soustavy platí, že pravděpodobnost jejího bezporuchového provozu  $R(t)$  je vyšší než obdobná hodnota  $R_i(t)$  nejspolehlivějšího prvku, s růstem počtu paralelních prvků se bezporuchovost  $R(t)$  soustavy stále zvyšuje.[3]

**Kombinované soustavy** – jsou prvky řazené sériově i paralelně (viz.**obr.5.3c**). Při výpočtu pravděpodobnosti bezporuchového provozu kombinované soustavy se používá postup vycházející z řešení ze základních soustav - sériové i paralelní.[3]

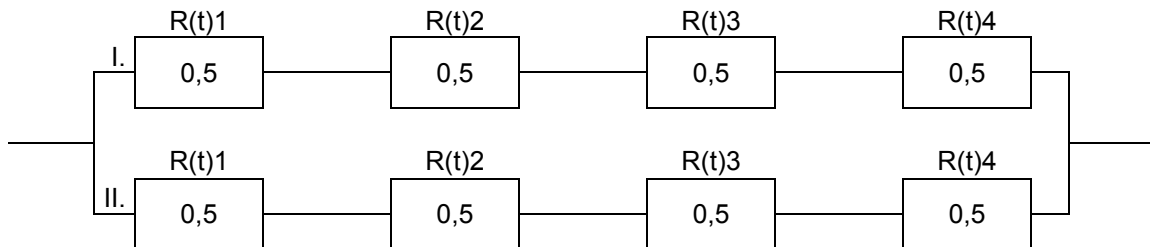


**Obr. č. 5.3c :** Příklad řazení prvků smíšené soustavy [3]

Postup výpočtu: stanoví se charakteristiky zálohovaných prvků  $R(t)$  a  $F(t)$  z charakteristik jejich tvořících prvků postupem obvyklým pro paralelní soustavy, řešení celé kombinované soustavy se provede pomocí charakteristik nezálhovaných prvků  $R(t)$  postupem obvyklým pro sériové soustavy.[3]

### 5.3.1. Příklady možných způsobů zálohování a jejich vliv na spolehlivost

a) dvě paralelní větve tvořené sériově spojenými prvky:



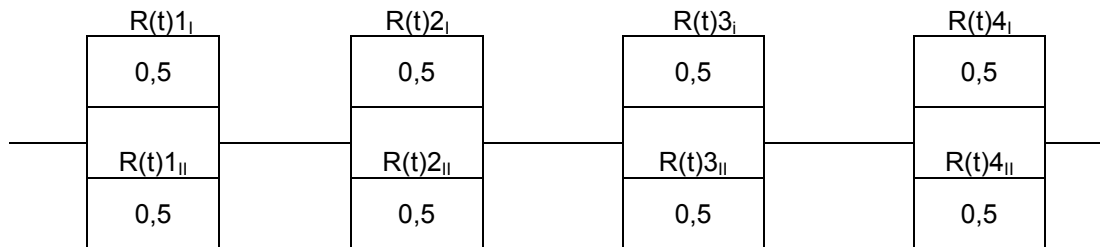
*Obr. 5.3.1a : Příklad dvou paralelních větví tvořených sériově spojenými prvky*

$$1. \text{ větev (serie): } R(t)_I = R(t)_{1I} \cdot R(t)_{2I} \cdot R(t)_{3I} \cdot R(t)_{4I} = 0,0625$$

$$2. \text{ větev (serie): } R(t)_{II} = R(t)_{1II} \cdot R(t)_{2II} \cdot R(t)_{3II} \cdot R(t)_{4II} = 0,0625$$

**Celková bezporuchovost:  $R(t) = 1 - [(1 - R(t)_I) \cdot (1 - R(t)_{II})] = 1 - 0,8789 = 0,1211$**

b) sériové propojení bloků tvořených paralelně zálohovanými prvky:



*Obr. 5.3.1b: Příklad sériového spojení bloků tvořených paralelně zálohovanými prvky*

$$1. \text{ dvojice ( paralelní uspořádání ) } R(t)_I = 1 - [(1 - R(t)_{1I}) \cdot (1 - R(t)_{1II})] = 0,75$$

$$2. \text{ dvojice ( paralelní uspořádání ) } R(t)_{II} = 1 - [(1 - R(t)_{2I}) \cdot (1 - R(t)_{2II})] = 0,75$$

$$3. \text{ dvojice ( paralelní uspořádání ) } R(t)_{III} = 1 - [(1 - R(t)_{3I}) \cdot (1 - R(t)_{3II})] = 0,75$$

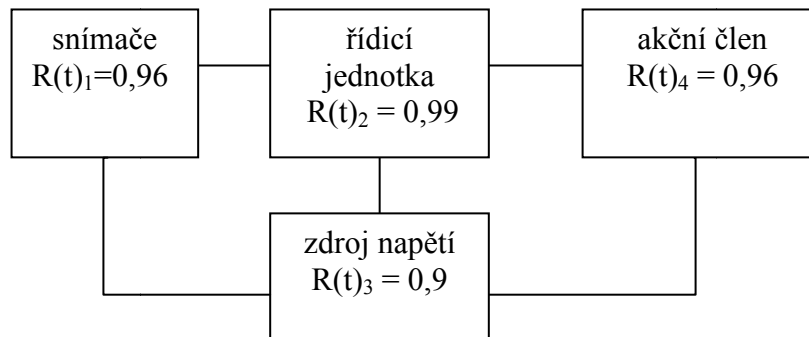
$$4. \text{ dvojice ( paralelní uspořádání ) } R(t)_{IV} = 1 - [(1 - R(t)_{4I}) \cdot (1 - R(t)_{4II})] = 0,75$$

**Celková bezporuchovost :  $R = R(t)_I \cdot R(t)_{II} \cdot R(t)_{III} \cdot R(t)_{IV} = 0,3164$**

Vyšší hodnoty bezporuchovosti je dosaženo ve druhém případě, kdy jsou paralelně zálohovány jednotlivé uzly. Za předpokladu 100% bezporuchovosti spojení jednotlivých prvků bude tento způsob bezpečnější.

