



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

KONCEPČNÍ NÁVRH HYDRAULICKÉHO PALETIZAČNÍHO PŘÍSLUŠENSTVÍ ZA TRAKTOR

CONCEPTUAL DESIGN OF HYDRAULIC PALLETIZING ACCESSORIES FOR THE TRACTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Mejtský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Zeizinger, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Dominik Mejtský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Zeizinger, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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:

Koncepční návrh hydraulického paletizačního příslušenství za traktor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh hydraulického paletizačního příslušenství za traktor představuje technicky náročný úkol, který zahrnuje vývoj efektivního a spolehlivého systému pro manipulaci s paletami v zemědělských a průmyslových aplikacích. Tento úkol vyžaduje důkladné porozumění hydraulickým systémům a jejich integraci s traktorem, včetně optimalizace hydraulických okruhů pro zajištění dostatečné síly a přesnosti pohybu.

Cíle bakalářské práce:

Stručný popis funkce hydraulického paletizačního příslušenství za traktor.
Podrobná rešerše jednotlivých komponent zařízení.
Pevnostní výpočet vybraných komponent.
Výkresová dokumentace koncepčního návrhu.

Seznam doporučené literatury:

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

BIGOŠ, Peter, Jozef KUĽKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem hydraulického paletizačního zařízení určeného pro připojení za traktor pomocí tříbodového závěsu. Cílem bylo vytvořit zařízení, které umožní manipulaci s paletizovaným nákladem v zemědělském prostředí, s využitím hydraulického systému traktoru. Součástí práce je rešerše konstrukčních prvků potřebných pro návrh takového zařízení, zejména v oblasti hydrauliky, řetězových převodů a nosných rámových konstrukcí. Dále byly provedeny výpočty zatížení, dimenzování klíčových komponent a kontrola konstrukce pomocí strukturní analýzy. Výsledkem práce je koncepční návrh teleskopického paletizačního zařízení s možností připojení za traktor s tříbodovým závěsem kategorie II.

KLÍČOVÁ SLOVA

hydraulické paletizační vidle, traktor, manipulace s materiálem, zemědělská technika, hydraulický pohon, nosnost, manipulační technika, konstrukce, bezpečnost

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a hydraulic palletizing device intended for connection to a tractor using a three-point hitch. The aim was to develop a device that enables the handling of palletized loads in an agricultural environment, utilizing the tractor's hydraulic system. The thesis includes a research of structural components necessary for the design of such a device, particularly in the areas of hydraulics, chain drives, and load-bearing frame structures. Furthermore, load calculations, dimensioning of key components, and structural analysis were performed to verify the design. The outcome of this work is a conceptual design of a telescopic palletizing device compatible with tractors equipped with a category II three-point hitch.

KEYWORDS

hydraulic pallet forks, tractor, material handling, agricultural machinery, hydraulic drive, load capacity, handling equipment, structure, safety

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MEJTSKÝ, Dominik. *Koncepční návrh hydraulického paletizačního příslušenství za traktor*. Online, bakalářská práce. Lukáš ZEIZINGER (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165162>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23. května 2025

.....

Dominik Mejtský

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Lukášovi Zeizingerovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a cenné rady, které mi poskytl během konzultací. Jeho ochota sdílet zkušenosti a poskytnout praktické informace výrazně přispěla k úspěšnému zpracování této práce. Dále děkuji své rodině a blízkým za podporu a pochopení během celého studia. Velké poděkování patří také mým přátelům, kteří mi poskytli nejen pomoc, ale i motivaci a povzbuzení v náročných chvílích.

Všem zmiňovaným vyjadřuji své upřímné díky.

OBSAH

Úvod	11
1 Hydraulické systémy	12
1.1 Principy fungování hydrauliky	12
1.1.1 Základní principy:	12
1.2 Součásti hydraulických systémů.....	13
1.3 Použití hydrauliky v zemědělských strojích	14
2 Paletizační zařízení	15
2.1 Definice paletizačních zařízení.....	15
2.2 Rozdělení paletizačních zařízení	15
2.3 Specifika paletizačních vidlí určených pro připojení za traktor	16
2.3.1 Připojení k traktoru.....	16
3 Popis komponent paletizačního zařízení	18
3.1 Popis hydraulických válců.....	18
3.1.1 Typy hydraulických válců	18
3.1.2 Materiály a konstrukce hydraulických válců.....	18
3.2 Popis ložisek v řetězovém převodu	19
3.2.1 Typy ložisek	19
3.2.2 Výběr ložisek.....	19
3.3 Popis řetězů	20
3.3.1 Typy řetězů.....	20
3.3.2 Výběr řetězu	20
3.4 Popis bezpečnostních prvků	21
3.4.1 Hydraulické zámky.....	21
3.4.2 Pojistné čepy.....	22
3.5 Popis konstrukce rámu	22
3.5.1 Profily	22
3.5.2 Vodící ložiska.....	22
4 Návrh paletizačního zařízení	23
4.1 Návrhy koncepčních variant.....	23
4.1.1 Jednoduché paletizační zařízení	23
4.1.2 Paletizační zařízení s výsuvným rámem.....	24
4.2 Zvolený koncepční návrh	25
4.2.1 Technické parametry	26
4.2.2 Hlavní rozměry zařízení	27
4.2.3 Výběr materiálu	28
4.2.4 Porovnání zvolené varianty s předchozími.....	29
5 Výpočty paletizačního zařízení.....	30
5.1 Výpočet zatěžujících sil v převodu.....	30
5.2 Výpočet přímočarého hydromotoru.....	31
5.3 Návrh válečkových řetězů	33
5.4 Návrh ložisek.....	34
5.5 Návrh hydraulických hadic.....	36

5.6	Návrh pojistného členu	37
5.7	Výpočet možného překlopení traktoru.....	39
6	Kontrola návrhu.....	41
6.1	Nastavení okrajových podmínek.....	41
6.2	Průběh a varianty analýzy	41
6.3	Výsledky a vyhodnocení.....	42
Závěr		44
Použité informační zdroje		45
Seznam použitých zkratek a symbolů		48
Seznam příloh.....		50

ÚVOD

Zemědělská technika je v současnosti vystavena rostoucím nárokům na efektivitu, flexibilitu a bezpečnost při manipulaci s materiálem. Traktory jako klíčové stroje v zemědělství tvoří základní platformu, ke které lze připojovat širokou škálu přídatných zařízení, čímž se výrazně zvyšuje jejich univerzální využitelnost. Právě schopnost přizpůsobit traktor různým pracovním operacím dává vzniknout specializovaným zařízením, která umožňují rozšířit jeho pracovní možnosti bez potřeby nasazení samostatného stroje.

V této práci je řešen návrh paletizačního zařízení, které bude připojitelné za zemědělský traktor a bude využívat jeho hydraulický systém. Pro účely návrhu byl zvolen traktor New Holland T6.160, jenž představuje moderní stroj střední výkonnostní třídy, běžně používaný v zemědělských provozech. Tento traktor poskytuje dostatečný výkon a je vybaven standardním tříbodovým závěsem a hydraulickým okruhem, což jej činí vhodným pro připojení různých manipulačních zařízení.

Paletizační zařízení určené pro připojení za traktor přináší výhody v podobě efektivní manipulace s těžkými náklady a zvyšuje variabilitu využití traktoru při různých pracovních činnostech. Díky napojení na hydraulický systém traktoru je možné zaručit spolehlivý a plynulý chod zařízení i v náročných provozních podmínkách. Návrh takového zařízení klade důraz na pevnost konstrukce, jednoduchost ovládání a bezpečnost provozu.

Cílem této práce je navrhnout hydraulické paletizační zařízení za traktor, které bude schopno zvednout náklad do výšky alespoň 3 metrů. Zařízení musí být zároveň konstruováno tak, aby uneslo plně naloženou europaletu, jejíž hmotnost může dosahovat až 2 000 kg, a to s dostatečnou bezpečnostní rezervou. Tyto požadavky kladou vysoké nároky na správný výběr komponent, jako jsou hydraulické válce, převodové prvky a materiál konstrukce.

Navržené zařízení má umožnit efektivní využití traktoru při běžných zemědělských činnostech, kde je nutné manipulovat s paletami různých rozměrů a hmotností. Díky dostatečné zvedací výšce bude možné využít zařízení nejen při nakládce a vykládce, ale i při skladování materiálu v prostorách se zvýšenou výškou. Důraz bude rovněž kladen na to, aby zařízení bylo jednoduše připojitelné ke standardnímu tříbodovému závěsu traktoru a aby jeho konstrukce umožňovala snadnou výrobu i údržbu.

Výsledkem této práce bude návrh zařízení, které svými vlastnostmi doplní univerzální využití traktoru a přinese praktické řešení pro manipulaci s těžkým materiálem v podmínkách zemědělského provozu.

1 HYDRAULICKÉ SYSTÉMY

Hydraulické systémy tvoří základ mnoha moderních strojů a zařízení, která vyžadují efektivní přenos velkých sil s vysokou přesností. Tato kapitola se zaměřuje na principy fungování hydraulických systémů, jejich základní součásti a aplikace, zejména v oblasti zemědělské techniky. Popisuje fyzikální zákonitosti, na nichž je hydraulika založena, rozdělení hlavních komponent, jako jsou čerpadla, válce, ventily a nádrže, a vysvětluje jejich funkci v celku. Dále se věnuje konkrétním příkladům použití hydraulických systémů v zemědělských strojích, včetně traktorů, nakladačů, lisů a paletizačních zařízení. Cílem kapitoly je poskytnout komplexní pohled na význam a praktické využití hydrauliky ve strojírenské praxi.

1.1 PRINCIPY FUNGOVÁNÍ HYDRAULIKY

Funkce hydraulického systému je založena na Pascalově zákonu, který říká, že tlak vyvíjený na kapalinu v uzavřeném prostoru se přenáší rovnoměrně ve všech směrech.[1]

To znamená, že síla aplikovaná na malý píst se může přenést a znásobit na větším pístu, což umožňuje zvedání těžkých břemen s relativně malou vstupní silou.

Hydraulické systémy jsou ceněny pro svou schopnost přenášet velké síly s vysokou přesností a plynulostí. Jsou široce využívány v různých odvětvích, včetně stavebnictví, zemědělství a průmyslové automatizaci, kde zajišťují efektivní a spolehlivý provoz zařízení.

1.1.1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY:

PASCALŮV ZÁKON

Pascalův zákon je základem hydraulických systémů. Hovoří o tom, že jakékoliv změny v tlaku uplatněné na uzavřenou tekutinu se přenesou beze změny po celé této tekutině. Tento princip umožňuje hydraulickým systémům zesilovat sílu.[2]

NEPODDAJNOST HYDRAULICKÉ KAPALINY

Hydraulické kapaliny jsou prakticky nestlačitelné, což znamená, že při působení tlaku nedochází k jejich objemovým změnám. Tato vlastnost zajišťuje přesný a efektivní přenos síly v systému. Nestlačitelnost kapaliny je zásadní pro správnou funkci hydraulických zařízení, protože umožňuje okamžitou reakci na změny tlaku a zajišťuje stabilní provoz.

ENERGIE A VÝKON V HYDRAULICKÉM SYSTÉMU

Hydraulické systémy přenášejí mechanickou energii prostřednictvím tlaku a průtoku kapaliny.

