



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PODVOZKOVÉ SYSTÉMY VOJENSKÝCH VOZIDEL

SUSPENSION SYSTEMS OF MILITARY VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Jirout

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Blaták, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Petr Jirout
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Ondřej Blaťák, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Podvozkové systémy vojenských vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vojenská vozidla kladou vysoké nároky na jednotlivé podvozkové komponenty. V konstrukci podvozků vojenských vozidel se často používají i méně tradiční systémy odpružení a tlumení. U vozidlové techniky je však třeba najít kompromis mezi špičkovou technologií a maximální spolehlivostí a jednoduchou údržbou. Toto beze zbytku platí i pro vojenská vozidla.

Cíle bakalářské práce:

Rozdělit vojenská vozidla do vhodných kategorií. Pro jednotlivé kategorie charakterizovat typy zavěšení.

Pro vytvořené kategorie vozidel charakterizovat systémy odpružení a tlumení.

Zmapovat využití elektronických systémů podvozků vojenských vozidel.

Seznam doporučené literatury:

REIMPELL, Jornsens. The Automotive Chassis. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0-7506-5054-0.

LEEMING, David John a HARTLEY, Reg. Heavy Vehicle Technology. 2nd edition. Leckhampton: Stanley Thomas, 1989. 260 s. ISBN 07-487-0275-X.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá systémy odpružení a tlumení vojenských vozidel. Rozebírá používané druhy systémů odpružení a tlumení, jejich výhody, nevýhody, a ukazuje příklady konstrukčních řešení na vojenských vozidlech. Dále ukazuje možnost využití elektronických systémů podvozků vojenských vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zavěšení, odpružení, tlumení, vojenské vozidlo, podvozek, adaptivní podvozek, elektromagnetické rekuperativní tlumiče, hydropneumatické odpružení, kolová vozidla, pásová vozidla

ABSTRACT

This bachelor thesis discusses different systems of suspension, springing and damping of military vehicles. It also deals with commonly used systems of springing and damping, its advantages and disadvantages and shows practical examples of constructional solutions of such systems in vehicles used by the military. The thesis debates the use of electronical systems of suspension for military vehicles.

KEYWORDS

Suspension, springing, damping, military vehicle, chassis, adaptive suspension, electromagnetic recuperative shock absorbers, hydropneumatic suspension, wheeled vehicles, tracked vehicles

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jirout, P. *Podvozkové systémy vojenských vozidel*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 30 s. Vedoucí bakalářské práce: Ondřej Blaťák.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Blatňáka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2021

.....

Petr Jirout



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Ondřeji Blatňákovi, Ph. D., za odborné vedení této práce a jeho cenné rady.

OBSAH

Úvod	10
1 Zavěšení	11
1.1 Závislé zavěšení	11
1.2 Nezávislé zavěšení	12
1.2.1 Kyvadlové zavěšení	12
1.2.2 Lichoběžníkové zavěšení	13
1.2.3 Zavěšení McPherson	14
2 Odpružení	15
2.1 Listové pružiny	15
2.2 Vinuté pružiny	17
2.3 Zkrutné pružiny	17
2.4 Pryžové a polyuretanové pružiny	18
2.5 Vzduchové odpružení	18
2.6 Hydropneumatické odpružení	19
3 Tlumení	21
3.1 Dvouplášťový teleskopický tlumič	21
3.2 Jednoplášťový teleskopický tlumič	21
4 Druhy vojenských vozidel	23
4.1 Kolová vozidla	23
4.1.1 Příklady konstrukčních řešení podvozkových systémů kolových vozidel využívaných Armádou ČR	23
4.2 Pásová vozidla	24
4.2.1 Celkové uspořádání podvozků pásových vozidel	24
5 Elektronické systémy	26
5.1 Elektronicky řízené hydropneumatické tlumiče	26
5.2 Elektromagnetické rekuperativní tlumiče	26
Závěr	28
Použité informační zdroje	29

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je rozdělit vojenská vozidla do vhodných kategorií a pro jednotlivé kategorie charakterizovat typy zavěšení, systémy odpružení a tlumení. Dále je cílem rovněž zmapovat využití elektronických systémů podvozků vojenských vozidel.

Prvně jsou v práci zmapována technická a konstrukční řešení různých typů zavěšení, odpružení a tlumení, která mohou vojenská vozidla využívat. Čtenář se seznámí s hlavními principy řešení jednotlivých zavěšení a získá přehled volně dostupných informací o využívaných typech odpružení a tlumení. Je zde podrobně popsán princip odpružení a tlumení v závislosti na jejich konstrukčním provedení. Současně se práce zabývá výhodami a nevýhodami jednotlivých konstrukčních řešení.

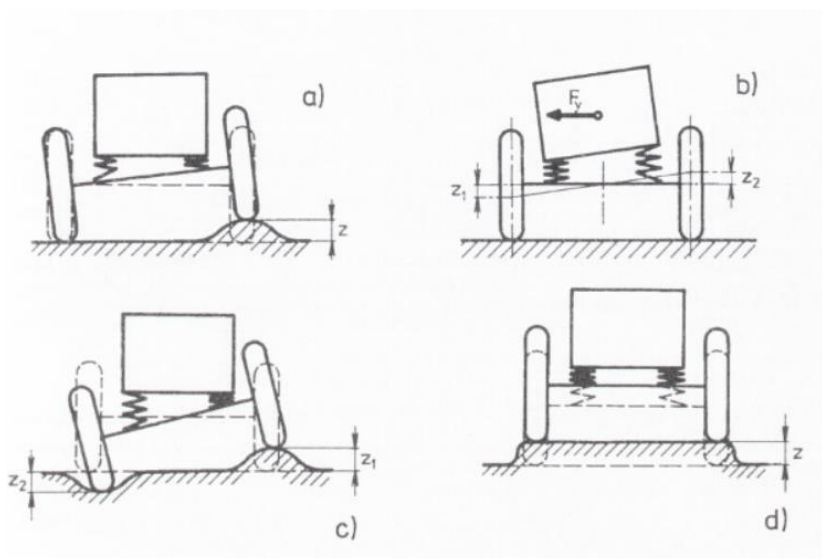
Vojenská vozidla jsou rozdělena do dvou zvláštních kategorií dle české legislativy. Pro tyto kategorie jsou pak charakterizovány využívané typy zavěšení, odpružení a tlumení. Je zde vysvětleno i využití elektronických systémů podvozků u vojenských vozidel.