### 5.3.2. Spolehlivost navrhovaného systému

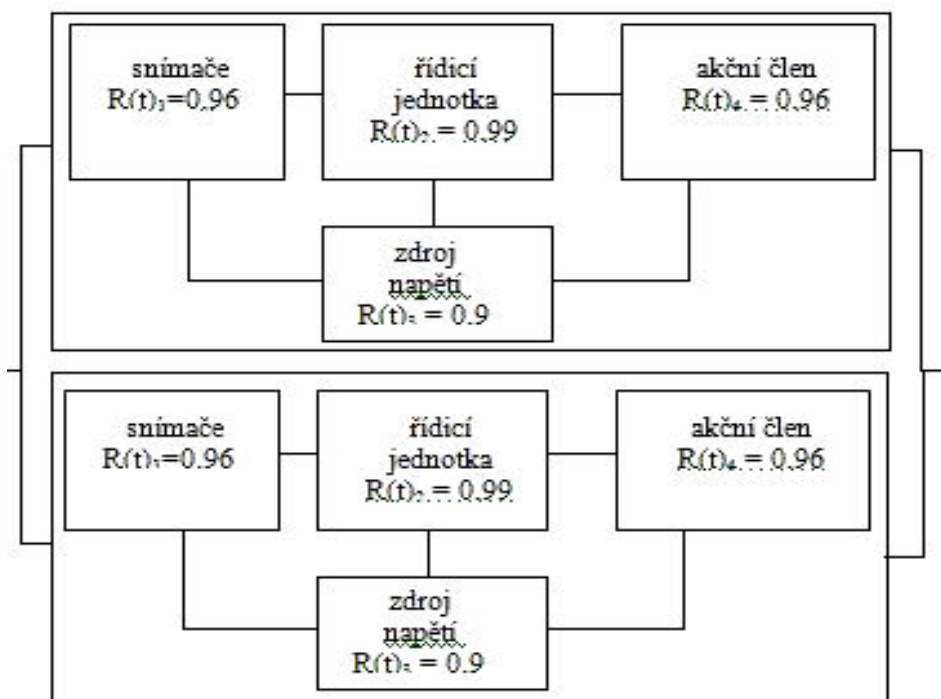
#### a) Základní seriové uspořádání (bez zálohování)



Obr. 5.3.2a: základní sériové uspořádání prvků

Celková bezporuchovost:  $R(t) = R(t)_1 \cdot R(t)_2 \cdot R(t)_3 \cdot R(t)_4 = 0,821146$

#### b) Zálohované uspořádání 1. typu



Obr. 5.3.2b: Paralelně uspořádané bloky se sériově uspořádanými prvky

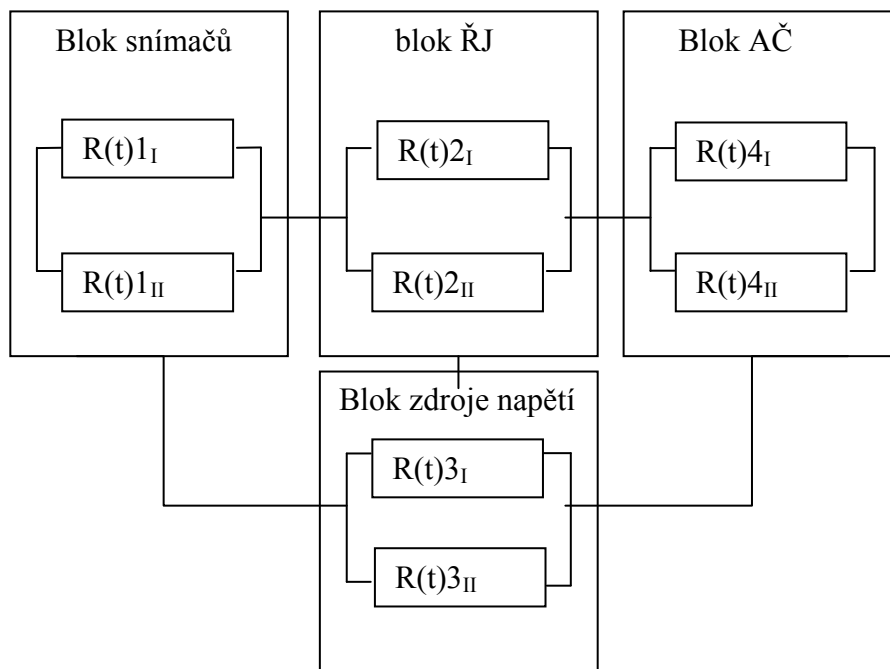
1. větev (série)  $R(t)_I = R(t)_1 \cdot R(t)_2 \cdot R(t)_3 \cdot R(t)_4 = 0,821146$

2. větev (série)  $R(t)_{II} = R(t)_1 \cdot R(t)_2 \cdot R(t)_3 \cdot R(t)_4 = 0,821146$

Celková bezporuchovost :  $R(t) = 1 - [(1 - R(t)_I) \cdot (1 - R(t)_{II})] = 1 - 0,3 = 0,97$



c) Zálohované uspořádání 2.typu



**Obr. 5.3.2c:** Sériově uspořádané bloky s paralelně uspořádanými prvky:

1.blok (paral. zálohované snímače)  $R(t)_I = 1 - [(1 - R(t)_{1I})(1 - R(t)_{1II})] = 0,9984$

2.blok (paral. zálohované ŘJ)  $R(t)_{II} = 1 - [(1 - R(t)_{2I})(1 - R(t)_{2II})] = 0,9999$

3.blok (paral. zálohované zdroje)  $R(t)_{III} = 1 - [(1 - R(t)_{3I})(1 - R(t)_{3II})] = 0,99$

4.blok (paral. zálohované AČ)  $R(t)_{IV} = 1 - [(1 - R(t)_{4I})(1 - R(t)_{4II})] = 0,9984$

**Celková bezporuchovost :**  $R(t) = R(t)_I \cdot R(t)_{II} \cdot R(t)_{III} \cdot R(t)_{IV} = 0,9876$

**Vyhodnocení možností zálohování :**

Nejvyšší míru spolehlivosti, resp. pravděpodobnosti bezporuchového provozu bude mít kombinovaný systém 2.typu (viz. **obr.5.3.2c**), kde jednotlivé paralelně uspořádané bloky jsou seriově propojeny. Takto navržený systém bude nejlépe odolávat poruchám dílčích prvků Tato varianta však bude konstrukčně nejsložitější a nejnákladnější.

