



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

ZAŘÍZENÍ PRO MANIPULACI S TABULEMI PLECHŮ

HANDLING EQUIPMENT FOR METAL SHEETS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Gazdič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Frühbauer

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Lukáš Gazdič**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Frühbauer**
Akademický rok: 2023/24

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:

Zařízení pro manipulaci s tabulemi plechů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešeršní rozbor a konstrukční řešení zařízení pro manipulaci s tabulemi plechů v prostorách průmyslové haly. Součástí práce je rešerše konstrukčních řešení obdobných mechanismů a vlastní návrh mechanismu se základními výpočty a návrhem sestavy. Parametry zařízení jsou zvoleny podle potřeby návrhu.

Cíle bakalářské práce:

Kritická rešerše obdobných existujících řešení.
Zdůvodněný návrh vlastní koncepce řešení.
Výpočet hlavních rozměrů zařízení.
Celková sestava manipulátoru.
Pevnostní analýza hlavních částí konstrukce.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Brno: Vysoké učení technické, 1988.

LEINVEBER, Jiří a VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. Manipulace s materiálem. Praha: SNTL, 1979, 454 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zameriava na návrh a konštrukčné riešenie manipulačného zariadenia pre manipuláciu s tabuľami plechov. V práci je vykonaná rešerš, analýza a zhodnotenie rôznych alternatívnych riešení a samotné konštrukčné riešenie manipulátora. Dôležité konštrukčné prvky manipulátora sú vypočítané a pevnostne kontrolované pomocou metódy MKP. Táto práca pozostáva z technickej správy a výkresovej dokumentácie. Výkresová dokumentácia je zobrazená v 2D, výkres celkovej zostavy a detailné výkresy komponentov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

manipulátor, tabule plechov, konštrukcia

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design and construction of sheet metal handling equipment. In this thesis, research, analysis and evaluation of various alternative solutions and the actual design of the manipulator with strength analyses using FEA is carried out. The important structural elements of the manipulator are calculated and strength checked using FEA method. This work consists of a technical report and drawings. The drawing documentation shows in 2D, a drawing of the overall assembly and detailed drawings of the components.

KEYWORDS

Manipulator, metal sheets, construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

GAZDIČ, Lukáš. *Zařízení pro manipulaci s tabulemi plechů* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157433>. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2024. Vedúci práce Jiří Fröhbauer.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jiřího Frühbauera a s použitím informačných zdrojov uvedených v zozname. Pri tvorbe niektorých z obrázkov bola použitá umelá inteligencia uvedená v zozname.

V Brně dňa 24. mája 2024

.....

Lukáš Gazdič

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som rád poďakoval vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Jířimu Frühbauerovi za príkladné vedenie práce, cenné skúsenosti a odborné rady. Poďakovanie patrí aj celej mojej rodine a v neposlednom rade aj mojej priateľke za podporu a motiváciu počas celého bakalárskeho štúdia.

OBSAH

Úvod	7
1 Manipulácia s materiálom	8
1.1 Manipulácia s tabuľami plechov	8
1.2 Manipulačné zariadenia	8
2 Rešerš manipulačných zariadení	9
2.1 Stacionárne manipulátory	9
2.1.1 Otočný stĺpový žeriav	9
2.2 Pojazdové manipulátory	10
2.2.1 Portálový žeriav	10
2.2.2 Mostový žeriav	11
2.3 Samohybné manipulátory	11
2.3.1 Paletový vozík	12
2.3.2 Vysokozdvížny vozík	12
2.4 Manipulačné príslušenstvá	13
2.4.1 Vákuové manipulátory	13
2.4.2 Permanentne bremenové magnety	14
2.4.3 Svorky	14
2.4.4 Nakladacie vidlice	15
2.5 Záver rešerše	15
3 Návrh a hodnotenie konštrukčných riešení	17
3.1 Variant A	17
3.2 Variant B	18
3.3 Variant C	18
3.4 Vyhodnotenie variant	19
4 Konštrukčné riešenie manipulátora	20
4.1 Nakladacie vidlice	20
4.1.1 Pevnostná analýza konštrukcie vidlice	20
4.2 Nosník	22
4.3 MKP analýza nosníka	23
4.3.1 Príprava modelu	23
4.3.2 Vyhodnotenie výsledkov	24
4.4 Trapézový závitový mechanizmus	26
4.4.1 Trapézová tyč	26
4.4.2 Trapézová matica	27
4.5 Mechanizmus hriadeľa a ložisk pre nakladacie vidlice	30
4.6 Elektromotor	31
4.6.1 Výpočet elektromotora	31
4.6.2 Voľba elektromotora	33
4.7 Konštrukcia manipulátora	34
4.7.1 3D model manipulátora	34
4.7.2 Detail pohonu	34
4.7.3 Detail objímky a trapézovej matice	35
4.7.4 Detail nosníka pre zdvihový mechanizmus	36

4.7.5	Detail bezpečnostného prvku	36
Záver	37
Použité informační zdroje	38
Zoznam použitých skratiek a symbolov	40
Zoznam príloh	41

ÚVOD

Táto práca sa zameriava na vývoj a konštrukčné riešenie manipulátora určeného na manipuláciu s tabulami plechov. Navrhnutý prototyp by mal zefektívniť presun materiálu vo výrobnéj hale a zvýšiť bezpečnosť na pracovisku.

