



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Konstrukce podvozků terénních užitkových
vozidel

Chassis Design of Off-Road Commercial
Vehicles

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2023

Jakub BADA

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový
Vedoucí práce: Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bada** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: 491249
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Konstrukce podvozků terénních užitkových vozidel.

Název bakalářské práce anglicky:

Chassis Design of Off-Road Commercial Vehicles.

Pokyny pro vypracování:

Vypracovat rešerši technických řešení podvozků terénních užitkových vozidel. Mezi tyto vozidla patří zejména pickupy, lehké dvojnápravové nosiče nástaveb a těžké vícenápravové stroje. V praktické části navrhnout pro zvoleného reprezentativního zástupce vozidla hlavní prvky brzdové soustavy.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Pakosta, Ph.D. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **12.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2023**

Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vitek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) konzultanty

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

4.5.2023
Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Jakub Bada

Název práce: Konstrukce podvozků terénních užitkových vozidel

Anglický název: Chassis Design of Off-Road Commercial Vehicle

Rozsah práce:

55 stran

38 obrázků

3 tabulky

Akademický rok: 2022/2023

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.

Klíčová slova: podvozky, terénní vozidla, užitková vozidla, brzdy, rámy, zavěšení kol, odpružení, řízení, kola

Key words: chassis, off-road vehicles, commercial vehicles, brakes, frames, wheel suspension, suspension, steering, wheels



Abstrakt

Tato práce se zabývá řešením na téma podvozky užitkových terénních vozidel a následný návrh brzdové soustavy. Jsou zde rozebírány varianty konstrukce v oblasti rámu, zavěšení kol, odpružení, brzdy, řízení a kola. Následně jsou pro jednoho reprezentativního zástupce zvoleny a zkontrolovány hlavní prvky brzdové soustavy v podobě kotoučů, destiček, třmenů, brzdového válce, posilovače a brzdového pedálu tak, aby vyhovovaly brzdě síle od řidiče dle vyhlášky.

Abstract

This work deals with research on the chassis of commercial off-road vehicles and the subsequent design of the brake system. Design variants in the area of frames, wheel suspension, suspension, brakes, steering and wheels are discussed here. Subsequently, the main elements of the brake system in the form of discs, pads, calipers, brake cylinder, booster and brake pedal are selected and checked for one representative representative so that they meet the braking force from the driver according to the decree.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou na téma: “ Konstrukce podvozků terénních užitkových vozidel” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 12.7.2023

.....

(podpis autora)



Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Jiřímu Pakostovi Ph.D. za cenné rady, ochotu a trpělivost při psaní mé bakalářské práce a mé rodině za podporu při studiu.



Obsah

Seznam zkratk a symbolů	10
Úvod.....	12
1 Teoretická část.....	13
1.1 Úvod do tématu.....	13
1.2 Rámy	14
1.2.1 Žebřinový rám.....	14
1.2.2 Křížový rám	14
1.2.3 Obvodový rám	15
1.2.4 Plošinový rám	15
1.2.1 Páteřový rám	16
1.2.2 Příhradový rám	16
1.2.1 Smíšené rámy	16
1.3 Zavěšení kol	17
1.3.1 Závislé zavěšení kol.....	17
1.3.1.1 Mostová náprava.....	17
1.3.1.2 Panhardova tyč.....	18
1.3.1.3 Portálová náprava	18
1.3.2 Nezávislé zavěšení kol	19
1.3.2.1 Kyvadlová náprava.....	19
1.3.2.2 Lichoběžníková náprava	20
1.3.2.1 Víceprvková náprava	20
1.3.2.1 Náprava McPherson	21
1.3.1 Vícenápravové systémy	22
1.3.1 Zvedací nápravy	23
1.3.2 Uložení kol	23
1.4 Odpružení	24
1.4.1 Ocelové pružiny	24
1.4.1.1 Listové pružiny.....	24
1.4.1.2 Vinuté pružiny	25
1.4.1.3 Zkrutné pružiny.....	26
1.4.2 Pryžové pružiny	26



1.4.3 Pneumatické pružiny	27
1.4.4 Hydropneumatické pružiny	27
1.5 Tlumiče a stabilizátory	28
1.5.1 Tlumiče	28
1.5.1.1 Stabilizátory	29
1.6 Řízení.....	30
1.6.1 Díly řízení	30
1.6.1.1 Kulové klouby	30
1.6.1.2 Řídící tyče.....	30
1.6.1.3 Sloupek řízení	31
1.6.1.4 Převodky řízení	31
1.6.1.5 Posilovače řízení	31
1.6.2 Řízení všemi koly.....	31
1.7 Brzdový systém	32
1.7.1 Třecí brzdy	32
1.7.2 Kotoučové brzdy	32
1.7.3 Bubnové brzdy	33
1.7.4 Zpomalovací brzdy.....	33
1.8 Brzdové soustavy	34
1.8.1 Mechanické.....	34
1.8.2 Hydraulické	35
1.8.2.1 Hlavní brzdový válec	35
1.8.2.2 Posilovač	36
1.8.2.3 Rozdělovač.....	36
1.8.3 Pneumatické	37
1.8.3.1 Brzdiče	37
1.8.3.2 Brzdové válce.....	37
1.8.3.3 Zátěžový regulátor	38
1.8.4 Vzduchokapalinové.....	38
1.8.5 Protiblokovací systémy	38
1.9 Kola a Pneumatiky	39
1.9.1 Kola	39



1.9.1.1 Ráfky	39
1.9.2 Pneumatiky	40
2 Praktická část	41
2.1 Vzorce pro výpočet brzdné soustavy	41
2.1.1 Brzdná síla:	41
2.1.1.1 Tečné síly působících na kotouč:	43
2.2 Normálové síly působící na kotouč:	43
2.2.1.1 Výpočet brzdné síly	44
2.3 Výpočet pro zvolené vozidlo	45
2.3.1 Výpočet brzdné síly:	45
2.3.1.1 Poměrné zpomalení	45
2.3.1.2 Gravitační síla působící na vozidlo:	45
2.3.1.3 Brzdní síla na nápravách:	46
2.3.1.4 Brzdní síla na kolech nápravy:	46
2.3.2 Volba součástí	47
2.3.3 Výpočet potřebné třecí a normálové síly pro ubrzdění kola	48
2.3.3.1 Efektivní poloměr kotouče:	48
2.3.3.2 Třecí síla pro brždění kotouče:	48
2.3.3.3 Normálová síla:	48
2.3.4 Dimenzování převodu síly od pedálu na destičky	49
2.3.4.1 Potřebný tlak na pístek	49
2.3.4.2 Síly vytvářející tlak na hl. brzdovém válci:	49
2.3.4.3 Síla posilovače:	49
2.3.4.4 Potřebná síla od pedálu:	49
2.3.4.5 Síla na pedále pro ubrzdění vozidla:	49
2.3.4.6 Kontrola při nefunkčnosti posilovače	50
2.3.5 Závěr výpočtové části	50
Závěr	51
Seznam použitých zdrojů	52
Seznam obrázků	53
Seznam tabulek	54
Seznam příloh	55



Seznam zkratk a symbolů

Značka	jednotka	Název
B_p	[N]	Brzdná síla přední nápravy
B_z	[N]	Brzdná síla zadní nápravy
m	[kg]	Hmotnost
Z	[1]	Poměrné zrychlení
g	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
a	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení
G	[N]	Gravitační síla
M_{Bp}	$[N \cdot mm]$	Brzdny moment kol přední nápravy
M_{Bz}	$[N \cdot mm]$	Brzdny moment kol zadní nápravy
r_d	[mm]	Dynamický poloměr
i	[-]	Poloměr brzdny momentů
B_{pk}	[N]	Brzdny síla kola přední nápravy
B_{zk}	[N]	Brzdny síla kola zadní nápravy
F_{TK}	[N]	Třecí síla tečná na kotouč
r_K	[mm]	Poloměr kotouče
r_{KE}	[mm]	Efektivní poloměr kotouče
f	[-]	Koeficient smykového tření
p	[MPa]	Tlak na pístek
S_p	[mm]	Plocha pístku
i_p	[-]	Počet pístků
F_{BV}	[N]	Síla brzdového válce
S_{BV}	[mm]	Plocha pístku brzdového válce
I_{BV}	[-]	Počet pístků v brzdovém válci



F_{po}	[N]	Síla od posilovače
S_{po}	[mm]	Plocha posilovače
P_{po}	[MPa]	Podtlak posilovače
F_{ped}	[N]	Síla od pedálu
i_{ped}	[-]	Přepákování pedálu
F	[N]	Potřební síla na pedál
h_d	[mm]	Výška destičky



Úvod

Podvozky terénních užitkových vozidel hrají zásadní roli ve výkonnosti a spolehlivosti vozidel v náročných terénních podmínkách. Jejich konstrukce je neustále rozvíjená disciplína, která se zaměřuje na optimalizaci struktury, materiálů a geometrického uspořádání podvozků s cílem zajistit jejich stabilitu, ovladatelnost a přizpůsobivost.

Cílem této bakalářské práce je prozkoumat nejpoužívanější konstrukcí možnosti a trendy, které se v současné době pro tyto podvozky používají.

V první části práce poskytneme přehled současných trendů v konstrukci podvozků terénních užitkových vozidel. Budeme se zabývat analýzou jednotlivých komponentů podvozků, jako jsou rám, nápravy, odpružení, řízení, kola a brzdové systémy. Provedeme studii jejich konstrukčních principů, funkcionality a vzájemné interakce.

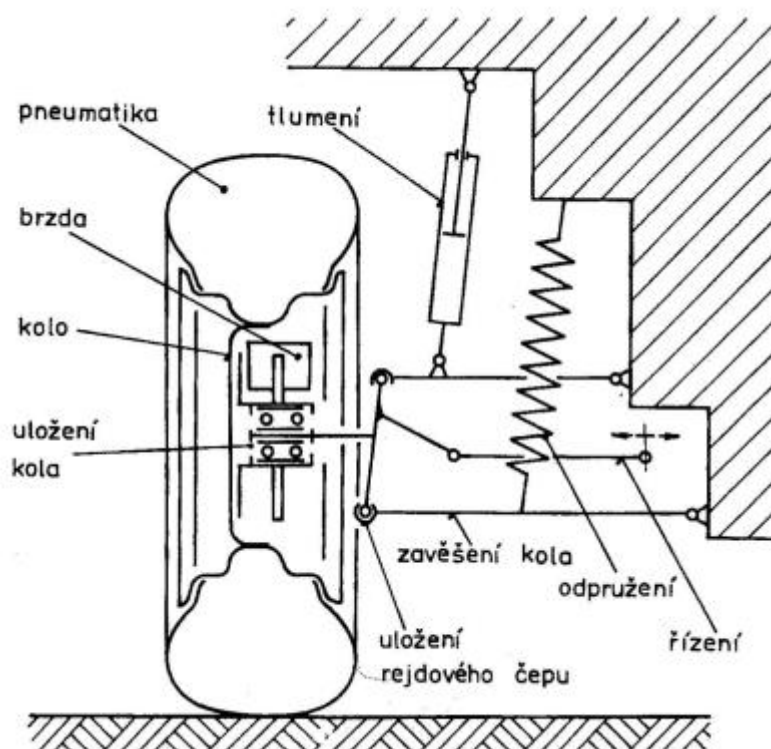
Druhá část práce se bude zabývat návrhem hydraulické brzdové soustavy, ve které navrhne nejdůležitější prvky hydraulické brzdové soustavy pro reprezentativního zástupce a zkontrolujeme, zda vozidlo s těmito komponenty splňuje požadavky na ubrzdění dle vyhlášky.



1 Teoretická část

1.1 Úvod do tématu

Podvozek je nezbytnou částí každého motorového vozidla, která se nachází v jeho spodní části. Jeho účelem je poskytovat stabilitu, ovladatelnost a komfort při jízdě. Skládá se z několika hlavních částí, které jsou vzájemně propojeny a spolupracují, aby zajistily bezpečnou a pohodlnou jízdu. Jsou to kola, zavěšení kol, odpružení, řízení, brzdový systém a rám.[2]



Obr. 1 - hl. části podvozku [2]

Právě o tyto části se budu v následujících podkapitolách teoretické části blíže zajímat a pokusím se je blíže představit.



1.2 Rámy

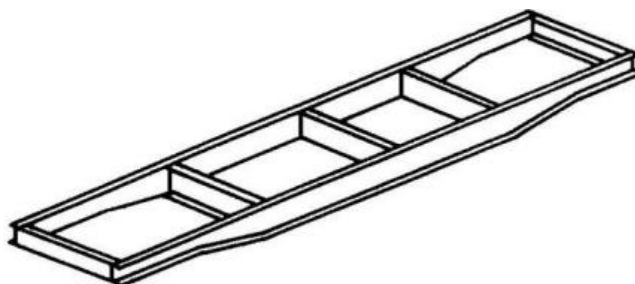
Rám je základní část vozu, která nese hmotnost vozidla a nákladu. Dále přenáší surnou sílu. Taková síla vzniká silou motoru, který pomocí převodů pohání hnací nápravy, ale také ji vyvoláme v případě brždění, a to v záporném směru. Spojuje karoserii, nápravy, řízení a hnací soustavu. [1], [4]

Měl by být co nejpevnější a nejtužší, aby dokázal přenášet velkou hmotnost přes nerovnosti, které vozidla musí překonávat.