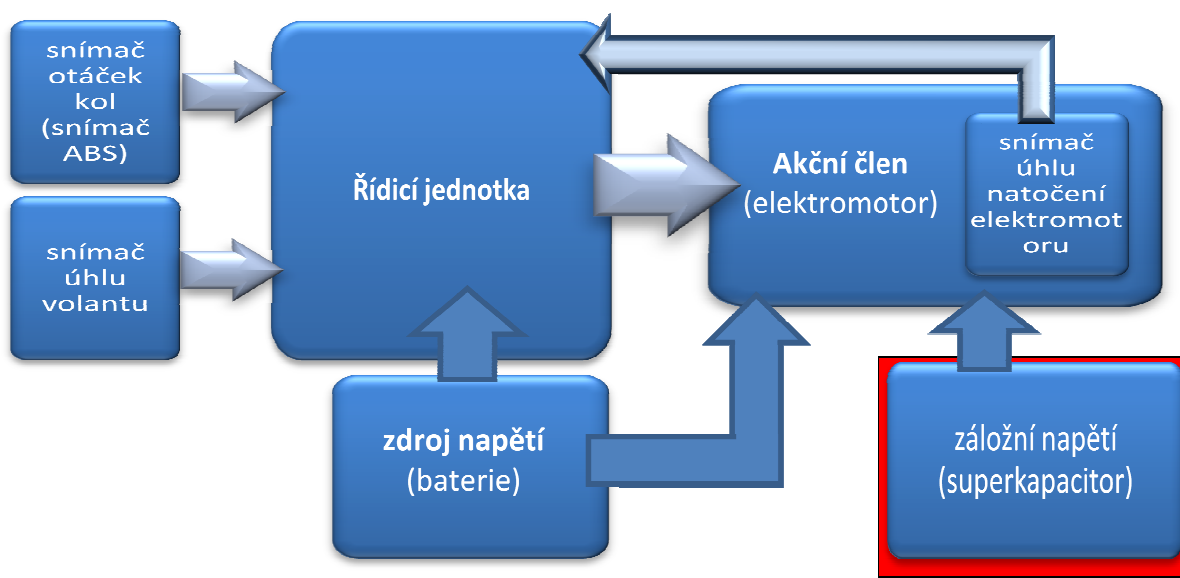
## 6. Návrh zabezpečení systému

V návrhu systému steer by wire pro řízení vozidla hraje velice důležitou roli bezpečnost. Proto je důležité navrhnout také komplexní řešení zabezpečení proti případným kritickým poruchám, které jsou uvedeny v předchozí kapitole.

V některých případech se jako řešení nabízí zálohování jednotlivých komponent. Teoreticky vzato by celý systém mohl být zdvojený. Tedy místo jedné řídicí jednotky by byly použity dvě paralelní ŘJ, které by vzájemně kontrolovaly správnost svých funkcí a řídicích podprogramů, stejně tak by mohl být zálohován i akční člen. Toto řešení by snížilo pravděpodobnost poruchy celku při selhání jednoho prvku. Zůstala by ale určitá pravděpodobnost současného selhání záložního prvku společně s hlavním například přerušením elektrického vedení nebo poruchou zdroje napětí. Elektrické vedení by pak muselo být také zálohované stejně jako zdroj napětí.

### 6.1. Návrh zálohování komponent systému

#### 6.1.1. Zálohování napájení elektromotoru - záložní zdroj napětí

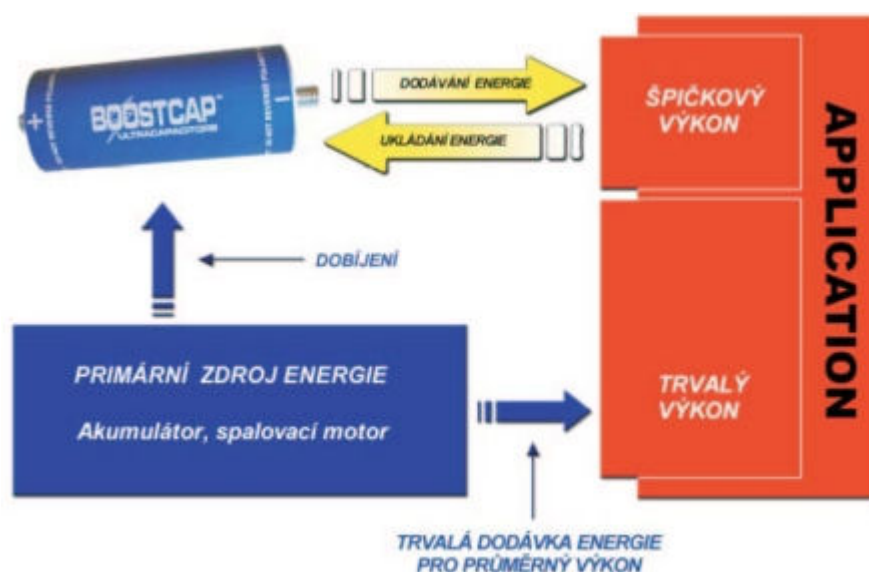


*Obr.6.1.1a: Blokové schéma systému se záložním napětím*

Použití záložního napětí by řešilo selhání zdroje napětí způsobené např. vybitím baterie nebo přerušením el. vedení napájení pro akční člen. Vhodným řešením je bezúdržbový superkapacitor (viz. **obr.6.1.1b** a **tabulka 6.1.1**).