Výkon hydraulického systému je určen vztahem:

$$P = p \cdot Q$$

kde:

- P je výkon (W),
- p je tlak (Pa)
- Q je průtok kapaliny (m^3/s)

TLAK A SÍLA

Síla, kterou hydraulický válec vyvíjí, závisí na ploše pístu a tlaku kapaliny

$$F = p \cdot S$$

kde:

- F je síla (N),
- p je tlak kapaliny (Pa)
- S je plocha pístu (m²)

1.2 SOUČÁSTI HYDRAULICKÝCH SYSTÉMŮ

HYDRAULICKÁ ČERPADLA

Čerpadlo je jádrem hydraulického systému. Převádí mechanickou energii (z motoru nebo elektromotoru) na hydraulickou energii tím, že přesouvá hydraulickou tekutinu z nádrže do systému. V praxi se používá několik typů čerpadel v závislosti na náročnosti aplikace a požadovaných pracovních podmínkách. Řetězová čerpadla jsou jednoduchá, robustní a vhodná zejména pro aplikace s nízkým tlakem, kde je prioritou spolehlivost. Pro aplikace se středním tlakem se často volí lopatková čerpadla, která poskytují plynulý průtok a stabilní výkon. V náročnějších systémech, kde je vyžadován vysoký tlak a účinnost, nacházejí uplatnění kolenní čerpadla, známá svým vysokým výkonem a efektivitou.[3]

HYDRAULICKÁ KAPALINA

Kapalina používaná v hydraulických systémech je obvykle olejová kvůli svým klouzavým vlastnostem a stabilitě. Kapalina přenáší energii, smazuje součásti a pomáhá odvádět teplo.[3]

HYDRAULICKÝ VÁLEC A MOTOR

Tyto komponenty, tedy hydraulické válce a motory, převádějí hydraulickou energii zpět na energii mechanickou, která je využita k vykonání požadovaného pohybu. Hydraulické válce zajišťují lineární pohyb, zatímco hydraulické motory slouží k realizaci rotačního pohybu.[3]

VENTILY

Ventily představují nezbytnou součást hydraulických systémů, protože slouží k řízení průtoku a směru hydraulické kapaliny, čímž ovlivňují funkci celého zařízení. Podle své funkce se ventily dělí do několika základních kategorií. Ventily pro řízení směru umožňují usměrnit proudění kapaliny do různých částí systému a tím určují, kterým směrem bude pohybován hydraulický válec nebo motor. Ventily bezpečnostního uvolnění, známé také jako přetlakové ventily, mají za úkol chránit systém před nadměrným tlakem – při překročení nastavené hodnoty otevřou průtok kapaliny do nádrže nebo jiného bezpečného prostoru, čímž zabrání poškození komponent. Dále jsou zde regulační ventily, které jemně řídí rychlost hydraulických aktuátorů pomocí úpravy průtoku kapaliny, a tím umožňují plynulé a přesné ovládání pohybových prvků v systému.[3]

NÁDRŽ

Hydraulická nádrž slouží jako zásobník hydraulické kapaliny, která je nezbytná pro provoz celého systému. Kromě skladovací funkce má nádrž i několik dalších důležitých úloh. Pomáhá

odvádět teplo vznikající při provozu, čímž přispívá ke stabilizaci teploty kapaliny a zabraňuje přehřátí systému. Dále umožňuje usazování vzduchu a drobných kontaminantů, které se mohou do kapaliny dostat během oběhu, a tím přispívá k zachování čistoty kapaliny a správné funkce citlivých hydraulických komponent.[3]

1.3 POUŽITÍ HYDRAULIKY V ZEMĚDĚLSKÝCH STROJÍCH

Hydraulické systémy hrají klíčovou roli v moderní zemědělské a průmyslové technice díky své schopnosti přenášet velké síly a energii s vysokou přesností a spolehlivostí. Díky těmto vlastnostem nachází hydraulika široké uplatnění při manipulaci s materiálem, zvedání, pohonu strojů a dalších činnostech.

ZEMĚDĚLSKÉ TRAKTORY

V zemědělství se hydraulické systémy běžně používají pro ovládání třibodových závěsů traktorů, což umožňuje snadné připojení a ovládání různých nástrojů a zařízení. Například u traktorů New Holland T6 dosahuje maximální zvedací kapacita zadního třibodového závěsu až 7 864 kg, což umožňuje manipulaci s těžkým nářadím a efektivní práci v různých zemědělských aplikacích.[4]

Tyto vlastnosti činí traktory New Holland vhodnými pro širokou škálu zemědělských prací, včetně manipulace s paletizačními zařízeními připojitelnými za traktor, kde je vyžadována vysoká nosnost a spolehlivost hydraulického systému.

KOLOVÉ NAKLADAČE

Kolové nakladače, jako jsou modely od společnosti Liebherr, jsou navrženy speciálně pro nasazení v zemědělství. Jsou vybaveny hydraulickým rychloupínacím systémem LIKUFIX, který umožňuje rychlou a bezpečnou výměnu nářadí přímo z kabiny. Díky široké škále přídatných zařízení, jako jsou lopaty na lehké materiály, vidle s hydraulickým přidržovačem či kleště na balíky, jsou tyto stroje vysoce univerzální a efektivní při různých zemědělských činnostech.[5]

HYDRAULICKÉ LISY

Hydraulické lisy hrají klíčovou roli v zemědělství, zejména při lisování a balení píce, slámy či sena. Jejich schopnost vyvinout vysoký tlak umožňuje efektivní zpracování materiálu do kompaktních balíků, což usnadňuje skladování a přepravu. Moderní hydraulické lisy jsou vybaveny bezpečnostními prvky, jako jsou pojistky proti přetížení, a umožňují přesné nastavení lisovací síly a rychlosti.

Typickým příkladem moderního hydraulického lisu je model New Holland BigBaler 1290 Plus, který využívá patentovaný uzlovací systém Loop Master. Tento systém vytváří o 22 % hustší balíky a eliminuje vznik krátkých odřezků motouzu, čímž přispívá k ochraně životního prostředí a zajišťuje vyšší kvalitu balíků. Lis je také vybaven snímači zatížení a novým ISOBUS zobrazováním, což umožňuje efektivní a přesné ovládání.[6]

2 PALETIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Paletizační zařízení představují klíčový prvek moderní logistiky a manipulace s materiálem, zejména v zemědělství a průmyslu. Tato zařízení umožňují efektivní a bezpečné ukládání různých produktů na palety, čímž usnadňují jejich přepravu a skladování.

2.1 DEFINICE PALETIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

Paletizační zařízení jsou specializované mechanické, hydraulické nebo automatizované systémy navržené pro manipulaci s materiálem a zbožím uloženým na paletách. Palety slouží jako standardizované platformy pro skladování a přepravu zboží, a právě paletizační zařízení umožňují efektivní manipulaci s nimi v různých prostředích – od zemědělství, přes logistiku až po průmyslovou výrobu.

2.2 ROZDĚLENÍ PALETIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

MECHANICKÉ

Mechanická paletizační zařízení využívají k přenosu síly a pohybu mechanické komponenty, jako jsou ozubená kola, řetězy nebo vačky. Tato zařízení jsou často jednodušší konstrukce a vyžadují méně údržby, ale mohou mít omezenou flexibilitu a přesnost ve srovnání s hydraulickými systémy.

Použití těchto komponent umožňuje konstrukci robustních a spolehlivých mechanických paletizačních systémů, které jsou schopny efektivně manipulovat s materiálem v různých průmyslových aplikacích.

HYDRAULICKÉ

Hydraulická paletizační zařízení jsou mechanické systémy, které využívají tlak kapaliny k přenosu síly a vykonávání práce.[7] Typickým příkladem jsou hydraulické paletizační vidle, které umožňují snadnou a bezpečnou manipulaci s paletami. Tyto vidle jsou navrženy tak, aby poskytovaly dokonalý přehled z kabiny řidiče pro přesné seřízení požadované vzdálenosti mezi vidlemi.[8]

Pro paletizační zařízení určená k připojení za traktor se nejčastěji využívají hydraulické systémy, a to především z důvodu jejich vysoké účinnosti při přenosu velkých sil a schopnosti přesného a plynulého ovládání. Hydraulika umožňuje snadné zvedání a manipulaci s těžkými břemeny, což je v zemědělském prostředí nezbytné, například při přepravě plně naložených palet, balíků slámy nebo pytlů s osivem. Výhodou hydraulického pohonu je také jeho kompaktnost, jelikož potřebné síly lze dosáhnout i s relativně malými komponenty. Traktory jsou navíc standardně vybaveny hydraulickými okruhy, což umožňuje jednoduché napojení paletizačního zařízení bez potřeby dodatečných zdrojů energie. Hydraulická zařízení tak poskytují spolehlivost, výkon a zároveň flexibilitu v různých pracovních podmínkách.

2.3 SPECIFIKA PALETIZAČNÍCH VIDLÍ URČENÝCH PRO PŘIPOJENÍ ZA TRAKTOR

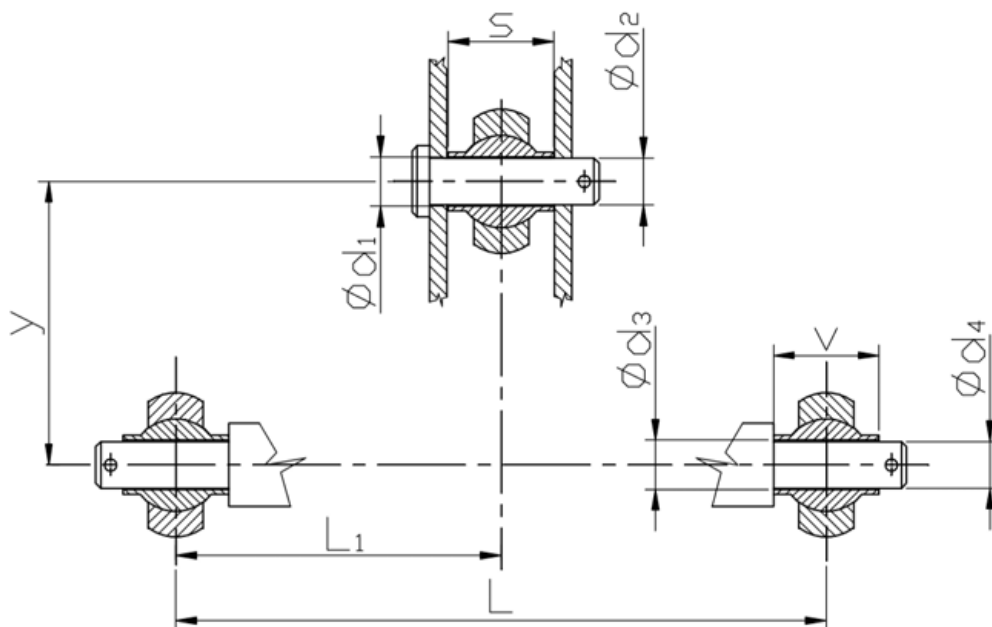
Paletizační vidle určené pro připojení za traktor představují specializované zařízení navržené pro manipulaci s patetizovaným nákladem v zemědělství, stavebnictví a logistice. Jejich konstrukce se musí přizpůsobit specifickým požadavkům provozu v terénu i kompatibilitě s traktory různých výkonových tříd. Klíčovým prvkem tohoto zařízení je možnost uchycení na tříbodový závěs, který je standardem u zemědělských traktorů a umožňuje bezpečné a stabilní připojení.

2.3.1 PŘIPOJENÍ K TRAKTORU

TŘÍBODOVÝ ZÁVĚS

Tříbodový závěs (obrázek 1) se rozděluje do tří hlavních kategorií (obrázek 2). Kategorie I je určena pro malé traktory s malým výkonem (do 48 kW). Kategorie II se využívá u traktorů s výkonem 30-92 kW. Pro velké traktory s velkým výkonem se používá tříbodový závěs kategorie III. Každá kategorie závěsu má odlišné průměry čepů a rozteče ramen[9]

Pro návrh paletizačního zařízení byl zvolen traktor New Holland T6.160, který disponuje jmenovitým výkonem 117 kW (160 HP), což ho řadí mezi výkonné traktory určené pro náročné zemědělské aplikace. Vzhledem ke konstrukci a specifikacím výrobce je tento traktor vybaven zadním tříbodovým závěsem kategorie II, případně kombinovaným závěsem II/III, který umožňuje připojení širokého spektra zařízení. Výběr této kategorie je vhodný z hlediska kompatibility navrhovaného paletizačního zařízení, které bylo navrženo tak, aby odpovídalo standardním rozměrům kategorie II dle ISO 730-1.