1 ZAVĚŠENÍ

Pojmem „zavěšení kola“ rozumíme způsob připojení kola k rámu nebo karoserii. Často tento pojem bývá zaměňován s pojmem náprava, to však není přesné označení. Mluvíme-li o nápravě, myslíme tím celek skládající se ze zavěšení, uložení a odpružení kola, brzdného, řídicího nebo hnacího ústrojí. Zavěšení kola umožňuje jeho svislý relativní pohyb vůči rámu nebo karoserii, který je potřebný k odpružení. Zavěšení zároveň zajišťuje vedení kola neboli zabráňuje v bočním posuvu a naklápění kola. Zavěšení dělíme na dva typy - závislé a nezávislé. [1]

1.1 ZÁVISLÉ ZAVĚŠENÍ

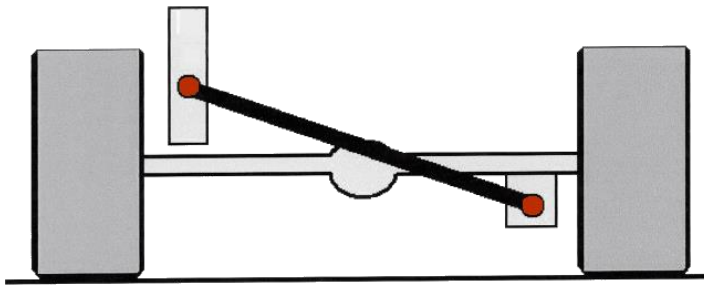
Závislé zavěšení je nejstarším, přesto stále používaným způsobem zavěšení. U tohoto typu zavěšení jsou kola uložena na nápravici (nosník s plným průřezem) nebo na mostu nápravy (dutý nosník, obvykle s uvnitř uloženým hnacím hřídelem). Velkou nevýhodou závislého zavěšení je, že poloha kol zůstává při všech pohybech nápravy navzájem stejná (viz Obr. 1)



Obr. 1 Možnosti pružení tuhé nápravy vzhledem ke karoserii
a) jednostranné, b) protiběžné při zatáčení vlivem odstředivé síly, c) protiběžné, d) stejnoběžné [1]

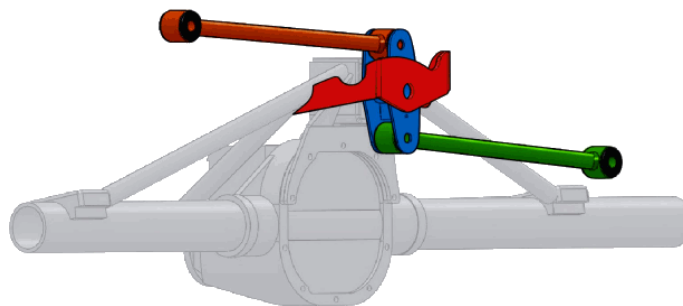
Tento systém se obvykle skládá z více vazeb, které jej propojují s karoserií nebo rámem vozidla. Pokud je náprava osazena vinutými pružinami, které samostatně nedokážou vést nápravu v bočním a podélném směru, je potřeba zajistit jiné vedení. K tomu slouží např. Wattův přímovod nebo Panhardova tyč. Zavěšení tuhé nápravy pomocí listových pružin je nejstarším způsobem zavěšení, přičemž toto zavěšení plní současně funkci odpružení, tlumení a vedení nápravy. U většiny dnešních náprav jsou tyto úlohy plněny jednotlivými komponenty. Pro zmenšení ohybového namáhání listových pružin bývá toto uložení doplněno o podélné a příčné vzpěry. [1][2]

Panhardská tyč slouží k vedení nápravy v příčném směru a přenáší boční síly. Náprava je v podélném směru vedena podélními rameny, které přenáší podélné síly. Panhardská tyč je upevněna otočně, jedním koncem na nápravu a druhým ke karoserii. Nevýhodou použití Panhardské tyče je vznik bočního posuvu při propružení. [1]



Obr. 2 Panhardská tyč [5]

Wattův přímovod je tříčlenný mechanismus, který se skládá ze dvou podélných tyčí, jež jsou obě otočně připevněny ke karoserii v různých výškách. Každá z tyčí je na druhém konci otočně připojena k vahadlu, které je spojeno s nápravou. Výhodou Wattova přímovodu je, že při propružení nedochází k bočnímu posuvu celé nápravy.[5][1]



Obr. 3 Wattův přímovod [5]

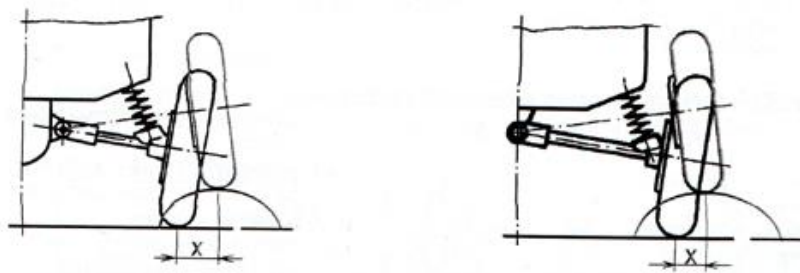
1.2 NEZÁVISLÉ ZAVĚŠENÍ

Nezávislé zavěšení kol je takové, kdy na sebe pohyby kol nejsou nijak vázány. U poháněných náprav získáme použitím tohoto typu zavěšení nižší hmotnost neodpružených částí, protože pohon nápravy (rozvodovka a diferenciál) jsou připevněny ke karoserii. Výhodou tohoto zavěšení je, že pohyby kol na sobě nejsou vzájemně závislé.[1][2] Nezávislé zavěšení existuje v různých provedeních.

1.2.1 KYVADLOVÉ ZAVĚŠENÍ

Kyvadlová náprava je druh nezávislého zavěšení kola. Jde o situaci, kdy je kolo upevněno na jednom příčném nebo šikmém rameni. Tento druh nápravy má dvě varianty provedení – zkrácenou a nezkrácenou.[2]

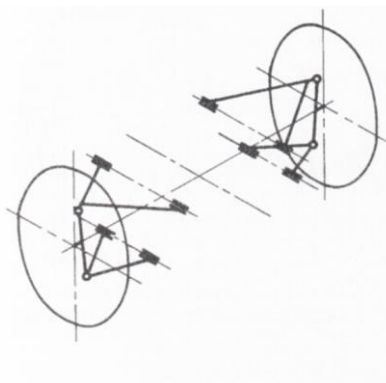
Osa kmitání zkrácené kyvadlové nápravy je umístěna mimo podélnou rovinu souměrnosti, při průjezdu nerovností tak vzniká velký příčný posuv kola a velký gyroskopický moment. U nezkrácené nápravy je osa kmitání v podélné rovině souměrnosti a při průjezdu nerovností tedy dochází k menšímu příčnému posuvu kola než u nápravy zkrácené, gyroskopický moment je rovněž menší.[2]



Obr. 4 Kyvadlové zavěšení [2]

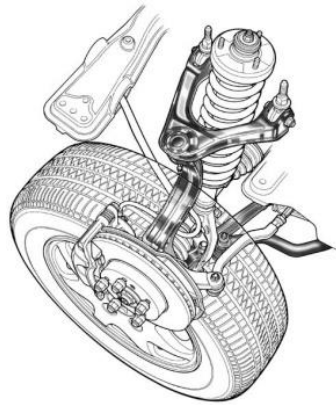
1.2.2 LICHOBĚŽNÍKOVÉ ZAVĚŠENÍ

Lichoběžníkové zavěšení patří do skupiny čtyřúhelníkových výkyvných zavěšení. Obvykle je tvořeno dvěma nad sebou umístěnými příčnými rameny ve tvaru trojúhelníku. Při pohledu zepředu ramena společně s těhlicí vytváří tvar lichoběžníku, přičemž horní rameno bývá obvykle kratší. [2][1]



Obr. 5 Schéma lichoběžníkového zavěšení [1]