### Superkapacitor jako zdroj záložního napětí

Superkapacity jsou ideální pro použití v aplikacích, kde je potřeba dodávat časově omezené špičkové proudy. Jsou využitelné v servopohonech standardně napájených z akumulátorů, zejména v automobilech. [22]



**Obr.6.1.1b:** Použití superkapacitoru jako záložního zdroje napětí [22]

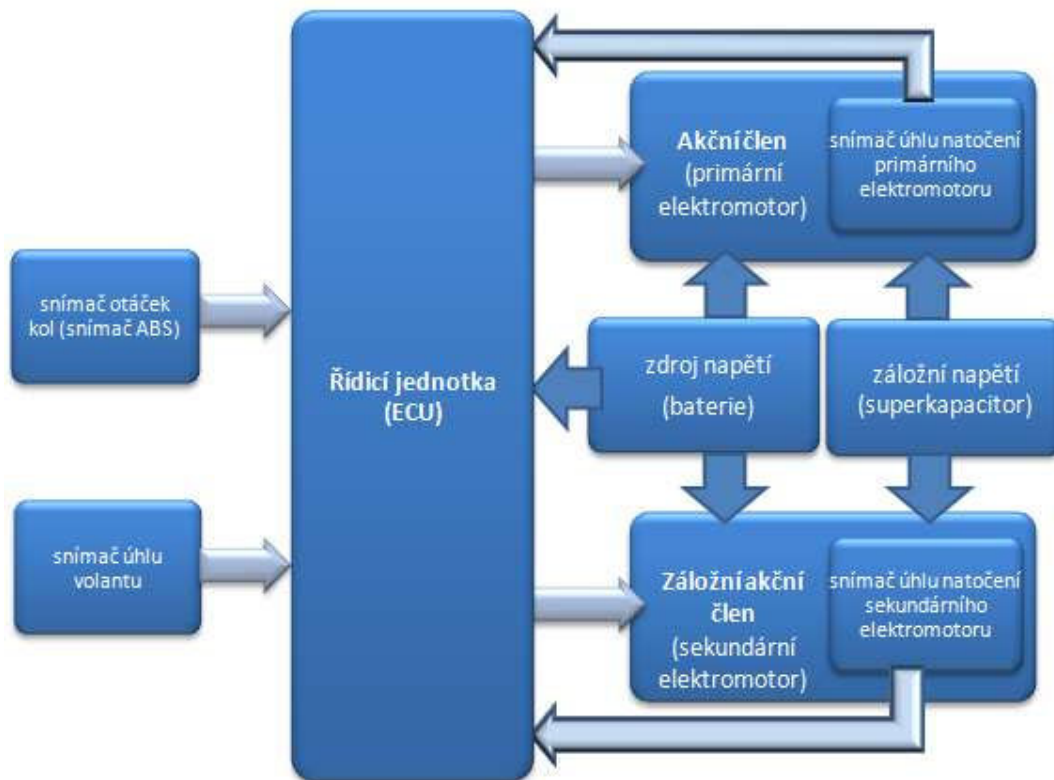
### Parametry superkapacitorů BOOSTCAP firmy MAXEL :

typ	C	$U_n$	$I_{sc}$	$E_{max}$	P	$P_d$	$I_L$	životnost	L	D	m	prac. tepl.
	[F]	[V]	[A]	[Wh/kg]	[kW/kg]	[kW/kg]	[mA]	cyklů	[mm]	[mm]	[g]	[°C]
BCAP 0350	350	2.5	1500	5.1	16.3	3.9	1	500000	61.5	33	60	-40 ~ +65
MC 2600	2600	2.7	5000	5.6	10.4	4.1	5	1000000	166	58	470	-40 ~ +65

**Tabulka 6.1.1:** Parametry superkapacitorů BOOSTCAP firmy MAXEL [22]

### 6.1.2. Zálohování akčního členu - sekundární elektromotor

Pokud dojde k selhání elektromotoru (např. zadřením nebo přepálením) a kola zadní nápravy zůstanou v nežádoucí poloze, je nutné je uvést do požadované polohy nebo navrátit do polohy pro přímý směr jízdy. Řešení vidím v použití záložního (sekundárního) elektromotoru (viz. **obr.6.1.2**).



**Obr. 6.1.2.:** Blokové schéma systému se záložním akčním členem i zdrojem napětí

Pokud řídicí jednotka vyhodnotí rozdíl mezi požadovanými a skutečnými otáčkami elektromotoru, a bude určen i rozdíl polohy zadní nápravy od polohy určené podle úhlu natočení volantu, bude vyhodnocena porucha primárního elektromotoru. Okamžitě bude aktivován nouzový program pro sekundární elektromotor.

### 6.1.3. Možné situace selhání primárního elektromotoru

úhel natočení primárního elektromotoru	stav kol zadní nápravy	úhel natočení volantu	Požadavek	činnost sekundárního elektromotoru
0	kola jsou postavena v přímém směru $\alpha_2 = 0^\circ$	0	Aretace kol v přímém směru	elektromotor je v klidu
$X_2 \neq 0$	kola jsou natočena o úhel $\alpha_2 \neq 0^\circ$	0	Návrat do přímé polohy; aretace kol v přímém směru	elektromotor se otáčí o hodnotu úhlu $-(X_2)$ , dokud není $\alpha_2=0$
0	kola jsou postavena v přímém směru $\alpha_2 = 0^\circ$	$\beta_v \neq 0$	Aretace kol v přímém směru	elektromotor je v klidu
$X_2 \neq 0$	kola jsou natočena v jiném úhlu než požaduje ŘJ $\alpha_2 \neq 0^\circ$	$\beta_v \neq 0$	Návrat do přímé polohy; aretace kol v přímém směru.	elektromotor se otáčí o hodnotu úhlu $-(X_2)$ , dokud není $\alpha_2=0$

*Tabulka 6.1.3: Možnosti polohy zadní nápravy při poruše primárního elektromotoru a požadavky na činnost sekundárního elektromotoru*

### 6.1.4. Nouzový řídicí program pro sekundární elektromotor

Kromě standardních řídicích podprogramů pro zatačení je pro případ selhání primárního elektromotoru potřebný nouzový program, kdy je hlavním cílem zajištění bezpečnosti. Především se jedná o zajištění ovladatelnosti a stability vozidla.

