



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KINEMATICKÉ STRUKTURY PÁSOVÝCH PODVOZKŮ

KINEMATIC STRUCTURES OF TRACKED CHASSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Chlud

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Tůma

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Martin Chlud
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Tůma
Akademický rok:	2016/17

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:

Kinematické struktury pásových podvozků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši v oblasti pásových podvozků a jejich kinematických struktur. Na základě této rešerše student provede analýzu jednotlivých typů kinematik pásových podvozků. Dále student provede ideový návrh pásového podvozku pro jednomístné terénní vozidlo

Cíle bakalářské práce:

- 1) Rešerše v oblasti pásových podvozků
- 2) Analýza jednotlivých kinematických struktur
- 3) Ideový návrh pásového podvozku

Seznam doporučené literatury:

Lynxmotion [online]. 2016. [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: [www.lynxmotion.com/](http://www lynxmotion.com/)

RobotShop: Putting robotics at your service [online]. 2016. [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/>

Pololu Corporation: Robotics & Electronics [online]. 2016. Las Vegas [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: www.pololu.com

XRide Group [online]. 2016. [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: <http://xridegroup.com/>

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1986. ISBN 55-600-86.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce představuje stručný přehled a historii pásových podvozků s důrazem na jednomístná vozidla. Ve druhé části se práce zabývá analýzou jednotlivých kinematických členů pásového podvozku. Třetí část se zabývá návrhem jednomístného pásového vozidla na základě poznatků z předchozích částí.

ABSTRACT

This thesis presents a brief overview and history of tracked vehicles with emphasis on single-seat vehicles. In second part, the thesis deals with the analysis of individual kinematic members of the tracked chassis. The third part deals with the design of single-seat vehicle, based on knowledge from previous parts.

KLÍČOVÁ SLOVA

podvozek, pás, odpružení, terénní, vozidlo, kinematické struktury

KEYWORDS

chassis, track, suspension, all-terrain, vehicle, kinematic structures

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHLUD, M. *Kinematické struktury pásových podvozků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Tůma.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Tůmovi za cenné rady a náměty, stejně jako za trpělivost a schovívavost.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 19.5. 2017

.....

Chlud Martin

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.....	10
2.1	Historie pásových vozidel	10
2.2	Současnost	12
2.3	Osobní vozidla.....	13
2.3.1	Sněžný skútr	13
2.3.2	DTV Shredder	14
2.3.3	Howe and Howe Technologies	15
2.3.4	Prototypy	16
2.3.5	Vozidla s přidavnými pásy	17
3	VLASTNOSTI A KONSTRUKCE PÁSOVÝCH PODVOZKŮ	18
3.1	Vlastnosti pásových podvozků	18
3.2	Skladba podvozku	19
3.3	Typy pásů	21
3.4	Řízení.....	23
4	KINEMATICKÉ STRUKTURY.....	24
4.1	Zavěšení pojezdových kol.....	24
4.1	Odpružení	25
4.2	Napínací mechanismy	28
4.3	Typy podvozků	29
5	NÁVRH PÁSOVÉHO VOZIDLA	33
5.1	Návrh základních parametrů.....	33
5.2	Popis konstrukce.....	33
6	VÝSLEDNÉ PARAMETRY VOZIDLA A ZHODNOCENÍ.....	43
7	ZÁVĚR.....	45
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	48

1 ÚVOD

Pásové vozidlo je takové vozidlo, jemuž k pohybu slouží pásy. Ty mají oproti kolovým vozidlům výhodu větší styčné plochy s povrchem a tedy lepší průchodnost nezpevněným terénem. To zlepšuje jejich jízdní vlastnosti zejména v bahně nebo na sněhu kde mají klasická kola tendenci prokluzovat.

Existuje mnoho variant pásových podvozků, jejichž konstrukce a uspořádání závisí na účelu a použití. Pásové podvozky nejčastěji využívají jak vojenská vozidla, která těží z výhody lepší průjezdnosti terénem, tak stavební stroje, které využívají větší styčné plochy k rozložení své hmotnosti a k lepší stabilitě. Lze se ale setkat i s menšími vozidly pro jednu osobu, kterým je věnována tato práce.

Cíle této práce jsou: rešerše v oblasti pásových, zejména malých jednomístných vozidel a analýza kinematických struktur v podvozku. Dalším cílem je na základě poznatků navrhnout ideový návrh podvozku pro jednomístné pásové vozidlo.

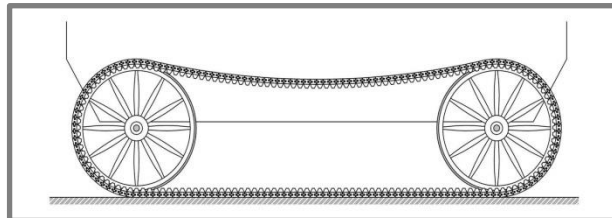


Obr. 1 Příklad malého pásového vozidla [7]

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

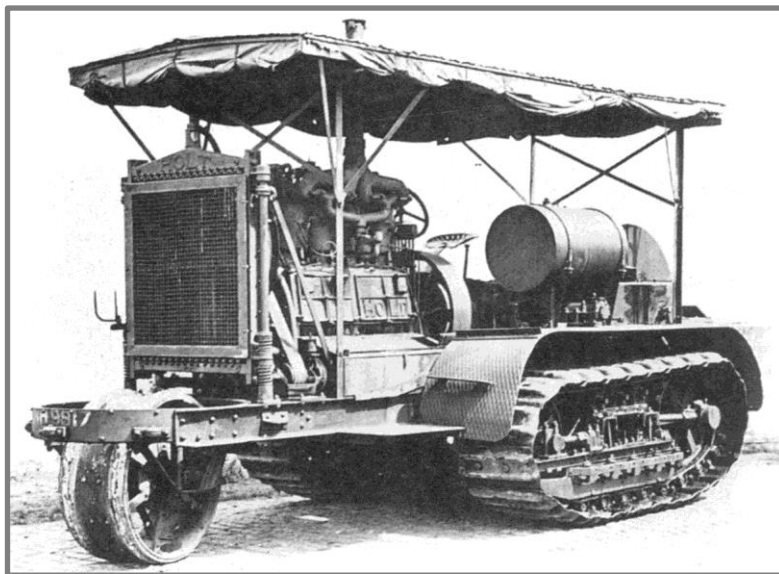
2.1 Historie pásových vozidel

Přestože hlavní rozmach pásových vozidel nastal až za 1. sv. války, jejich původ lze vysledovat až do roku 1770, kdy s myšlenkou pásu na vozidle pro zlepšení průchodnosti terénem přišel anglický vynálezce Richard Lovell Edgeworth (Obr. 2).



Obr. 2 Návrh R. Edgewortha, 1770 [8]

Přestože pak v 18. a 19. století vznikalo množství prototypů pro zemědělský průmysl, praktického využití a většího rozšíření se pásové vozidla dočkala až na začátku 20. století s příchodem spalovacích motorů. Největší zásluhu na tom měl americký průmyslník Benjamin Holt, jenž si nechal v roce 1907 jako první v USA patentovat funkční zemědělský traktor vybavený housenkovým podvozkem (Obr. 3).



Obr. 3 Traktor Holt 75 [9]

Tento model se zásadně lišil od tehdejší konkurence a umožňoval jízdu na mokrém, bahnitém či svažitém terénu. Pro tyto jeho vlastnosti a schopnost tahat těžká zařízení jej po vypuknutí 1. sv. války začala využívat Britská a Francouzská armáda jako terénní tažné vozidlo a dělostřelecký tahač. Do konce války využívaly armády Dohody přes 10 000 traktorů Holt.

Traktory Holt se také staly zdrojem a inspirací pro vývoj prvního britského obrněného bojového vozidla – tanku (Obr. 4), zejména pro schopnost překonávat překážky zákopové války. Tento vynález měl rozhodující vliv na průběh a dobu trvání 1. sv. války.



Obr. 4 Tank Mark I, první tank za 1. sv. války [10]

Nevýhodou těchto strojů však stále zůstávala nízká rychlost (okolo 6,5 km/h), nízký dojezd (asi 30km) a absence jakéhokoliv odpružení.

Největší skok kupředu ve vývoji pásových vozidel však nastal až za 2. sv. války s vývojem výkonnějších motorů. To umožnilo konstruktérům stavět těžké tanky, jež dosahovali hmotnosti až 70 tun, jako německý Tiger II (Obr. 5). Narostla také rychlost, kterou byla vozidla schopna dosáhnout v terénu. Především díky stále se zdokonalujícímu odpružení. Za nejrychlejší tank 2. sv. války je považován německý střední tank Panther V, jehož rychlost v terénu dosahovala až 46 km/h (Obr. 6).



Obr. 6 Těžký tank Tiger II [11]



Obr. 5 Střední tank Panther V [11]

Potřeba přepravovat lidi a náklad těžkým terénem či skrz trosky však stále zůstávala a vedla k zavedení i menších vozidel typu Half-track (Obr. 7 a 8), což je ve své podstatě automobil s říditelnou nápravou vepředu a pásy pro pohon vzadu. Tato vozidla mohla díky rozložení váhy na pásech vézt těžší náklad než auta srovnatelné velikosti a při tom překonávat překážky pro normální auta nesjízdné.



Obr. 7 Halftrack M3 (USA) [12]



Obr. 8 SdKfz 2 (GE) [13]

2.2 Současnost

V současnosti již použití pásových vozidel není omezeno pouze na vojenské účely, ale setkáme s nimi všude tam, kde je třeba překonat těžký či měkký terén (zemědělství), nebo je třeba rozložit hmotnost vozidla, aby nedošlo k jeho poškození či poškození jízdniho povrchu (zejména stavební stroje).

Typickými odvětvími, kde se setkáváme s pásovými vozidly, jsou:

- zemědělství a lesnictví (Obr. 9 a 10)
- stavební stroje (Obr. 11)
- armádní stroje
- stroje pro jízdu na sněhu (Obr. 12)



Obr. 9 Pásový traktor John Deere 9560 [14]



Obr. 10 John Deere 2054 DHSP [14]



Obr. 11 Buldozer CAT D10T2 [15]



Obr. 12 Sněžná rolba Pisten Bully 400 [16]

Výše uvedená civilní vozidla nepotřebují k své činnosti vyvíjet příliš vysokou rychlost. Navíc musejí být pro větší efektivitu co nejvíce stabilní, a proto bylo z konstrukce vypuštěno jakékoliv progresivní odpružení, které je naopak nedílnou součástí vojenských vozidel.

2.3 Osobní vozidla

Za osobní pásová vozidla lze obecně označit vozidla sloužící primárně k přepravě osob a lehkého nákladu. Obvykle se jedná o malá, na svou velikost relativně rychlá a svižná vozidla v porovnání s výše uvedenými. Vedle rychlosti a schopnosti projet obtížným terénem je také kladen důraz na určitý komfort jízdy. Proto jsou tato vozidla vždy bez výjimky vybavena vhodným systémem tlumení a odpružení.

2.3.1 Sněžný skútr

Nejpočetnějším, průmyslově vyráběným, osobním vozidlem je v současnosti bezesporu sněžný skútr (Obr. 13). Jedná se o malé, rychlé, jednomístné motorové vozidlo určené pro jízdu na sněhu v otevřeném terénu.



Obr. 13 Sněžný skútr Yamaha SnoScoot [17]

O pohon se stará dvou nebo čtyř-dobý spalovací motor. Pohyb je zajištěn obvykle jedním gumovým pásem vzadu. O řízení se starají jedna nebo dvě lyže vpředu ovládané říditky. Jezdec sedí na skútru obkročmo a jízda se tak podobá jízdě na čtyřkolce.

Skútr jezdec téměř nechrání a jediným ochranným prvkem je malé čelní sklo. O svou bezpečnost se tak musí starat jezdec sám. Ke zvýšení bezpečnosti patří jak přilba a bezpečnostní oblek, tak správný trénink.

Cena a jízdní vlastnosti každého skútru závisí na výrobcí. Jeden z největších výrobců sněžných skútrů, Yamaha, na svých stránkách [17] uvádí ceny v přepočtu mezi 250 000 a 500 000,- Kč v závislosti na typu a výbavě skútru. Díky malému, ale výkonnému motoru mohou skútry v současnosti dosahovat rychlostí přes 150 km/h.

Pro svou obratnost a rychlost na sněhu, cenovou dostupnost a snadnou ovladatelnost je vhodným prostředkem zejména pro horské záchranáře, výzkumníky a do izolovaných arktických oblastí, kde slouží jako hlavní dopravní prostředek po většinu roku.

Kromě pracovního nasazení jsou sněžné skútry hojně využívány také k rekreacím jako lov, akrobacie, nebo závody, které v posledních letech nabírají na popularitě v severských zemích po celém světě.

2.3.2 DTV Shredder

Jedním z dalších zástupců osobních pásových vozidel na trhu je DTV Shredder (Obr. 14) kanadské firmy BPG Werks. Na trhu se poprvé objevil v roce 2013 a jedná se o malé vozidlo se dvěma gumovými pásy poháněné benzínovým motorem o výkonu 10 kW. Výrobce na svých stránkách [18] uvádí maximální rychlost 40 km/h a cenu v přepočtu 125 000,- Kč.



Obr. 14 DTV Shredder [18]

Stroj lze díky jeho malé velikosti a nízké hmotnosti (127 kg) přepravovat autem a kromě extrémních sportovců o něj má zájem i armáda. Zvláštní je, kromě své velikosti, i systémem řízení. Směr jízdy se zde neovládá říditky, ale náklonem jezdce podobně jako je tomu u skateboardu. Tím se jednotlivé pásy přibrzďují a stroj zatočí.

2.3.3 Howe and Howe Technologies

Howe and Howe Technologies je firma se sídlem v americkém Maine. Její nejznámější vozidlo je bezpilotní tank Ripsaw (Obr. 15)

Díky několika inovacím jako jsou lehké, odolné pásy a unikátní odpružení a především díky lehké konstrukci ze svařených trubek a použití diesellového motoru V8 s výkonem 485 kW je tank výjimečně pohyblivý a dosahuje rychlosti přes 100 km/h. Ripsaw MS-2 je často označován jako nejrychlejší tank planety. [2]



Obr. 15 Ripsaw MS-2 [22]

Mimo projektů pro armádu se firma zabývá i stavbou vozidel či robotických platform pro civilní sektor jako jsou záchranné složky nebo policejní sbory. Dále uvádím 2 vozidla této firmy spadající do kategorie jednomístných pásových vozidel.

