



# 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

## STUDIE CHOVÁNÍ PÁSOVÉHO PODVOZKU PRACOVNÍHO STROJE S VYUŽITÍM DYNAMICKÉ SIMULACE

THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF TRACK CHASSIS USING DYNAMIC SIMULATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karel Hudec

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Jonák

BRNO 2017

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Karel Hudec**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Jonák**  
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:

### **Studie chování pásového podvozku pracovního stroje s využitím dynamické simulace**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce je zaměřena na rešerši shrnující poznatky o typech pásových podvozků, výběr vhodného typu tohoto podvozku s ohledem na typ pracovního stroje a druh terénu a dále také na jeho konstrukční návrh a provedení dynamické simulace.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Vypracování rešerše shrnující poznatky o typech pásových podvozků u současných mobilních pracovních strojů.

Vypracování kritického rozboru jednotlivých konstrukčních řešení pásových podvozků s ohledem na jejich použití – lesní terén, nepevněný povrch.

Vytvoření základního konstrukčního návrhu jednoho vybraného typu pásového podvozku vhodného pro použití v daném terénu.

Ověření provedeného konstrukčního návrhu pomocí dynamické simulace.

#### **Seznam literatury:**

VANĚK, Antonín. Moderní strojní technika a technologie zemních prací. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003. Česká matice technická (Academia). ISBN 8020010459.

JEŘÁBEK, Karel. Stroje pro zemní práce: Silniční stroje. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 8070783893.

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

V Brně, dne 2. 11. 2016

L. S.

---

prof. Ing. Václav Píšťek, DrSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá studii pásových podvozků, jejich prvky a uspořádáním. Dále je tato práce zaměřena na vybrané typy strojů s pásovými podvozky pohybující se v lesnictví nebo pro provoz v lesním terénu. Druhá část práce se zabývá konstrukčním návrhem pásového podvozku pro vyvážecí soupravu a následné ověření funkcí pomocí dynamické simulace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Pásový podvozek, lesní vyvážecí stroj, konstrukce, dynamická simulace

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the study of the undercarriage, their components and organization. Further, this work is focused on selected types of machines with tracked chassis moving in forestry or for operation in forest ground. The second part of the thesis deals with the design of the tracked chassis for the forwarder and the subsequent verification of the functionalities by dynamic simulation.

## **KEYWORDS**

Undercarriage, forwarder, design, dynamic simulation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HUDEC, K. *Studie chování pásového podvozku pracovního stroje s využitím dynamické simulace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Jonák.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. května 2017

.....

Karel Hudec

## **PODĚKOVÁNÍ**

Za cenné rady, věcné připomínky, obětovaný čas, ochotu a trpělivost děkuji vedoucímu práce Ing. Martinu Jonákovi.

## OBSAH

|  |    |
|--|----|
| Úvod .....   | 9  |
| 1 Pásové podvozky .....  | 10 |
| 1.1 Konstrukční prvky pásových podvozků .....                    | 10 |
| 1.1.1 Rámy.....  | 10 |
| 1.1.2 Pásy.....  | 10 |
| 1.1.3 Hnací kolo a přenos krouticího momentu .....               | 13 |
| 1.1.4 Napínací kolo.....   | 14 |
| 1.1.5 Pojezdové a podpěrné kladky .....                          | 14 |
| 1.2 Uspořádání pásových podvozků .....                           | 15 |
| 1.2.1 Housenicové podvozky .....                                 | 15 |
| 1.2.2 Podvozky s delta náhonem .....                             | 16 |
| 1.2.3 Zvláštní typy pásových podvozků .....                      | 17 |
| 1.3 Uchycení pásového podvozku .....                             | 18 |
| 1.4 Podvozky s měnitelným rozchodem .....                        | 18 |
| 2 Stroje využívající pásových podvozků v lesním terénu .....     | 21 |
| 2.1 Forwardery a harvestory .....                                | 21 |
| 2.2 Jiné typy lesní techniky využívající pásových podvozků ..... | 25 |
| 3 Koncepční návrh konstrukce pásového podvozku .....             | 26 |
| 3.1 Cíle práce .....   | 26 |
| 3.2 Rám.....   | 27 |
| 3.3 Návrh rotačního hydromotoru .....                            | 28 |
| 3.3.1 Uchycení hydromotoru.....                                  | 28 |
| 3.4 Uchycení hnacího kola.....                                   | 29 |
| 3.5 Napínací zařízení .....                                      | 29 |
| 3.6 Vahadla a pojezdová kola .....                               | 32 |
| 3.7 Celková sestava.....   | 34 |
| 4 Dynamická simulace.....  | 35 |
| 4.1 Princip a postup vypracování.....                            | 35 |
| 4.1.1 Vytvoření modelu.....                                      | 35 |
| 4.1.2 Princip vytvoření simulace .....                           | 36 |
| 4.2 Výsledky simulace .....                                      | 37 |
| Závěr.....   | 39 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů .....                          | 44 |
| Seznam příloh.....   | 45 |



## ÚVOD

Pásové podvozky tvoří samostatnou konstrukční skupinu. Ve světě existuje mnoho variant, které se z technologického a konstrukčního hlediska stále vylepšují. U pásových podvozků se klade důraz na některé schopnosti, a to například dobrou prostupnost nezpevněným terénem, snížení měrného tlaku mezi půdou a pásem podvozku, schopnost přenosu velkého zatížení.

Nevýhodou těchto podvozků je složitější konstrukce, hmotnost, vyšší pořizovací náklady a vyšší spotřeba paliva. Nelze dosáhnout takové rychlosti jako u kolových podvozků. Při přesunu na velké vzdálenosti se musejí převážet.

Tato práce se zabývá typy pásových podvozků, různým konstrukčním provedením a uspořádáním v zemědělské, lesní nebo stavební technice. Dále vlastním konstrukčním návrhem pásového podvozku pro lesní traktor vycházející ze zadaných parametrů. Na závěr ověření funkčnosti podvozku pomocí multi body simulace.

# 1 PÁSOVÉ PODVOZKY

Pásové podvozky musí zajistit přenos hmotnosti stroje a vnějších sil, průchodnost v terénu, manipulace stroje na pracovišti a stabilitu stroje.

## 1.1 KONSTRUKČNÍ PRVKY PÁSOVÝCH PODVOZKŮ

### 1.1.1 RÁMY

Součástí pásové podvozky jsou rámy, které jsou zpravidla otočné a které nesou pojízdné ústrojí skládající se z kol, kladek, pohonného ústrojí a pásů. [2]



*Obr. 1 Nedělený rám [2]*

#### RÁMY NEDĚLENÉ

Rámy nedělené tvoří masivní skříňovou konstrukci, která je odolná proti skrutu. Skládají se z podélných nosičů pásů, které jsou vzájemně spojeny středními mosty a kruhovou přírubou. V kruhové přírubě je uloženo velkorozměrné ložisko. Konstrukce má značně velkou hmotnost, která je v hojně míře výhodou při zajištění vyšší stability stroje. [2, 18]

#### RÁMY DĚLENÉ

Podélné nosiče pásů jsou přišroubovány ke střednímu mostu, který je svařovaný nebo odlitý. Rámy dělené mají výhodu a možnost přišroubovat podélné nosiče pásů o různých délkách a šířkách ke středním mostům. Jedná se o mechanické přestavení. [2]

### 1.1.2 PÁSY

Pásky se rozdělují na ocelové a pryžové a jsou voleny na základě jejich účelovosti. Pryžové pásky jsou vhodnější pro jezdce na větší vzdálenosti, při jejich používání nedochází k poškození podkladu například při jízdě po asfaltu. Nejsou vhodné do terénu s ostrými předměty a velkými kameny. Ocelové pásky jsou odolnější při používání ve skalnatém, kamenitém terénu, a mají větší hmotnost než pryžové pásky. [6]

#### OCELOVÉ PÁSY

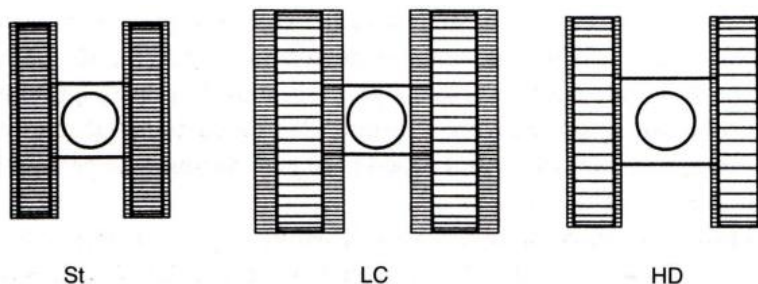
Ocelové pásky jsou složeny z kloubového řetězu, pomocí kterého je stroj poháněn. Na řetězu jsou přidělané ocelové desky o různých šířkách (obr. 3). Desky jsou vybaveny ostruhy, z pravidla 1–3 ostruhy na jedné desce. Zvyšují záběrové vlastnosti pásu a tuhost v ohybu.

Stopy ocelových pásů bývají širší než u kolových podvozků nebo podvozků s pryžovým pásem. Využití nalézají v terénu, kde se nachází ostré předměty nebo velké kameny, které by poškodily pryžové pásy. Jsou vyráběny z otěruvzdorné oceli pro vysokou pevnost, odolnost proti opotřebení a tvrdost. Nevýhodou ocelových pásů je jejich vyšší hlučnost a schopnost poškozovat betonový nebo asfaltovaný povrch. [1, 6]



Obr. 2 Části ocelového pásu: vlevo – řetěz pásu, vpravo – opěrné desky [15]

Pásy jsou voleny podle samotné šířky opěrných desek. Na základě únosnosti půdy, podle stavu a druhu podloží jsou voleny různé druhy. Malé šířky opěrných desek, které se méně opotřebovávají, se využívají u tvrdého a skalnatého terénu. U měkkých a málo nosných podloží se využívá širokých opěrných desek.[2]



Obr. 3 Šířky pásových podvozků [2]

- Standardní podvozky jsou určeny pro měrné tlaky 40–35 kPa
- Podvozky Long Crawler jsou určeny pro měrné tlaky menší než 30 kPa. Díky velké šířce stopy a vlivem velkého rozvoru jim je umožněno použití opěrných desek o velké šířce.
- Podvozky Heavy Duty jsou díky jejich silnější konstrukci ideální pro velké měrné tlaky, větší než 100 kPa. Jsou využívány do nejtěžších provozů s vyšším namáháním jednotlivých součástí. [2]

### HYBRIDNÍ PÁSY

Jedná se o ocelové pásy s přišroubovanými pogumovanými destičkami (obr. 4). Pásy s těmito destičkami jsou šetrnější k asfaltovanému nebo betonovému povrchu a je snížena i hlučnost během provozu. Destičky se přidělávají během výroby nebo je možné je přidat i dodatečně. [6]



Obr. 4 Gumové destičky pro ocelové pásy [15]