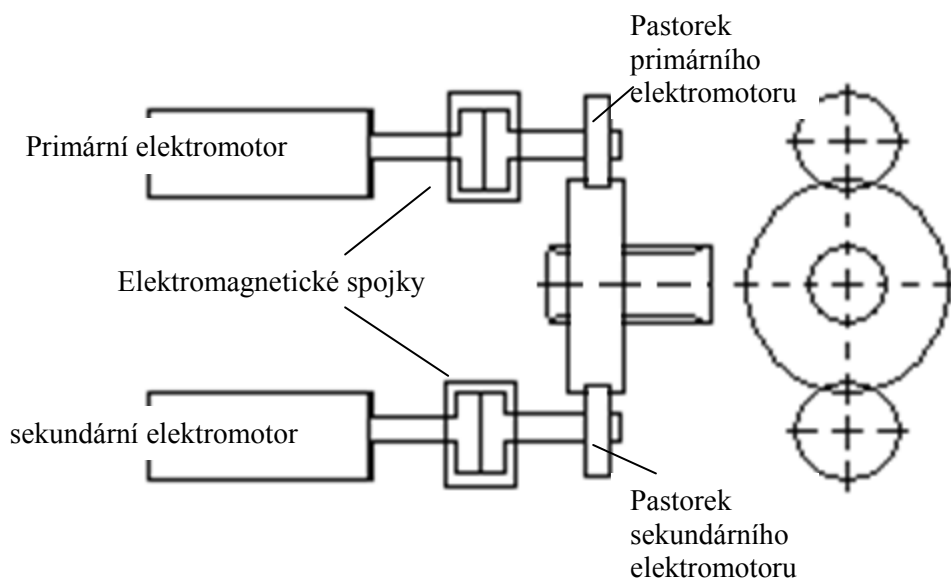
Prioritou bude zajištění kol zadní nápravy v poloze pro přímý směr, respektive úkolem sekundárního elektromotoru bude navrátit kola do polohy pro přímý směr jízdy, kdy je možná jejich aretace. Pomocí zpětné vazby (polohy mechanismu řízení a úhlu natočení elektromotoru) bude řídicí jednotka vyhodnocovat polohu zadní nápravy. Nebude-li hodnota polohy mechanismu řízení odpovídat hodnotě dané úhlem natočení volantu a rychlostí jízdy, spustí se nouzový režim.

V nouzovém režimu bude fungovat nouzový program pro řízení. Podle rozdílu hodnoty natočení kol zadní nápravy a hodnoty dané výpočtem z úhlu natočením volantu, bude vyhodnocena potřebná korekce natočení kol (viz. **tabulka 6.1.3**).

Pokud by primární elektromotor reagoval, dojde pouze ke korekci natočení kol na požadovaný úhel. Pokud však primární elektromotor reagovat nebude (snímač jeho otáček nevykáže žádnou hodnotu), bude automaticky aktivován sekundární elektromotor. V tomto případě již nebude nastavována hodnota odpovídající natočení kol podle úhlu natočení volantu, ale dojde k natočení kol základní nápravy do polohy pro přímý směr jízdy.

### 6.1.5. Sestava akčního členu se sekundárním elektromotorem

V případě, že dojde k mechanickému zablokování primárního motoru (například zadřením) by pravděpodobně nebyl umožněn pohyb mechanismu i přes správnou funkci záložního motoru. Zde se uplatní řešení s elektromagnetickou spojkou (viz. **obr. 6.1.5**) navržené již v kapitole 4.4.3. Přerušením proudu dojde k rozepnutí el.mag. spojky a zablokovaný motor tak bude odpojen od pastorku na převodce řízení. Podle polohy mechanismu řízení pak bude zvolen směr otáčení sekundárního motoru tak, aby byla zadní kola natočena do přímého směru a mohla být provedena jejich aretace.



**Obr.6.1.5:** Schéma sestavy primárního a sekundárního elektromotoru s ozubeným převodem na hřídel řízení

## 6.2. Aretace kol zadní nápravy v přímém směru

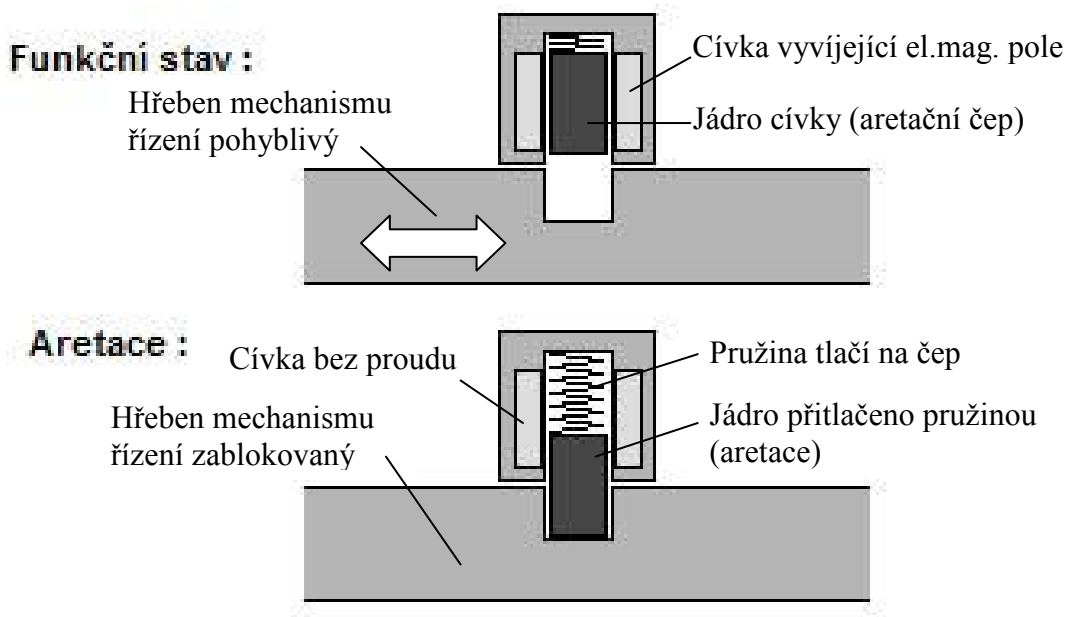
Bezpečným a zároveň jednoduchým řešením při selhání některé z komponent systému je zajištění kol zadní nápravy do přímého směru. Řízení vozidla pak bude fungovat klasicky prostřednictvím předních rejdových kol.