Mini Ripsaw

Jedná se o vozidlo navržené pro rychlý transport osoby těžkým terénem (Obr. 16). Články pásů vlastní výroby jsou svařené s ocelových profilů a spojené ocelovými lany stejně jako je tomu i u tanku Ripsaw. Přestože jsou tyto pásy ocelové, jsou až o 80% lehčí než klasické článkové pásy. Je zde použit i stejný unikátní systém zavěšení pojezdových kol na nosnících ve tvaru L opatřených vahadlem se dvěma páry pojezdových kol. To má navíc uprostřed drážku na vedení speciálních vodících ostnů pásu.



Obr. 16 Mini Ripsaw [20]

Rám a motor vozidla jsou převzaty ze čtyřkolky. Vozidlo využívá čtyřdobý motor Polaris s výkonem 63 kW a je schopno dosáhnout rychlosti až 65 km/h.

Mini Ripsaw váží bez jezdce 550 kg a jeho odpružení se starají speciální vzduchové pružiny. Řízení je řešeno elektronicky - přibrzdováním jednotlivých pásů v závislosti na poloze řídicích pád. Vozidlo má takřka totožné jízdní vlastnosti jako čtyřkolka s tím rozdílem, že se dokáže otočit na místě a jeho světlá výška 30 cm mu umožňuje plynuleji a bez ořesů překonávat překážky. Jezdce kromě helmy a obleku chrání před rotujícími pásy kovová zábrana v místě nohou.

Vozidlo je s cenou 55 000 USD (v přepočtu za 1 375 000,- Kč) k mání pro civilní zákazníky, ale firma doufá, že o produkt projeví zájem jednotky zvláštního nasazení případně armáda a zafinancují další vývoj, což by mohlo cenu výrazně snížit. [2]

PAV Badger

Celý název zní Personal Assault Vehicle a slouží policejním a zásahovým týmům k ochraně řidiče při pronikání do budov a objektů obsazených zločinci či teroristy (Obr. 17). Jde o pásové vozidlo, jehož rozměry nepřesahují šířku 81 cm a výšku 123 cm. To mu umožňuje bez problémů projet dveřmi nebo se vejít do výtahu. Váží 1225 kg a díky pásům a silnému hydromotoru ze stavebního bagru je schopno prorazit si cestu i skrz cihlovou stěnu.



Obr. 17 PAV Badger [21]

Řidiče chrání plášť z balistické oceli a kevlaru, a také neprůstřelné sklo. Ochrana napomáhá i tvar přídě, jenž odklání střelbu od vozidla

2.3.4 Prototypy

Mimo výše zmíněné lze nalézt velké množství podomácku vyrobených prototypů pásových vozidel. Tyto stroje se liší jak velikostí, tak systémem řízení, nebo druhem použitých pásů, a proto je nelze obecně všechny popsat.

Nejčastěji se však jedná o design velmi podobný výše zmíněnému RipChair, tedy sedačka v ochranném rámu opatřeném pásy po stranách, nebo DTV Shredder, tedy pásová plošina na které jezdec stojí, opatřená řídicíky.

2.3.5 Vozidla s přídatnými pásy

Technicky se nejedná přímo o pásová vozidla, ale o pásovou variantu kolového vozidla, kdy se pásy buď nasadí přímo na kola, nebo jsou kola samotná nahrazena pásovými platformami.

Jedná se o relativně levnou a multifunkční variantu v porovnání s vozidlem jen na pásech. Pásy samotné stojí zlomek ceny vozidla a poskytují veškeré výhody pásového podvozku v těžkém terénu. Nejsou-li již třeba, lze dále vozidlo používat standartním způsobem a využívat možnosti vyšších rychlostí a nižší spotřeby paliva.

Přídatné pásy mohou využívat vozidla s náhonem na všechna kola, nejčastěji se setkáváme s offroady (Obr. 18), čtyřkolkami (i v 6 kolové variantě) (Obr. 19), a u obojživelných vozidel značky Argo (Obr. 20). O řízení, brždění a odpružení se stará vozidlo samotné, jako by bylo vybaveno koly. Tyto vozidla najdou uplatnění převážně na sněhu, ale využívají se i v bahnitých oblastech.



Obr. 18 Jeep Wrangler vybavený podvozkem Dominator [23]



Obr. 19 ATV Bombardier vybavený systémem MatTracks LiteFoot [24]

Novinkou jsou přídatné pásy typu Track'n Go, jenž lze na vozidlo nasadit během několika málo minut, a nevyžadují výměnu kol (Obr. 21).



Obr. 20 Argo Avenger 8x8 [7]



Obr. 21 Ford vybavený pásy Track'n Go [25]

3 VLASTNOSTI A KONSTRUKCE PÁSOVÝCH PODVOZKŮ

3.1 Vlastnosti pásových podvozků

Jak již bylo zmíněno v úvodu, pásová vozidla mají oproti vozidlům s kolovým podvozkem výhodu většího kontaktu s jízdním povrchem. Tím získává pásové vozidlo jak lepší trakci, tedy lepší tažnou i brzdou sílu. Díky pásu se rozkládá hmotnost vozidla a to má tak nízký měrný tlak a vyšší stabilitu, což zlepšuje jízdní vlastnosti na nezpevněném, či sypkém povrchu. Vozidlo má díky tomu i lepší stoupavost.

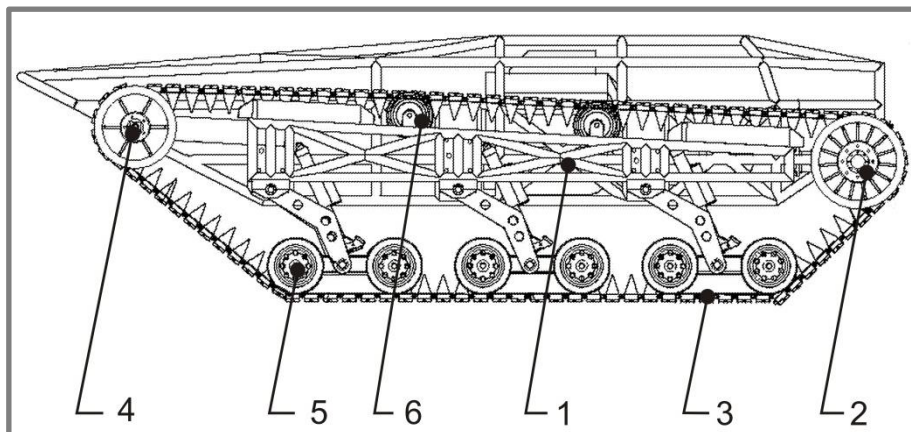
Velkou výhodou je i menší citlivost ke kvalitě povrchu, neboť se pás nemůže protrhnout. Pásové vozidla vynikají také v překonávání obtížných, zejména strmých terénních překážek jako jsou díry a příkopy nebo naopak schody a jiné objekty v cestě. Mezi jejich další výhody patří lepší manévrovatelnost vozidla, neboť oproti kolovým vozidlům mohou zatočit na místě bez nutnosti pohybu vpřed a vzad.

Nevýhodou těchto podvozků pak bývá většinou nízká provozní rychlost vozidla, vyšší mechanická složitost podvozku a jeho cena. To, že podvozek obsahuje velké množství pohyblivých částí, také klade vyšší nároky na údržbu a zkracuje jeho životnost. Navíc větší počet součástí zvyšuje hmotnost podvozku samotného, jenž se pak výrazně podílí na celkové hmotnosti vozidla a tedy i na jeho pohyblivosti. Větší styčná plocha s povrchem také klade větší nároky na pohonnou jednotku vozidla.

Další nevýhodou může být poškození, jež jsou pásová vozidla schopna napáchat na jízdním povrchu. Při jejich zatáčení se pásy neodvalují, ale smýkají, a přestože vozidla mají nižší měrnou hmotnost, jsou schopna napáchat značné škody na tvrdém povrchu jako je asfalt nebo dlažba. Ostré okraje pásů nicméně poškozují i měkké povrchy jako je trávník, pole nebo šterková cesta. Z toho důvodu musejí vozidla, u kterých hrozí poškození povrchu, používat gumové či pryžové pásy. Existují ale také gumové výplně do celoocelových pásů. To sice zhoršuje terénní jízdní vlastnosti, ale vozidla tak mohou cestovat rychleji, hladčeji a tišeji přes dlážděné plochy bez obav z jejich poškození.

Pásový podvozek klade vysoké nároky na pohonné ústrojí a mechaniku samotného pásu, který vyžaduje častou údržbu nebo i výměnu. Pásová vozidla tak nejsou uzpůsobená na dlouhé jízdy a je proto efektivnější je na místo určené dopravit vlakem nebo za pomoci podvalníku.

3.2 Skladba podvozku



Obr. 22 Schéma pojížděcího ústrojí tanku Ripsaw

1 – Podélný nosník; 2 – Hnací (turasové) kolo; 3 – Pás; 4 – Vodící kolo;
 5 – Pojezdová kola; 6 – Podpěrné kladky [26]

Pásový podvozek tvoří pásové pojížděcí ústrojí (Obr. 22), jež je za podélný nosník přichyceno k rámu vozidla pomocí tzv. příčníků.

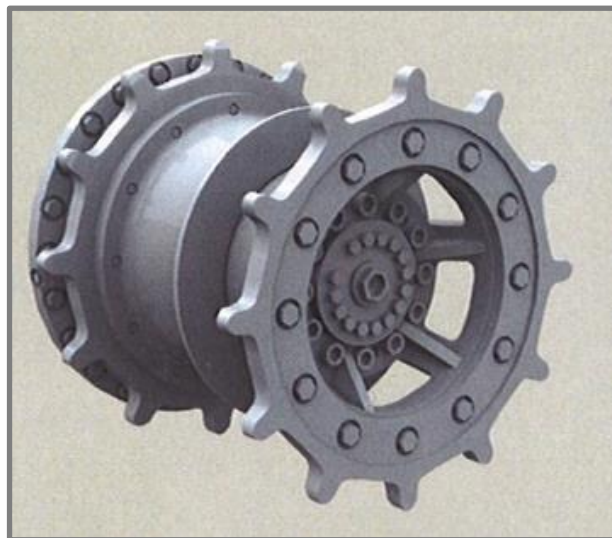
Podélný nosník – Spojuje všechny součásti pojížděcího ústrojí. Musí být dostatečně masivní a tuhý, aby odolal dynamickým zatížením při pohybu vozidla v terénu, a musí bezpečně a bez větších deformací odolat namáhání od zatížení stroje. Zároveň by měl umožňovat nerušenou funkci i údržbu ústrojí, případně snadnou výměnu poškozené části.

Hnací (turasové) kolo – Přenáší kroutící moment z motoru na pás. Po obvodu má zuby či lopatky, jimiž zabírá za čepy nebo drážky pásu a tím vozidlo pohání (Obr. 23). V provozních podmínkách nelze uchránit kolo před znečištěním. Mezi kolem a pásem dochází ke slisování nečistot a ty pak dále poškozují hnací kolo. Vzhledem k rychlému opotřebení zubů se u větších strojů používá ozubený věnec z jednoho nebo více kusů. Ten je k samotnému kolu připevněn pomocí šroubů a umožňuje v případě potřeby výměnu ozubení bez nutnosti měnit celé kolo. Menší stroje mají hnací kolo z jednoho kusu. Kolo je tak celkově pevnější a lehčí, ale při poškození se musí vyměnit celé.

Není-li hnací kolo odpružené, umísťuje se nad styčnou plochu pásu, aby veškeré nárazy pohltilo odpružení pojížděcích kol. Lze odpružit i hnací kolo, ale to bývá mechanicky velmi složité.

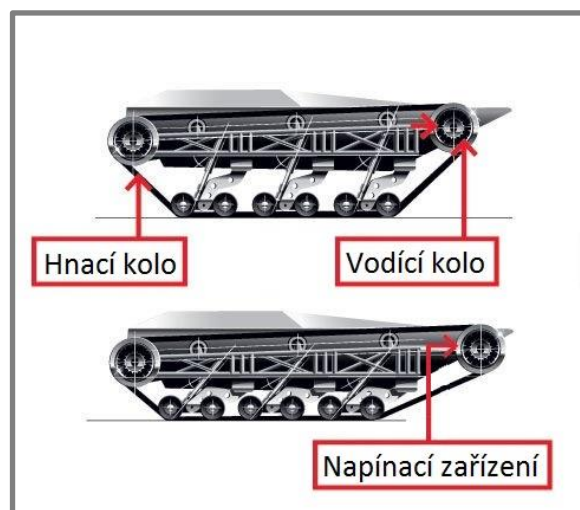
Výhodou bývá umístění hnacího kola do zadní části. Jeho pohybem se při jízdě vpřed pás napíná, a vozidlo tak lépe překonává měkký terén. Hnací kolo se v této pozici také méně zanáší nečistotami a méně zatěžuje pás.

Pásky – pásům je věnována zvláštní kapitola dále.



Obr. 23 Hnací kolo tanku Leopard [27]

Vodící kolo – Bývá umístěno na opačné straně než je hnací kolo a slouží k udržení pásu v přímém směru. Na rozdíl od hnacího kola nemá zuby a je po obvodu hladké. Aby se pás nesvlékl z kola, je opatřeno vedením, ať už po stranách či uprostřed. Absence zubů znamená, že kolo méně trpí na znečištění a jeho obvodová rychlost nemusí být synchronní s pásem. Často slouží také k napínání pásu nebo jeho povolení v případě údržby. Proto bývá uloženo v posuvném mechanismu vybaveném napínacím zařízením v podobě vinuté pružiny nebo hydraulicko-pneumatického systému (Obr. 24).