Obrázek 1 – Schéma tříbodového závěsu[25]

Označení	Popis	Kategorie				
		1	2	3	4L	4H
d ₁	průměr otvoru koule horního táhla	^{+0,2} 19,3 ₀	^{+0,2} 25,7 ₀	^{+0,2} 32 ₀	^{+0,25} 45,2 ₀	^{+0,3} 45,2 ₀
d ₂	průměr čepu horního táhla	⁰ 19 _{-0,08}	⁰ 25,5 _{-0,13}	⁰ 31,75 _{-0,2}	⁰ 45 _{-0,8}	⁰ 45 _{-0,8}
d ₃	průměr otvoru koule dolních táhel	^{+0,25} 22,4 ₀	^{+0,3} 28,7 ₀	^{+0,35} 37,4 ₀	^{+0,5} 51 ₀	^{+0,5} 51 ₀
d ₄	průměr čepu lišty	⁰ 22 _{-0,08}	⁰ 28 _{-0,2}	^{+0,2} 36,6 ₀	⁰ 50,8 _{-1,1}	⁰ 50,8 _{-1,1}
S	šířka koule horního táhla (maximální)	44	51	51	64	64
V	šířka koule dolních táhel	35	45	45	57,5	57,5
L ₁	rozteč středu koulí od osy traktoru	359	435	505	610-612	610-612
Y	výška stojánku (pluhu)	460	610	685	685	1100
L	vzdálenost středů koulí	718	870	1010	1220-1224	1220-1224

Obrázek 2 – Rozměry tříbodového závěsu[25]

3 POPIS KOMPONENT PALETIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola se zabývá rešerší jednotlivých komponent, které se běžně používají v konstrukci paletizačních zařízení. Cílem je přehledně představit základní prvky a jejich funkce. Součástí rešerše jsou informace o konstrukčních prvcích, jako jsou typy rámových profilů, řešení řetězových převodů, vodicích systémů, hydraulických válců a bezpečnostních mechanismů. Kapitola slouží jako podklad pro volbu vhodných konstrukčních řešení při návrhu vlastního zařízení a poskytuje přehled o dostupných technických možnostech v dané oblasti.

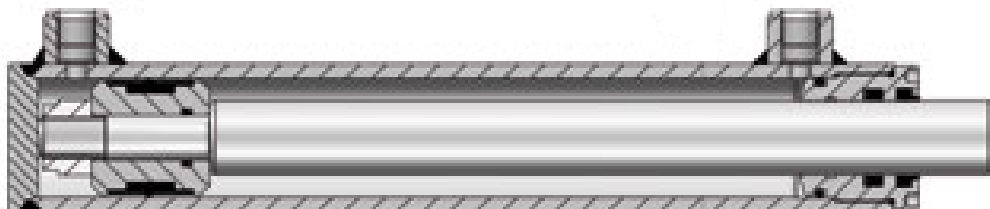
3.1 POPIS HYDRAULICKÝCH VÁLCŮ

V rámci rešerše hydraulických válců používaných v paletizačních zařízeních připojitelných za traktor byly analyzovány různé typy válců z hlediska jejich konstrukce, funkce a vhodnosti pro danou aplikaci. Hydraulické válce jsou klíčovými komponentami těchto zařízení, neboť zajišťují potřebný zdvih a sílu pro manipulaci s nákladem.

3.1.1 TYPY HYDRAULICKÝCH VÁLCŮ

Hydraulické válce lze obecně rozdělit na jednočinné a dvojčinné. Jednočinné válce využívají tlak kapaliny k pohybu pístu v jednom směru, zatímco návrat do výchozí polohy je zajištěn vnější silou, například pružinou nebo gravitací. Dvojčinné válce umožňují pohyb pístu v obou směrech pomocí tlaku kapaliny na obě strany pístu, což poskytuje větší kontrolu nad pohybem a je vhodné pro aplikace vyžadující přesné řízení zdvihu.[10]

Pro paletizační zařízení je často preferován dvojčinný válec (obrázek 3), protože umožňuje kontrolovaný pohyb vidlic jak při zvedání, tak při spouštění nákladu.[11] Tento typ válce zajišťuje vyšší bezpečnost a přesnost při manipulaci s břemenem.



Obrázek 3 – Dvojčinný hydraulický válec[21]

3.1.2 MATERIÁLY A KONSTRUKCE HYDRAULICKÝCH VÁLCŮ

Chromované tyče z materiálu 20MnV6 jsou nejčastěji používané jako pístní tyče pro hydraulické válce pracující za standardních podmínek. Jedná se o vanadiovou ocel, normalizovanou, s vyšší mezí pružnosti a se zlepšenou svařitelností a obrobitelností. Podle ČSN je podobná oceli 13 220. Chromované tyče z materiálu 42CrMo4 se používají v aplikacích určených pro náročné provozní podmínky. Tento materiál se používá pro vysoce mechanicky namáhané součásti. Má vyšší pevnost a tvrdost kvůli obsahu uhlíku a chromu. Tyto tyče mají vysokou pevnost a houževnatost také při nízkých teplotách. Podle ČSN podobná oceli 15 143 nebo 15 341. Tvrdost chromové vrstvy se pohybuje mezi 66–67 HRC, což přispívá k odolnosti proti opotřebení.[12] Výběr vhodného materiálu a povrchové úpravy pístnice je klíčový pro zajištění spolehlivosti a efektivity hydraulického systému. Kvalitní materiály a správná konstrukce přispívají k celkové spolehlivosti a dlouhé životnosti hydraulických válců.

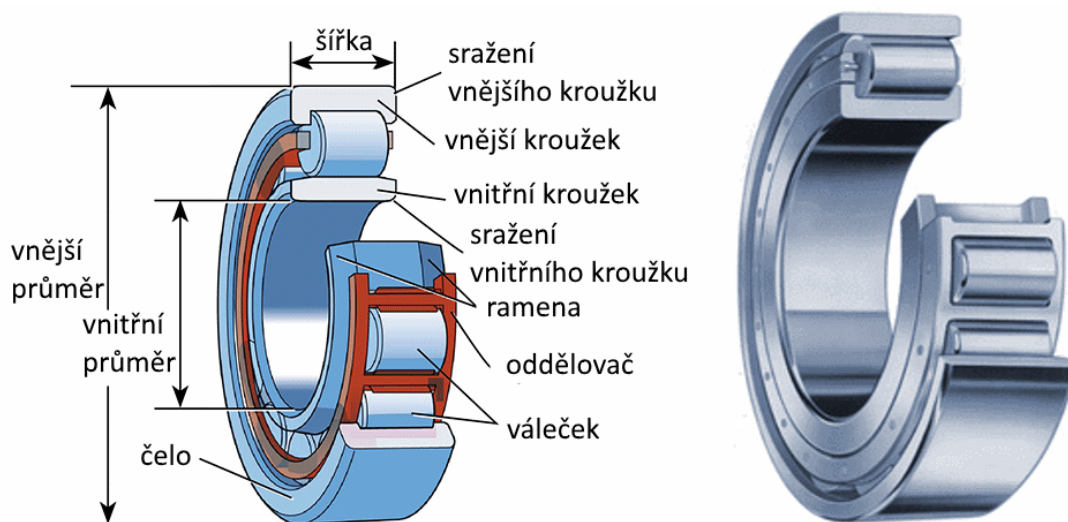
Pro správnou funkci hydraulických válců je těsnění pístu klíčovým prvkem, který zajišťuje bezproblémový chod a nepropustnost hydraulického systému. Při výběru vhodného těsnění je třeba zohlednit provozní tlak, teplotu, rychlost pohybu a typ hydraulické kapaliny. V nabídce společnosti Hydraulics s.r.o. jsou těsnění vyrobena z různých materiálů, například z polyuretanu (PU), který je ceněn pro svou vysokou odolnost proti opotřebení a dobrou pružnost. Pro náročnější aplikace se používají těsnění z PTFE (teflon), která jsou určena pro vysoké rychlosti a teploty.[13]

3.2 POPIS LOŽISEK V ŘETĚZOVÉM PŘEVODU

V rámci rešerše ložisek používaných v řetězových převodech paletizačních zařízení, která jsou připojitelná za traktor, byly analyzovány různé typy ložisek z hlediska jejich konstrukce, funkce a vhodnosti pro danou aplikaci. Ložiska jsou klíčovými komponentami těchto zařízení, neboť zajišťují potřebný přenos otáčivého pohybu a síly mezi řetězovými koly.

3.2.1 TYPY LOŽISEK

V paletizačních zařízeních se nejčastěji používají valivá ložiska, konkrétně jednořadá válečková ložiska (obrázek 4) a kuličková ložiska s hlubokou drážkou. Kuličková ložiska s hlubokou drážkou jsou univerzální a mohou přenášet kombinovaná radiální a axiální zatížení, což je výhodné v aplikacích s proměnlivým zatížením. U válečkových ložisek se válečky neboli válcové valivé elementy pohybují v oběžných drahách válcového tvaru a mají nízké tření, velkou radiální únosnost a schopnost snášet velké rychlosti. Válečkové elementy jsou valivé elementy ve tvaru válce, přičemž místem styku mezi valivým elementem a kroužkem s oběžnou dráhou není bod, ale přímka. Zatížení se rozkládá na větší plochu, a to umožňuje valivému elementu zvládat větší zatížení.[14]



Obrázek 4 – Válečkové ložisko [22]

3.2.2 VÝBĚR LOŽISEK

Při výběru ložisek pro řetězové převody v paletizačních zařízeních je třeba zohlednit několik faktorů, včetně typu zatížení, provozních otáček, požadované životnosti a provozních podmínek. Důležitým aspektem je také správná montáž a údržba ložisek, aby byla zajištěna jejich dlouhá životnost a spolehlivý provoz.

3.3 POPIS ŘETĚZŮ

V rámci rešerše řetězových převodů používaných v paletizačních zařízeních připojitelných za traktor byly analyzovány různé typy řetězů z hlediska jejich konstrukce, funkce a vhodnosti pro danou aplikaci. Řetězové převody jsou klíčovými komponentami těchto zařízení, neboť zajišťují přenos točivého momentu a pohybu mezi hřídelemi a dalšími mechanickými prvky.

3.3.1 TYPY ŘETĚZŮ

V paletizačních zařízeních se nejčastěji používají válečkové řetězy (obrázek 5), které jsou schopny přenášet vysoké zatížení a jsou vhodné pro aplikace, kde je kladen důraz na spolehlivost a dlouhou životnost. Válečkové řetězy se skládají z jednotlivých, vzájemně propojených vnějších a vnitřních článků. Vnější články mají dvě boční desky spojené čepy, vnitřní články pak dva válečky s pouzdry, které umožňují přenos síly s nízkým třením při vysokém zatížení.[15]

Pro aplikace s vyšším zatížením se používají dvouřadé (duplex) nebo třířadé (triplex) válečkové řetězy, které mají dvě nebo tři paralelní řady článků spojených válečky. Tato provedení jsou vhodná pro případy, kdy jsou rychlosti a zatížení příliš vysoké pro jednořadé válečkové řetězy.[15]



Obrázek 5 – Konstrukce válečkového řetězu[23]

3.3.2 VÝBĚR ŘETĚZU

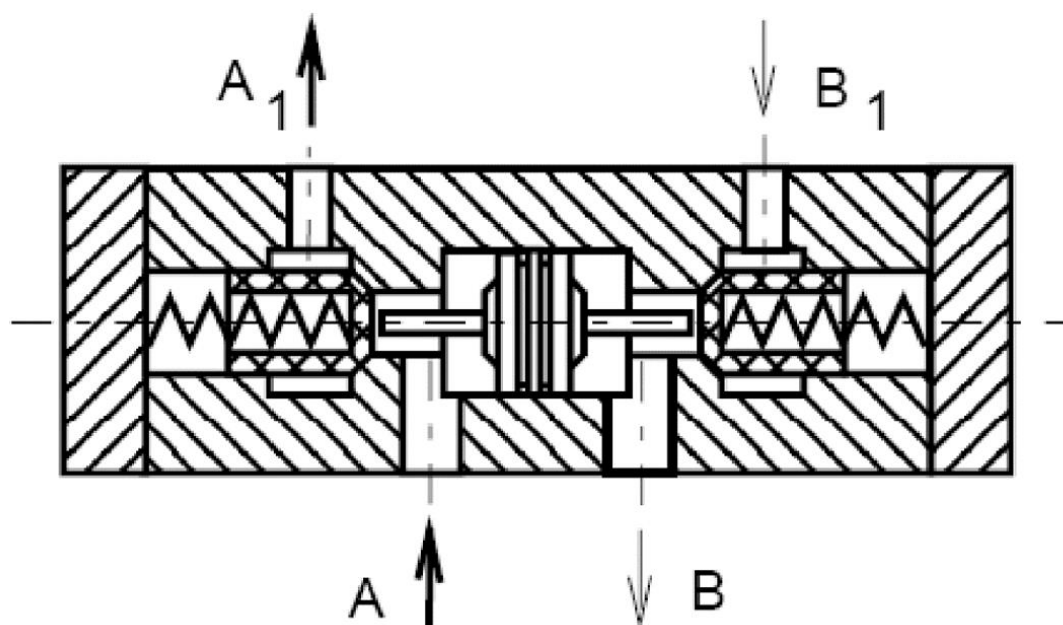
Při výběru řetězu pro paletizační zařízení je třeba zohlednit několik faktorů, včetně požadovaného zatížení, provozních podmínek a dostupného prostoru pro instalaci. Důležitým aspektem je také správná montáž a údržba řetězu, aby byla zajištěna jeho dlouhá životnost a spolehlivý provoz.