### PRYŽOVÉ PÁSY

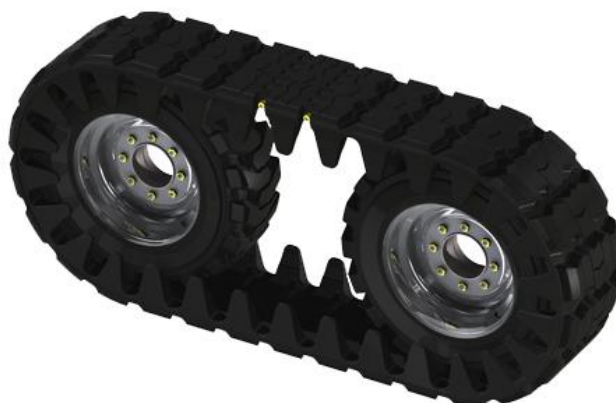
Pryžové pásy jsou vyráběny jako jeden celek z gumového těla a jsou vyztuženy ocelovými lany, která jsou na sebe napojená nebo jsou vedena do spirály. U pryžových pásů je jedním z rozhodujících faktorů jejich šířka, která ovlivňuje ovladatelnost stroje. Širší pásy jsou tak vhodnější pro lepší prostupnost terénem, ale na úkor vyšší ceny. Dalším faktorem je rozteč jednotlivých dílů. Kratší rozteče umožňují plynulejší chod stroje a u delších roztečí dochází k záběru kola ob zub. Jejich cena je nižší a chod stroje je méně plynulý. Posledním důležitým faktorem je dezén, který ovlivňuje trakci a šetrnost k terénu. Dezény různých klikatých tvarů s ostrými hranami mají hlubší stopu, ale lepší trakci na mokřých půdách. Větší šetrnosti k půdě se vyznačují dezény s větším počtem a větší kontaktní plochou výstupků. V případě poškození pryžového pásu je nutná jeho výměna bez možnosti opravy. [6]



Obr. 5 Pryžový pás RubberHill [17]

## OTT PÁSY

OTT (Over tires tracks) pásy jsou nasazovány na kolové podvozky, za účelem zvýšení záběrové podmínky. Pásy jsou nasazovány v terénu, a to během několika minut. Není vyžadována žádná demontáž kol. Mezi pásem a kolem nedochází k protáčení, tím nedochází k poškození pneumatik. U OTT pásů není vyžadována žádná údržba. Pásy tohoto typu provedení jsou jak ocelové tak i gumové. [7]



*Obr. 6 OTT pásy nasazené na smykem řízeném nakladači [7]*

### 1.1.3 HNACÍ KOLO A PŘENOS KROUTICÍHO MOMENTU

Hnací kolo nebo také turasové kolo je poháněno rotačním hydromotorem (obr. 7) a přenos kroučícího momentu je prováděn pomocí tření nebo pomocí zubů. V prvním případě je přenos zajištěn pomocí velkorozměrného hnacího kola, pro zvýšení účinnosti třecích ploch a upraveným povrchem. Povrch je upraven z důvodu snížení prokluzu a schopnosti přenést co největší možný kroučící moment. Musí být zajištěna i dostatečně velká přítláčná síla pásu na hnací kolo. Velký vliv na funkci mají i okolní nečistoty. U tohoto typu přenosu je důležité co nejmenší možné proniknutí nečistot mezi plochu hnacího kola a pásu. Podvozek je vybaven vodíci výstupky z důvodu zamezení sesmyknutí pásu a schopnosti zachytávat boční síly. [10]

Přenos kroučícího momentu pomocí zubů je realizován pomocí tvarového styku. Kroučící moment je přenášen pomocí negativního a pozitivního kola. U přenosu pomocí negativního kola je přenos prováděn pomocí turasového kola jehož zuby zapadají do drážek mezi články pásu. Oproti tomu přenos pomocí pozitivního kola je prováděn prostřednictvím dvou svařených disků s vnitřními příčkami, do kterých zapadají zuby po vnitřní straně pásu. [10]



Obr. 7 Hnací ústrojí: vlevo – hnací kolo, vpravo – rotační hydromotor [36, 37]

#### 1.1.4 NAPÍNACÍ KOLO

Pás podvozku musí být dostatečně napínán, aby došlo ke správnému záběru hnacího kola a vyvarovalo se spadnutí pásu nebo přeskakování mezi zuby. Dále jsou pásy napínány jako ochrana proti předpětí, které by mohlo vzniknout vnikem cizího tělesa. Napínání je prováděno pomocí hydraulického-pneumatického systému. [1, 2]



Obr. 8 Napínací kolo [37]

#### 1.1.5 POJEZDOVÉ A PODPĚRNÉ KLDKY

Pojezdovými kladky je zajištěna přítlačná síla pásu k podloží a je tak i rozložena tíha vlastní hmotnosti troje. Podpěrnými kladky se vymezuje průvěs pásu. Tyto kladky jsou používány pouze u housenicového podvozku. [1, 2]



Obr. 9 Podpěrná kladka – vlevo, Pojezdová kladka – vpravo [37]

## 1.2 USPOŘÁDÁNÍ PÁSOVÝCH PODVOZKŮ

### 1.2.1 HOUSENICOVÉ PODVOZKY

Jsou vybaveny jedním kolem hnacím a jedním vodícím kolem. Rozlišujeme je podle uspořádání jednotlivých prvků, jako jsou pojezdové kladky, napínání pásu a nosiče pásu. [2]

#### KLASICKÝ

Pás je napnut mezi napínacím kolem a turasovým kolem. Přítlak pásu k půdě je zajištěn pomocí pojezdových kladek, ale i turasovým kolem a napínacím kolem. Podvozek je také vybaven vodícími kladkami. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších podvozků ve stavební a zemědělské technice. [8]



Obr. 10 Klasický podvozek Renomag [11]

#### ZVÝŠENÝ

Napínací kolo a turasové kolo jsou umístěny výše nad úrovní pojezdových kladek. Turasové kolo přichází do menšího styku s nečistotami a nedochází tak k velkému opotřebení. [8]



Obr. 11 Zvýšený podvozek transporteru Chieftain R [12]

### ODPRUŽENÍ POMOCÍ TORZNÍCH TYČÍ

Jedná se o typ podvozku, který nemusí mít nosič pásu. Využívá pojezdových kladek velkých průměrů, které mohou plnit i funkci nosných kladek. Jednotlivá kola jsou přichycena torzními tyči. Byl navržen Johnem Walterem Christiem a je dále využíván jako základ pro dnešní pásové podvozky. [8, 9]



Obr. 12 Podvozek hasičského vozidla SPOT-55 [13]

### 1.2.2 PODVOZKY S DELTA NÁHONEM

Delta podvozky jsou vybaveny dvěma vodícími koly. Výhoda těchto podvozků spočívá ve stavebnicovém provedení. Při poruše lze jednotlivé díly demontovat a vyměnit, aniž by stroj musel být odvezen na opravu. Turasové kolo je umístěno výše nad zemí, nedochází tak k opotřebení mechanismu v nepříznivém terénu, ve kterém by se jiné turasové kolo brodilo.[2]



Obr. 13 Podvozek delta traktoru Versatile (nalevo). Pevné uchycení modulu podvozku na traktor CASE IH Quadtrack STX 450 (napravo) [10, 14]

Pásových jednotek delta se využívá pro jejich kratší délku pro uspořádání čtyř jednotek na stroji tvořící jeden celek. Jsou v provedení čtyř hnacích pásových podvozků nebo dvou hnacích pásových podvozků s kombinací dvou hnacích kol. Řízení je realizováno pomocí rámu složeného ze dvou jednotek, které umožňují zalamování mezi předními a zadními pásovými jednotkami. [9]





*Obr. 14 Traktor Versatile se čtyřmi pásovými jednotky delta a kloubovým řízením [14]*

Stoje využívající čtyř pásových jednotek vyvíjí srovnatelně velký tlak na půdu jako člověk. Pro představu, stroj o hmotnosti 30 t a plochou jedné pásové jednotky o velikosti 1,997 m<sup>2</sup> vyvíjí tlak 37 kPa a člověk o hmotnosti 90 kg a předpokládané ploše chodidla 0,028 m<sup>2</sup> vyvíjí tlak o velikosti 35 kPa. Proto je tento typ podvozku uplatňován v zemědělství pro traktory a kombajny. [15]

### **1.2.3 ZVLÁŠTNÍ TYPY PÁSOVÝCH PODVOZKŮ**

#### **PÁSOVÉ JEDNOTKY VOSCHTRACKS**

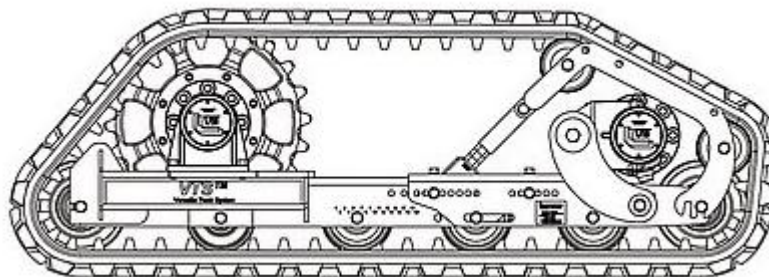
Pásové jednotky s pogumovanými ocelovými pásy o šířce 700 mm dovolují pohyb při rychlosti až 25 km/h . Jsou zaměnitelné za kolové podvozky s jedinou podmínkou, vzdálenost nábojů musí být 1,5 m. Tuto podmínku splňuje většina vyráběných strojů. Přenos točivého momentu je realizován přes dvě hnací řetězová kola. [25]



*Obr. 15 Pásová jednotka VoschTracks [25]*

### PÁSOVÉ JEDNOTKY VTS

Zahraniční firma GEHL přišla na trh s řešením systému výměnného podvozku VTS (Versatile truck system). Jedná se o podvozek snadno vyměnitelný za kolové podvozky smykem řízené nakladače. Podvozek VTS má tvar pětiúhelníku se speciálně navrženými pryžovými pásy pro lepší bezpečnost jízdy a menší opotřebení. Nasazením pásové jednotky VTS je zvýšena celková hmotnost stroje a poloha těžiště se sníží, tím se zajistí i vyšší stabilita stroje. Komponenty v podvozku jsou viditelné a nijak nekryty, díky tomu je čištění a údržba jednodušší, a vlastníci je umožněna vlastní diagnostika pásové jednotky. [28]



Obr. 16 Schéma vyměnitelného podvozku VTS [28]

### 1.3 UCHYCENÍ PÁSOVÉHO PODVOZKU

Pásové podvozky je možné uchytit dvěma způsoby. V prvním případě se jedná o pevné spojení rámu s podvozkiem (obr. 11). Hnací kolo je zatíženo pouze kroučícím momentem a napínací silou pásu. Tíha stroje je přenášena mezi rámem a nosníkem pásu. Konstrukce je používána u těžkých stavebních a zemědělských strojů. [10]

