

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R018 Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh stavebnicového řešení dvou říditelných náprav u vozidla

Autor: **Vlastimil Lácha**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vlastimil LÁCHA**

Osobní číslo: **S15B0134P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**

Název tématu: **Návrh stavebnicového řešení dvou říditelných náprav u vozidla**

Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Cílem je provést rozbor technického uspořádání základních komponent a možností pro říditelnou přední i zadní nápravu u vozidla. Provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledkem je základní konstrukční návrh sestavy hnacích náprav tak, aby byla možnost využitelnosti v budoucím konstrukčním řešení u vozidel pro speciální využití.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování variant koncepčních řešení.
4. Zhodnocení vybrané navržené konstrukční varianty.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

VALA, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003

VLK, F. *Stavba motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2005

ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J: *Automobily Podvozky*, Avid s.r.o, Brno, 2007

Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**


Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Lácha	Jméno Vlastimil	
STUDIJNÍ OBOR	„Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh stavebnicového řešení dvou říditelných náprav u vozidla		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	51	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá návrhem zadní stavebnicové říditelné nápravy lehkého terénního vozidla. Práce obsahuje návrh zavěšení, návrh geometrie nápravy a také výpočty kinematiky. Výsledkem je 3D model, včetně pevnostní analýzy, vytvořené pomocí software Autodesk Inventor.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>4WS, náprava, zadní, stavebnicová, modulární, říditelná, 3D, offroad, vozidlo, terénní, buggy, návrh, kolo</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Lácha	Name Vlastimil	
FIELD OF STUDY	“Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Modular system design of two steerable axles for vehicle		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	51	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor work deals with design of the rear modular steerable axle for a light offroad vehicle. The work includes suspension design, axle geometry design and kinematic calculations. The result is the 3D model with the strenght analysis created with the Autodesk Inventor software.
KEY WORDS	4WS, axle, rear, modular, steerable, 3D, offroad, vehicle, buggy, design, wheel

Obsah

Seznam příloh.....	2
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	2
1. Úvod.....	3
1.1 Pohled do historie.....	4
1.2 Řízení více náprav u vozidel.....	4
1.3 První vozidla s řízenou zadní nápravou.....	5
1.4 Systém řízení obou náprav dnes.....	6
1.4.1 Nákladní a hromadná doprava.....	9
1.4.2 Zemědělská technika.....	11
1.4.3 Osobní automobily.....	13
1.4.4 Terenní a speciální automobily.....	14
2. Specifikace technických parametrů.....	17
2.1 Požadavky.....	17
2.1.1 Zavěšení kol.....	17
2.1.2 Geometrie řízené nápravy.....	20
2.1.3 Kinematika řízení.....	23
2.1.4 Kinematika a geometrie konstruované nápravy.....	25
3. Návrh koncepčního řešení.....	29
3.1 Návrh řešení nápravy.....	29
3.1.1 Rám nápravy.....	30
3.1.2 Zavěšení kol.....	30
3.1.3 Pohonový a brzdový segment.....	32
3.1.4 Uložení kola.....	34
3.1.5 Mechanismus řízení.....	35
3.1.6 Volba ráfků a pneumatik.....	37
3.1.7 Pružící a tlumící jednotka.....	37
3.2 Pevnostní analýza.....	38
4. Navržená náprava.....	41
5. Závěr.....	43
Seznam použité literatury.....	44
Seznam obrázků.....	45
Seznam tabulek.....	47

Seznam příloh

Název	Číslo výkresu	Formát
ZADNÍ NÁPRAVA	KKS-2018-000-00	A2

Přehled použitých zkratk a symbolů

Atd.	A tak dále
Tzn.	To znamená
4WS	Řízení čtyř kol
3D	Trojrozměrný
SUV	Sport utility vehicle
ESP	Electronic Stability Program
ABS	Anti-lock Brake Systém
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka

Zbylé zkratky potřebné při výpočtech jsou uvedeny u jednotlivých kapitol.

1. Úvod

V dnešní době jde vývoj všech druhů vozidel nezastavitelně kupředu, obzvláště díky obrovské konkurenci v automobilovém průmyslu. Jako hlavní požadavky při konstrukci jsou především bezpečnost, komfort a v neposlední řadě samozřejmě cena. Systémy, které byly používány před deseti lety jen u těch nejdražších a nejluxusnějších vozidel, jsou dnes instalovány i do vozidel nižších tříd.

Tato práce se bude zabývat především nápravami a možnostmi jejich aktivního řízení u vozidel různých druhů. V první části práce bude shrnuta používaná technika v oblasti vícenápravového řízení napříč historií od jednoduchých mechanických systémů, až po nejmodernější plně elektrické systémy. Na základě těchto informací budou dále specifikovány základní parametry a požadavky pro samotný návrh říditelné nápravy.

Hlavním cílem této práce je navržení zadní říditelné nápravy pro lehké terénní vozidlo, včetně všech jejích základních komponent. Bude se jednat o nápravu hnací. Její konstrukce bude navržena tak, aby jí bylo možné využít stavebnicově u různých typů karoserií lehkých terénních vozidel. Náprava bude navrhována s ohledem na její technickou jednoduchost a snadnou vyrobiteľnost. Pro navržení bude využito počítačového software Autodesk Inventor a samotným výstupem bude 3D návrh zadní říditelné nápravy, včetně všech jejích komponent.

1.1 Pohled do historie

Jako první vozidlo, u kterého byla využita řízená náprava, lze považovat žebřinový vůz neboli „žebřinač“. Jedná se o vlečné vozidlo vyrobené ze dřeva. Žebřinač býval tažen zvířetem, většinou koněm nebo krávou, a sloužil k převozu například sena nebo slámy. Přední náprava byla navržena tak, že se vůči vozu otáčela celá a kola k ní byly přidělány na pevně. Díky tomu bylo možné lépe manipulovat s vozem a dostat se s ním téměř všude.



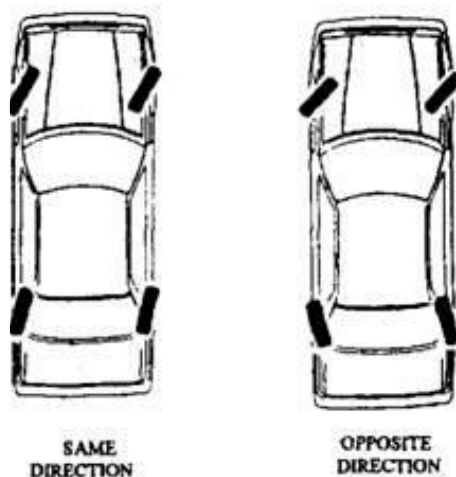
Obr. 1-1 Žebřinový vůz [4]

1.2 Řízení více náprav u vozidel

Systémem řízení více náprav se rozumí stav, kdy je možné u vozidla aktivně řídit více než jednu nápravu. V této bakalářské práci budou brána v potaz primárně dvounápravová vozidla a aktivní řízení čtyř kol, nebo-li 4WS. Hlavním důvodem vynalezení tohoto systému bylo zlepšení ovladatelnosti a manévrovatelnosti všech druhů vozidel. Nejprve hlavně vozidel zemědělské techniky, terénních nebo speciálních vozidel, aby byl zajištěn lepší pohyb vozidla například po poli nebo v těžkém terénu.

V dnešní době má tento systém velmi široké využití. Používá se například u kamionové nebo autobusové dopravy, kde zajišťuje větší průjezdnost velkých kamionů a snižuje opotřebení pneumatik. Dále u vozidel stavební techniky, sportovních vozidel a v neposlední řadě u osobních vozidel, kde zlepšuje komfort a jízdní vlastnosti vozidla.

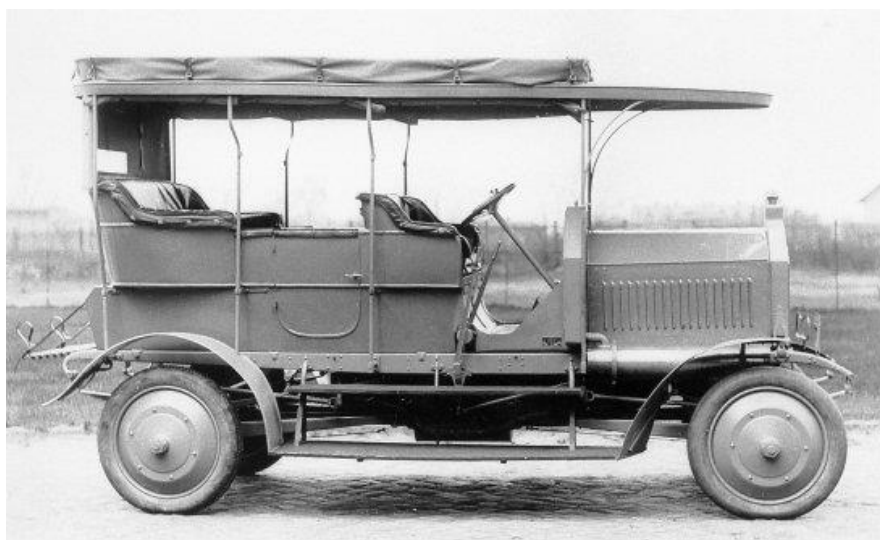
Řízení více náprav má dva základní funkční způsoby, kdy se kola obou náprav natáčejí buďto souhlasně, tedy ve stejném směru, nebo nesouhlasně, což znamená, že se zadní kola proti předním otáčejí v opačném směru.



Obr. 1-2 Souhlasné a nesouhlasné natáčení náprav [5]

1.3 První vozidla s řízenou zadní nápravou

Jako jedno z historicky prvních vozidel, které používalo k řízení obě nápravy, byl německý automobil Daimler Dernburg. Jednalo se o čtyřmístný osobní automobil s motorem o výkonu 35Hp, vyrobený v roce 1907. Zadní náprava byla mechanicky natáčena nesouhlasně s přední. Kromě toho, že vůz měl řízená všechna kola, měl také pohon všech čtyř kol. Slovy automobilky se mělo jednat o první osobní vůz s pohonem všech kol pro každodenní používání.



Obr. 1-3 Daimler Dernburg [6]

Dalším zajímavým vozidlem, které mělo obě nápravy řízené, byl australský traktor značky Caldwell. Traktor byl vyroben v roce 1910 a používal se k těžké práci na poli, například při orání, kde se díky řízené zadní nápravě zlepšila jeho ovladatelnost. Díky nesouhlasnému natáčení zadní nápravy se zmenšil poloměr otáčení a traktor se vzhledem k jeho velikosti otočil rychleji a na menší ploše.



Obr. 1-4 Traktor Caldwell [7]

Dalším důležitým vozidlem v historii automobilů se systémem řízení všech kol byl Mercedes-Benz VL170, W 139, vyráběný od roku 1936. Jednalo se o lehký terénní automobil s benzínovým motorem o výkonu 38Hp a s pohonem všech kol. Těchto vlastností mělo být využito převážně v lesnatých a hornatých krajinách. Automobil byl primárně určen pro armádu, ale zájem o něj byl velmi malý. Jeho nástupcem byl Mercedes-Benz G5.

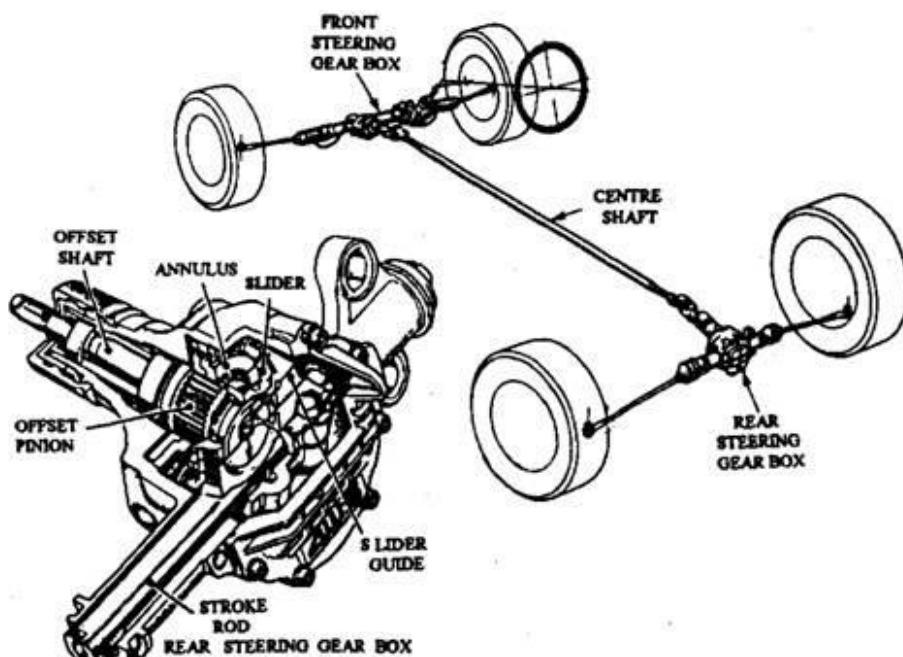


Obr. 1-5 Mercedes-Benz 170VL (W139) [8]

1.4 Systém řízení obou náprav dnes

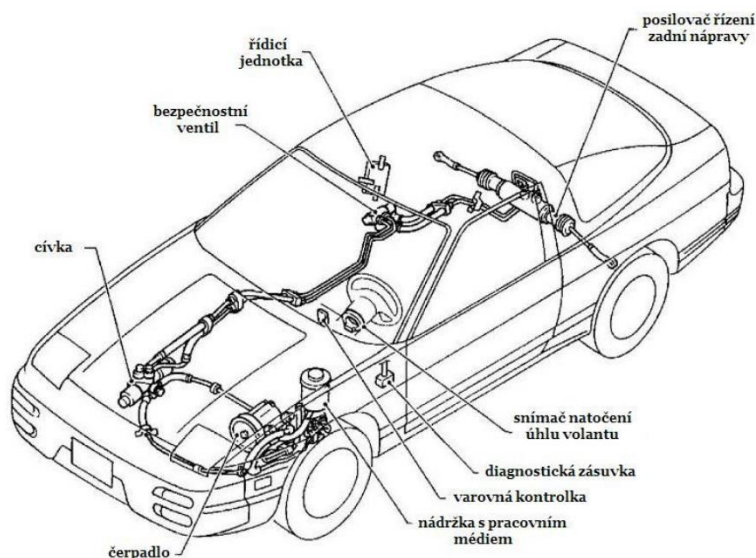
S příchodem nových technologií přišly i nové systémy a možnosti v řízení zadní nápravy. Nejdříve přišla inovace mechanického řešení, kde se pro řízení zadní nápravy používal například excentrický hřídel, který spojoval přední a zadní převodku řízení. Tento hřídel umožňoval natáčení zadních kol jak nesouhlasně, a to při větším natočení volantu (tedy v malých rychlostech), tak i souhlasně, při menším natočení volantu, tedy při rychlostech větších. Výhoda spočívala v tom, že při malých rychlostech, například na parkovišti, bylo

možné s autem lépe manévrovat a při rychlostech vyšších, kdy se kola natáčela souhlasně, se zmenšila nedotáčivost vozidla a projíždění otáček bylo bezpečnější. Naopak nevýhodou byla nemožnost odstavení tohoto systému a větší hmotnost, tudíž zvýšení neodpružené hmotnosti náprav. Na *Obr. 1-6* níže je zobrazen systém 4WS vozidla Honda Prelude, včetně řezu zadní převodky řízení.