Obr. 24 Napínací zařízení [28]

Podpěrné kladky – jsou-li použity, podepírají horní větev pásu a zabraňují přílišnému prověšení pásu. Někdy se využívá i pevné vedení namísto kladkového.

Pojzdová kola – přenášejí zatížení z pásů na podélný nosník a slouží k vedení dolní větve pásu. K nosníku mohou být přichyceny napevno (nejčastěji u stavebních strojů) nebo pomocí systému odpružení.

3.3 Typy pásů

Pásy jsou, jak už název napovídá, nejdůležitější částí pásového podvozku. Mohou mít různou velikost či tvar, ale obecně je lze rozdělit na dva typy – kovové a gumové. Při volbě pásu je třeba dbát na faktory jako cena pásu, jeho hmotnost, rychlost vozidla, typ provozního povrchu anebo roční období či počasí za jakého bude stroj provozován.

Kovové pásy

Jinak též řetězové či článkové pásy jsou složeny z množství jednotlivých kovových článků, jež jsou spojeny pomocí čepů. Jedná se o nejstarší systém pásů používaný na vozidlech libovolné velikosti. Jsou odolné a mají dlouhou životnost za jakéhokoliv počasí a na jakémkoliv terénu. Jsou však mnohonásobně těžší a hlučnější než gumové, a neumožňují dosáhnout vysokých rychlostí. Navíc, nejsou-li vybaveny gumovými vložkami, nebo články pásu s gumovým povlakem, mohou vážně poškodit jízdní povrch.

Zuby hnacího kola mohou zabírat za čepy pásu nebo přímo za jeho články, které jsou vybaveny otvory (Obr. 25).

Díky tomu, že se pás skládá z jednotlivých článků, lze jej libovolně prodlužovat či zkracovat. Pás obsahuje jeden speciální koncový článek, v jehož místě se vždy rozpojuje. Články pásu mohou samy sloužit jako kontaktní člen mezi vozidlem a povrchem (armádní vozidla - Obr. 25). Jedná se o jednoduché řešení, ale v případě poškození článku je třeba pás rozpojit a článek vyměnit. Alternativou je přišroubovat na každý článek výměnnou opěrnou desku, která umožňuje výměnu bez nutnosti pás rozpojovat (stavební vozidla - Obr. 26). Zvyšuje se tak životnost, ale i hmotnost pásu. Tento systém navíc umožňuje zvolit vhodné opěrné desky podle potřeby. Hladké pro nezpevněné povrchy, s žebry pro větší tažné síly, nebo desky s gumovým povrchem.



Obr. 25 Kovový pás tanku Tiger [36]

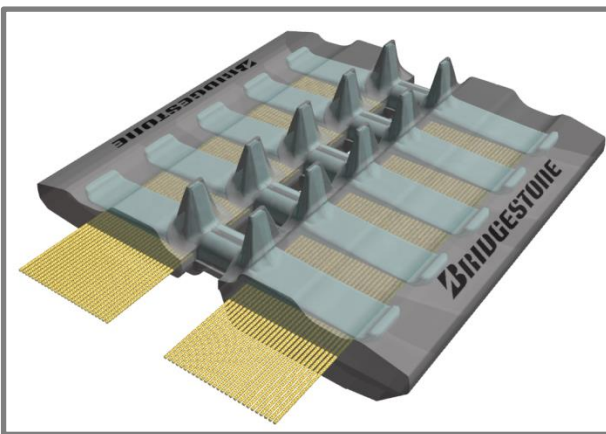


Obr. 26 Kovový pás s opěrnými deskami [37]

Gumové pásy

Na rozdíl od článkových pásů se gumové pásy vyrábějí v jednom kuse. Nejsou však zcela z gumy, neboť by nevydržely jakýkoliv delší provoz. Pro zpevnění jsou vždy vybaveny vnitřní výztuží. Příčně mohou být vybaveny ocelovou výztuží pro lepší záběr hnacího kola či na podporu pojezdových kol (Obr. 27). Podélné vyztužení zabraňuje roztržení pásu při zatížení. To se liší podle určení pásu. Kovové výztuže se používají u stavebních a zemědělských strojů, kdy je třeba co nejvyšší pevnost a únosnost. Neumožňují však příliš rychlou jízdu, neboť kovové výztuže špatně reagují na nerovnosti a mají tendenci praskat. U pásů pro sněžné skútry a osobní vozidla se tak využívá výztuh jako polyesterová, uhlíková či skelná vlákna.

Přenos výkonu z hnacího kola může probíhat klasicky pomocí zubů kola zapadajících do otvorů v pásu (sněžné skútry), třením (Obr. 9), nebo pomocí hnacího kola s otvory pro vnitřní ozubení pásu (Obr. 28).



Obr. 27 Struktura gumového pásu [38]



Obr. 28 John Deere 9RX [14]

Hlavní výhodou gumového pásu je, že nepoškozuje jízdní povrch. Za cenu mírného zhoršení jízdních vlastností umožňují vozidlu jízdu po téměř jakémkoliv povrchu. Oproti článkovým pásům jsou také mnohonásobně lehčí a umožňují pohodlnější a tišší jízdu. Jsou však výrazně dražší a daleko rychleji se opotřebugují, zvláště v kamenitém terénu. Navíc je třeba je po určité době dopínat, neboť se v průběhu času povolí.

Pásy pro kolové podvozky se vyrábějí přímo na míru konkrétního vozidla. Přestože jde o gumové pásy, mohou být složeny i ze článků, spojených buď čepem, nebo ocelovým řetězem (Obr. 29). Pás se pak zapojuje za použití pomocného nářadí.



Obr. 29 Pás Adair Pro Series pro vozidla Argo [39]

Kombinace

Používá se tam, kde je třeba využít výhody kovového či gumového pásu bez nutnosti výměny celých pásů. Kromě gumových vložek (Obr. 30) či opěrných desek pro kovové článkové pásy tak jde například o kovová žebra na gumových pásích pro zlepšení trakce u vozidel na sněh (Obr. 12).



Obr. 30 Gumové pásové vložky na buldozeru [40]

3.4 Řízení

Zatáčení závisí především na typu a funkci vozidla. Nejčastěji probíhá změnou rychlosti popř. i směru jednotlivých pásů. Toho lze dosáhnout několika způsoby:

- Dvojitý motor – umožňuje nezávislou změnu směru pásů a tím zatáčení na nulovém poloměru. Využívají je pomalé stavební stroje, kdy jeden motor pohání hydraulickou pumpu a ta pak dva nezávislé hydraulické motory.
- Brzděný diferenciál – mezi hnacími koly je umístěn diferenciál stejně jako na nápravě automobilu a brzdí se jedna nebo druhá strana.
- Směrové spojky a brzdy – zatáčení pomocí vypínání spojek na každé straně. Pro zatočení na větších poloměrech se doplňují brzdami.
- Dvojitý diferenciál – nejčastější způsob zatáčení, je efektivní, nedovoluje volný prokluz jednotlivých pásů a umožňuje zatočení na místě.

U vozidel s jiným počtem pásových platforem než dvě se zatáčí změnou směru některých z nich. Příkladem mohou být automobily a čtyřkolky popsané v kapitole 2.4. Jedná se ale i o sněžné skútry, které zatáčejí předními ližinami, nebo některé pásové rolby a lesní forvardery, které tvoří dva, kloubem spojené, natáčecí podvozky (Obr. 50).

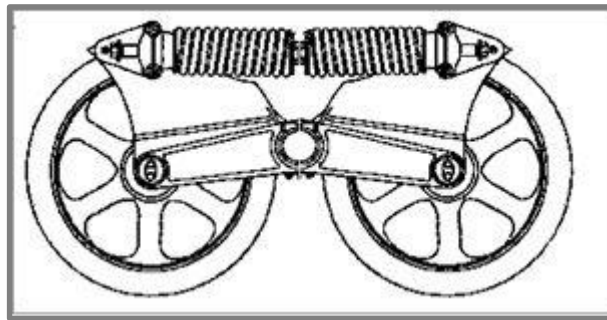
4 KINEMATICKÉ STRUKTURY

4.1 Zavěšení pojezdových kol

Pojezdová kola jsou hlavní komponentou zajišťující stabilitu vozidla. To, jak jsou k vozidlu uchycena, definuje jeho jízdní vlastnosti.

Pojezdová kola mohou být zavěšena několika způsoby:

- Systém Boggie: dvě či více kol jsou umístěna na ramenech se společnou osou, která jsou odpružena proti sobě navzájem. V praxi se lze setkat i rameny uchycenými na dvou osách blízko sebe. Odpružení je přímo vůči rámu vozidla. Je známé také jako Horstmannovo odpružení (Obr. 31). Je kompaktní, umožňuje snadný přístup a vozidlo se na něm chová stejně při jízdě vpřed i vzad. Nedovoluje však tak velkou výchylku kola jako jiné typy zavěšení. Díky své konstrukci také hůř reaguje větší na nerovnosti.



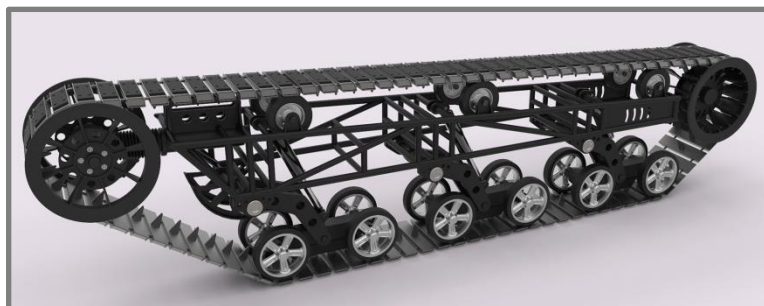
Obr. 31 Horstmannovo odpružení [29]

- Každé pojezdové kolo uchycené na vlastním, nezávisle odpruženém rameni. Známe také jako zavěšení Christie (Obr. 32). Odpružení může být realizováno pomocí pružin nebo torzních tyčí. U stavebních bagrů Bobcat se lze setkat i s uchycením jednotlivých kol na listových pružinách (Obr. 33). Tento typ nejlépe reaguje na nerovnosti. Umožňuje kolům velkou výchylku a větší pohybový rozsah pružiny. Navíc lze každé kolo nastavit zvlášť. Jízda je tak plynulejší a to dovoluje vozidlu dosahovat vyšších rychlostí. Pouze však vpřed. Při jízdě vzad se jízdní vlastnosti velmi zhorší v důsledku naklonění ramen. Obecně jde o velmi těžký systém, který vyžaduje velký prostor.



Obr. 32 Model nezávislého zavěšení pojezdových kol [31] Obr. 33 Lisové odpružení bagru Bobcat [32]

- Dvojice pojezdových kol na vahadle, které je za střed uchyceno k podélnému nosníku buď napevno (bez odpružení), nebo pomocí dalšího odpruženého nosníku (Obr. 34). Jde tak o modifikaci zavěšení Christie popsaného výše. Umožňuje použití více pojezdových kol a tím lépe rozložit hmotnost na pás. Zároveň je lehčí, neboť obsahuje méně odpružených ramen. To dovoluje lepší uchycení odpružení nebo celkové zmenšení rozměrů. Pojezdová kola jsou však také menší a mohou hůř reagovat na nerovnosti.



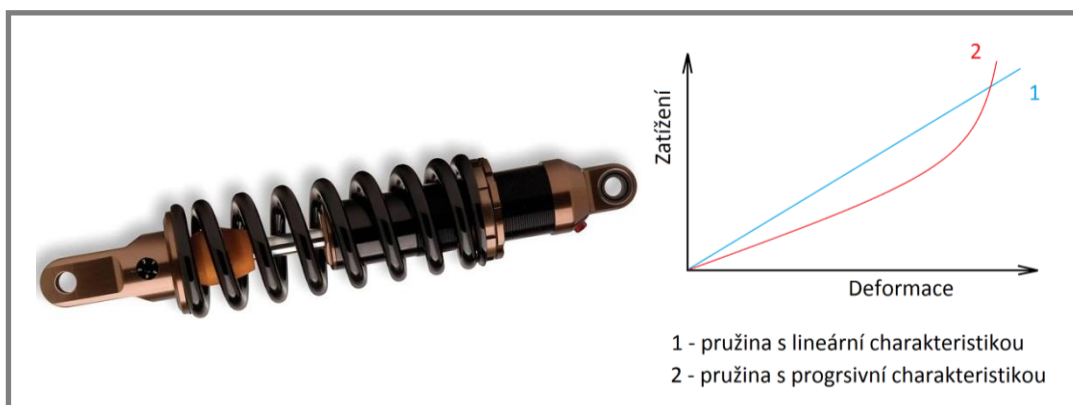
Obr. 34 Model zavěšení pojezdových kol tanku Ripsaw [30]

4.1 Odpružení

Zlepšuje jízdní vlastnosti. Zajišťuje neustálý kontakt pásu s členitým jízdním povrchem, tím zvětšuje styčnou plochu a zlepšuje trakci. Má výrazný vliv také na jízdní komfort a životnost pásu, který tak méně trpí rázy.

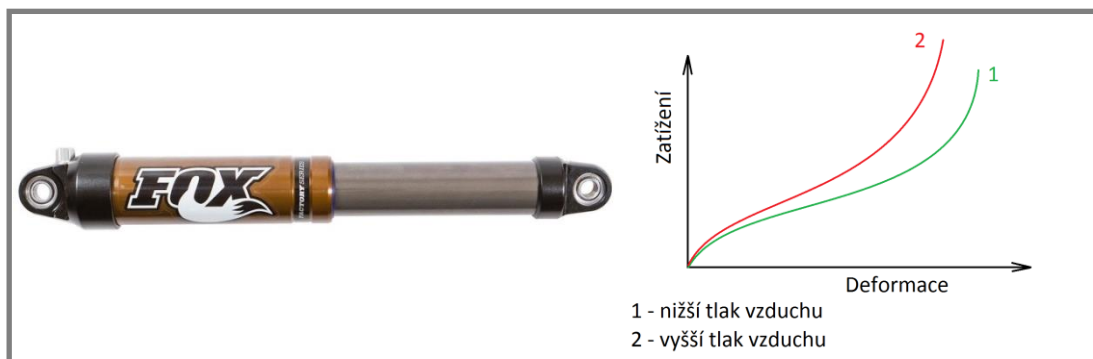
Odpružení a tlumení pásu může být realizováno pomocí několika možností, z nichž každá má své výhody i nevýhody. Nejběžněji používané jsou:

- Vinutá pružina s tlumičem (Obr. 35): konstrukčně jednoduché řešení s nízkými nároky na údržbu. Umožňuje velký zdvih kola, což je výhoda v nerovném terénu. Odpružení může být lineární nebo progresivní: změna průměru/stoupání pružiny. U malých pásových vozidel jde o nejčastější řešení, především kvůli kompaktním rozměrům, velké flexibilitě v tuhosti a snadnému seřízení podle potřeby. Nelze však změnit danou tuhost, lze seřídit pouze sílu pružiny, popř. délku tlumiče. V porovnání s ostatními typy se jedná o nejtěžší odpružení.