1.2.1 Žebřinový rám

Rám dostal tento název podle tvaru, který vizuálně připomíná. Je tvořen dvěma podélnými uzavřenými nebo otevřenými nosníky (zvané podélníky) vyrobenými ze silných povětšinou ocelových plechů, které jsou spojeny příčkami přivařenými, přišroubovanými nebo přivařenými k podélníkům. [1]

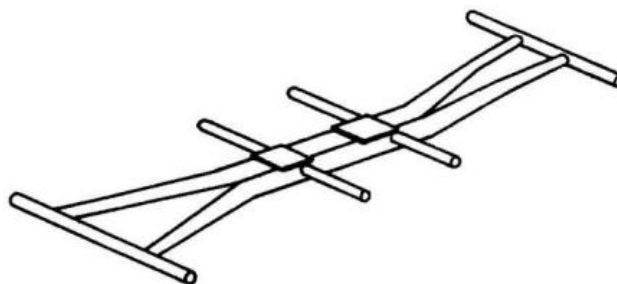
Vyniká svojí lehkostí ale také menší pevností. Je tedy využíván spíše pro nákladní automobily jezdící po zpevněných vozovkách, nebo pro terénní vozy přepravující menší hmotnost. [4]



Obr. 2 - žebřinový rám [4]

1.2.2 Křížový rám

Tento rám tvoří dva podélníky, tak jako u žebřinového rámu, ale uprostřed se k sobě přibližují a vytvářejí tak tvar písmene X. Uprostřed bývají podélníky svařeny. Rám má díky tvaru ve srovnání s žebřinovým rámem větší tuhost, ale jeho použití je dnes již spíše sporadické. [1]

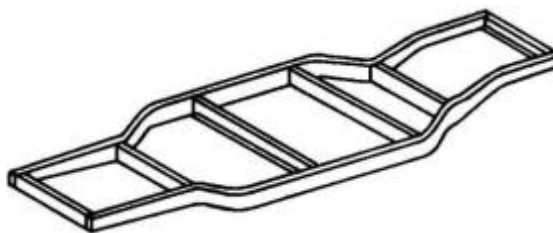


Obr. 3 - Křížový rám [4]



1.2.3 Obvodový rám

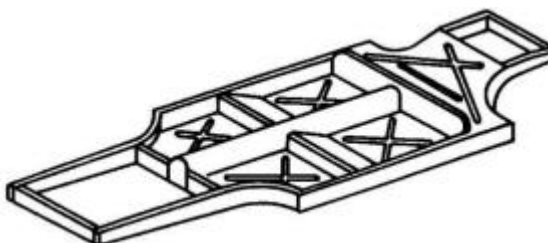
U obvodového rámu jsou podélníky ve střední části vozu rozšířené a nad nápravami se rám opět zužuje. Tímto řešením dosáhneme lehčí nosné konstrukce. [1], [4]



Obr. 4 - Obvodový rám [2]

1.2.4 Plošinový rám

Podélníky a příčky vyplňují plechy a tvoří nedílný celek karosérie. Tento rám je alternativou mezi rámem a samonosnou konstrukcí. [1], [4]



Obr. 5 - Plošinový rám [2]

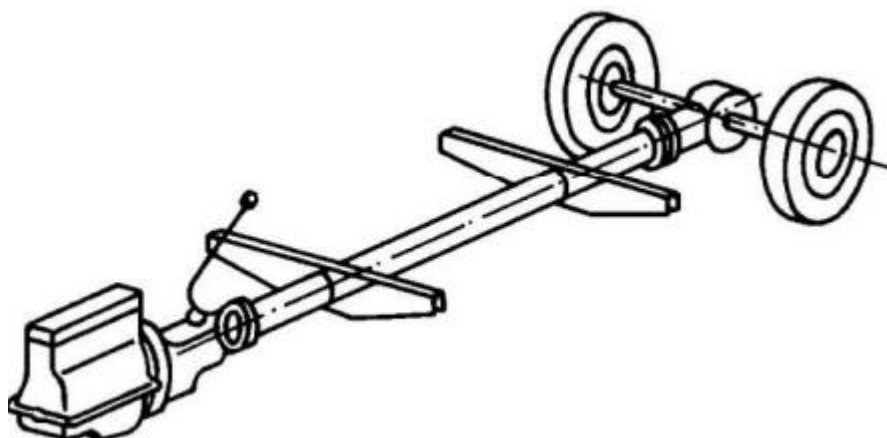
Všechny více jmenované rámy jsou defacto variantou žebřinového rámu.



1.2.1 Páteřový rám

Základ rámu utváří páteřový nosník, který tvoří Manessmannova roura velkého kruhového průřezu. Na rouře jsou příruba, na kterém je nesena karoserie vozidla. Délka rámu je určena podle potřeby vozu a podle počtu náprav, který se standardně pohybuje od 2 do 4. Mezi rourami jsou vloženy rozvodovky, dělicí převodovka a hřídele, které prochází od převodovky k rozvodovkám. Rám je velice pevný a tuhý, umožňuje tak převážet těžký náklad. Navíc je velmi odolný proti kroucení. Zásadní nevýhodou je velká hmotnost, což vozům znemožňuje jezdit po nestabilním podloží. Vychází z něj také rám vidlicový, který je vpředu a vzadu rozvidlený. [1], [4]

Tento rám má patentovaný Kopřivnická Tatra, která jej používá na svých vozech do dnes.



Obr. 6 - Páteřový rám [4]

1.2.2 Příhradový rám

Rám je tvořen prostorovou konstrukcí z různých uzavřených profilů kruhového nebo obdélníkového průřezu. Tyto nosníky uspořádané v prostoru prokazují vysokou pevnost a odolnost v krutu. To vše při velmi nízké hmotnosti.[1]

1.2.1 Smíšené rámy

Smíšené rámy jsou kombinací dvou a více výše zmíněných rámu, kde využívají jejich různé mechanické vlastnosti dle požadavků konstrukce. [1], [4]



1.3 Zavěšení kol

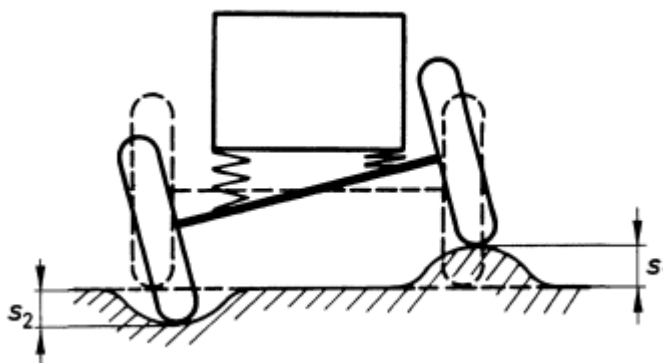
Zavěšením kol rozumíme způsob připojení kol k rámu vozidla. Řešíme pomocí něj kinematický pohyb kola vzhledem k rámu.

Přenáší 4 druhy sil. První z nich je svislá síla, která vzniká pouhým zatížením vozidla, dále pak podélné síly, které vznikají hnací silou a brzdou silou, pak příčné síly, které vozidlo získává například vlivem odstředění při průjezdu zatáčkou, a nakonec momenty podélných sil, které jdou od vozovky do rámu a zpět.

Správné zavěšení má nejvyšší zásluhu na bezpečnosti, komfortu a průjezdnosti vozu. V následujících podkapitolách je představím. [2],[3],[6]

1.3.1 Závislé zavěšení kol

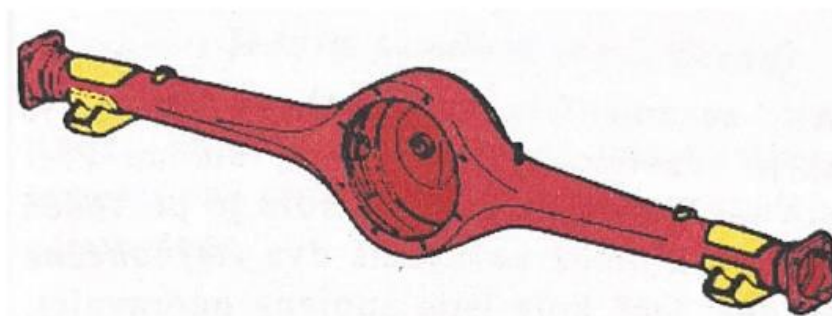
Závislé zavěšení kol je realizováno pomocí tuhé nápravy. Spočívá v zavěšení na společném příčném nosníku neboli mostu. Celek je vnímán jako jedno těleso, to znamená, že se kola vzájemně ovlivňují a z toho vyplývá, že jejich vzájemná poloha se nemění, a to při všech pohybech. Jejich výhodou je konstrukční jednoduchost a nízké nároky na údržbu, vykoupené za velké množství neodpružené hmoty, což se podepisuje na komfortu. U těžkých vozidel jsou však tyto nápravy užívány téměř z pravidla díky jejich velké nosnosti. [2],[5]



Obr. 7 - Tuhá náprava, vzájemná poloha kol [5]

1.3.1.1 Mostová náprava

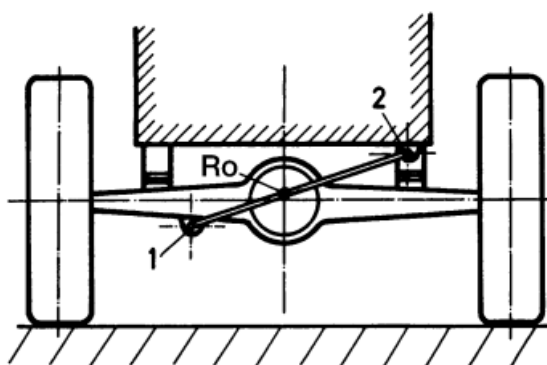
V případě, že je náprava užitá jako hnací, je užitá mostová náprava, v jejímž středu je skříň rozvodovky, a bočními rozvodovými rourami je hnán kroutící moment na kola pomocí hnacích hřídelí kol. Rozděluje je na jednodílné a vícedílné. [1]



Obr. 8 - Mostová náprava [1]

1.3.1.2 Panhardova tyč

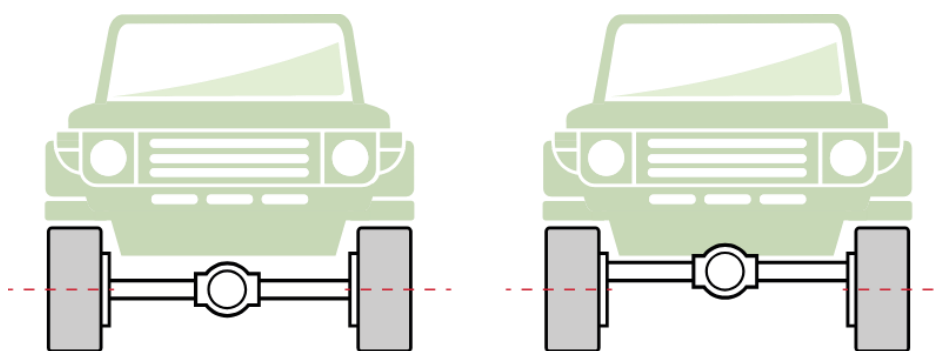
Tato část nápravy slouží pro příčný přenos sil mezi nápravou a rámem zejména v případech, kdy je náprava odpružena vinutými pružinami. Jeden konec je upevněn otočně na nápravě a druhý konec na rámu. Může být nahrazena Wattovým přímovodem. [1],[5]



Obr. 9 - uchycení Panhardovy tyče [5]

1.3.1.3 Portálová náprava

Portálová náprava je užívána pro lepší průchodnost terénem díky vyšší světlé výšce, která je způsobena tím, že skříň rozvodovky je nad osou nápravy. Stejně jako u mostové je zde rourami hnán kroutící moment na kola, ale na koncích této nápravy se nachází nápravová převodovka, která jednak přesouvá kroutící moment na osu nápravy, ale také obvykle pomocí převodu do pomala zvyšuje hnací sílu za cenu nižší cestovní rychlosti.



Obr. 10 - Srovnání normální (vlevo) a portálové nápravy (vpravo) [9]

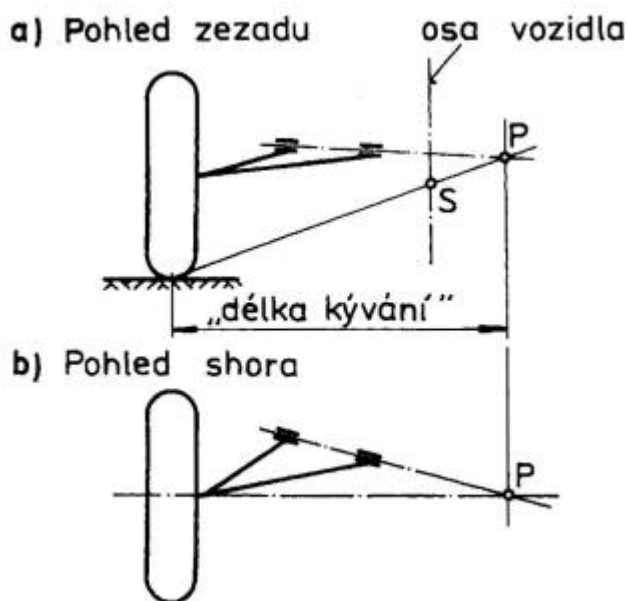


1.3.2 Nezávislé zavěšení kol

Nezávislé zavěšení kol je realizováno pomocí kyvné nápravy. Na rozdíl o závislého zavěšení kol je zde každé z kol zavěšené na karoserii zvlášť, to znamená, že se kola vzájemně neovlivňují svou polohou, z čehož vyplývá, že se vykyvují nezávisle na sobě. Toto řešení podstatně snižuje hmotnost neodpružených hmot. [1],[2]

1.3.2.1 Kyvadlová náprava

Kyvadlová úhlová náprava se používá jako zadní náprava a má šikmou osu kývání. Tato náprava umožňuje samořízení vozidla, díky čemuž má nedotáčivý účinek. [2]