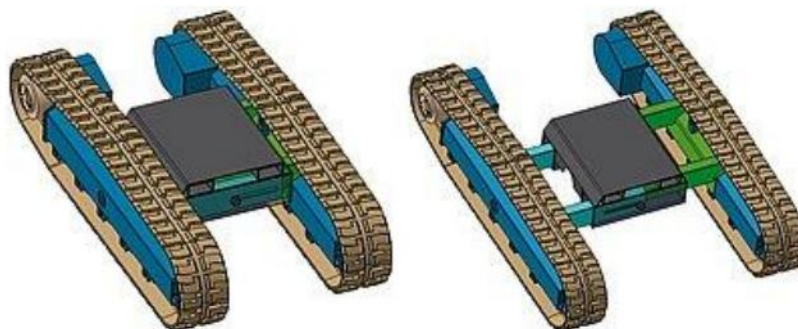
Druhý případ se používá u lehkých transportních strojů. Celý podvozek je navrhnut jako modulární člen, samostatná jednotka. [10]

### 1.4 PODVOZKY S MĚNITELNÝM ROZCHODEM

Lepší stabilitu stroje při práci lze zajistit pomocí plynulé změny rozchodu pásu. Zvýší se tak možnost práce na svazích s větším sklonem. Umožní stroji fungovat s větším nástrojem, a tím zvýšit produktivitu práce. Používá se u jeřábového zařízení s dlouhým příhradovým výložníkem nebo s vlečným korečkem. Změna rozchodu je prováděna pomocí přímočarého hydromotoru a velikost rozchodu se pohybuje v rozmezí od 200 mm do 700 mm na každou stranu.[5]

**ŘEŠENÍ S ASYMETRICKÝMI POSUVNÝMI PŘÍČNÍKY**

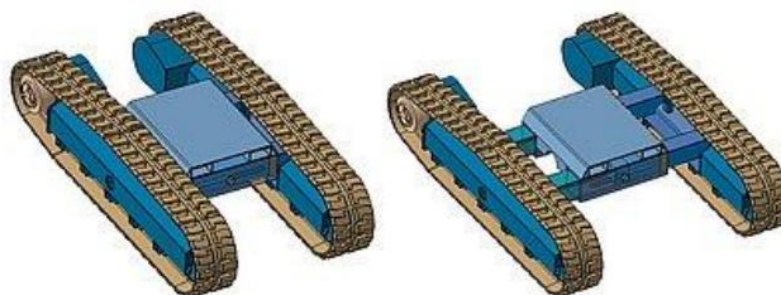
Posuvně uležené příčnící jsou přivařeny k nosníkům pásu. V rámu jsou uloženy asymetricky se stejným průřezem. [5]



*Obr. 17 Řešení s asymetrickými posuvnými příčnící [5]*

**ŘEŠENÍ S POSUVNÝMI PŘÍČNÍKY ROZDÍLNÝCH PRŮŘEZŮ**

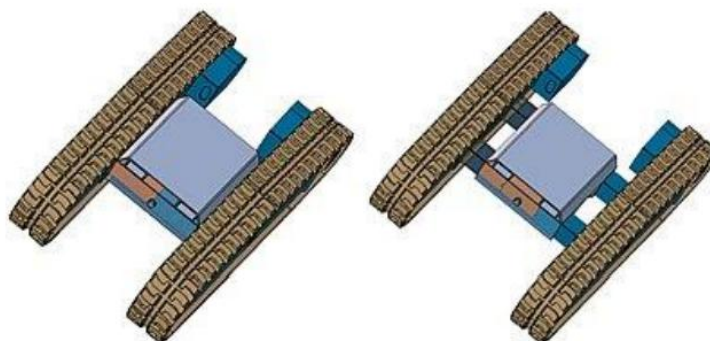
Příčnící jsou uloženy asymetricky posuvně s odlišnými průřezy. K nosníkům pásů jsou přivařeny s možností zasouvat příčnící s menším průřezem do příčnící s větším průřezem. [5]



*Obr. 18 Řešení s posuvnými příčnící rozdílných průřezů [5]*

**ŘEŠENÍ S POSUVNÝMI SYMETRICKÝMI PŘÍČNÍKY**

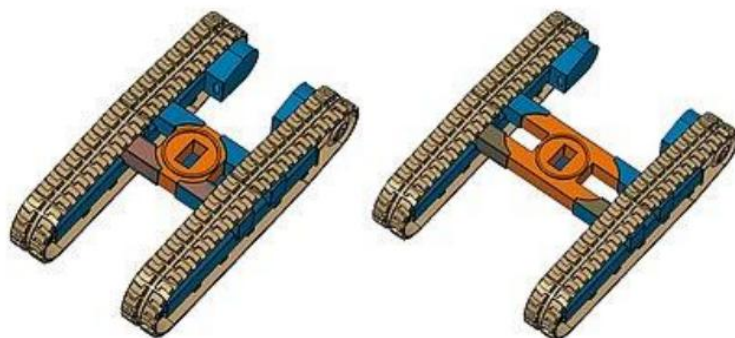
Osy levého a pravého příčnící jsou shodné a jejich možnost délky rozchodu je omezenější. Příčnící jsou stejného průřezu. [5]



*Obr. 19 Řešení s posuvnými symetrickými příčnící [5]*

### ŘEŠENÍ S POSUVNÝMI NOSIČI PÁSU

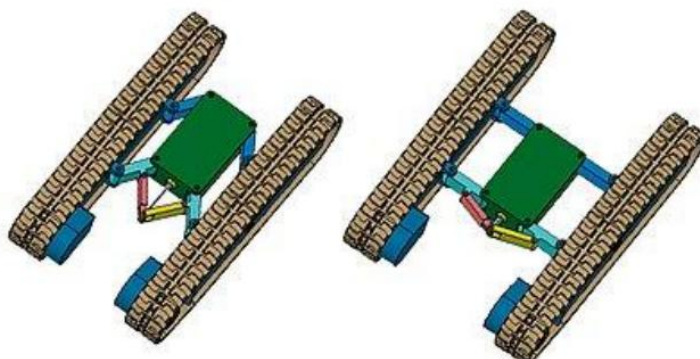
Příčnky jsou u tohoto provedení spojeny pevně s rámem. Možnost rozchodu je provedena pomocí posuvně uložených nosičů. Konstrukční provedení s posuvnými nosiči pásu je vhodné pro podvozky z vyšších hmotnostních kategorií. [5]



Obr. 20 Řešení s posuvnými nosiči pásu [5]

### ŘEŠENÍ KLOBOVÉ

Rozchod je realizován příčnky, které jsou vybaveny klouby. Rozchod podvozků lze provádět pouze současně a nosiče musejí být nad úrovní terénu. Toho se dá zajistit pomocí radlice. [5]



Obr. 21 Kloubové řešení [5]

## 2 STROJE VYUŽÍVAJÍCÍ PÁSOVÝCH PODVOZKŮ V LESNÍM TERÉNU

### 2.1 FORWARDERY A HARVESTORY

Forwardery nebo také vyvážecí traktory jsou používány v lesnictví pro vyvažování dřevené kulatiny. U vyvážecích traktorů jsou nejčastěji používány housenicové podvozky. Díky pásovému podvozku jsou traktory schopny lepšího průjezdu terénem a vlivem nižších působících tlaků na půdu tak traktoru nehrozí zapadnutí ve vodou nasáté půdě. Vyvažovací traktory jsou také schopny zdolávat vyšší stoupání. [4]

Harvestory jsou stroje používány k těžbě dříví. V jednom cyklu jsou schopny kácet dříví, odvětvovat a ukládat strom. Jejich úkolem je snadný pohyb v zalesněném terénu, zdolávat velká stoupání a průjezd nerovným terénem. [4]

Technika používající se pro průjezd lesním terénem využívá pásové podvozky a vybrané typy jsou uvedeny níže v této kapitole. Je velká řada strojů vybavena kolovými podvozky, které využívají OTT pásy pro zvýšení trakce a lepší manipulaci stroje v terénu. [4]

#### PROSILVA 15-4 ST

Jedná se o vyvážecí stroj určený pro velmi měkké podloží. Jsou schopny pojmout 15 tun nákladu. Díky způsobu zavěšení a použití čtyř pásových jednotek, jsou forwardery stále schopny vyvíjet malé měrné tlaky a to i při hmotnosti stroje 35 tun s plným naložením. Pásové jednotky jsou naklápěny podélně i příčně. Forwarder je vybaven systémem, který umožňuje rozložení hmotnosti do jednotlivých jednotek. Při zaboření jedné jednotky systém reaguje rozložením hmotnosti mezi zbylé tři. Toto je realizováno pomocí hydraulického lineárního motoru. Podvozky forwarderu jsou klasické housenicové s jedním kolem hnacím a jedním vodícím. Jsou vybaveny ocelovými pásy s ohnutými ocelovými deskami, které snižují viditelnost stopy po stroji. [19, 20]



Obr. 22 ForwarderProSilva 15-4ST [20]

### TIMBEAR LIGHTLOGG C

Vyvážecí traktor vyráběný švédskou společností Timbear AB. Vyvážecí traktor je vybavený čtyřmi pásovými jednotkami se zalamovacím kloubem s možností přidání přívěsu. Každá pásová jednotka je složena ze tří housenicově uspořádaných kol. Je možné přestavení z forwarderu na harvester a naopak.[21]



*Obr. 23 Forwarder Timbear Lightlogg C [29]*

### MOROOKA MST

Na forwardery Morooka MST je použita technologie offroadových dumperů. Jsou vhodné do těžkého terénu a prudkých svahů. Podvozky Morooka jsou konstruovány jako housenicové zvýšené s využitím pryžových pásů. [22]



*Obr. 24 Forwarder Morooka MST - 600VDL [22]*

## TERRI

Je navržen do mokrého lesního terénu a veden k šetrnosti půdy. Terri 34 je model, který má čtyři pásové housenicové jednotky, každá se třemi pojezdovými koly a ocelovým pásem. Jiné modely Terri jsou konstruovány s předními delšími podvozky a na přívěsu jsou kolové podvozky s využitím OTT pásů. Možnost přestavby z forwarderu na harvestor. [23, 24]



Obr. 25 Forwarder TERRI 34 [30]

## PROSILVA 910

Jedná se o harvestory vybaveny čtyřmi pásovkami jednotky což značně snižuje měrné tlaky na terén. Pásové jednotky jsou uspořádány delta s jedním hnacím turasovým kolem a dvěma vodícími. Jsou schopny zdolávat velká stoupání, k čemuž napomáhají ocelové pásy. [20]



Obr. 26 Harvester ProSilva 910 [32]

**SENNEBOGEN 718**

Je vhodný při použití v těžkém terénu. Díky teleskopickému výložníku je zajištěna dobrá viditelnost z kabiny stroje. Stroj je díky pásovému podvozku velmi stabilní a dokáže snadno manévrovat i v těžkém nebo mokřem terénu. Vybaven ocelovým pásem o šířce 800 mm a přídatnými gumovými destičky je harvestor šetrnější k lesnímu terénu. [26]



Obr. 27 Harvestor Shennebogen 718 [26]