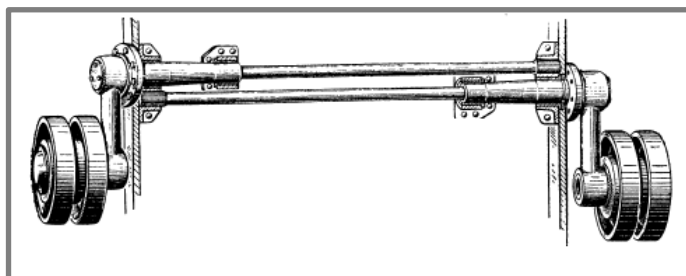
Obr. 35 Charakteristiky tlumiče s vinutou pružinou [17]

- Hydro-pneumatické odpružení: moderní a efektivní řešení využívající stlačování plynu místo deformace pružiny okolo tlumiče (Obr. 36). Oproti pružině je také až o 75% lehčí a menší při stejné délce zdvihu. Lze poměrně jednoduše nastavit tuhost a progresivitu změnou tlaku vzduchu. Má progresivnější průběh než vinutá pružina a vyšší moment odtržení z klidu. Tzn. menší citlivost na drobné nárazy. Mohou být spojeny mezi sebou a poskytovat tak výjimečně hladkou jízdu na nerovném povrchu. Mohou být propojeny i s napínacím mechanismem vodícího kola a zajišťovat tak dokonalé vypnutí pásu. Pro těžká vozidla jde o dražší řešení oproti jednoduchým a levným torzním tyčím, naopak u lehkých vozidel je cena oproti vinutým pružinám znatelně nižší. Jedinou nevýhodou je menší životnost v prašném prostředí, jako jsou např. pouště, spolu s vyššími nároky na údržbu.



Obr. 36 Hydro-pneumatické odpružení firmy Fox [17]

- Torzní tyče: mechanicky jednoduché, levné řešení bez nároků na údržbu. Každé rameno, na němž je uchyceno pojezdové kolo, je spojeno s dlouhou tyčí pod vozidlem (Obr. 37). Odpružení je tak relativně kompaktní. Při výchylce ramene je tyč namáhána na krut. Tuhost závisí na materiálu, délce a průměru tyče. Odpružení má stejně jako pružina lineární průběh a nelze nastavit tuhost, pouze sílu. Ta se nastaví snadno pomocí šroubu na opačném konci, než je kolo. Tímto lze velmi jednoduše nastavit světlou výšku vozidla. Pro svou vysokou spolehlivost a dlouhou životnost jsou stále používány na velké většině armádních pásových vozidel stejně jako na některých SUV. Jejich nevýhodami jsou velká délka a nemožnost progresivního odpružení. U velkých vozidel mohou zabírat celou šířku vozidla.



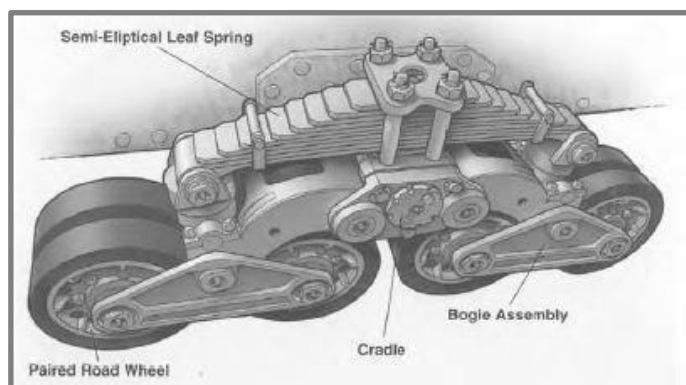
Obr. 37 Torzní odpružení tanku T-44[33]

- Torzní pružiny: jednoduché, lehké a hlavně levné řešení. Stejně jako tlačné pružiny, mají torzní pružiny lineární charakteristiku a musí být opatřeny tlumičem. Mají však dvakrát horší účinnost oproti tlačným pružinám a neumožňují progresivní odpružení. V současnosti je využívají jen výrobci sněžných skútrů (Obr. 28). Jejich nevýhodou je, že nejsou univerzální a obtížně se přizpůsobují.



Obr. 38 Zavěšení pásu skútru s torzní pružinou [34]

- Listové pružiny: nejstarší typ odpružení. Je tvořeno hlavním listem s oky pro uchycení a množstvím menších listů (Obr. 39). Má stejné charakteristiky jako vinutá pružina, je však větší a těžší, konstrukčně složitá a klade větší nároky na údržbu. Oproti ostatním pružinám je však levnější a má samotlumící účinky, nepotřebuje tudíž tlumič. V současnosti se používá už jen u vlaků a nákladních automobilů.



Obr. 39 Listová pružina italského tanku P26/40 [35]

- Žádné: podvozek nedisponuje žádnými tlumícími prvky. Jde o případ, kdy se buď vozidlo pohybuje na rovných plochách (sněžná rolba, stavební stroje), nebo jde o přídavné pásové podvozky na kolová vozidla (bagry se smykovým řízením, vozidla Argo, čtyřkolky...).

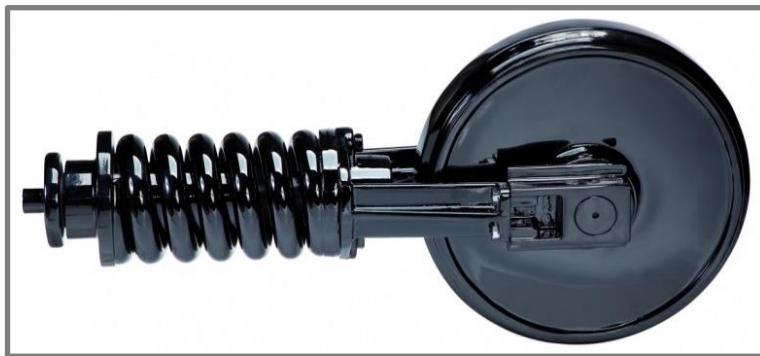
Oběcně lze říci, že libovolné odpružení přidává jízdní komfort a zvyšuje životnost pásů i stroje. Vyžaduje však prostor pro manipulaci a provoz a zvyšuje hmotnost i cenu vozidla. Jízdní vlastnosti se typ od typu liší a konkrétní typ zavěšení a odpružení závisí nejvíce na výrobci a použití vozidla.

4.2 Napínací mechanismy

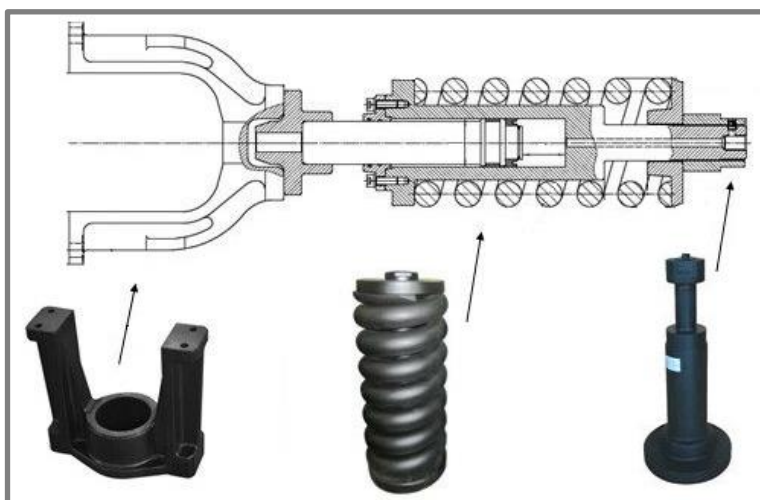
Aby měl pás maximální účinnost, nesmí být ani příliš napnutý (zvyšuje se spotřeba vozidla a opotřebení), ale ani příliš povolený (hrozí sesunutí či prokluz pásu). Ke správnému předepnutí pásu slouží napínací mechanismus. Toto zařízení funguje jako tlumič nárazů a zabraňuje přepětí pásu v případě vniknutí cizího tělesa mezi pás a kola. Tím pás chrání před roztržením nebo svlečením. Mechanismus může být umístěn na vodících kladkách nebo na speciálním napínacím kole. Nejčastěji však bývá umístěn u vodícího kola kvůli úspoře prostoru (Obr. 26). Napínací mechanismy mohou být řešeny dvěma způsoby:

Mechanicky

Jde o nejjednodušší řešení. U malých tuhých podvozků se napínání řeší pouze závitovou tyčí a ručním dotažením. U těžších a odpružených vozidel se jedná o napínání pomocí tlačné pružiny. Toto řešení bývá doplněno o závit (Obr. 40) nebo hydraulický píst (Obr. 41) umožňující drobné korekce v napnutí pásu.



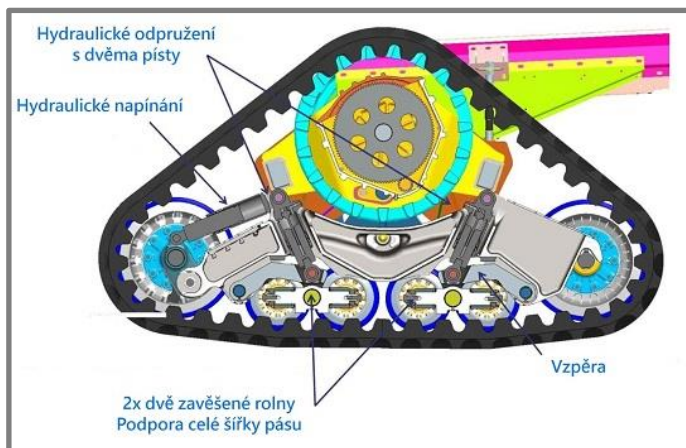
Obr. 40 Napínací mechanismus se závitěm [41]



Obr. 41 Napínací mechanismus s hydraulickým pístem [42]

Hydraulicky

Tento systém využívají hlavně zemědělská vozidla s gumovými pásy (Obr. 42). Hlavní výhodou tohoto systému je možnost dálkově pásy napnout nebo povolit při jízdě v terénu a po silnici. Toto opatření výrazně zvyšuje životnost a snižuje opotřebení pásů.



Obr. 42 Pásový podvozek SMARTTRAX [43]

Vozidla s gumovým pásem využívají tyto mechanismy i při výměně pásu nebo údržbě podvozku. Na rozdíl od ocelových pásů, jež se sundávají rozpojením koncového článku, se gumové pásy sundávají vcelku a je třeba je nejprve tímto způsobem povolit.

4.3 Typy podvozků

Typem pásového podvozku se rozumí jeho konstrukční uspořádání. To znamená vzájemná poloha pojezdových kol, hnacího i vodícího kola.

(1+1) Klasický

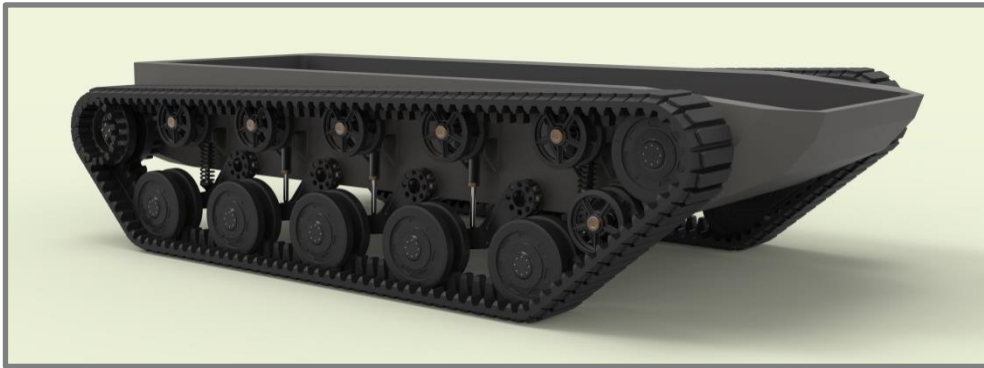
Pás je napnut mezi jedno hnací a jedno vodící kolo. Ta společně s pojízděcími koly zajišťují přítlak pásu k terénu. Jde o nejběžněji používaný typ podvozku u stavebních strojů (Obr. 43), neboť má na délku pásu největší kontaktní pluchu a je nejstabilnější z důvodu absence odpružení. Z toho důvodu také neumožňuje vysoké rychlosti na nerovném terénu.



Obr. 43 Podvozek (1+1) buldozeru SD16 [44]

(1+1) Zvýšený

Tento typ vznikne umístěním hnacího a vodícího kola nad úroveň pojezdových. Tím vznikne sešikvení pásu a vozidlo tak snáze překonává překážky, proto se tento typ používá u vozidel určených k terénní jízdě (Obr. 44).



Obr. 44 3D model podvozku tanku Ripsaw EV2 [30]

Podvozek je vyšší, což zvyšuje světlovou výšku a hnací kola méně trpí opotřebením nečistotami. Odpružením pojezdových kol u tohoto typu podvozku lze dosáhnout nejplynulejší jízdy. Tím, že je celé vozidlo odpruženo, však dochází často k tzv. sednutí pod zátěží a proto se tento typ nehodí pro manipulaci s těžkým nákladem. Styčná plocha pásů je relativně menší. Zmenší se tak opotřebením pásů při zatáčení, vozidlo má ale horší trakční vlastnosti a je méně stabilní.

