



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

SYSTÉMY ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ VOJENSKÝCH VOZIDEL

SPRINGING AND DAMPING SYSTEMS OF ARMY VEHICLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Kochánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Blafák, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jiří Kochánek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Blaťák, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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:

Systémy odpružení a tlumení vojenských vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vojenská vozidla kladou na systémy odpružení a tlumení často specifické požadavky, jak z hlediska jízdní bezpečnosti, tak jízdního pohodlí.

Cíle bakalářské práce:

Rozdělit vojenská vozidla tak, aby mohly být přehledně charakterizovány jejich systémy odpružení a tlumení.

Provést rozbor jednotlivých systémů odpružení a tlumení, které jsou používány u vojenských vozidel.

Koncepčně navrhnout systém odpružení a tlumení obrněného vozidla 8x8 včetně základního výpočtu důležitých charakteristik.

Seznam doporučené literatury:

MILLIKEN, William a MILLIKEN, Douglas. Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.

GILLESPIE, Thomas. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

DIXON, John. The Shock Absorber Handbook. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 432 s. ISBN 978-0-470-51020-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 25. 10. 2017

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
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 obsahuje koncepční návrh systému odpružení a tlumení obrněného vojenského vozidla s pohonem 8x8.

KLÍČOVÁ SLOVA

Odpružení, tlumení, vojenské vozidlo, podvozek

ABSTRACT

Bachelor's thesis is oriented at springing and damping systems of army vehicles. It describes commonly used systems of springing and damping, their advantages, disadvantages and shows examples of constructional solutions for army vehicles. It also contains conceptual design of springing and damping system of an armoured 8x8 army vehicle.

KEYWORDS

Springing, damping, army vehicle, suspension

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOCHÁNEK, J. *Systémy odpružení a tlumení vojenských vozidel*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 46s. Vedoucí diplomové práce Ondřej Blat'ák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Blatáka Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2018

.....

Jiří Kochánek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval své rodině a přátelům za podporu během studia na VUT.

Také bych rád poděkoval panu Ing. Ondřeji Blatákovu Ph.D za vedení mé bakalářské práce a cenné rady.

OBSAH

Stručná charakteristika problematiky úkolu	2
Cíle bakalářské práce	2
Seznam doporučené literatury	2
Úvod	9
1 Systémy odpružení	10
1.1 Listová pera	10
1.2 Vinuté pružiny	12
1.3 Torzní tyče	13
1.4 Pneumatické odpružení	14
1.5 Hydropneumatické pérování	15
1.6 Kuželové pásové pružiny	16
2 Systémy tlumení	18
2.1 Dvojitý pákový hydraulický tlumič	18
2.2 Dvouplášťový hydraulický tlumič	18
2.3 Jednoplášťový hydraulický tlumič	19
2.4 Dvouplášťový plynokapalinový tlumič	20
3 Systémy odpružení a tlumení vojenských vozidel	21
3.1 Kolová vozidla	21
3.2 Pásová vozidla	27
4 Koncepční návrh systému odpružení a tlumení obrněného vozidla	34
4.1 Parametry vozidla	34
4.2 Osminový model vozidla	35
4.3 Výpočet tuhosti pružiny	37
4.4 Návrh rozměrů pružiny	37
4.5 Vlastní frekvence kmitání	38
4.6 Koeficient tlumení tlumiče	40
Závěr	41
Seznam použitých zkratk a symbolů	45

ÚVOD

Systém odpružení a tlumení vozidla má za úkol zajistit neustálý kontakt kol či pásů vozidla s vozovkou a maximální přenos třecích sil ve stykových plochách vozovky s kolem či pásem. Důležité je také zajištění jízdního komfortu, nezbytného pro fyzické i duševní zdraví posádky, a docílení dobré ovladatelnosti vozidla pro zvýšení aktivní bezpečnosti. Další funkce odpružení jsou zamezení naklánění karoserie a redukování rázů od nerovností vozovky do karoserie, tudíž snížení namáhání karoserie.

Se zvyšující se tuhostí pružící a tlumící charakteristiky vozidla se zvyšuje i ovladatelnost vozidla, avšak jízdní komfort klesá. Z tohoto důvodu se musí při návrhu podvozkových částí vždy hledat jakýsi kompromis mezi jízdním komfortem a ovladatelností vozidla. Zároveň se musí přihlížet k váze, spolehlivosti a výrobní ceně součástí podvozku.

Vojenská vozidla často operují v různých klimatických podmínkách a extrémním terénu, což musí být při návrhu všech částí vojenských vozidel zohledněno. Na vojenská vozidla je právě kvůli extrémním podmínkám při používání často kladeno více požadavků než na civilní vozidla, například dobrá průchodnost terénem, brodivost, odolnost vůči abrazi nebo nastavitelná světlá výška vozidla. Kmitání vozidla má zde negativní vliv nejen na posádku ale i na zbraňový systém. Obecně lze říci že u vojenských vozidel je zvýšen důraz na bezpečnost a spolehlivost podvozku na úkor váhy, estetického vzhledu a mnohdy i komfortu. Každý systém odpružení a tlumení má své výhody a nevýhody, které je třeba brát v úvahu při výběru pro konkrétní vozidlo.

1 SYSTÉMY ODPRUŽENÍ

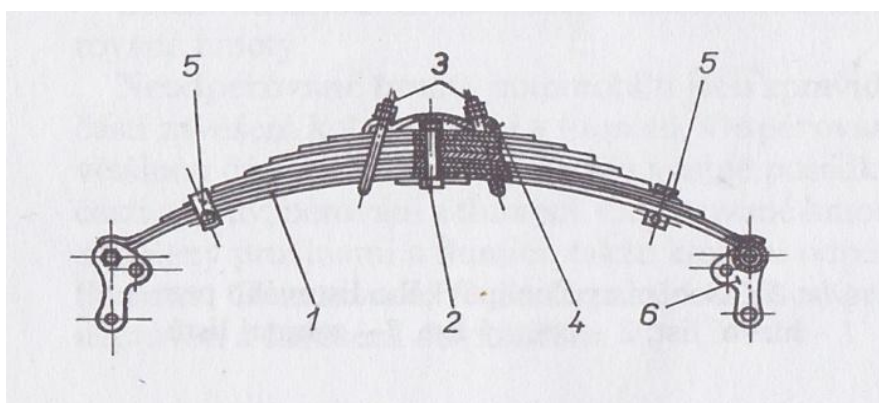
Odpružením vozidla se rozumí pružné části vozidla, které přenášejí síly od náprav do karoserie. Protože vozidla se používají k mnoha účelům, jsou na ně kladeny různé požadavky, a proto jsou pro různé druhy vozidel vhodné různé systémy odpružení. Při návrhu odpružení je nutné brát v úvahu vlastní frekvenci kmitání vozidla. Lidské tělo při chůzi kmitá mezi 65 a 110 kmitů za minutu. Kmitání s frekvencí mimo tento interval je pro lidské tělo nepřírozené, a může u člověka nejen vyvolat nepříjemné pocity a únavu, ale může dokonce způsobit zranění. [2]

Je nutno ještě zmínit pojmy odpružená hmota a neodpružená hmota. Neodpružená hmota jsou součásti, které se hýbou při vertikálním pohybu kola, což jsou kola samotná, těhlice, brzdy a neodpérované části nápravy. Do odpérované hmoty spadá karoserie, náklad, osádka a odpérované části podvozku. Obecně platí, že čím je lehčí neodpérovaná hmota, tím je lepší schopnost absorbovat nerovnosti vozovky. [1]

U systémů odpružení se hodnotí zejména jejich hmotnost, rozměry, konstrukční složitost, spolehlivost a schopnost vést nápravu.

1.1 LISTOVÁ PERA

Listová pera jsou složená z ocelových pásků (listů) poskládaných na sebe a sepnutých pomocí spon a třmenů. Takto složené listy tvoří nosník namáhaný ohybem, který je schopný vést nápravu. Využívají se zejména u nákladních automobilů a u osobních automobilů na zadních nápravách (často v kombinaci s vinutými pružinami na přední nápravě). Tuhost listových per závisí zejména na rozměrech listů, jejich počtu a materiálu. [3]



Obr. 1 Listové pero (1- listy pera; 2- svorník pera;
3- třmen pera; 4- upínací deska pera; 5- spona
pera; 6- páskový závěs) [2]

Při namáhání pera po sobě kloužou jednotlivé listy, což má díky tření za následek přeměnu kinetické energie na teplo. Tímto vzniká efekt tlumení. Listová pera tedy nepotřebují tlumiče kmitání. Protože koeficient tření je mezi dvěma listy mnohdy větší než je žádoucí, listy se v minulosti mazaly. Na moderních listových pružinách se nacházejí mezi jednotlivými listy plastové vložky, které koeficient tření redukuje. [3]

Protože se při zatěžování pera mění jeho délka, je třeba používat speciální zavěšení aby, nebyly listy pera namáhány v podélném směru na tlak. Toho lze dosáhnout zavěšením přes výkyvný třmen, pryžové pouzdro nebo kluznou opěru. V případě použití pryžové vložky musí být jedna strana (zpravidla zadní) hlavního listu ukončena rovně, aby mohla chodit v opěře. V okách per se nacházejí pryžové vložky z důvodu snížení rázů. [2]

1.1.1 ELIPTICKÁ LISTOVÁ PERA

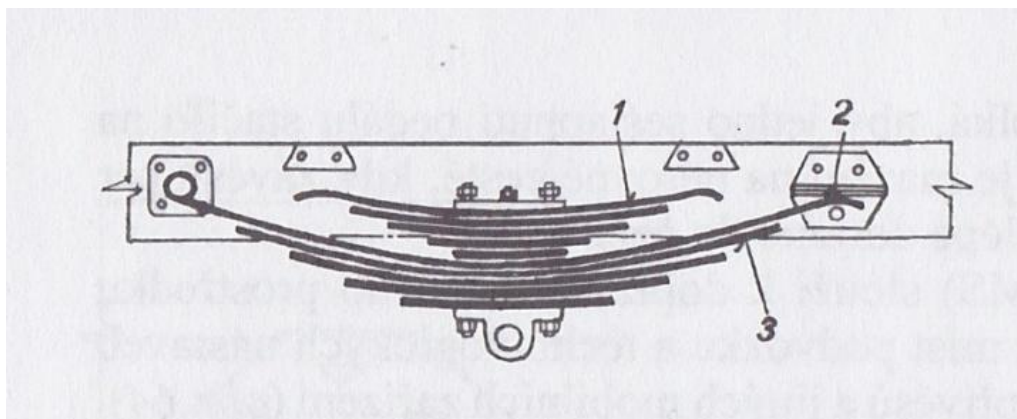
Eliptická listová pera jsou složena z listů o konstantní tloušťce ale různé délce. Nejdelší list se nazývá hlavní list, a na svých koncích je stočen do ok, která slouží pro upevnění pera ke karoserii. Druhý list zpravidla bývá volně ohnut kolem ok prvního listu z bezpečnostních důvodů. [2]

1.1.2 PARABOLICKÁ LISTOVÁ PERA

Na rozdíl od eliptických listových per jsou parabolická listová pera složena z listů o proměnlivé tloušťce. Tloušťka listů se zvětšuje v závislosti na vzdálenosti od závěsného oka tak, aby bylo při zatížení pera po celé délce listů konstantní napětí. Vzniká tak nosník konstantní pevnosti. Výhodou takového nosníku je snížení hmotnosti pera. Další výhodou je menší počet listů, tím pádem menší tření a tlumení. Nevýhodou je však náročnější výroba listů a s tím spjatá vyšší výrobní cena. [2]