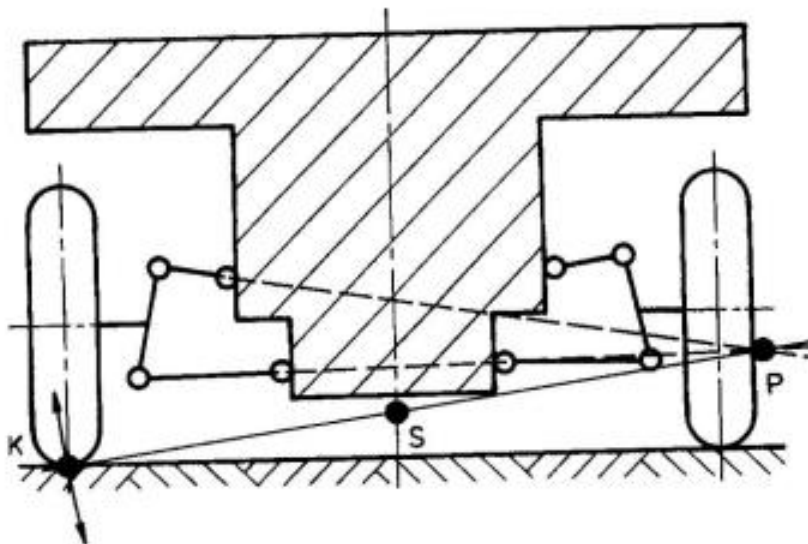


Obr. 11 - kyvadlová náprava [2]



1.3.2.2 Lichoběžníková náprava

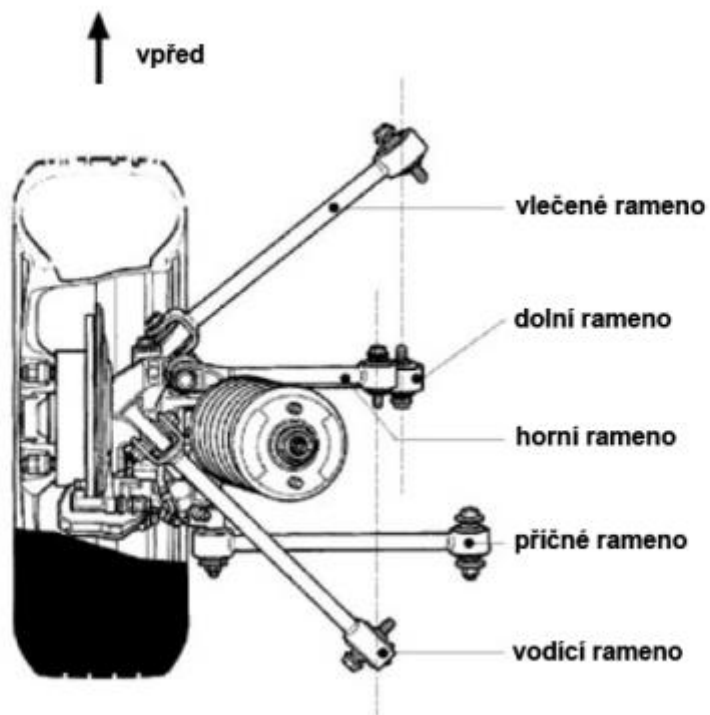
Kola jsou zde zavěšena na voze pomocí dvou nesouměrně dlouhých ramen, přičemž horní rameno je vždy kratší, díky čemuž dosahuje náprava při odpružení velice výhodné kinematiky. Tato náprava je vhodná na užití jako řídicí a může být použita i jako hnaná. [1],[2]



Obr. 12 - Lichoběžníková náprava [2]

1.3.2.1 Víceprvková náprava

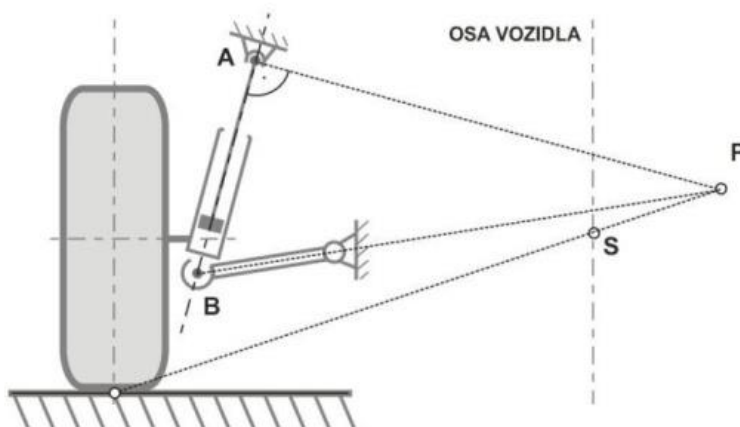
Víceprvková náprava je výborným systémem pro přesné řízení kol, který splňuje dynamické požadavky lépe než ostatní současné senové systémy. Je výjimečná díky své nízké hmotnosti, minimálnímu tření, vynikajícímu tlumení vibrací a hluku z vozovky a také prostorové efektivitě. Na druhou stranu, systém dvojitých ramen je sice těžší, dražší a náročnější na prostor, ale bohužel dochází k nežádoucímu odchylovému pohybu kol při absorbování rázů při naklánění karosérie. Naopak jednoduchý torzní prvek u klikové nápravy je efektivní z hlediska prostoru, hmotnosti a ceny, avšak na úkor stability při rovné jízdě a zatáčení na nerovném povrchu. Přidáním Panhardské tyče se umožňuje stranový sklon pneumatik vůči karoserii při pružení. To může mít za následek rozdílné chování při zatáčení vlevo nebo vpravo, což se nazývá "zdvihací efekt". [1],[2],[5]



Obr. 13 - Víceprvková náprava [8]

1.3.2.1 Náprava McPherson

Je zde podobná skladba jako u lichoběžníkové, avšak horní rameno je nahrazeno posuvným vedením, díky čemuž přidává vnitřní prostor, který lze využít pro zástavbu vozidla. [1], [2]



Obr. 14 – Náprava Mcpherson [11]



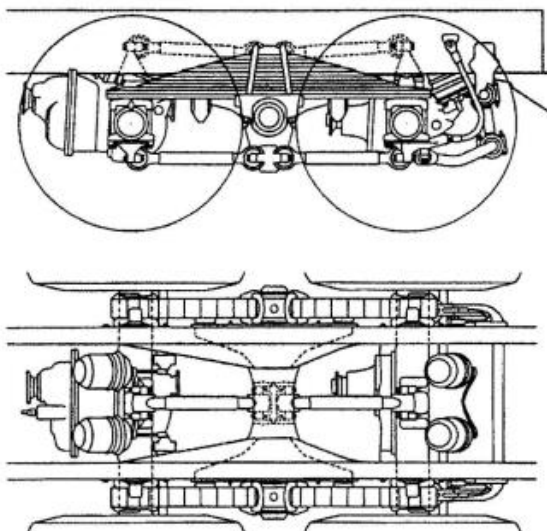
1.3.1 Vícenápravové systémy

Nákladní automobily mají z důvodu velkého užitečného zatížení více početní nápravy.

Na těžších nákladních vozidlech jsou z důvodu většího užitečného zatížení dvounápravy nebo třínápravy. Mají za úkol staticky vyrovnávat nápravové tlaky, které umožňuje různé položení těžiště nákladu za stálého konstantního poměru zatížení.

U nákladních automobilů s tandemovými (dvěma) nápravami jsou obvykle obě zadní nápravy poháněny. Při tom je třeba zajistit přenos hnací síly z první hnací nápravy na druhou. Pro rovnoměrné rozdělení točivých momentů mezi poháněné nápravy i při nerovnoměrném zatížení nebo skluzu kol se používá mezi-nápravový diferenciál, který přivádí hnací moment k rozvodovce první nápravy. Má také druhý výstup pro druhou nápravu.

Pro vyrovnání zatížení náprav při jízdě v terénu se používá podélná listová pružina ve tvaru vahadla, která spočívá na obou nápravách. V těžkém provozu se často používá lichoběžníková listová pružina, která plní funkci odpružení a bočního vedení. Pro podélné vedení jsou použity čtyři dolní a dvě horní podélná ramena nazývaná surné tyče. [2]

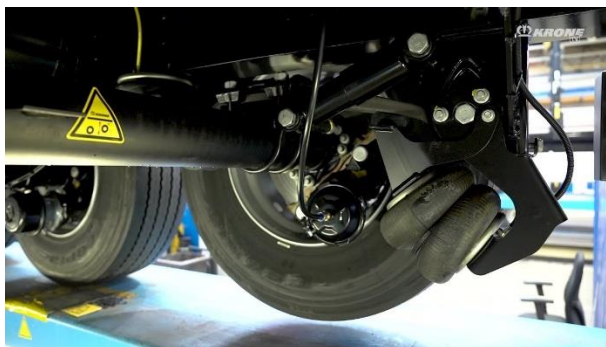


Obr. 15 - Dvounáprava s listovou pružinou ve tvaru vahadla [2]



1.3.1 Zvedací nápravy

V případě, že se jedná o vícenápravové vozidlo a nápravy jsou uloženy na pneumatických pružinách, je možnost nápravy zvedat nezávisle na sobě. Toto řešení je hojně užíváno, pokud vůz vozí jednosměrně náklad a druhým směrem jede prázdný, tím pádem je lehčí a vůz unese méně náprav. Dochází tak k úspoře paliva a k nižšímu opotřebování kol. [1]

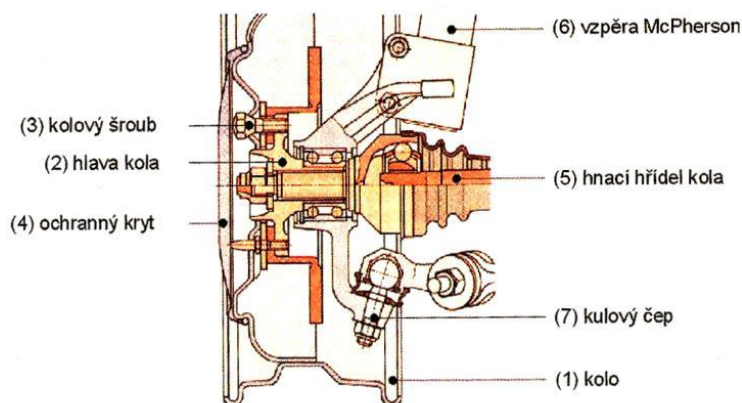


Obr. 16 – Zvedací náprava [12]

1.3.2 Uložení kol

Aby se vozidlové kolo mohlo pohybovat, musí být uloženo vzhledem k pevným částem, jako je náprava a zavěšení kola. U řízených kol je kromě toho potřeba uložit i rejdový čep (případně otočný čep kola), který umožňuje otáčení kola pomocí řídicích pohybů. Pro uložení kola se používají valivá ložiska, pro uložení rejdového čepu kluzná ložiska.

Uložení kola má dvě hlavní funkce: přenos sil působících na povrch pneumatiky a minimalizaci pohybu kola, aby bylo dosaženo přesného otáčení. [2]



Obr. 17 – uložení kola nápravy McPherson [1]



1.4 Odpružení

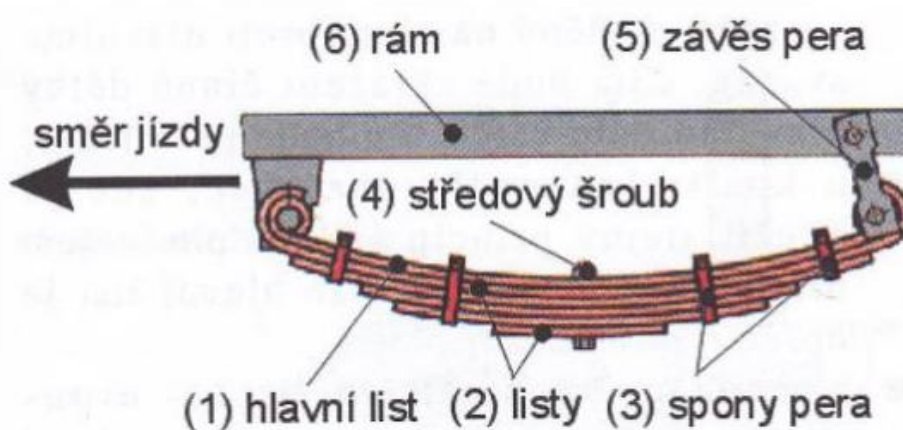
Odpružení umožňuje komfortní, stabilní a bezpečnou jízdu díky neustálému kontaktu kol s vozovkou, snižuje přenos vibrací z kmitavých pohybů náprav a karoserie vozidla na jeho podvozek, což chrání posádku a přepravovaný náklad před otřesy. Zároveň prodlužuje životnost částí podvozku a udržuje pneumatiky v kontaktu s vozovkou při překonávání nerovností, což zajišťuje přenos hnacích a brzdících sil. Ztráta kontaktu pneumatik by znemožnila říditelnost vozidla, proto také drží pneumatiku v neustálém styku s vozovkou. [1],[2],[3]

1.4.1 Ocelové pružiny

1.4.1.1 Listové pružiny

Listové pružiny se nejčastěji používají u nákladních automobilů, ale můžeme je najít i na zadních nápravách osobních automobilů.