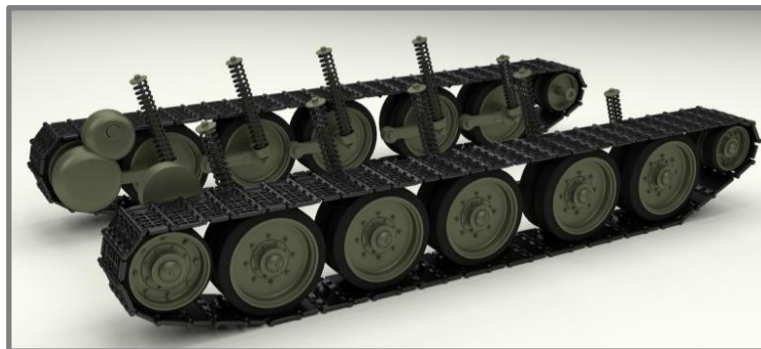
Odpružení jednotlivých ramen lze individuálně nastavit. Pro nejlepší terénní vlastnosti by měly pružiny vepředu i vzadu být tvrdší než uprostřed. Pás tak lépe obaluje překážky a zlepšuje se trakce.

Hnací kolo může být umístěno jak vepředu tak vzadu. Tím se mírně změní jízdní vlastnosti v terénu, nicméně hlavním důvodem je zjednodušení pohonného ústrojí.

- Přední náhon – pás funguje jako volná kladka a lépe vytáhne vozidlo do svahu nebo přes větší překážku. Hnací kolo napíná horní větev pásu a napínací mechanismus je tak více namáhán. Spodní větev pásu je volnější. Lépe tak překoná větší překážky, ale zvyšuje se riziko vniknutí cizího tělesa mezi pás a kola. Navíc je pohonné ústrojí komplikovanější, a to, společně s dalšími nedostatky, je důvod proč se dnes již prakticky nepoužívá.
- Zadní náhon – Hnací kolo více napíná spodní (kratší) větev pásu a ten je tak méně namáhán. Hnací kolo povoluje horní větev pásu a ulehčuje tak práci napínacímu mechanismu. Zadní náhon není tak komplikovaný a jeho konstrukce je pevnější oproti přednímu náhonu, proto se využívá nejčastěji.

(1+1) Christie

Tento typ se vyznačuje tím, že pojezdová kola plní zároveň funkci nosných kladek. Může existovat ve zvýšené (Obr. 45) i klasické variantě (Obr. 1), může tedy být vybaven odpružením. Neobsahuje napínací mechanismus, neboť pojezdová kola při výchylce sama napínají horní větev pásu. Oproti zvýšené variantě (1+1) je celkově nižší, má však větší pojezdová kola a může jich tedy na stejné délce použít méně. Tím hůře rozkládá hmotnost vozidla. Kvůli jejich velikosti nemá odpružení dostatek prostoru pro optimální činnost.



Obr. 45 3D model podvozku tanku T-34 [45]

(1+2) Delta

Pás je zde napnut mezi dvě vodící a jedno hnací kolo do tvaru řeckého písmene Delta – Δ (Obr. 46). Hnací kolo je umístěno v horní části trojúhelníku a nahrazuje jednu nosnou kladku. Tato pozice omezuje jeho znečištění, zároveň má ale kolo kratší stykovou délku s pásem a v záběru je tak mnohem méně zubů.



Obr. 46 Buldozer CAT D6N s Delta pásy [15]

Tento typ podvozku má poměrně velkou styčnou plochu a zároveň umožňuje umístit hnací kolo nad úroveň pojezdových. Většinou bývá neodpružený a nejčastější využití najde u menších stavebních a zemědělských vozidel. Tento tvar podvozku se ale také využívá pro přídatné podvozky (kapitola 2.4), neboť se pásová platforma tvaru Delta vejde do prostoru po pneumatice a není třeba zásah do karoserie vozidla.

Lichoběžníkový

Specifický typ podvozku, který může i nemusí být odpružený. Spojuje výhody velké styčné plochy, výše uloženého hnacího kola a kompaktních rozměrů. Zároveň vytváří v přední části stejné sešikmení jako (1+1) Zvýšený a tím pomáhá v překonávání překážek. Další výhodou je to, že nemusejí mít napínací mechanismus. Díky použité geometrii se o napnutí pásu stará zadní pojezdové kolo. Nevýhodou je, že odpružení u tohoto typu podvozku neumožňuje příliš velké výchylky pojezdových kol. Hůř tedy reagují na členitější terén.

Tento typ podvozku má hnané přední kolo a využívají jej převážně sněžné skútry (Obr. 47) ale i kloubové transportní rolby (Obr. 48).



Obr. 47 Yamaha SRVIPER R-TX [17]



Obr. 48 Britský transportér BvS 10 [45]

Zavěšení pásu sněžného skútru je specifické v tom, je odpružen celý rám pásu. Ten slouží zároveň jako podpora celé spodní větve pásu a pomocí dvou kluzných ližin zajišťuje stálý přítlak pásu k povrchu. Rám pásu má dvě ramena, která jej spojují s rámem skútru. Tyto ramena jsou vůči sobě nezávisle odpružena. Odpružení je zpravidla řešeno dvěma pružinami s tlumičem. Zadní, torzní pružina nese váhu skútru a jezdce a má za úkol tlumit rázy způsobené jízdou. Přední pružina má pak za úkol stabilizovat náklon pásu.

5 NÁVRH PÁSOVÉHO VOZIDLA

Cílem je navrhnout koncept terénního pásového vozidla pro jednu osobu, ne však vytvořit hotový návrh vozidla schopného okamžité výroby, ale na základě předcházejících poznatků navrhnout řešení jednotlivých kinematických členů.

Účelem vozidla je rekreační jízda po nerovném terénu. S ohledem na to by mělo být co nejmenší a nejlehčí, ale zároveň by mělo být dostatečně stabilní, výkonné a poskytovat pohodlnou jízdu. Jako zdroj inspirace posloužily stroje z kategorie 2.3.3. Vozidlo nebude určeno pro masovou výrobu. Z toho důvodu se při návrhu přednostně přihlíží k jednoduchosti konstrukce a dostupnosti jednotlivých komponent.

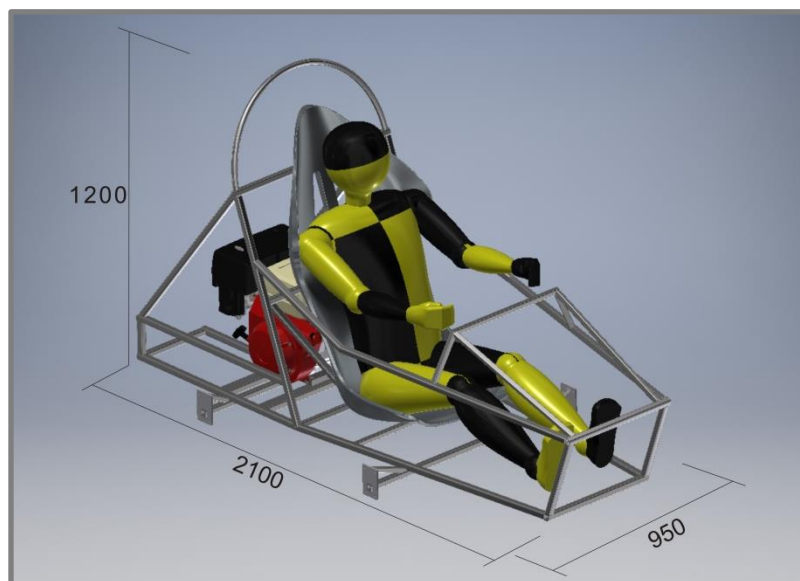
5.1 Návrh základních parametrů

Vozidlo bude využívat dva pásové nosiče. Musí být vybaveno ochranným rámem uzpůsobeným pro dospělé osobu. Délka vozidla by měla být minimálně 2000 mm kvůli stabilitě. Pásky budou vybaveny odpružením s výhylkou alespoň 100 mm. Světlá výška vozidla by měla být minimálně 300 mm. Vozidlo by mělo být schopno jízdy rychlostí alespoň 25 km/h.

5.2 Popis konstrukce

Rám

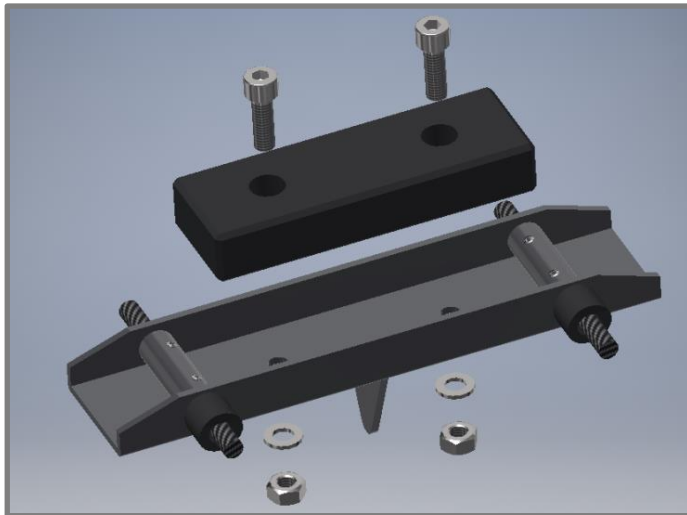
Rám konstrukce je hlavním nosným prvkem. Spojuje oba podélné pásové nosníky, chrání řidiče před kontaktem s pásky a při převrácení vozidla, a zajišťuje uchycení pohonného ústrojí (Obr. 49). Navrhovaný rám je složen ze svařených profilů (jeklů) čtvercového průřezu 25 x 25 x 3 mm. Rám musí umožňovat pohodlné nasednutí a vysednutí řidiče, stejně tak musí být dostatečně velký pro pohonné ústrojí. Při návrhu byl použit model člověka vysokého 182cm. S ohledem na jeho anatomii byl navrhnout rám o rozměrech 2100 x 950 x 1200 mm.



Obr. 49 Návrh rámu

Pás

Návrh uvažuje na míru vyrobený kovový pás s možností instalace gumových vložek pro jízdu po silnici (Obr. 50). Pás je složen z 83 článků spojených dvěma ocelovými lany tloušťky 8mm u nichž výrobce udává minimální pevnost 66 kN [47]

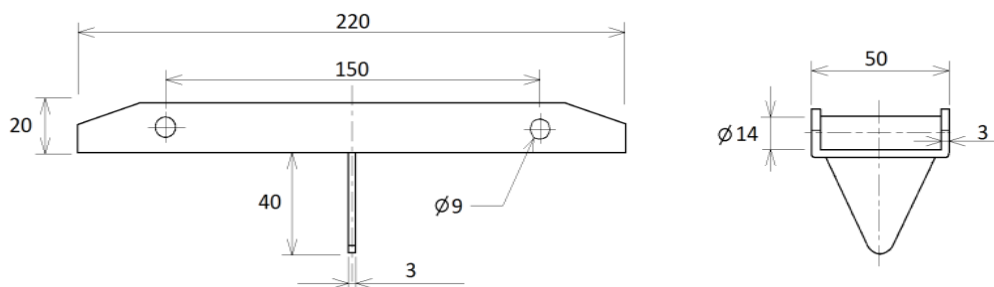


Obr. 50 Schéma článku pásu s gumovou vložkou

Oproti gumovému pásu se jedná o levnější a lehčí řešení umožňující vyšší flexibilitu. Články jsou od sebe vzdáleny 15mm a tvoří tak mezery pro hnací kolo. V těchto mezerách jsou na laněch navlečeny gumové vložky sloužící jak při instalaci k dodržení správné vzdálenosti mezi články, tak pro vedení hnacího kola.

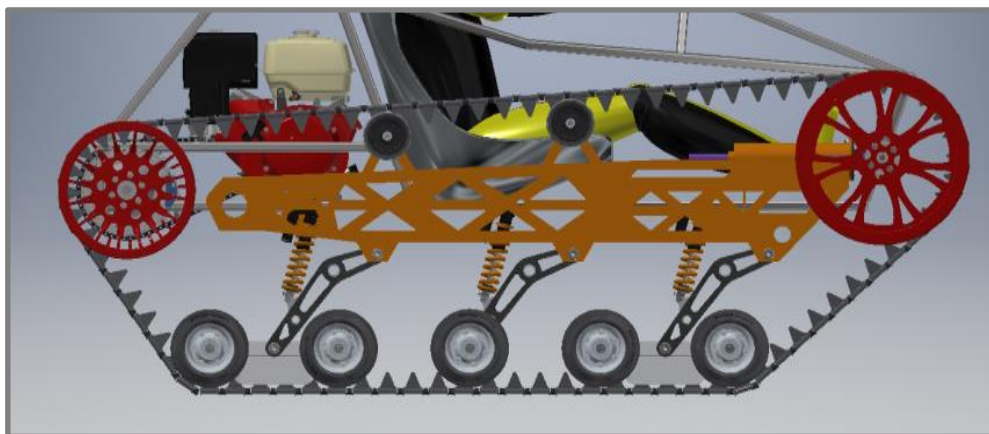
Článek pásu je svařenec z U profilu 50x20x3 mm o délce 220 mm, v němž jsou provrtány dva otvory na tyč o průměru 14mm. V této tyči je vrtaný otvor o průměru 9 mm pro ocelové lano (Obr. 51). Lana jsou v každém článku zajištěna čtveřicí stavěcích šroubů M4 s hrotem.

Každý článek má ve spodní části jeden trojúhelníkový zub. Ten slouží ke stabilizaci pásu při zatáčení kdy má spodní větev pásu tendenci vybočovat z přímého směru.



Obr. 51 Rozměry článku pásu

Pás je navržen v uspořádání 1+1 (zvýšený) s hnacím kolem vzadu (Obr. 52). Tato konfigurace umožňuje pojezdovým kolům maximální výchylku a díky předsaženému vodícímu kolu se podvozek chová lépe při překonávání překážek. Hmotnost takového pásu je 45,3 kg, s gumovými vycpávkami pak 61,7 kg.