Tab. 1 Technické parametry forwarderů a harvestorů [19, 20, 21, 22, 23, 24, 31, 35, 38]

|                                      | Forwardery         |                                     |                    |             | Harvestory   |                |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------|--------------|----------------|
|                                      | ProSilva 15-4 ST   | Timbear Lightlogg C                 | Morooka MST-600VDL | Terri 34    | ProSilva 910 | Sennebogen 718 |
| Hmotnost stroje [kg]                 | 20 000<br>(22 000) | 12 000                              | 4 150              | 4 500       | 13 000       | 21 000         |
| Maximální náklad [kg]                | 15 000             | 6 000 a<br>7 000 přívěs<br>(13 000) | 3 300              | 4 000       | -            | -              |
| Maximální rychlost [km/h]            | -                  | 6                                   | 11                 | 19          | -            | 22             |
| Typ podvozku                         | Klasický           | Housenicový                         | Zvýšený            | Housenicový | Delta        | Klasický       |
| Šířka pásu [mm]                      | 800                | 600                                 | 500                | 490         | 700          | 800            |
| Délka dotyku pásu [mm]               | 2100               | -                                   | -                  | 1900        | -            | -              |
| Světla výška [mm]                    | 700                | 680                                 | 355                | 400         | 700          | 600            |
| Měrný tlak na půdu bez nákladu [kPa] | 35                 | 30                                  | 17                 | 22          | -            | -              |



## 2.2 JINÉ TYPY LESNÍ TECHNIKY VYUŽÍVAJÍCÍ PÁSOVÝCH PODVOZKŮ

### CAT 527

CAT 527 je využíván pro vyvážení dřevené kulatiny z těžko přístupných míst pomocí drapáku. Jsou to vyvážecí traktory s pásovými nebo s kolovými podvozky, známé také jako skidders. Pásové jednotky typu delta jsou vybaveny ocelovými pásy širokých 600 mm a při jejich hmotnosti pohybující se okolo 30 tun vyvíjí tlak na půdu 55 kPa. CAT 527 jsou schopny prohybovat se rychlostí 15 km/h. [27]



Obr. 28 Vyvážecí traktor CAT 527 [33]

### KOMPAKTNÍ PÁSOVÉ NAKLADAČE

Pásové nakladače mají mnoho využití a to díky velké škále příslušenství, pomocí kterého je jejich využití možné i v lesnictví. Výhody kompaktního nakladačů jsou jejich malé rozměry a díky pásovému podvozku se zvýší i jejich stabilita. Pásové jednotky jsou v uspořádání delta a vybaveny pryžovými pásy. Nakladače s pásovými podvozky jsou používány v případě špatného uplatnění kolových nakladačů a OTT pásů. [34]



Obr. 29 Kompaktní nakladač VOLVO MCT 125 [34]

### 3 KONCEPČNÍ NÁVRH KONSTRUKCE PÁSOVÉHO PODVOZKU

Tato kapitola se zabývá konstrukčním návrhem pásového podvozku pro vyvážecí stroj LVS 511 s původním vyměnitelným kolovým podvozkem typu boogie (Obr. 30).



Obr. 30 Vyvážecí souprava LVS 511 s kolovým podvozkem [39]

#### 3.1 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je provedení konstrukčního návrhu pásového podvozku pro vyvážecí soupravu vycházející ze zadaných hodnot: [3]

Využití gumového pásu šířky  $s = 400\text{mm}$

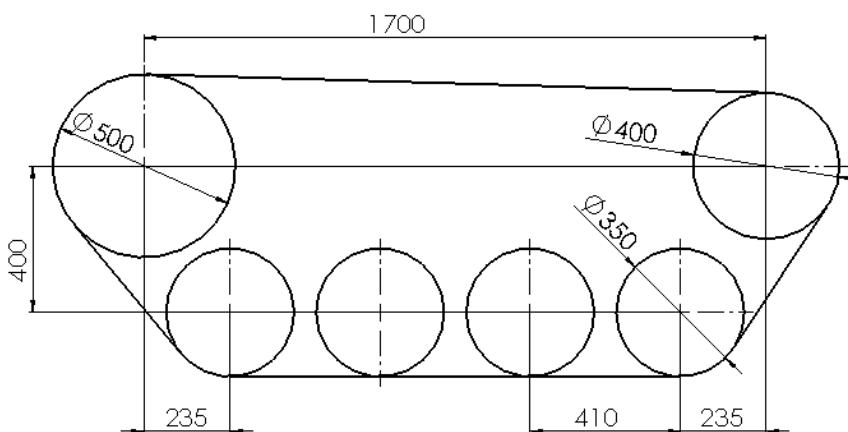
Vlastní hmotnost stroje bez podvozků  $m_S = 5000\text{ kg}$

Z toho přední rám  $m_{SP} = 3000\text{ kg}$  a zadní rám  $m_{SZ} = 2000\text{ kg}$

Nosnost stroje  $m_N = 5000\text{ kg}$

Hmotnost jedné pásové jednotky do  $m_{MS} = 1000\text{ kg}$

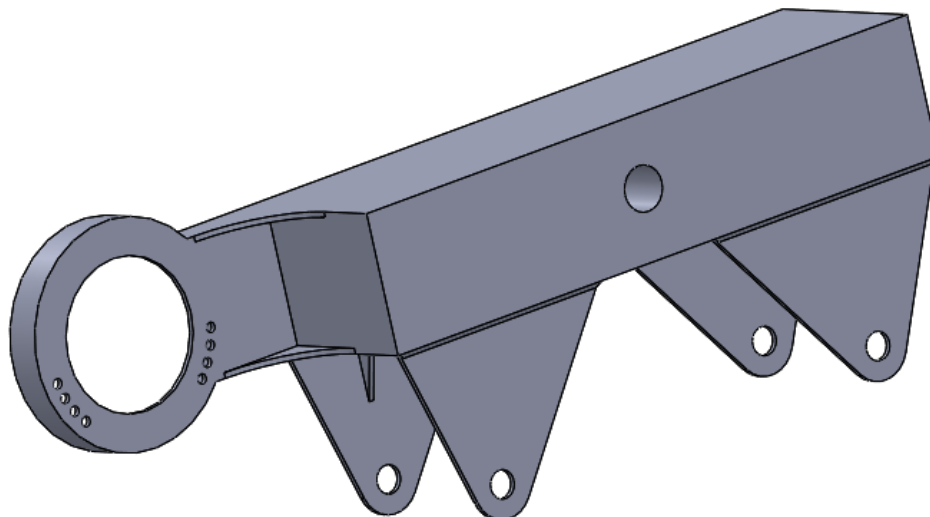
Po konzultaci s vedoucím práce byl navržen housenicový zvýšení podvozek o rozměrech:



Obr. 31 Schématické znázornění parametrů podvozku

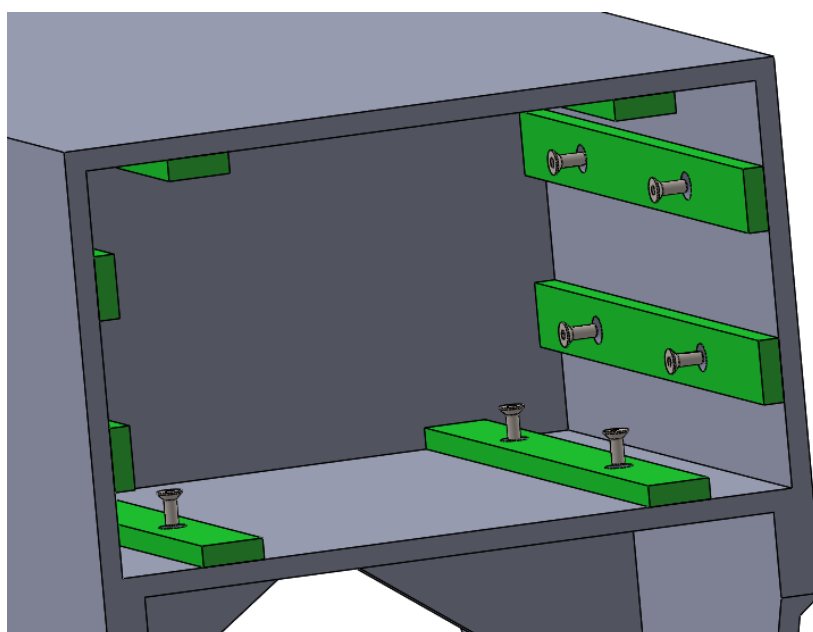
### 3.2 RÁM

Rám je navrhnut jako skříňový nosník, vyrobený ze svařovaných plechů a vyztužen pomocí žeber. Na přední levé části je otvor pro uchycení rotačního hydromotoru. Dále jsou k rámu přivařeny plechové díly pro umístění vahadel a v prostřední části rámu je otvor pro umístění podvozku k samotnému stroji. Otvor je vyztužen přivařenou válcovou trubkou pro umístění ložisek. Při návrhu rámu je použit plech o tloušťce 10 mm.



Obr. 32 Rám podvozku

Druhá strana rámu je otevřená z důvodu umístění napínacího zařízení, kde jsou k rámu přišroubovány kluzné lišty pro vedení napínání. Kluzné lišty jsou přišroubovány k rámu šrouby M6 s vnitřním šestihranem.



Obr. 33 Uložení kluzných lišt

### 3.3 NÁVRH ROTAČNÍHO HYDROMOTORU

Parametry rotačního hydromotoru jsou navrženy na základě vlastností motoru původního kolového podvozku. Po konzultaci s vedoucím práce byl zvolen radiální pístový hydromotoru MCR-T, který je určen pro pohon pásových podvozků. Byla vybrána nejvýkonnější řada MCR10T2WL. [40, 41]

Tab. 2 Parametry hydromotoru MCR10T2WL [40]

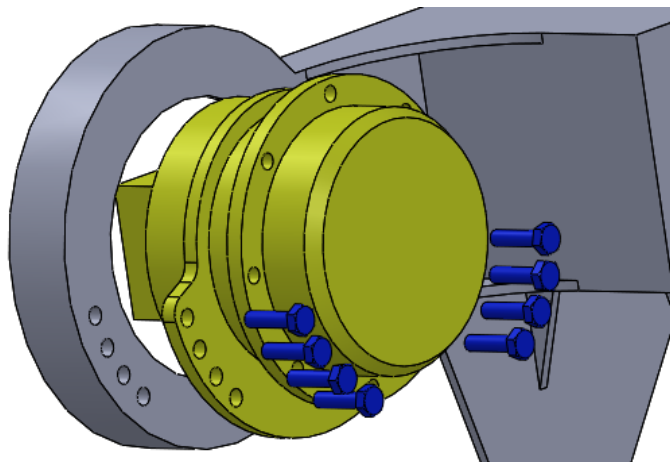
|                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| Maximální moment     | 8531 Nm                        |
| Maximální otáčky     | 205 ot/min                     |
| Objem                | 1340 cm <sup>3</sup> /ot       |
| Jmenovitý tlak       | 25 MPa                         |
| Hmotnost             | 93 kg                          |
| Hydraulická kapalina | minerální olej (HLP) DIN 51524 |



Obr. 34 Radiální pístový motor MCR-T [40]