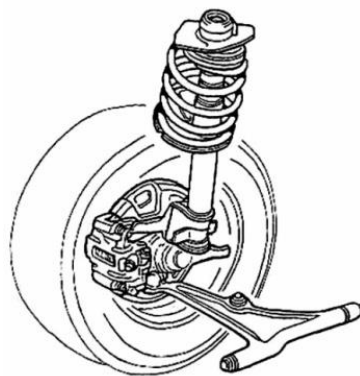
Předchůdcem lichoběžníkové nápravy byla náprava rovnoběžníková. U tohoto druhu nápravy jsou ramena stejně dlouhá, což má za následek vznik většího příčného posuvu kola při průjezdu nerovností. Z toho důvodu se upřednostňuje varianta lichoběžníková, kde při průjezdu nerovností vzniká malý příčný posuv kola a malý gyroskopický moment. [2] Zároveň při propružení kola dochází ke změně odklonu kola. Tento fenomén je možné minimalizovat vhodně zvolenou geometrií zavěšení, tím je zajištěno, že okamžitý střed klopení je co nejdále od kola. Pod pojmem okamžitý střed klopení rozumíme zdánlivý bod, který je pevně spojen s karoserií, kolem něhož se kolo při pružení otáčí.[1]



Obr. 6 Lichoběžníkové zavěšení [14]

1.2.3 ZAVĚŠENÍ MCPHERSON

Zavěšení McPherson vychází z koncepce lichoběžníkovité nápravy. Horní rameno je zde však nahrazeno posuvným vedením. Konstrukce zahrnuje vertikální vzpěru složenou z vinuté pružiny a teleskopického tlumiče. Tlumič jako svislá osa je zavěšena v horním závěsu kola, který je otočný. Jediným požadavkem k využití uvedeného systému je samonosná karoserie. Tento typ nezávislého zavěšení se používá převážně pro přední nápravy. McPherson zavěšení má lehkou konstrukci s malým počtem dílů, která umožňuje zvýšenou stabilitu vozidla. Zavěšení McPherson kombinuje funkci odpružení a tlumení dohromady. [1][12]



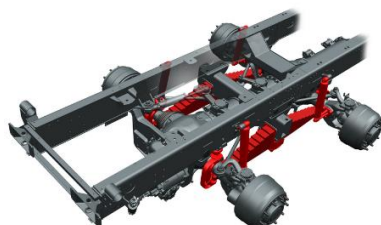
Obr. 7 Zavěšení McPherson [13]

2 ODPRUŽENÍ

Odpružení je zařízení zmenšující přenos kmitavých pohybů náprav vozidla, vznikajících při jízdě vlivem nerovnosti povrchu, na jeho podvozkové části a karoserii. Přeměňuje krátké, prudké a tvrdé rázy a otřesy na měkčí, volnější výkyvy a tím chrání posádku, náklad i vozidlo samotné před škodlivými vlivy otřesů a rázů. Zároveň zmenšuje namáhání rámu a karoserie při jízdě nerovnostmi. Odpružení také zvyšuje životnost některých dílů podvozku a zajišťuje stálý kontakt pneumatik s vozovkou i při přejíždění nerovností, čímž je zajištěn přenos obvodových sil (hnacích a brzdících) a je lépe využita adhezivní síla a výkon motoru. U řídicích kol by ztráta styku pneumatiky s vozovkou měla nepříznivý vliv na říditelnost vozidla. Odpružením vozidla se má primárně dosáhnout maximálního komfortu a snížení zatížení kol, zároveň hraje důležitou roli v ovladatelnosti vozidla. [1][2][3][4]

2.1 LISTOVÉ PRUŽINY

Listové pružiny jsou tvořeny pásy z pružinové oceli nazývané listy. Obvykle jsou listové pružiny tvořeny několika listy, které jsou spojeny třmeny. Uloženy bývají rovnoběžně s podélnou délkou vozidla, k rámu nebo karoserii jsou uchyceny otočně, jedna strana uchycení musí být upravena tak, aby dovolila vymezení délky vzniklé vlivem deformace při pružení. Obvykle je využíváno uchycení pomocí kyvného závěsu na jedné straně, na straně druhé je pak pružina uchycena posuvně, aby mohlo dojít k vymezení délkových rozdílů vznikajících při propružení.[1]

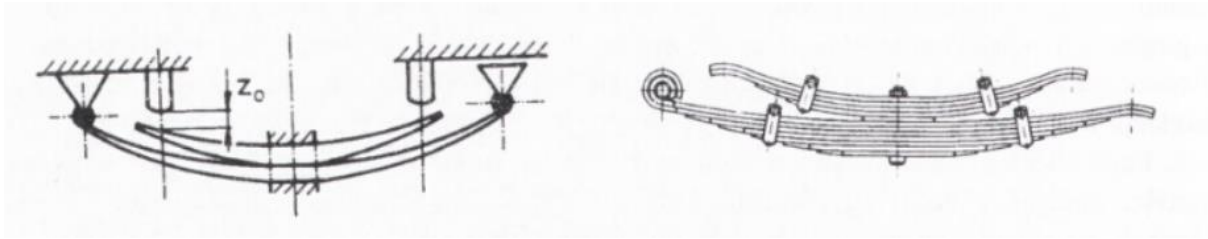


Obr. 8 Využití listových pružin [9]

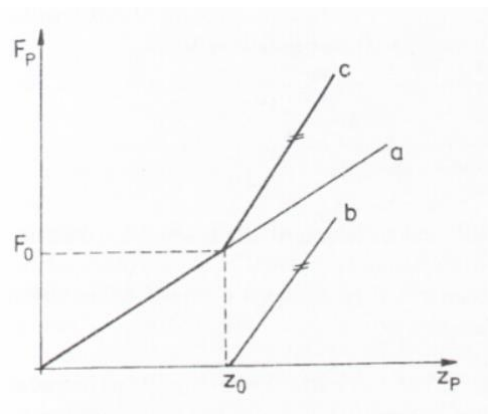
Ideální konstrukce listové pružiny je formou nosníku stálé pevnosti, tzn. že ve všech příčných řezech je pružina namáhána stejně. Vlivem deformace listových pružin vzniká mezi jednotlivými listy tření. Toto tření zvyšuje tuhost pružící soustavy a při vyšších hodnotách tohoto tření může docházet k tlumení v pružící soustavě. Protože se jedná o suché tření, může se stát vlivem nečistot nekontrolovatelným. Snahou je takové tření odstranit, popřípadě co nejvíce omezit. Toho lze docílit mazáním nebo plastovými vložkami mezi listy. [1][2]

Pokud je třeba, zejména u nákladních automobilů, zamezit, aby při plném naložení nebylo odpružení příliš měkké, popřípadě při jízdě bez zatížení příliš tvrdé, využívá se progresivního odpružení. Progresivní odpružení může být stupňovité (Obr. 9) nebo plynulé (Obr. 11).

Stupňovitého progresivního odpružení u listových pružin můžeme dosáhnout použitím přidavné pružiny. Pružící charakteristika (Obr. 10) se z přímkového tvaru změnila na tvar lomené čáry, přičemž ke změně směrnice dojde při dosažení určité síly zatížení a takového průhybu, aby se přidavná pružina opřela o podpěry. [1]



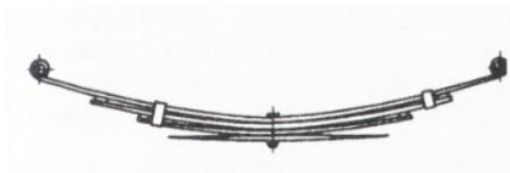
Obr. 9 Schéma a konstrukční provedení listové pružiny s přidavnou pružinou [1]



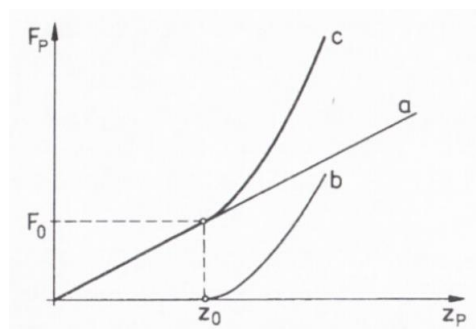
Obr. 10 Deformační charakteristika listové pružiny s přidavnou listovou pružinou