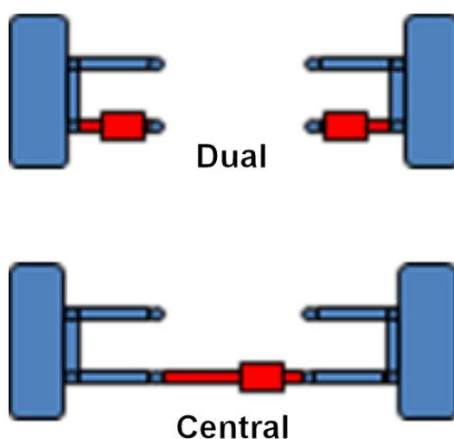
Obr. 1-6 4WS systém [9]

Jak už to v automobilovém průmyslu bývá, mechanický systém vystřídal systém hydraulický a elektro-hydraulický. Tyto systémy fungují na podobném principu, kdy se o natáčení kol stará hydraulický píst, který je umístěn na dané nápravě. Kapalina je stlačovaná pomocí hydraulické pumpy. Tato pumpa je většinou poháněna motorem vozidla. Elektro-hydraulický systém obsahuje ještě navíc čidla, která snímají jízdu vozidla, jako například rychlost a úhel natočení kol přední nápravy. Získané informace odesílají do řídicí jednotky, která dále ovládá hydrauliku. Tento systém je dosti složitý a náročný na údržbu. Je využíván hlavně u vozidel těžké techniky, především u různých nakladačů, traktorů a nákladních automobilů, zkrátka u velkých a těžkých strojů, kde neobstojí elektromotor. U osobních automobilů byl tento systém využíván automobilkami Nissan, Mazda nebo BMW. Ale tento systém byl, jak už bylo zmíněno, složitý a náročný na údržbu. Často docházelo k selhání a nutnosti oprav a proto tento systém později vystřídal systém elektromechanický.



Obr. 1-7 Elektrohydraulický systém řízení HICAS u vozidla NISSAN [10]

Nejmladším systémem v ovládní kol zadní nápravy je systém elektromechanický. Tento systém používá k natočení zadních kol elektromotoru. Buďto jednoho centrálního, který ovládá obě kola současně, kdy je možné kola natáčet pouze jedním směrem, nebo dvou elektromotorů, kdy je každý umístěn na jednom kole. Díky tomu je možné natáčení kol různými směry nezávisle na sobě.



Obr. 1-8 Způsoby použití elektromotoru [11]

Tyto elektromotory jsou opět ovládnány pomocí řídicí jednotky, která dostává informace od čidel umístěných ve vozidle. Tím je možné řídit kola v závislosti na jízdních vlastnostech vozidla. Oproti hydraulickému systému je přesnější a spolehlivější. Využívá se hlavně u moderních osobních automobilů, především luxusních supersportů, ve kterých zlepšuje jízdní vlastnosti při vysokých rychlostech, a u vozidel typu SUV, kde zlepšuje manévrovatelnost těchto velikých vozidel

1.4.1 Nákladní a hromadná doprava

U velkých nákladních automobilů a autobusů stále roste požadavek na přepravu většího množství zboží a většího počtu lidí. Šetří se tím peníze a také snižuje hustota provozu. Pohyb těchto vozidel, zvláště v dnešních přeplněných městech, je proto náročnější. Všechna tato vozidla mají většinou více jak dvě nápravy. Proto je u nich třeba zajistit lepší manévrovatelnost a průjezdnost.

Většina dnešních autobusů mají třinápravový systém. Jedna říditelná náprava je vpředu a dvě nápravy jsou vzadu, přičemž jedna je hnací a druhá říditelná. Tyto autobusy jsou většinou používány pro dálkové jízdy. Pro hromadnou dopravu ve městech, kde je potřeba zajistit opravdu dobrou manévrovatelnost a průjezdnost, jsou často používány autobusy kloubové. Skládají se ze dvou nebo tří částí, které jsou mezi sebou spojeny kloubem a zároveň využívají vícenápravový systém řízení.



Obr. 1-9 Kloubový autobus městské hromadné dopravy [12]

U dopravy nákladní, ve které je potřeba oproti dopravě autobusové zajistit možnost přepravy těžkých a rozměrných věcí, je důležité zachovat při délce dané nákladní soupravy i její průjezdnost po městech, průmyslových zónách nebo staveništích.

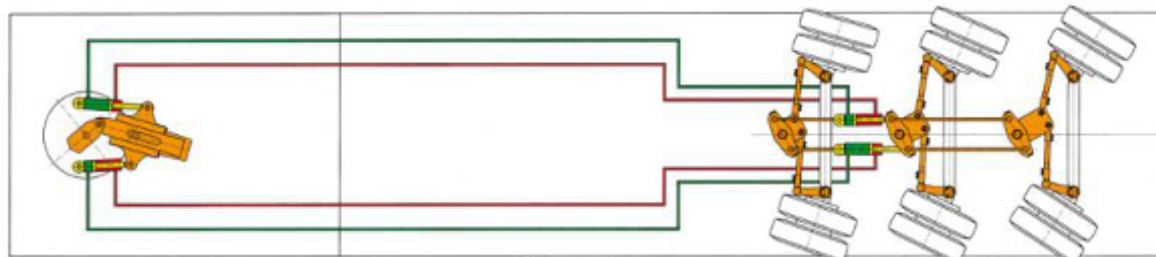
Proto se dnes hojně využívají nákladní automobily, které mají více jak jednu říditelnou nápravu. Například nákladní automobil Renault Lander. Jeho podvozek 8x4*4 vychází z podvozku 6x4, který je opatřen ještě jednou zadní říditelnou nápravou, díky níž je snížen poloměr otáčení o 15%, což zajišťuje lepší manévrovatelnost při zachování dané velikosti automobilu. Nápravu je možné kdykoliv zdvihnout, čímž se snižuje valivý odpor a opotřebení pneumatik. Proto je Renault Lander ideálním nákladním automobilem na místa s velmi omezenými možnostmi manévrování, jako jsou například městská staveniště.



Obr. 1-10 Renault Premium Lander 8x4*4 [13]

Další důležitou kapitolou u nákladní přepravy jsou vícenápravové přívěsy, které slouží převážně pro přepravu nadrozměrných a extrémně těžkých nákladů. Jakými jsou například stavební stroje, vojenská technika, a různé betonové konstrukce. Například při přepravě lopatek větrné elektrárny, kde velikost jedné lopatky může být i 50 metrů. Proto je téměř nemožné zajistit přepravu bez přívěsu, u kterého jsme schopni řídit jeho nápravy. Tyto přepravy jsou ale spíše výjimečné. Jsou dokonale naplánované a provádí se většinou v noci, kdy je provoz na dálnicích nejméně hustý.

Princip ovládání náprav těchto návěsů je založen na mechanicko-hydraulickém systému. Při odbočení návěsu vznikne mezi tahačem a návěsem úhel, tzv. úhel zlomení, podle kterého se pak každá z náprav návěsu natočí. Nápravy jsou ovládány pomocí hydrauliky a je pravidlem, že úhel natočení kol je největší u poslední nápravy návěsu a směrem k tahači klesá. Kinematika tohoto systému je pevně definovaná, nepřizpůsobuje se jízdním podmínkám a je závislá pouze na úhlu zlomení. Tyto speciální návěsy mohou mít klidně i 10 takto řízených náprav. Záleží na velikosti a hmotnosti převáženého nákladu.



Obr. 1-11 Systém řízení náprav speciálních návěsů [14]

1.4.2 Zemědělská technika

U strojů dnešní zemědělské techniky stále roste požadavek na větší výkonnost a proto i jejich velikost stále roste. Proto je třeba zajistit jejich dokonalou ovladatelnost i v malých a těžko přístupných prostorách.

Velkou zajímavostí je již méně používaný český traktor ŠT 180. Jedná se o dvounápravový kolový traktor s otočným mezinápravovým čepem, který zajišťuje rejď traktoru. Traktor tedy zatáčí pomocí kloubu a dvou hydraulických pístů, umístěných mezi jednotlivými částmi šasi. Jízda s tímto traktorem po pozemních komunikacích však nebyla úplně jednoduchá. Naproti tomu výborných vlastností dosahoval při jízdě po polích, kde měl díky kloubu traktor vzhledem k jeho velikosti velmi malý poloměr otáčení.

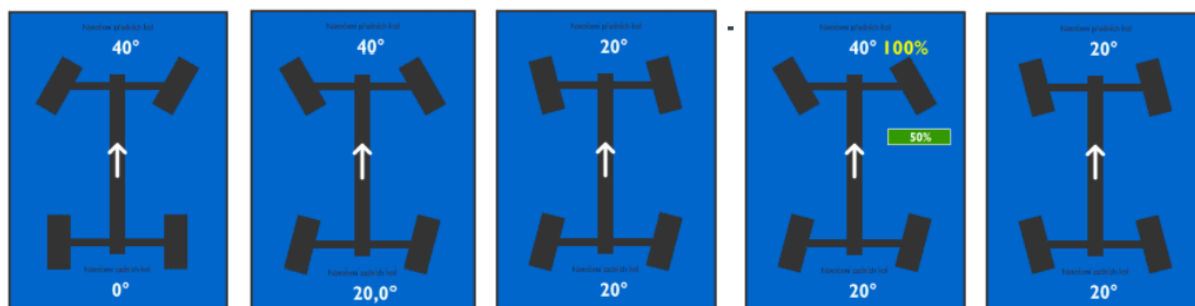


Obr. 1-12 ŠT 180 [15]

Když se posuneme o pár desítek let dál, dalším zajímavým strojem v oblasti zemědělské techniky je traktor JCB Fastrac 4000. Tento traktor používá pro svůj pohyb velmi moderní systém řízení všech kol. Jak už to u těžké techniky bývá, je řízení zadní nápravy hydraulické a nabízí 5 různých režimů, ve kterých může pracovat.

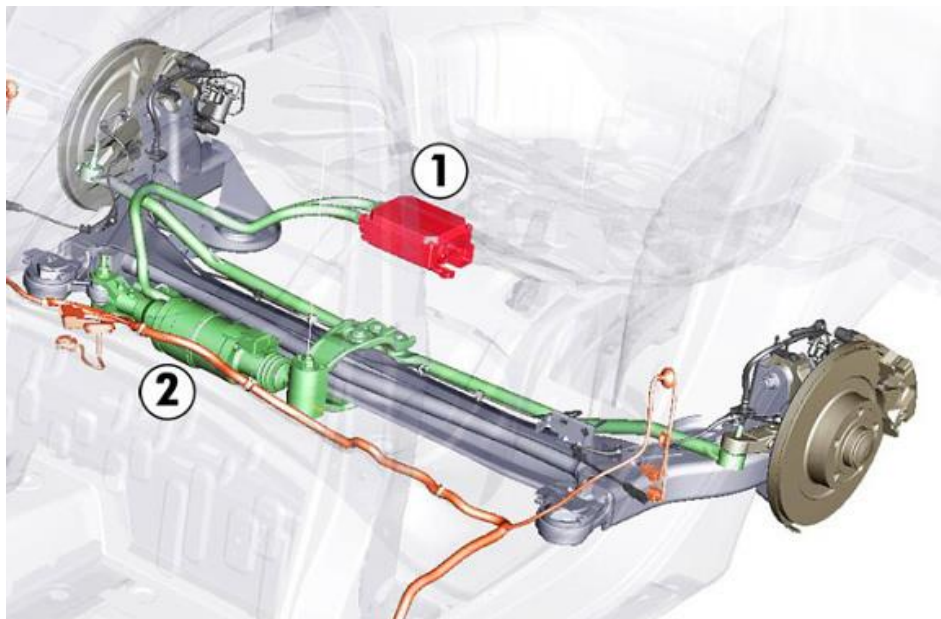
**Obr. 1-13 JCB Fastrac 4000 [16]**

Prvním režimem je řízení pouze přední nápravy. V tomto režimu pracuje stroj vždy, když dosáhne rychlosti větší jak 25 km/h. Maximální natočení přední nápravy je 40°. V tomto režimu je zadní náprava pomocí vzduchového zámku držena v přímé pozici. Druhý režim se nazývá proporcionální řízení obou náprav. To znamená, že se natáčejí obě nápravy a to nesouhlasně v poměru 2:1 (přední:zadní). Maximální natočení zadní nápravy je 20°. Třetí režim pracuje stejně jako předchozí, jen s tím rozdílem, že nápravy se natáčejí v poměru 1:1, tedy pouze do úhlu natočení zadní nápravy 20°. Dalším režimem je tzv. zpožděné zatáčení zadní nápravy. U tohoto režimu si lze nastavit zpoždění zatáčení zadní nápravy v procentech 10-50% natočení přední nápravy. Posledním režimem je tzv. krabí chod. Krabí chod znamená, že se obě nápravy natáčejí souhlasně v poměru 1:1, opět do úhlu natočení zadní nápravy 20°. Traktor jede potom jakoby bokem. Tento režim může být výhodný například při sjíždění svahů, čímž zabraňuje jeho sesouvání.

**Obr. 1-14 Jednotlivé režimy natáčení zadní nápravy [17]**

1.4.3 Osobní automobily

U dnešních osobních automobilů není 4WS výjimkou. Velké množství SUV, nebo sportovních automobilů, již tento systém stále častěji využívá. Největší rozmach 4WS u osobních automobilů nastal v devadesátých letech v Japonsku, kde automobilky Nissan a Honda představily své první sériově vyráběné automobily s aktivně řízenou zadní nápravou. U těchto automobilů šlo o jednoduchý systém, kde jediné, co rozhodovalo o úhlu nebo směru natočení, byl volant. Různé řídicí jednotky a elektricky ovládané prvky byly nákladné a tudíž v sériové výrobě nepoužitelné. Velké oživení tohoto systému přišlo o 20 let později s automobilkou Renault a s jejím systémem 4Control. Tento systém již používal pro aktivní řízení zadní nápravy centrální elektromotor, který byl ovládán pomocí řídicí jednotky. Ta přijímala informace od čidel rychlosti, natočení volantu, ESP, ABS atd. a zajišťovala přesnou práci zadní nápravy v závislosti na jízdních podmínkách a různých režimech jízdy. Díky tomu je auto schopné přizpůsobit se vždy aktuální situaci, která při jízdě nastane. Při jakékoliv poruše nebo krizové situaci dojde k uzamčení systému. Kola se zamknou do přímé pozice a auto je ovládané pouze pomocí přední nápravy. Tento systém již používá drtivá většina moderních 4WS automobilů.