1.1.3 PROGRESIVITA LISTOVÝCH PER

Při naložení vozidla nákladem nebo posádkou se může rapidně změnit váha vozidla a zatížení náprav, což vede ke změně vlastní frekvence kmitání vozidla. Této změně se dá předejít použitím progresivního odpružení. Progresivní odpružení se vyznačuje tím, že rychlost změny průhybu je menší, než rychlost změny zatížení. Jinými slovy se tuhost pružiny při zatěžování zvyšuje. Při naložení vozidla s progresivním odpružením vlastní frekvence kmitání klesá pomaleji, než kdyby byla použita pružina s lineární charakteristikou, a změna světlé výšky vozidla není tak rapidní jako u lineárního odpružení. [2]



Obr. 2 Progresivní listové pero (1- pomocné pero; 2- kluzná opěra, 3- hlavní pero) [2]

Progresivní listová pera používají dva svazky listových per nad sebou. Druhý svazek se stává činný až při určitém zatížení. Protože se tuhost pera mění nárazově má charakteristika pérování lomený tvar. Další způsob dosažení progresivity je změna činné délky listového pera pomocí dorazu. [3]

1.2 VINUTÉ PRUŽINY

Vinuté pružiny jsou do spirály vinuté tyče zpravidla kruhového průřezu. Nejčastěji se používají u lehkých vozidel. Mají nízkou hmotnost a nevyžadují žádnou údržbu. Na rozdíl od listových per se však musí vždy používat v kombinaci s tlumiči, protože nemají samotlumící účinky. Další nevýhoda vinutých pružin je, že nejsou schopny vést nápravu. Jejich tuhost závisí na průměru pružiny, průměru tyče ze které jsou vinuty, počtu činných závitů a materiálu. [3]

1.2.1 KONSTRUKCE VINUTÝCH PRUŽIN

Vinuté pružiny se používají tlačné válcové, soudečkové nebo kuželové. Stoupání se volí tak, aby při stlačení kola do horní polohy nebyla vymezena vůle mezi jednotlivými závitů pružiny. Závěrné závitů pružiny mají zpravidla menší stoupání, a bývají zabroušené do rovna pro snadné uložení do misek. V miskách bývají pryžové podložky pro snížení hluku. [2]

1.2.2 PROGRESIVITA VINUTÝCH PRUŽIN

Pro docílení progresivity odpružení lze použít soudečkový nebo kuželový tvar pružiny. Progresivního chování lze docílit i použitím pružiny o proměnlivém průměru tyče. Při zatížení pružiny z tyče o nekonstantním průměru se rychleji deformují tenčí závitů, a po vymezení vůle mezi nimi se zmenší počet činných závitů a zvýší se tak tuhost pružiny. Toto řešení je konstrukčně i finančně náročnější, proto není hojně používané. Snížení počtu činných závitů využívá i pružina s proměnlivým stoupáním, kdy se při určitém zatížení dotknou závitů s nejmenším stoupáním a tuhost pružiny se tak zvýší. [2]



Obr. 3 Progresivní pružina s proměnlivým stoupáním závitů [35]

1.3 TORZNÍ TYČE

Torzni tyče jsou namáhány na krut. Vyrábí se z kruhových nebo čtvercových tyčí, trubek nebo ze svazku pásků. Jsou bezúdržbové, jednoduché, ale neschopné vést nápravu, a musí se stejně jako vinuté pružiny používat spolu s tlumičem kmitů, protože nemají samotlumící vlastnosti. Tuhost torzní tyče závisí na použitém materiálu, délce a polárním kvadratickém momentu tyče. Hojně se používají pro pásová vozidla. [2]



Obr. 4 Torzní tyče [33]

1.3.1 KONSTRUKCE TORZNÍCH TYČÍ

Torzni tyče jsou tyče, které mají na svých koncích drážkované nebo tvarované hlavy, které slouží pro přenos kroutícího momentu do karoserie a pouzdra ve výkyvném rameni. Hlavy mívají pro snížení napětí větší průměr než samotná tyč. Přechod tyče v hlavu je plynulý s velkým poloměrem zaoblení, aby součinitel vrubu v místě přechodu co nejméně ovlivnil únavovou pevnost tyče. [3]

1.3.2 PROGRESIVITA TORZNÍCH TYČÍ

Klasické torzní tyče vykazují lineární chování. Pro docílení progresivní charakteristiky se používá trubkové pouzdro torzní tyče, které je na jedné straně pevně uložené v karoserii, a má doraz pro torzní tyč na straně druhé. Při zkroucení torzní tyče o určitý úhel se torzní tyč opře o dorazy na trubkovém pouzdře, které tak působí jako přídavná torzní tyč, a zvyšuje tuhost odpružení. Výhoda tohoto konstrukčního řešení je v ochraně torzní tyče pouzdrem proti ohybu. [3]

1.4 PNEUMATICKÉ ODPRUŽENÍ

Pneumatické odpružení se používá zejména pro větší dopravní prostředky, které mají vlastní kompresor nebo jiný zdroj stlačeného vzduchu nebo dusíku. Díky zdroji stlačeného plynu lze regulovat výšku vozidla pomocí dohušťování pneumatických měchů. Ani pneumatické pružiny nemají schopnost vést nápravu. Nároky na použitý materiál jsou vcelku vysoké, protože pryž pro pneumatické pružiny musí mít vysokou únavovou odolnost. Tuhost pneumatických pružin závisí na velikosti pružiny a přetlaku v pružině. [2]

1.4.1 VLNOVCOVÁ PNEUMATICKÁ PRUŽINA

Vlnovcová pneumatická pružina se skládá z prstencových vaků naskládaných na sebe. Vzduchová dutina je propojena se zdrojem stlačeného vzduchu, který může doplňovat vzduch do vaku dle potřeby. Pro regulaci výšky karoserie je třeba mít senzor výšky. Pro tento účel se používají potenciometry umístěné mezi karoserií a nápravou. [2]



Obr. 5 Vlnovcová pneumatická pružina [34]

1.4.2 MEMBRÁNOVÁ PNEUMATICKÁ PRUŽINA

Membránová pneumatická pružina se konstrukcí podobá válci s pístem. Obyčejný válec s pístem by však bylo náročné utěsnit, proto se mezi válec a píst umísťuje pryžová membrána. Válec membránové pneumatické pružiny může být rovněž propojen se zdrojem stlačeného plynu tlakovým potrubím. [2]

1.4.3 PROGRESIVITA PNEUMATICKÝCH PRUŽIN

Klasická pneumatická pružina má pozvolnou progresivní charakteristiku, která v určitých případech nestačí kompenzovat zatížení, a musí se upravit konstrukce pružiny. Způsob docílení výraznější progresivity u pneumatických pružin je konstrukčně jednoduchý. Jde o umístění pryžového dorazu dovnitř vzduchového vaku. Vak se při zatížení deformuje a při určité velikosti deformace se doraz stane činný, a tím se dosáhne lomené progresivní

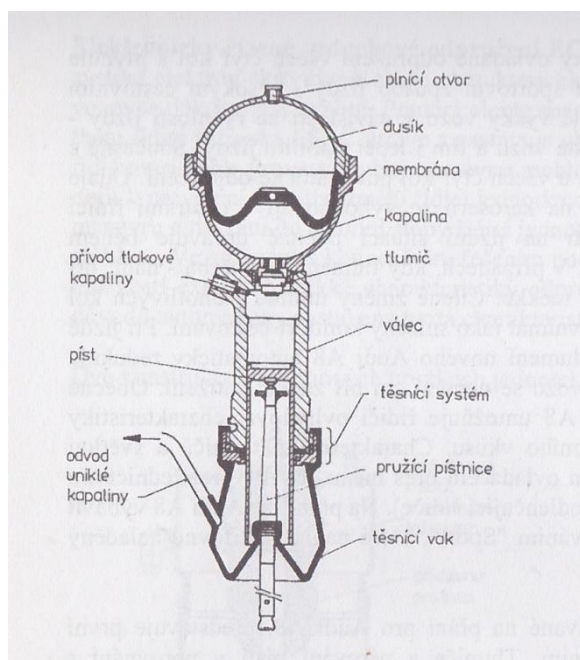
charakteristiky. Zvýšení tuhosti pružiny se dosáhne rovněž při dohuštění pneumatického měchu po zatížení (pro dosažení původní výšky vozidla). [1]

1.5 HYDROPNEUMATICKÉ PÉROVÁNÍ

Systém hydropneumatického pérování využívá pružných vlastností plynu a viskozity kapalin. Je značně konstrukčně složitý, nemá schopnost vést nápravu, a používá se jak pro lehké tak pro těžké stroje. Stejně jako u pneumatického odpružení lze u tohoto systému odpružení regulovat výšku vozidla. Zde se však změna výšky realizuje pomocí doplnění kapaliny do pracovního prostoru válce. Tuhost jednotky závisí na rozměrech pracovního válce a tlaku v horní komoře hydropneumatické pružiny. [2]

1.5.1 KONSTRUKCE HYDROPNEUMATICKÉ PRUŽINY

Hydropneumatická pružina se skládá z válce a nádoby zpravidla kulového tvaru. Kulová nádoba je tvořena dvěma polokoulemi, mezi kterými je pryžová blána, která rozděljuje nádobu na dvě komory. V horní komoře je plyn (nejčastěji se používá dusík), spodní komora je vyplněna kapalinou, a je propojena s válcem ventilem. Ve válci se nachází píst a prostor nad pístem je rovněž vyplněný kapalinou. Při svislém pohybu kola vyvíjí píst tlak na kapalinu, která proudí ventilem mezi válcem a koulí. Ventil má určitý hydraulický odpor - kapalina je při průtoku ventilem škrncena, čímž dochází k tlumení. Tlaková nádoba může být umístěna i jinde než nad tlumičem, musí však být s válcem propojena tlakovým potrubím. [2]



Obr. 6 Hydropneumatická pružící jednotka [2]

U hydropneumatického odpružení se využívá i pérování s vazbou přední a zadní nápravy, kdy je tlakovým potrubím propojena kapalina v přední a zadní jednotce na stejné straně vozidla.