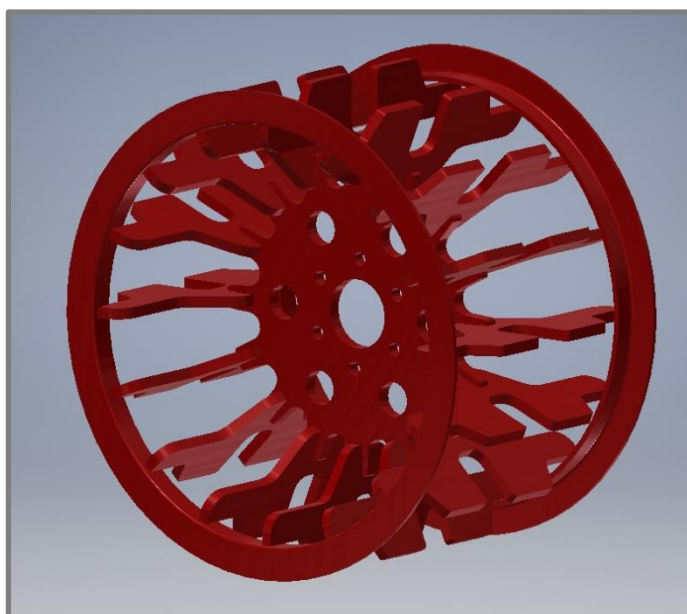


Obr. 52 Uspořádání podvozku

Hnací kolo

Hnací kolo v návrhu není součástí podélného nosníku, ale je spojeno přímo pouze s hnací hřídelí. Lze tedy vyjmout samostatně. Jedná se o svařenec z 19 dílů: dvou obručí se zvýšeným okrajem, aby se pás nesemkl z kola, středu se 6 dírami pro připojení na náboj a 16 lopatek, které pás pohánějí (Obr. 53).

Lopatky zabírají za mezery v pásu uprostřed jeho šířky. Musejí proto obsahovat mezeru pro stabilizační zuby jednotlivých článků.



Obr. 53 Hnací kolo

Kolo má šířku 230 mm a maximální průměr 352 mm.

Pojezdová kola

Pojezdová kola jsou uložena do 5 párů na spodní straně každého pásu. Tento počet byl zvolen s ohledem na nutnost odpružení vozidla o zvolených rozměrech. Menší počet by mohl způsobit nestabilitu vozidla a více kol by mohlo způsobit vzájemnou kolizi při pružení.

Účelem pojezdových kol je zajišťovat neustálý kontakt pásu s povrchem a přenášet zatížení mezi pásem a rámem. V návrhu je počítáno s gumovými koly V 200/20K výrobce Blicke o průměru 200 mm s utěsněnými kuličkovými ložisky, neboť se předpokládá, že budou vystaveny vysokému stupni znečištění (Obr. 56).

Hlavním požadavkem na pojezdová kola je jejich nosnost. Výrobce na svých stránkách udává povolené zatížení 205kg [6], což plně dostačuje této aplikaci.



Obr. 54 Pojezdové kolo V 200/20K[6]

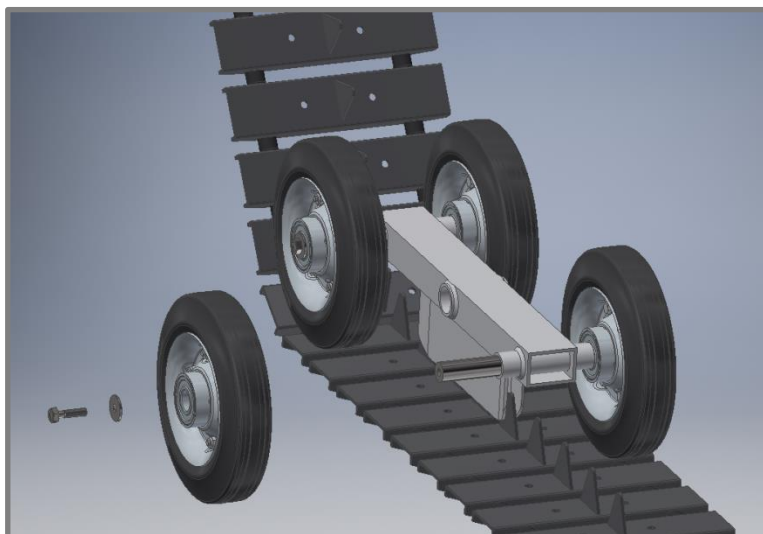
Kolo má šířku běhounu 50 mm a průměr otvoru pro hřídel 20 mm. Páry pojezdových kol jsou od sebe vzdáleny 330 mm a tvoří tak styčnou plochu pásů o celkovém obsahu 0,48 m².

Vahadla

Nedostatek prostoru neumožňuje nezávisle odpružit každý pár kol. Dva krajní páry pojezdových kol jsou proto umístěny na vahadlech. Vahadlo umožňuje pojezdovým kolům lépe kopírovat terén a je hlavním vodícím prvkem pásu při zatáčení.

Pro vedení pásu na vahadlo přivařeny dva, na konci zahnuté plechy, mezi nimi při jízdě procházejí trojúhelníkové zuby pásu.

Tělo vahadla tvoří profil 50x35x3 mm, do něhož jsou přivařeny hřídele pro pojezdová kola. Ta jsou zajištěna podložkami a šrouby M5 (Obr. 55).

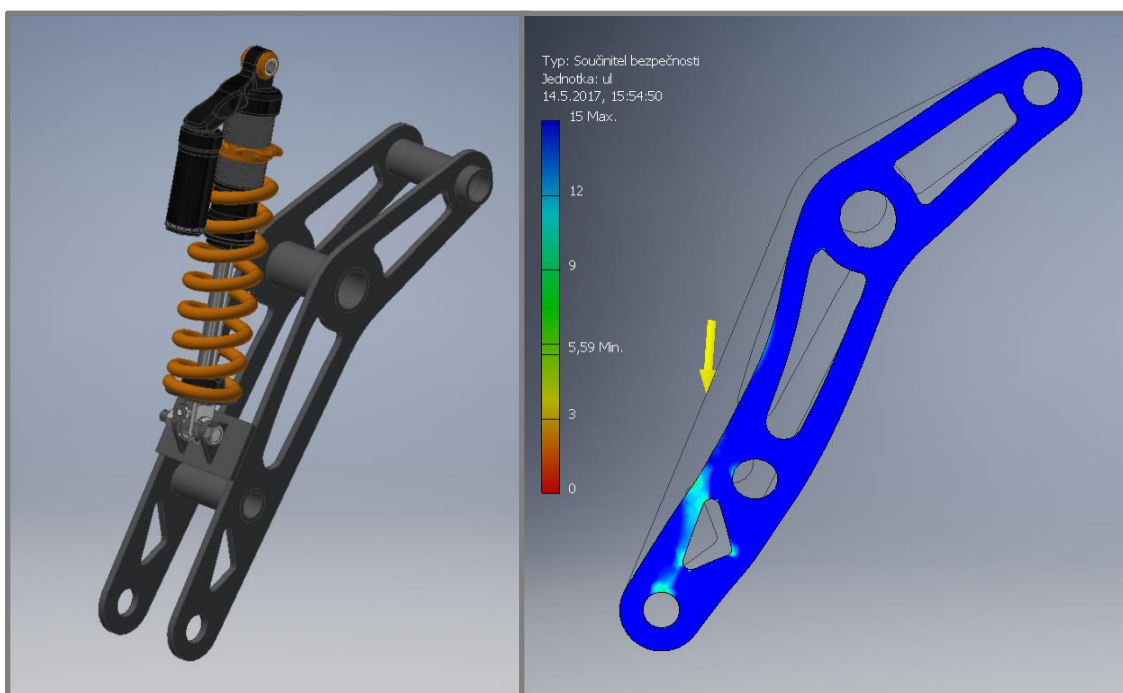


Obr. 55 Vahadlo odpružení

Zavěšení

Obě vahadla a prostřední pár pojezdových kol jsou s pásovým nosníkem spojena pomocí odpružených ramen. Rameno tvoří svařenec s plechů tloušťky 5mm (Obr. 56). Jeho tvar a rozměry umožňují vychylku kol až 14 cm. Pro správnou činnost pružin a tlumičů by mělo vozidlo při statickém zatížení poklesnout o 30% délky zdvihu tlumiče

Jako odpružení byl zvolen tlumič pro horská kola, X-Fusion Vector R, s tuhostí pružiny 63 N/mm a zdvihem 89 mm [48]. S těmito tlumiči vozidlo vlastní vahou a vahou řidiče poklesne o 44 mm, tedy o 28 mm zdvihu tlumiče. To je asi o 31,5% zdvihu. Tento tlumič je tedy dostatečně tuhý pro navrhované vozidlo a umožňuje celou řadu modifikací. Je vhodný zejména pro optimalizaci jízdních vlastností, neboť vozidlo pro ideální jízdu potřebuje každý tlumič nastavit zvlášť.

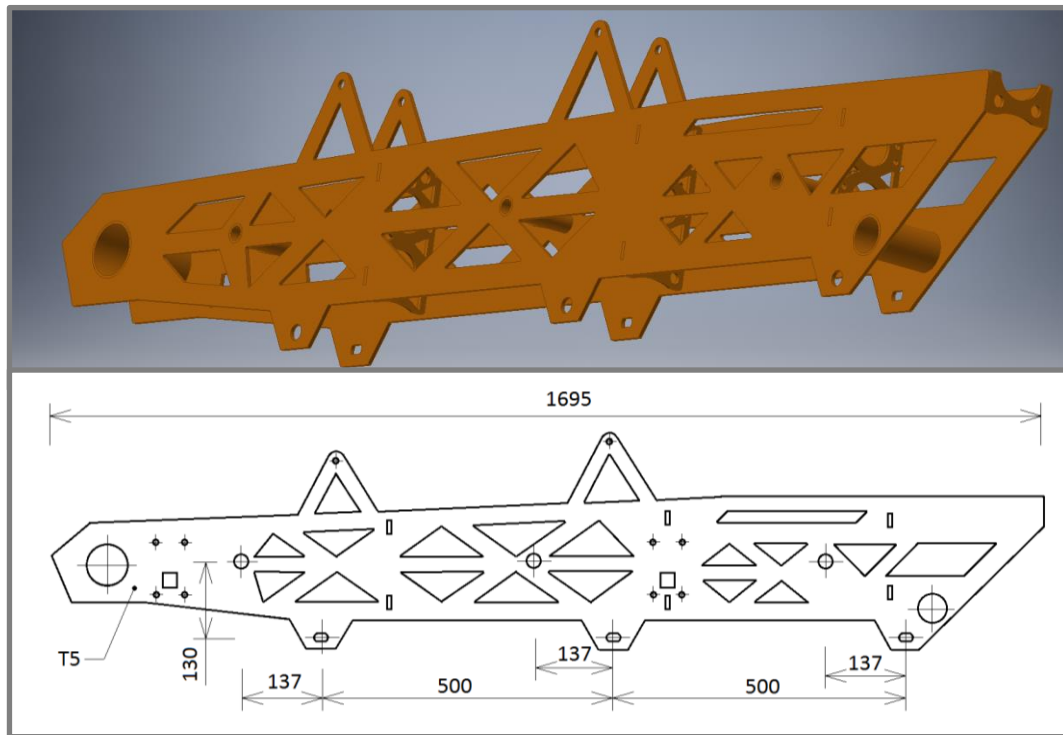


Obr. 56 Model zavěšení s tlumičem X-Fusion

Obr. 57 Bezpečnost ramene odpružení

Podélný pásový nosník

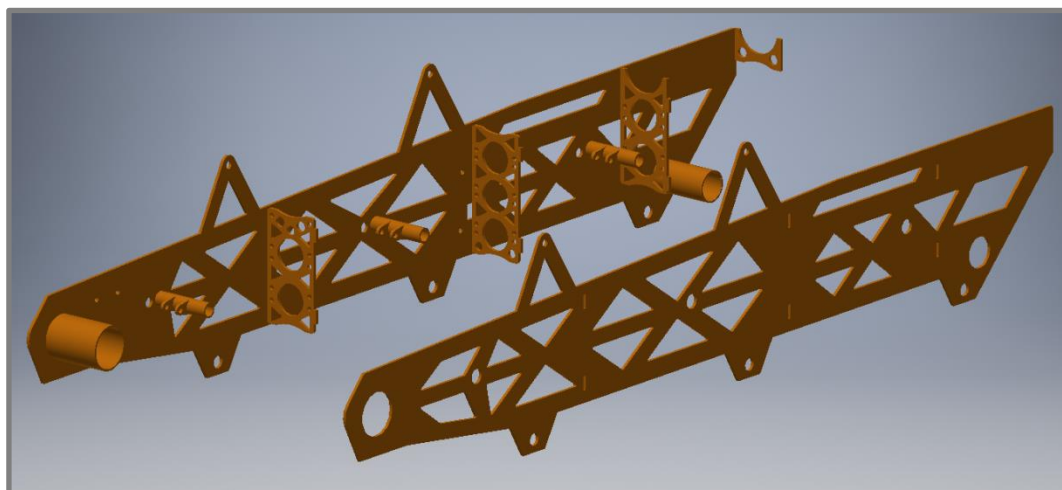
Podélný nosník spojuje všechny pohyblivé části podvozku kromě hnacího kola, jak bylo zmíněno výše. Jde o svařenec ze dvou vypálených plechových stěn tloušťky 5 mm (Obr. 58). V rámci co největší úspory hmotnosti jsou vybaveny odlehčovacími otvory.