3.4 POPIS BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ

V paletizačních zařízeních připojitelných za traktor je zajištění bezpečnosti klíčovým aspektem návrhu a provozu. Bezpečnostní prvky slouží k ochraně obsluhy, zařízení a přepravovaného nákladu před nehodami a poškozením. Tyto prvky zahrnují jak mechanická opatření, která zabráňují destruktivním účinkům přetížení, tak i hydraulické a elektronické systémy, jež umožňují bezpečný provoz v různých pracovních podmínkách. Správná integrace bezpečnostních prvků minimalizuje riziko selhání zařízení a zároveň zvyšuje celkovou spolehlivost a životnost konstrukce. Moderní normy a směrnice pro bezpečnost strojních zařízení navíc kladou důraz na prevenci nehod již v rané fázi návrhu, což se promítá i do konstrukce paletizačních mechanismů.

3.4.1 HYDRAULICKÉ ZÁMKY

Jedním z důležitých bezpečnostních prvků jsou hydraulické zámky (obrázek 6), které slouží k uzavření průtoku oleje a aretaci hydraulického válce. Používají se k zajištění břemene proti klesání nebo pádu při poruše na zařízení, například při prasknutí hadice. Hydraulické zámky mohou být jednostranné nebo oboustranné a odblokuji se po přivedení ovládacího tlaku.[16]



Obrázek 6 – Schéma hydraulického zámku [24]

OBOUSTRANNÉ HYDRAULICKÉ ZÁMKY

Oboustranné hydraulické zámky, jako například typ VPDE od společnosti Rerosa, se používají k uzavření průtoku oleje v obou směrech, čímž zajišťují držení spotřebiče v požadované poloze. Ventil umožňuje volný průtok v jednom směru a zablokuje průtok v opačném směru, dokud není odblokován přivedením ovládacího (pilotního) tlaku.[16] Tato konstrukce zajišťuje bezpečné a stabilní držení hydraulických válců v obou směrech pohybu, což je zvláště důležité v aplikacích, kde je vyžadována vysoká bezpečnost a spolehlivost.

JEDNOSTRANNÉ HYDRAULICKÉ ZÁMKY

Jednostranné hydraulické zámky jsou klíčovými bezpečnostními prvky v hydraulických systémech, které slouží k zajištění stability a bezpečnosti zařízení, jako jsou paletizační mechanismy připojitelné za traktor. Jejich hlavní funkcí je uzavření průtoku oleje v jednom

směru, čímž zabraňují nechtěnému pohybu hydraulického válce, například při prasknutí hadice nebo výpadku tlaku.

Jednostranné hydraulické zámky se používají k uzavření průtoku oleje jedním směrem, zatímco druhý směr je zablokovaný. Odblokování se provede přivedením ovládacího tlaku.[16]

3.4.2 POJISTNÉ ČEPY

Pojistné čepy představují důležitý mechanický bezpečnostní prvek, který se běžně využívá v různých strojních systémech, včetně paletizačních zařízení. Tyto čepy slouží jako záměrně oslabené místo v přenosové soustavě, které má za úkol selhat při překročení stanoveného zatěžovacího limitu. V případě, že dojde k přetížení zařízení, pojistný čep se přetrhne ve stříhu, čímž dojde k přerušení přenosu síly a ochrání tak všechny ostatní komponenty před možným poškozením. Tento princip je založen na jednoduché, ale vysoce spolehlivé ochraně proti mechanickému přetížení, která umožňuje rychlou a levnou obnovu zařízení pouhou výměnou čepu. Pojistné čepy jsou navíc často dimenzovány s ohledem na očekávaná provozní rizika, kdy jsou schopny absorbovat krátkodobé přetížení, ale zabránit destrukci při delším nebo extrémním namáhání (viz obrázek 16).

3.5 POPIS KONSTRUKCE RÁMU

V paletizačních zařízeních hrají vodicí profily klíčovou roli při zajištění přesného a spolehlivého pohybu. Pro tyto aplikace jsou často využívány kombinovaná ložiska a odpovídající ocelové profily, které poskytují vysokou nosnost a odolnost vůči opotřebení.

Použití těchto komponentů v paletizačních zařízeních umožňuje konstrukci kompaktních a efektivních systémů. Díky modulárnímu designu je možné snadno přizpůsobit zařízení specifickým požadavkům aplikace, což zvyšuje jejich univerzálnost a efektivitu.

3.5.1 PROFILY

Společnost Euro-Bearings Ltd nabízí širokou škálu kombinovaných ložisek a ocelových profilů, které jsou navrženy pro použití v náročných průmyslových aplikacích, včetně paletizačních systémů.

Tyto profily jsou dostupné v různých tvarech, jako jsou C a I sekce, a jsou vyrobeny z kvalitní oceli S450 J2, která zajišťuje pevnost a odolnost potřebnou pro těžké zatížení.[17]

Například profil 3019 je I profil válcovaný za tepla s momentem setrvačnosti 101,7 cm³ a hmotností 25,3 kg/m, což jej činí vhodným pro aplikace s vysokým zatížením.[18]

3.5.2 VODÍCÍ LOŽISKA

Kombinovaná ložiska, jako je typ 4.057, jsou navržena tak, aby spolupracovala s těmito ocelovými profily a poskytovala hladký a přesný pohyb.[19] Tato ložiska kombinují radiální a axiální valivá tělesa, což umožňuje efektivní přenos zatížení v různých směrech. Díky své konstrukci jsou schopna odolávat vysokým silám a zároveň minimalizovat tření, což je klíčové pro dlouhou životnost zařízení

4 NÁVRH PALETIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola se zabývá vlastním návrhem hydraulického paletizačního zařízení, které bylo vyvinuto na základě zadaných technických požadavků a řešerše dostupných řešení. Návrh bude zahrnovat volbu konstrukčního uspořádání, výběr vhodných materiálů, dimenzování klíčových komponent a zajištění bezpečného a funkčního provozu zařízení. Všechny aspekty návrhu budou dále podpořeny pevnostními výpočty a ověřeny pomocí numerické simulace.

4.1 NÁVRHY KONCEPČNÍCH VARIANT

V rámci této bakalářské práce byly zpracovány a posouzeny různé koncepční varianty paletizačního zařízení, které vychází z požadavků na funkční spolehlivost, konstrukční jednoduchost a možnost připojení za traktor prostřednictvím třibodového závěsu. Cílem těchto návrhů bylo identifikovat takové řešení, které bude konstrukčně efektivní, výrobně proveditelné a zároveň vhodné pro nasazení v běžných provozních podmínkách.

Jednotlivé varianty se liší především způsobem realizace zdvihu, konstrukcí rámu a použitím různých typů hydraulických pohonů a převodových mechanismů. Pro srovnání byly jednotlivé varianty posouzeny z hlediska technického řešení, kompaktnosti konstrukce, možností výroby a stabilitního chování zařízení.

V následujících částech jsou podrobně popsány dvě zvolené koncepční varianty, které sloužily jako základ pro výběr a další rozpracování finálního návrhu. Jejich výhody a nevýhody byly posouzeny s ohledem na praktické využití a konstrukční požadavky.

4.1.1 JEDNODUCHÉ PALETIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Prvním koncepčním návrhem v této bakalářské práci je jednoduché hydraulické paletizační zařízení s pevným rámem a řetězovým pohonem (obrázek 7). Konstrukce tohoto zařízení je tvořena jedním pevně svařeným svislým rámem, což znamená, že jeho zdvihový rozsah je omezen výškou rámu samotného. Na rozdíl od teleskopických variant neobsahuje žádné výsuvné části, a tudíž umožňuje zvedání pouze v rozsahu, který určuje celková výška této pevné konstrukce.

Pohon zařízení je realizován pomocí hydraulického válce, jehož pohyb se přenáší na vidle prostřednictvím řetězového převodu. Hydraulický válec je v tomto případě poměrně dlouhý, což klade zvýšené nároky na jeho vzpěrnou stabilitu. Při konstrukčním návrhu je tedy nutné zohlednit riziko vzpěru pístnice při maximálním vysunutí a zajistit, aby bylo zařízení schopno bezpečně pracovat i při tomto zatížení.

Zařízení vyniká svou jednoduchostí a robustností, což jej předurčuje k použití tam, kde není vyžadován velký pracovní zdvih, ale spíše důraz na nenáročný a spolehlivý provoz. Pevný rám poskytuje dostatečnou tuhost, avšak omezuje možnosti použití v případech, kde by byl požadován větší rozsah zvedání.



Obrázek 7 – Jednoduché paletizační zařízení

4.1.2 PALETIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ S VÝSUVNÝM RÁMEM

Druhým koncepčním návrhem v této bakalářské práci je hydraulické paletizační zařízení s řetězovým převodem a výsuvným rámem, umožňujícím dosažení větší pracovní výšky (obrázek 8). Konstrukce zařízení je oproti předchozímu typu rozšířena o výsuvný (teleskopický) rám, který se během zdvihu vysouvá po vedení pevného rámu směrem vzhůru. Tento způsob uspořádání výrazně zvyšuje celkový zdvih, a tím i pracovní výšku zařízení, aniž by bylo nutné zásadně prodlužovat základní konstrukci.

Zvedání vidlí je opět realizováno pomocí hydraulického válce s delším zdvihem, jehož síla se přenáší na posuvný rám prostřednictvím řetězového převodu. Řetězy jsou vedeny přes kladky uchycené v horní části rámu a jejich pohyb zajišťuje rovnoměrné vysouvání rámu a zdvih vidlí. Přestože je i zde použit dlouhý hydraulický válec, jeho stabilita je částečně zajištěna vedením v rámu, avšak návrh musí stále brát v úvahu možné vzpěrné zatížení pístnice při maximálním vysunutí.

Tato konstrukce umožňuje manipulaci s břemeny ve vyšších úrovních a je tak vhodná pro aplikace, kde je požadováno zvedání palet například do vyšších skladových regálů nebo při nakládání na větší dopravní prostředky. Výhodou tohoto řešení je větší flexibilita při zachování dobré tuhosti a robustnosti rámu. Zařízení si přitom zachovává možnost připojení na tříbodový závěs traktoru a je plně hydraulicky ovládané z kabiny traktoru.



Obrázek 8 – Paletizační zařízení s teleskopickým rámem

4.2 ZVOLENÝ KONCEPČNÍ NÁVRH

Třetím koncepčním návrhem, a zároveň výsledným řešením této bakalářské práce, je hydraulické paletizační zařízení s teleskopickou konstrukcí rámu a kompaktním pohonem (obrázek 9), navržené pro připojení k tříbodovému závěsu kategorie II. Hlavním cílem návrhu bylo zachovat nízkou stavební výšku zařízení při současném dosažení dostatečné pracovní výšky a robustnosti celé konstrukce.

Zvedání vidlí je zajištěno pomocí krátkého hydraulického válce, který pracuje v tahovém režimu, přičemž jeho síla je přenášena přes řetězový převod na teleskopický rám. Díky tomu, že válec táhne, není nutné uvažovat vzpěrnou stabilitu, což významně zjednodušuje návrh a zároveň zvyšuje spolehlivost celého systému. Síla válce je prostřednictvím kladek a řetězů efektivně rozložena tak, aby umožnila zvednutí břemene při zachování kompaktní konstrukce.

Teleskopický rám se skládá z několika profilů, které se při zvedání vysouvají po vedení v hlavním rámu zařízení. Řetězový převod zajišťuje, že zdvih vidlí je větší než zdvih samotného

válce, což umožňuje použití kratšího válce bez omezení funkčnosti. Zařízení je navrženo s důrazem na efektivitu práce v terénu, stabilitu a snadnou ovladatelnost.