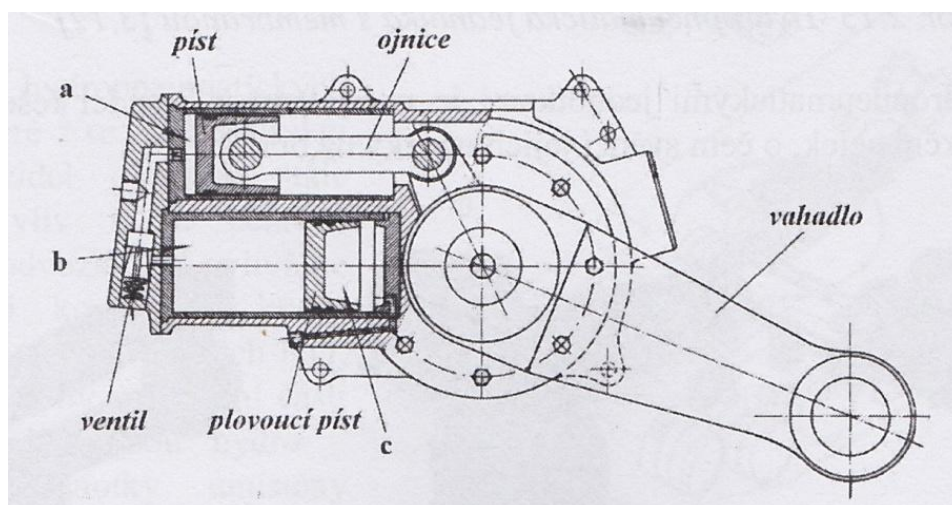
Při přejezdu nerovnosti vytlačí píst kapalinu do prostoru pracovního válce pružiny druhé nápravy. Tím se zvýší výška vozidla na druhé straně auta a eliminuje se houpání. [3]

1.5.2 PROGRESIVITA HYDROPNEUMATICKÉHO ODPRUŽENÍ

Při zatížení vozidla se zvýší tlak plynu v tlakové nádobě, čímž se zvýší tuhost pružiny. Progresivita pro hydropneumatické odpružení je samočinná a má stejně jako pneumatická pružina pozvolný průběh. [2]

1.5.3 HYDROPNEUMATICKÁ JEDNOTKA

Z důvodu velkých rozměrů klasických hydraulických tlumičů je není možné použít v místech s omezeným prostorem. Z tohoto důvodu se používá kompaktnější verze hydropneumatického tlumiče zvaná hydropneumatická jednotka. Hydropneumatická jednotka má pracovní válec rozdělen na dvě části, které jsou umístěny nad sebou. V jednom válci je plyn a tlumičová kapalina, která je od plynu oddělená plovoucím pístem nebo membránou. V druhém válci je pouze tlumičová kapalina a píst, který je napojen na vahadlo přes ojnici. Oba válce spojuje kanál, kterým při vertikálním pohybu kola proudí tlumičová kapalina z jednoho válce do druhého. Součástí kanálu je navíc škrtkovací ventil, který škrtkuje proudící kapalinu a zajišťuje tak tlumení. Toto uspořádání má výhodu kompaktnějších rozměrů. [14]



Obr. 7 Hydropneumatická jednotka [14]

1.6 KUŽELOVÉ PÁSOVÉ PRUŽINY

Kuželové pásové pružiny nejsou u menších dopravních prostředků velmi rozšířené. Používají se spíše v kolejové dopravě, přesto na odpružení pomocí kuželových pásových pružin můžeme narazit i u vojenských vozidel. Jsou vytvořeny pásem oceli svinutým do kuželové spirály. Jednotlivé závity pásu po sobě při zatížení kloužou, což vytváří podobně jako u listových per třecí odpor. Toto tření tlumí kmitání pružiny při průjezdu terénem, kuželová pásová pružina má tedy stejně jako listové pero samotlumící efekt.

1.6.1 PROGRESIVITA KUŽELOVÝCH PÁSOVÝCH PRUŽIN

Jednotlivé závity pružiny mají různé průměry, a při stlačování pružiny postupně přestávají být závity činné, kuželové pásové pružiny jsou tedy progresivní. Je však možné i vytvoření lineární kuželové pásové pružiny. Lineární charakteristiky se dosáhne při použití proměnlivé tloušťky pásu tak, že vnější závity budou svinuty z hrubšího pásu, který se bude směrem do středu ztenčovat tak, že každý závit bude mít stejnou tuhost, a nebude tak docházet k postupnému dosedání závitů do opěrné plochy.

Pro vytvoření pružiny se strmější progresivní charakteristikou lze aplikovat opačný postup, tedy vytvoření pružiny, která má vnější závit nejtenčí a tloušťka pásu se zvětšuje směrem ke středu spirály.



Obr. 8 Kuželové pásové pružiny [27]

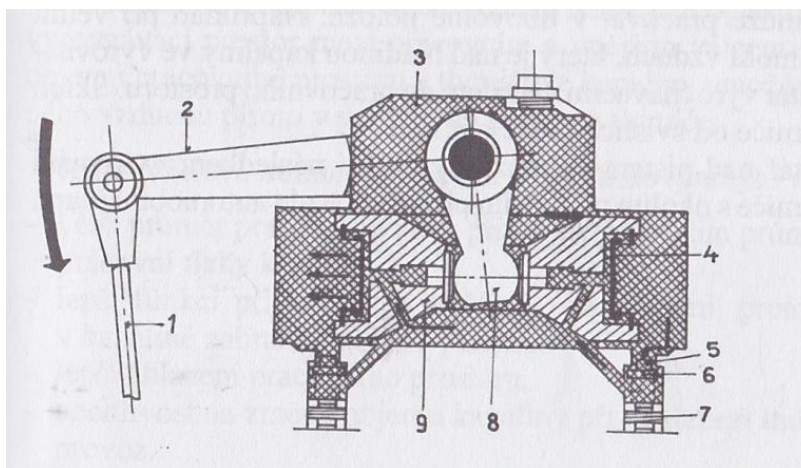
2 SYSTÉMY TLUMENÍ

Systémy tlumení mají za úkol tlumit relativní kmity nápravy vůči karoserii při jízdě, proto se stejně jako systémy odpružení umísťují mezi nápravy a karoserie. Nejběžnější a nejrozšířenější způsob tlumení je škrčení kapaliny (média) při průchodu ventilem, kdy se kinetická energie mění na teplo. Tlumící účinek má za následek i zvýšení tuhosti pružiny, což může být nežádoucí, například při prvním stlačení pružiny při přejíždění nerovnosti, kvůli většímu zatěžování karoserie zejména na krut. Zvýšení tuhosti může být redukováno při použití dvojčinných tlumičů. Dvojčinné tlumiče mají odlišné ventily pro stlačení a roztáhnutí tlumiče, tedy i koeficient tlumení je pro roztáhnutí a stlačení odlišný. Účinnost tlumiče při stlačování lze tedy snížit použitím ventilu s větším škrťacím otvorem. [2]

2.1 DVOJČINNÝ PÁKOVÝ HYDRAULICKÝ TLUMIČ

Tento způsob tlumení je poněkud zastaralý, ale na starších vozech lze stále najít. Využívá hydraulický odpor jako tlumící sílu.

Konstrukční řešení je v porovnání s ostatními tlumiči jednoduché. Válec tlumiče je naplněn tlumící kapalinou, a je v něm umístěn píst se škrťacími ventily. Pístem pohybuje palec, který je na hřídeli, na které je uložena i páka. Páka je přes táhlo napojena na nápravu, která při svém pohybu rovněž pohybuje i pístem. Při pohybu pístu do původní polohy se ventily otevírají aby netlumily pohyb pístu při vracení. [2]



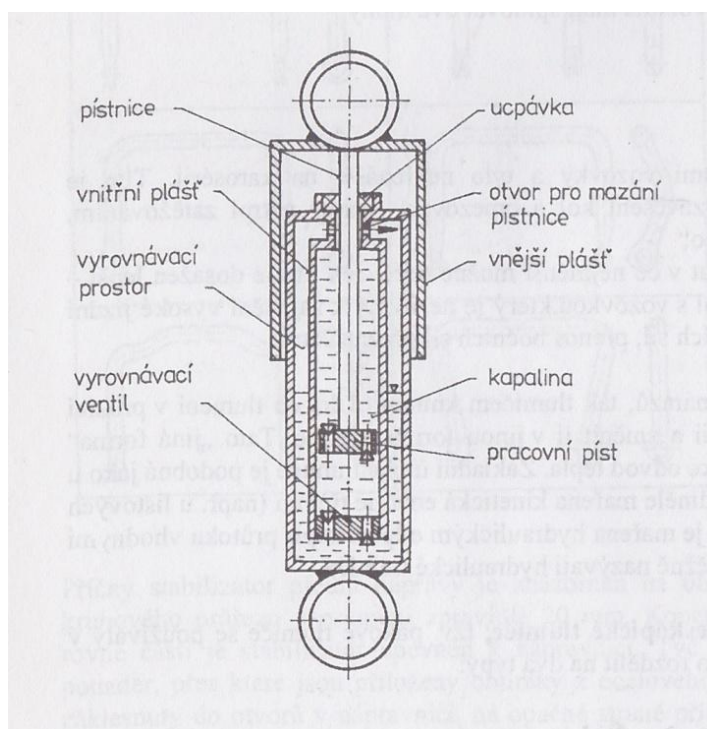
Obr. 9 Dvoučinný hydraulický pákový tlumič pérování
 (1- táhlo vedoucí na nápravu; 2- páka tlumiče; 3- zásobní nádrž na olej; 4- ventily v pístu; 5- výstupní otvor; 6- přepouštěcí ventil; 7- regulační šroub; 8- palec; 9- dvojité píst) [2]

2.2 DVOUPLÁŠŤOVÝ HYDRAULICKÝ TLUMIČ

Dvouplášťový hydraulický tlumič se skládá z pracovního válce, vyrovnávacího prostoru a vnějšího pláště. Pracovní válec je vyplněn tlumící kapalinou, a je v něm umístěn píst s ventily. Prostor mezi pracovním a vnějším pláštěm je vyrovnávací prostor, ve kterém je tlumičová

kapalina a vzduch. Pracovní a vyrovnávací prostor je propojen vyrovnávacími ventily. Při roztahování a stlačování tlumiče se mění objem tlumící kapaliny v pracovním plášti vlivem vsouvání a vysouvání pístnice. Tento rozdíl je díky vyrovnávacímu prostoru kompenzován. Vyrovnávání také slouží ke kompenzaci objemu tlumící kapaliny při teplotních změnách, například při zahřívání vlivem jízdy po nerovné vozovce. Uložení tlumiče je z důvodu snížení rázů a hluku řešeno přes pryžové vložky. [3]

Je zde však omezení použití pro tento tlumič kvůli plynu ve vyrovnávacím plášti. Tlumič nesmí být v příliš nakloněné poloze, protože by se plyn mohl dostat do pracovního prostoru. Pružný plyn v pracovním válci by negativně ovlivnil proces tlumení, a mohlo by při rychlém pohybu pístu ve válci docházet i ke zpěnění kapaliny. [3]

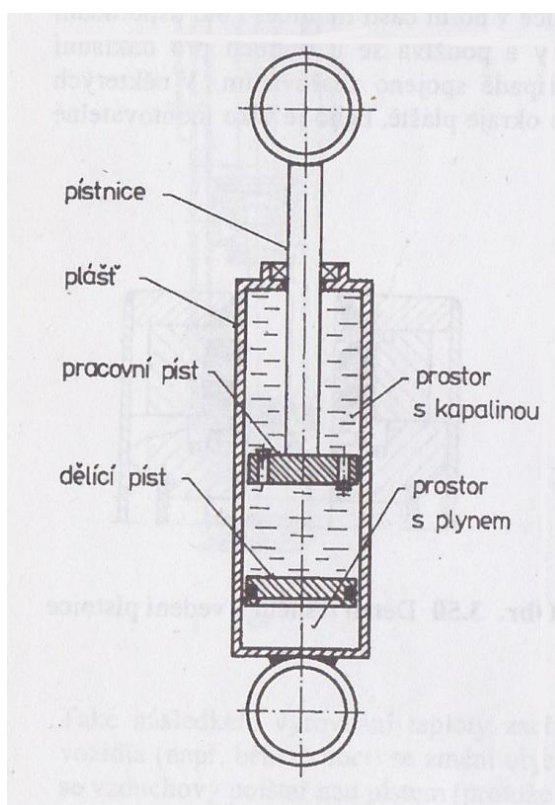


Obr. 10 Funkční schéma dvouplášťového tlumiče [3]

2.3 JEDNOPLÁŠŤOVÝ HYDRAULICKÝ TLUMIČ

Jednoplášťový hydraulický tlumič, na rozdíl od dvouplášťového, má vyrovnávací prostor v pracovním válci. Komora s plynem (obvykle dusíkem) pod tlakem je oddělena od tlumičové kapaliny plovoucím pístem, a je utěsněna, aby se plyn s tlumící kapalinou nemíchal. Při zasunutí pístnice do tlumiče se stlačí komora s plynem, a tím se vyrovná změna objemu způsobená zasunutím pístnice. [2]