Obr. 1-15 Zadní náprava - systém 4Control [18]

1.4.4 Terenní a speciální automobily

Veliké využití nachází systém aktivního řízení všech kol u automobilů, které jsou určeny spíše pro jízdu mimo silnice. Do této skupiny patří různé typy off-roadů, uphillů nebo bugin. Při ježdění v těžkém terénu si tyto automobily musejí poradit se situacemi, kde je řízení pouze přední nápravy nedostačující. Ať už se jedná o výjezd velmi příkrého svahu nebo nutnosti objet překážku v malém prostoru. Většina těchto speciálních vozů využívá k ovládní zadní nápravy hydraulického, či elektro-hydraulického systému. Tak je možné natáčení zadní nápravy využívat v různých režimech, jak souhlasně, tak nesouhlasně s přední nápravou.

Nejzajímavějším automobilem této kategorie je koncept Jeep Hurricane od koncernu Daimler Chrysler. Hurricane byl vyvinut tak, aby jeho vlastnosti v terénu byly, co nejlepší. O pohon všech kol tohoto monstra se starají dvě motorové jednotky HEMI s objemem 5,7l o neuvěřitelném výkonu 335Hp. Každé kolo je při řízení ovládané, zvlášť a proto ho je možné využívat v nejrůznějších režimech. Například je možné se s ním otočit téměř na místě s minimálním poloměrem otáčení. Díky tomu je schopný se dostat téměř z každé nepříjemné situace.



Obr. 1-16 Jeep Hurricane [19]

Buggy

Buggy je označení pro lehké terenní vozidlo určené převážně pro offroad ježdění, tedy ježdění mimo pozemní komunikace. Jejich karoserie bývá otevřená, nejčastěji trubková a bývá konstruovaná maximálně pro dvě osoby. Jejich hlavním parametrem je nízká hmotnost a ovladatelnost.

Dune buggy

Existuje velké množství typů vozidel buggy. Například Dune nebo Beach buggy je označení pro buggy, které jsou určeny převážně pro rekreační pohyb po plážích. Mají většinou široké pneumatiky a náhon pouze na zadní nápravu. Za první dune buggy je považováno vozidlo zvané Sporster. Jednalo se vozidlo s plechovou karoserií posazenou na upraveném podvozku VW Beetle. Měla vzadu umístěný, vzduchem chlazený čtyřválcový plochý motor o výkonu 21 kW. Proto jsou Dune buggy často spojovány s vozidly přestavovanými ze sériových vozidel.



Obr. 1-17 „Po domácku“ postavená Dune Buggy [20]

Sandrail buggy

Dalším typem je sandrail buggy. Tato bugina je určena převážně pro sportovní jízdu po písečných dunách. Má většinou motor o velkém výkonu, který je umístěný až za zadní nápravou, čímž dosáhne co nejlepší trakce i v měkkém písečném terénu. Její konstrukce bývá velmi jednoduchá a hmotnost se pohybuje okolo 500 kg. Přední náprava bývá většinou řešena jednoduše s použitím malých úzkých kol pro lepší ovladatelnost. Sandrail buggy je také používána americkou pohraniční službou pro rychlý a bezpečný pohyb po hranicích mezi státy, kde jsou pouze písečné duny. Nebo také americkým námořnictvem SEAL.

Rock crawler

Rock crawler lze v českém překladu nazvat jako „skalní lezec“. Jak už jeho český překlad napovídá, jedná se vozidlo určené pro překonávání toho nejnáročnějšího terénu. Výborně slouží například při vyjíždění těch nejstrmějších kopců, přejíždění velkých balvanů nebo zdolávání nebezpečných horských stezek. Rock crawlery se převážně využívají v nejrůznějších trialových soutěžích. Karoserie bývá většinou trubková a konstruovaná tak, aby co nejlépe ochránila jezdce při převrácení na střechnu, které je při těchto soutěžích na denním pořádku. Motor bývá vždy umístěn vzadu a jeho výkon může být běžně až 600Hp. Má náhon na všechna čtyři kola a řízení všech kol také není výjimkou.



Obr. 1-18 Rock crawler – Tim Cameron Showtime [21]

2. Specifikace technických parametrů

Hlavním úkolem této práce je navrhnout zadní říditelnou nápravu, která bude fungovat jako modul. Bude jí možné použít jako samostatný prvek, který půjde namontovat na různé typy karoserií nebo půjde použít zároveň jako náprava přední. Náprava bude určena převážně pro lehká terénní vozidla, pro buginy.

2.1 Požadavky

Hlavním požadavkem pro navrhovanou zadní nápravu je její říditelnost vzhledem k její technické jednoduchosti a funkčnosti. Důležitá je také bezpečnost tohoto systému a možnost jeho vyřazení nezávisle na přední nápravě. Druhým parametrem nápravy musí být možnost modulárního využití. Proto musí být navržena tak, aby jí po drobných úpravách bylo možné využít u různých typů konstrukcí.

Pro správné navržení nápravy je potřeba znát některé parametry, které vychází z konstrukce vozidla. Tyto parametry jsou zvoleny.

Parametr	Hodnota	Jednotky
Rozvor	2225	mm
Rozchod	1600	mm
Celk. hm. na nápravu	300	kg
Propružení kol – min.	-80/+150	mm
Světlá výška nápravy – min.	250	mm
Min. rychlost	50	km/h
Max. rychlost	90	km/h
Poloměr otáčení - minimálně	2500	mm
Maximální úhel rejdu př. nápravy	36	°

Tab. 1 Parametry pro návrh nápravy

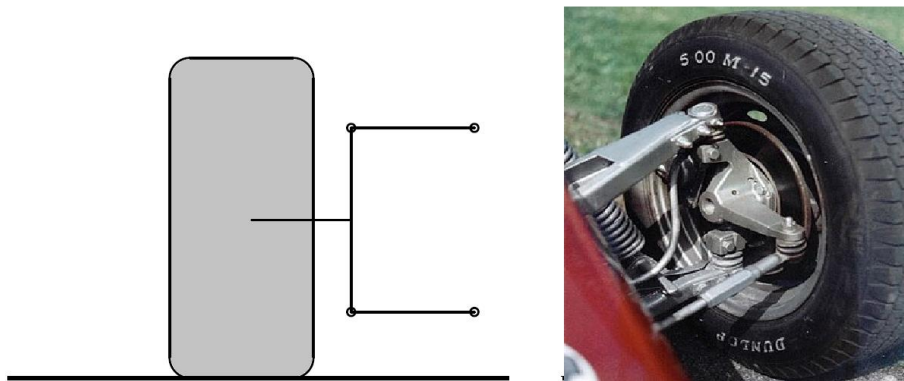
2.1.1 Zavěšení kol

Zavěšením kol je myšleno připojení kol ke karoserii nebo rámu vozidla. Často je zavěšení kol nahrazováno pojmem náprava. Náprava slouží k přenosu tíhy karoserie na vozovku. Dále pak k přenosu brzdě a hnací síly na kola a také k odpružení vozidla. Zajišťuje správné vedení a eliminaci nežádoucích pohybů kola. Zavěšení kol můžeme rozdělit na závislé a nezávislé. Závislé zavěšení nebo také tzv. tuhá náprava, je způsob zavěšení obou kol nápravy pevně na společném nosníku, kdy jejich poloha vůči sobě je pevně definována. Tento druh byl používán spíše u starších vozidel. Jeho nevýhodou je větší neodpružená hmotnost a zároveň horší jízdní vlastnosti. Druhým typem je zavěšení nezávislé nebo také tzv. výkyvná náprava. Tento typ zavěšení umožňuje pohyb jednotlivých kol nezávisle na sobě. Jeho konstrukce je sice složitější, ale oproti tomu nabízí lepší jízdní vlastnosti a menší neodpruženou hmotnost.

Existuje několik typů výkyvných náprav, které jsou konstruované jako říditelné. Jejich volba je otázkou konkrétního typu vozidla. Jedná se o nápravu McPherson, lichoběžníkovou nápravu, rovnoběžníkovou nápravu a nápravu víceprvkovou. [22]

Rovnoběžníková náprava

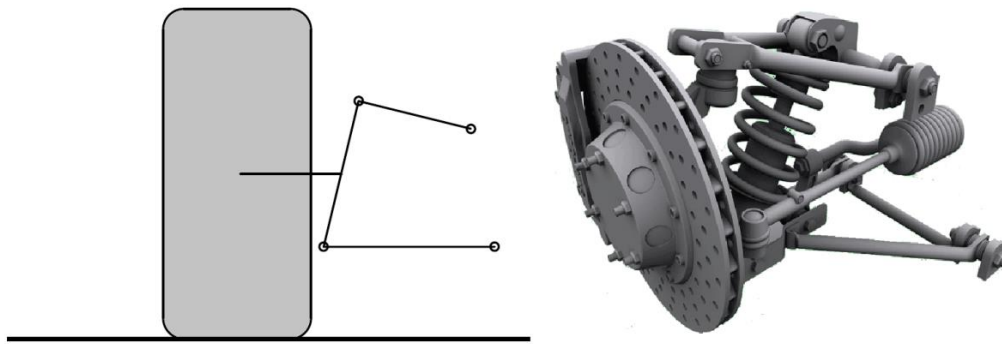
Jedná se o nápravu se dvěma nad sebou umístěnými stejně dlouhými rameny ve tvaru A nebo L, připojených ke karoserii pomocí pryžových pouzder. Tato ramena mají na konci umístěný kulový čep, který umožňuje pohyb kola ve dvou směrech. Spodní rameno nese většinu zátěže vozidla, proto je jeho konstrukce robustnější oproti hornímu. Náprava byla hojně používána přibližně do 80. let 20. století, potom byla vystřídána nápravou McPherson, která je o něco jednodušší. Výhodou rovnoběžníkové nápravy je jednoduché ladění geometrie a možnosti nastavení záporného odklonu kola po celé jeho dráze. Nevýhodou je velká změna rozchodu kol při propružení.



Obr. 2-1 Rovnoběžníková náprava [23]

Lichoběžníková náprava

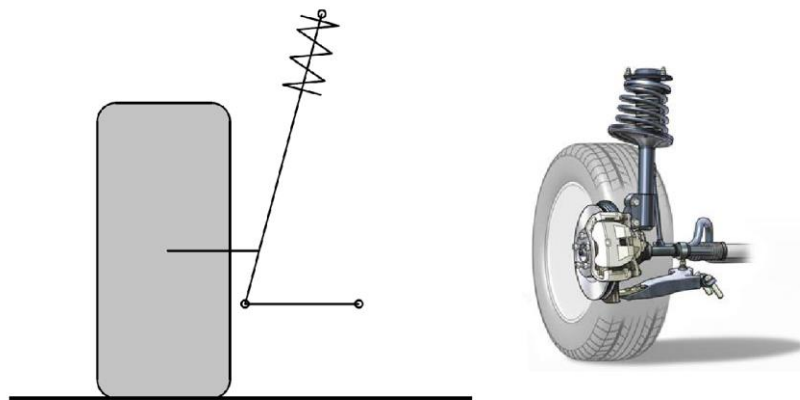
Tato náprava je konstrukčně velmi podobná rovnoběžníkové. Je také tvořena dvěma nad sebou umístěnými rameny, ale nestejně délky. Tento typ je i nyní používán u mnoha dnešních vozidel. Podobně jako u rovnoběžníkové nápravy je zde problém se změnami odklonu, sbíhavosti i rozchodu kol při propružení. Volením vhodné konstrukce a geometrie lze však tyto negativní vlastnosti minimalizovat.



Obr. 2-2 Lichoběžníková náprava [24]

McPherson

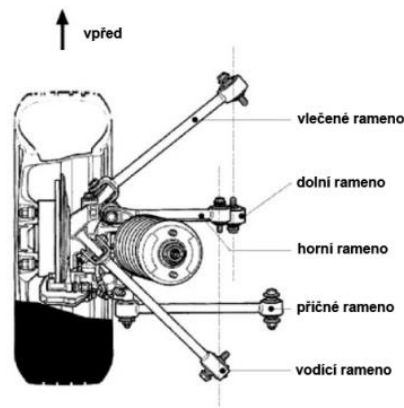
Náprava McPherson vychází z nápravy lichoběžníkové, avšak horní rameno je nahrazeno svislou vzpěrou. Spodní příčné rameno bývá trojúhelníkové a je umístěno pod osou kola. Svislá vzpěra je řešena jako kombinace zavěšení a zároveň odpružení. Její součástí je tlumič s vinutou pružinou. Tlumič je pomocí pryžového pouzdra a axiálního ložiska uložen v karoserii, čímž umožňuje řízení kola. Nevýhodou je konstrukcí pevně definovaný odklon kola. Naopak výhodou je jednodušší provedení a také větší příčný prostor



Obr. 2-3 McPherson náprava [25]

Víceprvková náprava

U víceprvkové nápravy je kolo zavěšeno pomocí několika nezávislých ramen. Jedná se o složitější a prostorově náročnější mechanismus, který ale dosahuje velmi příznivých jízdních vlastností a lepšího rozložení příčných a podélných sil. Díky nezávislosti jednotlivých ramen, kterých může být až pět, lze dosáhnout optimální kinematiky a skvělých jízdních vlastností. Naopak nevýhodou je složitější konstrukce a s tím spojená i nákladnější údržba a také složitější nastavení geometrie.



Obr. 2-4 Víceprvková náprava [26]

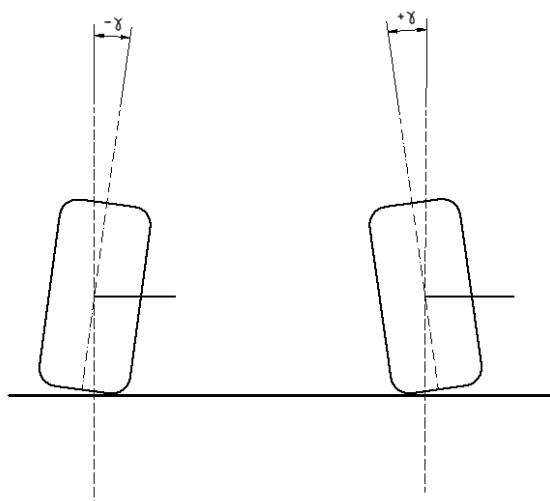
2.1.2 Geometrie řízené nápravy

Vytvoření správné geometrie nápravy je velmi složitý proces, který vyžaduje mnoho znalostí a praktických zkušeností. V dnešní době se již pro její řešení využívá nejčastěji počítačový software.

Odklon kola

Odklonem kola je myšlen úhel vychýlení střední roviny kola proti svislé rovině. Tedy rovině kolmé k vozovce. Uvažujeme buďto pozitivní, nebo negativní odklon. Pozitivní odklon znamená, že vršek kola je odkloněn směrem ven od svislé roviny. Odklon negativní znamená, že vršek kola je odkloněn směrem dovnitř od svislé roviny.

Odklon ovlivňuje ovladatelnost vozidla. Pro dosažení nejlepších jízdních vlastností, by měl být při průjezdu otáčkou odklon vnějšího kola negativní a odklon vnitřního kola pozitivní, aby byl kontakt pneumatiky s vozovkou co nejlepší. Této vlastnosti lze dosáhnout například u lichoběžníkové nápravy s rozdílnými délkami ramen. Naopak při akceleraci v přímém směru je potřeba, aby odklon kol byl ideálně nulový, jinak dochází ke snížení třecí plochy a k prokluzu kol. V praxi se využívá zpravidla odklon záporný v rozmezí $0,5-1,5^\circ$. Záleží na typu a použití vozidla.