Konstrukce využívá řetězy typu 16 B-2 a 12 B-2 dle normy DIN 8187 a ložiska SKF, vybraná podle výpočtového zatížení. Celý návrh byl podroben strukturní analýze v programu ANSYS Workbench, která potvrdila dostatečnou tuhost rámu i při simulovaném přetížení. Tyto návrhy jsou dále zpracované v kapitole 5. Strukturní analýza je poté zpracována v kapitole 6.

Výsledné zařízení kombinuje kompaktní rozměry, velký zdvih, a zároveň spolehlivé ovládání prostřednictvím hydraulického systému traktoru. Konstrukce je optimalizována pro snadné připojení a bezpečný provoz bez nutnosti použití přídatného závaží k traktoru.



Obrázek 9 – Návrh paletizačního zařízení

4.2.1 TECHNICKÉ PARAMETRY

Na základě zadaných požadavků bylo nutné, aby navržené paletizační zařízení bylo schopné zvednout náklad do výšky alespoň 3 metrů a zároveň uneslo plně naloženou europaletu. Tomuto požadavku musely odpovídat jak nosnost celého zařízení, tak i konstrukční výška zdvihového mechanismu a jeho mechanická odolnost.

Europaleta (standardní paleta používaná v Evropě dle specifikace EPAL) má definované rozměry a maximální hmotnostní zatížení, která sloužila jako základní vstupní parametr pro návrh. V níže uvedené tabulce jsou uvedeny základní rozměry a hmotnostní limity této palety.

Tab. 1- Parametry europalety

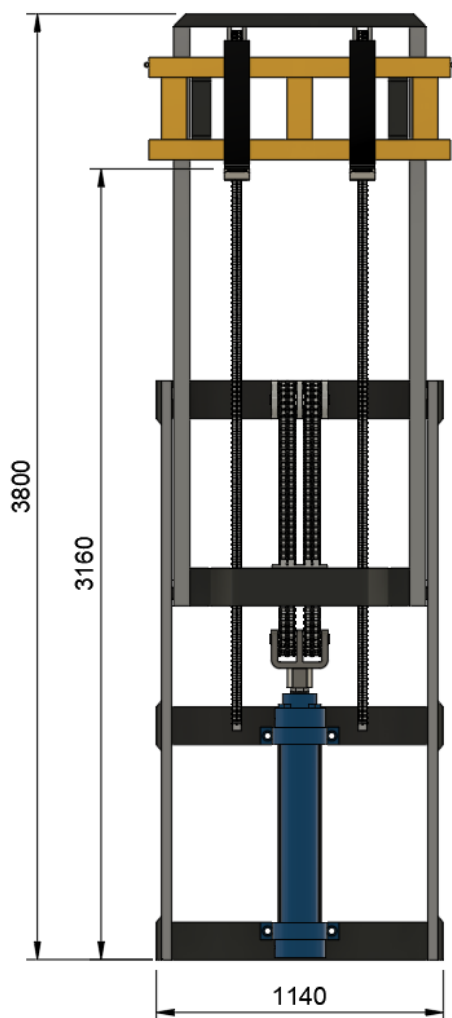
Parametr	Hodnota
Délka [mm]	1200
Šířka [mm]	800
Výška [mm]	144
Vlastní hmotnost [kg]	cca 25
Maximální nosnost [kg]	1500–2000
Typ materiálu	Dřevo (smrk, borovice)
Označení	EUR / EPAL

4.2.2 HLAVNÍ ROZMĚRY ZAŘÍZENÍ

Hlavní rozměry navrženého paletizačního zařízení vycházejí z požadavků na kompaktní konstrukci a zároveň dostatečný zdvihový rozsah. Celková výška zařízení při plném zdvihu činí 3800 mm, přičemž výška paletizačních vidlí v nejvyšší pracovní poloze je 3160 mm. Celková šířka rámu zařízení byla navržena na 1140 mm, což umožňuje dostatečnou stabilitu při manipulaci s nákladem a zároveň zachovává přiměřené rozměry pro připojení za traktor.

Hlavní rozměry zařízení jsou znázorněny na obrázku 10, kde je zobrazen čelní pohled na kompletní sestavu. Tyto rozměry byly určeny s ohledem na požadovanou funkčnost, stabilitu a konstrukční proveditelnost zařízení.

Podrobná výkresová dokumentace celé sestavy zařízení, včetně jednotlivých svařenců a detailních pohledů na klíčové části konstrukce, je přiložena v přílohách této bakalářské práce.



Obrázek 10 – Hlavní rozměry zařízení

4.2.3 VÝBĚR MATERIÁLU

Pro výrobu konstrukce rámu paletizačního zařízení byl zvolen vysokopevnostní konstrukční materiál S450 J2, který se vyznačuje vysokou pevností, dobrou houževnatostí a zároveň příznivými vlastnostmi pro svařování. Tento materiál je vhodný pro namáhané ocelové konstrukce, kde je požadována vyšší únosnost v poměru s nižší hmotností. Vzhledem k tomu, že rám zařízení musí bezpečně přenášet zatížení vznikající při manipulaci s nákladem, byla volba tohoto materiálu z hlediska mechanických vlastností a konstrukční tuhosti optimální.

Pro ocelové výztuhy, které zajišťují dodatečné zpevnění rámu, byl použit materiál dle normy ČSN 11503, který rovněž poskytuje dostatečnou pevnost a je dobře svařitelný s materiálem rámu. Výztuhy jsou navrženy tak, aby jejich připojení k hlavnímu rámu bylo technologicky nenáročné, a aby bylo možné celý rám jednoduše svařit bez nutnosti speciálních postupů.

Oba zvolené materiály jsou svařitelné běžnými metodami, zejména metodou MIG/MAG, která je vhodná pro výrobu strojních konstrukcí. Návrh konstrukce z těchto materiálů zajišťuje jak požadovanou pevnost, tak i efektivitu výroby z hlediska montáže a svařování.

4.2.4 POROVNÁNÍ ZVOLENÉ VARIANTY S PŘEDCHOZÍMI

Pro objektivní výběr nejvhodnější konstrukční varianty bylo provedeno porovnání tří uvažovaných řešení: ZDV-521 (Šálek), NIUBO ESL 2508 a vlastního návrhu. Pro hodnocení byly stanoveny klíčové parametry, které ovlivňují funkčnost, provozní spolehlivost a výrobní náročnost zařízení (tabulka 2).

Každému kritériu byl přiřazen koeficient důležitosti, přičemž bezpečnost byla považována za nejvýznamnější faktor a získala nejvyšší váhu. Následovaly výška zdvihu a nosnost. Méně důležitá, avšak stále relevantní, byla kritéria týkající se konstrukční jednoduchosti, délky válce, způsobu zatěžování válce a ceny výroby.

Pro každou variantu byla jednotlivá kritéria ohodnocena známkami v rozsahu 1 až 5 (vyšší hodnota znamenala lepší vlastnosti). Koeficient důležitosti byl následně vynásoben známkou dané varianty a součty těchto násobků určily výsledné skóre pro každé řešení.

Hodnocení kritérií a stanovení vah vychází z rešerše, znalosti konstrukčních řešení dostupných na trhu a předběžných odhadů návrhových parametrů jednotlivých variant. Tento přístup umožnil provést objektivní porovnání již v úvodní fázi návrhu a identifikovat variantu s nejlepším poměrem funkčnosti, konstrukční jednoduchosti a provozních vlastností.

Výsledky hodnocení jsou uvedeny v tabulce níže. Nejvyššího celkového skóre 123 dosáhl vlastní návrh, což potvrzuje jeho výhodnost oproti ostatním dvěma variantám.

Tabulka 2 – Porovnání variant

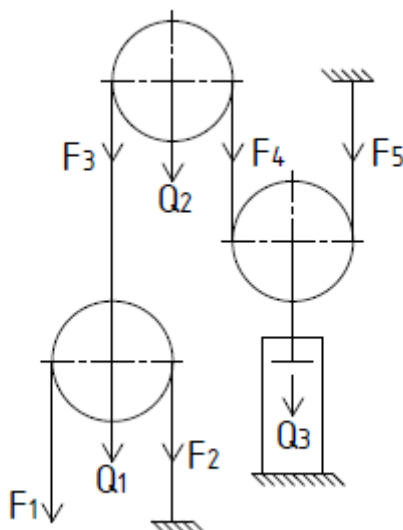
Kritérium	ZDV-521 (Šálek)	NIUBO ESL 2508	Vlastní návrh	Koeficient důležitosti
Bezpečnost	3,5	4	4	7
Výška zdvihu	2	4	5	6
Nosnost	1,5	2,5	5	5
Konstrukční jednoduchost	5	3	3,5	4
Potřebná délka válce	2	3	4,5	3
Zatížení válce (tah/tlak)	2	3	5	2
Cena výroby	5	3	2,5	1
Skóre	79	94,5	123	

5 VÝPOČTY PALETIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

V této kapitole jsou uvedeny klíčové výpočty, které byly provedeny pro ověření funkčnosti a bezpečnosti navrženého paletizačního zařízení. Výpočty zahrnují dimenzování nosných prvků, analýzu zatížení řetězového převodu, výběr ložisek a hydraulických komponent s ohledem na působící síly. Dále jsou zde zohledněny bezpečnostní faktory pro přetížení a posouzení stability zařízení při provozu. Výsledky těchto výpočtů slouží jako podklad pro správnou volbu jednotlivých součástí a ověření celkové konstrukční spolehlivosti.

5.1 VÝPOČET ZATĚŽUJÍCÍCH SIL V PŘEVODU

Zvedání zařízení je řešeno pomocí řetězového kladkostroje (obrázek 11), který zajišťuje rovnoměrný přenos sil a umožňuje výrazné snížení požadované síly na hydraulický válec. Tento způsob převodu zajišťuje bezpečný a plynulý zdvih zařízení při zachování jednoduché konstrukce.



Obrázek 11 – Schéma převodu paletizačního zařízení

VÝPOČTY PŘEVODU

Parametry pro výpočet

Hmotnost nákladu: $m_{\text{nákladu}} = 2000 \text{ kg}$

Hmotnost vidlí: $m_{\text{vidlí}} = 150 \text{ kg}$

Hmotnost pohyblivého rámu: $m_{\text{rámu}} = 200 \text{ kg}$

Gravitační zrychlení: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F_1 = F_2 = (m_{nákladu} + m_{vidlí}) \cdot g \quad (1)$$

$$F_1 = F_2 = (2000 + 150) \cdot 9,81$$

$$F_1 = F_2 = 21091,5 \text{ N}$$

$$Q_1 = F_1 + F_2 \quad (2)$$

$$Q_1 = 21582 + 21582$$

$$Q_1 = 42183 \text{ N}$$

$$F_3 = F_4 = F_5 = Q_1 + m_{rámu} \cdot g \quad (3)$$

$$F_3 = F_4 = F_5 = 42183 + 200 \cdot 9,81$$

$$F_3 = F_4 = F_5 = 44145 \text{ N}$$

$$Q_2 = Q_3 = F_3 + F_4 \quad (4)$$

$$Q_2 = Q_3 = 44145 + 44145$$

$$Q_2 = Q_3 = 88290 \text{ N}$$

kde:

- F_1, F_2 jsou zatížení ve větvi prvního převodu [N]
- Q_1 je celkové zatížení ve větvi prvního převodu [N]
- F_3, F_4, F_5 jsou zatížení ve větvi druhého převodu [N]
- Q_2 je celkové zatížení ve větvi druhého převodu [N]
- Q_3 je celkové zatížení působící na píst [N]

5.2 VÝPOČET PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU

Na základě silového výpočtu bylo určeno, že hydraulické zařízení musí být schopné přenést sílu minimálně 88,29 kN, která vzniká převodem zatížení přes soustavu kladek. Jako pracovní médium bude využit hydraulický systém traktoru New Holland T6.160, který umožňuje pracovní tlak až 21 MPa.

Vzhledem k tomu, že válec bude v zařízení pracovat v režimu tahu, je třeba uvažovat sníženou účinnou plochu, protože síla je přenášena pouze mezikruhovou plochou mezi pístem a pístnicí.