Dojde-li k selhání primárního motoru při jízdě po rovině, je možné zadní převodku řízení snadno zablokovat vhodným aretačním mechanismem - viz. **obr.6.2.1**) a zajistit tak standardní režim řízení předních kol 2WS.

Nastane-li porucha během zatáčení, může dojít ke ztrátě ovladatelnosti vozidla a k vážnému narušení stability. Musí být tedy okamžitě aktivován sekundární elektromotor, který uvede kola zadní nápravy zpět do přímé polohy (viz.kapitola 6.1.4). Následnou aretací mechanismu je systém zabezpečen.

### 6.2.1. Konstrukční řešení aretace zadních kol v přímém směru

Jednoduché řešení s elektromagnetickou cívkou a jádrem (aretační čep), na které tlačí pružina. Při aretaci se elektromagnetické pole cívkou vypne a pružina stlačí čep do aretační polohy (**obr.6.2.1**). O tomto stavu bude řidiče informovat signalizační dioda na přístrojové desce.



**Obr.6.2.1:** Princip mechanické aretace zadních kol v přímém směru

## 7. ZÁVĚR

V první části této diplomové práce jsem se zaměřil na hlavní přínosy řízení více náprav u silničních vozidel, zejména pak řízení všech kol dvounápravového vozidla označované jako 4WS. Důkladnou analýzou současných systémů 4WS jsem porozuměl této problematice i jednotlivým konstrukčním řešením. Koncepce těchto systémů řízení je konstrukčně složitější, a proto dosud není u osobních automobilů příliš rozšířená. Řízení více náprav nachází uplatnění především u pracovních strojů v zemědělství a stavebnictví, kde jsou vysoké nároky na manévrovací schopnosti vozidel. Značný přínos má řízení více náprav především u rozměrných nákladních vozidel a jízdních souprav.

Hlavním cílem této práce byl návrh systému steer by wire pro řízení kol zadní nápravy osobního automobilu. V návrhu jsem vycházel z konstrukčního řešení elektromechanické varianty posilovače řízení, která je pro danou aplikaci velmi výhodná. S využitím znalostí z konstrukce vozidel jsem navrhl potřebné úpravy systému pro možnost využití na řízení zadní nápravy. V samotném návrhu jsem se nejprve zaměřil na způsoby snímání vstupních dat pro řídicí jednotku systému steer by wire. Následným rozбором požadavků na natáčení zadních kol jsem navrhl akční člen - elektromotor s dostatečným výkonem a otáčkami pro možnost rychlého nastavení mechanismu řízení do požadované polohy. V této části jsem navrhl dvě varianty elektromotoru - stejnosměrný synchronní a střídavý asynchronní elektromotor. Dalším krokem byl návrh řídicí jednotky. Zde jsem se zaměřil na řídicí programy pro jednotlivé jízdní situace. Pro optimální chování vozidla při zatáčení jsem stanovil vhodný převodový poměr mezi úhlem natočení předních a zadních kol. Systém jsem navrhl tak, aby v nízkých rychlostech bylo usnadněno manévrování nesouhlasným natočením zadních kol a ve vysokých rychlostech byla zvýšena stabilita vozidla souhlasným natočením zadních kol.

Velkou část práce jsem také věnoval analýze FMEA, pro systematické určení možných poruch jednotlivých komponent, jejich příčin a následkům. Jelikož se jedná o elektromechanický systém, je nutné počítat s možností selhání elektronických součástí. Po vyhodnocení nejzávažnějších poruch jsem navrhl možné způsoby zálohování jednotlivých prvků pro zvýšení spolehlivosti systému.



V poslední části jsem se zaměřil na zabezpečení systému a návrhu konkrétního zálohování. Návrh zahrnuje řešení záložního napájení elektromotoru a řídicí jednotky pro případ selhání zdroje elektrického proudu. Věnoval jsem také pozornost možnosti kritické poruchy elektromotoru. Proto jsem navrhl systém spínání záložního elektromotoru, který by v případě zablokování primárního elektromotoru zajistil návrat kol zadní nápravy do přímé polohy. Pro možnost aretace zadních kol v přímém směru jsem navrhl aretační mechanismus.

Navržený systém steer by wire je vhodný pro řízení zadní nápravy experimentálního vozidla, kde by se ověřila jeho funkčnost. Přínosem by tak mohl být nejen pro vývoj konstrukce řízení všech kol a zvyšování stability silničních vozidel, ale i pro další výzkum a schvalování systémů elektronického řízení steer by wire do běžného provozu.