Výhody jednoplášťového tlumiče oproti dvouplášťovému jsou menší pracovní tlaky při stejné velikosti tlumiče z důvodu větších rozměrů pístu. Plyn který vytváří tlak na tlumičovou kapalinu zabraňuje pění, které by narušilo tlumení. Jednoplášťový tlumič má navíc lepší chlazení díky menšímu počtu plášťů. Tlumiče s plovoucím dělicím pístem mohou být navíc používány v libovolné poloze. Nevýhody oproti dvouplášťovému tlumiči jsou menší životnost a složitější utěsnění. [2]



Obr. 11 Funkční schéma jednoplášťového tlumiče (systém de Carbon) [3]

2.4 DVOUPLÁŠŤOVÝ PLYNOKAPALINOVÝ TLUMIČ

Dvouplášťový plynokapalinový tlumič má podobnou konstrukci jako dvouplášťový hydraulický tlumič. Název může vyvolat dojem že u hydraulického tlumiče se nevyskytuje plyn, což není pravda. Na rozdíl od hydraulického tlumiče je plyn v plynokapalinovém tlumiči pod tlakem, a je od kapaliny ve vyrovnávacím prostoru oddělen těsněním. Tlak plynu, stejně jako u jednoplášťového hydraulického tlumiče, zabraňuje pění tlumičové kapaliny. Výhoda oddělení plynu od tlumičové kapaliny je v možnosti používání tlumiče i v šikmých polohách. [2]

3 SYSTÉMY ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ VOJENSKÝCH VOZIDEL

Vozidla jsou v dnešní době ve vojenském sektoru nepostradatelná. Používají se jak k přepravě osob a nákladů, tak k bojovým a průzkumným účelům. Vojenská vozidla často bývají obrněná, což navyšuje jejich hmotnost a způsobuje větší zatížení podvozkových dílů. Na mnoho vojenských vozidel je kladen požadavek zvýšené průchodnosti terénem, zejména kvůli konfliktům v místech bez plnohodnotné silniční sítě. Vyhovění těmto požadavkům spočívá v náhonu na více kol (systémy 4x4, 6x6, 8x8) či použití pásů místo klasických kol. Výkyvná ramena, poloosy a tyče řízení omezují prostor pro systémy odpružení a tlumení což je důvod proč bývají mnohdy složitější. V této bakalářské práci jsou vojenská vozidla rozdělaná na kolová a pásová.

3.1 KOLOVÁ VOZIDLA

Kolová vojenská vozidla jsou obecně vzato lehčí než pásová. Terénní a nákladní vozidla mnohdy vycházejí z civilních modelů vozidel, a jsou upravena pro vojenské účely, například silnějším oplechováním pro ochranu posádky, koly vhodnějšími do terénu či osazením kapoty palnými zbraněmi pro nouzové situace. Účel kolových vozidel je z větší části přeprava osob, surovin a tahání mobilních válečných zbraní bez vlastního pohonu ve válečné oblasti. Kvůli pneumatikám náchylným k poškození se do přímých bojů téměř nevyužívají.

3.1.1 LEHKÁ TERÉNNÍ VOZIDLA

Lehká terénní vozidla slouží zejména k přepravě osob a menších nákladů ve vojenské oblasti. Nejznámějším vojenským vozidlem druhé světové války by se dal prohlásit americký vůz Jeep Willys MB, který byl vyvinut jako všestranné vojenské vozidlo s pohonem všech čtyř kol. Jeep Willys MB se osvědčil natolik, že o něj začaly jevit zájem i spojenecké země Spojených Států. V letech 1941-1945 bylo vyrobeno přes 600 000 vozů, a Jeep Willys se stal základem pro nové typy vojenských i civilních terénních vozidel. [4]



Obr. 12 Lehké terénní vozidlo Jeep Willys MB [4]

Na obrázku číslo 13 lze vidět nosný rám vozidla Jeep Willys z roku 1958. Přední i zadní náprava jsou vedeny a odpruženy pomocí listových per. Zadní strany per jsou uloženy ve výkyvných třmenech pro kompenzaci změny délky při zatížení pera. Listová pera, jak již bylo zmíněno, mají samotlumící účinky, avšak tlumení v tomto případě není dostatečné, proto jsou mezi rám a nápravu umístěny dvojčinné dvouplášťové hydraulické tlumiče. Tento systém odpružení a tlumení má sice větší hmotnost neodpružené hmoty, ale ukázal se jako velmi spolehlivý.



Obr. 13 Nosný rám a podvozek vozidla Jeep Willys MB [5]

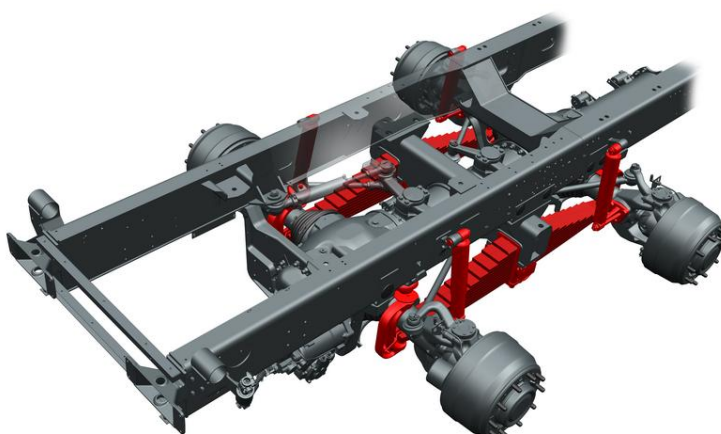
Modernější zástupce lehkých terénních vozidel je britský vůz Land Rover Defender. Defender byl vyráběn ve 3 verzích a to 90, 110 a 130, přičemž číslo označuje rozvor kol v palcích. Land Rover Defender 90 a 110 jsou odpruženy pomocí tlačných válcových vinutých pružin. Tlumiče jsou použity dvouplášťové hydraulické, a tradičně se ukládají dovnitř pružin pro lepší využití prostoru, zde jsou však umístěny vně pružin šikmo. Model 130 byl pro svou dlouhou zád' používán pro převoz osob a nákladů, čímž se výrazně měnilo zatížení zejména zadní nápravy. Z tohoto důvodu bylo třeba na zadní nápravu umístit odpružení s progresivní charakteristikou. Konstrukční řešení zde spočívalo v použití dvou pružin různých tuhostí nad sebou. Při stlačení měkčí pružiny přestanou být její závity činné a odpružení dále zajišťuje pouze druhá, tužší pružina. [7]



Obr. 14 Podvozek vozu Land Rover Defender 110 [6]

3.1.2 STŘEDNÍ TERÉNNÍ VOZIDLA

Střední terénní vozidla slouží k přepravě osob a větších nákladů po bojišti. Jako příklad může být použit vůz Tatra T-810 s žebřinovým rámem. Tento model disponuje pohonem 6x6. Přední náprava původního vozu je odpružena pomocí válcových vinutých pružin, které jsou doplněny o teleskopické dvojčinné hydraulické tlumiče. Dvojce zadních náprav je vahadlovým způsobem odpružena eliptickými listovými pery. Při modernizaci vozu byly i zadní nápravy doplněny o teleskopické hydraulické tlumiče pérování, a později byl původní žebřinový rám nahrazen páteřovým rámem, a listová pera byla nahrazena pneumatickým pérováním doplněným o teleskopické hydraulické tlumiče. I moderní vozy Tatra odpružené pomocí listových per využívají přídavné hydraulické tlumiče, jak lze vidět na obrázku níže. [7]



Obr. 15 Zadní nápravy moderních podvozků vozů Tatra s páteřovým rámem a pomocným žebřinovým rámem [8]

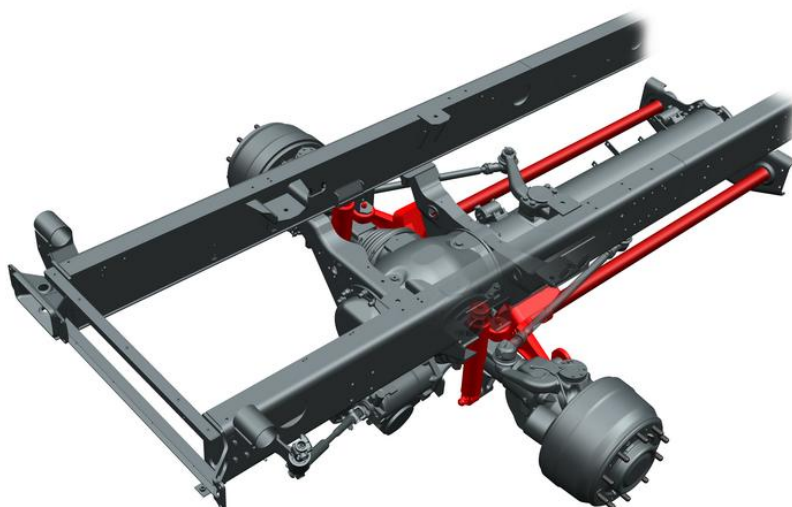
3.1.3 TĚŽKÁ TERÉNNÍ VOZIDLA

Účel těžkých terénních vozidel je transport velkých nákladů. Díky svým výkonným pohonným jednotkám mohou být také použita jako tahače přívěsů či dělostřelecké tahače. Jako příklad si uvedeme vůz Tatra T-815. Tatra T-815 má páteřový rám, a karoserii má umístěnou na pomocném žebřinovém rámu. Vyráběla se více verzích, nejběžnější však byly verze 4x4, 6x6, a 8x8. [7]

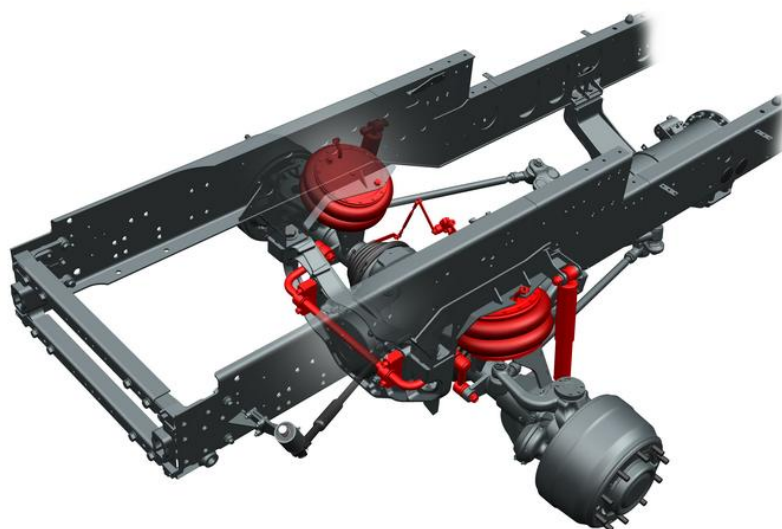
Model 4x4 má přední nápravu odpruženou pomocí podélně uložených zkrutných tyčí, a tlumení zajišťují dvojčinné hydraulické tlumiče. Zadní náprava používá pneumatické odpružení a dvojčinné hydraulické tlumiče. Koncept odpérování nápravy pomocí zkrutných tyčí lze vidět na obrázku číslo 16 a odpružení pomocí pneumatických vlnovcových pružin lze vidět na obrázku číslo 17. [7]

Model 6x6 má přední nápravu odpruženou a tlumenou stejně jako model 4x4 pomocí zkrutných tyčí, dvojce zadních náprav však využívá podélně uložená eliptická listová pera. [7]

U modelu 8x8 jsou obě dvojce náprav odpérovány pomocí eliptických listových per, přední náprava má však navíc dvojčinné hydraulické tlumiče. [7]



Obr. 16 Odpérování nápravy vozidla Tatra pomocí zkrutných tyčí a hydraulických tlumičů [8]



Obr. 17 Náprava vozu Tatra odpérovaná pomocí vlnovcových pneumatických pružin a hydraulických tlumičů [8]

3.1.4 OBRNĚNÉ TRANSPORTÉRY

Jak název napovídá, obrněné transportéry se využívají k transportu jednotek. Pancéřování slouží k ochraně posádky před případnou palbou. Velmi známý kolový obrněný transportér je sovětský vůz BTR-152 s pohonem 6x6. Základní verze byla osazena lehkým kulometem. Vyráběl se ve více verzích, například BTR-152-A SPAAG se dvěma protiletadlovými kulometry nebo BTR-152 V1, který měl naviják a vybavení pro noční vidění. [9]



Obr. 18 Obrněný transportér BTR-152 [9]

Odpružení a tlumení tohoto vozu je velice jednoduché. Přední náprava vozu je odpérována pomocí eliptických listových per, a je navíc doplněna o hydraulické tlumiče. Dvojce zadních náprav je podobně jako u vozu Tatra T-810 odpérována pomocí vahadlově uložených listových per. Toto řešení je vcelku konstrukčně jednoduché a levné. Samotlumící účinky per zadních náprav jsou v tomto případě dostatečné, proto není třeba užití přidavných tlumičů.