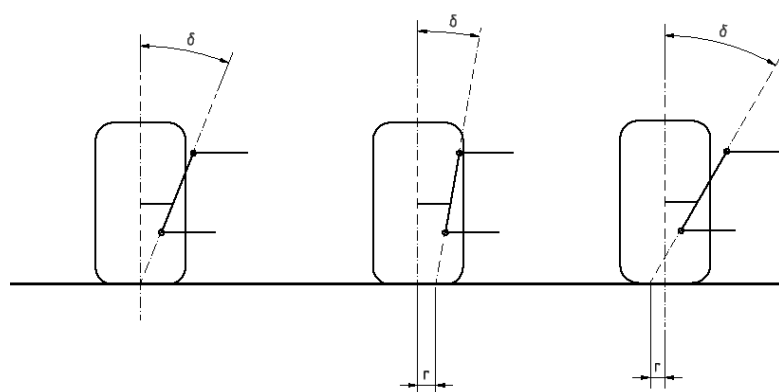


Obr. 2-5 Negativní odklon kol (vlevo), pozitivní odklon (vpravo)

Příklon rejdové osy a poloměr rejdu

Příklonem rejdové osy myslíme úhel mezi osou tvořící svislou rovinu kola a osou rejdu. U lichoběžníkové nápravy je rejdová osa spojnice kulových čepů spodního a horního ramene. Právě kvůli příklonu rejdové osy vznikají při zatáčení v závěsech kola síly, které je potřeba překonat. Díky těmto silám jsou kola automobilu při jízdě samočinně vracena do přímého směru. Příklon také působí na stabilizaci kola a snížení jeho kmitání.

Poloměr rejdu r je vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s vodorovnou rovinou vozovky a průsečíkem svislé osy kola s vozovkou. Leží-li tyto průsečíky ve stejném bodě, poloměr rejdu je nulový. Pokud leží vně střední roviny kola, je poloměr rejdu považován za záporný. Pokud je poloměr rejdu nenulový, vznikají v řízení vozidla při brždění, akceleraci nebo vlivem valivých odporů silové momenty. S rostoucí velikostí poloměru rejdu roste také citlivost nápravy na podélné síly. Proto se nyní stále častěji používá při konstrukci náprav záporný poloměr rejdu, který má stabilizační účinek na řízení. Působící síly tlačí kola do sbíhavosti a možné vůle v uložení nebo čepch nápravy jsou tímto vymezeny.[27] [28]

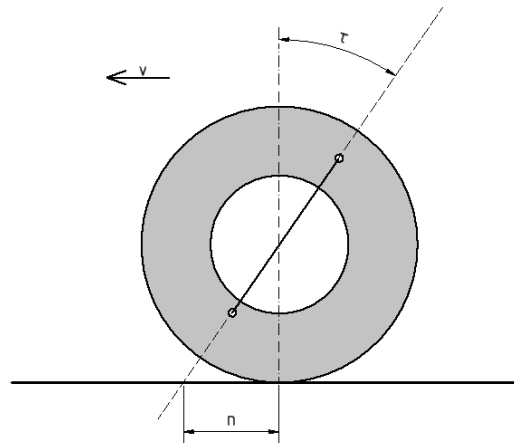


Obr. 2-6 Úhel rejdového čepu a poloměr rejdu, zleva- nulový, kladný, záporný

Záklon rejdové osy a závlek

Záklon rejdové osy je úhel mezi svislou rovinou kola a rejdovou osou. O kladné hodnoty záklonu se jedná, pokud je rejdová osa skloněna vzad. Pokud je rejdová osa skloněna vpřed, hovoříme o předklonu.

Závlek je vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy a svislé osy kola s vodorovnou rovinou vozovky. Závlek je kladný, pokud je průsečík rejdové osy a vozovky před svislou rovinou kola ve směru jízdy. V opačném případě se jedná o předvlek.

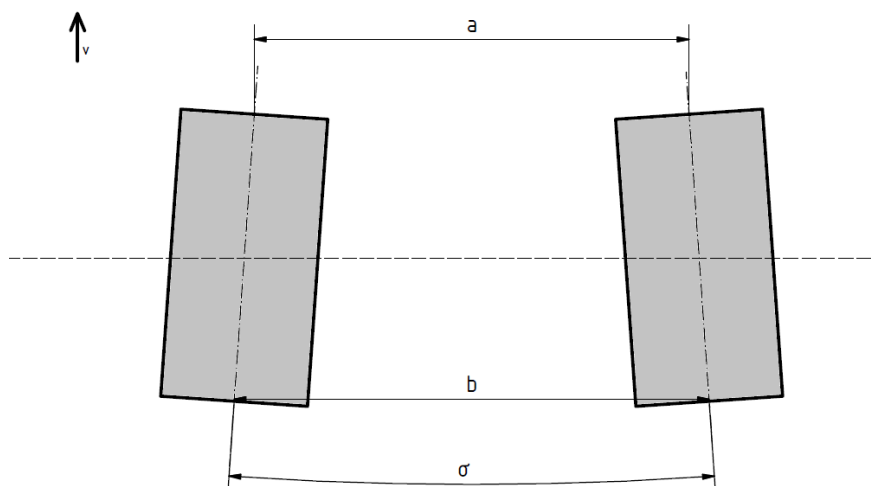


Obr. 2-7 Záklon rejdové osy a závlek

Sbíhavot a rozbíhavost kol

Jako sbíhavost kol nápravy označujeme úhel, který svírají podélné osy kol. Pokud přední část kol směřuje k sobě ve směru jízdy, hovoříme o kladné sbíhavosti. Pokud směřují k sobě zadní části kol, jedná se o zápornou sbíhavost nebo také rozbíhavost. Vlivem působení valivého odporu při jízdě mají síly tendenci natáčet kola do rozbíhavosti. U hnané nápravy jsou síly působící na kolo znatelně větší a tyto síly mají naopak tendenci natáčet kolo do sbíhavosti.

Správná sbíhavost vozidla má velký vliv hlavně na nerovnoměrné opotřebení pneumatik. Při špatném nastavení je vozidlo hůře ovladatelné a má tendenci samovolně zatáčet k jedné straně.

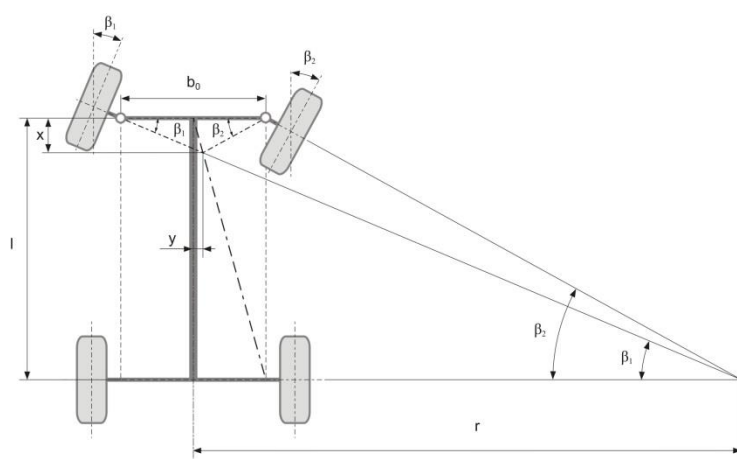


Obr. 2-8 Sbíhavost kol

2.1.3 Kinematika řízení

Ackermannova podmínka řízení

Díky využití říditelné zadní nápravy získáme u buginy skvělou ovladatelnost a manévrovatelnost v každém terénu. Aby bylo možné zachovat dobrou ovladatelnost i při vyšších rychlostech a aby při zatočení nedocházelo k prokluzu, ale kola se jen odvalovala, je potřeba dodržet tzv. Ackermannovu podmínku z teorie řízení. Z té vyplývá, že jelikož kola při průjezdu otáčkou opisují rozdílný poloměr, musí být i jejich úhel natočení rozdílný. Průsečík kolmic předních kol by se měl protínat na prodloužené ose zadní nápravy. Tím získáme dokonalý průjezd otáčkou bez prokluzu kol. Vzdálenost mezi průsečíkem těchto přímek a pomyslným středem náprav nazýváme poloměrem otáčení vozidla.

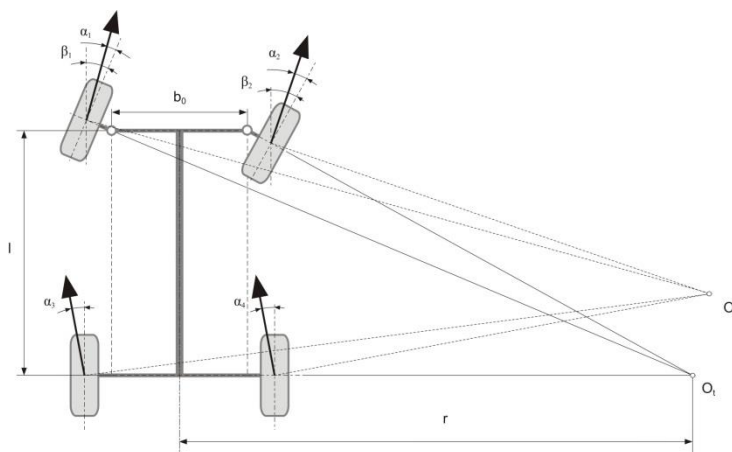


Obr. 2-9 Ackermannova podmínka [29]

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

- b_0 – vzdálenost rejdových čepů
- l – rozvor náprav
- β_1, β_2 – úhel natočení kol
- r – poloměr otáčení

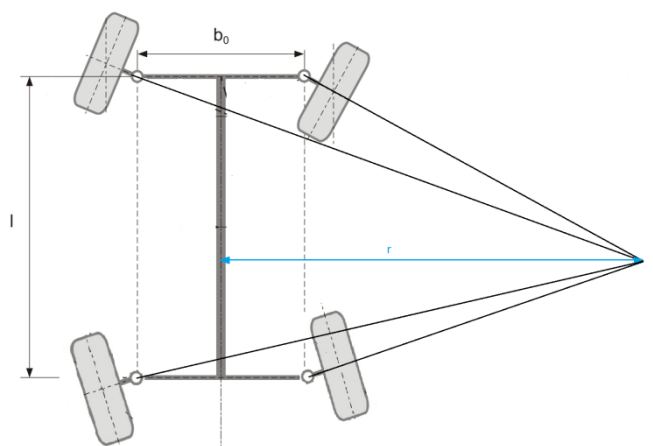
Bohužel, tento stav je pouze teoretický a v praxi se mu snažíme co nejvíce přiblížit. Při reálném průjezdu otáčkou má na kinematiku jízdy vliv například tuhost pneumatik, uložení náprav nebo velikost odstředivých sil působících na vozidlo. Právě díky těmto vlivům se mění reálný poloměr otáčení a vozidlo působí buďto nedotáčivě, nebo přetáčivě.



Obr. 2-10 Rozdíl mezi reálným a teoretickým průjezdem otáčky [29]

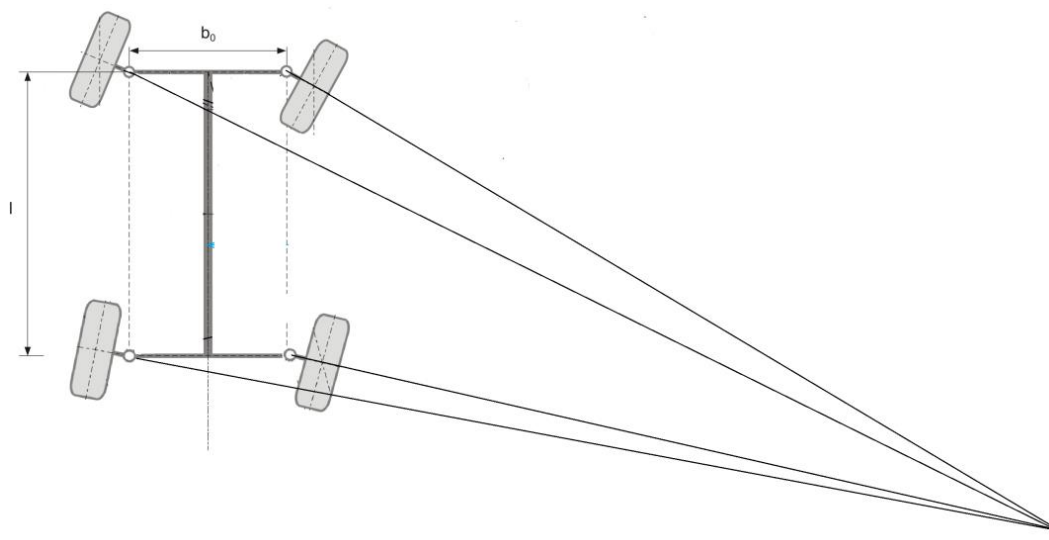
U kinematiky vozidel se 4WS je potřeba počítat i s úhly natočení zadní nápravy jak plyne z Ackermanovy podmínky. Úhly natočení jednotlivých kol musí být takové, aby jejich poloměry otáčení měly průsečík v jednom bodě.

Při nesouhlasném natočení kol se posune střed otáčení směrem k vozidlu. Tím se zmenší celkový poloměr otáčení vozidla. Díky tomu je vozidlo obratnější a je schopné se otočit na menším prostoru. Této skutečnosti se využívá při menších rychlostech z pravidla do 40 km/h .



Obr. 2-11 Ackermannova podmínka pro 4WS - nesouhlasné natočení kol

Naopak při natáčení kol souhlasně se střed otáčení posouvá od vozidla, poloměr otáčení je tedy větší. Díky tomu se vozidlo chová lépe při průjezdu otáčkou. Snižuje se nedotáčivost a průjezd je tedy bezpečnější a také rychlejší.



Obr. 2-12 Ackermannova podmínka pro 4WS - souhlasné natočení kol

Každý typ vozidla má svoji specifickou kinematiku. Od vozidel určených například do terénu jsou vyžadovány rozdílné vlastnosti jak od vozidel silničních. Vytvoření správné kinematiky je velmi složitá procedura. O to více u vozidel 4WS.