#### 3.3.1 UCHYCENÍ HYDROMOTORU

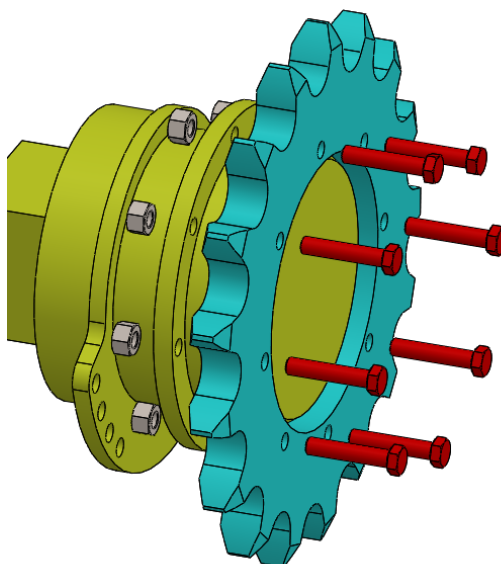
Hydromotor je uchycen z boku pomocí osmi šroubů M16 s šestihřannou hlavou. Do rámu byly vyvrtány díry podle přípojovacích rozměrů hydromotoru uvedené výrobcem. Rám v oblasti děr pro šroub je z druhé strany silnější kvůli zvýšení nosné hloubky závitů. [40]



Obr. 35 Uchycení Hydromotoru

### 3.4 UCHYCENÍ HNACÍHO KOLA

Přenos krouticího momentu je prováděn pomocí pozitivního kola. V tomto případě zuby kola musí zapadat do zubových mezer v pásu. Při návrhu hnacího kola bylo postupováno pomocí katalogových údajů zadaného pásu. Kolo je připevněno k hydromotoru pomocí osmi šrouby M16 se šestihrannou hlavou a ještě zajištěny maticí M16. Připojovací parametry vychází z parametrů hydromotoru uvedené výrobcem.



Obr. 36 Uchycení hnacího kola

### 3.5 NAPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ

Pro napínání pásu byl použit lineární hydromotor. Stanovení rozměrů pohonu pro napínání vychází z potřebné napínací síly, která se vypočítá z tíhové síly vynaložené na jeden podvozek a zrychlení soupravy. Vstupní podmínky pro stanovení napínací síly jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3).

Tab. 3 Vstupní podmínky pro stanovení napínací síly [3]

|          | $s_{\max}$ | $\alpha_{\max}$ [°] | $v$ [km/h] | $a$ [m/s <sup>2</sup> ] |
|----------|------------|---------------------|------------|-------------------------|
| Stoupání | 35%        | 19,3                | 2          | 0,3                     |
| Klesání  | 50%        | 26,6                | 3          | 0,3                     |

- $m_C$  [kg] - celková hmotnost vyvážecí soupravy
- $g$  [m/s<sup>2</sup>] - tíhové zrychlení
- $n$  [-] - počet podvozků
- $G_{CM}$  [N] - tíhová síla soupravy na jeden podvozek

$$m_C = m_S + m_N + n * m_{MS} \quad (1)$$

$$m_C = 5000 + 5000 + 4 * 1000$$

$$m_C = 14000 \text{ kg}$$

$$G_{CM} = \frac{m_C * g}{n} \quad (2)$$

$$G_{CM} = \frac{14000 * 9,81}{4}$$

$$G_{CM} = 34335 \text{ N} \cong 34,3 \text{ kN}$$

$a$  [ $\text{m/s}^2$ ] - zrychlení vyvážecí soupravy

$v$  [ $\text{m/s}$ ] - rychlost vyvážecí soupravy

$\alpha_{\max}$  [ $^\circ$ ] - maximální úhel svahu

$F_{\text{nap}}$  [ $\text{N}$ ] - napínací síla

$$F_{\text{nap}} = G_{CM} * \left( \frac{a}{g} + \sin \alpha_{\max} \right) [1] \quad (3)$$

$$F_{\text{nap}} = 36787,5 * \left( \frac{0,3}{9,81} + \sin 26,6 \right)$$

$$F_{\text{nap}} = 16423,8 \text{ N} \cong 16,4 \text{ kN}$$

Na základě napínací síly se vypočte plocha a potřebný průměr pístu, podle kterého se z katalogu zvolí vyhovující pohon

$P_{\text{jmen}}$  [ $\text{MPa}$ ] - jmenovitý tlak pístu

$S_{\text{min}}$  [ $\text{mm}^2$ ] - minimální průřez pístu

Jmenovitý tlak pístu  $P_{\text{jmen}} = 20 \text{ MPa}$  [42]

$$S_{\text{min}} = \frac{F_{\text{nap}}}{P_{\text{jmen}}} \quad (4)$$

$$S_{\text{min}} = \frac{16423,8}{20}$$

$$S_{\text{min}} = 821,2 \text{ mm}^2$$

$d_{\text{min}}$  [ $\text{mm}$ ] - minimální průměr pístu

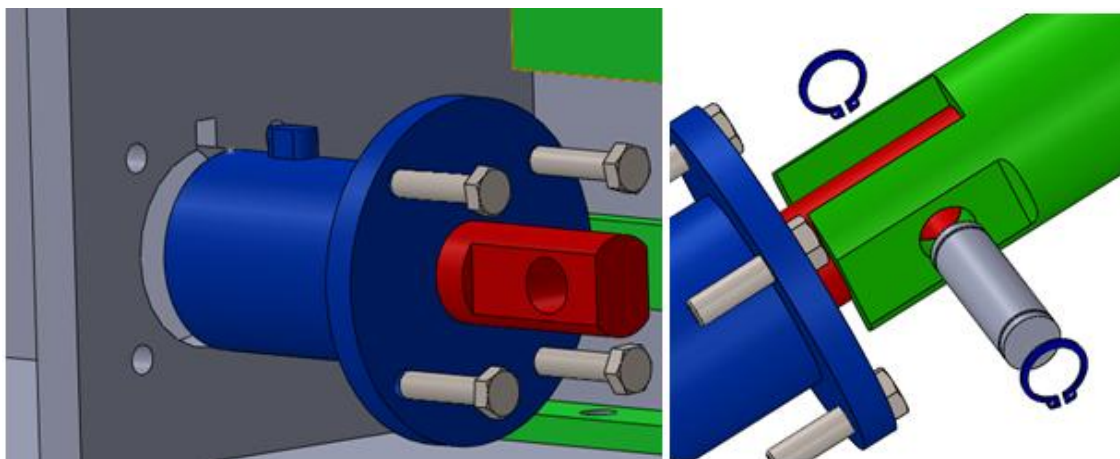
$$d_{\text{min}} = \sqrt{\frac{4 * S_{\text{min}}}{\pi}} \quad (5)$$

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 821,2}{\pi}}$$

$$d_{\min} = 32,33 \text{ mm}$$

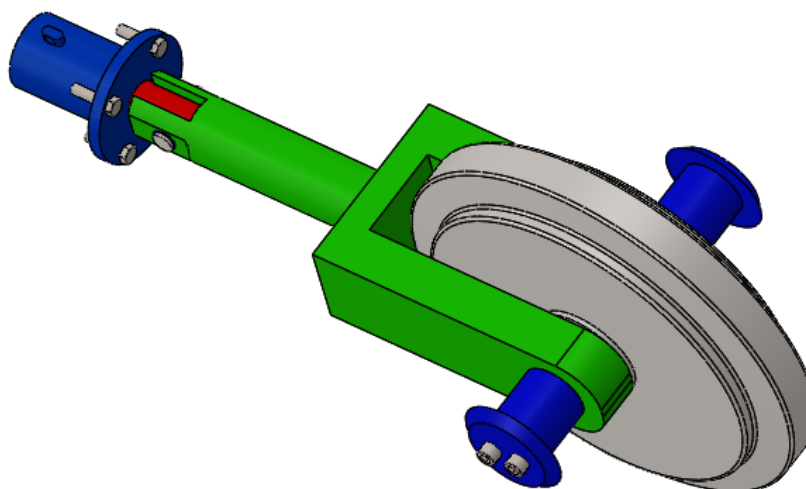
Přímočarý hydromotor byl vybrán od firmy Hydraulics. Na základě vypočtených hodnot byl z katalogu firmy zvolen průměr pístu 36 mm. Maximální dovolený zdvih motoru udávaný výrobcem je 830 mm. Jedná se o jednočinný pohon série ZH-PL u něhož musí být zpětný pohyb tyče zajištěn vnější silou. [42]

Vně rámu je přivařena přepážka s výstužnými žebry, ke které je lineární pohon uchycen pomocí čtyř šroubů M10 se šestihrannou hlavou. Připojovací rozměry jsou uvedeny výrobcem. Dále je píst připevněn k napínacímu zařízení pomocí čepu a zajištěn pojistnými kroužky. [42]



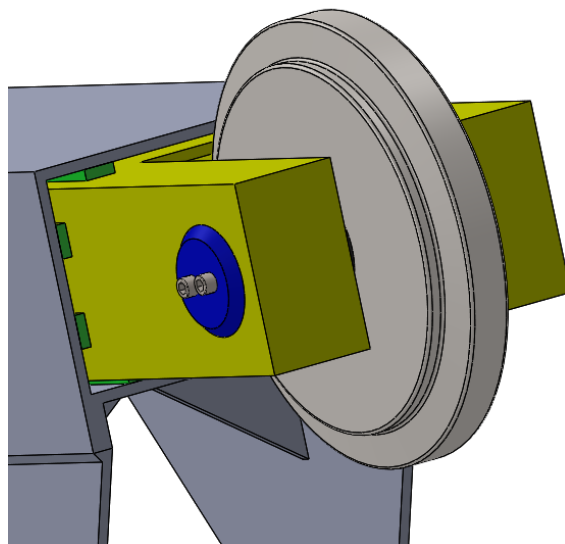
Obr. 37 Uchycení pohonu k rámu (vlevo), uchycení pístu k napínání (vpravo)

Napínací kolo je uloženo na dvou radiálních ložiscích, jejich poloha je zajištěna pomocí rozpěrných vložek. Proti vniku nečistot mezi ložiska jsou použity hřídelové těsnící kroužky, které jsou vloženy mezi napínání a napínací kolo. [41]



Obr. 38 Uložení napínacího kola

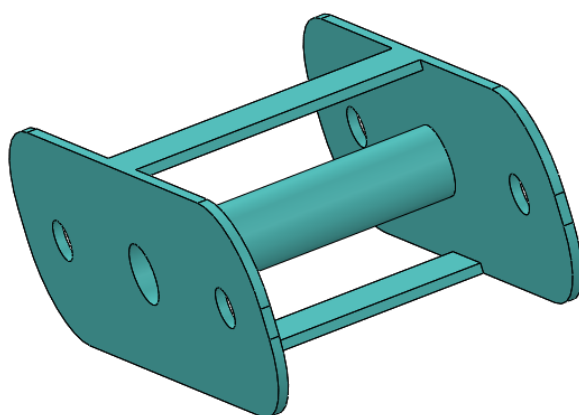
Ložiska s napínacím kolem a těsnícími kroužky jsou uloženy na čepu, který je z jedné strany osazený a z druhé strany je zajištěn víkem a dvěma šrouby M12, což zabraňuje osovému vypadnutí čepu. Napínání je kryto svařovaným nosníkem, který je vsunut do rámu a umožňuje přímočarý pohyb po kluzných lištách.