Obr. 19 Přední náprava vozu BTR-152 [10]

3.1.5 PRŮZKUMNÁ VOZIDLA

Průzkumná vozidla se využívají k průzkumu bojové oblasti a k odhalování nepřátelských jednotek. Tato úloha je velmi nebezpečná, proto mají průzkumná vozidla pancéřování. Palná síla průzkumných vozidel je často redukována, protože děla a těžké kulometry způsobují při jízdě větší hluk, který může vést k odhalení vozidla nepřítelem. Velký výrobce průzkumných vozidel je britská firma Daimler. Významný model je lehké průzkumné vozidlo Daimler Ferret. Výroba byla v minulosti zastavena, do dnes se však hojně používá například v afrických armádách. Daimler Ferret má více provedení, všechny ale disponují náhonem 4x4. Původní model Mk1 je osazen těžkým kulometem, při modernizaci byla karoserie osazena věží pro ochranu střelce. [11]

Daimler Ferret Mk2 má nezávislé lichoběžníkové zavěšení kol, jak lze vidět na obrázku 20. Přední i zadní kola jsou odpružena pomocí vinutých pružin, uvnitř kterých jsou schované teleskopické hydraulické tlumiče. Tento systém je kompaktní, a vozidlo má menší hmotnost neodpružené hmoty, než by měl například s listovými pery, které se pro lehká průzkumná vozidla rovněž využívají. Vinuté pružiny navíc nevyžadují žádnou údržbu.



Obr. 20 Detail zavěšení kola průzkumného vozidla Daimler Ferret Mk2 [12]

3.2 PÁSOVÁ VOZIDLA

Pásová vozidla jsou opatřena pásy nasazenými na kola, která se tak nedostávají do kontaktu s povrchem. Pásky mají díky svému velkému povrchu oproti kolům menší specifický tlak na podložku. Z tohoto důvodu se v bahně, sněhu a písku méně boří. Další výhodou oproti kolům je lepší trakce, a proto může pásové vozidlo vyvinout větší tažnou sílu. Hlavní nevýhody jsou větší konstrukční složitost, poruchovost, vyšší spotřeba paliva a menší jízdní rychlost. Pásová vozidla jsou tedy dražší jak z výrobního tak z provozního hlediska, navzdory tomu se hojně využívají do náročnějšího terénu. [13]

Podvozky vojenských pásových vozidel musí mít kromě dobré průchodnosti terénem také vysokou spolehlivost, neboť selhání části vozidla může při boji ohrozit posádku na životě. Další požadavek je odolnost vůči abrazi, která nastává zejména při průjezdu bahnem, pískem a vodou. Vozidla také musí mít určitou plavnost jízdy, a kmitání musí být tlumeno kvůli negativnímu vlivu nejen na pohodlí posádky, ale i na zbraňový systém. [14]

3.2.1 BOJOVÁ VOZIDLA PĚCHOTY

Bojová vozidla pěchoty (BVP) jsou pásová vozidla určena k přesunu pěchoty a její palebné podpoře. Bojové vozidlo pěchoty má pancéřování a palnou zbraň ráže 20 milimetrů a více. Právě ráží palebné zbraně a pásovým podvozkem se odlišují od obrněných transportérů, které mají podobný účel. [15]

Kola pásového vozidla se dělí na hnací kola, vodící kola a pojezdná kola. Hnací kola mají BVP vepředu, vede na ně totiž hnací hřídel přímo z motoru, a z toho důvodu ani nemohou být odpružena. Kvůli jejich statickému uložení bývají u moderních vozidel nad úroveň pojezdných kol, aby negativně neovlivňovala schopnost přejezdu nerovností. Vodící kola

napínají pás a zpravidla nebývají odpružená. Pojezdná kola jsou na úrovni terénu, a bývají zavěšena na vahadlech a odpružená. [14]

Příkladem bojového vozidla pěchoty je sovětské vozidlo BVP-1. Toto vozidlo je osazeno kanónem ráže 73 milimetrů, lehkým kulometem a samopaly, což tvoří značnou palebnou sílu. [16]

BVP-1 je odpruženo torzními tyčemi, které jsou se svými rameny součástí zavěšení. Tlumení zajišťují teleskopické hydraulické tlumiče. Odpružená jsou pouze pojezdná kola, jak lze vidět na obrázku číslo 21, a tlumiče jsou pouze na prvních a posledních pojezdných kolech, které mají na tlumení kmitání vozidla největší vliv. [14]



Obr. 21 BVP-1 [17]

Na obrázku 21 lze také vidět konce torzních tyčí, z kterých vedou ramena na náboje pojezdových kol. Takové uložení se nazývá individuální, protože každé kolo je odpruženo nezávisle na ostatních kolech. Tento typ odpružení má malou hmotnost neodpružené hmoty a dobře kopíruje terén, avšak závěsy jsou více namáhány. Konstrukčně je řešení poměrně jednoduché.

3.2.2 BOJOVÉ TANKY

Bojový tank je obrněné vozidlo s věží a kanónem, které je určené k likvidaci nepřátelských pozemních sil. Kanóny tanků mají zpravidla větší ráže než kanóny BVP. [18] Tanky mají rovněž kola dělená na hnací, vodící a pojezdná, oproti BVP mají však hnací kola vzadu z důvodu umístění motoru v zadní části tanku. [14]

LEHKÝ TANK LT VZ. 38

Příkladem lehkého bojového tanku je tank československé konstrukce LT vz. 38 z roku 1939. Tento tank byl ve své době považován za velmi kvalitní, o čemž svědčí i fakt, že si výrobní licenci koupilo i Švédsko. Hlavní palebnou silou tohoto tanku je kanón značky Škoda ráže 37 milimetrů, což je méně než ráže moderního bojového vozidla pěchoty, za druhé světové války však byly používány menší ráže než mají moderní tanky (tradičně 105 mm až 125 mm.) [19]

Tank LT vz. 38 má na každé straně čtyři pojezdná kola. Každá dvojice kol je odpružená pomocí jednoho listového pera, čemuž se říká sdružené zavěšení. Listové pero plní navíc i vodící a nosnou funkci. Tento druh zavěšení je méně namáhaný, ale konstrukčně značně složitější a těžší. Právě kvůli velké hmotnosti neodpružené hmoty se již tolik nevyužívá. Tlumení listových per je dostatečné, proto zde přídatné tlumiče nenajdeme. [14]



Obr. 22 LT vz. 38 [20]

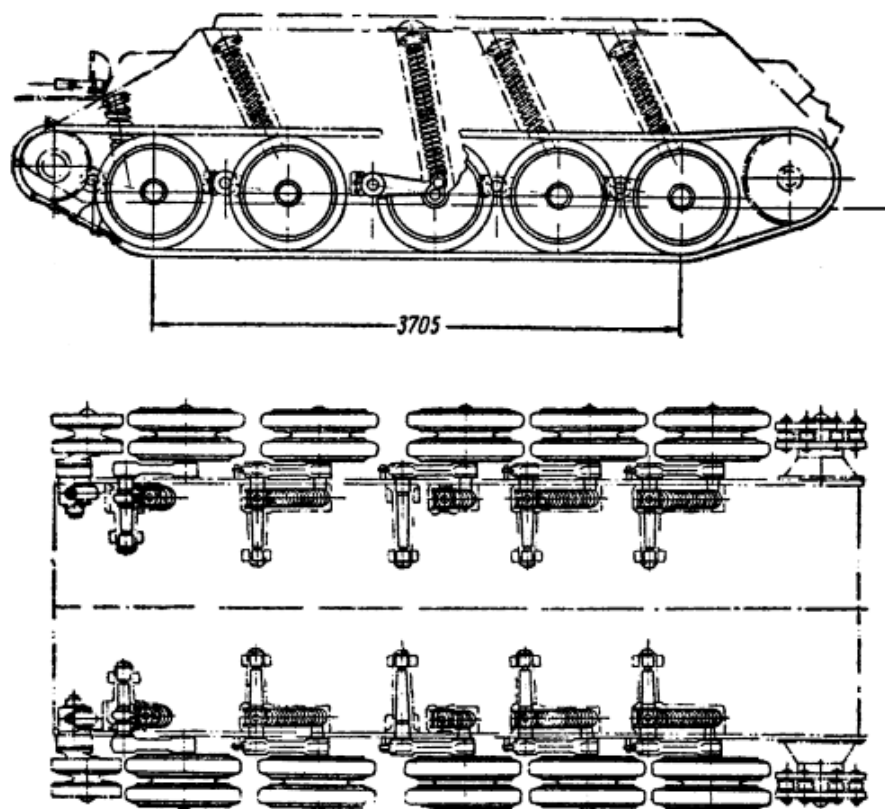
Na obrázku výše můžeme díky sundanému kolu vidět část listového pera tanku.