## 8. POUŽITÁ LIERATURA

### Tištěná literatura:

- [1] VLK, F., *Podvozky motorových vozidel*, vydavatelství VLK, Brno, 2000; ISBN 80-238-5274-4, str. 192 - 208.
- [2] VLK, F.: *Elektronické systémy motorových vozidel 2*, Vydavatelství VLK, Brno, 2002; ISBN 80-238-7282-6, str. 393 - 408.
- [3] FAMFULÍK, J., *Teorie údržby*, VŠB - Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ostrava, 2006, str. 57 - 61.
- [4] HONDA: *E-4WS Construction and Function* (Based on the 1997 Prelude), servisní příručka, 1997.
- [5] BRABEC P., MALÝ M., VOŽENÍLEK R.: *4WS - řízení zadních kol*, Technická Univerzita v Liberci – katedra strojů průmyslové dopravy, Liberec, 2005.
- [6] MENČÍK, J., prof. Ing. CSc., *ANALÝZA ZPŮSOBŮ A NÁSLEDKŮ PORUCH (FMEA)* - studijní podklady - Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra provozní spolehlivosti, diagnostiky a mechaniky v dopravě, 2006.
- [7] DÍLENSKÉ PŘÍRUČKY ŠKODA AUTO, vydavatelství Škoda-Auto a.s., Podvozek a elektromechanický posilovač řízení octavia II., 2004.

### Internetové stránky a zdroje použitých obrázků:

- [8] *Způsoby natočení kol vozidla 4WS* [online] [20.3.2009] dostupné z: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/4WSselect.jpg>>
- [9] *Mechanické řízení zadní nápravy Honda Prelude 4WS* [online] [15.4.2009] dostupné z: <<http://antholonet.com/EngineersCars/3GPrelude/3gprelude.html>>
- [10] *Elektrohydraulický systém řízení Nissan HICAS* [online] [15.4.2009] dostupné z: <<http://www.240edge.com/basics/super-hicas.html>>
- [11] *Elektromechanický systém řízení zadní nápravy* [online] [15.4.2009] dostupné z: <[http://qbx6.ltu.edu/asik/Vehicle\\_dynamics\\_tw\\_dw.htm](http://qbx6.ltu.edu/asik/Vehicle_dynamics_tw_dw.htm)>
- [12] *Elektromechanický systém řízení Renault ActiveDrive* [online] [18.4.2009] dostupné z: <<http://www.media.renault.com>>

- [13] *Zemědělské pracovní stroje 4WS Frazier* [online] [10.4.2009]  
dostupné z: <<http://www.frazier.co.uk/products.htm>>
- [14] *Zahradní traktory JohnDeere 4WS* [online] [4.5.2009]  
dostupné z: <<http://www.profisekacky.cz/stranky/zahradni-technika/traktory/bocni-vyhoz/john-deere-x300/x304.jpg>>
- [15] *Prívěšové soupravy Wellmaster* [online] [4.5.2009]  
dostupné z: <<http://www.wellmaster.camedia>>
- [16] *Teleskopický nakladač JCB 4WS* [online] [4.5.2009]  
dostupné z: <<http://www.dskplant.co.uk/machinepics/53070.htm>>
- [17] *Autojeřáby Liebherr - katalog* [online] [4.5.2009]  
dostupné z: <[http://www.liebherr.com/at/default\\_at\\_94354.asp](http://www.liebherr.com/at/default_at_94354.asp)>
- [18] *Návěšové systémy Nootboom a Kennis Trailers* [online] [10.4.2009]  
dostupné z:  
<[http://www.nootboomgroup.com/kennis/nl/onze\\_producten/documentatie](http://www.nootboomgroup.com/kennis/nl/onze_producten/documentatie)>
- [19] *Konstrukce podvozku autobusů Scania* [online] [10.5.2009]  
dostupné z: <[http://www.scania.cz/bus/chassis\\_range](http://www.scania.cz/bus/chassis_range)>
- [20] *Stejnoseměrné elektromotory Amer* [online] [12.5.2009]  
dostupné z: <[www.amer.it/pdf/Amer\\_cat\\_2004\\_gb.pdf](http://www.amer.it/pdf/Amer_cat_2004_gb.pdf)>
- [21] *Asynchronní elektromotory* [online] [12.5.2009]  
dostupné z: <<http://www.elektromotory-prevodovky.cz/Elektromotory/S-frekvencnim-menicem/Trifazovy-vstup/1400-ot-min-1-30885/ESV-05-71B4>>
- [22] *Superkapacitory* [online] [4.5.2009] dostupné z:  
<<http://www.elektronika.cz/EIskripty/clanek.asp?ItemID=2515>>

## 9. SEZNAM ZKRATEK

- 2WS řízení předních kol (two wheel steering)
- 4WS řízení čtyřmi koly (four wheel steering)
- AWS řízení všemi koly (all-wheel steering)
- ASC systém pro stabilizaci vozidla v zatáčkách (Automatic Stability Control)
- AYC aktivní řízení stáčení vozidla (Active Yaw Control)
- AHK aktivní kinematika zadní nápravy (Aktive Hinterachs-Kinematik)
- HICAS elektrohydraulické řízení (High Capacity Actively Controlled Suspension)
- EPAS elektrický posilovač řízení (Electric Powered Assisted Steering)
- EPHS elektrohydraulické servořízení (Electric Powered Hydraulic Steering)
- ESP systém elektronické stability (Electronic Stability Program)
- ABS antiblokovací brzdový systém (Antilock Break System)
- ASR protiskluzová regulace (Anti-slide Regulation)
- ADAS pokročilé asistenční systémy (Advanced Assistance System)
- ECU elektronická řídicí jednotka (Electronic Control Unit)
- CAN datová sběrnice
- FMEA analýza příčin a následků poruch (Failure Mode and Effect Analysis)
- RPN míra rizika (Risk Priority Number)