*Obr. 39 Uložení napínacího zařízení v rámu*

### 3.6 VAHADLA A POJEZDOVÁ KOLA

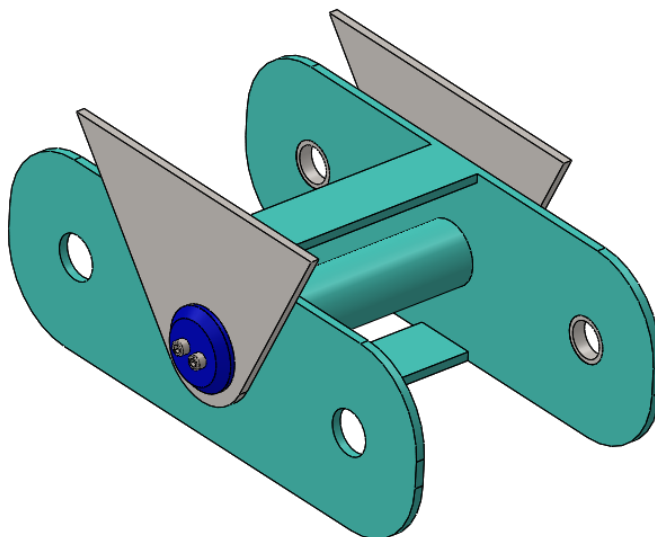
Vahadlo je vyrobeno jako dva kusy vypáleného plechu. Tyto kusy jsou spojeny vřícovou trubkou pomocí svařování a dále jsou spojeny pásky plechu z důvodu snížení mezery mezi pojezdovými koly, a tím i snížení vniku nečistot nebo velkých kusů zeminy.



*Obr. 40 Vahadlo podvozku*

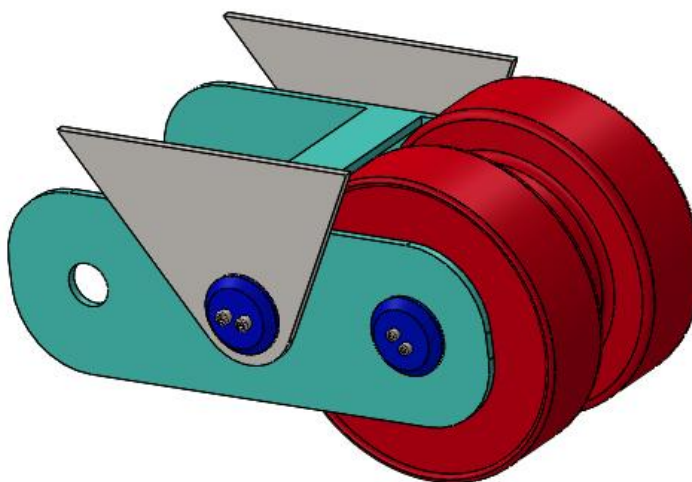


Vahadlo je uloženo na čepu stejně jako napínací zařízení v kap. 3.5, v tom to případě jsou použity šrouby M10. Pohyb vahadla je pouze kyvný, proto je použito kluzných ložisek, která jsou navzájem vymezena dvěma rozpěrnými vložkami. Po stranách jsou hřídelové těsnící kroužky pro zabránění vniku nečistot.



*Obr. 41 Uložení vahadla k rámu*

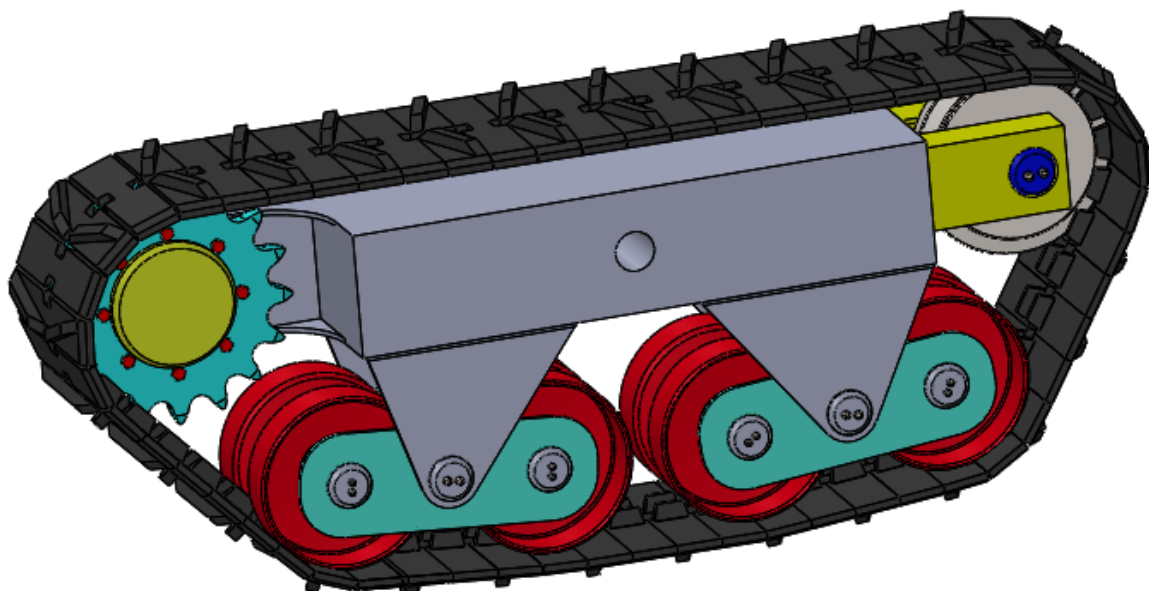
Pojzdová kola jsou uložena na čtyřech radiálních ložiscích a jejich vzdálenost je vymezena pomocí rozpěrných vložek. Kolo je k vahadlu připevněno pomocí čepu stejného principu jako u vahadla připevněnému k rámu nebo u napínacího zařízení s použitím šroubů M8. Na obou koncích jsou Hřídelové těsnící kroužky zabráňující vniknutí nečistot do ložisek. [41]



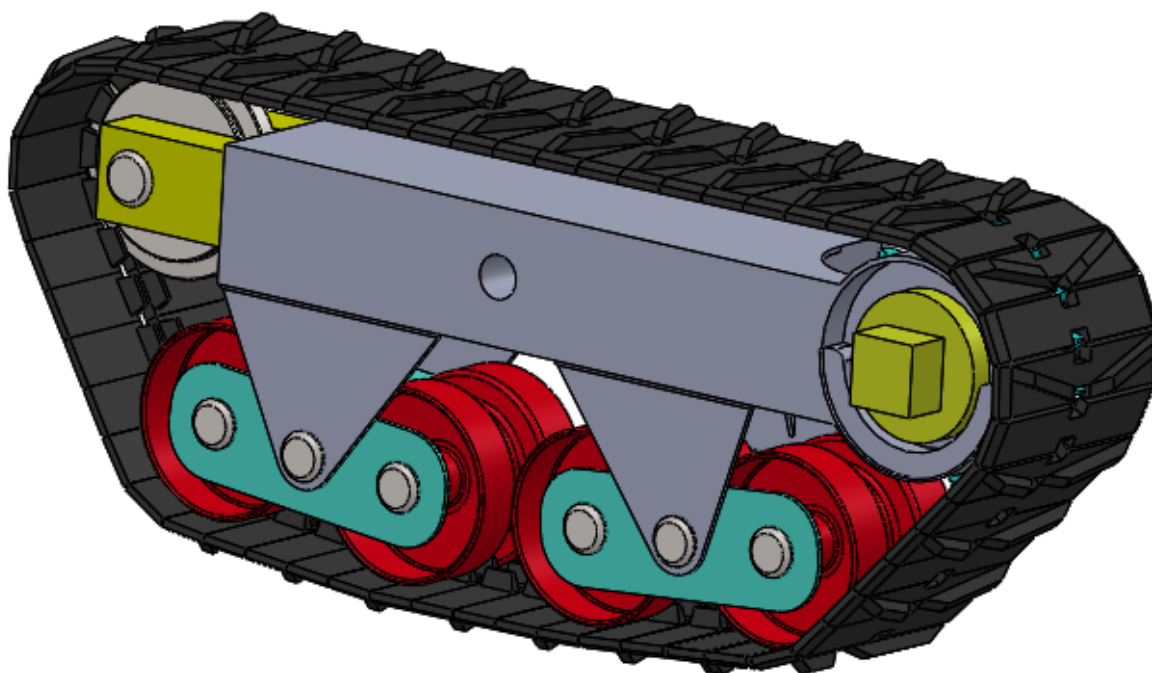
*Obr. 42 Uložení pojezdového kola k vahadlu*

### 3.7 CELKOVÁ SESTAVA

Pás byl nahrazen dvěma typy článků, jeden s dezénem a druhý bez dezénu. Články jsou poskládány vedle sebe a spojeny rotační vazbou. Jedná se o levou sestavu podvozku, pravá je totožná, ale má zrcadlově převrácený rám. Pravá sestava je použita v následující kapitole. Hmotnost celé sestavy je odhadována na 750 kg.



Obr. 43 Pohled na vnější stranu podvozku



Obr. 44 Pohled na vnitřní stranu podvozku

## 4 DYNAMICKÁ SIMULACE

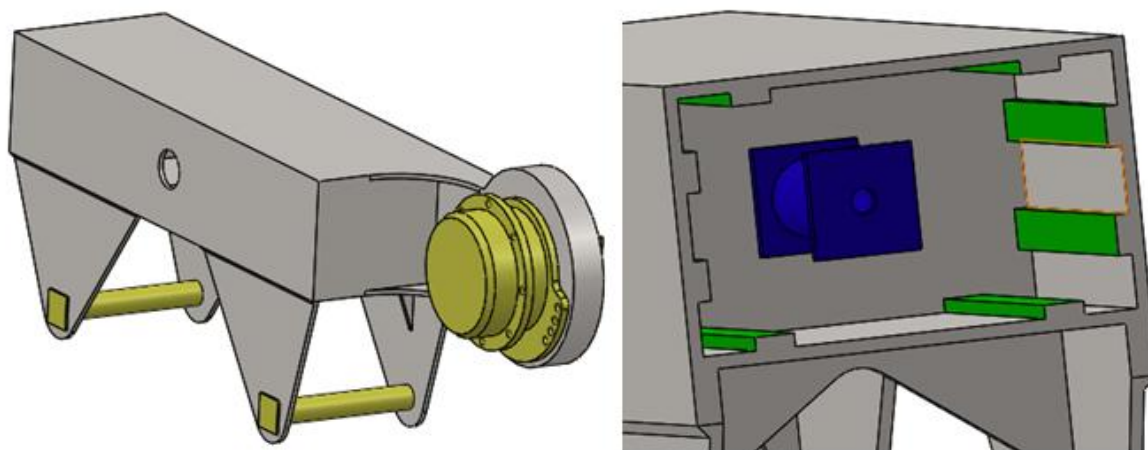
Simulace se provádí za účelem zjištění chování vyvážecí soustavy při průjezdu virtuálním terénem a pozorováním kinematiky. Díky možnosti simulace je možné prověřit chování různých zařízení, aniž by bylo potřeba zajistit fyzický model. Tím jsou sníženy náklady na výzkum a vývoj, ale také se zvyšuje rychlost výzkumu. Navzdory vysoké úrovni, na které výpočtové programy pracují, musí být přítomni odborníci u náročných úloh. Při tvorbě dynamické simulace se musí brát ohled na skutečnost, že pracují s jistým zjednodušením. [43]