STŘEDNÍ TANK T-34

Jako příklad středního tanku poslouží proslulý sovětský tank T-34 z roku 1940. Původní návrh T-34 má kanón ráže 76,2 mm, který byl později nahrazen větším kanónem ráže 85 mm. T-34 má podvozek zvaný Christie, který je pojmenovaný po svém vynálezci Johnu Walterovi Christie. [21]

Tento druh podvozku využívá vinuté pružiny a hydraulické tlumiče, tank T-34 ale tlumiče postrádá. Pružiny jsou mezi karoserií a vahadlem, na kterém je umístěno kolo. Toto uspořádání umožňuje kolu větší vertikální pohyb. S tímto systémem odpružení dosáhl tank T-34 dobrých jízdních schopností i ve větším terénu. Absence tlumičů má ovšem za následek, že se i po zastavení vozidlo houpe, což negativně ovlivňuje míření při střelbě z děla. Protože má každé kolo svou vlastní pružinu, je i tento druh odpružení individuální. [22]

Další nevýhodou je, že tento druh odpružení má poměrně špatné využití prostoru, a zmenšuje vnitřní prostory tanku, proto se u moderních tanků využívá jen zřídka kdy. [14]



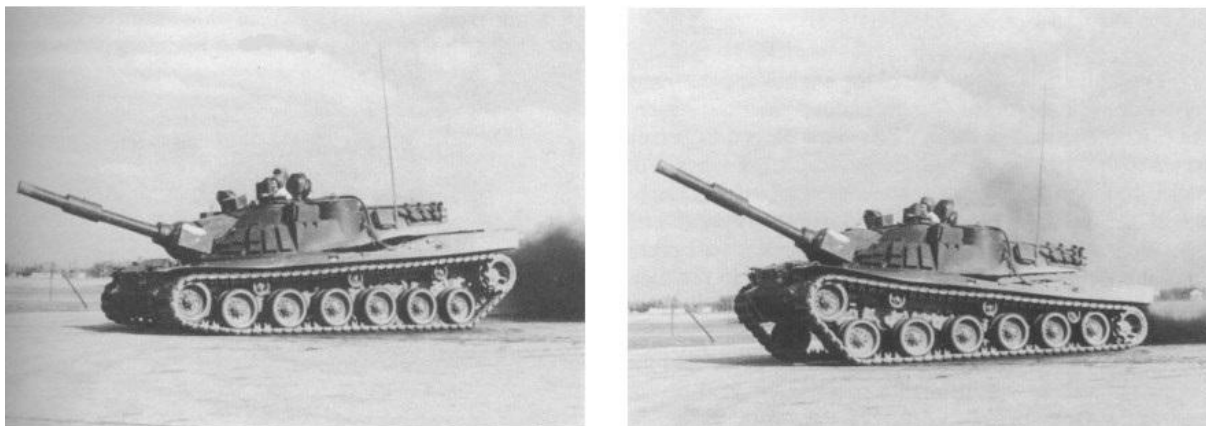
Obr. 23 Schéma podvozku Christie tanku T-34 [23]

TĚŽKÝ TANK MBT-70

MBT-70 je těžký bojový americko-západoněmecký tank, který byl vyvinutý během šedesátých let dvacátého století. Hlavní palebnou silou tanku je dělo ráže 152 mm, protiletadlový dálkově ovládaný kulomet ráže 20 mm a kulomet proti pěchotě ráže 7,62 mm. Vozidlo bylo využíváno hlavně pro obranné účely kvůli svému malému dojezdu, avšak mohlo vyvinout rychlost až 70 kilometrů za hodinu, což z něj dělalo nejrychlejší těžký tank své doby. [24]

Podvozek tanku MBT-70 je postaven na hydropneumatickém odpružení. U MBT-70 lze regulovat množství kapaliny v jednotlivých tlumičích, což mu umožňuje změnu světlé výšky, a v případě potřeby až dosednutí korby vozidla na zem pro zvýšení stability při střelbě z děla. Také lze měnit náklon vozidla, což se využívá například k vyrovnávání korby při stoupání a klesání. Díky vlastnostem plynu má odpružení tanku MBT-70 pozvolnou progresivní charakteristiku. [14]

Na obrázku níže můžeme vidět horizontálně uložené hydropneumatické tlumiče. Tento systém odpružení a tlumení je konstrukčně složitý a výrobně drahý, ale při testování i v boji se osvědčil, a nyní se stále více využívá u moderních pásových vozidel, která využívají i kompaktnější hydropneumatické jednotky.



Obr. 24 Změna náklonu korby tanku MBT-70 [25]



Obr. 25 Detail podvozku MBT-70 [26]

Příkladem modernějšího těžkého bojového tanku je indický tank Arjun, který se vyrábí i v současnosti. Arjun má rovněž hydropneumatické odpružení, nemá však klasickou hydropneumatickou pružinu tvořenou jedním válcem ale z důvodu omezeného prostoru má právě kompaktnější hydropneumatickou pružící jednotku, která má pracovní válec rozdělen na dva.



Obr. 26 Hydropneumatická jednotka tanku Arjun [28]

3.2.3 DĚLOSTŘELECKÉ TAHAČE

Dělostřelecké tahače jsou vozy určené k vlečení děl a houfnic, které nemají vlastní pohon, a k přepravě obsluhy vlečených zbraní. První dělostřelecké tahače byly pouze upravené traktory, časem se však začaly vyvíjet speciální vozy pro tyto účely. [29]

Velmi využívaný byl za druhé světové války dělostřelecký tahač M4 High-Speed Tractor. Motor tohoto tahače je umístěn vepředu, proto je i hnací kolo vepředu, a je nad úroveň terénu, protože nemůže být odpruženo. Pojezdová kola jsou čtyři, a mají sdružený závěs na ramenech, která jsou zároveň vahadla, a mají mezi sebou kuželové pásové pružiny. Zadní kolo je vodící, a je netradičně umístěno na úrovni terénu, proto je rovněž odpruženo pomocí kuželové pásové pružiny. Umístění vodícího kola na úroveň terénu zmenšuje specifický tlak na podložku, zvětšuje kontaktní plochu pásu s povrchem a zlepšuje tak tažné schopnosti vozu. Nevýhodou je však horší zatáčivost vozidla. [14]



Obr. 27 Dělostřelecký tahač M4 High-Speed Tractor [30]

Odpružení dělostřeleckého tahače pomocí kuželových pásových pružin se osvědčilo, proto jsou používány i na novějším modelu M6 High-Speed Tractor. Hojně používané systémy odpružení pro tahače dělostřelectva jsou také jsou listová pera, která využívá například dělostřelecký tahač T-20 Kosmomolets, a torzní tyče, které lze nalézt na německém dělostřeleckém tahači Sd.Kfz. 7.

4 KONCEPČNÍ NÁVRH SYSTÉMU ODPRUŽENÍ A TLUMENÍ OBRNĚNÉHO VOZIDLA

Pro koncepční návrh systému odpružení a tlumení obrněného transportéru s pohonem 8x8 je nutno zvolit si základní hodnoty, ze kterých bude návrh vycházet, jako například pohotovostní hmotnost vozidla, tj. hmotnost vozidla s provozními kapalinami a řidičem, dále celková hmotnost vozidla, tedy hmotnost vozidla s posádkou a nákladem, hmotnost neodpružených hmot vozidla a rozměry podvozkových částí.

4.1 PARAMETRY VOZIDLA

Parametry vozidla jsou zvoleny na základě průzkumu vlastností obrněných transportérů a jejich částí. Pohotovostní hmotnost obrněného transportéru se běžně pohybuje mezi 12 a 30 tunami, počítejme tedy s 18 tunami. Náklad transportéru tvoří zpravidla posádka s výzbrojí. Hmotnost vojáka s výzbrojí berme 110 kilogramů. Pohotovostní hmotnost transportéru pro řidiče a 13 vojáků při naložení osádkou vzroste o 1430 kilogramů. Za předpokladu, že má transportér páteřový rám, rozvor je 1940 milimetrů a středový tunel je široký 200 milimetrů, je délka ramena od rotační vazby (čepů) po střed kola zhruba 870 milimetrů. Vzdálenost středu pružiny od rotační vazby volím 600 milimetrů. Hmotnost neodpružené hmoty pro páteřový rám volím 210 kilogramů na kolo, tedy 1680 kilogramů na vozidlo. Radiální tuhost pneumatiky volím 260 000 N/m. Vlastní tlumení pneumatiky je zanedbatelné. Pro přehlednost jsou parametry zapsány do tabulky níže.

Tabulka 1 Parametry vozidla

Parametr	Značka	Hodnota	Jednotka
Pohotovostní hmotnost	m_p	18 000	[kg]
Celková hmotnost	m_c	19 430	[kg]
Hmotnost neodpružených hmot	m_n	1680	[kg]
Hmotnost neodpružených hmot (na jedno kolo)	m_1	210	[kg]
Hmotnost odpružených hmot (na jedno kolo)	m_2	2040	[kg]
Délka ramena kola	a_k	0,870	[m]
Délka ramena pružiny	a_p	0,600	[m]
Radiální tuhost pneumatiky	k_r	260 000	[N·m ⁻¹]

Změna hmotnosti při naložení je 1430 kilogramů, což je poměrně velká hodnota. V porovnání s pohotovostní hmotností vozidla je však relativní změna hmotnosti při naložení přibližně 8%. Z tohoto důvodu zavádím předpoklad, že pro náš model není třeba progresivního odpružení, a

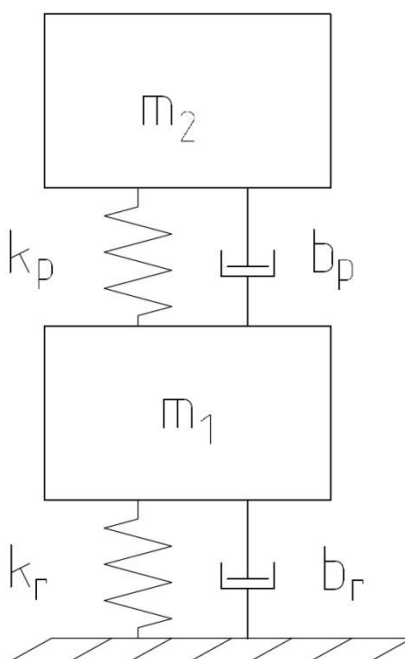
použito bude odpružení lineární. Nabízí se válcové vinuté pružiny, do kterých lze umístit hydraulický teleskopický tlumič. Tento způsob odpružení a tlumení bude tedy použit.

Řekněme že svislý pohyb kola transportéru oproti nezatížené poloze má být omezen délkou 600 milimetrů. Pro funkci podvozku je ideální, aby při statické poloze vozu byla pružina i tlumič ve své středové poloze, tedy aby bylo kolo stlačeno o 300 milimetrů. Z tohoto faktu se vychází při výpočtu tuhosti pružiny.

4.2 OSMINOVÝ MODEL VOZIDLA

Při výpočtu tuhosti pružiny je třeba sestavit si osminový model vozu a vypočítat síly působící na jednotlivá kola. Za předpokladu, že je zatížení všech kol rovnoměrné, tíhové zrychlení g je rovno $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, a vozidlo je v pohotovostním stavu, lze spočítat sílu na kolo F_k následovně:

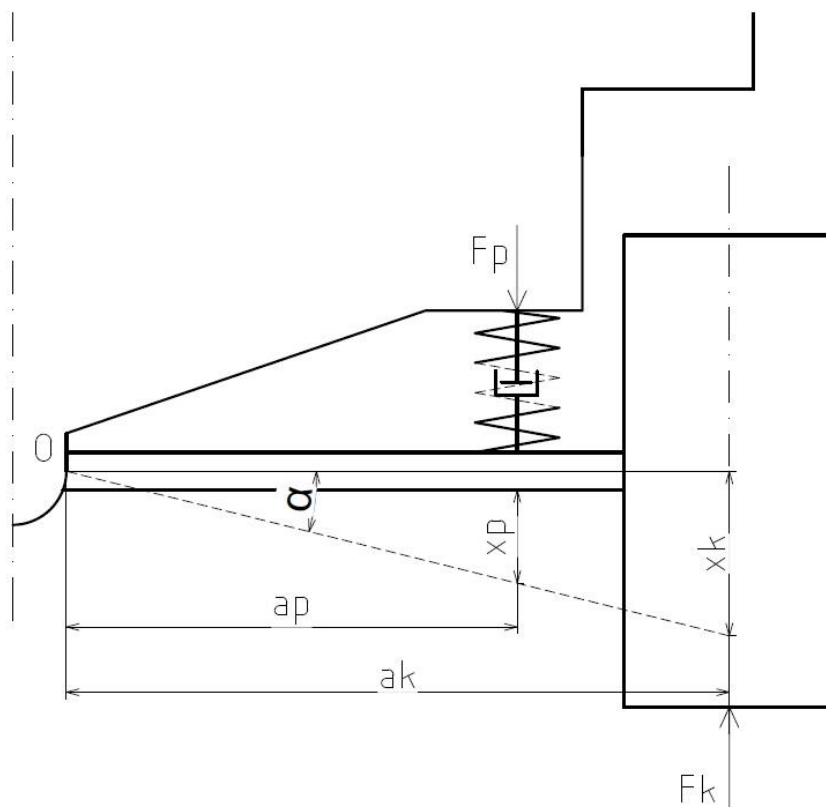
$$F_k = \frac{m_p \cdot g}{8} = \frac{18\,000 \cdot 9,81}{8} = 22\,072,5 \text{ N}$$



Obr. 28 Osmínový model vozidla

Na obrázku 28 lze vidět osminový model vozidla, kde k_r je radiální tuhost pneumatiky, b_r je koeficient tlumení pneumatiky, k_p je tuhost pružiny a b_p je koeficient tlumení tlumiče. Kvůli zanedbání vlastního tlumení pneumatiky platí $b_r = 0$.