- a – charakteristika hlavní pružiny
- b – charakteristika přidavné pružiny
- c – výsledná charakteristika [1]

Plynulého progresivního odpružení lze u listových pružin dosáhnout použitím přidavného listu. Jedná se o krátký nezakřivený list přidaný zespodu pružiny. Tento list není při nezatíženém provozu vozidla v činnosti. Při zatěžování pružiny se tento list postupně dostane svojí plochou do kontaktu s ostatními listy a zvýší tuhost pružiny.[1]



Obr. 11 Listová pružina s přidavným listem [1]



Obr. 12 Deformační charakteristika pružiny s přidavným listem

- a – charakteristika hlavní pružiny

b – charakteristika přidavného listu
c – výsledná charakteristika pružiny [1]

Listové pružiny se obvykle využívají na tuhých nápravách nákladních automobilů, v ojedinělých případech u zadních náprav osobních automobilů. Můžeme je nalézt také na nápravách přívěsů.[1]

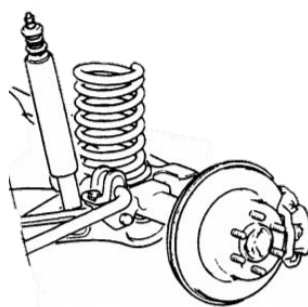
2.2 VINUTÉ PRUŽINY

Vinuté pružiny jsou z konstrukčního pohledu ve své podstatě drátem zatočeným z pružinové oceli do tvaru šroubovice. Závěrné závity pružin bývají upraveny tak, aby je bylo možné usadit do opěrných bodů na karoserii a nápravě (zavěšení). Opěrné plochy mohou být rovné, v tomto případě jsou závěrné závity pružin broušeny do roviny kolmé na osu pružiny, nicméně ekonomicky výhodnějším způsobem uložení je v opěrných plochách vytvořit prolis pro závěrné závity. Z důvodu snížení hluku bývají opěrné plochy opatřeny pryžovými podložkami. Stoupaní vinutých pružin bývá navrženo tak, aby při maximálním propružení byla zajištěna bezpečná vůle mezi jednotlivými závity.[1]

Vinuté pružiny se nejčastěji používají u osobních automobilů v kombinaci s lichoběžníkovým zavěšením nebo zavěšením typu McPherson, lze je ale použít i jako pružící prvek u jakéhokoliv typu nápravy. Mezi jejich výhody patří malá hmotnost, bezúdržbovost, jednoduché uložení nevyžadující klouby a absence suchého tření. Nevýhodou je, že nemohou vést nápravu a nedochází v nich k vnitřnímu tlumení, tudíž musí být doplněny tlumičem.[1]

Dosažení progresivity vinutých pružin můžeme zajistit několika způsoby:

- proměnlivým stoupaním závitů pružiny,
- proměnlivým průřezem drátu válcové pružiny,
- proměnným průměrem pružiny (tvar kuželový nebo soudečkový),
- doplněním pružiny pryžovým blokem.[1]



Obr. 13 Využití vinutých pružin [4]

2.3 ZKRUTNÉ PRUŽINY

Podstata pérování zkrutnými pružinami (torzními tyčemi) je v podélné deformaci tyče namáhané na krut. Vertikální pohyby kola jsou přeneseny na rotační pohyby tyče pomocí ramene spojeného s kolem. Zkrutné tyče mají nejčastěji kruhový průřez, na koncích jsou hlavice o větším průměru, než je průřez tyče. Hlavice jsou opatřeny drážkovaním, popřípadě čtvercovým, obdélníkovým nebo šestiúhelníkovým průřezem. Pomocí hlavice jsou zkrutné tyče na jedné straně spojeny s kolem pomocí kyvného ramene, na straně druhé jsou vetknuty

do rámu nebo karoserie. Přejechod mezi tyčí a hlavicí bývá velmi pozvolný, povrch tyče bývá jemně broušen nebo kuličkován, to vše pro dosažení vyšší únavové pevnosti. Povrch tyče je chráněn plastovým pouzdrům nebo laminátovou vrstvou. Činná část torzní tyče se pro zajištění požadované tuhosti navrhuje v maximální možné délce. [2] [11]

Namáhání na ohyb je u zkrutných pružin nežádoucí. Aby nedocházelo ke kombinovanému namáhání, jsou tyče uloženy do vodících ložisek. Při montáži jsou zkrutné pružiny předepjaty zatížením odpovídajícím statickému zatížení stojícího vozidla. [2]

Výhodou zkrutných pružin je malá hmotnost, nízké nároky na prostor a údržbu. Často se používají u nákladních a speciálních vozidel.



Obr. 14 Využití zkrutných pružin [9]

2.4 PRYŽOVÉ A POLYURETANOVÉ PRUŽINY

Pryžové a polyuretanové pružiny se jako hlavní pružící prvek nepoužívají. Jejich uplatnění nalezneme u téměř každého vozidla, obvykle ve funkci přidavných progresivních dorazových pružin (přídavného pružícího prvku). Dále se také využívají v podobě silentbloků k uložení motoru, karoserie a jiných dílů.[2]

Výhodami použití pryže jako pružícího materiálu jsou nízká cena, vysoká životnost, žádná údržba a vysoké vlastní tlumení. Avšak jejich použití přináší i nevýhodu, kterou je citlivost na teplotu, počasí a chemikálie. Pryžové elementy časem ztrácí statickou únosnost, rovněž se mění absorpce hluku a mez únavy.[1]

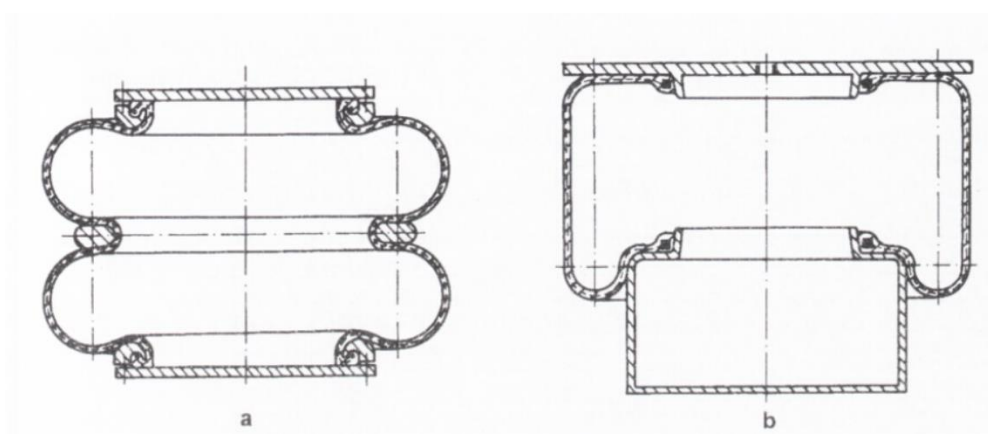
2.5 VZDUCHOVÉ ODPRUŽENÍ

Ve vzduchových (pneumatických) systémech odpružení jsou klasické vinuté pružiny nahrazeny vzduchovými měchy. Tlak v měchách se mění v závislosti na zatížení pomocí regulačního ventilu, který reaguje na změnu světlé výšky vozidla a doplňuje vzduch v měchách. Výhody těchto systémů je, že pružící vlastnosti nezávisí na zatížení, změna světlé výšky je jednoduchá a umožňuje maximální svislý relativní pohyb vůči karoserii.[1][2]

Běžně se využívají dva typy měchů – vlnovce nebo vaky.