## **10. SEZNAM PŘÍLOH**

**PŘÍLOHA 1 : Požadavky na řízení**

**PŘÍLOHA 2 : Návrh ovládacího panelu pro možnost ruční volby režimu řízení**

# **PŘÍLOHY**

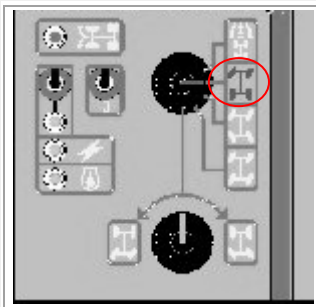
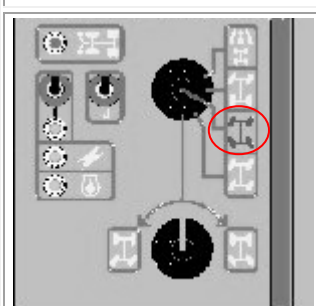
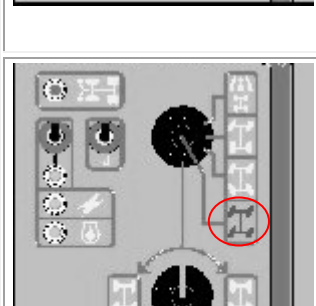
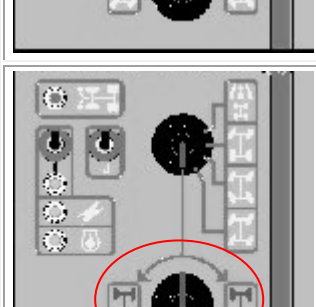
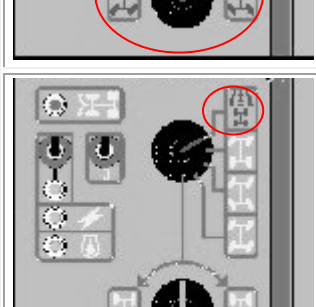
## **PŘÍLOHA 1 - Základní požadavky na řízení**

Podle § 32 vyhl. č. 102/1995 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích musí řízení splňovat následující požadavky :

- a) snadná, rychlá a bezpečná ovladatelnost. Mechanismus říditelné nápravy (nápravy) a geometrie řízení musí být konstruovány a provedeny tak, aby nevznikly kmity a rázy v řízení;
- b) řízená kola se po projetí zatáčky musí samovolně vracet do přímého směru, nebo aby k vrácení kol do přímého směru byla potřebná podstatně menší síla než pro pohyb do zatáčky (tato podmínka neplatí pro vozidla se strojním řízením);
- c) řídicí ústrojí nesmí mít větší vůle. U vozidel s nejvyšší rychlostí přes 100 km/h je přípustná vůle na volantu  $18^\circ$ , u vozidel s max. rychlostí 25 až 100 km/h do  $27^\circ$  a u vozidel s konstrukční rychlostí nepřesahující 25 km/h může vůle činit  $36^\circ$ ;
- d) pokud není řízení vybaveno posilovacím zařízením, pak počet otáček volantu nesmí být větší než 5 z polohy odpovídající vychýlení vnitřního kola o  $35^\circ$  zprava do stejné polohy vlevo, nebo z jedné krajní polohy do druhé, pokud není docíleno úhlu vychýlení řízeného kola  $35^\circ$ . Krajní vychýlení kol musí být omezeno dorazy;
- e) motorová vozidla u nichž hmotnost připadající na řízenou nápravu (resp. nápravy) činí nejméně 3,5 t, musí mít řízení vybaveno posilovacím zařízením. Při selhání tohoto zařízení musí být možno řídit vozidlo (soupravu) svalovou silou řidiče; tato síla nesmí přesáhnout 600N;

Další zákonný požadavek je stanoven v § 22 odst. 4 vyhl. č. 102/1995 Sb., který udává maximální přípustnou plochu zabírající vozidlem při zatáčení, Při projíždění kruhové zatáčky o  $360^\circ$  s vnějším poloměrem 12,5 m smí motorová vozidla a jízdní soupravy zabírat obrysově nejvýše 7,2 m šířky vozovky. Při nájezdu z přímé jízdy do této zatáčky nesmí žádná část vozidla nebo soupravy přesahovat o více než 0,8 m, u kloubových autobusů a kloubových trolejbusů o více než 1,2 m tečnu vnějšího kruhu zatáčky.

## PŘÍLOHA 2 : Návrh ovládacího panelu pro možnost ruční volby režimu řízení

	<p><b>Řízení předních kol (2WS)</b></p> <p>V módu řízení předních kol je zadní náprava fixována do pozice pro přímou jízdu a její poloha je monitorována snímačem. Řidič má kdykoliv možnost přepnout systém řízení do tohoto módu. Zadní kola se automaticky nastaví do přímého směru nezávisle na úhlu natočení předních kol.</p>
	<p><b>Řízení všech kol (4WS)</b></p> <p>V módu řízení všemi koly se zadní kola natáčejí podle natočení kol předních, ale v opačném směru. Tím je zabezpečen nejmenší poloměr zatáčení, případně jízda po kruhové dráze s minimálním poloměrem. Řidič má kdykoliv možnost přepnout systém řízení do tohoto módu. Zadní kola se automaticky natočí v závislost na úhlu natočení předních kol.</p>
	<p><b>Krabí chod (4WS)</b></p> <p>Mód pro tzv. krabí chod může být užitečný při manévrování ve stísněných prostorech, v budovách atd. Zadní kola se natáčejí do stejného směru jako kola přední, což vozidlu umožňuje pohyb do strany. Řidič má kdykoliv možnost přepnout systém řízení do tohoto módu.</p>
	<p><b>Manuální řízení zadní nápravy (2WS/4WS)</b></p> <p>V manuálním módu řízení zadní nápravy je možnost řídit kola zadní nápravy nezávisle na předních kolech. Kola zadní nápravy jsou pak manuálně ovládána otáčením ovládacího prvku na přístrojové desce. Tento mód může být opět užitečný při manévrování ve stísněných prostorech atd.</p>
	<p><b>Silniční režim jízdy (2WS)</b></p> <p>V tomto režimu je pro zajištění bezpečnosti v silničním provozu deaktivována všechna elektronika a zadní náprava je zajištěna v přímém směru. Pokud vozidlo překročí rychlost 20km/h v některém z pracovních módů, spustí se varovná zvuková signalizace a rozsvítí se kontrolka</p>