Na začiatku práce je vykonaná rešerš o typoch manipulátorov s rôznymi konštrukciami a možnosťami uchytenia prepravovaného materiálu, ktoré sa v súčasnosti používajú v priestoroch výrobnéj haly. Výsledkom rešeršnej práce bola voľba najvhodnejšieho typu manipulátora, ktorého konštrukčné riešenie bude súčasťou tejto práce.

Ďalšia kapitola je venovaná porovnávaniu výhod a nevýhod navrhnutých konštrukcií. Cieľom bolo navrhnúť jednoduchú konštrukciu, ktorá by umožňovala manipuláciu s plechmi o maximálnej šírke 2,5m a nosnosti do 5 ton. Bola jednoduchá na obsluhu, dodržiavala by bezpečnostné predpisy na pracovisku a mala možnosť výmeny nakladacích vidlíc.

V bakalárskej práci je podrobne rozobraná konštrukcia navrhnutého manipulátora, podložená dôležitými výpočtami a pevnostnými analýzami. Výpočet komponentov, ktoré neboli súčasťou tejto bakalárskej práce, sú konštrukčne navrhnuté tak, aby zabezpečovali funkčnosť manipulátora ako celku.

1 MANIPULÁCIA S MATERIÁLOM

Manipulácia s materiálom je nenápadným, ale kritickým hnacím motorom každej výroby. Táto komplexná oblasť zahŕňa všetky činnosti spojené s presunom materiálu z jedného miesta do druhého miesta v rámci výrobného procesu. Od nakladania a vykladania materiálu až po prepravu, skladovanie a manipuláciu s dielmi v rôznych výrobných fázach. Manipulácia s materiálom je aj o premyslenom procese, ktorý významne ovplyvňuje efektívnosť, produktivitu a bezpečnosť celej výroby. Typ manipulácie s materiálom sa musí prispôbiť viacerým faktorom ako napríklad rozmer a hmotnosť, druh manipulovaného materiálu. [4]

1.1 MANIPULÁCIA S TABUĽAMI PLECHOV

Plechové výrobky vyžadujú pri preprave špecifický prístup. Z bezpečnostného hľadiska sa kvôli stabilite pred naložením na palety alebo hranoly previažu upínacím pásom. Jednotlivé kusy plechov možno upevniť svorkami. S paletami, na ktorých sú naložené a upevnené tabule, sa manipuluje vysokozdvížným vozíkom prípadne halovým žeriavom, ktoré sú vybavené napríklad vákuovými prísavkami, magnetickým zariadením alebo vidlicami. [4]

1.2 MANIPULAČNÉ ZARIADENIA

Ľudské sily sú obmedzené a preto sa stále viac presadzuje manipulačná technika. Manipulačné zariadenia zastrešujú širokú škálu typov a konštrukcií, od jednoduchých ručných zdvíhacích zariadení až po komplexne automatizované systémy. Každý typ zariadenia má svoje špecifické vlastnosti a využitie, čím sa stáva ideálnym riešením pre rôzne požiadavky a prevádzkové podmienky. Vďaka nim sa znižuje fyzická záťaž na pracovníkov, zvyšuje sa produktivita práce a minimalizuje sa riziko pracovných úrazov.

2 REŠERŠ MANIPULAČNÝCH ZARIADENÍ

V tejto časti sa podrobnejšie pozrieme na rôzne typy zariadení, ktoré sa používajú na manipuláciu s plechovými tabuľami. Každý typ zariadenia má svoje špecifické vlastnosti a výhody, vďaka ktorým je vhodný pre rôzne typy manipulácie a prevádzkové podmienky.

2.1 STACIONÁRNE MANIPULÁTORY

Stacionárne manipulačné zariadenia sú pevne ukotvené na jednom mieste s robustnou a stabilnou platformou pre manipuláciu s ťažkými bremenami v rôznych priemyselných a výrobných prostrediach. V porovnaní s mobilnými zariadeniami, ako sú vysokozdvížne vozíky, poskytujú stacionárne riešenia vyššiu nosnosť a presnosť pri manipulácii s bremenami.