2.1.4 Kinematika a geometrie konstruované nápravy

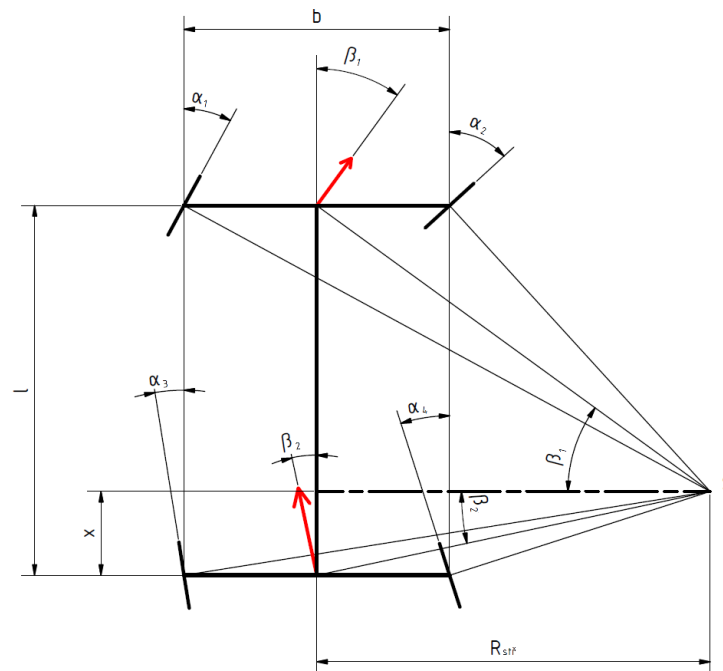
Vzhledem k tomu, že konstruovaná náprava bude určena převážně pro lehká terénní vozidla typu buggy. Bude zvolené nastavení řízení zadní nápravy nesouhlasné vůči nápravě přední. Toto nastavení bude pevně definované, bez možnosti změny vzhledem k rychlosti vozidla nebo úhlu zatočení.

Důležitými parametry při konstrukci a počítání kinematiky zadní říditelné nápravy jsou rozvor náprav, rozchod kol, maximální úhel natočení předních kol a také poměr natáčení vůči přední nápravě. Tyto parametry jsou uvedeny viz. *Tab. 1*.

Kinematika

Z Ackermannovy podmínky plyne, že úhly natočení jednotlivých kol by měli být takové, aby jejich průsečíky ležely v jednom bodě. Toho lze dosáhnout nejlépe tak, že každé kolo bude říditelné nezávisle na ostatních, ale tato možnost je velmi složitá a v případě této nápravy zbytečně nákladná. Zjednodušeným a nejčastěji používaným řešením je konstrukce řízení do lichoběžníku. Díky této konstrukci se můžeme správné kinematice co nejlépe přiblížit a vzhledem ke skutečnosti, že konstruovaná náprava je určena především pro lehké terénní vozidlo o maximální rychlosti 90km/h, to bude zcela dostačující.

Omezujícím parametrem pro návrh je minimální poloměr otáčení vozidla. Před výpočtem je ještě potřeba zvolit, v jakém poměru budou natáčena zadní kola vůči předním. Proto nejprve budeme uvažovat hodnotu 1:1 a v druhém případě hodnotu 1:3.



Obr. 2-13 Základní úhly a rozměry návrhu

Výpočty

α_1, α_2 – úhly rejdu přední nápravy [°]

α_3, α_4 – úhly rejdu zadní nápravy [°]

β_1 – maximální úhel rejdu přední nápravy [°]

β_2 – maximální úhel rejdu zadní nápravy [°]

l – rozvor [mm]

b – rozchod [mm]

x – vzdálenost kolmice středu otáčení od osy zadní nápravy [mm]

i – poměr natáčení kol [–]

$R_{stř}$ – poloměr otáčení [mm]

R_3 – poloměr otáčení vnějšího zadního kola [mm]

R_4 – poloměr otáčení vnitřního zadního kola [mm]

$R_{stř2}$ – poloměr otáčení vozidla bez 4WS [mm]

V prvním případě bude uvažován poměr natáčení kol 1:1 v případě druhém 1:3 (zadní:přední). Která varianta bude více vyhovovat, pro tu budou dopočítány i zbylé úhly a rozměry kinematiky nápravy.

a) Poměr natáčení kol $i = 1:1$

$$\beta_1 = \beta_2 = 36,0^\circ \quad (1)$$

$$\Rightarrow x = \frac{l}{2} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{x}{R_{stř}} \quad (3)$$

$$R_{stř} = \frac{x}{\operatorname{tg} \beta_1} = \frac{1112,5}{\operatorname{tg} \beta_1} = \mathbf{1531 \text{ mm}} \quad (4)$$

b) Poměr natáčení kol $i = 1:3$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{3}{1} \Rightarrow \beta_2 = 12,0^\circ \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{l - x}{R_{stř}} \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{x}{R_{stř}} \quad (7)$$

$$(7) \text{ do } (6) \quad \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{l - R_{stř} * \operatorname{tg} \beta_2}{R_{stř}} \Rightarrow R_{stř} = \frac{l}{\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2} \quad (8)$$

$$R_{stř} = \frac{2225}{\operatorname{tg} 36^\circ + \operatorname{tg} 12^\circ} = \mathbf{2369 \text{ mm}} \quad (8)$$

Z výpočtů splňují podmínku nejmenšího poloměru otáčení obě varianty. Vhodnější ale bude zvolit variantu b), nastavení poměru natáčení 1:3. U varianty a) bychom sice docílili lepší průjezdnosti a možnosti otočit se i na velmi malém prostoru, ale v rychlostech nad 40km/h by bylo vozidlo mnohem hůře ovladatelné. Proto zbylé výpočty kinematiky budou řešeny pouze pro variantu b).

$$z (7) \quad x = \operatorname{tg} \beta_2 * R_{stř} = 504 \text{ mm} \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{x}{\frac{b}{2} + R_{stř}} \Rightarrow \alpha_3 = \operatorname{arctg} \frac{x}{\frac{b}{2} + R_{stř}} \quad (10)$$

$$\alpha_3 = \operatorname{arctg} \frac{504}{\frac{1600}{2} + 2369} = 9,0^\circ \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_4 = \frac{x}{R_{stř} - \frac{b}{2}} \Rightarrow \alpha_4 = \operatorname{arctg} \frac{x}{R_{stř} - \frac{b}{2}} \quad (11)$$

$$\alpha_4 = \operatorname{arctg} \frac{504}{2369 - \frac{1600}{2}} = 17,8^\circ \quad (11)$$

$$\cos \alpha_3 = \frac{\frac{b}{2} + R_{stř}}{R_3} \Rightarrow R_3 = \frac{\frac{b}{2} + R_{stř}}{\cos \alpha_3} \quad (12)$$

$$R_3 = \frac{\frac{2225}{2} + 2369}{\cos 9^\circ} = 3209 \text{ mm} \quad (12)$$

$$\cos \alpha_4 = \frac{R_{stř} - \frac{b}{2}}{R_4} \Rightarrow R_4 = \frac{R_{stř} - \frac{b}{2}}{\cos \alpha_4} \quad (13)$$

$$R_4 = \frac{2369 - \frac{1600}{2}}{\cos 17,8^\circ} = 1645 \text{ mm} \quad (13)$$

$$R_{stř2} = \frac{l}{\operatorname{tg} \beta_1} = \frac{2225}{\operatorname{tg} 36^\circ} = 3062 \text{ mm} \quad (14)$$

Parametr	Hodnota	Jednotky
β_1	36,0	°
β_2	12,0	°
α_3	9,0	°
α_4	17,8	°
$R_{stř}$	2369	mm
R_3	3209	mm
R_4	1645	mm

Tab. 2 Vypočtené hodnoty

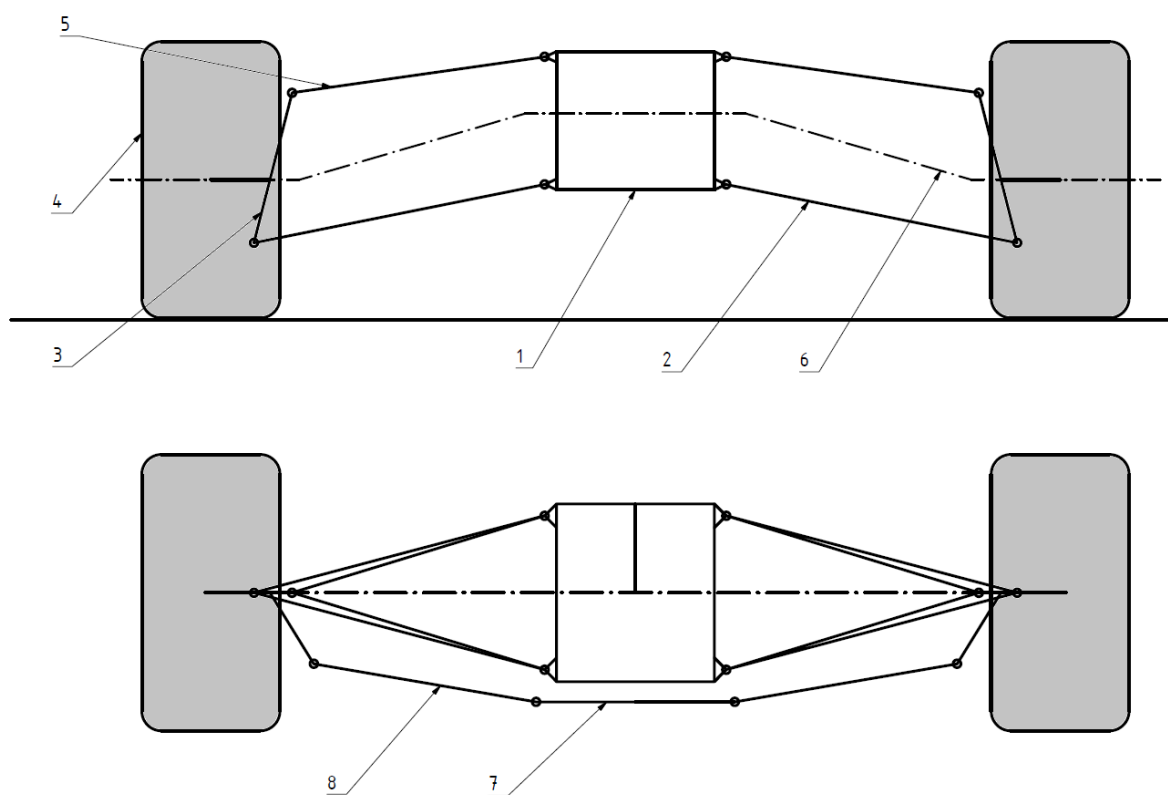
V tab. 2 jsou shrnuty výsledné hodnoty pro konstruovanou nápravu. Ve výpočtu (14) je počítán poloměr otáčení pro vozidlo bez možnosti řízení zadní nápravy, tedy bez 4WS. Tento výpočet byl proveden pro porovnání jednotlivých variant. Výsledný poloměr otáčení u 4WS při poměru otáčení 1:3 je o 22,5% menší, než u vozidla s říditelnou pouze přední nápravou.

3. Návrh koncepčního řešení

3.1 Návrh řešení nápravy

Pro konstrukci dané říditelné nápravy bylo zvoleno nezávislé zavěšení kol. Vzhledem k tomu, že náprava je určena převážně pro vozidla pohybující se v terénu, konstrukce nápravy bude lichoběžníkového typu. Náprava McPherson je sice konstrukčně o něco jednodušší, ale nastává tu problém se zajištěním modulárnosti nápravy. Další výhodou je variabilnější nastavení geometrie.

Hlavní částí nápravy je rám nápravy. K tomuto rámu jsou připojeny všechny prvky zavěšení kol a řídicího systému nápravy. Uvnitř tohoto modulu bude umístěn brzdový a pohonový segment.



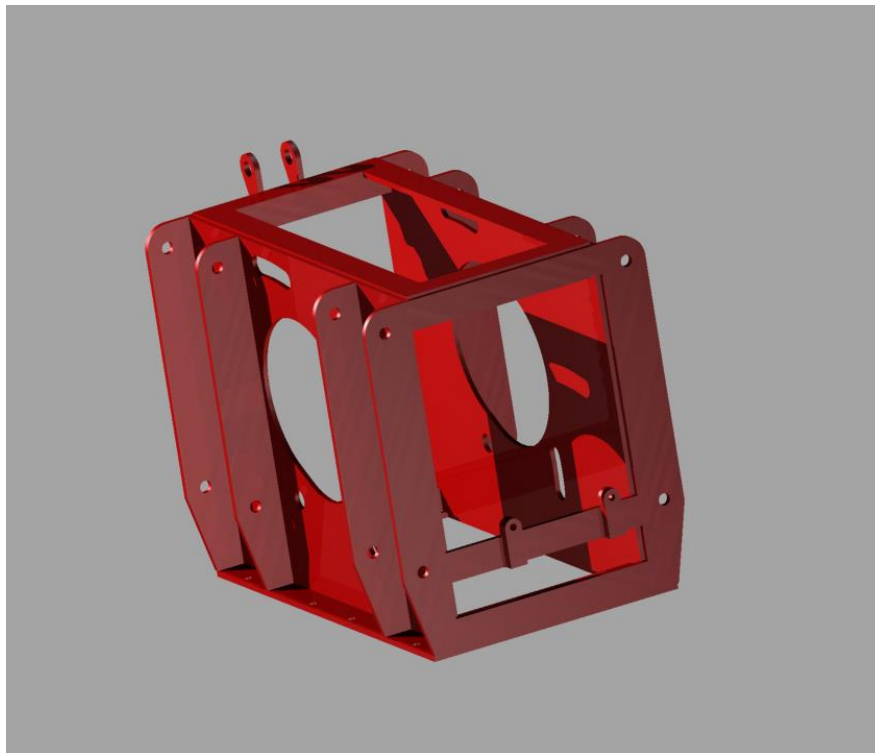
Obr. 3-1 Schématický návrh nápravy

Na obr. 3-1 je vidět hrubé rozvržení jednotlivých komponent nápravy. Pod pozicí 1 se nachází hlavní modul nebo základní rám nápravy. Ten bude připojen přímo ke karoserii vozidla. Pozice 2 a 5 značí spodní a horní rameno nápravy. Ramena budou nejspíše trojúhelníkové konstrukce a tvaru A. Pozice 3 ukazuje na těhlice a náboj kola. Těhlice je komponenta, ve které je na valivých ložiskách uložen náboj kola. Svou konstrukcí umožňuje svislý pohyb závěsů vozidla a zároveň rotaci kolem rejdové osy, kterou tvoří horní a spodní čep ramene. Pozicí 6 je naznačeno vedení pohonu kol, poněvadž se jedná o hnací nápravu. Pozice 7 a 8 naznačují řídicí systém nápravy.

Náprava byla navržena v prostředí systému Autodesk Inventor jako 3D model. V následujících podkapitolách budou představeny jednotlivé komponenty nápravy.

3.1.1 Rám nápravy

Aby mohla být celá konstrukce modulární, bylo třeba navrhnout rám tak, aby k němu bylo možné připojit všechny prvky nápravy. Zároveň musí být možné tuto konstrukci připojit k různým typům karoserií. Celý rám je navržen jako svařenec z plechu o tloušťce 5mm. Na boku jsou umístěny vrtané lišty, které slouží pro připojení ramen k rámu. Uvnitř jsou připraveny otvory pro umístění a správné ustavení brzdového a pohonového ústrojí.