Obr. 58 Základní rozměry podélného nosníku

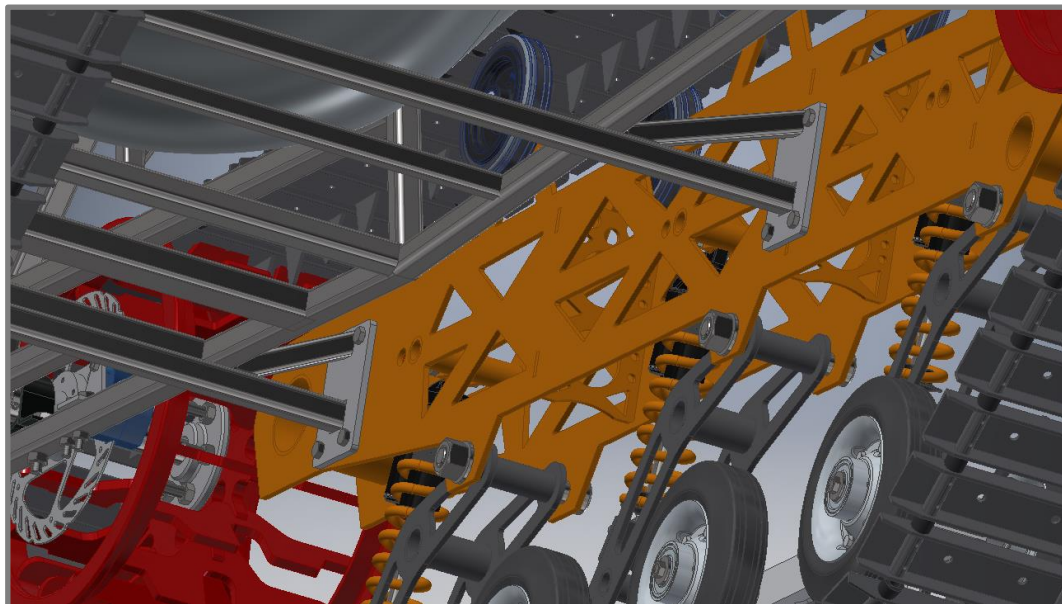
Desky jsou spojeny vnitřními výztuhami různých tvarů (Obr. 59), z nichž 3 jsou opatřeny oky pro uchycení tlumičů. První dvě ploché výztuhy jsou na vrchní části opatřeny půlkruhovým prostorem pro uchycení napínacího mechanismu.

Všechny výztuhy mají svůj specifický otvor, popř. jsou vybaveny bočními výčnělky, které zabraňují chybnému umístění, a usnadňují a zpřesňují tak výrobu.



Obr. 59 Vnitřní struktura podélného nosníku

Boční desky nosníku nejsou zcela symetrické. Vnitřní deska je navíc opatřena dvěma otvory pro profily rámu a osmi otvory pro šrouby M8, pomocí kterých se celý nosník přimontuje k rámu vozidla (Obr. 60).

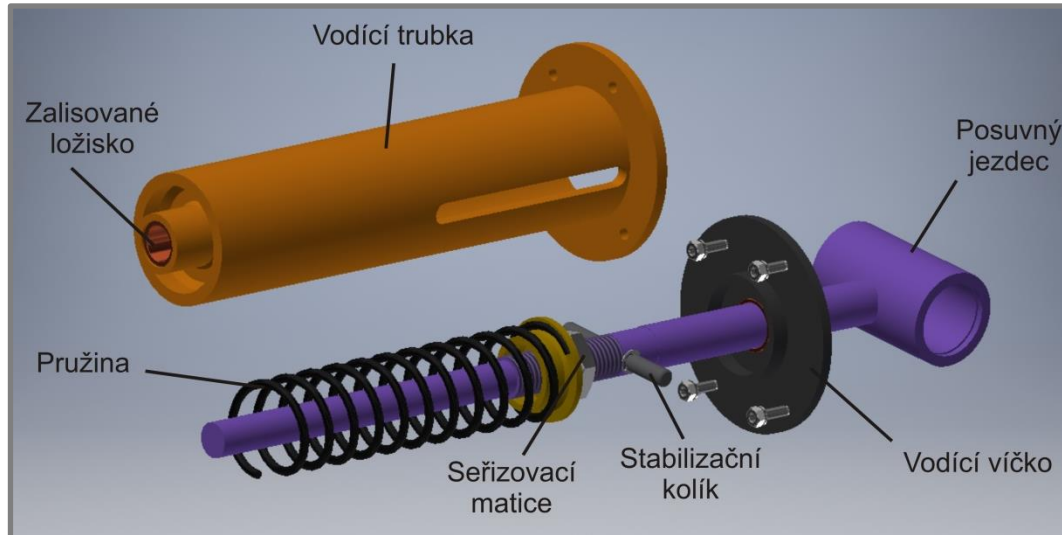


Obr. 60 Uchytení podélného nosníku pásu k rámu

Ramena zavěšení jsou k nosníku přichyceny pomocí lícovaných šroubů 20x100/M16 (Obr. 60). Přestože mají stěny podélného nosníku tloušťku pouze 5 mm, je bezpečnost na smyk a otláčení vyšší než 6, neboť většinu síly od pásu pohltí tlumič.

Napínací mechanismus

Napínací zařízení se nachází v přední části pásového ústrojí. Je umístěno ve vodící trubce o průměru 74 mm přivařené k pásovému nosníku. Mechanismus se skládá z posuvného jezdec, pružiny, seřizovací matice, vodícího víčka a stabilizačního kolíku (Obr. 61).



Obr. 61 Model napínacího mechanismu

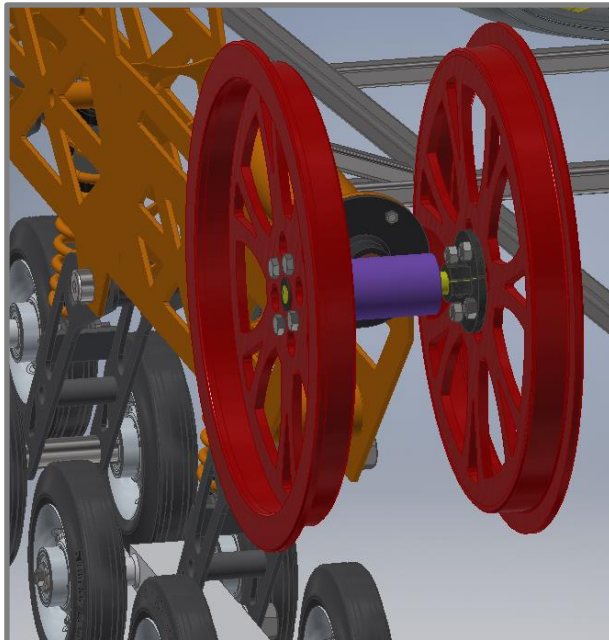
Z návrhu pásu vyplývá, že při maximálním zatížení vozidla se musí napínací mechanismus prodloužit o 97 mm. To zajišťuje posuvný jezdec, v němž je uchycena hřídel vodících kol. Jezdec se posunuje v kluzných ložiskách mezi navařenou přírubou na jedné straně a kovovým vodícím víkem, zajištěným šrouby M6, na druhé.

Aby nedošlo k rotaci jezdcе podél své osy, je vybaven stabilizačním kolíkem, jenž se pohybuje v drážkách vodící trubky. Pomocí seřizovací matice na těle jezdcе lze nastavit sílu pružiny a tak správné předepnutí pásu či změnit pracovní dráhu jezdcе. K seřizovací matici je přitlačena podložka (Obr. 63 žlutě) sloužící jako zádržka a stabilizace pro pružinu.

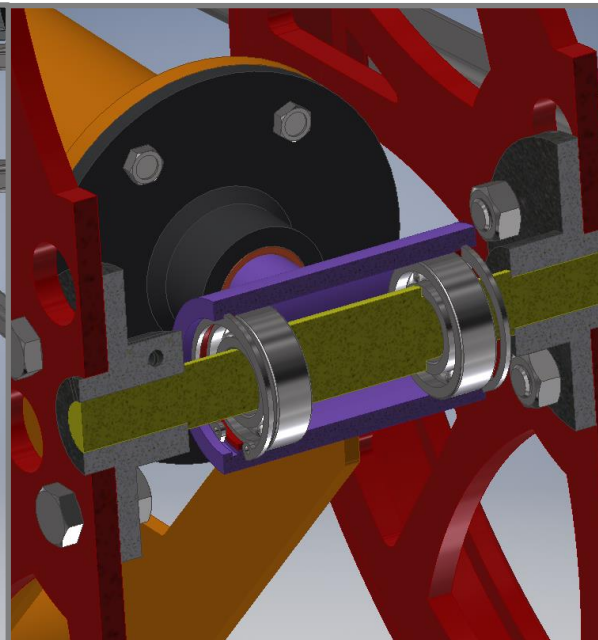
Napínací zařízení musí na pás celou dobu působit silou, aby zabránilo jeho sesunutí. Jako vhodná pružina byla zvolena tlačná pružina výrobce Hennlich č. 80/4/4 [49]. Pružina má tuhost $R=4,08 \text{ N/mm}$. Nevyhovuje však volnou délkou L_0 a je třeba je zkrátit z 280 na 253 mm.

Pružina poté umožňuje pracovní zdvih 193 mm, než na sebe dosednou její závity. Jako minimální síla působící na pás byla zvolena síla 200N, jíž pružina dosáhne po deformaci o 49 mm. Lze tedy využít 144 mm jejího zdvihu, což s rezervou vyhovuje naší aplikaci.

K napínacímu mechanismu jsou pomocí svěrných pouzder připevněna vodící kola (Obr. 62 a 63).



Obr. 63 Model vodících kol



Obr. 62 Uchytení vodících kol k napínacímu mechanismu

Pohonné ústrojí

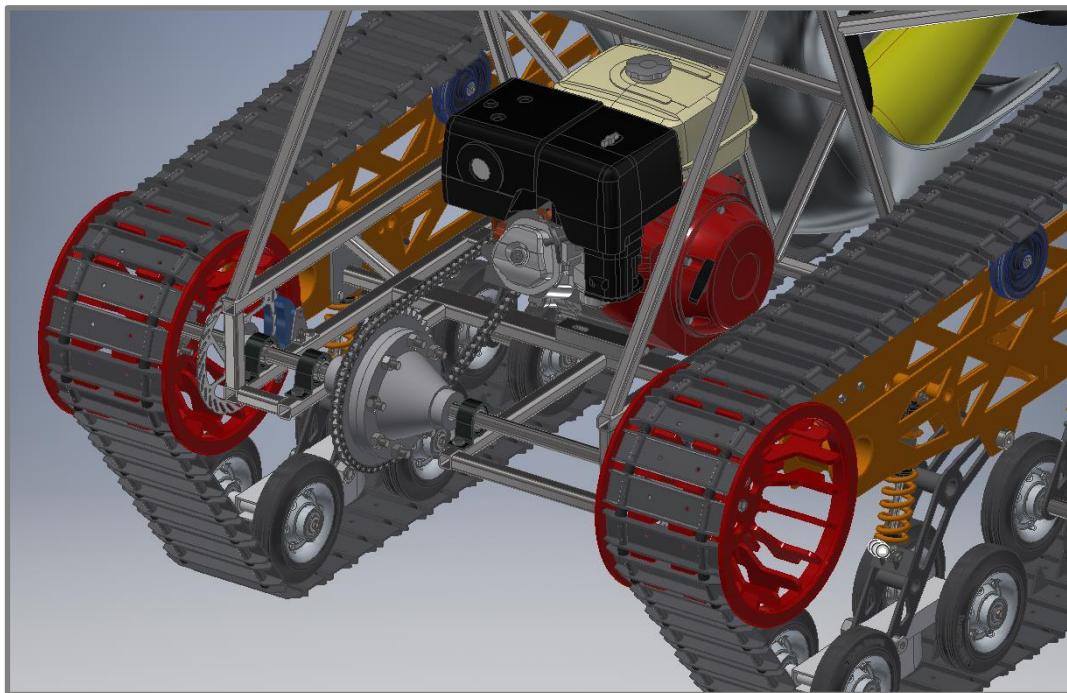
Návrh uvažuje motor umístěný za sedadlem řidiče, jenž přes řetězový převod pohání pásy. Výkon motoru závisí na hmotnosti vozidla a požadované rychlosti. Podle programu Autodesk Inventor, ve kterém je model vytvářen, váží vozidlo i s řidičem 450 kg. Požadujeme-li, aby bylo vozidlo schopno vyvinout rychlost 25km/h v terénu se sklonem 30°, musí vyvinout tažnou sílu úměrnou polovině své hmotnosti ($\sin 30^\circ$), tedy 2250 N. Potřebný výkon motoru se vypočte podle následujícího vzorce:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F * s}{t} = F * v = 2250 * \frac{25}{3,6} = 15,63 \text{ kW}$$

kde: P.....výkon [W]
 W....práce [J]
 t..... čas [s]
 s.... dráha [m]
 F....síla [N]

V modelu je použit motor Honda GX 630 s výkonem 15,5 kW [5]. Pro reálné vozidlo však bude výhodnější použít levnější motor o srovnatelném výkonu. Pro účely prototypu může postačit i použitý motor.

Jak již bylo řečeno v kapitole 3.4, existuje mnoho druhů řízení. Jako nejjednodušší bylo zvoleno řízení pomocí brzd a diferenciálu, neboť jde o cenově i prostorově o nejméně náročné řešení (Obr. 64). V návrhu lze využít i směrových spojek, jedná se ale o dražší a složitější variantu. Jejich výhodou může být lepší vedení vozidla v přímém směru.



Obr. 64 Pohonné a řídicí ústrojí

6 VÝSLEDNÉ PARAMETRY VOZIDLA A ZHODNOCENÍ

Vozidlo pojme jednoho dospělého jezdce. Je vybaveno bezpečnostním rámem, který zároveň umožňuje pohodlný nástup do vozidla.

Vozidlo je vybaveno kovovými pásy o šířce 220 mm a délce 5395 mm. Každý pás obsahuje 83 článků, jež mohou být vybaveny gumovými vložkami pro komfortnější jízdu po silnici. Články pásu jsou spojeny ocelovými lany a obsahují speciální koncový článek, v jehož místě se pás rozpojuje při sundávání.