Aby byla zajištěna dostatečná provozní rezerva a spolehlivost při dlouhodobém zatížení, byl zvolen robustnější válec s větší účinnou plochou, konkrétně Bosch Rexroth CDH1MS2/125/70/800A3X/B22CGUMW (obrázek 12). Tento komponent má píst o průměru 125 mm a pístnici 70 mm, což znamená, že při plném tlaku je schopen vyvinout sílu až zhruba 177 kN

Tím je dosažena bezpečnostní rezerva 100 % vůči vypočtené minimální hodnotě. Tato rezerva pokrývá vlivy tlakových ztrát, dynamických rázů, výrobních tolerancí a opotřebení a zároveň zvyšuje životnost zařízení. Zvolený válec je plně kompatibilní s hydraulickým systémem traktoru a rozměrově zapadá do konstrukční koncepce zařízení.

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D - d^2) \quad (5)$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (125 - 70^2)$$

$$S = 8,423 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

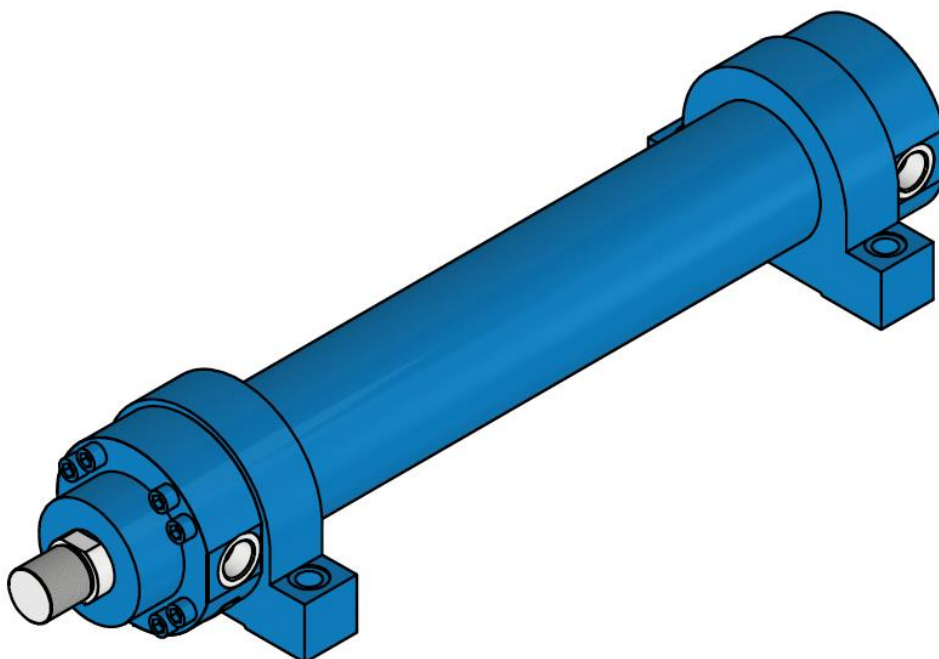
$$F = p \cdot S \quad (6)$$

$$F = 21 \cdot 10^6 \cdot 8,423 \cdot 10^{-3}$$

$$F = 176\,883 \text{ N}$$

kde:

- S je plocha pístu [m²]
- D je vnitřní průměr válce [m]
- d je průměr pístnice [m]
- F je maximální síla vyvolaná pístem [N]
- p je maximální tlak pístu [Pa]



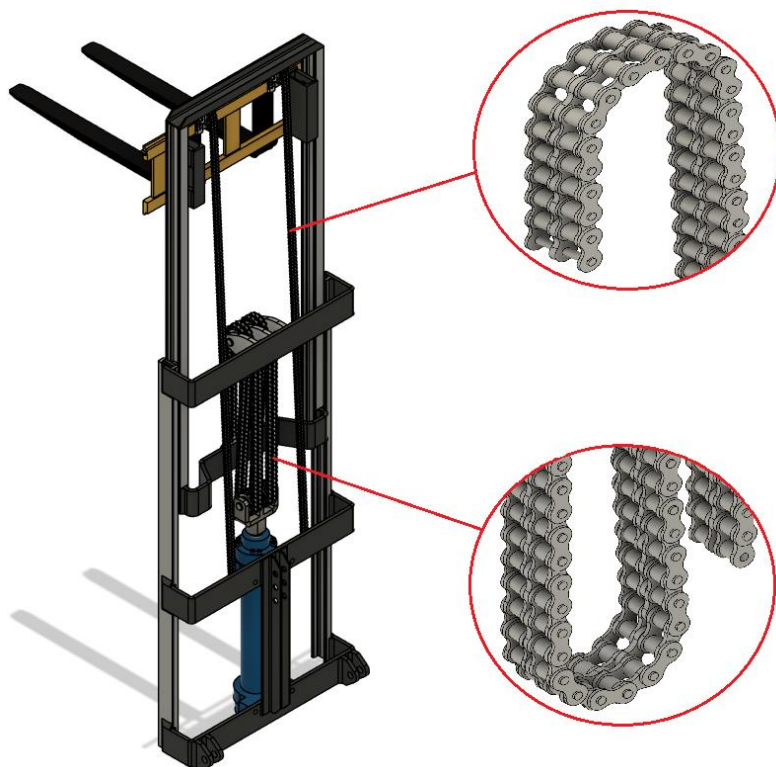
Obrázek 12 – Přímočarý hydromotor od firmy Bosch Rexroth

5.3 NÁVRH VÁLEČKOVÝCH ŘETĚZŮ

Válečkové řetězy byly zvoleny na základě výpočtů zatěžujících sil působících v obvodu zvedacího mechanismu (obrázek 13), konkrétně podle zatížení označených jako Q_1 , Q_2 a Q_3 (rovnice 2,4). Při návrhu bylo nutné zohlednit i požadavky normy, která stanovuje minimální bezpečnostní koeficient pro paletizační zařízení na hodnotu 5. S ohledem na tyto parametry jsem zvolil dva typy dvouřadých válečkových řetězů dle normy DIN 8187. Prvním z nich jsou dva řetězy typu 16 B-2, každý o délce 112 článků, které přenášejí největší část zatížení. Druhým zvoleným typem jsou dva řetězy 12 B-2 o délce 154 článků, jejichž parametry rovněž splňují požadavky na přenášené síly a bezpečnost. Oba typy řetězů poskytují dostatečnou provozní rezervu a jejich hodnoty pevnosti při přetížení jsou uvedeny v příložené tabulce (tabulka 3).

Tab. 3 - Maximální zatížení řetězu

Označení řetězu	Pevnost při přetížení [kN]
16 B-2	150
12 B-2	68



Obrázek 13 – Znázornění řetězů v sestavě

5.4 NÁVRH LOŽISEK

Výběr ložisek byl proveden na základě výpočtu zatěžujících sil Q_1 a Q_2 , které v systému vznikají při zvedání břemene. Tyto síly působí přímo v místech uložení řetězových kol, a proto bylo nezbytné zvolit ložiska s odpovídající statickou únosností, aby bylo zajištěno bezpečné a spolehlivé fungování celého mechanismu.

Na základě těchto výpočtů byla zvolena ložiska typu SKF N 207 ECP, která byla použita pro čtyři řetězová kola nacházejících se nejbližše hydraulickému válci – právě v těchto místech jsou totiž přenášeny síly nejvyšší. Pro zbylá dvě řetězová kola byla zvolena ložiska SKF NJ 2205 ECP, která mají rovněž dostatečnou únosnost vzhledem k nižším hodnotám zatížení v těchto částech mechanismu (obrázek 14).

Celkem je v konstrukci uloženo šest řetězových kol, přičemž každé z nich je uloženo pomocí dvou ložisek, tedy celkem dvanáct ložisek. Při výběru bylo potřeba se řídit hodnotami maximální statické únosnosti dle technického katalogu výrobce (tabulka 4). Správnost návrhu byla následně ověřena výpočtem životnosti ložisek v otáčkách, která vychází v dané konfiguraci jako dostatečná pro dlouhodobý provoz (rovnice 7,8)

Tímto způsobem bylo zajištěno, že ložiska odpovídají reálnému mechanickému zatížení při provozu zařízení a zároveň poskytují rezervu pro vyšší namáhání během špičkového zatížení.



Obr. 14 – Znázornění ložisek v sestavě

Tab. 4 – Únosnosti ložisek

Označení ložiska	Statická únosnost [kN]	Dynamická únosnost [kN]
SKF N 207 ECP	48	56
SKF NJ 2205 ECP	34	39

VÝPOČET TRVANLIVOSTI LOŽISEK

Parametry pro výpočet

Radiální ekvivalentní zatížení 1: $P_1 = \frac{Q_3}{4} = 22072,5 \text{ N}$

Radiální ekvivalentní zatížení 2: $P_2 = \frac{Q_1}{4} = 10545,75 \text{ N}$

Statická únosnost 1: $C_1 = 48000 \text{ N}$

Statická únosnost 2: $C_2 = 34000 \text{ N}$

SKF N 207 ECP

$$L_{10} = \left(\frac{C_1}{P_1} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^6 \quad (7)$$

$$L_{10} = \left(\frac{48000}{22072,5} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^6$$

$$L_{10} \cong 13,3 \text{ mil}$$

SKF NJ 2205 ECP

$$L_{10} = \left(\frac{C_2}{P_2} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^6 \quad (8)$$

$$L_{10} = \left(\frac{34000}{10545,75} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^6$$

$$L_{10} \cong 49,5 \text{ mil}$$

kde:

- L_{10} je trvanlivost ložisek [otáčky]

5.5 NÁVRH HYDRAULICKÝCH HADIC

Při návrhu paletizačního zařízení určeného pro připojení za traktor New Holland T6.160 bylo nezbytné zvolit hydraulické hadice tak, aby zajistily spolehlivý přenos tlakové energie mezi hydraulickým systémem traktoru a přímočarým hydromotorem zařízení.

Na základě známých parametrů traktoru byly pro tuto bakalářskou práci zvoleny dvouvrstvé hydraulické hadice typu SAE 100R2AT / EN 8532SN ve světlosti 3/8" (obrázek 15).

Výhodou těchto hadic jsou například dvě ocelové výztuhy, které zajišťují dlouhou životnost a mechanickou odolnost. Hadice navíc disponují vysokou odolností vůči tlaku, a to až do hodnoty 275 bar.



Obrázek 15 – Hydraulické hadice SAE 100R2AT / EN 8532SN[20]

5.6 NÁVRH POJISTNÉHO ČLENU

V rámci návrhu řetězového převodu bylo pro zvýšení bezpečnosti zařízení integrováno jednoduché ochranné prvky ve formě pojistného čepu (obrázek 16), který slouží jako mechanická pojistka proti přetížení. Tento čep byl umístěn do otvoru v držáku řetězů, který je pevně přivařen k rámu zařízení, a je navržen tak, aby při překročení kritického zatížení došlo ke střížení čepu.

Funkcí pojistného čepu je v případě náhlého nebo dlouhodobého přetížení zařízení zajistit, že dojde ke kontrolovanému uvolnění řetězového převodu – konkrétně ke spadnutí řetězu z převodního systému, aniž by došlo k poškození ostatních konstrukčních částí. Tento prvek slouží jako ochrana proti destruktivnímu selhání rámu, hydrauliky nebo převodních komponent.

Pojistný čep je tedy klíčovým bezpečnostním prvkem, který zajišťuje, že při překročení konstrukčně dovoleného zatížení zůstane zařízení strukturálně nepoškozené, a bude možné jej po výměně čepu opět bezpečně uvést do provozu.

Pro výrobu čepu byl zvolen materiál ČSN 11 373 (C15), což je nízkouhlíková konstrukční ocel s mezí pevnosti v tahu přibližně 500–600 MPa. Tento materiál je dobře obrobitelný, snadno dostupný a svými mechanickými vlastnostmi vhodný pro použití v bezpečnostních stříhových prvcích. Díky použití této oceli je zajištěno, že čep spolehlivě selže při překročení stanoveného zatížení, čímž ochrání ostatní části zařízení.