Dále je třeba znát sílu na pružinu. Tu lze vypočítat z momentové rovnováhy k rotační vazbě ramena (bod O), na kterém jsou kolo a pružina umístěny. Umístění pružiny s tlumičem, síly a vzdálenosti jsou znázorněny na obrázku 29.



Obr. 29 Schéma zavěšení kola transportéru

Rovnice momentové rovnováhy k bodu O:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0$$

Rozepíšeme jednotlivé momenty a vyjádříme sílu na pružinu F_p .

$$F_k \cdot a_k - F_p \cdot a_p = 0$$

$$F_p = \frac{F_k \cdot a_k}{a_p} = \frac{22\,072,5 \cdot 0,870}{0,600} = 32\,005 \text{ N}$$

Při zatížení pružin vlastní tíhou vozidla je vhodné, aby bylo kolo, jak je zmíněno výše, 300 milimetrů nad svou nezatíženou polohou. Změna délky pružiny při tomto zatížení se vypočítá pomocí podobnosti trojúhelníků, které jsou znázorněny na obrázku 29. Matematický zápis podobnosti trojúhelníků vypadá následovně.

$$\tan \alpha = \frac{x_k}{a_k} = \frac{x_p}{a_p}$$

Vyjádření a výpočet změny délky pružiny:

$$x_p = \frac{x_k \cdot a_p}{a_k} = \frac{0,300 \cdot 0,600}{0,870} = 0,2069 \text{ m} = 206,9 \text{ mm}$$

Z výpočtů lze vidět, že kvůli menší páce je na pružinu vyvíjena větší síla, než na pneumatiku. Zároveň je však změna délky pružiny menší než kdyby byla pružina umístěna ve stejné vzdálenosti od rotační vazby jako kolo.

4.3 VÝPOČET TUHOSTI PRUŽINY

Z nyní již známého zatížení pružiny a změny délky pružiny lze navrhnout pružinu. Před návrhem je ale nutné zvolit materiál a rozměry pružiny. Materiál uvažujme ocelový pružinový drát, kalený a popouštěný podle ČSN EN 10270-2:2001 s modulem pružnosti v tahu $E = 207$ GPa, modulem pružnosti ve smyku $G = 81,5$ GPa a hustotou $\rho = 7850$ kg·m⁻³. [32]

Pro tuhost pružiny k platí

$$k = \frac{F}{x}$$

kde F je osová síla působící na pružinu a x je změna délky pružiny. [32] V našem případě se požadovaná tuhost pružiny spočítá jako

$$k_p = \frac{F_p}{x_p} = \frac{32\,005}{0,2069} = 154\,688 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

4.4 NÁVRH ROZMĚRŮ PRUŽINY

Tuhost válcové vinuté pružiny se spočte podle vztahu:

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n_a}$$

kde d je průměr drátu, D je střední průměr závitů pružiny a n_a je počet činných závitů pružiny. [31]

Zajímavé je, že tuhost pružiny není závislá na velikosti stoupání závitů, pouze na průměru drátu, materiálu, středním průměru závitů a počtu činných závitů. Při zvoleném průměru drátu d 24 mm, středním průměrem závitů pružiny D 160 mm a daném materiálu je tedy tuhost pružiny závislá na počtu činných závitů. Ten si z rovnice výše vyjádříme a spočítáme jako

$$n_a = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot k} = \frac{0,024^4 \cdot 81,5 \cdot 10^9}{8 \cdot 0,16^3 \cdot 154\,688} = 5,33$$

Pružina tedy musí být navinuta tak, aby počet činných závitů byl 5,33. Pružina musí být vinuta na válec o průměru D_v , aby byl při daném průměru drátu dosažen požadovaný střední průměr závitů 160 mm. Rozměr D_v je zároveň vnitřní průměr pružiny.

$$D_v = D - d = 0,160 - 0,024 = 0,136 \text{ m} = 136 \text{ mm}$$

Je důležité si uvědomit, že úhel stoupání závitů pružiny musí být zvolen dostatečně velký, aby při maximálním stlačení pružiny nebyla vymezena vůle mezi jednotlivými závity. Pružina stlačená na doraz vůči absolutně nezatíženému stavu bude mít tedy délku zkrácenou o dvojnásobek změny délky při statickém zatížení automobilem, tedy o 413,8 mm. Pokud tuto hodnotu vydělíme počtem činných závitů, budeme mít změnu délky na jeden činný závit x_z . Úhel stoupání φ závisí na průměru použitého drátu a středním průměru závitů pružiny, a musí být takový, aby každý závit vystoupal alespoň o hodnotu $x_z + d$. Matematicky lze tuto úvahu napsat následovně:

$$\tan \varphi = \frac{x_z + d}{\pi \cdot D}$$

a pro úhel stoupání φ tedy platí

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{x_z + d}{\pi \cdot D} = \frac{0,078 + 0,024}{\pi \cdot 0,160} = 11,47^\circ$$

Aby při maximálním zdvihu kola nebyla vymezena vůle, je třeba aby úhel stoupání závitů vinuté pružiny byl alespoň $11,47^\circ$, ideálně více kvůli rezervy. Pro vymezení horní polohy kola je navíc vhodné umístit mezi rameno nápravy a karoserii pryžový doraz. Pro přehlednost jsou parametry pružiny zpracovány do tabulky.

Tab. 2 Parametry pružiny vozidla

Parametr	Značka	Hodnota	Jednotka
Modul pružnosti ve smyku	G	81,5	[GPa]
Průměr drátu	d	24	[mm]
Střední průměr závitů pružiny	D	160	[mm]
Počet činných závitů	n_a	5,3	[-]
Úhel stoupání závitů	φ	>11,5	[°]

4.5 VLASTNÍ FREKVENCE KMITÁNÍ

Vlastní frekvence kmitání je specifická vlastnost soustavy. Pro vozidla se počítají vlastní frekvence kmitání neodpružených hmot, odpružených hmot, kabiny a dalších součástí. Obecně se vlastní úhlová frekvence kmitání ω spočte jako

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

kde k je tuhost a m hmotnost. Vlastní frekvence kmitání tedy nezáleží na koeficientu tlumení.

Vlastní úhlová frekvence netlumeného kmitání odpružených hmot našeho vozidla ω_{02} se spočte:

$$\omega_{02} = \sqrt{\frac{k_p}{m_2}} = \sqrt{\frac{154\,688}{2\,040}} = 8,71 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

což po vydělení hodnotou 2π vychází 1,39 Hz. [32]

Vlastní úhlová frekvence netlumeného kmitání neodpružených hmot vozidla ω_{01} se spočte:

$$\omega_{01} = \sqrt{\frac{k_r + k_p}{m_1}} = \sqrt{\frac{154\,688 + 260\,000}{210}} = 44,44 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

což po vydělení hodnotou 2π vychází 7,07 Hz. [32]

Pro pohodlí posádky je důležitá frekvence kmitání odpružených hmot, tedy karoserie, kde se posádka nachází. Hodnota 1,39 Hz odpovídá 83,4 kmitům za minutu, což je zhruba uprostřed požadovaného intervalu (65 až 110 kmitů za minutu), který je lidskému tělu přirozený, a má na člověka nejmenší vliv. [2]

Při zatížení vozidla vyzbrojenou osádkou se změní váha odpružených hmot, změní se tedy i vlastní úhlová frekvence netlumeného kmitání odpružených hmot. Označme ji ω_{03} . Výpočet bude stejný jako u vlastní úhlové frekvence kmitání, pouze se navýší hmotnost o hmotnost vojáků na jedno kolo. Hmotnost odpružených hmot na jedno kolo m_3 spočteme jako

$$m_3 = m_2 + \frac{13 \cdot 110}{8} = 2040 + \frac{13 \cdot 110}{8} = 2\,218,75 \text{ kg}$$

Vlastní úhlová frekvence netlumeného kmitání ω_{03} tedy bude

$$\omega_{03} = \sqrt{\frac{k_p}{m_3}} = \sqrt{\frac{154\,688}{2\,218,75}} = 8,34 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

což odpovídá 1,32 Hz tedy 79,7 kmitům za minutu. Oproti původním 83,4 kmitům za minutu pro pohotovostní hmotnost se hodnota tedy změnila nepatrně. Tímto výpočtem byl potvrzen původní předpoklad, že progresivita odpružení není pro náš model třeba, protože vlastní frekvence kmitání se při naložení vozidla nezmění tak rapidně, aby klesla mimo požadovaný interval. Lineární charakteristika odpružení tedy naprosto vyhovuje.

4.6 KOEFICIENT TLUMENÍ TLUMIČE

Aby nedocházelo k rezonanci při kmitání používají se k tlumení kmitů tlumiče. Tlumiče zpravidla mění kinetickou energii na teplo. K vytváření tepla dochází buď třením mechanických částí nebo škrcením průtoku kapaliny.

Při návrhu tlumiče je důležitá veličina poměrný útlum D . Poměrný útlum z hlediska komfortu by měl se měl ideálně pohybovat kolem hodnoty 0,2 a z hlediska bezpečnosti kolem hodnoty 0,4. Lze prohlásit že vhodný poměrný útlum v tomto případě bude kompromis, tedy hodnota 0,3. Parciální poměrný útlum D_2 lze pro náš systém odpružení a tlumení definovat jako [33]

$$D_2 = \frac{b_p}{2 \cdot \sqrt{k_2 \cdot m_2}}$$

V našem případě je však poměrný útlum zvolený, a je třeba dopočítat koeficient tlumení b_p , který lze vyjádřit a dopočítat z předchozí rovnice:

$$b_p = 2 \cdot D_2 \cdot \sqrt{k_2 \cdot m_2} = 2 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{254\,688 \cdot 2040} = 13\,676 \text{ s}^{-1}$$

Koeficient tlumení b_p je vlastnost tlumiče, která je závislá na rozměrech pracovního válce tlumiče, rozměrech pístu, rozměrech a geometrii škrtících ventilů, viskozitě tlumící kapaliny, mechanickém tření mezi válcem a pístem a dalších veličinách. Zároveň se při návrhu tlumiče musí zohlednit tepelná roztažnost kapaliny, riziko kavitace, změna viskozity při změně teploty, pění tlumičové kapaliny a prosakování tlumičové kapaliny netěsnostmi. Navrhnout dvouplášťový hydraulický tlumič včetně rozměrů, materiálu a typu tlumící kapaliny tak, aby dosahoval požadovaného koeficientu tlumení, by mohlo být z hlediska náročnosti náplní samostatné diplomové práce, proto se jeho podrobným návrhem tato bakalářská práce nezabývá.