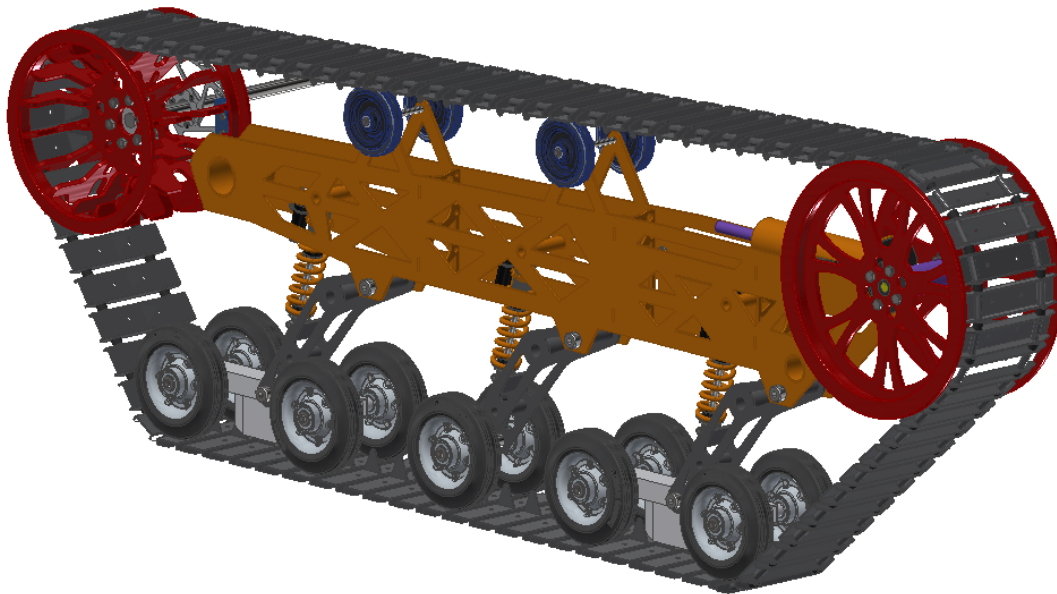
Pro přepravu či údržbu je vozidlo vybaveno odnímatelnými pásovými nosičy, jež jsou k rámu přimontovány 16 šrouby.

Vozidlo je odpruženo pomocí 6 tlumičů umožňující výchylku až 138 mm. Světla výška vozidla s řidičem je 400 mm. Jako pojezdová kola byla zvolena gumová kola Blickle s průměrem 200 mm v počtu 10 kusů v každém pásovém ústrojí. Vždy 4 krajní páry kol jsou umístěny na vahadlech, jež vedou pás v přímém směru.

Dále je vozidlo vybaveno napínacím zařízením v přední části, které stále napíná pás silou minimálně 200 N.

Celkové rozměry vozidla jsou 2330x1280x1660 mm ($d_x \times \text{š}_x \times v$). Současná hmotnost bez jezdce je 360 kg. Ta se však při finálním produktu zvýší, neboť návrh zanedbává systém řízení a krytí rámu. Jedná se tedy o relativně těžké vozidlo v porovnání např. se sněžnými skútry, jejichž hmotnost se pohybuje mezi 230 a 270 kg. Stále se ale jedná o jedno z nejlehčích dvoupásových vozidel (viz kapitola 2.3).

Každá součást modelu je počítána na bezpečnost při extrémním případě kdy vozidlo dopadne volným pádem z výšky 2 m. Přestože model obsahuje velké množství odlehčovacích otvorů, nejmenší dosažená bezpečnost byla 5,6. Z toho lze vyvodit závěr, že hmotnost vozidla může být dále optimalizována. To samé platí pro pohon vozidla. Vypočítaný výkon motoru 15,63 kW je pouze orientační, neboť uvažuje ideální podmínky. Obecně lze říci, že čím silnější motor, tím lépe. Konstrukteři jsou však často limitováni rozpočtem, a proto je třeba zvolit vhodnou variantu s ohledem i na toto hledisko. Např. použitý motor z motorky nebo sněžného skútru o obsahu alespoň 500 ccm.



Obr. 66 Model navrženého pásového ústrojí



Obr. 65 Model vozidla

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá ideovým návrhem jednomístného terénního pásového vozidla. V úvodu práce je stručně shrnuta historie pásových vozidel. Dále je provedena rešerše v oblasti jednomístných pásových vozidel a shrnuty jejich nejdůležitější parametry.

Ve druhé části jsou popsány jízdní vlastnosti pásových podvozků společně s popisem jednotlivých důležitých komponent. Dále je provedena analýza kinematických členů podvozku, kde jsou zmíněny výhody i nevýhody jednotlivých struktur.

V poslední části je přistoupeno k návrhu vozidla podle nejvhodnějších parametrů popsaných v předchozích částech. Byly vybrány kupované komponenty a navrženy vyráběné komponenty. Byl navržen specifický kovový pás společně s hnacím kolem, bylo navrženo napínací zařízení pásu a systém zavěšení pojezdových kol tak, aby nedošlo ke kolizi pojezdových kol ani ke ztrátě napínací síly. Na závěr jsou popsány výsledné parametry navrhovaného vozidla.

Při návrhu byl kladen důraz na jednoduchost konstrukce, nízkou hmotnost a cenovou dostupnost komponent. Jedná se o ideový návrh řešení a pro realizaci hotového vozidla by bylo vhodné provést další optimalizace.

Byly splněny všechny zadané cíle návrhu a ten lze využít jako základ k dalšímu vývoji jednomístného pásového vozidla.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Použitá literatura

- [1] SHIGLEY, J. E., MISCHKE, C h. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. Translation Hartl, M. a kol. VUTIUM 2010. ISBN 978-80-214-2629-0
- [2] Armádní technický magazín, roč. 42, čís. 11/2010, s. 30-31, ISSN 1802-4823
- [3] FRIES, Jiří, doc. Ing., Ph.D. Zemní stroje [online]. I. vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010 [cit. 2017-20-04]. ISBN 978-80-248-2567-0. Dostupné z: http://www.person.vsb.cz/archived/FS/ZS/TEXT/Zemni_stroje_340-0333_www.pdf
- [4] SVOBODA, P. aj. *Základy konstruování*. Výběr z norem pro konstrukční cvičení. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 288 s. ISBN: 80-7204-214-9

Internetové zdroje

- [5] <http://www.hondastroje.cz/motory/motory-s-horizontalni-hrideli/profi-rada-gx/gx-630>
- [6] <http://www.blickle.cz/vyrobek/V-200-20K-41111>
- [7] <http://www.argoutv.com>
- [8] <http://tankarchives.blogspot.cz/2016/07/world-of-tanks-history-section-100.html>
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Holt_Manufacturing_Company
- [10] <https://www.tanks.net/tank-history/the-first-tank.html>
- [11] <http://fhsw.wikia.com/wiki/>
- [12] <http://www.baiiv.nl/halftrack-m3-usa-4065552-s/>
- [13] <http://www.yesterdays.nl/nsu-1944-kettenkrad-p-3019.html>
- [14] <https://www.deere.com>
- [15] http://www.cat.com/en_US/products
- [16] <http://www.dolnimorava.cz/en/a-ride-in-a-snow-groomer>
- [17] <https://www.yamahamotorsports.com>
- [18] <http://bpgwerks.com/>
- [19] <http://www.trackchairextreme.com/>
- [20] <http://eddi.homegate.ru/photo/57401>
- [21] <http://thefunnybeaver.com/pav-badger-worlds-smallest-tank/>
- [22] http://defense-update.com/products/r/ripsaw_ms2_141209.html
- [23] <http://www.americantracktruck.com/>
- [24] <http://atvillustrated.com/content/track-time-matracks-litefoot-tracks>
- [25] <http://trucktracks.com/en/>
- [26] <https://www.google.com/patents/US20100236844>

- [27] http://leopardclub.ca/reviews/LiveResin/Diehl_D139E2_Tracks/
- [28] <http://www.popsci.com/invention>
- [29] <http://www.horstman.co.uk/about/history/index.html>
- [30] <https://www.cgtrader.com/gallery/project/ripsaw-ev1>
- [31] <https://www.aliexpress.com/item/Tank-track-suspension-system-chassis-Intelligence-RC-Track-chassis-dolly-Shock-absorption-chassis-Intelligence-dolly-chassis/32801336487.html?spm=2114.40010708.4.79.MfKQWn>
- [32] <http://www.constructionequipmentguide.com/steel-suspension-system-offered-on-bobcat-track-loaders/12437>
- [33] <http://sturgeonshouse.ipbhost.com/index.php?/topic/819-an-effortpost-on-tank-suspensions/>
- [34] <https://www.mo-pros.com/blog/>
- [35] <http://ftr.wot-news.com/2013/08/01/p-2640-italys-finest-tank-of-ww2/>
- [36] <http://www.armortek.co.uk/Forum3b/viewtopic.php?f=16&t=5376&start=0>
- [37] <http://www.caroncompactor.com/products/used-and-weldon-equipment>
- [38] <http://www.bridgestoneindustrial.com/products/rubber-tracks/ctl.cfm>
- [39] <https://adair-argo-sales.myshopify.com/products/18-custom-tracks>
- [40] <http://www.riotrack.com/>
- [41] <http://www.west-trak.co.nz/undercarriage-parts/track-adjusters/>
- [42] https://www.alibaba.com/product-detail/excavator-track-adjuster-assy-JD750-track_60569025132.html
- [43] <http://www.biso.eu/vsechny-clanky/nove-odpruzene-podvozky-smarttrax-s-technologie-terraglide/>
- [44] <http://www.vved.sk/buldozersd16.xhtml>
- [45] <https://3docean.net/item/t34-tank-tracks-and-suspension/14351977>
- [46] http://www.deagel.com/library/BvS10-Mk2-all-terrain-tracked-vehicle_m02010061500104.aspx
- [47] <http://www.vazaky-online.cz/ocelove-lano-1x19-x-1x19-1770-1960-b-z/>
- [48] <http://www.xfusionshox.com/products/shocks/vector-coil-series/hlr>
- [49] <https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162/tlacne-pruziny-z-pruzinove-oceli.html>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad malého pásového vozidla [7]	9
Obr. 2 Návrh R. Edgewortha, 1770 [8].....	10
Obr. 3 Traktor Holt 75 [9]	10
Obr. 4 Tank Mark I, první tank za 1. sv. války [10]	11
Obr. 5 Střední tank Panther V [11]	11
Obr. 6 Těžký tank Tiger II [11]	11
Obr. 7 Halftrack M3 (USA) [12]	12
Obr. 8 SdKfz 2 (GE) [13]	12
Obr. 9 Pásový traktor John Deere 9560 [14]	12
Obr. 10 John Deere 2054 DHSP [14]	12
Obr. 11 Buldozer CAT D10T2 [15].....	13
Obr. 12 Sněžná rolba Pisten Bully 400 [16]	13
Obr. 13 Sněžný skútr Yamaha SnoScoot [17]	13
Obr. 14 DTV Shredder [18].....	14
Obr. 15 Ripsaw MS-2 [22]	15
Obr. 16 Mini Ripsaw [20].....	15
Obr. 17 PAV Badger [21]	16
Obr. 18 Jeep Wrangler vybavený podvozkem Dominator [23].....	17
Obr. 19 ATV Bombardier vybavený systémem Mattracks LiteFoot [24].....	17
Obr. 20 Argo Avenger 8x8 [7].....	17
Obr. 21 Ford vybavený pásy Truck'n Go [25]	17
Obr. 22 Schéma pojízďecího ústrojí tanku Ripsaw	19
Obr. 23 Hnací kolo tanku Leopard [27].....	20
Obr. 24 Napínací zařízení [28]	20
Obr. 25 Kovový pás tanku Tiger [36].....	21
Obr. 26 Kovový pás s opěrnými deskami [37]	21
Obr. 27 Struktura gumového pásu [38]	22
Obr. 28 John Deere 9RX [14].....	22
Obr. 29 Pás Adair Pro Series pro vozidla Argo [39]	22
Obr. 30 Gumové pásové vložky na buldozeru [40]	23
Obr. 31 Horstmanovo odpružení [29].....	24
Obr. 32 Model nezávislého zavěšení pojezdových kol [31].....	24
Obr. 33 Lisové odpružení bagru Bobcat [32]	24
Obr. 34 Model zavěšení pojezdových kol tanku Ripsaw [30].....	25
Obr. 35 Charakteristiky tlumiče s vinutou pružinou [17].....	25
Obr. 36 Hydropneumatické odpružení firmy Fox [17].....	26
Obr. 37 Torzní odpružení tanku T-44[33]	26
Obr. 38 Zavěšení pásu skútru s torzní pružinou [34].....	27
Obr. 39 Listová pružina italského tanku P26/40 [35].....	27
Obr. 40 Napínací mechanismus se závitěm [41]	28
Obr. 41 Napínací mechanismus s hydraulickým pístem [42].....	28
Obr. 42 Pásový podvozek SMARTTRAX [43].....	29
Obr. 43 Podvozek (1+1) buldozeru SD16 [44].....	29
Obr. 44 3D model podvozku tanku Ripsaw EV2 [30].....	30

Obr. 45 3D model podvozku tanku T-34 [45].....	31
Obr. 46 Buldozer CAT D6N s Delta pásy [15].....	31
Obr. 47 Yamaha SRVIPER R-TX [17].....	32
Obr. 48 Britský transportér BvS 10 [45].....	32
Obr. 49 Návrh rámu	33
Obr. 50 Schéma článku pásu s gumovou vložkou	34
Obr. 51 Rozměry článku pásu.....	34
Obr. 52 Uspořádání podvozku	35
Obr. 53 Hnací kolo.....	35
Obr. 54 Pojezdové kolo V 200/20K[6]	36
Obr. 55 Vahadlo odpružení	37
Obr. 56 Model zavěšení s tlumičem X-Fusion.....	37
Obr. 57 Bezpečnost ramene odpružení	37
Obr. 58 Základní rozměry podélného nosníku.....	38
Obr. 59 Vnitřní struktura podélného nosníku	38
Obr. 60 Uchycení podélného nosníku pásu k rámu	39
Obr. 61 Model napínacího mechanismu	40
Obr. 63 Uchycení vodících kol k napínacímu mechanismu	41
Obr. 62 Model vodících kol	41
Obr. 64 Pohonné a řídicí ústrojí	42
Obr. 66 Model vozidla	44
Obr. 65 Model navrženého pásového ústrojí	44