Listové pružiny jsou navrženy tak, aby byly lehké a pevné. Mají tvar nosníku stálé pevnosti ve všech směrech. Konce listů jsou obvykle odstříhnuty pod pravým úhlem, což pomáhá přenášet síly do středu. Listová pružina se skládá z plátů z pružinové oceli, které jsou vrstveny a spojeny v objímce. Obvykle jsou umístěny v rovinách paralelních s podélnou osou vozidla. Na koncích největšího listu, kterému se říká „hlavní“, jsou opatřeny oky pro svorníky závěsů. Jeden konec pružiny je obvykle uchycen pohyblivě, zatímco druhý konec umožňuje změnu délky při propružení (buď klouže v kluzné opěře nebo vykyvuje na pomocném třmenu). Na obou koncích pružiny se obvykle nacházejí závěsná oka, která jsou vytvořena svinutím nejdelších listů. V těchto očkách jsou zalisována pryžová válcová pouzdra s otvorem pro uchycení k nástavbě nebo výkyvnému třmenu. [1],[2],[6]



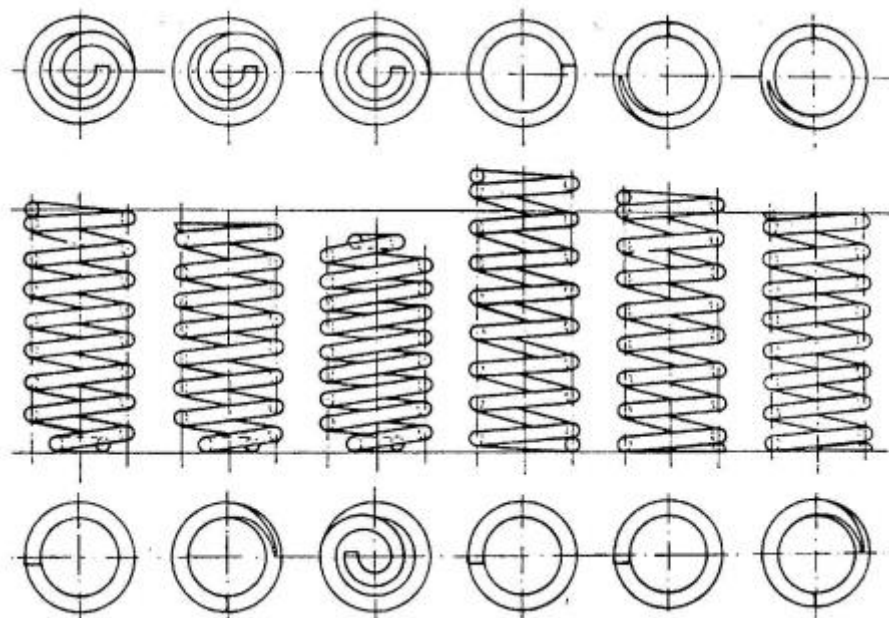
Obr. 18 - Listová pružina [1]



1.4.1.2 Vinuté pružiny

Vinuté pružiny jsou často využívány především u osobních automobilů a občas také u lehkých nákladních vozidel. Mají několik výhod jako je nízká hmotnost, nenáročnost na údržbu, snadné uložení bez potřeby kloubů a absence suchého tření.

Stoupání vinutých pružin je navrženo tak, aby při maximálním stlačení pružiny byl zachován bezpečný prostor mezi jednotlivými závity. V opačném případě by pružina vyvolávala hluk a přenášela rázy z vozovky na vozidlo. Na obou koncích pružiny se nacházejí tzv. závěrné závity, které zajistí kontakt pružiny s opěrnými plochami a přenos sil. Délka závěrného závitu je minimálně $3/4$ obvodu vinutí a stoupání je menší než u hlavních závitů. Závěrné závity na obou koncích vinuté pružiny by měly být navzájem o 180° pootočené. Konec pružiny může být buď broušený do roviny, přičemž opěrné plochy pro pružinu jsou rovné, nebo neobráběný (drát ukončený kolmo), kde opěrné plochy mají vybrání pro závěrný závit. [2],[6]

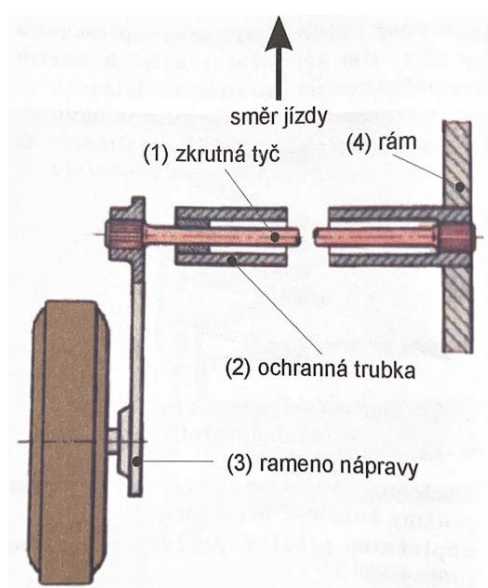


Obr. 19 - Ukázky závěrných závitů [2]



1.4.1.3 Zkrutné pružiny

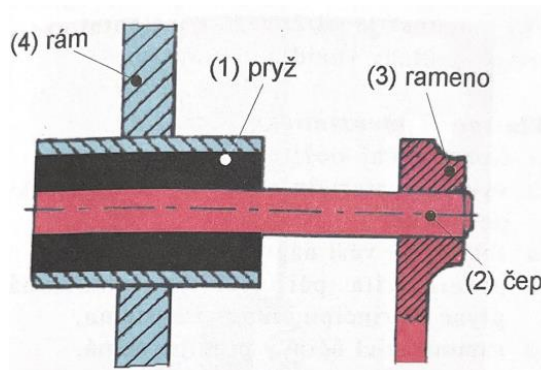
Zkrutná pružina známá také jako torzní nebo zkrutná tyč, je tyč s pevnou osou a koncovými hlavicemi o větším průměru. Přechod mezi tyčí a hlavicemi je plynulý. Používá se pro přenos kroutícího momentu a může mít různé tvary průřezu. Pro větší zatížení můžeme použít skládané torzní pružiny. Montují se s předpětím odpovídajícím statickému zatížení vozidla. Jeden konce dlouhé kovové tyče je uložen příčně vůči vozidlu, kde je ukotven k rámu, zatímco na opačném konci je namontována páka, která probíhá podélně a je na ní zavěšeno kolo. Svislý pohyb kola způsobí, že se tyč kroutí kolem své osy a klade pružný odpor. Účinnost určuje délka a plocha průřezu tyče. Hlavní výhody zkrutných pružin jsou malá hmotnost, nízké nároky na údržbu a možnost přesného seřízení vozidla. [1],[2]



Obr. 20 - zkrutná pružina [1]

1.4.2 Pryžové pružiny

Díky elastickým vlastnostem pryže, může být tato pružina namáhána na tlak, tah, krut i stříh. Díky nízké konstrukční složitosti nevyžadují téměř žádnou údržbu, má malou hlučnost a opotřebení, které roste spíše s věkem, a dokážou tlumit velkou sílu v malém délkovém rozsahu. Zásadní nevýhodou je, že je velmi citlivá na teplotu. [1]



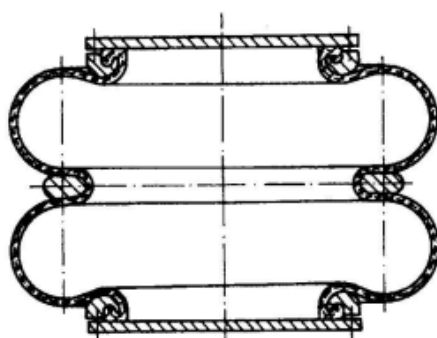
Obr. 21 - pryžová pružina [1]



1.4.3 Pneumatické pružiny

Toto odpružení je dnes jedno z nejpoužívanějších i díky regulaci výšky vozu, která usnadňuje nakládku, nebo v případě terénu vyšší světlou výšku, a tím pádem lepší průjezdnost. Na nákladních automobilech je použití časté i proto, že vozidlo již bývá osazeno kompresorem, který je zde z důvodu brzdné soustavy.

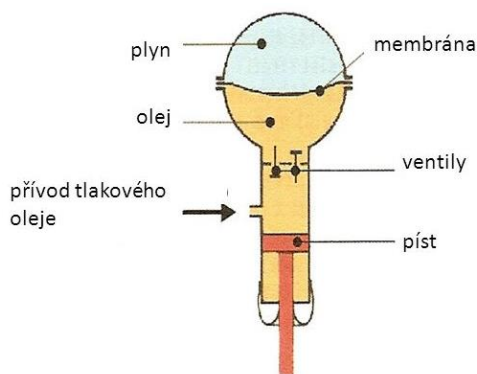
Využívá se zde principu stlačeného vzduchu a jejího chování. Ve většině případů se jedná o vzduch, ale ve výjimečných případech může být použit i dusík. Charakteristika odpružení je progresivní. Tuhost pružiny se mění v závislosti na tlaku vzduchu, který je přiváděn do měchů. Nevýhodou této pružiny je, že nemá schopnost vést nápravu, ani vlastní útlum, proto zde bývají vždy použity stabilizátory nebo výkyvná ramena. [1],[2],[6]



Obr. 22 - Pneumatická pružina [2]

1.4.4 Hydropneumatické pružiny

Hydropneumatická pružina je speciální pružinou, která pracuje s konstantní hmotností pružícího plynu, obvykle dusíku. Jedním z příkladů je pružící jednotka používaná na vozidlech značky Citroen, která se skládá z pracovního válce s pružnou pryžovou membránou. Válec je spojen s přípojkou pro samočinnou regulaci světlé výšky vozidla. Nad membránou se nachází pružící plyn a pod ní tlaková kapalina. Unikající kapalina je sbírána v pryžové manžetě a odváděna do nádrže hydraulické soustavy. Tlak těchto dvou médií je generován vysokotlakým čerpadlem a ventily regulují tok kapaliny, což umožňuje pružině plnit také funkci tlumiče. [1],[2]



Obr. 23 – hydropneumatická pružina [1]



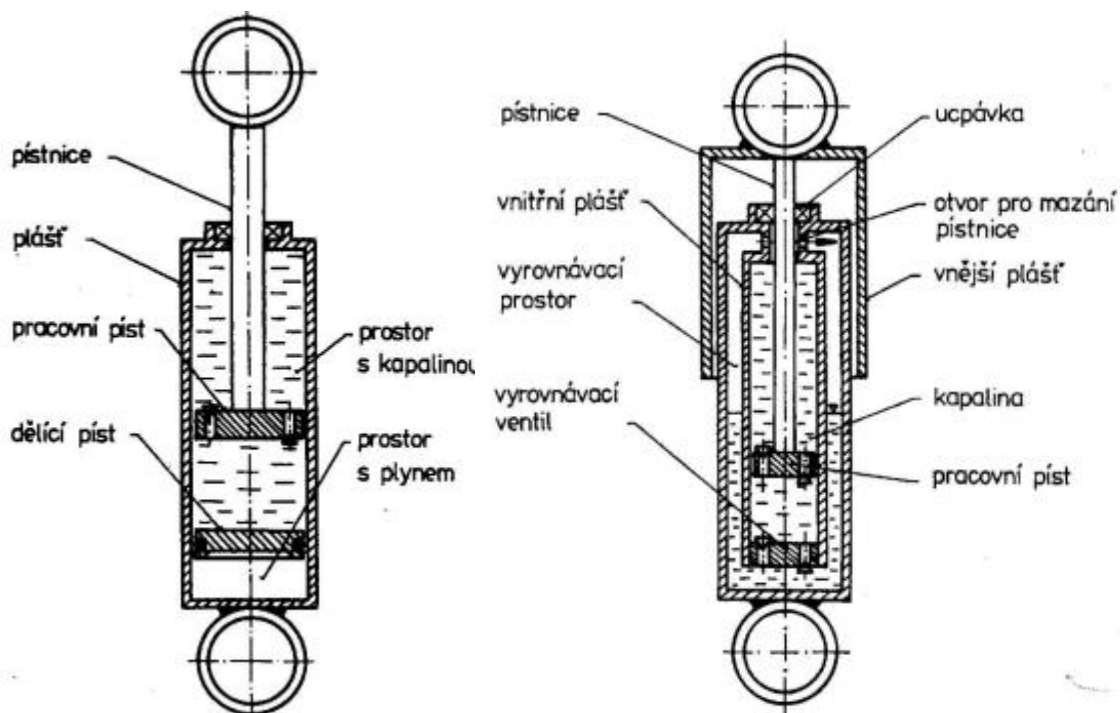
1.5 Tlumiče a stabilizátory

1.5.1 Tlumiče

Tlumiče v motorových vozidlech mají dva hlavní úlohy: zajištění bezpečné jízdy a zvýšení pohodlí pasažérů. Tlumič musí tlumit nárazy z nerovností vozovky a nepřenášet je na karosérii, čímž se zlepšuje jízdní pohodlí. Současně musí minimalizovat kmitání neodpružených částí, aby byl zajištěn lepší kontakt kol s vozovkou pro vyšší bezpečnost při brzdění a zatáčení.

Tlumič pracuje na principu kataraktu, to znamená, že přetlačuje olej z jedné vnitřní komory do komory druhé otvorem, na jehož průřezu závisí velikost škrcení průtoku oleje, na niž je závislá velikost tlumení, tudíž účinnost tlumiče. [1],[2]

Tlumiče rozdělujeme dle pracovního média na hydraulické a hydropneumatické a dle počtu plášťů na jednoplášťové a dvouplášťové.