Důležité je na závěr zmínit, jaká musí být minimální změna délky tlumiče v krajních polohách. Tlumič umístěný v ose vinuté pružiny bude mít stejnou změnu délky při pohybu kola do krajních pozic jako pružina. Rozměry tlumiče tedy musí být dimenzovány tak, aby rozdíl délky ve stlačené a roztažené poloze byl alespoň 413,8 mm. Prakticky musí být délka chodu tlumiče větší, protože během jízdy terénem může dojít setrvačností k pohybu kola pod svou nezátíženou polohu. Zároveň musí být píst se škrtícími ventily při statickém zatížení pružiny vozidlem ideálně uprostřed pracovního válce. Tomuto faktu musí být přizpůsobena délka pístnice.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo rozdělit vojenská vozidla tak, aby mohly být přehledně charakterizovány jejich systémy odpružení a tlumení, a rozebrat jednotlivé druhy odpružení a tlumení používané pro vojenská vozidla. Součástí zadání bakalářské práce bylo také koncepčně navrhnout systém odpružení a tlumení obrněného vozidla s pohonem 8x8 včetně základního výpočtu důležitých charakteristik

První dvě kapitoly této práce popisují právě jednotlivé druhy odpružení a tlumení, které vojenská vozidla využívají. Důležitá je pro odpružení charakteristika pružiny, která může být lineární nebo progresivní. Pružiny s progresivní charakteristikou se používají zejména pro nápravy, jejichž relativní zatížení se rapidně změní při zatížení vozidla nákladem či posádkou. Při použití progresivní pružiny při zatěžování klesá vlastní frekvence kmitání vozidla pomaleji, než při použití lineární pružiny, což je žádoucí z toho důvodu, aby neklesla vlastní frekvence kmitání pod kritickou hodnotu, tedy aby kmitání nemělo negativní vliv na posádku a zbraňový systém. Další výhodou progresivního odpružení je, že při zatížení klesá světlá výška vozidla pomaleji. Systémy tlumení se používají jako doplněk odpružení, které nemají samotlumící efekt, nebo které mají vlastní tlumení nedostatečné. Systémy tlumení tlumí kmity, a zvyšují tak komfort jízdy i bezpečnost.

Ve třetí kapitole jsou rozdělena vojenská vozidla, je však obtížné pro každý druh vozidla jasně určit používaný systém odpružení a tlumení, protože se mnoho druhů systémů odpružení a tlumení vyskytuje u více druhů vojenských vozidel. Každý systém odpružení a tlumení má své výhody a nevýhody, proto záleží volba odpružení a tlumení vozidla na požadavcích kladených na vozidlo a preferencích zákazníka. Vozidla byla rozdělena na kolová a pásová, a pro každý druh vojenského vozidla byl vybrán nejméně jeden hojně používaný model, a byl charakterizován jeho systém odpružení a tlumení.

Čtvrtá kapitola se zabývá koncepčním návrhem systému odpružení a tlumení obrněného transportéru. Zvolen byl vůz s páteřovým rámem, lineárními válcovými vinutými pružinami a hydraulickými teleskopickými tlumiči. Zvoleny byly i vstupní parametry jako materiál pružiny nebo průměr drátu pružiny tak, aby byla zaručena dobrá dostupnost polotovaru. Po provedených výpočtech vyšla požadovaná tuhost pružiny k_p 154 688 N·m⁻¹. Při této tuhosti je vlastní frekvence kmitání vozidla v pohotovostním stavu 83,4 min⁻¹, a při naložení osádkou 79,7 min⁻¹. Obě hodnoty jsou v intervalu, který má na člověka nejmenší negativní dopad, byla tedy ověřena i vhodnost použití pružin s lineární charakteristikou. Koeficient tlumení tlumiče b_p vyšel 13 676 s⁻¹, což při zvoleném koeficientu útlumu 0,3 zajišťuje kompromis mezi jízdním komfortem a bezpečností jízdy.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily*. 4. vydání. Brno: Avid, 2012. ISBN 978-80-87143-24-7.
- [2] PILÁRIK, Milan a Jiří PABST. *Automobily: pro obor vzdělání Automechanik*. 3., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 2014. ISBN 978-80-7333-100-9.
- [3] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-x.
- [4] Jeep Willys MB. *Wikipedia.org* [online]. 25.2.2018 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jeep_Willys_MB
- [5] Frame Painting Completed. In: *1943 Willys MB Jeep Restoration Project* [online]. 2013 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://lancesjeep.blogspot.cz/2013/05/frame-painting-completed.html>
- [6] 1983 LHD LANDROVER DEFENDER 110 STATIONWAGON 3.5 LTRE V8 ONLY 35000 MILES FROZEN GRAY. In: *DEFENDER EXCHANGE* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.defenderexchange.com/listing/1983-lhd-landrover-defender-110-stationwagon-3-5-ltre-v8-only-35000-miles-frozen-gray/>
- [7] BRAUN, Pavel. *Bojová a speciální vozidla - I: konstrukce základních typů kolových vozidel AČR*. Brno: Univerzita obrany, 2007. ISBN 978-80-7231-272-6.
- [8] Tatrovácká koncepce. In: *TATRA VÁS DOSTANE DÁL* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/tatrovacka-koncepce/>
- [9] BTR-152. *TANK ENCYCLOPEDIA* [online]. 22.11.2014 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.tanks-encyclopedia.com/coldwar/USSR/soviet_BTR-152.php
- [10] BTR-152. In: *Étoile Rouge* [online]. 2012 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.krasnayazvezda.com/terre/materiels/transport_troupes/btr152.php
- [11] Daimler Ferret. In: *TANKS ENCYCLOPEDIA* [online]. 14.11.2014 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.tanks-encyclopedia.com/coldwar/UK/Daimler_Ferret
- [12] Ferret Mk 2 – WalkAround. In: *NET-MAQUETTES* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.net-maquettes.com/pictures/ferret-mk-2-walkaround/>
- [13] Pásové vozidlo. *Wikipedie* [online]. 5.10.2017 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1sov%C3%A9_vozidlo
- [14] ŽALUD, Zdeněk a Vlastimil NEUMANN. *Bojová a speciální vozidla II: podvozky BSV*. Brno: Univerzita obrany, 2014. ISBN 978-80-7231-980-0.
- [15] Bojové vozidlo pěchoty. *Wikipedie* [online]. 4.10.2017 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bojov%C3%A9_vozidlo_p%C4%9Bchoty

- [16] BMP-1. *TANKS ENCYCLOPEDIA* [online]. 1.12.2014 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.tanks-encyclopedia.com/coldwar/USSR/soviet_BMP-1.php
- [17] CZK - BVP-1. In: *VALKA.cz* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://forum.valka.cz/topic/view/10483/CZK-BVP-1>
- [18] Tank. *Wikipedie* [online]. 28.2.2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tank>
- [19] LT vz. 38 - PzKpfw 38(t). *Fronta.cz* [online]. 4.8.1999 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.fronta.cz/lt-vz-38>
- [20] U Nového Jičína opravují historické tanky, stroje budou plně funkční. In: *IDNES.cz* [online]. 13.4.2014 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://ostrava.idnes.cz/v-senove-u-noveho-jicina-opravuji-unikatni-historicke-tanky-prj-/ostrava-zpravy.aspx?c=A140404_2053359_ostrava-zpravy_dar
- [21] T-34/76. *TANKS ENCYCLOPEDIA* [online]. 30.6.2014 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.tanks-encyclopedia.com/ww2/soviet/soviet_T34-76.php
- [22] *Zbraně druhé světové války: velká encyklopedie*. Praha: Svojtka & Co., 2000. ISBN 80-7237-247-5.
- [23] Christie suspension on T-34 tank. In: *Imgur* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://imgur.com/gallery/QSg03>
- [24] MBT-70 (KPz-70). *Military Factory* [online]. 5.4.2017 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.militaryfactory.com/armor/detail.asp?armor_id=472
- [25] The MBT-70's hydropneumatic suspension is gonna be dank. In: *WARTHUNDER* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/Warthunder/comments/6x5b53/the_mbt70s_hydropneumatic_suspension_is_gonna_be/
- [26] MBT-70 Walk Around Page 2. In: *Prime Portal* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: http://www.primeportal.net/tanks/ulrich_wrede/mbt-70/index.php?Page=2
- [27] SV výrobní, s.r.o. In: *EVROPSKÁ DATABANKA* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/firma-128149-sv-vyrobní-prostejov>
- [28] GLORIOUS T-14 ARMATA PICTURES. In: *Sturgeon's House* [online]. 18.4.2017 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://sturgeonshouse.ipbhost.com/topic/131-glorious-t-14-armata-pictures/?page=43>
- [29] Dělostřelecký tahač. *Wikipedie* [online]. 30.8.2017 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Blost%C5%99leck%C3%BD_taha%C4%8D
- [30] M4 High Speed Tractor Picture Walk Around. In: *Historic Military Vehicle Forum* [online]. 19.3.2012 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://hmvf.co.uk/topic/20770-m4-high-speed-tractor-picture-walk-around/>

- [31] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [32] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [33] Jaguar E-Type Series III Torsion Bars - CO-34732. In: *XKs UNLIMITED* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://xks.com/i-6917218-jaguar-e-type-series-iii-torsion-bars-co-34732.html>
- [34] Meritor launches aftermarket air spring product line. In: *Fleet Equipment* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.fleetequipmentmag.com/meritor-aftermarket-air-spring/>
- [35] Hypercoils 5" x 7" Progressive Torque Link Spring - 600 lbs to 1200 lbs. In: *KARL Performance* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://karlperformance.com/i-24717388-hypercoils-5-x-7-progressive-torque-link-spring-600-lbs-to-1200-lbs.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_k	[m]	Délka ramena kola
a_p	[m]	Délka ramena pružiny
b_p	[s ⁻¹]	Koeficient tlumení tlumiče
b_r	[s ⁻¹]	Koeficient tlumení pneumatiky
d	[m]	Průměr drátu pružiny
D	[m]	Střední průměr závitů pružiny
D_2	[-]	Poměrný útlum
D_v	[m]	Průměr válce na vinutí pružiny
F	[N]	Síla
F_k	[N]	Síla působící na kolo při statické poloze v pohotovostním stavu
F_p	[N]	Osová síla působící na pružinu
g	[m·s ⁻²]	Gravitační zrychlení
G	[Pa]	Modul pružnosti ve smyku
k	[N·m ⁻¹]	Tuhost pružiny
k	[N·m ⁻¹]	Tuhost
k_p	[N·m ⁻¹]	Tuhost pružiny
k_r	[N·m ⁻¹]	Radiální tuhost pneumatiky
M	[N·m]	Ohybový moment
m	[kg]	Hmotnost
m_1	[kg]	Hmotnost neodpružených hmot (vztaženo na jedno kolo)
m_2	[kg]	Hmotnost odpružených (vztaženo hmot na jedno kolo)
m_3	[kg]	Hmotnost vozidla vztažena na jedno kolo při naložení posádky
m_c	[kg]	Celková hmotnost
m_n	[kg]	Hmotnost neodpružených hmot
m_p	[kg]	Pohotovostní hmotnost
n_a	[-]	Počet činných závitů
x	[m]	Délka
x_k	[m]	Změna výšky kola ve statické poloze oproti vyvěšení
x_p	[m]	Změna délky pružiny ve statické poloze oproti vyvěšení
x_z	[m]	Změna délky vztažená na jeden činný závit
α	[°]	Změna úhlu ramena ve statické poloze oproti vyvěšení
φ	[°]	Úhel stoupání závitů

ω_{01}	[rad·s ⁻¹]	Vlastní úhlová frekvence kmitání neodpružených hmot
ω_{02}	[rad·s ⁻¹]	Vlastní úhlová frekvence kmitání odpružených hmot v pohotovost. stavu
ω_{03}	[rad·s ⁻¹]	Vlastní úhlová frekvence kmitání odpružených hmot při naložení posádky