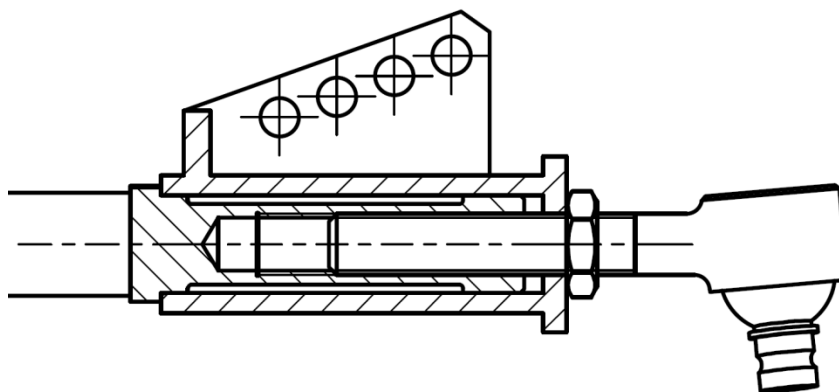
Obr. 3-2 Rám nápravy

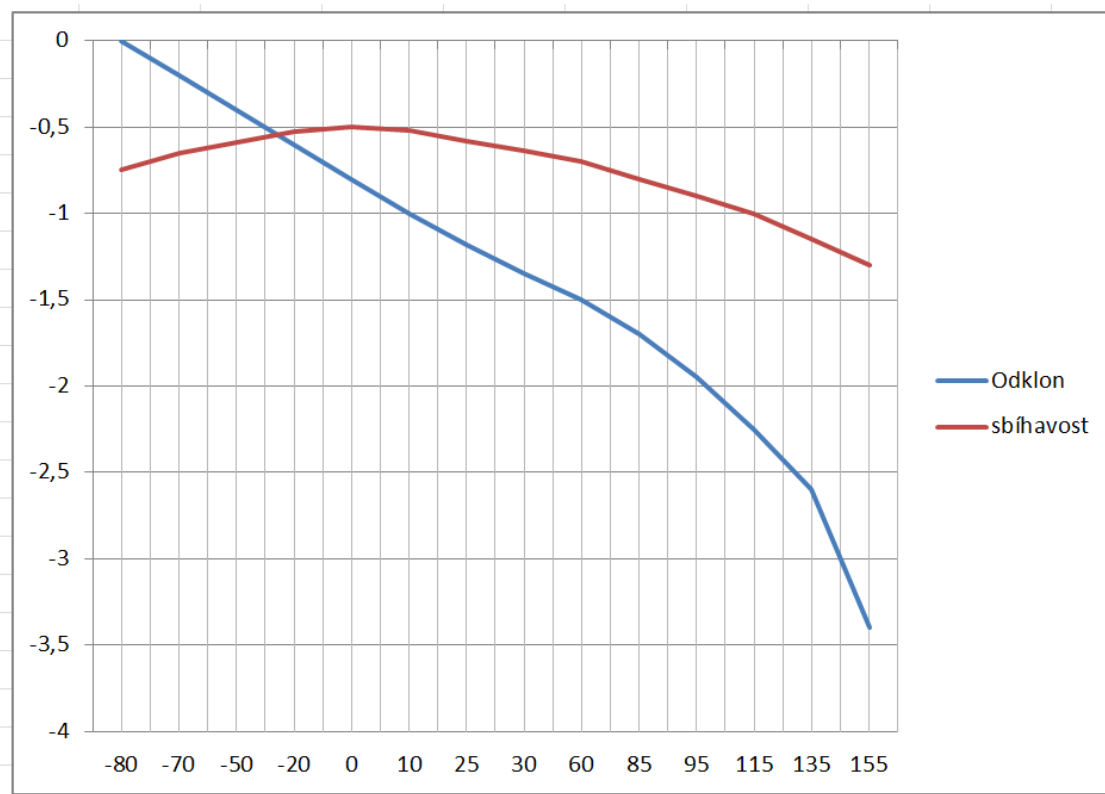
3.1.2 Zavěšení kol

Základními prvky zavěšení jsou ramena. Aby bylo dosaženo co nejpříznivější kinematiky, jsou pro zavěšení kol zvolena dvě nestejně dlouhá trojúhelníková ramena tvaru A. Tato ramena jsou svařena z trubek a jsou uchycena k rámu pomocí dvou pryžových pouzder, která zajišťují kluznou vazbu a zároveň tlumí rázy. K těhlici jsou uchycena pomocí kulového čepu, který dovoluje pohyb kola ve více směrech. Kulový čep je navržen tak, aby bylo možné správně nastavit geometrii řízených kol. Je spojen s ramenem pomocí závitů a závitového pouzdra umístěného v ramenu. Díky tomu je možné nastavit geometrii bez nutnosti demontáže čepu. Aby bylo zabráněno samovolnému povolání, je čep zajištěn maticí. Na horním ramenu je také umístěna konzole s možností variabilního přichycení pružící a tlumící jednotky. Nastavení geometrie podvozku je navrženo tak, aby kinematické vlastnosti nápravy byly co nejlepší.

Parametry zavěšení

- Šířka horního ramene: 285 mm
- Šířka spodního ramene: 285 mm
- Délka horního ramene: 455 mm
- Délka spodního ramene: 525 mm
- Odklon kola: -1°
- Sbíhavost kol: $0,5 - 1^\circ$
- Příklon rejdové osy: 5°

**Obr. 3-3 Zavěšení kol****Obr. 3-4 Detail mechanismu**

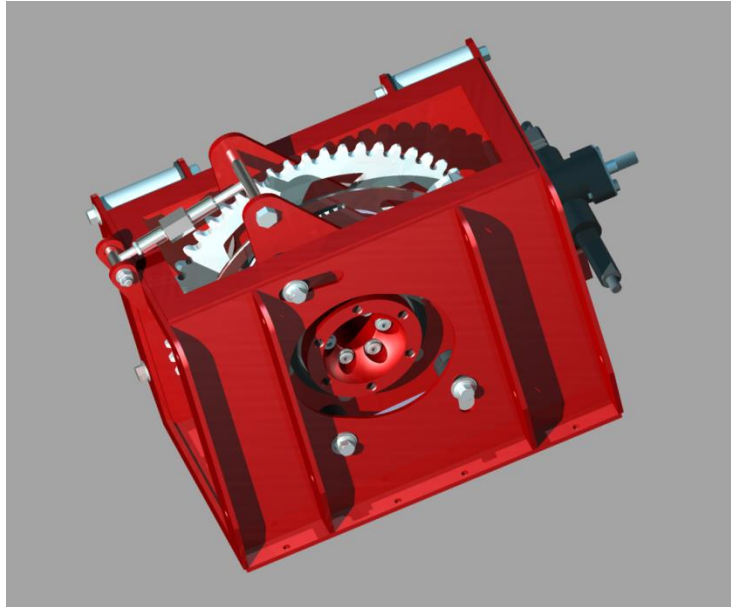


Obr. 3-5 Graf závislosti změny odklonu a sbíhavosti na propružení kola

Hlavním sledovaným parametrem grafu je změna sbíhavosti na propružení kola. Tato změna vychází z konstrukce a typu zavěšení. Při maximálním propružení 155 mm odpovídá hodnota sbíhavosti $1,3^\circ$. Tato hodnota je již hraniční, ale jelikož se jedná o nápravu určenou pro lehké terénní vozidlo pohybující se spíše pomalou rychlostí, je tato hodnota v pořádku.

3.1.3 Pohonový a brzdový segment

Pohonový a brzdový segment nápravy je umístěn v rámu. Skládá se z brzdného systému, pohonového systému, centrálního náboje, napínacího mechanismu a komponent, které jsou potřebné pro ustavení polohy vůči rámu nápravy. Přenos krotícího momentu v podélné ose od motoru je řešen pomocí řetězového převodu. Jelikož je třeba zajistit jeho stálé napnutí, je zabudován v segmentu napínací mechanismus. Ten funguje na principu dvou závitových tyčí a závitového pouzdra, kterým je řetěz napínán. Aby nedošlo k samovolnému povolání je zajištěn maticí. Po nastavení správného napnutí řetězu se celý segment ukotví pomocí šesti šroubů k základnímu rámu nápravy.



Obr. 3-6 Napínací mechanismus

Přenos krouticího momentu v příčném směru od segmentu k jednotlivým kolům je uskutečněn pomocí příčných hřídelů, taktéž zvaných jako poloosy. Příčný hřídel se skládá ze dvou homokinetických kloubů a hřídele, která je spojuje. Díky homokinetickým kloubům je možný přenos krouticího momentu i v různých polohách v závislosti na propuštění kol nebo jejich natočení.

Celá zadní náprava bude brzděná pomocí centrální kotoučové brzdy. Ta je vzhledem k nízké hmotnosti vozidla dostačující. Hlavní brzdový účinek vozidla zastává brzdový systém přední nápravy. Brzdový třmen mechanismu je ovládán pomocí hydrauliky. Jeho konstrukce je plovoucí, dvoupístková.



Obr. 3-7 Pohonový a brzdový segment nápravy

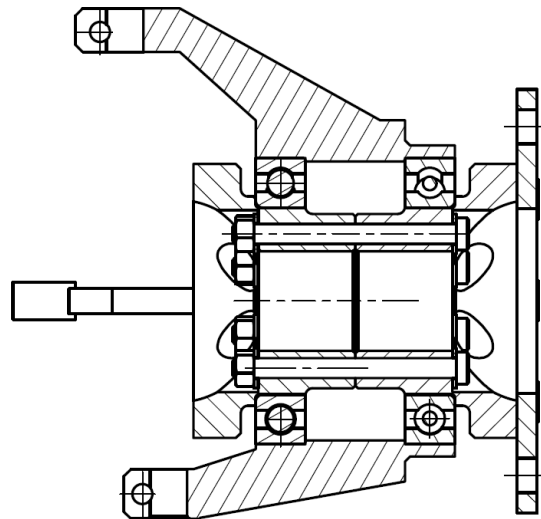
Parametry segmentu

- Typ převodu: řetězový, pevný
- Typ brzdy: kotoučová, hydraulická, plovoucí, dvoupístková
- Průměr brzdového kotouče: 280 mm
- Průměr rozety: 300 mm
- Počet zubů rozety: 71

3.1.4 Uložení kola

Základními částmi uložení kola jsou těhlice a náboj kola. Jelikož se jedná o říditelnou a zároveň hnací nápravu, musí těhlice umožňovat rotaci kolem rejdové osy a zároveň musí být navržena tak, aby bylo možné přenášet krouticí moment na kolo. Přenos krouticího momentu bude realizován pomocí příčné hřídele. Náboj kola je uložen v těhlici na kuličkových ložiskách. Rozteč šroubů pro přišroubování kola k náboji je 6x140mm. Minimální velikost ráfku musí být 14x10,5“.

**Obr. 3-8 Náboj a těhlice**



Obr. 3-9 Řez nábojem kola

3.1.5 Mechanismus řízení

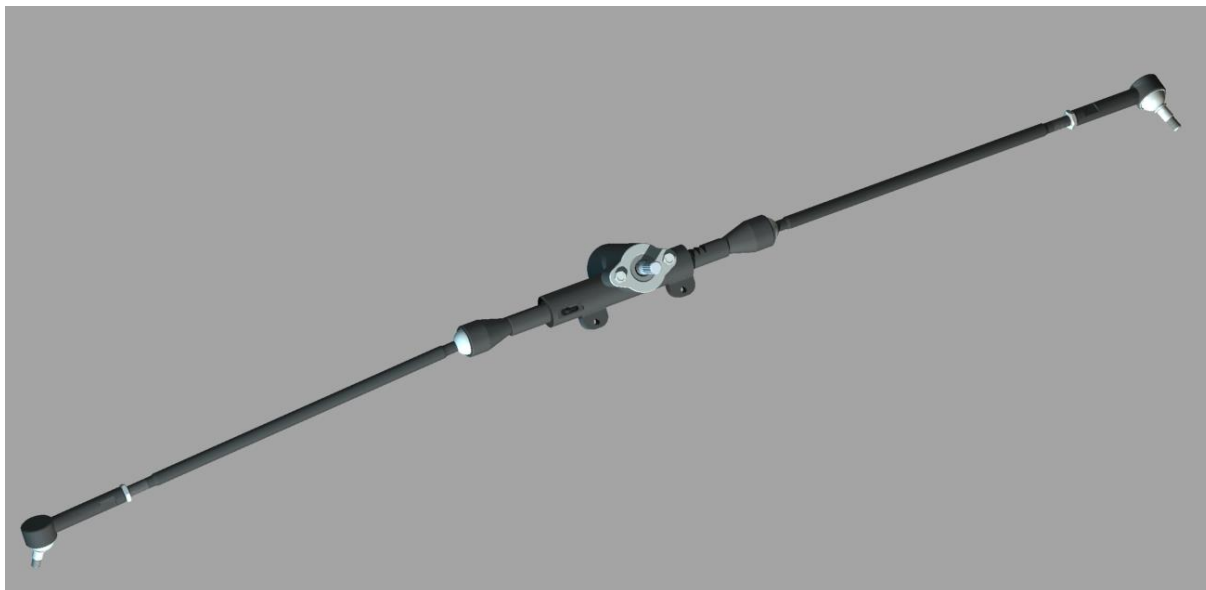
Aby bylo možné zadní nápravu aktivně řídit, bylo potřeba navrhnout systém řízení. Nejvýhodnější volbou pro lehkou terénní buggy je mechanický systém řízení. Hydraulika je zbytečně složitá a nákladná.

Pro převod rotačního pohybu volantu na posuvný pohyb je použita hřebenová převodka řízení. K té je přiveden rotační pohyb od volantu pomocí kloubové podélné hřídele v poměru otáčení 1:3. Základní komponentou je již výše zmíněná převodka řízení, která je pevně spojena se základním rámem, dále jsou to tyčky řízení a čepy řízení, které je možné pomocí jednoduchého šroubového mechanismu nastavit tak, aby bylo dosaženo optimální sbíhavosti kol.

Mechanismus je také navržen tak, aby jej bylo možné dočasně odpojit. To je umožněno díky aretačnímu šroubu, který zajistí polohu převodky řízení vůči hřebenu. Díky tomu se z řízené zadní nápravy stane obyčejná zadní hnací náprava. Je však nutné odpojit kloubový hřídel přenášející pohyb od volantu.