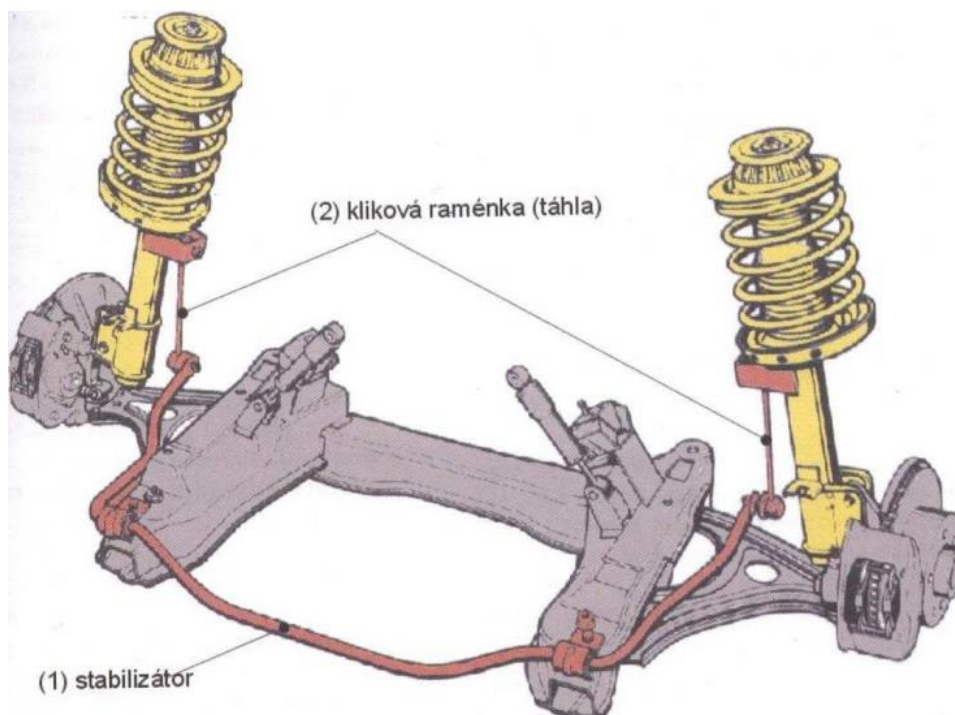


Obr. 24 - Jednoplášťový a dvouplášťový tlumič [2]



1.5.1.1 Stabilizátory

Účelem příčného stabilizátoru je zmenšit naklonění karoserie, které vzniká při naklonění zatáčkou. Bývá umístěn napříč vozidla a je společným základem pro obě kola jedné nápravy. Na nákladních vozech se používají téměř bez výjimky stabilizátory zkrutné. [1],[2]



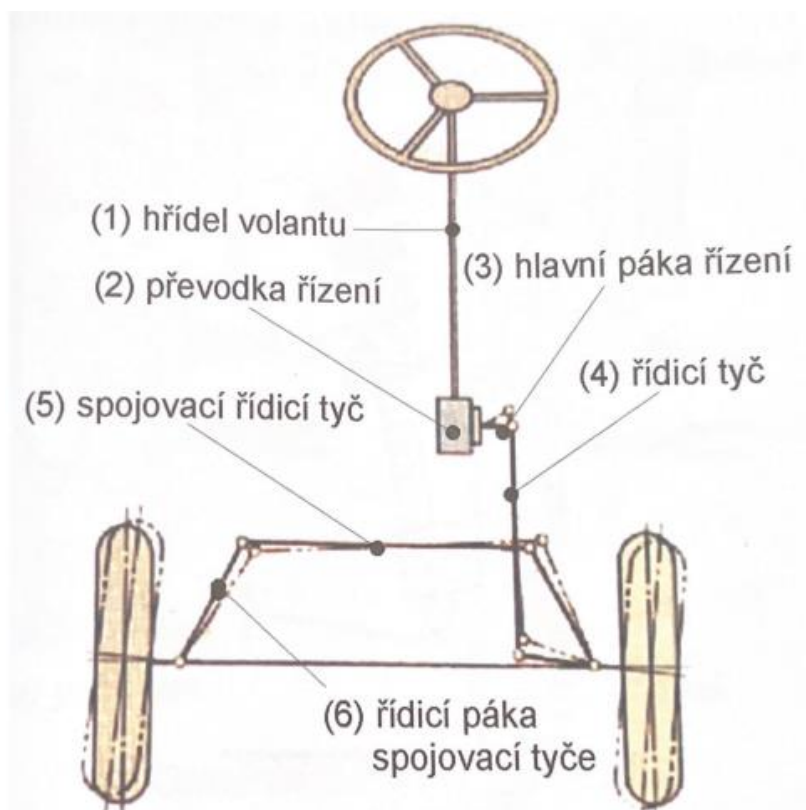
Obr. 25 – stabilizátor na nápravě odpružené vinutými pružinami [1]



1.6 Řízení

Řízení má za úkol udržovat směr jízdy vozidla nebo ho uměle měnit. U běžných motorových vozidel se obvykle používá řízení natáčením předních kol kolem rejdového čepu, známého také jako "osa řízení". U nákladních automobilů s dvěma předními nápravami se natáčejí kola obou náprav. Řízení zadních kol se využívá u určitých mobilních pracovních strojů a dlouhých návěsů. Řízení zadních kol se využívá u určitých mobilních pracovních strojů a dlouhých návěsů. V minulosti bylo používáno u kloubových autobusů. Řízení dělíme na dva základní typy, a to na řízení přímé, které ovládá jen řidič svou vlastní silou a řízení s pomocí posilovače.

Pro nastavení řízení měníme geometrii řízených kol. Mezi tyto hodnoty patří úhel odklonu kola, příklon rejdové osy, poloměr rejdu, záklon rejdové osy a úhel sbíhavosti. [2],[6]



Obr. 26 - hlavní části řídicí soustavy [1]

1.6.1 Díly řízení

1.6.1.1 Kulové klouby

Pomocí kloubu spojujeme jednotlivé mechanismy řízení. Díky jeho kulové ploše umožňuje pohyb všemi směry. [2],[6]

1.6.1.2 Řídicí tyče

Řídicí tyče používáme u nezávislého zavěšení kol pro spojení hlavní páky řízení s pomocnými pákami. [2],[6]



1.6.1.3 Sloupek řízení

Sloupek řízení se skládá z krycí trubky, která obklopuje hřídel volantu a je spojena s karosérií a samotným hřídelem volantu, který slouží k přenosu ovládacímu momentu. [2],[6]

1.6.1.4 Převodky řízení

Pomocí volantu vytváříme otáčivý pohyb, který ale potřebujeme transformovat na pohyb potřebný k natáčení kol, k čemuž slouží převodka řízení. Kromě změny otáčení také vytváří potřebný převodový poměr. [1],[2]

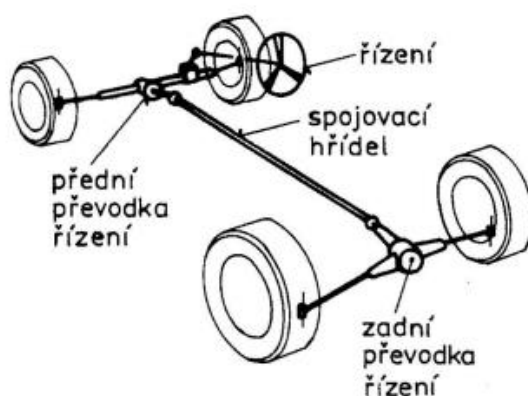
1.6.1.5 Posilovače řízení

Servořízení, také známé jako posilovač řízení, redukuje sílu potřebnou k ovládní motorových vozidel. Tím odlehčuje řidiči od namáhavé fyzické práce a snižuje únavu. Zároveň zvyšuje bezpečnost a tlumí rázy přenášené z řízených kol na volant. [1],[2]

1.6.2 Řízení všemi koly

Řízení všemi koly se používá terénních nákladních vozidel kvůli menšímu poloměru otáčení. Rozdělujeme jej na nesouhlasné, kdy se zadní kola natáčí opačně než kola přední, díky čemuž se vozidlo otáčí na menším poloměru a je usnadněno parkování. Druhá varianta je souhlasná, kdy se zadní kola natáčí ve stejném směru a zlepšuje se tím dynamická říditelnost.

Dociluje se toho díky tomu, že zadní náprava má svou vlastní převodku řízení, která je spojena s přední pomocí spojovací hřídele, nebo pomocí hydraulicky ovládané zadní nápravy. [2]



Obr. 27 - Schéma převodek pro řízení zadní nápravou [2]



1.7 Brzdový systém

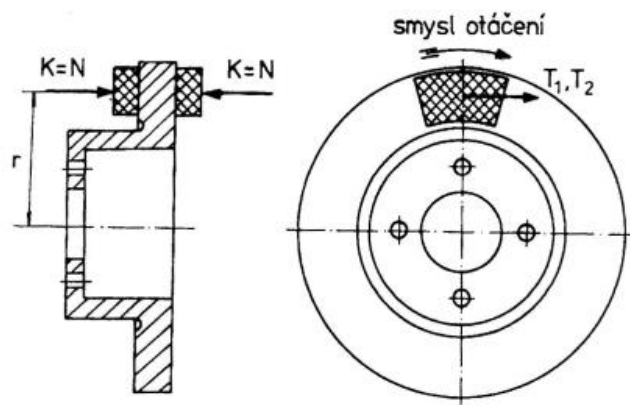
Brzdové zařízení je součástí všech brzdových systémů používaných na vozidlech. Jeho hlavní funkcí je snížení rychlosti pohybujícího se vozidla nebo jeho úplné zastavení, a také zajištění vozidla proti rozjetí. Pro brzdění se obvykle využívá záměrného tření mezi rotujícími a pevnými částmi motorového vozidla, jako je například tření mezi brzdovým kotoučem a brzdovými čelistmi. Tímto procesem se pohybová energie přeměňuje na tepelnou energii ve formě tření, kterou je nezbytné odvádět do ovzduší, aby nedošlo k poškození brzdového systému. [1],[2],[6]

1.7.1 Třecí brzdy

U motorových vozidel jsou běžně využívány třecí brzdy, které vytvářejí brzdný moment působením tření mezi otáčející se částí a pevnou částí. Tím se pohybová energie vozidla přeměňuje na teplo. Brzda je obvykle umístěna přímo v kole a otáčející se část brzdy je spojena s nábojem kola, což se nazývá kolová brzda. V některých případech se brzda umísťuje na skříň rozvodovky u hnacích náprav, přičemž otočná část brzdy je umístěna na hnacím hřídeli, kterou využíváme z důvodu snížení hmotnosti neodpružených částí. Existují dva hlavní typy třecích brzd používaných k brzdění vozidel: bubnové a kotoučové brzdy. Některé nákladní automobily jsou vybaveny převodovou brzdou umístěnou v převodovém ústrojí, která slouží k parkovacímu brzdění. [2]

1.7.2 Kotoučové brzdy

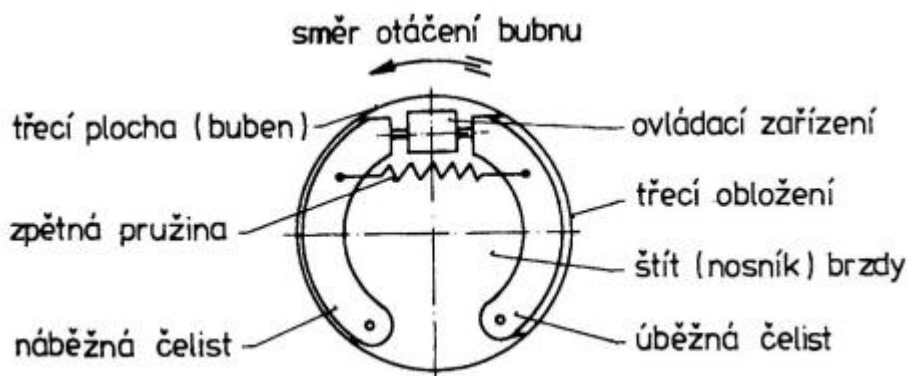
Pracuje na třecím principu, kdy se o sebe tře brzdová deska s kotoučem. Nehybnou část brzdy tvoří pevný nebo plovoucí třmen s brzdovými písty a brzdovými destičkami. Pohyblivou částí je spojený s kolem, tudíž společně s ním koná otáčivý pohyb. Při brzdění dojde k vyvolání tlaku v brzdové soustavě, stlačí se tak píst, který přitlačí brzdové desky ke kotouči, a vyvolají tření s kotoučem, kde se začne měnit kinematická energie na teplo a dojde k brzdění. Může také dojít k přitlačení pomocí lanovodu, kdy se píst přitlačí mechanicky. Opotřebením třecích ploch se kompenzuje automaticky a správná vůle mezi deskami a kotoučem se udržuje pomocí deformace těsnicího kroužku. Ten je při brzdění elasticky deformován a odbrzdění se vrátí do původního tvaru kde vyvolá opět minimální vůli. [1],[2]



Obr. 28 – Schéma kotoučové brzdy [2]

1.7.3 Bubnové brzdy

U bubnové brzdy dochází ke tření vnitřních brzdových čelistí o vnitřní plochu brzdového bubnu. Brzdový buben je pevně upevněn na náboji a otáčí se tak zároveň s kolem, zatímco brzdové čelisti, brzdový váleček, rozpěrná páka, přidržovací a vratné pružiny jsou umístěny na štítu brzdy a jsou v klidu. Při natlakování brzdového obvodu se brzdné čelisti přitisknou k bubnu a vyvolají tak žádoucí tření, při kterém přemění kinematickou energii na teplo a dojde k brždění vozu. Opotřebením se zvyšuje vůle a vzniká tak mrtvý tah pedálu, k lehkému seřízení dochází pomocí samo nastavitelného mechanismu, avšak je třeba brzdy manuálně seřizovat v rámci pravidelné údržby. [1]



Obr. 29 - Schéma bubnové brzdy [2]

1.7.4 Zpomalovací brzdy

Používají se zejména při sjíždění dlouhých svahů jako brzdy pomocné, kdy snižují zahřívání a opotřebením brzd provozních. Zpomalovací brzdy pracují bez opotřebením, protože přeměňují brzdovou energii na teplo bez využití tření. Nelze je využít jako brzdy parkovací. Mezi tyto brzdy patří brzda výfuková, motorová, elektromagnetická a hydrodynamická. [1]



1.8 Brzdové soustavy

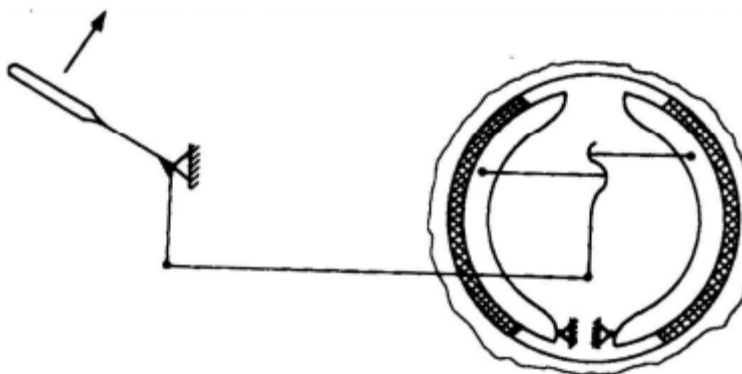
Pomocí brzdové soustavy je přenášena síla, kterou řidič vyvine na pedál až k brzdám, které začnou brzdit vozidlo. Pro ovládání provozního a nouzového brzdění u osobních automobilů se výhradně používají kapalinové ovládací soustavy. Dříve se používaly přímočinné soustavy, ale dnes jsou vybaveny podtlakovým posilovačem. Ovládacím orgánem v tomto případě je brzdový pedál. Parkovací brzda se ovládá pomocí běžných mechanických soustav, přičemž ovládacím orgánem je ruční páka. U nových brzdových systémů se parkovací brzda buď aktivuje tlačítkem, nebo se aktivuje automaticky.