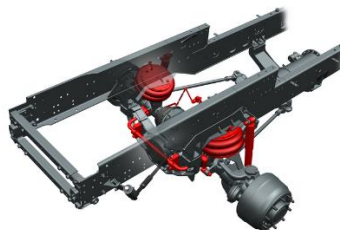
Vlnovcové pružiny jsou tvořeny dvěma až čtyřmi vlnovci. Vlnovce jsou vyrobeny z pryžového materiálu zpevněného kordovými vložkami, odolného proti proražení. Aby nedocházelo k deformaci celého vlnovce, je zpevněn oddělovacími kroužky, které nedovolí deformaci střední části při zvýšeném tlaku. Vlnovce mají velmi vysokou životnost právě díky tomu, že stěna vlnovce se pouze ohýbá. [1][2]

Vakové pružiny jsou tvořeny pryžovým vakem, který je zesílen kordem. Při stlačení se vak pružiny odvaluje po pístu, čímž dochází ke značné deformaci. Z toho důvodu musí být vak velmi odolný a píst vhodně tvarován.[1][2]



Obr. 15 Základní typy vzduchových pružin: a) vlnovcová pružina b) vaková pružina [1]

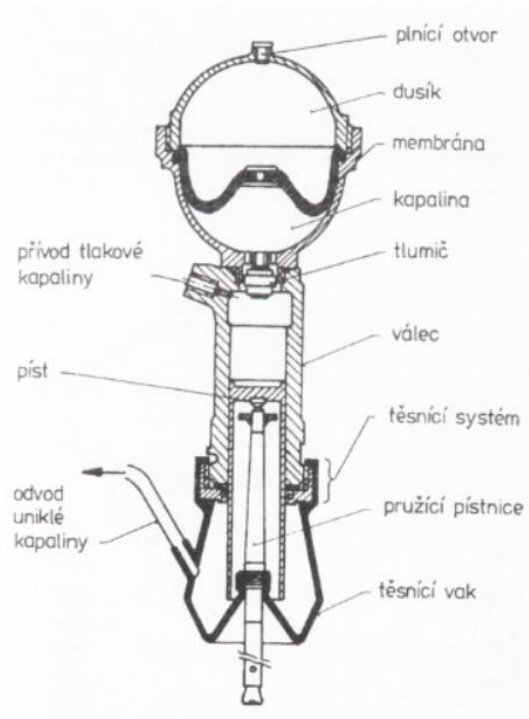
Pružící charakteristika vzduchových pružin je vždy progresivní. V ideálním případě můžeme považovat deformační charakteristiku pneumatických pružin za izotermický děj. Tuto charakteristiku nazýváme statickou, zatěžování je pomalé. Ve skutečnosti ale dochází k rychlému zatěžování, proto musíme modelovat deformační charakteristiku polytropickým dějem. [1]



Obr. 16 Využití vzduchových pružin [9]

2.6 HYDROPNEUMATICKÉ ODPRUŽENÍ

Hydropneumatická pružící jednotka kombinuje činnost pružícího a tlumícího zařízení. Toto zařízení se skládá z hydraulického válce, v němž se svisle pohybuje píst. K válci je z vrchu připojena kulovitá skříň, jež je rozdělena pryžovou membránou. V horní polokouli se nachází plyn, obvykle dusík, kdežto v dolní polokouli se nachází hydraulická kapalina. V horní části válce se pak nachází přípojka pro přívod hydraulické kapaliny a regulaci světlé výšky vozidla. Spodní část jednotky je opatřena pryžovou manžetou, která shromažďuje kapalinu uniklou z válce a zároveň chrání pružící jednotku před nečistotami. [1][2] Při propružení kola dochází současně k pohybu pístu, který své pohyby díky hydraulické kapalině přenáší až na membránu, která stlačuje plyn a tím dochází k samotnému pružení. Změnu objemu plynu při pružení je možné při určitém zjednodušení považovat za polytropický děj. [11]



Obr. 17 Hydropneumatická pružící jednotka [1]

Hydropneumatická pružící jednotka zastává funkci tlumiče díky dvojčinnému vstupnímu ventilu umístěnému mezi válcem a spodní polokoulí. Dvojčinný ventil se skládá ze samotného tělesa ventilu s dvěma otvory, na něž jsou připevněny pružné kotouče zakrývající otvory v tělese ventilu. Spojovací díl má otvor pro stálý průtok kapaliny. Při pohybu pístu směrem nahoru nadzvedává tlačena kapalina pružné kotouče na vrchu ventilu. Při pohybu pístu směrem dolů je otevírán sací ventil, jehož kotouče mají větší tuhost než kotouče horní.[1]

Hydropneumatické jednotky na jedné nápravě jsou vzájemně propojeny, tím je zajištěna příčná stabilita vozidla. Některá vozidla jsou opatřena třetí jednotkou, která je společná pro celou nápravu. Tato jednotka slouží k nastavení režimu jízdy. Pro vytvoření podélné stability vozidla bývají hydropneumatické jednotky propojeny na obou stranách vozidla.[2]

Hydropneumatické pérování má vedle svých základních funkcí i funkce přídatné:

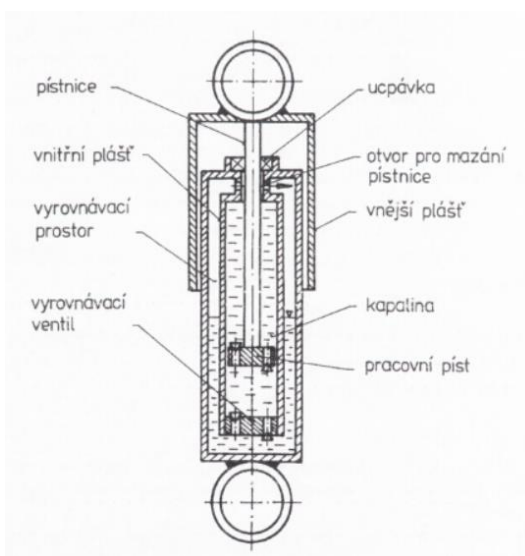
- změna světlé výšky vozidla – je realizována změnou množství kapaliny v hydraulické části hydropneumatické jednotky, a to ve všech jednotkách stejně,
- změna náklonu vozidla – je opět realizována změnou množství kapaliny v hydraulické části hydropneumatické jednotky, ale s rozdílnou hodnotou v jednotlivých jednotkách,
- změna tuhosti pružiny – je realizována změnou množství plynu v horní polokouli,
- stabilizace – komfort posádky. [11]

3 TLUMENÍ

Tlumiče jsou součástí pružící soustavy vozidla a jejich úkolem je přeměnit mechanickou energii vznikající pohybem kol na teplo, které nejčastěji vzniká vnitřním třením kapaliny v tlumiči.[2] Tlumiče odpružení zastávají v pružící soustavě vozidla dvě základní úlohy, a to sice zajištění bezpečnosti jízdy a jízdního pohodlí. Tyto úlohy jsou částečně v rozporu, neboť tuhé nastavení tlumičů brání kolům ztrácet kontakt s vozovkou, zatímco měkké nastavení snižuje vibrace a nepříjemné účinky působící na posádku. Potřebná síla tlumení je dále závislá na jízdních a nákladových podmínkách. [4]