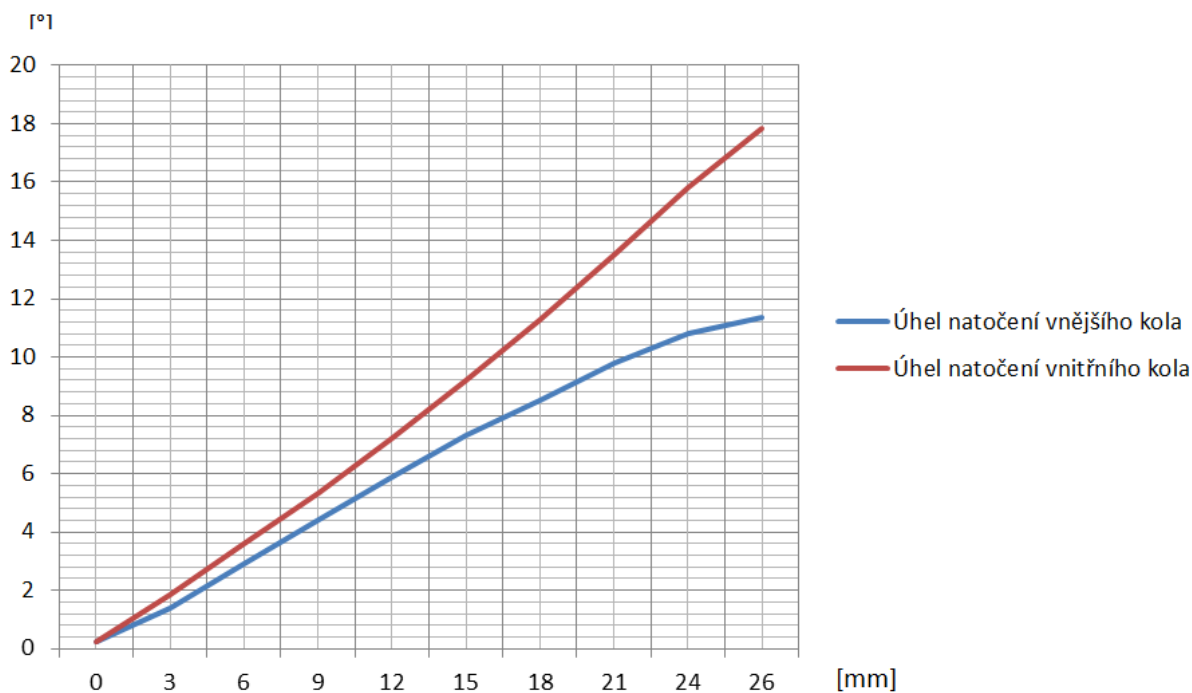
Parametry řídicího mechanismu

- Typ převodky řízení: mechanická, hřebenová
- Maximální vysunutí hřebenu: ± 26 mm
- Maximální úhel natočení kola: $+17,8^\circ/-11,3^\circ$
- Poměr zadní/přední nápravy: 3:1

**Obr. 3-10 Řídicí systém nápravy**

Splnění Ackermannovi podmínky řízení

Aby byla splněna Ackermannova podmínka a bylo zajištěno správného vedení pneumatiky při průjezdu otáčkou, musí být úhly natočení jednotlivých kol rozdílné. Zpravidla úhel natočení vnitřního kola nápravy musí být větší, než úhel natočení kola vnějšího. Z výpočtů v kapitole 2.1.4 by měl při maximálním vysunutí hřebenu 26mm odpovídat úhel natočení vnitřního kola $17,8^\circ$ a úhel vnějšího kola $9,0^\circ$.

**Obr. 3-11 Graf závislosti úhlů natočení kol**

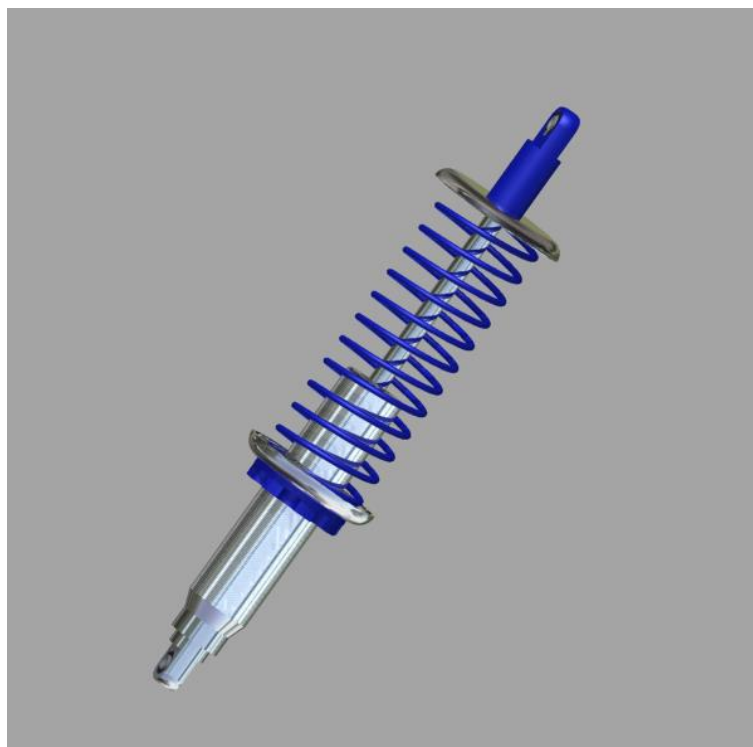
V reálném případě nebylo přesně dosaženo vypočtených hodnot. Úhel natočení vnitřního kola při maximálním vysunutí hřebenu je $17,82^\circ$ a úhel natočení vnějšího kola je $11,31^\circ$. Tyto hodnoty se dají považovat vzhledem k povaze nápravy jako vyhovující.

3.1.6 Volba ráfků a pneumatik

Celková velikost kol má vliv na některé parametry geometrie a kinematiky vozidla. Šířka a typ pneumatiky jsou důležité pro dobrou ovladatelnost a trakci vozidla, pokud se jedná o hnací nápravu. Ráfky bylo potřeba navrhnout tak, aby při pohybu nedošlo ke střetnutí disku a přidružených komponent zavěšení. Velikost zvolených ráfků je 12x10,5". Jedná se o klasické bezdušové disky, vyrobené z lehké hliníkové slitiny. Vzhledem k tomu, že předpokládaný výkon motoru není tak velký, není třeba volit blokovací systém proti protočení podhuštěných pneumatik. Pneumatiky jsou zvoleny terénní o velikosti 26x12x12".

3.1.7 Pružící a tlumící jednotka

Sestavu pružící a tlumící jednotky tvoří tlumič a vinutá pružina. Tlumič je zvolen jednovláškový plyno-kapalinový, aby bylo zajištěno vždy co nejlepšího tlumení a zároveň byl vždy udrženy kontakt s vozovkou. Zvolená pružina je lineární o konstantním vnitřním průměru pružiny a o konstantním průměru drátu.

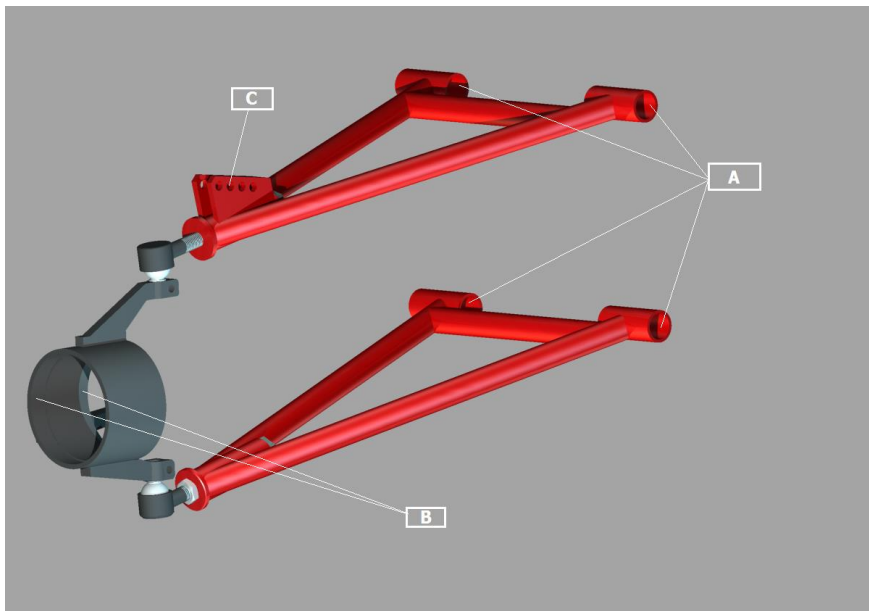


Obr. 3-12 Tlumící a pružící jednotka

3.2 Pevnostní analýza

Pro pevnostní analýzu bylo vybráno zavěšení kol, které bude pravděpodobně nejvíce zatěžováno. Jedná se o horní rameno a o spodní rameno včetně čepů a těhlice. Simulace je vytvořena pomocí funkce „Pevnostní analýza“ v prostředí programu Autodesk Inventor. Výpočty jsou provedeny metodou Von Mises stress. Prvky jsou zasíťovány pomocí tetrahedrální sítě. Při výpočtu jsou uvažovány pouze statické silové účinky. Boční silové účinky ani dynamické účinky nejsou brány v potaz. Bude k nim přihlédnuto, pouze při počítání bezpečnosti.

Jako vazby jsou vybrány plochy uložení ramen k rámu (v obrázku 3-11 pozice A) a plochy uložení ložisek v těhlici (pozice B). Působíště zátěžné vertikální síly bude v uchycení tlumicí a pružicí jednotky horního ramene (pozice C). Pro zlepšení výpočtu jsou ze sestavy odstraněny jistící matice čepů, uložení ramen a náboj těhlice.



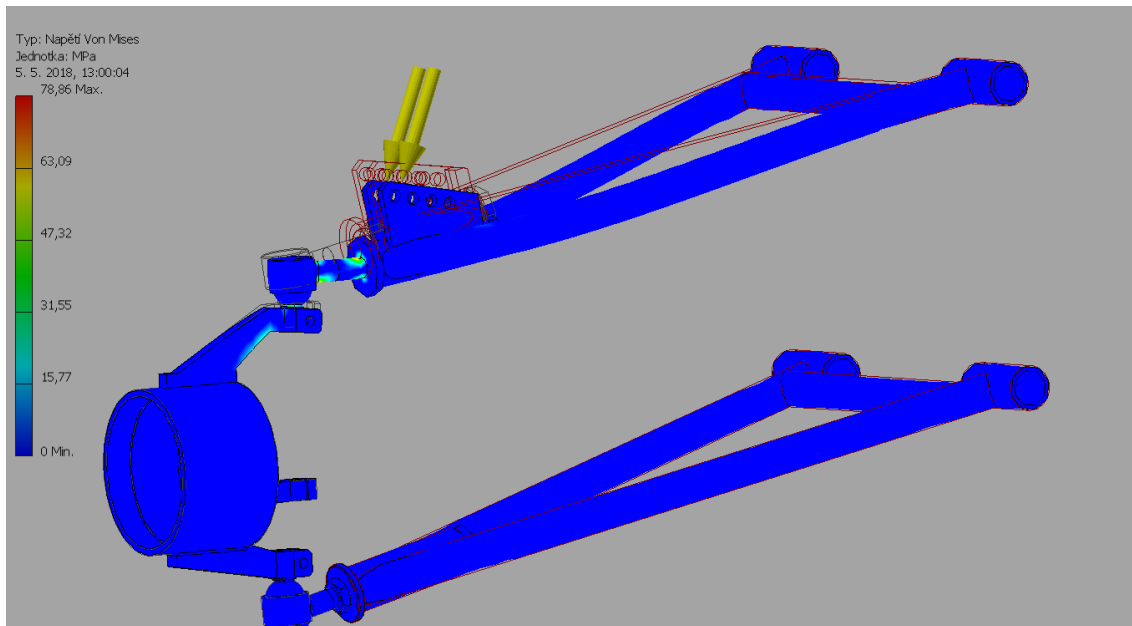
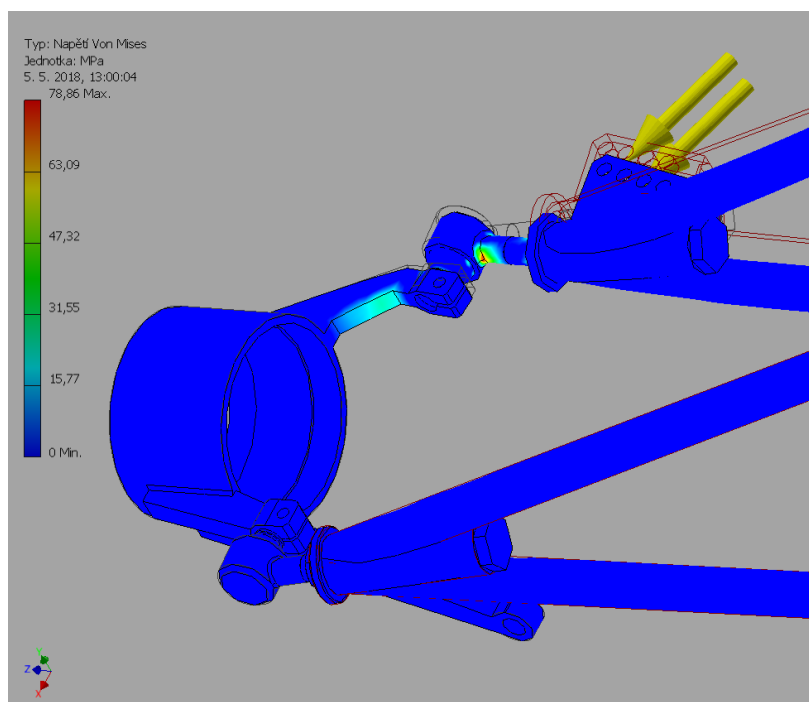
Obr. 3-13 Sestava pro pevnostní analýzu

Velikost zátěžné síly

Maximální zatížení nápravy: 300 kg

$$F = \frac{300 * 9,81}{2} = 1471 \text{ N} \quad (15)$$

Vertikální síla působí pod úhlem 75° a její velikost je 1471 N.

**Obr. 3-14 Průběh napětí****Obr. 3-15 Maximum napětí**

Maximální hodnota napětí je v uložení čepu horního ramene. Působí zde napětí o velikosti 78,2 MPa. Uložení čepu je vyrobeno z oceli 12 061.1 o mezi kluzu 380 MPa. [9*]

Další významnější hodnota napětí působí na horní uchycení těhlice. Zde působí napětí o velikosti 25,3 MPa. Těhlice je vyrobena z oceli 12 010 o mezi kluzu 275 MPa.