U těžších vozidel najdeme soustavu pneumatickou, kde je tlak na brzdy přenášen pomocí stlačeného vzduchu. Alternativou mezi hydraulickou a pneumatickou soustavou může být hydropneumatická brzdná soustava. [1],[2]

1.8.1 Mechanické

V současnosti se téměř výhradně pro ovládání parkovacího brzdění používá mechanický přenos. Ovládací soustava je složena z páky ruční brzdy a mechanického převodu, který obvykle působí na zadní brzdy. Převodový systém musí zajistit rovnoměrné rozložení ovládací síly na obě kola, i když dojde k nerovnoměrnému opotřebení třecích obložení. K tomuto účelu jsou v převodu použity vyrovnávací kladky nebo páky.

Existuje také varianta elektromechanická, kdy je ruční páka nahrazena elektrickým spínačem. [2],[6]



Obr. 30 – Mechanická parkovací brzda s bubnovým kotoučem [2]

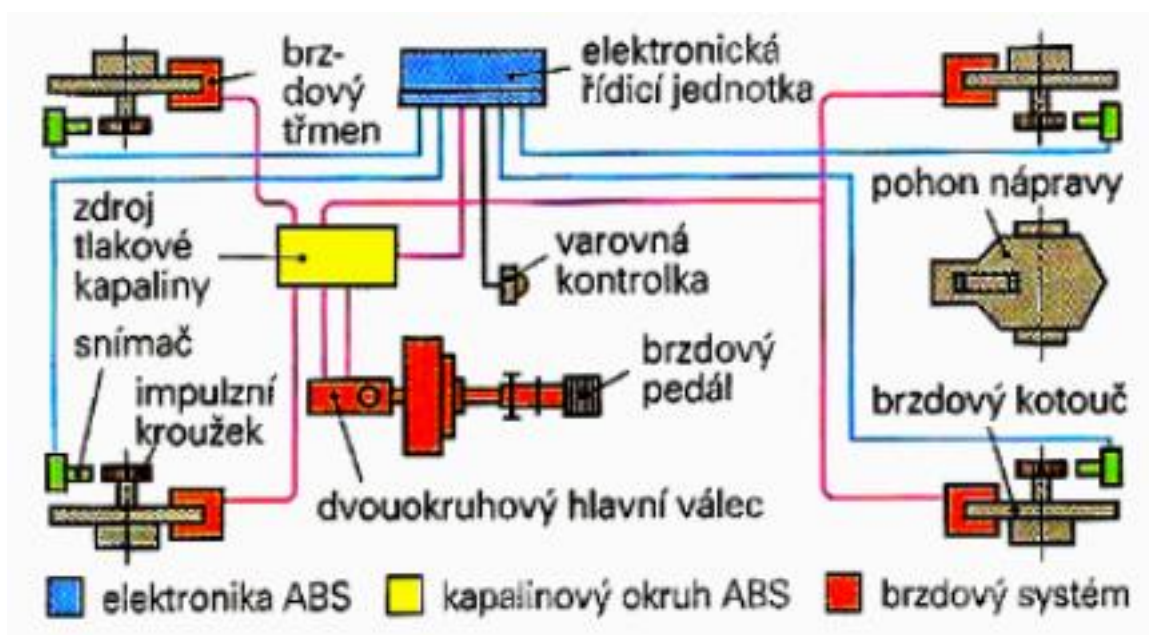


1.8.2 Hydraulické

Hydraulická brzdová soustava je tvořena brzdovým pedálem, hlavním brzdovým válcem, rozvodem kapaliny, který je uskutečňován buď pomocí trubek nebo hadiček a kolovými brzdnými válečky.

Princip této soustavy je založen na Pascalově zákoně, přičemž tlačíme na brzdový pedál, k čemuž nám může dopomáhat ještě brzdový posilovač a tlak, který vyvineme, se pomocí brzdného okruhu a hydraulického převodu dostane až na brzdné válce, které natlačí destičky na kotouč nebo čelisti na buben. Z důvodu bezpečnosti se dnes již téměř bez výjimky používají dvouokruhové brzdné soustavy, kde v případě přerušení a úniku kapaliny jednoho z okruhů dokážeme vozidlo zastavit za pomoci druhého.

Z této soustavy vychází také soustava elektrohydraulická (EHB), která systémem ABS upravuje brzdný tlak na jednotlivá kola a sbírá data o jejich chování, což zvyšuje komfort a bezpečnost. Dnes je pro hydraulickou brzdovou soustavu povinná. [1],[2]

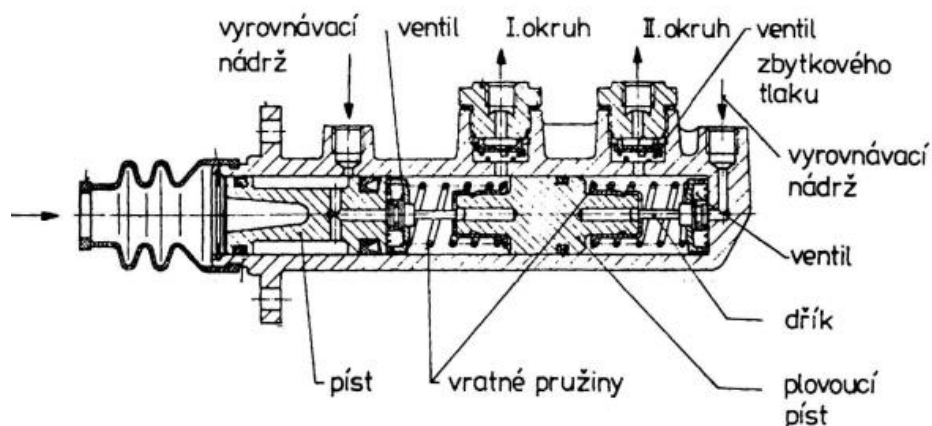


Obr. 31 - Hydraulická brzdová soustava s ABS [7]

Hlavními částmi hydraulické brzdné soustavy jsou:

1.8.2.1 Hlavní brzdový válec

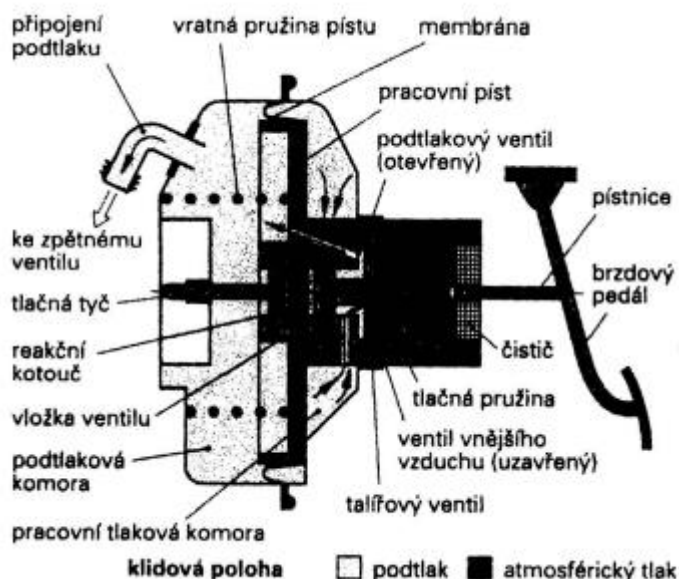
Hlavní brzdový válec je hydraulický válec, který je ovládán buď svalovou silou řidiče nebo pomocnou silou posilovače. V současné době se používají nejčastěji válce tandemové, které používáme pro dvouokruhové ovládání.



Obr. 32 - Tandemový brzdový válec [2]

1.8.2.2 Posilovač

Podtlakový posilovač se používá v hydraulických brzdových soustavách ke snížení síly potřebné k ovládní brzdového pedálu. Tento posilovač využívá podtlaku jako zdroj energie, který působí prostřednictvím zařízení umístěného mezi brzdovým pedálem a hlavním brzdovým válcem. U zážehových motorů je podtlak odebírán ze sacího potrubí, zatímco u vznětových motorů se podtlak vytváří pomocí vakuového čerpadla. [2]



Obr. 33 - podtlakový posilovač [2]

1.8.2.3 Rozdělovač

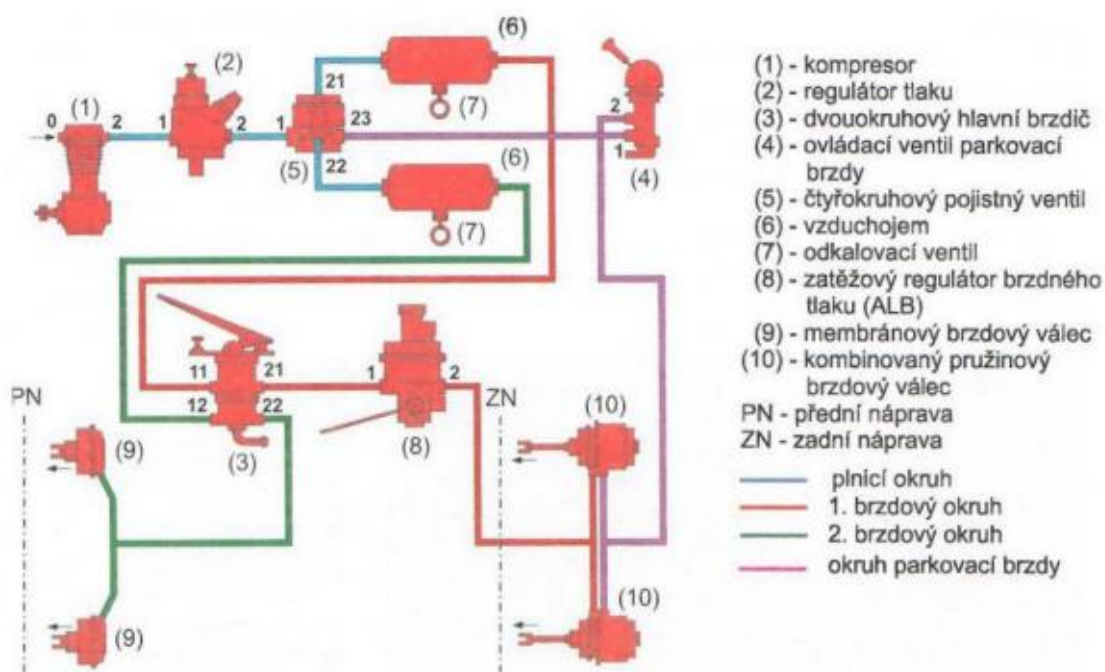
Rozdělovač celkové brzdné síly na nápravy vozidla slouží k přizpůsobení rozložení brzdného tlaku vyvíjeného hlavním brzdovým válcem mezi brzdami přední a zadní nápravy. Jeho cílem je dosáhnout optimálního poměru mezi brzdou silou na přední a zadní nápravě, díky čemuž se zkracuje brzdná dráha a vozidlo se chová stabilněji. [2]



1.8.3 Pneumatické

V případě těžkých vozidel, kde již nestačí síla, kterou je řidič schopný vyvinout pedálem, tak přichází na řadu pneumatické neboli vzduchové brzdy. Brzdňý pedál zde pouze uvolňuje energii stlačeného vzduchu, kterou pak vůz regulovaně využije pro brždění vozidla. Pomocí připojovací hlavice jsme takto schopni brzdit i přívěs či návěs tažený za vozidlem.