3.1 DVOUPLÁŠŤOVÝ TELESKOPICKÝ TLUMIČ

Princip činnosti teleskopického tlumiče spočívá v přepouštění hydraulické kapaliny skrze průtokový ventil, který je umístěn na pístnici. Pohybem pístu je kapalina protlačována otvory průtokových ventilů. Příčinou vzniku tlumící síly je hydraulický odpor, který vzniká při pohybu pístku kapalinou, respektive průtokem kapaliny skrze ventily. Dále je tlumič opatřen tzv. vyrovnávacím prostorem, který se nachází mezi pracovním a vnějším válcem tlumiče. Pracovní prostor je s vyrovnávacím prostorem spojen pomocí vyrovnávacího ventilu. Vyrovnávací prostor slouží k vyrovnání rozdílu objemu kapaliny vzniklého vlivem změny teploty. Další funkcí je možnost úniku kapaliny z pracovního prostoru, která je vytlačena objemem samotné pístnice.[1]



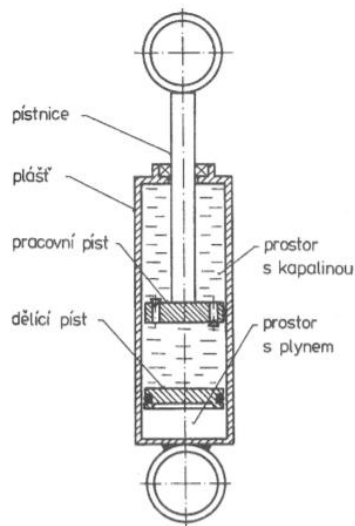
Obr. 18 Funkční schéma dvouplášťového tlumiče [1]

3.2 JEDNOPLÁŠŤOVÝ TELESKOPICKÝ TLUMIČ

Jednoplášťový tlumič také pracuje na principu hydrodynamického odporu vznikajícího při průchodu kapaliny škrťacím ventily. Při činnosti dvouplášťového tlumiče dochází při průtoku ventily k pění kapaliny a tím se jeho účinnost zhoršuje. Tento problém je řešen použitím tzv. plynokapalinového tlumiče. Tato konstrukce má místo vyrovnávacího prostoru plynový polštář, který zachycuje pracovní kapalinu a zabrání tak jejímu pění. Jednoplášťové tlumiče mají oproti dvouplášťovým určité výhody:

- větší průměr pracovního pístu při stejném vnějším průměru, nižší pracovní tlaky,
- lepší chlazení pracovního prostoru,
- lepší funkce při kmitavém pohybu s vyššími frekvencemi a nižšími amplitudami, když vnitřní přetlak zabraňuje jejímu pění,
- menší citlivost na změnu objemu při ochlazení tlumiče v klidovém stavu.

Nevýhodami jednoplášťového tlumiče jsou těsnost, životnost ucpávky pístnice a vodícího pouzdra.[1]



Obr. 19 Funkční schéma jednoplášťového tlumiče [1]

4 DRUHY VOJENSKÝCH VOZIDEL

V České republice se druhům vojenských vozidel věnuje vyhláška ministerstva obrany č. 100/2018 Sb., o technické způsobilosti a pravidelných technických prohlídkách vojenských vozidel, která stanovuje druhy a kategorie vojenských vozidel a vojenských pracovních strojů a způsob schvalování jejich technické způsobilosti. Vojenská vozidla jsou v ní dělena na vojenská bojová vozidla, vojenská zabezpečovací vozidla, vojenská zvláštní vozidla a vojenské pracovní stroje. Dále jsou vojenská vozidla dělena na vojenská bojová vozidla, jejich strojové spodky nebo podvozky přípojných vozidel, které jsou pro tyto účely speciálně vyrobeny, vojenská zabezpečovací vozidla, která jsou vyrobena a určena k výcviku a dopravnímu zabezpečení úkolů v ozbrojených silách, vojenská zvláštní vozidla, která jsou pro tyto účely speciálně vyrobena, a vojenské pracovní stroje, které jsou určeny k provádění specifických prací a činností. Dalším členěním dle výše uvedené vyhlášky jsou vojenská vozidla rozdělena do dvou kategorií, a to sice vojenská bojová vozidla na pásovém podvozku a na podvozku kolovém. Uvedené rozčlenění je použito i pro účely této práce.

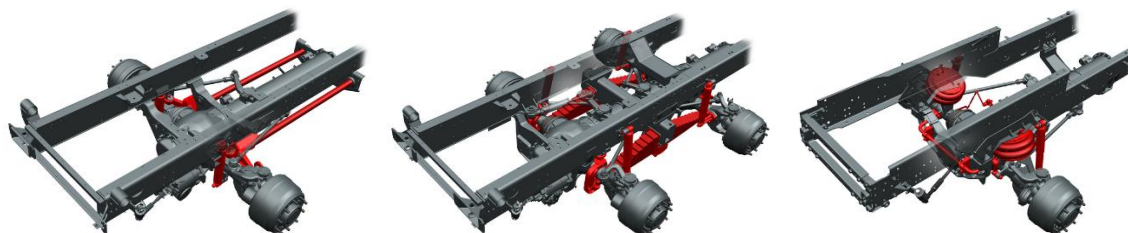
Vojensky využívané systémy a technologie vyžadují vysoké požadavky na jednoduchou údržbovost a snadnou opravitelnost. Z tohoto důvodu vydává NATO standardizační dokumenty, „*kteřé specifikují společné technické požadavky výzbroje a techniky v průběhu celého životního cyklu. Pojem výzbroj a technika může zahrnovat komplexní systémy, včetně systémů pro konzultace, velení a řízení (C3), dále zbraňové systémy, podsystémy, styková zařízení, montážní díly, jednotlivé prvky systémů, náhradní díly a spotřební materiál včetně munice, paliva, zásob.*“ [7]

4.1 KOLOVÁ VOZIDLA

Způsob využití jednotlivých podvozkových systémů se pro vojenská kolová vozidla příliš neliší od běžných kolových vozidel. Proto podvozkové systémy popsané v kapitolách 1 až 3 odpovídají systémům využívaným na vojenských kolových vozidlech.

4.1.1 PŘÍKLADY KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ PODVOZKOVÝCH SYSTÉMŮ KOLOVÝCH VOZIDEL VYUŽÍVANÝCH ARMÁDOU ČR

Tuzemský výrobce nákladních vozidel TATRA na modelech určených pro AČR obvykle využívá kyvné nápravy spolu se vzduchovým odpružením doplněným o teleskopické tlumiče. Na některých specifických modelech je na zadních nápravách využívána kombinace vzduchového odpružení společně s listovými pružinami, popřípadě jsou samostatně využívány listové pružiny, které bývají opatřeny pryžovými dorazy.[8]

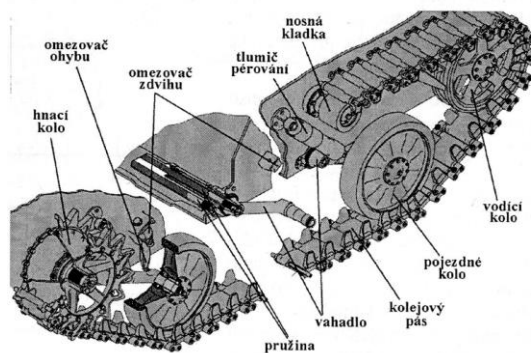


Obr. 20 Koncepce TATRA [9]