Při návrhu pojistného čepu jsem vycházel z předpokladu, že zařízení může být v praxi krátkodobě přetíženo, neboť v reálných provozních podmínkách není běžné, aby uživatel přesně vážil každé zvedané břemeno. Z tohoto důvodu jsem neuvažoval pouze standardní maximální zatížení 2000 kg (odpovídající plně naložené europaletě), ale pro zvýšení bezpečnosti jsem počítal se zatížením až 2500 kg. Tato hodnota zajišťuje, že pojistný čep nebude reagovat na běžné pracovní zatížení, ale spolehlivě selže v případě skutečného přetížení zařízení.

VÝPOČET POJISTNÉHO ČEPU**Parametry pro výpočet**

Mez pevnosti v tahu: $\sigma_{Dt} = 500 \text{ MPa}$

Zatěžující síla: $F = 53955 \text{ N}$

$$\tau_s \cong 0,6 \cdot \sigma_{Dt} \quad (9)$$

$$\tau_s \cong 0,6 \cdot 500$$

$$\tau_s \cong 300 \text{ MPa}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S_1} \rightarrow S_1 = \frac{F}{\tau_s} \quad (10)$$

$$S_1 = \frac{53955}{300}$$

$$S_1 = 179,85 \text{ mm}^2 \rightarrow d_1 \cong 15,1 \text{ mm}$$

kde:

- τ_s je mez pevnosti ve smyku [MPa]
- S_1 je obsah pojistného čepu [mm^2]
- d_1 je průměr pojistného čepu [mm]



Obr. 16 – Pojistný čep

5.7 VÝPOČET MOŽNÉHO PŘEKLOPENÍ TRAKTORU

V rámci návrhu bylo nutné posoudit, zda je při použití navrženého paletizačního zařízení nutné uvažovat přídavné protizávaží, které by zabránilo případnému převrácení traktoru při práci. Klíčovým parametrem bylo stanovení výsledného momentu, který paletizační zařízení působí na traktor v místě otáčení, tj. ve středu zadních kol.

Hmotnost samotného paletizačního zařízení byla stanovena na 2620 kg, přičemž jeho těžiště se nachází ve vzdálenosti 1,010 m od bodu otáčení. Z důvodu nedostupnosti přesných údajů o těžišti traktoru New Holland T6.160 (které se liší v závislosti na konkrétní výbavě) bylo těžiště traktoru odhadnuto jako umístěné přibližně mezi přední a zadní nápravou. Tento předpoklad byl použit pro následný výpočet výsledného momentu a posouzení stability.

Na základě výpočtu (rovnice 11) bylo zjištěno, že není nutné použití přídavného závaží pro zajištění bezpečného provozu. Traktor má dostatečnou vlastní hmotnost a rozložení zatížení, aby bylo možné bezpečně pracovat s navrženým modulem bez rizika převrácení.

Výsledky tohoto posouzení jsou podpořeny grafickým znázorněním rozmístění sil (obrázek 17).

VÝPOČET VÝSLEDNÝCH MOMENTŮ

Parametry pro výpočet

Hmotnost traktoru: $m_{tr} = 4,9 \text{ t}$

Hmotnost paletizačního zařízení: $m_{pz} = 2,62 \text{ t}$

Vzdálenost těžiště traktoru od bodu otáčení: $v_{z1} = 1,27 \text{ m}$

Vzdálenost těžiště paletizačního zařízení od bodu otáčení: $v_{z2} = 1,01 \text{ m}$

$$m_{tr} \cdot v_{z1} \geq m_{pz} \cdot v_{z2} \quad (11)$$

$$4,9 \cdot 1,27 \geq 2,62 \cdot 1,01$$

$$6,223 \geq 2,646$$



Obr. 17 – Poloha těžišť

6 KONTROLA NÁVRHU

Pro ověření pevnostního návrhu rámu paletizačního zařízení byla provedena strukturní analýza pomocí softwaru ANSYS Workbench. Cílem této analýzy bylo posoudit mechanické namáhání rámu při extrémních provozních podmínkách a ověřit, zda nedochází k nepřijatelným deformacím.

6.1 NASTAVENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

- Okrajové podmínky byly definovány jako pevné uchycení rámu v místech připojení na tříbodový závěs traktoru.
- Zatížení bylo aplikováno na vidlice ve formě síly o velikosti 25 000 N, což představuje zohlednění možného přetížení zařízení nad standardní provozní hodnoty.
- Pro snížení výpočetní náročnosti byla při modelování využita symetrie, a to jak geometrie, tak zatěžovacích podmínek.
- Kontakty mezi vodicími ložisky a rámem byly definovány jako bez tření, aby byla simulace jednodušší a konzervativní z hlediska deformací.

6.2 PRŮBĚH A VARIANTY ANALÝZY

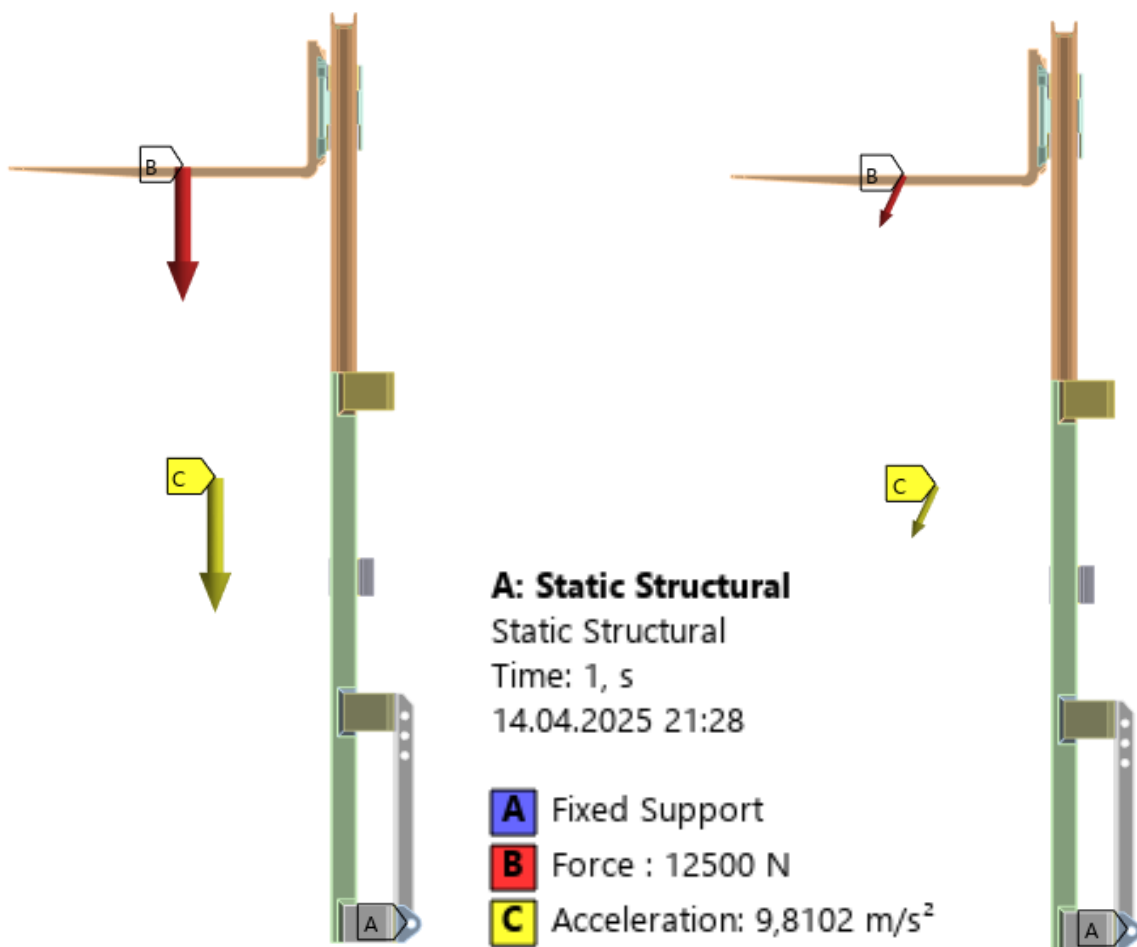
V rámci posouzení byly provedeny dvě varianty strukturní analýzy, které simulovaly různé provozní podmínky zařízení.

PRVNÍ VARIANTA

První analýza byla realizována s kolmým působením síly a gravitačního zrychlení vzhledem k zemi. Tento případ simuluje běžné provozní zatížení na rovině (obrázek 18).

DRUHÁ VARIANTA

Druhá analýza zohlednila situaci, kdy traktor operuje na svahu. Síla a zrychlení byly proto nastaveny pod úhlem 25°, což odpovídá práci traktoru při jízdě do kopce (obrázek 19).

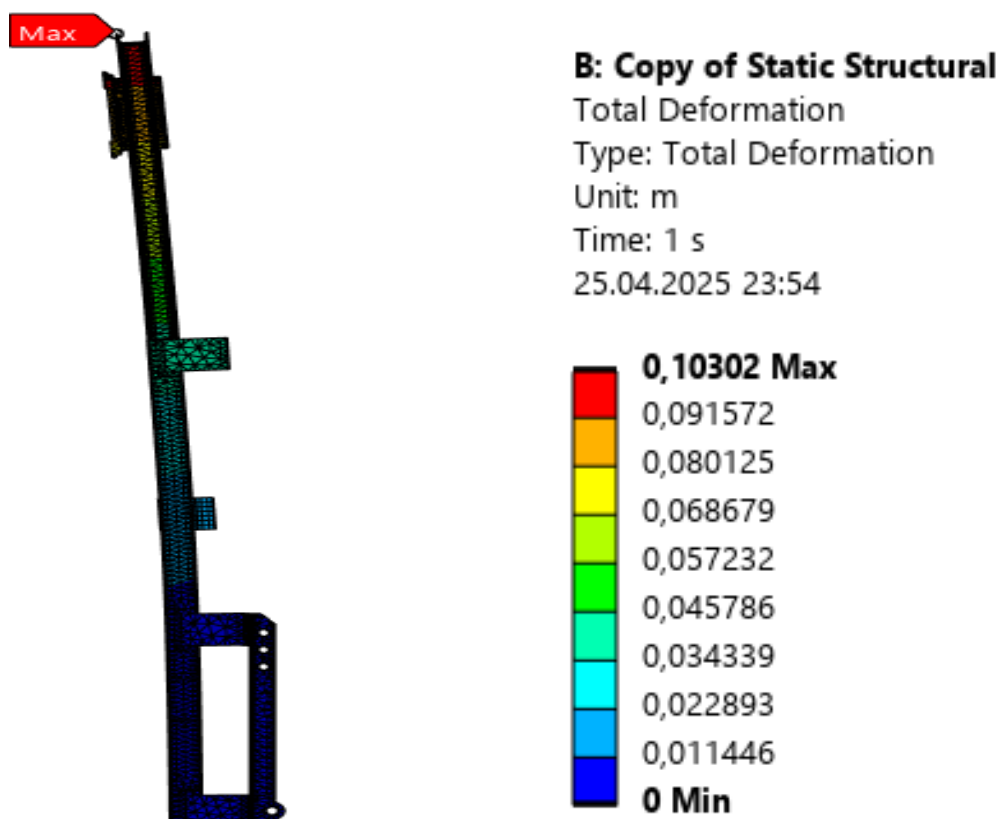


Obr. 18 – Zatížení první varianty

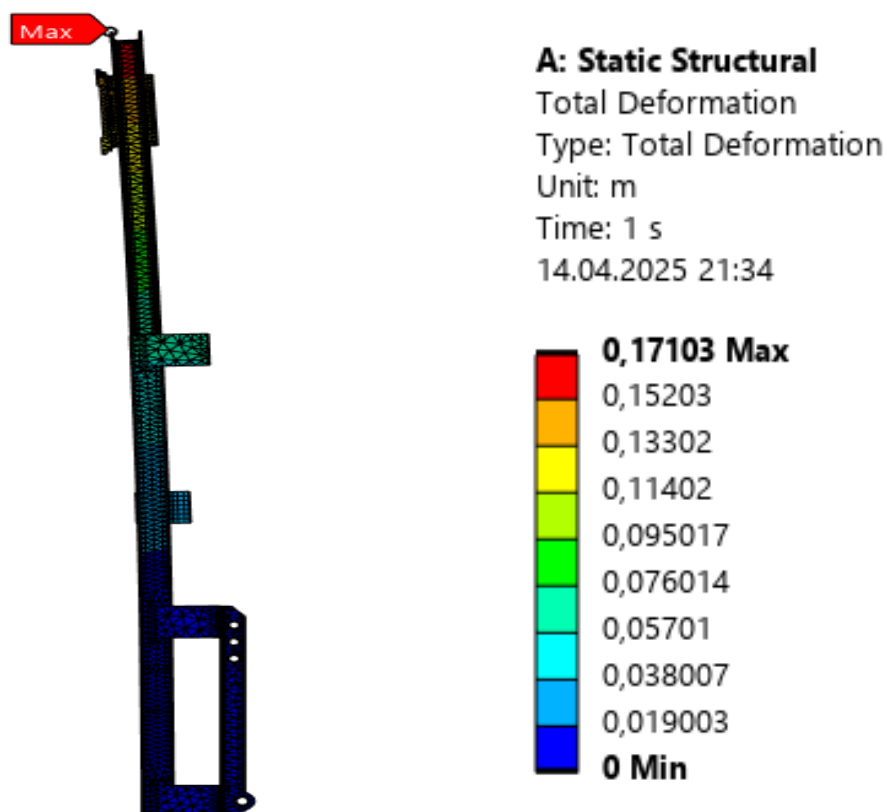
Obr. 19 – Zatížení druhé varianty

6.3 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

U obou případů byla následně zkontrolována maximální deformace rámu při plném zdvihu (obrázek 20,21). Výsledky analýzy ukázaly, že konstrukce rámu vyhovuje i při uvažovaném přetížení, a nedochází k překročení mezních hodnot deformace, které by mohly ohrozit funkčnost nebo bezpečnost zařízení.