Vzduch natlakovaný kompresorem se kumuluje ve vzduchojemech. Pomocí brzdiče uvolníme vzduch k brzdovým válcům, kde dojde k tlaku na válce a k brždění vozidla. Po uvolnění pedálu se přívod k brzdám zavře a dojde k upuštění vzduchu a obdržení vozidla. Tento typ soustavy je také jištěn dvěma okruhy, pro případ nehody. [1], [2]



Obr. 34 - dvouokruhová vzduchová brzdová soustava [1]

1.8.3.1 Brzdiče

Brzdič po sešlápnutí brzdového pedálu řídí a odstupňovaně plní oba okruhy brzdné soustavy při provozním brždění a při vyšlápnutí je opět vypouští. [2]

1.8.3.2 Brzdové válce

Pro rozvírání brzdových čelistí u motorových vozidel se vzduchovými brzdami se využívají brzdové válce. Tyto válce jsou umístěny na pevné části nápravy nebo brzdovém štítu tak, aby pístnice mohla přímo působit na páku rozvíracího klíče čelistí. Brzdové válce jsou buď pístové nebo membránové. [2]



1.8.3.3 Zátěžový regulátor

V systému vzduchové brzdové soustavy je zátěžový regulátor mechanicky ovládaný a automaticky upravuje brzdný tlak v závislosti na zatížení vozidla. Když je vozidlo plně zatíženo, do brzdových válců je přiváděn plný tlak nastavený hlavním brzdícím. Pokud je vozidlo nezatížené nebo zatížené pouze částečně, do brzdových válců je přiváděna pouze část tlaku nastaveného hlavním brzdícím. Tento mechanismus zabraňuje přebrzdění, díky kterému dojde k zablokování kol. [2]

1.8.4 Vzduchokapalinové

V případě, že hydraulická brzda nestačí a pneumatika je zbytečně silná, využíváme kompromis v podobě vzduchokapalinové brzdy. Jedná se o kombinaci hydraulických brzd a kompresoru se statečným vzduchem. Pedál je zde stejný jako u pneumatických brzd, avšak tlak vzduchu působí na píst hydraulického okruhu. Stlačením tohoto pístu pomocí vzduchu se přes okruh opět stlačí brzdné válce skrze Pascalův zákon a dochází k brždění vozidla. [1]

1.8.5 Protiblokovací systémy

Dnes jsou na vozidle povinné protiblokovací systémy ABS. Zabraňují zablokování kol, které vede ke ztrátě adheze a tím ztrátě stability a ovladatelnosti vozidla. Systém ABS proto zajišťuje neustálé otáčení každého kola, kde porovnává otáčky kol mezi sebou a tím rozděluje brzdný výkon na jednotlivá kola. [1],[2]



1.9 Kola a Pneumatiky

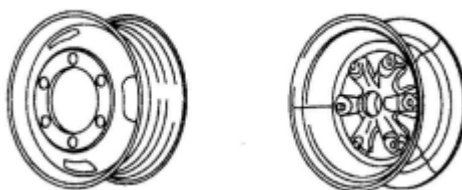
Cílem sestavy kola a pneumatiky je nést hmotnost vozu, kterou působí na vozovku. Dále pak přenáší síly mezi vozovkou a vozidlem a pneumatiky doplňují pružící systém vozidla.

1.9.1 Kola

Kola vozidel jsou připevněna šrouby ke hlavám kol na jejich nápravách. Jsou tvořena ráfky, které jsou opatřeny pneumatikami, a ty zajišťují přenos sil za různých podmínek. Pro dosažení lepších jízdních vlastností jsou kola dynamicky vyvažována. Připevněné kol pomocí kolových šroubů usnadňuje montáž a demontáž kola.

U terénních vozidel obvykle používáme kola:

- Disková – jsou lisována z ocelového plechu a bývají spojena s ráfkem pomocí nýtování nebo svařování. Na disku najdeme otvory různého tvaru, které mají za úkol snižovat hmotnost a také vhodným umístěním zlepšovat aerodynamiku. Pomáhají též k lepšímu chlazení brzd pomocí ventilačního účinku.
- Hvězdicová – jsou podobná jako kola disková, ale v tomto případě je disk nahrazen hvězdicí. Pro nákladní automobily jsou hvězdice odlévané s hlavou vcelku a bývají opotřeby děleným ráfkem.



Obr. 35 – diskové a hvězdicové kolo [2]

1.9.1.1 Ráfky

Ráfek kola slouží k uchycení pneumatiky a zajišťuje, aby mezi nimi nedocházelo k relativnímu pohybu při přenosu svislých, bočních a obvodových sil. Nejběžnější ráfky kol jsou vyrobeny z oceli, ale stále se častěji používají také ráfky z hliníkových slitin, které jsou lehčí.

Samotný ráfek se skládá z několika částí. Patří sem opěrné plochy, které slouží jako dorazy pro pneumatiky, dále jsou tu dosedací plochy, které jsou nakloněny o přibližně 5 stupňů vzhledem k středu ráfku (u širokých ráfků pro bezdušové nákladní pneumatiky je to 15 stupňů) a umožňují přenos obvodových sil přes patky pneumatiky [2]. Ráfek také obsahuje prohloubení, které umožňuje montáž pneumatiky na nedělený ráfek.

Ráfky rozlišujeme dle tvaru na prohloubené, ploché a dle počtu dílů na jednodílné a vícedílné.



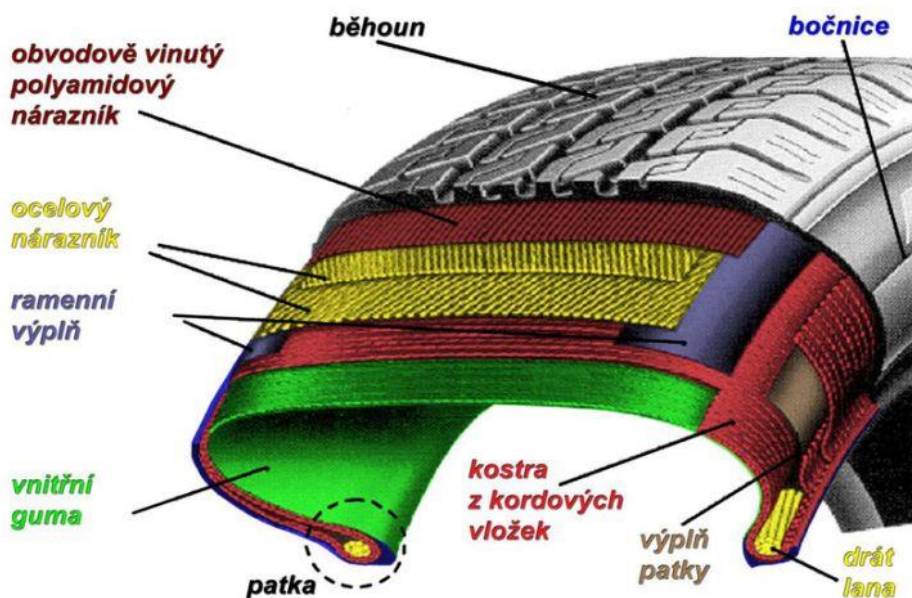
1.9.2 Pneumatiky

Pneumatika je plášť s duší, ochranou vložkou nebo bezdušovým ventilem, který je namontován na ráfek a naplněný stlačeným vzduchem.

Je to pružná vnější část kola, která má tvar toroidu a zajišťuje styk s vozovkou. Má několik důležitých funkcí včetně vedení směru, nošení zátěže, tlumení nárazů, valivého pohybu a přenosu výkonu. Správný tlak v pneumatikách je klíčový pro zachování bezpečnosti, komfortu a životnosti pneumatiky.

Existuje několik typů pneumatik podle jejich konstrukce. Radiální pneumatiky nabízejí lepší výkon, trakci a ovladatelnost. Diagonální pneumatiky jsou pevné a odolné, ale nabízejí méně komfortu a výkonu. [1,2]

Na následujícím obrázku jsou označeny všechny hlavní části pneumatiky:



Obr. 36 – Hlavní části pneumatiky [10]

Terénní pneumatiky mají obvykle hluboké dezénové vzorky, které poskytují lepší trakci a schopnost odvádět bahno, sníh a další nepříznivé podmínky. Také často obsahují vyztužené bočnice, které chrání pneumatiku před poškozením od ostrých předmětů.



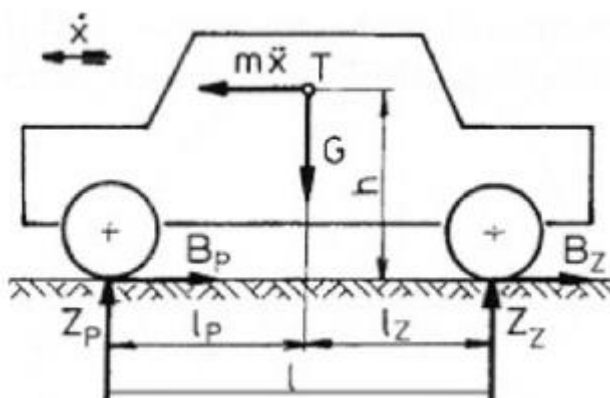
2 Praktická část

2.1 Vzorce pro výpočet brzdné soustavy

Při výpočtu brzdového systému vyjdeme ze znalosti hmotnosti vozidla a rozložení této hmotnosti na jednotlivé nápravy. Postup výpočtu zahrnuje také známé rozměry jednotlivých komponentů brzdového systému, které zvolíme.

Po zjištění brzdných sil působících na jednotlivá kola a třecích sil na brzdové kotouče je vypočítán tlak, který je generován silou, jež působí na brzdový pedál a je dále posílen posilovačem brzd. Výsledkem tohoto výpočtu je stanovení síly, kterou řidič vyvíjí na brzdový pedál pro zastavení vozidla. [3]

2.1.1 Brzdná síla:



Obr. 37 - Síly působící na vozidlo při brždění [3]

Z obrázkového schématu sil vyplývá že:

$$B_p + B_z = m \cdot \ddot{x} \quad (1)$$

Vztah pro poměrné zpomalení:

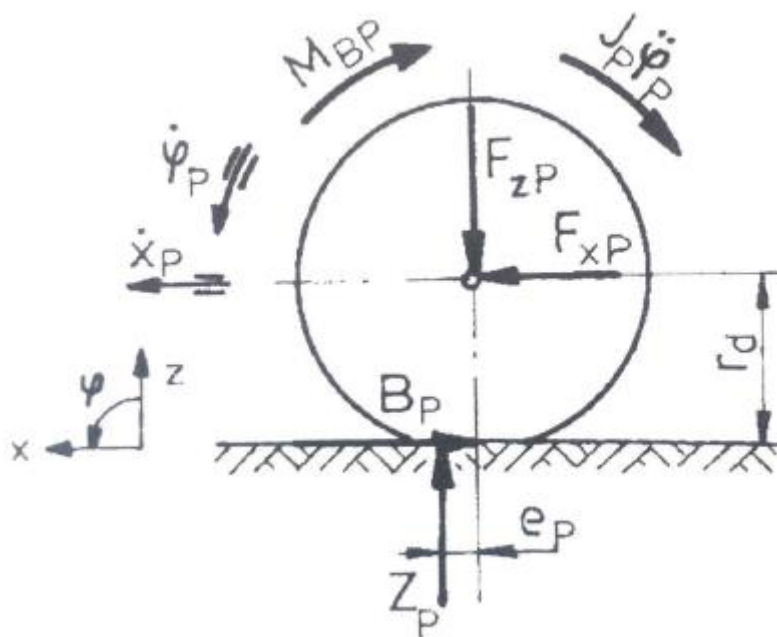
$$Z = \frac{a}{g} \quad (2)$$

$$a = g \cdot Z \quad (3)$$

Po dosazení do rovnice 1 vznikne:

$$B_p + B_z = m \cdot g \cdot Z \quad (4)$$

$$B_p + B_z = G \cdot z \quad (5)$$



Obr. 38 - Síly a moment působící na brzděné nápravě [3]

Pokud zanedbáme valivé odpory a setrvačné účinky, potom dostáváme pro brzdou sílu náprav vztah:

$$B_p = \frac{M_{B_p}}{r_d} \quad (6)$$

$$B_z = \frac{M_{B_z}}{r_d} \quad (7)$$

Z tohoto vztahu dostáváme vztah pro brzdny moment:

$$M_{B_p} = B_p \cdot r_d \quad (8)$$

$$M_{B_z} = B_z \cdot r_d \quad (9)$$

Poměr brzdnych momentů pro dvounápravové vozidlo tak můžeme definovat jako:

$$i = \frac{M_{B_p}}{M_{B_p} + M_{B_z}} \quad (10)$$

$$1 - i = \frac{M_{B_z}}{M_{B_p} + M_{B_z}} \quad (11)$$



Pokud do rovnic 10 a 11 dosadíme vztah 8 a 9, potažmo 5, získáme vztahy:

$$B_p = i \cdot G \cdot z \quad (12)$$

$$B_z = (1 - i) \cdot G \cdot z \quad (13)$$

Dále vypočítáme rozložení brzdné síly na kola nápravy:

$$B_{PK} = \frac{B_p}{2} \quad (14)$$

$$B_{ZK} = \frac{B_z}{2} \quad (15)$$

2.1.1.1 Tečné síly působících na kotouč:

Kotouč bude brzděn destičkami z obou stran, proto platí:

$$B_k \cdot r_d = 2 \cdot F_{TK} \cdot r_{KE} \quad (16)$$

Z tohoto vztahu dostáváme vztah pro třecí sílu:

$$F_{TK} = \frac{B_k \cdot r_d}{2 \cdot r_{KE}} \quad (17)$$

Kde r_{KE} je poloměr kotouče, na kterém působí třecí síla, dostaneme jej vztahem:

$$r_{KE} = r_{KP} - \frac{h_d}{2} \quad (18)$$

2.2 Normálové síly působící na kotouč:

Pro normálové síly působící na kotouč platí:

$$F_N = \frac{F_{TK}}{f} \quad (19)$$

Z plochy pístku třmenu brzdy vypočítáme tlak potřebný pro vyvolání této síly:

$$p = \frac{F_N}{i_p \cdot S_p} \quad (20)$$



2.2.1.1 Výpočet brzdné síly

Podle Pascalova zákona je v celém hydraulickém systému stejný tlak, který byl vytvořen v hlavním brzdovém válci:

$$F_{BV} = p \cdot i_{BV} \cdot S_{BV} \quad (21)$$

Jedná se o sílu, která je součtem posilovače brzd a brzdového pedálu:

$$F_{BV} = F_{PO} + F_{PED} \quad (22)$$

Pro vakuový posilovač platí:

$$F_{PO} = p_{PO} \cdot S_{PO} \quad (23)$$

Potřebná síla pedálu je:

$$F_{PED} = F \cdot i_{PED} \quad (24)$$

Z toho vyplývá, že síla, kterou řidič působí na pedál, je:

$$F = \frac{F_{PED}}{i_{PED}} \quad (25)$$



2.3 Výpočet pro zvolené vozidlo

V praktické části budeme navrhovat brzdou soustavu dle směrnice EHK R13, ES 71/320 pro terénní nosič nástaveb spadající do kategorie N1.