Výpočet bezpečnosti

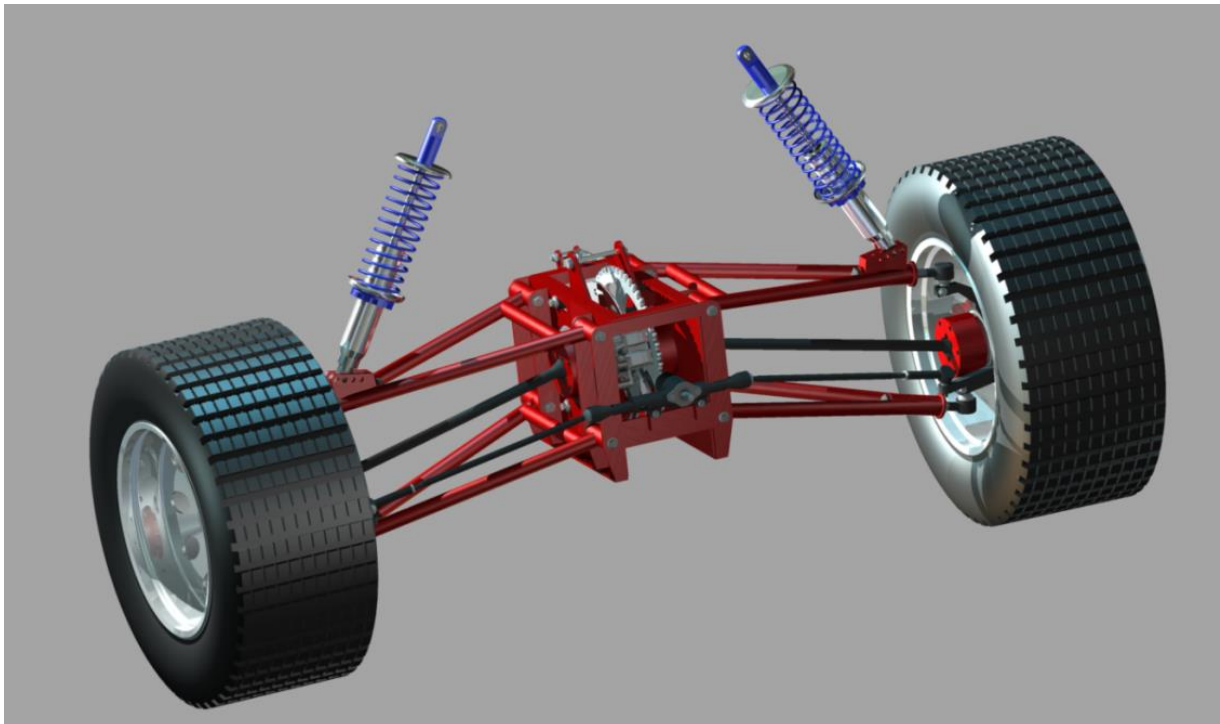
$$k = \frac{Re}{\delta_{1MAX}} = \frac{380}{78,9} = 4,8 \quad (16)$$

$$k = \frac{Re}{\delta_{1MAX}} = \frac{275}{25,3} = 10,8 \quad (17)$$

V obou případech je bezpečnost i s přihlédnutím dynamických účinků vyhovující.

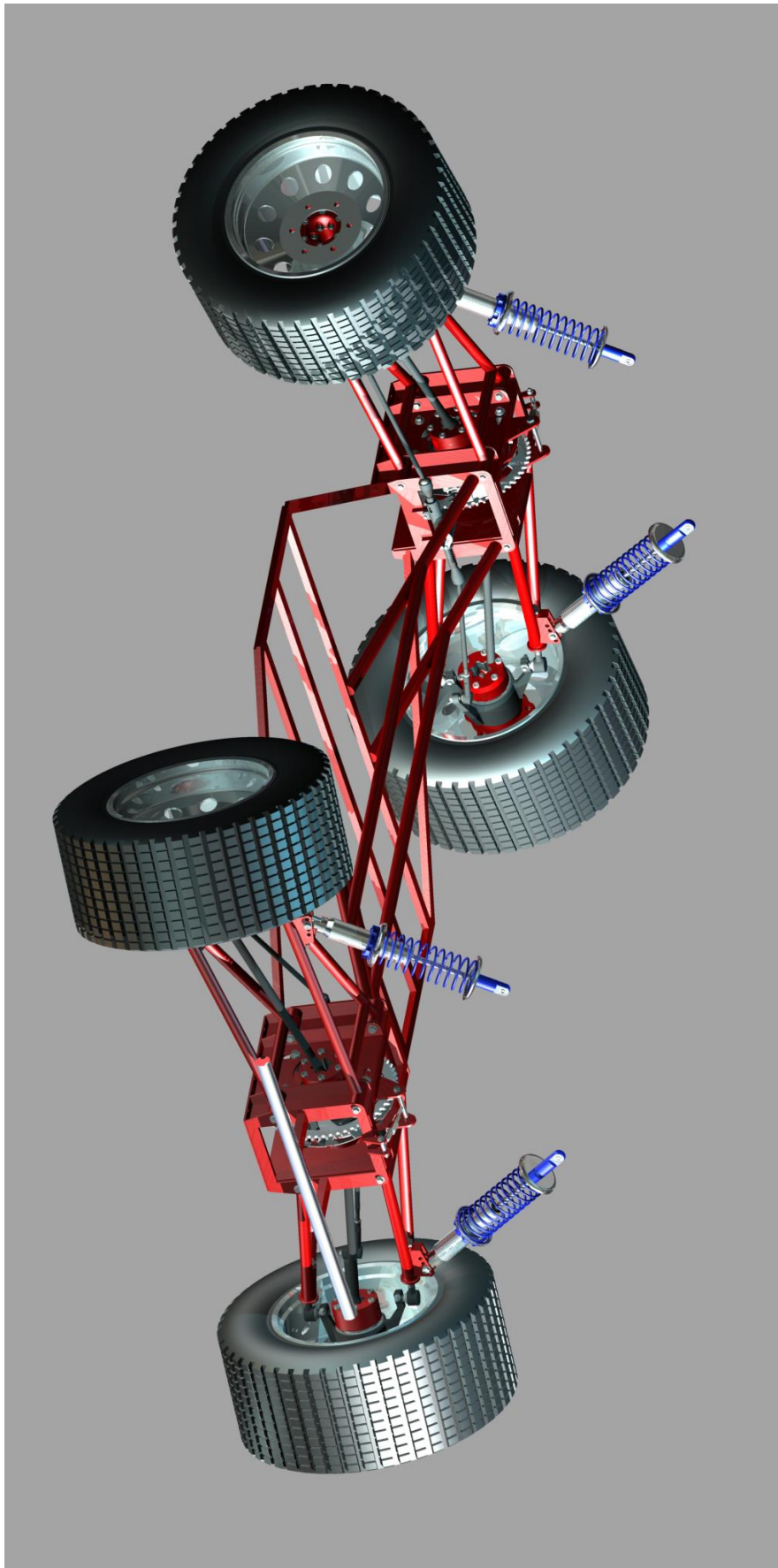
4. Navržená náprava

Na obr. 3-12 a 3-13 je viděna sestava nápravy včetně všech přidružených součástí. Vzhledem k použitým komponentám a provedeným výpočtům, by měla být náprava plně funkční za předpokladu správné montáže k dané karoserii vozidla. Při montáži je potřeba dořešit samotné připevnění rámu nápravy ke karoserii vozidla, které lze realizovat například pomocí šroubových spojů nebo svařování. Dále je třeba zajistit správnou polohu motoru vůči pohonnému ústrojí nápravy. Pro zaručení správného chodu řetězového převodu lze použít například řetězového vodítka nebo rolny. Posledním problémem je potřeba spojení přední a zadní převodky řízení pro přenos krouticího momentu od volantu. To lze nejjednodušeji realizovat pomocí podélné kloubové hřídele.



Obr. 4-1 Sestava nápravy

Jelikož zkonstruovaná náprava je říditelná a zároveň splňuje podmínku modulárnosti. Nabízí se možnost použít jí zároveň i jako nápravu přední. Na obr. 4-2 je uveden návrh, jak by mohl vypadat stavebnicový podvozek pro lehké terénní vozidlo s použitím modulární nápravy. Náprava je však primárně konstruovaná jako zadní.



Obr. 4-2 Návrh stavebnicového podvozku

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navržení zadní říditelné nápravy pro lehké terénní vozidlo - buginu, s možností stavebnicového využití. Hlavním parametrem, jakého bylo potřeba dosáhnout, bylo zlepšení manévrovatelnosti a ovladatelnosti tohoto vozidla, které je určeno převážně pro provoz po nezpevněných cestách mimo pozemní komunikace.

Prvním úkolem při navrhování bylo správné navržení rámu nápravy, ten musel být uzpůsoben tak, aby byla splněna podmínka modulárnosti celku. Proto byl rám navržen tak, aby v sobě obsahoval všechny komponenty důležité pro funkčnost nápravy nezávisle na karoserii nebo podvozku vozidla. Uvnitř rámu je umístěno pohonové a brzdové ústrojí nápravy, které zajišťuje přenos krouticího momentu na jednotlivá kola a zároveň je brzdí. Díky umístění brzdového ústrojí v rámu byla ušetřena neodpružená hmota nápravy. Brzdný účinek je zároveň díky dvoupístkovým kotoučovým brzdám dostačující. Dále proběhl návrh zavěšení kol, zavěšení bylo vybráno na základě inspirace u vozidel stejné kategorie jako lichoběžníkové, s použitím dvou nestejně dlouhých ramen ve tvaru A. Důležitou součástí nápravy je řídicí systém. Ten funguje na mechanickém principu s použitím hřebenového převodky řízení připevněné k rámu nápravy. Poměr otáčení mezi přední a zadní převodkou řízení je 1:3. Pro správnou funkčnost nápravy bylo také potřeba zajistit vhodnou geometrii a spočítat a zhodnotit její kinematiku. Ta obstála jako vyhovující.

Výsledkem je mnohem lepší manévrovatelnost vozidla. Při uvažování podvozku s rozvorem 2225mm je výsledný poloměr otáčení tohoto vozidla 2370mm, což je o 22.5% menší hodnota než u vozidla bez systému řízení všech kol.

Práce může sloužit jako inspirace při konstrukci buginy se zadní říditelnou nápravou. Dle mého názoru je možné ji zkonstruovat i v malé zámečnické dílně, za použití základních strojů, jako je frézka, soustruh, vrtačka atd.

Seznam použité literatury

Knížní publikace

- [1] VALA, M. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Univerzita Pardubice, Pardubice, 2003
- [2] VLK, F. *Stavba motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2005
- [3] ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J: *Automobily Podvozky*, Avid s.r.o., Brno, 2007

Publikace na internetu

- [4] [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDdeb%C5%99inov%C3%BD_v%C5%AFz#/media/File:Leiterwagen.jpg
- [5] [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z:
<http://what-when-how.com/automobile/four-wheel-steering-4ws-automobile/>
- [6] [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z:
<http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/The-Dernburg-Wagen.xhtml?oid=9272027>
- [7] [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z:
http://www.greenmountpress.com.au/cottongrower/Back%20issues/281fmcot07/54_TractorTales.pdf
- [8] [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z:
https://www.autoevolution.com/cars/mercedes-benz-170-v1-w139-1936.html#agal_0
- [9] [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z:
<http://what-when-how.com/automobile/four-wheel-steering-4ws-automobile/>
- [10] [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z:
<http://www.240edge.com/basics/hicas1.jpg>
- [11] [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z:
https://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/cars/cars_akc__active__kinematics_control.shtml
- [12] [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z:
<http://citytransport.info/Carry.htm>
- [13] [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z:
<http://www.auto.cz/renault-premium-lander-8x4-4-tridem-miri-trh-66121>
- [14] [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z:
<http://www.goldhofer.cz/navesy-rady-stz.php>
- [15] [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z:
http://bagry.cz/cze/forum/stavebni_stroje/skoda_liaz_st_180_n

- [16] [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:
<http://www.tractor.com/manufacturers/others/2016-jcb-4220-fastrac-review-1749.html>
- [17] [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:
<http://www.jiřirokos.cz/F300/2016/03/18/rizeni-vsech-kol-u-fastraca-4000/>
- [18] [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/active-drive/>
- [19] [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:
<http://www.auto.cz/jeep-hurricane-talentovany-horolezec-16276/foto?foto=6>
- [20] [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/38/Sandrail.jpg/1280px-Sandrail.jpg>
- [21] [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:
<http://brasilforadeestrada.blogspot.cz/2013/03/showtime-com-tim-cameron.html>
- [22] [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/zaveseni-kol/>
- [23] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Rovnob%C4%9B%C5%BEn%C3%ADkov%C3%A1_n%C3%A1prava
- [24] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:
<http://www.mercedes-club.cz/viewtopic.php?f=15&t=130>
- [25] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:
<http://maybach300c.blogspot.cz/2012/09/mcpherson-struts-and-strut-damper.html>
- [26] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/viceprvkova-naprava/>
- [27] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/polomer-rejdu-r/>
- [28] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/priklon-rejdoveho-cepu-s/>
- [29] [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/ackermannova-podminka/>

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Žebřinový vůz.....	4
Obr. 1-2 Souhlasné a nesouhlasné natáčení náprav	5
Obr. 1-3 Daimler Dernburg.....	5
Obr. 1-4 Traktor Caldwell.....	6
Obr. 1-5 Mercedes-Benz 170VL (W139)	6
Obr. 1-6 4WS systém	7
Obr. 1-7 Elektrohydraulický systém řízení HICAS u vozidla NISSAN.....	8
Obr. 1-8 Způsoby použití elektromotoru	8
Obr. 1-9 Kloubový autobus městské hromadné dopravy.....	9
Obr. 1-10 Renault Premium Lander 8x4*4.....	10
Obr. 1-11 Systém řízení náprav speciálních návěsů	10
Obr. 1-12 ŠT 180	11
Obr. 1-13 JCB Fastrac 4000 [16]	12
Obr. 1-14 Jednotlivé režimy natáčení zadní nápravy.....	12
Obr. 1-15 Zadní náprava - systém 4Control	13
Obr. 1-16 Jeep Hurricane	14
Obr. 1-17 „Po domácku“ postavená Dune Buggy	15
Obr. 1-18 Rock crawler – Tim Cameron Showtime	16
Obr. 2-1 Rovnoběžníková náprava	18
Obr. 2-2 Lichoběžníková náprava.....	19
Obr. 2-3 McPherson náprava	19
Obr. 2-4 Víceprvková náprava.....	20
Obr. 2-5 Negativní odklon kol (vlevo), pozitivní odklon (vpravo)	21
Obr. 2-6 Úhel rejdového čepu a poloměr rejdu, zleva- nulový, kladný, záporný.....	21
Obr. 2-7 Záklon rejdové osy a závlek	22
Obr. 2-8 Sbíhavost kol	23
Obr. 2-9 Ackermannova podmínka.....	23
Obr. 2-10 Rozdíl mezi reálným a teoretickým průjezdem otáčky	24
Obr. 2-11 Ackermannova podmínka pro 4WS - nesouhlasné natočení kol.....	24
Obr. 2-12 Ackermannova podmínka pro 4WS - souhlasné natočení kol.....	25
Obr. 2-13 Základní úhly a rozměry návrhu.....	26
Obr. 3-1 Schématický návrh nápravy	29

Obr. 3-2 Rám nápravy.....	30
Obr. 3-3 Zavěšení kol.....	31
Obr. 3-4 Detail mechanismu	31
Obr. 3-5 Graf závislosti změny odklonu a sbíhavosti na propružení kola.....	32
Obr. 3-6 Napínací mechanismus.....	33
Obr. 3-7 Pohonový a brzdový segment nápravy.....	33
Obr. 3-8 Náboj a těhlice.....	34
Obr. 3-9 Řez nábojem kola	35
Obr. 3-10 Řídicí systém nápravy	36
Obr. 3-11 Graf závislosti úhlů natočení kol.....	36
Obr. 3-12 Tlumicí a pružící jednotka.....	37
Obr. 3-13 Sestava pro pevnostní analýzu.....	38
Obr. 3-14 Průběh napětí	39
Obr. 3-15 Maximum napětí.....	39
Obr. 4-1 Sestava nápravy	41
Obr. 4-2 Návrh stavebnicového podvozku	42

Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry pro návrh nápravy.....	17
Tab. 2 Vypočtené hodnoty	28