Obr. 20 – Výsledky první varianty



Obr. 21 – Výsledky druhé varianty

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem hydraulického paletizačního zařízení určeného pro připojení za traktor. Na základě rešerše dostupných konstrukčních řešení a technických požadavků byly vytvořeny a zhodnoceny různé koncepční varianty. Následně byl vypracován finální návrh zařízení s teleskopickým rámem, krátkým hydraulickým válcem a řetězovým převodem, který splňuje požadavky na kompaktní konstrukci, dostatečný zdvih a bezpečný provoz.

V rámci návrhu byly provedeny klíčové výpočty zatížení, pevnostní analýzy vybraných komponent, výběr vhodných materiálů a návrh bezpečnostních prvků. Návrh byl dále ověřen pomocí numerické simulace v prostředí ANSYS Workbench, která potvrdila dostatečnou tuhost a stabilitu zařízení i při uvažovaném přetížení. Zařízení bylo navrženo tak, aby bylo snadno výrobitelné, provozně spolehlivé a bezpečné.

Práce ukázala, že navržené řešení je vhodné pro praktické použití, avšak případný další vývoj by se mohl zaměřit na optimalizaci hmotnosti zařízení, využití jiných typů materiálů nebo integraci dalších bezpečnostních a ovládacích prvků. V budoucnu je rovněž možné uvažovat o automatizaci části ovládání zařízení nebo o rozšíření o další přídatné funkce.

Odhadovaná cena navrženého paletizačního zařízení je uvedena v tabulce 5, která shrnuje náklady na jednotlivé komponenty a materiálové vstupy potřebné k výrobě zařízení.

Tabulka 5 – Odhadovaná cena zařízení

Komponenta	Cena za měrnou jednotku [Kč]	Počet měrných jednotek [-]	Měrná jednotka	Cena celkem [Kč]
Přímočarý hydromotor	86000	1	[ks]	86000
Ložisko SKF N 207 ECP	2070	8	[ks]	16560
Ložisko SKF NJ 2205 ECP	1170	4	[ks]	4680
Řetězové kolo 16B-2	870	4	[ks]	3480
Řetězové kolo 12B-2	310	2	[ks]	620
Řetěz 16 B–2	1300	6,4	[m]	8320
Řetěz 12 B–2	810	6	[m]	4860
Kombinované ložisko typ 4.055	1800	8	[ks]	14400
Paletizační vidle	25000	1	[ks]	25000
I profil 3018	4100	4,6	[m]	18860
U profil 2867	3350	4,6	[m]	15410
U profil EN 10365	330	1	[m]	330
L profil EN 10056	260	2	[m]	520
Plech tl. 25 mm EN 10051	15740	0,16	[m ²]	2520
Plech tl. 20 mm EN 10051	12590	0,94	[m ²]	11830
Spojovací materiál	300	1	[ks]	300
				213910

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Fungování hydrauliky*. Online. Czechtechnology.cz. 2024. Dostupné z: <https://czechtechnology.cz/strojirenstvi/hydraulicke-zarizeni-princip-a-existujici-hydraulicke-stroje> [cit. 2025-04-27].
- [2] *Fungování hydrauliky*. Online. Jnhydraulic.com. 2024. Dostupné z: <https://www.jnhydraulic.com/cs/in-depth-exploration-of-hydraulic-transmission-systems-principles-components-and-application>. [cit. 2025-04-27].
- [3] *Součásti hydraulických systémů*. Online. Jnhydraulic.com. 2024. Dostupné z: <https://www.jnhydraulic.com/cs/in-depth-exploration-of-hydraulic-transmission-systems-principles-components-and-application>. [cit. 2025-04-27].
- [4] *New Holland T6*. Online. In: Eagrotec.cz. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.eagrotec.cz/getattachment/8081f680-e3b3-4a5d-a3ad-d9a021044432/Prospekt-traktoru-T6.aspx>. [cit. 2025-04-27].
- [5] *Kolový nakladač*. Online. In: Liebherr.com. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.liebherr.com/shared/media/country-portals/country-portals/czech-republic/cze-downloads/archiv-cze/kolov%C3%A9-naklada%C4%8D/firspirit_1512636198876kolov%C3%A9-naklada%C6%92e-v-zem%C3%AFd%C3%AFst%C3%AD_03_14.pdf. [cit. 2025-04-27].
- [6] *Hydraulický lis*. Online. Eagrotec.cz. 2023. Dostupné z: <https://www.eagrotec.cz/products/zvinovacie-lisy/big-baller-1290-hd>. [cit. 2025-04-27].
- [7] *Hydraulické paletizační zařízení*. Online. Czechtechnology.cz. 2024. Dostupné z: <https://czechtechnology.cz/strojirenstvi/hydraulicke-zarizeni-princip-a-existujici-hydraulicke-stroje/>. [cit. 2025-04-27].
- [8] *Hydraulické vidle*. Online. Manatech.cz. Dostupné z: <https://www.eshop-manatech.cz/zvedaci/hydraulicke-paletizacni-vidle/>. [cit. 2025-04-27].
- [9] *Norma tříbodového závěsu*. Online. In: Scribd.com. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/489669864/ISO-730-3-Point-Linkage>. [cit. 2025-04-27].
- [10] *Jednočinný vs. Dvojčinné hydraulické válce*. Online. Harsle.com. 2024. Dostupné z: <https://cs.harsle.com/single-acting-vs-double-acting-hydraulic-cylinders>. [cit. 2025-04-26].

- [11] *Aplikace hydraulického válce*. Online. Welongcasting.com. 2023. Dostupné z: <https://cz.welongcasting.com/info/types-and-applications-of-hydraulic-cylinder-87623094.html?>. [cit. 2025-04-26].
- [12] *Materiály hydraulických válců*. Online. Hydraulics.cz. 2017. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/24931-chromovane-tyce-standardni>. [cit. 2025-04-26].
- [13] *Těsnění hydraulických válců*. Online. Hydraulics.cz. 2017. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/24924-tesneni-a-hydraulicke-prvky>. [cit. 2025-04-26].
- [14] *Typy ložisek*. Online. E-konstrukter.cz. 2015. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-ruzny-mi-druhy-lozisek>. [cit. 2025-04-26].
- [15] *Typy řetězů*. Online. Prillinger.at. Dostupné z: <https://www.prillinger.at/cs/sortiment/uzitecne-rady/pruvodce-valeckovymi-retezy>. [cit. 2025-04-27].
- [16] *Hydraulické zámky*. Online. Rerosa.cz. Dostupné z: <https://www.rerosa.cz/hydraulicke-zamky>. [cit. 2025-04-27].
- [17] *Profily rámu*. Online. Euro-bearings.com. Dostupné z: https://euro-bearings.com/combi_rail.html. [cit. 2025-04-27].
- [18] *Profily rámu*. Online. Euro-bearings.com. Dostupné z: <https://euro-bearings.com/4057bearing.htm>. [cit. 2025-04-27].
- [19] *Ložiska rámu*. Online. Euro-bearings.com. Dostupné z: <https://euro-bearings.com/4057bearing.htm>. [cit. 2025-04-27].
- [20] *Hydraulické hadice SAE 100R2AT*. Online. In: Made-in-China. Dostupné z: <https://zztianyi.en.made-in-china.com/product/CXHQOJqhCuYi/China-DIN-En-853-2sn-SAE-100r2at-Double-Steel-Wire-Braid-Reinforced-Hydraulic-Hose.html>. [cit. 2025-04-05].
- [21] *Dvojčinný hydraulický válec*. Online. In: Obchod.autogabriella.sk. Dostupné z: <https://obchod.autogabriella.sk/hydraulicky-valec-dvojcinny-d340.htm>. [cit. 2025-04-27].
- [22] *Válečkové ložisko*. Online. In: E-konstrukter.cz. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-ruzny-mi-druhy-lozisek>. [cit. 2025-04-27].
- [23] *Ruční nýtovací přípravek pro rozebírání řetězů 20B – 40B*. Diplomová práce. Praha: ČVUT, 2016.
- [24] *NÁVRH HYDRAULICKÉ JEDNOTKY PRO OVLÁDÁNÍ SKLOPNÉ PLOŠINY*. Diplomová práce. Praha: ČVUT, 2019.

- [25] *Regulační hydraulika traktorů a její praktické využití*. Bakalářská práce. České Budějovice: JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH, 2015.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C_1	[N]	statická únosnost prvního ložiska
C_2	[N]	statická únosnost druhého ložiska
$ČSN$		česká technická norma
D	[m]	vnitřní průměr válce
d	[m]	průměr pístnice
d_1	[mm]	průměr pojistného čepu
F	[N]	zatěžující síla
F_1	[N]	zatížení ve větvi prvního převodu
F_2	[N]	zatížení ve větvi prvního převodu
F_3	[N]	zatížení ve větvi druhého převodu
F_4	[N]	zatížení ve větvi druhého převodu
F_5	[N]	zatížení ve větvi druhého převodu
g	[m·s ⁻²]	gravitační zrychlení
L_{10}	[-]	trvanlivost ložisek v otáčkách
$m_{nákladu}$	[kg]	hmotnost nákladu
m_{pz}	[t]	hmotnost paletizačního zařízení
$m_{rámu}$	[kg]	hmotnost pohyblivého rámu
m_{tr}	[t]	hmotnost traktoru
$m_{vidlí}$	[kg]	hmotnost vidlí
P	[W]	výkon
p	[Pa]	tlak
P_1	[N]	radiální ekvivalentní zatížení prvního ložiska
P_2	[N]	radiální ekvivalentní zatížení druhého ložiska
Q	[m ³ ·s ⁻¹]	průtok kapaliny
Q_1	[N]	celkové zatížení ve větvi prvního převodu
Q_2	[N]	celkové zatížení ve větvi druhého převodu
Q_3	[N]	celkové zatížení působící na píst
S	[m ²]	plocha pístu
S_1	[mm ²]	obsah pojistného čepu
vz_1	[m]	vzdálenost těžiště traktoru od bodu otáčení
vz_2	[m]	vzdálenost těžiště paletizačního zařízení od bodu otáčení

σ_{Dt}	[MPa]	mez pevnosti v tahu
τ_s	[MPa]	mez pevnosti ve smyku

SEZNAM PŘÍLOH

TECHNICKÁ DOKUMENTACE

	Název	Číslo dokumentu	Rozsah
P1	Výkres sestavy paletizačního zařízení	02-248965-00	1 list A2
P2	Výkres svařence pevného rámu	02-248965-50	1 list A2
P3	Výkres svařence pohyblivého rámu	03-248965-60	1 list A3
P4	Kusovník 1	04-248965-40	1 list A4
P5	Kusovník 2	04-248965-70	1 list A4