### 4.1 PRINCIP A POSTUP VYPRACOVÁNÍ

#### 4.1.1 VYTVOŘENÍ MODELU

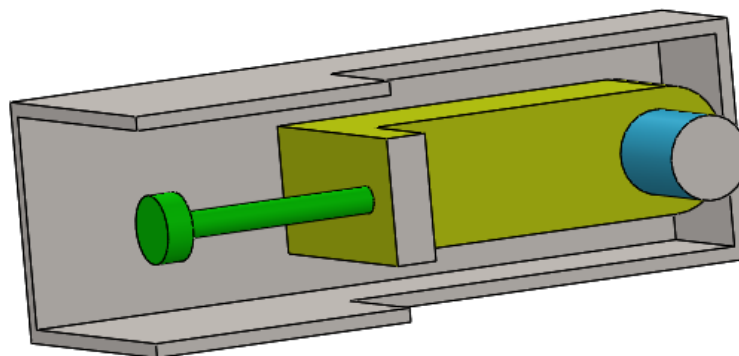
V CAD programu Solidworks byl vytvořen zjednodušený model pásového podvozku. Zjednodušení je ve smyslu nahrazení ložisek, těsnících kroužků a rozpěrných vložek jedním čepem. Veškeré šrouby a matice byly nahrazeny vazbou.

Rám podvozku, rotační hydromotor, čepy společně s lineárním hydromotorem a kluznými lištami byly nahrazeny jedním dílem.



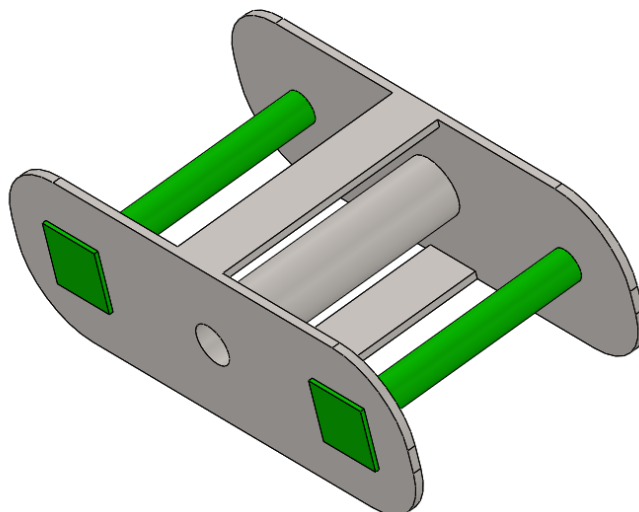
Obr. 45 Zjednodušený model rámu

Řez napínacího zařízení, u kterého je vidět zjednodušený model pístu, napínání a čepu tvořící jeden díl.



Obr. 46 Zjednodušený model napínání

Stejně jako v předchozích případech bylo zjednodušeno i vahadlo, a to tím že bylo spojeno čepy jako jeden díl.

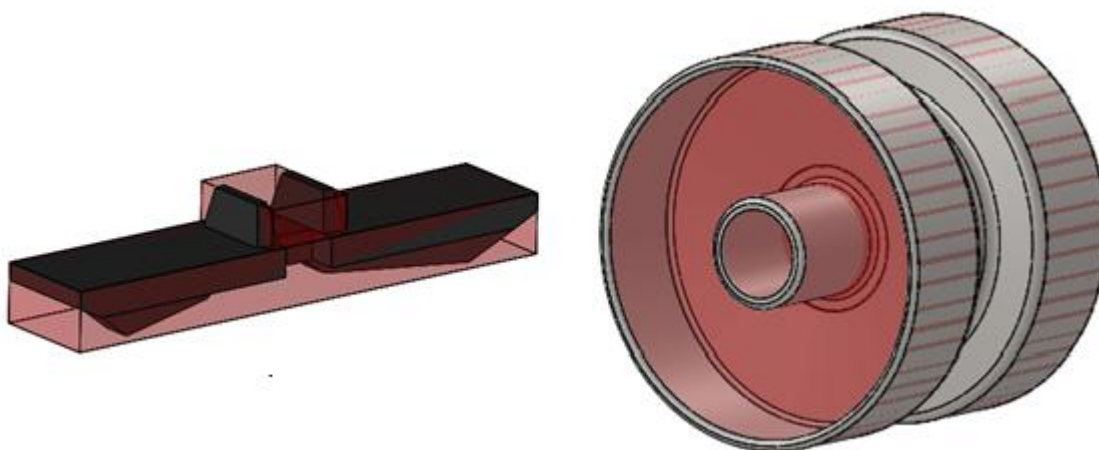


*Obr. 47 Zjednodušený model vahadla*

#### 4.1.2 PRINCIP VYTVOŘENÍ SIMULACE

Do Solidworksu byl přidán doplňkový modul Chrono engine, který umožňuje vygenerovat z modelu skript v jazyce python. Chrono engine je část modulu projektu ProjectChorno, který se zabývá právě multi body simulací. [44]

Důležitými údaji jsou hmotnosti modelu, momenty setrvačnosti a umístění vazeb. Dále bylo zapotřebí přidat kolizní geometrii. To se provedlo pomocí přidaného jednoduchého prvku a to válce nebo kvádru, které neovlivní výsledné hodnoty hmotností a momentů setrvačnosti. Na obrázku (obr. 47) je vidět ukázka kolizní geometrie.



*Obr. 48 Kolizní geometrie článku pásu a pojezdového kola (průhledné prvky)*

## 4.2 VÝSLEDKY SIMULACE

Nakonec bylo vytvořeno několik skriptů. Pro levý a pravý podvozek, pro pás, terén a pro přední a zadní rám. Tyto skripty se poté spouštěly pomocí jednoho hlavního skriptu. Podvozky byly umístěny společně s pásy na přípojovací parametry stroje a spojeny rotační vazbou. Vyvážecí souprava byla uvedena do pohybu pomocí táhla, kterému bylo zavedeno zrychlení. Simulace je provedena bez možného maximálního nákladu.

Na obrázku (obr. 49) je vidět prostředí ProjectChrono s umístěním pásu před napnutím, vytvořený pomocí dvou oblouků a dvou přímek. Oranžové články označují místa začátku a konce oblouků a přímek.



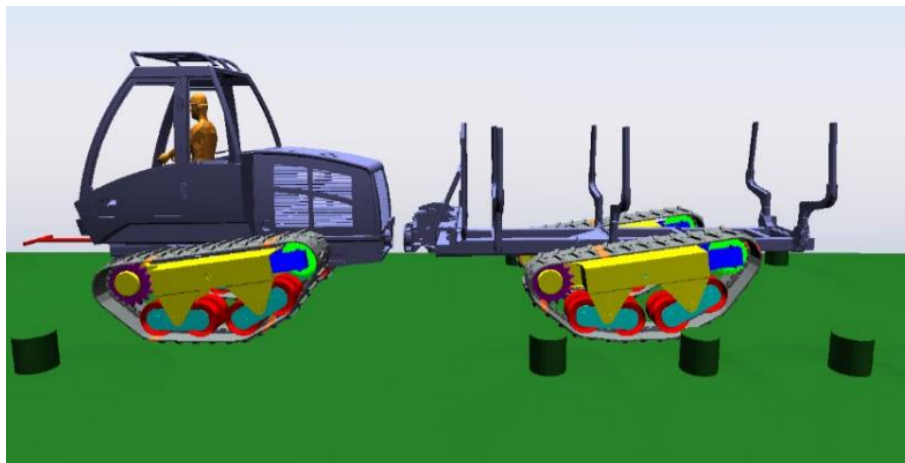
Obr. 49 Před napnutím pásu

Poté co je pás napnut je uveden do pohybu pomocí táhla. Vyvážecí souprava se pohybuje po virtuálním terénu, který představuje těžební linku. Trať představuje cestu určenou pro časté používání s malými nerovnostmi a pozůstalými pařezy. Rychlost po trati byla zvolena 1 km/h. [3]



Obr. 50 Ukázka napnutí pásu

Po napnutí pásu a uvedení vyvážecí soupravy do pohybu, je pás natočen a nepřírozně tlačěn. Toto je zapříčiněno velkými odpory, které klade pásový podvozek a samotným faktem, že je podvozek tažen táhlem.



*Obr. 51 Průjezd podvozku těžební linkou*

Během průjezdu bylo zaznamenáváno několik parametrů a to rychlost, síla v táhle a celkový výkon. Hodnoty grafu jsou filtrovány za účelem odstranění šumu. Dále hodnoty tření nebo odpor ohybu pásu jsou nastaveny odhadem za dozoru vedoucího práce (příloha P2).

## ZÁVĚR

Práce je rozdělena na čtyři části. V první části jsou popsány hlavní části obsaženy v pásových podvozcích. Dále se tato část práce zabývá tím, jakým způsobem jsou tyto prvky uspořádány. Na konec jsou rozebrány a popsány možnosti změny rozchodu pásových podvozků.

Druhá část je zaměřena na stroje, jež jsou využívány pro práci v lesích nebo určeny pro práci v lesním terénu, jako jsou forwardery a harvestory. Podvozky těchto strojů jsou popsány a jejich vlastnosti zhodnoceny pomocí tabulky.

Další část práce se zabývá vlastním konstrukčním návrhem pásového podvozku pro vyvážecí soupravu LVS 511. V této části je obsažen vlastní návrh rámu, návrh a uložení rotačního a přímočarého hydromotoru. Dále je zde návrh uložení napínacího kola, vahadel a pojezdových kol.