Následující výpočty jsou provedeny pomocí programu, který je zahrnut v příloze.

Parametry vozu:

Max. povolená hmotnost [kg]	3500
Počet náprav	2
Kola	255/65 R17

Tabulka 1 – vstupní parametry vozu

Počáteční požadavky dle EHK R13, ES 71/320:

Počáteční rychlost [km*h-1]	80
Max. brzdná dráha [m]	61,2
Maximální síla vyvinuta na pedál řidičem [N]	500
Max. prodleva [s]	0,36
Zpomalení [m*s-2]	5

Tabulka 2 - požadavky dle směrnice

2.3.1 Výpočet brzdné síly:

2.3.1.1 Poměrné zpomalení

$$Z = \frac{a}{g} = 0,51 \quad (2)$$

2.3.1.2 Gravitační síla působící na vozidlo:

$$G = m \cdot g = 34335 [N] \quad (26)$$



2.3.1.3 Brzdní síla na nápravách:

Rozložení brzdných sil na nápravách volíme 0,6-0,4.

$$B_p = i \cdot G \cdot Z = 0,6 \cdot 34355 \cdot 0,51 = 10500 \text{ [N]} \quad (12)$$

$$B_z = (1 - i) \cdot G \cdot Z = (1 - 0,6) \cdot 34355 \cdot 0,51 = 7000 \text{ [N]} \quad (13)$$

2.3.1.4 Brzdní síla na kolech nápravy:

$$B_{PK} = \frac{B_p}{2} = 5250 \text{ [N]} \quad (14)$$

$$B_{ZK} = \frac{B_z}{2} = 3500 \text{ [N]} \quad (15)$$

Z výpočtu je zřejmé, že bude potřeba zvolit větší brzdové komponenty pro přední nápravu, než-li pro zadní, díky vyšší potřebné brzdné síle.



2.3.2 Volba součástek

Pro svůj brzdový systém volíme následující součástky, které následně zkontrolujeme, zda odpovídají požadavkům směrnice.

Součást	Výrobce	Kat. číslo	Hodnoty:		
Kotouče přední	Brembo	09.B634.11	Průměr	338	[mm]
Kotouče zadní	Brembo	09.B496.10	Průměr	320	[mm]
Destičky přední	Brembo	P 83 102	Výška	77,1	[mm]
Destičky zadní	Brembo	P 56 058	Výška	58,5	[mm]
Třmeny L přední	Brembo	F 83 362	Průměr	48	[mm]
			Pístky	4	[-]
Třmeny P Přední	Brembo	F 83 363	Průměr	48	[mm]
			Pístky	4	[-]
Třmeny Levé zadní	Brembo	F 56 152	Průměr	46	[mm]
			Pístky	2	[-]
Třmeny Pravé zadní	Brembo	F 56 152	Průměr	46	[mm]
			Pístky	2	[-]
Hl. brzd. válec	LPR	LPR 6129	Průměr	20,64	[mm]
			Pístky	2	[-]
Posilovač	Ridex	74B00052	Průměr	254	[mm]
Podtlak. pumpa	Hella	8TG 008 570-0270	Max. tlak	0,07	[Mpa]
Pedál	Wilwood	340-13574	Přepákování	6	[-]

Tabulka 3 – zvolené součásti



2.3.3 Výpočet potřebné třecí a normálové síly pro ubrzdění kola

2.3.3.1 Efektivní poloměr kotouče:

$$r_{KEP} = r_{kP} - \frac{h_{dP}}{2} = 130,45 [mm] \quad (18)$$

$$r_{KEZ} = r_{kZ} - \frac{h_{dZ}}{2} = 130,05 [mm] \quad (18)$$

2.3.3.2 Třecí síla pro brždění kotouče:

$$F_{TKP} = \frac{B_{KP} \cdot r_d}{2 \cdot r_{KEP}} = 7657,86 [N] \quad (17)$$

$$F_{TKZ} = \frac{B_{KZ} \cdot r_d}{2 \cdot r_{KEZ}} = 5108,13 [N] \quad (17)$$

2.3.3.3 Normálová síla:

Koeficient smykového tření udává výrobce 0,48.

$$F_{NP} = \frac{F_{TP}}{f} = 15999,60 [N] \quad (19)$$

$$F_{NZ} = \frac{F_{TZ}}{f} = 10641,93 [N] \quad (19)$$



2.3.4 Dimenzování převodu síly od pedálu na destičky

2.3.4.1 Potřebný tlak na pístek

$$p_p = \frac{F_{Np}}{i_p \cdot S_p} = 2,21 \text{ [MPa]} \quad (20)$$

$$p_z = \frac{F_{Nz}}{i_p \cdot S_p} = 3,34 \text{ [MPa]} \quad (20)$$

Jak plyne z výpočtů, maximálního tlaku je potřeba dosáhnout na zadních kolech, proto dále budeme počítat s tlakem p_z .

Dle výrobce je maximální povolený tlak 6,8 MPa, tudíž bezpečnost je v tomto případě 2.

2.3.4.2 Síly vytvářející tlak na hl. brzdovém válci:

$$F_{BV} = p_{BV} \cdot i_{BV} \cdot S_{BV} = 2238,8 \text{ [N]} \quad (21)$$

2.3.4.3 Síla posilovače:

$$F_{PO} = p_{PO} \cdot S_{PO} = 1773,48 \text{ [N]} \quad (23)$$

2.3.4.4 Potřebná síla od pedálu:

$$F_{PED} = F_{BV} - F_{PO} = 229,22 \text{ [N]} \quad (22)$$

2.3.4.5 Síla na pedále pro ubrzdění vozidla:

$$F = \frac{F_{PED}}{i_p} = 38,20 \text{ [N]} \quad (24)$$

Výsledná síla, kterou bude řidič nucen tlačít na brzdový pedál je 38,2 [N], tudíž se jedná pouze o 7,64 % z původní požadované hodnoty 500 [N].



2.3.4.6 Kontrola při nefunkčnosti posilovače

Je potřeba, aby v případě, že nastane porucha posilovače, byl řidič stále schopen vůz ubrzdít, a proto i v tomto případě je nutné splnit limit 500 [N].

Do vzorce tak dosadíme za sílu posilovače nulu.

$$F_{PED} = F_{BV} \quad (22)$$

$$F = \frac{F_{BV}}{i_p} = 373,3 \text{ [N]} \quad (24)$$

I v tomto případě výsledná hodnota vyhovuje. V tomto případě se jedná o 74,6 % z požadované hodnoty, tudíž bezpečnost je v tomto případě 1,34.

2.3.5 Závěr výpočtové části

Zvolené součásti vyhověly požadavkům směrnice EHK R13, ES 71/320. Nejvyšší potřebný tlak vyšel na zadní nápravě 3,34 [MPa], přičemž tato hodnota je poloviční oproti povolené hodnotě součástí 6,8 [MPa].

Potřebná síla pro zastavení vozidla, kterou musí řidič působit na brzdový pedál vyšla komfortních 38,2 [N], což je 7,64 % z původních 500 [N] vyžadovaných směrnicí. Vyhovující hodnoty dosáhneme i v případě poruchy posilovače, kdy hodnota vyšla 373,3 [N] což je 74,6% z požadované hodnoty.



Závěr

Cílem bakalářské práce bylo sepsat rešerši na téma podvozků užitkových terénních vozidel a následně pro reprezentativního zástupce vypočítat hlavní prvky brzdové soustavy. Následně jsme pro tento výpočet vytvořili program, který by budoucí práci dokázal zjednodušit.

V teoretické části jsem se zabíral konstrukčním řešením rámu, zavěšení kol, odpružení, řízení, brzd a kol, které můžeme na těchto vozidlech najít. Je nepřehledné množství konstrukčních variant, ale shrnuli jsme jen ty nejpoužívanější.

V praktické části jsme si zvolili reprezentativního zástupce, jímž bylo vozidlo kategorie N1 s max. přípustnou hmotností 3500 kg. Pro něj jsme zvolili vhodné prvky brzdové soustavy a ty následně zkontrolovali, zda odpovídají vyhlášce. Zvolili jsem zde kotoučové brzdy, ačkoliv jsme si vědomi jejich sníženého účinku v prašném prostředí. V současné době však lze předpokládat, že vozidlo bude jezdit větší část svého provozu po silnici, kde jsou tyto brzdy efektivnější. Výsledná brzdná síla odpovídá vyhlášce, a to i v případě, že z důvodu technické závady nebude funkční posilovač. Případný přepočtení výsledků pro jiné díly usnadňuje námi vytvořený tabulkový program.

Při výpočtu jsme zanedbali valivé a setrvačné účinky, odpory a ztráty. Jde tak pouze o teoretický výsledek, který v případě aplikace na vozidlo bude potřeba ověřit detailnějším výpočtem a provést skutečné měření.



Seznam použitých zdrojů

- [1] JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav; ČUPERA. Automobily 1, Podvozky 4. vydání. Brno: Avid, spol. s r. o, 2012
- [2] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno 2006
- [3] VLK, František.: Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno 2003
- [4] VLK, František. Stavba motorových vozidel. 1., vyd. Brno 2003
- [5] CAROLLA, David: Automotive engineering, powertrain, chassis system and vehicle body. 1. vyd. Oxford 2009
- [6] REIMPELL, Jorsen. STOLL, Helmut. BETZLER, Jürgen: The automotive Chassis. 2. vyd. Oxford 2003
- [7] JANDOVÁ, Vladimíra. Brzdy motorového vozidla [Online]. [Cit. 2.7.2023] dostupné z WWW: <https://docplayer.cz/6854319-Brzdy-motoroveho-vozidla-zakladni-pojmy.html>
- [8] Autolexicon [online]. [cit. 17.6.2023] dostupné z WWW: https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_viceprvkova_001.jpg
- [9] Unique offroad concepts [online]. [cit. 18.6.2023] dostupné z WWW: <https://www.uoc4x4.co.za/wp-content/uploads/2019/08/portal-diagram-01.svg>
- [10] IBZ Group s.r.o. [online]. [cit. 20.6.2023] dostupné z WWW: <https://www.ibz.cz/upload/images/Popis%20pneumatiky.png>
- [11] Autolexicon [online]. [cit. 10.7.2023] dostupné z WWW: https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_mcpherson_001.jpg
- [12] Krone tv [online]. [cit. 10.7.2023] dostupné z WWW: https://www.autoforum.cz/tmp/magazin/z9/Zvedaci_napravy_kamionu_foto_08_248_0.jpg



Seznam obrázků

Obr. 1 - hl. části podvozku [2]	13
Obr. 2 - žebřinový rám [4].....	14
Obr. 3 - Křížový rám [4].....	14
Obr. 4 - Obvodový rám [2].....	15
Obr. 5 - Plošinový rám [2].....	15
Obr. 6 - Páteřový rám [4].....	16
Obr. 7 - Tuhá náprava, vzájemná poloha kol [5].....	17
Obr. 8 - Mostová náprava [1]	18
Obr. 9 - uchycení Panhardovy tyče [5]	18
Obr. 10 - Srovnání normální (vlevo) a portálové nápravy (vpravo) [9]	18
Obr. 11 - kyvadlová náprava [2].....	19
Obr. 12 - Lichoběžníková náprava [2]	20
Obr. 13 - Víceprvková náprava [8]	21
Obr. 14 – Náprava McPherson [11]	21
Obr. 15 - Dvounáprava s listovou pružinou ve tvaru vahadla [2]	22
Obr. 16 – Zvedací náprava [12].....	23
Obr. 17 – uložení kola nápravy McPherson [1].....	23
Obr. 18 - Listová pružina [1]	24
Obr. 19 - Ukázky závěrných závitů [2]	25
Obr. 20 - zkrutná pružina [1]	26
Obr. 21 - pryžová pružina [1].....	26
Obr. 22 - Pneumatická pružina [2].....	27
Obr. 23 – hydropneumatická pružina [1]	27
Obr. 24 - Jednoplášťový a dvouplášťový tlumič [2]	28
Obr. 25 – stabilizátor na nápravě odpružené vinutými pružinami [1].....	29
Obr. 26 - hlavní části řídicí soustavy [1].....	30
Obr. 27 - Schéma převodek pro řízení zadní nápravou [2]	31
Obr. 28 – Schéma kotoučové brzdy [2].....	33
Obr. 29 - Schéma bubnové brzdy [2]	33
Obr. 30 – Mechanická parkovací brzda s bubnovým kotoučem [2]	34
Obr. 31 - Hydraulická brzdová soustava s ABS [7]	35
Obr. 32 - Tandemový brzdový válec [2].....	36
Obr. 33 - podtlakový posilovač [2].....	36
Obr. 34 - dvouokružová vzduchová brzdová soustava [1]	37
Obr. 35 – diskové a hvězdicové kolo [2]	39
Obr. 36 – Hlavní části pneumatiky [10]	40
Obr. 37 - Síly působící na vozidlo při brždění [3]	41
Obr. 38 - Síly a moment působící na bržděné nápravě [3]	42



Seznam tabulek

Tabulka 1 – vstupní parametry vozu.....	45
Tabulka 2 - požadavky dle směrnice.....	45
Tabulka 3 – zvolené součásti	47



Seznam příloh

Příloha č.1 – Bakalářská práce ve formátu .PDF.....DVD

Příloha č.1 – Tabulkový výpočtový program ve formátu .XLS.....DVD