Dalším příkladem je kolový obrněný transportér PANDUR II 8X8. Toto vozidlo využívá běžné vinuté pružiny spolu s hydraulickými tlumiči. Systém zavěšení je velmi podobný zavěšení typu MCPerson, kde každé kolo je opatřeno dvěma rameny, přičemž spodní rameno je příčné a horní rameno je podélné.[10]

4.2 PÁSOVÁ VOZIDLA

Konstrukci podvozku pásových vozidel můžeme rozdělit na dvě skupiny. První skupinu tvoří závěsné ústrojí, které je tvořeno pružinami, tlumiči, vahadly, omezovači zdvihu vahadel a omezovačem ohybu vahadel. Účelem závěsného ústrojí je přenášet hmotnost vozidla na vozovku a zabezpečit odpružení vozidla. Druhou skupinu pak tvoří pásové pohybové ústrojí, které se skládá z hnacích kol, kolejových pásů, pojezdných kol, vodících kol a napínacího ústrojí. Pásové pohybové ústrojí zabezpečuje styk pásu s vozovkou a přenos hnacích, brzdových a příčných sil. [11]



Obr. 21 Hlavní části pásového podvozku [11]

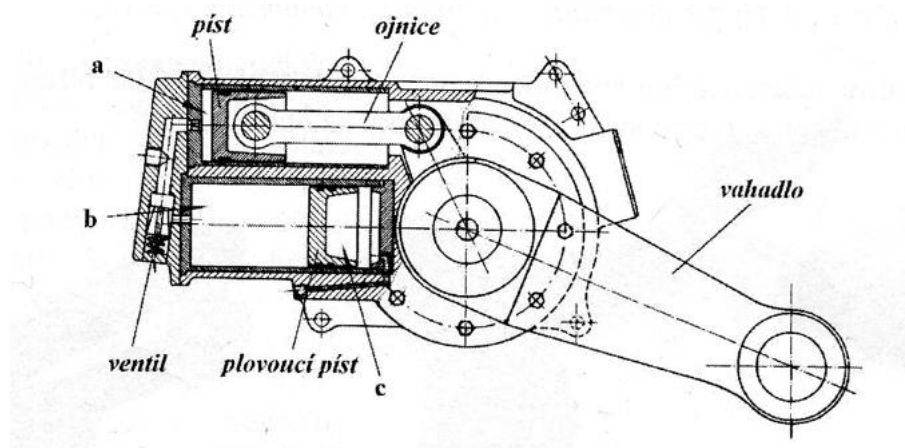
4.2.1 CELKOVÉ USPOŘADÁNÍ PODVOZKŮ PÁSOVÝCH VOZIDEL

Na začátku druhé poloviny minulého století vzniklo tzv. standartní řešení celkového uspořádání podvozku bojových pásových vozidel a využívá se dodnes. Toto řešení spočívá v umístění hnacího a vodícího kola nad úroveň terénu. Hnací kolo může být umístěno vzadu i vpředu v závislosti na typu vozidla (tank, bojové vozidlo pěchoty, samohybné dělo apod.). Dále je preferováno užití co největšího počtu pojezdných kol o velkém průměru. Využívá se individuálního závěsu opatřeného torzními tyčemi, které zastávají funkci pružícího prvku. U modernějších vozidel bývají pružící systémy doplněny o hydropneumatické pružící jednotky, popřípadě tyto jednotky zcela nahrazují již zmíněné torzní tyče.[11]

V konstrukci bojových pásových vozidel se v současné době listové a vinuté pružiny nevyužívají. Nejčastěji využívaným pružícím prvkem jsou zkrutné pružiny v podobě torzních tyčí. Dále se na pásových bojových vozidlech můžeme setkat s využitím pryžových pružin, které se zde využívají při konstrukci omezovačů zdvihu vahadel.[11]

Hlavy torzních tyčí bývají opatřeny jemným drážkováním. Počet drážek na jednotlivých hlavách by měl být rozdílný, přičemž součet počtu drážek obou hlav by měl ve výsledku být lichý. Toto konstrukční řešení bývá v praxi využíváno pro přesné nastavení požadovaných parametrů jízdy vozidla. Nejčastějším konstrukčním řešením je, že torzní tyč prochází celou šířkou vozidla, přičemž na jedné straně je spojena s vahadlem a na straně druhé je uchycena do korby. Při použití tohoto řešení musí být pojezdová kola na jednotlivých stranách posunuta oproti sobě v podélném směru. [11]

Hydropneumatické jednotky na pásových vozidlech jsou umístěny po boku korby, zpravidla na vnější straně, proto musí být navrženy tak, aby odolaly nepřízní vnějšího prostředí a činnosti nepřítele. Dále také musí splňovat požadavky minimálního zastavěného prostoru. Obr. 22 je příkladem vhodného konstrukčního řešení hydropneumatické jednotky. Pracovní válec je rozdělen na dvě části umístěné nad sebou, aby došlo k úspoře prostoru a jednotka mohla být umístěna na boku korby mezi dvěma sousedními pojezdovými koly. [11]



Obr. 22 Hydropneumatická jednotka pásového vozidla [11]
a, b – prostor s hydraulickou kapalinou
c – prostor s plynem

5 ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY

Elektronické systémy vozidel zahrnují pojem aktivní podvozek. Jedná se o takový typ podvozku, kde je tlumení a odpružení řízeno elektronickým systémem. Dle dostupných zdrojů se u podvozků vojenských vozidel využívají dva typy elektronických systémů – elektronicky řízené hydropneumatické tlumiče a elektromagnetické rekuperativní tlumiče.

5.1 ELEKTRONICKY ŘÍZENÉ HYDROPNEUMATICKÉ TLUMIČE

Elektronicky řízené hydropneumatické tlumiče jsou řízeny pomocí hydraulického čerpadla, které upravuje množství hydraulické kapaliny ve válci. Toto konstrukční řešení patří do skupiny tzv. aktivního podvozku. Účelem aktivního podvozku je:

- ovlivnit parametry jízdy vozidla,
- ovlivnit stabilitu vozidla (např. při průjezdu zatáčkou nebo při jízdě v terénu) a tím zvýšit ovladatelnost vozidla a přispět k bezpečnosti,
- měnit světlou výšku vozidla pro přizpůsobení jízdy v terénu nebo na vozovce,
- stabilizovat polohu karoserie při střelbě a jiných bojových činnostech,
- zabezpečit možnost eliminace pérování – zablokování podvozku. [2]

Při vhodném použití senzorů spolu s řídicí jednotkou je možné využít zmíněné výhody aktivního podvozku během jízdy (např. přesun vozidla z vozovky do terénu).