Poslední, čtvrtá kapitola práce, je určena pro postup a vypracování dynamické simulace a její výsledky.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] JEŘÁBEK, K., Stroje pro zemní práce: Silniční stroje. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996, 464 s. ISBN 80-7078-389-3.
- [2] VANĚK, Antonín, Ing. Moderní strojní technika a technologie zemních prací. Praha: Academia, 2003, 526 s., xvi s. barev. obr. příl. :il. (některé barev.) ; 24 cm. ISBN 80-200-1045-9.
- [3] NERUDA, J. -- ULRICH, R. -- KUPČÁK, V. -- PAJKOŠ, M. -- ZEMÁNEK, T. -- NEVRKLA, P. -- FÍLO, P. -- KLEPÁRNÍK, J. -- POLICAR, J. -- ŠKOPÁN, M. -- POKORNÝ, P. -- KAŠPÁREK, J. -- JONÁK, M. -- NOVOTNÝ, V. -- NOVOTNÝ, T. -- KLIMEŠ, P. -- SLÁDEK, P. Výzkum variabilního vyvážecího traktoru LVS 511. Brno: Tribun EU s.r.o., 2017. 195 s. ISBN 978-80-263-1086-0.
- [4] NERUDA, Jindřich. *Harvestorové technologie lesní těžby*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008. ISBN 978-80-7375-146-3.
- [5] GULAN, Ladislav a MAZURKIEVIČ, JU. Vývoj a konštrukcia pásových podvozkov s meniteľným rozchodom. Stavebni-technika.cz [online]. 2006 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/vyvoj-a-konstrukcia-pasovych-podvozkov-s-menitelnym-rozchodom>
- [6] HEJHÁLEK, Jiří. Pásky pro malou stavební techniku. Stavebni-technika.cz [online]. 2014 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/pasy-pro-malou-stavebni-techniku>
- [7] OTT PÁSY. www.pasynabagry.cz [online]. 2013 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.pasynabagry.cz/cz/ott-pasy.html>
- [8] BARTONÍČEK, R. Pásové podvozky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 48 s. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=126939](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=126939). Bakalářská práce.
- [9] J. Walter Christie. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/J.\\_Walter\\_Christie](https://en.wikipedia.org/wiki/J._Walter_Christie)
- [10] MAREŠ, M. Konstrukce mobilního pásového podvozku transportního stroje Brno: Vysoké učení technické v Brno, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 63 s. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=103078](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103078). Bakalářská práce
- [11] Renomag: KOMPLETNÍ PODVOZKY. Renomag [online]. 2005 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.renomag.cz/produkty/podvozkove-dily/podvozky-ocelove/kompletni-podvozky/>



- [12] Foremost: CHIEFTAIN R [online]. 2015 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://foremost.ca/foremost-mobile-equipment/tracked-vehicles/chieftain-r/>
- [13] ACR Army: Hasící vozidlo SPOT-55 [online]. 2004 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: [http://www.acr.army.cz/technika-a-vyzbroj/ostatni/\\*kopie-1:-hasici-vozidlo-spot-55-93181/](http://www.acr.army.cz/technika-a-vyzbroj/ostatni/*kopie-1:-hasici-vozidlo-spot-55-93181/)
- [14] MoreauAgri, spol. s.r.o. Mannet: Versatile Delta Track [online]. 2017 [cit. 2017-03-09]. Dostupný z: <http://www.moreauagri.sk/index.php/katalog-strojov/versatile/delta-track>
- [15] ŠTURSA, Vašek ml. Vyjimečný pásový New Holland T9.560. Newholland-biso.eu [online]. 2017 [cit. 2017-03-09]. Dostupný z: <http://www.newholland-biso.eu/vsechny-clanky/majestatni-new-holland-t9-560-na-pasovych-jednotkach-ati/>
- [16] RubberHill: Ocelové pásy, řetězy, desky [online]. 2009 [cit. 2017-03-10]. Dostupný z: <http://www.gumovepasy.cz/ocelove-pasy-retezy-desky/>
- [17] RubberHill: Gumové pásy RubberHill [online]. 2009 [cit. 2017-03-10]. Dostupný z: <http://www.gumovepasy.cz/gumove-pasy-rubberhill/>
- [18] Trivenimet Fab Enggineers: Earth moving Equipment [online]. 2008 [cit. 2017-03-10]. Dostupný z: <http://trivenimetfab.com/services/earthmoving-equipment/>
- [19] Logging on [online]. 2015 [cit. 2017-03-11]. Dostupný z: <http://www.loggingon.net/?cid=308>
- [20] BS logistic: ProSilva 15-4ST [online]. 2005 [cit. 2017-03-11]. Dostupný z: <http://www.bslogistic.se/prosilva/prosilva-15-4st/>
- [21] GABRIEL, O. Timbear in Konkurs [online]. 2014 [cit. 2017-03-11]. Dostupný z: <https://www.forstpraxis.de/timbear-in-konkurs>
- [22] Morooka: Forwarder [online]. 2015 [cit. 2017-03-12]. Dostupný z: <http://www.morooka.com/products/forwarder>
- [23] Reparoservis: Vyvážecí traktor TERRI 34 [online]. 2014 [cit. 2017-03-12]. Dostupný z: <http://www.lesni-technika.cz/index.html>
- [24] TERRI: Terri 34 Forwarder [online]. 2014 [cit. 2017-03-12]. Dostupný z: <http://www.terri.se/en/products/terri-34-forwarder/>
- [25] GABRIEL, O. VoschTracks: Bandlaufwerke für den Bodenschutz [online]. 2011 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.forstpraxis.de/voschtracks>
- [26] SENNEBOGEN. SENNEBOGEN 718 [online]. 2012 [cit. 2017-03-12]. Dostupný z: <https://www.sennebogen.com/en/news-press/press-archive/operation-reports/material-handling-machines/article/world-innovation-sennebogen-718-forestry-the-special-crawler-harvester.html>

- [27] Produktový list skidderů CAT 527. [online]. 2017 [cit. 2017-03- 012]. Dostupné z: [http://www.cat.com/en\\_US/products/new/equipment/skidders/track-skidders/17831465.html](http://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/skidders/track-skidders/17831465.html)
- [28] HEJHÁLEK, Jiří. Pásový podvozek VTS na smykem řízené kolové nakladače GEHL, MUSTANG a jiné. Stavebni-technika.cz [online]. 2007 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/pasovy-podvozek-vts-na-kolove-nakladace>
- [29] HStab [online]. 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupný z: <http://www.hstab.com/>
- [30] Mascus: TERRI 34 [online]. 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupný z: <https://www.mascus.com/forestry/used-forwarders/other-terri-34/9hbfakfm.html>
- [31] Anderson equipment company [online]. 2015 [cit. 2017-03-16]. Dostupný z: [http://www.andersonequip.com/web/idb.php?args=proc\\_name%5Eweb\\_home\\_wf](http://www.andersonequip.com/web/idb.php?args=proc_name%5Eweb_home_wf)
- [32] NettiKone: ProSilva [online]. 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupný z: <https://www.nettikone.com/prosilva/metsakone-ketju/1584064>
- [33] Jesse Sewell: 2004 CAT 527 track skidder [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupný z: <https://jessesewell.wordpress.com/2009/08/07/2004-cat-527-track-grapple-skidder-with-3025-hours/>
- [34] HÁJEK, Ondřej. Pásový smykem řízený nakladač Volvo MCT125C – jednoruký bandita z USA [online]. 2013 [cit. 2017-03-17]. Dostupný z: <http://bagry.cz/cze/clanky/recenze/pasovy-smykem-rizeny-nakladac-volvo-mct125c-jednoruky-bandita-z-usa>
- [35] Produktový list ProSilva 910. [online]. 2015 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: [http://dizv3061bgivy.cloudfront.net/mmc-assets/pdfs/data\\_sheets\\_technical\\_data\\_en\(0c2\).pdf](http://dizv3061bgivy.cloudfront.net/mmc-assets/pdfs/data_sheets_technical_data_en(0c2).pdf)
- [36] RubberHill: Pojezdové hydromotory [online]. 2009 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://www.gumovepasy.cz/pojezdove-hydromotory/>
- [37] Renomag: Podvozkové díly. Renomag [online]. 2005 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.renomag.cz/produkty/podvozkove-dily/podvozky-ocelove/podvozkove-dily/>
- [38] Produktový list Timbear Lightlogg C. [online]. 2010 [cit. 2017-03- 19]. Dostupné z: [http://pemm.se/pdf/M8337-5\\_Timbear%20IK.pdf](http://pemm.se/pdf/M8337-5_Timbear%20IK.pdf)
- [39] Forestry forwarderu – LVS 511 – Strojirna Novotný s.r.o. – Videos. DirectIndustry - The online Industrial Exhibition: sensor - automation - motor - pump - handling – packaging. [online]. 2017 [cit. 15-05-2017]. Dostupný z: <http://www.directindustry.com/prod/strojirna-novotny-sro/product-188243-1836470.html>
- [40] Catalog mobile hydraulics. [online]. [cit. 15-05-2017]. Dostupný z: <https://www.boschrexroth.com/ics/cat/?language=en&id=&cat=Mobile-Hydraulics-Catalog&m=XC&u=si&o=Desktop&p=g261584,g261597,g261603,p662732>

- [41] SVOBODA, J. Pásový podvozek lesního vyvážecího stroje. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 82 s. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=127295](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127295). Diplomová práce.
- [42] Detail – Výroba – HYDRAULICS s.r.o.. Hydraulické válce, přesné trubky, chromované tyče - HYDRAULICS s.r.o. [online]. 2011 [cit. 15-05-2017]. Dostupné z: <http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/zh-pl>
- [43] Katedra mechaniky | KME [online]. [cit. 15-05-2017]. Dostupné z: <https://www.kme.zcu.cz/mhajzman/download/pavel.pdf>
- [44] Project Chrono – An Open-Source Physics Engine. Project Chrono - An Open-Source Physics Engine [online]. 2016 [cit. 16-05-2017]. Dostupné z: <https://projectchrono.org/>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

|                       |                    |                                     |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|
| $a$                   | $[\text{ms}^{-2}]$ | Zrychlení soupravy                  |
| $d_{\text{min}}$      | $[\text{mm}]$      | Minimální průměr pístu              |
| $F_{\text{nap}}$      | $[\text{N}]$       | Napínací síla pásu                  |
| $g$                   | $[\text{ms}^{-2}]$ | Tíhové zrychlení                    |
| $G_{\text{CM}}$       | $[\text{N}]$       | Tíhová síla soupravy na jeden modul |
| LVS                   |                    | Lesní vyvážecí souprava             |
| $m_{\text{C}}$        | $[\text{kg}]$      | Celková hmotnost stroje             |
| $m_{\text{MS}}$       | $[\text{kg}]$      | Hmotnost pásové jednotky            |
| $m_{\text{N}}$        | $[\text{kg}]$      | Maximální hmotnost nákladu          |
| $m_{\text{SP}}$       | $[\text{kg}]$      | Hmotnost předního rámu              |
| $m_{\text{SZ}}$       | $[\text{kg}]$      | Hmotnost zadního rámu               |
| $n$                   | $[-]$              | Počet pásových modulů               |
| OTT                   |                    | Over tires tracks                   |
| $p_{\text{jmen}}$     | $[\text{MPa}]$     | Jmenovitý tlak                      |
| $s$                   | $[\text{mm}]$      | Šířka pásu                          |
| $s_{\text{max}}$      | $[-]$              | Maximální sklon svahu v procentech  |
| $S_{\text{min}}$      | $[\text{mm}^2]$    | Minimální plocha pístu              |
| $v$                   | $[\text{ms}^{-1}]$ | Rychlost pojezdu stroje             |
| $\alpha_{\text{max}}$ | $[\text{°}]$       | Maximální úhel sklonu svahu         |
| $\pi$                 | $[-]$              | Ludolfovo číslo                     |

## **SEZNAM PŘÍLOH**

P1,..... 00-BP-A2 – Pásový modul – výkres sestavy (formát papíru A2)

P2,..... Grafické znázornění probíhající rychlosti, síly a výkonu v závislosti na čase