5.2 ELEKTROMAGNETICKÉ REKUPERATIVNÍ TLUMIČE

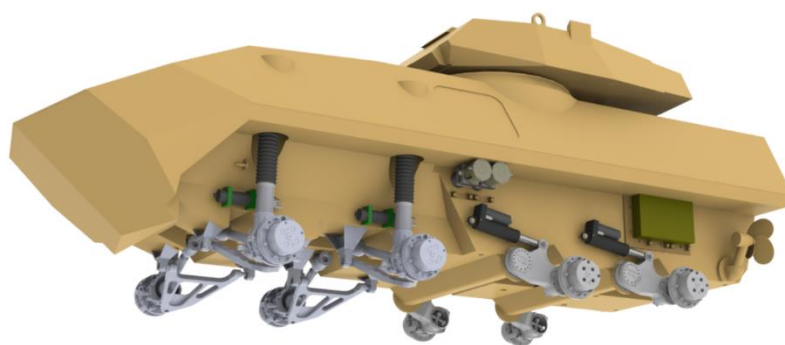
Technologie elektromagnetických rekuperativních tlumičů patří do skupiny aktivních podvozkových technologií. Tato technologie se liší od běžného odpružení tím, že pohybová energie kola, která je u běžných tlumičů přeměněna na teplo, je přeměňována na elektrickou energii. Tuto energii lze následně využít. Firma Horstman využívá tuto technologii tak, že při propružení mění mechanickou energii kola na energii elektrickou a při následném zpětném pohybu kola je kolo touto elektrickou energií poháněno.[15]

Tento systém má spoustu výhod:

- ovládání celkové síly kola – rychlý kontrolovaný pohyb odpružení kola poskytuje zvýšený výkon odpružení, čímž snižuje spotřebou paliva a zvyšuje dojezd,
- díky použití softwaru je možné nastavit tvar deformační charakteristiky pružení libovolně, systém zároveň umožňuje adaptivní ladění a seřizování, úpravy se provádí samostatně i manuálně během jízdy v závislosti na jízdních podmínkách,
- díky tomuto systému je možné spoluprací zbraňových a podvozkových systémů získat větší stabilitu při střelbě za jízdy.

V případě ztráty energie se systém vrátí do režimu pasivního odpružení, aby vozidlo mohlo pokračovat v činnosti.

Tato technologie se využívá jak u kolových, tak pásových vozidel. Jako příklad lze uvést vojenské vozidlo LAV-25 a High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle (HMMWV). [15]



Obr. 23 Podvozek LAV-25 [15]

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo obeznámit čtenáře s rozdělením vojenských vozidel do vhodných kategorií a pro ty následně charakterizovat druhy zavěšení, odpružení a tlumení, které tyto vozidla využívají. Záměrem autora bylo rovněž čtenáře seznámit s využitím elektronických systémů podvozků vojenských vozidel.

Pro účely této práce bylo zvoleno dělení vojenských vozidel na pásová a kolová, a to v souladu s vyhláškou ministerstva obrany č. 100/2018 Sb., která se věnuje rozdělení vojenských vozidel do několika užších kategorií a rovněž stanovuje parametry, které musí poddruhy vojenských vozidel splňovat, aby mohly dále projít procesem schvalování jejich technické způsobilosti. K těmto byly uvedeny i konkrétní příklady konstrukčních řešení, pro lepší pochopení smyslu takového dělení a demonstraci konkrétního způsobu využití obsahu teoretické části práce v praxi.

Každému z prvků (tedy zavěšení, odpružení a tlumení) byla věnována jedna hlavní kapitola, kde byla podrobněji osvětlena funkce a použití daného prvku v rámci podvozků vojenských vozidel, přičemž zohledněna byla i rozličná rozdělení a poddruhy takových prvků. V práci byly uvedeny i výhody a nevýhody jmenovaných typů prvků. Z tohoto popisu pak čerpaly i kapitoly o konkrétním dělení vozidel, což čtenáři umožnilo se nejprve seznámit se smyslem a funkcí zavěšení, odpružení a tlumení a poté plynule navázat praktickými příklady využití u vojenských vozidel.

K dosažení kýženého výsledku bylo čerpáno ze zdrojů jak bibliografických, tak internetových. Všechny použité zdroje byly ocitovány a uvedeny v kapitole Použití informační zdroje, aby měl čtenář při zájmu o hlubší pochopení dané problematiky možnost najít prameny, ze kterých bylo čerpáno, a dále tak prohloubit své znalosti v tomto oboru.

Zajímavým rozšířením a obohacením práce k případnému užití jako práce diplomové do budoucna by mohlo být zkonstruování některého typu adaptivních systémů, např. elektromagnetického rekuperativního tlumiče, a jeho otestování v praxi s využitím dostupných prostředků a technologií. To například ve spojení s využitím takového adaptivního systému v praxi, a to nejen pro vojenská vozidla, ale i pro účely běžných motorových vozidel.

Adaptivní podvozkové technologie jsou pravděpodobnou budoucností pro vojenská vozidla, především protože armáda obvykle operuje v nepříznivých podmínkách, případně v podmínkách se špatnou infrastrukturou. Avšak velkou otázkou adaptivních technologií je jejich spolehlivost, proto se i nadále setkáváme s tzv. konvenčními konstrukčními řešeními.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přepracované rozšířené vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] BRAUN, Pavel, Miroslav VALA, Otakar PETŘÍČEK a David VALIŠ. *Bojová a speciální vozidla - I: Základy konstrukce kolových vozidel*. Brno: Univerzita obrany, 2007. ISBN 987-80-7231271-9.
- [3] VALA, Miroslav a Pavel BRAUN. *Vojenská kolová vozidla: Díl II. Teorie Pohybu vozidel*. Brno: Vojenská akademie, 1998.
- [4] REIMPELL, Jornsens, Helmut STOLL a Jurgen W. BETZLER. *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. 2. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 2001. ISBN 0 7680 06570.
- [5] Podvozek osobního automobilu: PODVOZEK - NÁPRAVY. *Auta 5P - týdně aktualizovaná encyklopedie osobních automobilů* [online]. [cit. 2021-5-13]. ISSN 1801-2035 © Auta5P 2000-2021. Dostupné z: <https://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek1.php>
- [6] Vyhláška č. 100/2018 Sb., o technické způsobilosti a pravidelných technických prohlídkách vojenských vozidel. In: *Sbírka zákonů*. 08.06.2018. ISSN 1211-1244.
- [7] Standardizace v NATO. ÚŘAD PRO OBRANNOU STANDARDIZACI, KATALOGIZACI A STÁTNÍ OVĚŘOVÁNÍ JAKOSTI: OBRANNÁ STANDARDIZACE [online]. 2014 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <http://oos.army.cz/standardizace-v-nato>
- [8] TATRA TRUCKS A.S. PERFORMANCE & DATA SHEETS: TATRA MILITARY VEHICLES [Online]. [cit. 2021-5-13] Dostupné také z: https://www.tatra.cz/underwood/download/files/tatra-military-vehicles_en.pdf
- [9] TATRA TRUCKS A.S. Tatrovácká koncepce. TATRA [online]. KOPŘIVNICE, ČESKÁ REPUBLIKA, 2014 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/tatrovacka-koncepce/>
- [10] Pandur II. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- 2021 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Pandur_II
- [11] ŽALUD, Zdeněk a Vlastimil NEUMAN. *Bojová a speciální vozidla II: Podvozky BSV*. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2014. ISBN 978-80-7231-980-0.
- [12] VOŠICKÝ, Lukáš, 2021. MacPherson: Moderní zavěšení, které ve skutečnosti pochází ze 40. let. In: *Webový magazín Temple of Speed* [online]. Praha: Brand Manufacture [cit. 2021-4-1]. Dostupné z: <https://templeofspeed.cz/macpherson-moderni-zaveseni-ktere-ve-skutecnosti-pochazi-ze-40-let/>

- [13] SAJDL, Jan. Náprava MacPherson (McPherson). Autolexikon.net [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.autolexikon.net/cs/articles/naprava-macpherson-mcpherson/>. ISSN 1804-2554.
- [14] SAJDL, Jan. Lichoběžníková náprava. Autolexikon.net [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.autolexikon.net/cs/articles/lichobeznikova-naprava/>. ISSN 1804-2554.
- [15] Horstman Active Technology. RENK GROUP. Horstman [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://horstmangroup.com/horstman-products/horstman-active-technology/>. © 2021 Horstman Defence Systems.