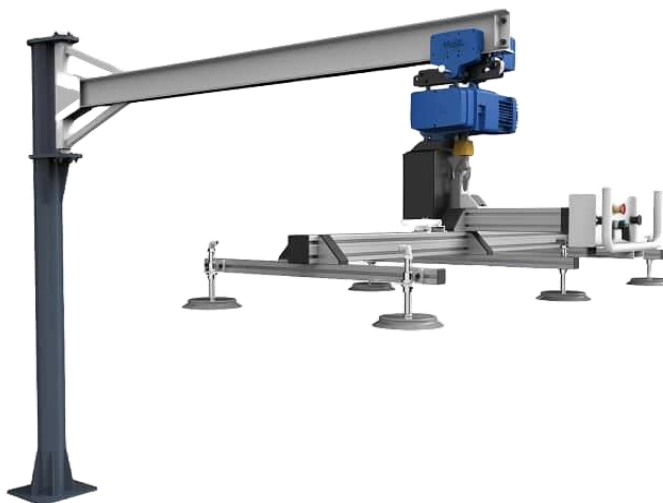
Výhody: vysoká nosnosť, veľká presnosť, stabilita, bezpečnosť.

Nevýhody: vyššia obstarávacia cena, obmedzená mobilita, potreba priestoru.

2.1.1 OTOČNÝ STĽPOVÝ ŽERIAV

Otočné stĺpové žeriavy sa vyznačujú pevnou konštrukciou a ukotvením do betónového základu, prípadne sa môže ukotviť k nosným stĺpom konštrukcie výrobnjej haly. Tieto žeriavy sa vyrábajú s 80 kg až 20 000 kg nosnosťou manipulovaného bremena. Rozsah otáčania je obmedzený dorazmi alebo bez dorazov, s otáčaním o 360°. Otočný stĺpový žeriav je veľmi výhodný vo výrobných halách s nízkym stropom, pretože vďaka svojej konštrukcii dokáže dosahovať vysokej výšky zdvihu. Pri zaobstarávaní zvažujeme tieto faktory:

- **Pracovný priestor:** pracovný priestor musí byť prispôsobený a dostatočný kvôli možnosti otáčaniu o 360°, pracovný priestor by mal obsahovať aj bezpečnostné prvky,
- **Dosah:** manipulátor musí mať dostatočný dosah, aby dosiahol na materiál, s ktorým je potrebné manipulovať.



Obr. 1 Otočný manipulátor plechu M-Loader [5]

2.2 POJAZDOVÉ MANIPULÁTORY

Manipulačné pojazdné zariadenia sú zariadenia s obmedzeným pohybom. Jedná sa o kategóriu manipulačnej techniky, ktorá sa vyznačuje mobilitou v rámci definovaného priestoru. Ich pohyb je obmedzený napríklad koľajnicami, po ktorých sa zariadenie pohybuje. Ich vlastnosti robia tieto zariadenia ideálnymi pre náročné prevádzky, kde je dôležitá efektívnosť a bezpečnosť.

Výhody: vysoká nosnosť, flexibilita v definovanom priestore, variabilita.

Nevýhody: obmedzený pohyb, náročná údržba, nutnosť plánovania, rozloženia pracovných Staníc.

2.2.1 PORTÁLOVÝ ŽERIAV

Portálový žeriav je robustný zdvíhací stroj navrhnutý pre prepravu ťažkých a rozmerných bremien v rôznych priemyselných a stavebných aplikáciách. Vyznačuje sa robustnou konštrukciou, ktorá pozostáva z dvoch nosných nôh a priečneho nosníka. Takáto konštrukcia umožňuje zdvíhanie a prepravu bremien v širokom rozsahu a umožňuje žeriavu prechádzať cez rôzne prekážky. Portálové žeriavy sa vyrábajú s rôznymi druhmi pohonu, od ručného až po elektrické s diaľkovým ovládaním a veľkým množstvom bezpečnostných prvkov. Pri výbere treba zvážiť tieto faktory:

- **Nosnosť:** žeriav musí mať dostatočnú nosnosť pre konkrétne použitie,
- **Výška zdvihu:** výška zdvihu musí korelovať s výškou pracovného priestoru každého z výrobných strojov,
- **Rozmer žeriavu:** jedným z hlavných rozmerov je rozpätie koľajníc, ktoré možno inštalovať v priestoroch konkrétnej výrobnéj haly.



Obr. 2 Portálový žeriav od firmy BGB Solutions [6]

2.2.2 MOSTOVÝ ŽERIAV

Mostový žeriav je zdvíhacie zariadenie, ktoré pozostáva z hlavnej časti, nosníka, upevneného na nosných dráhach. Tieto dráhy pozostávajú z koľajníc, ktoré sú umiestnené nad pracovným priestorom. Mostový žeriav sa vyrába v dvoch konštrukčných prevedeniach a to jednonosníkovom a dvojnosičkovom. Najčastejšie sú vybavené elektrickým lanovým kladkostrojom a konzolovou kočkou, ktorá umožňuje zdvíhanie a presnú prepravu ťažkých bremien, v niektorých prípadoch až do 120 t. Zvažujeme tieto faktory: [7]

- **Nosnosť:** musí byť dostatočná na manipuláciu s bremenami, s ktorými sa vo výrobnej hale manipuluje,
- **Výška zdvihu:** žeriav musí mať dostatočnú výšku zdvihu, aby aj s manipulovaným objektom mohol bez problémov prejsť celým priestorom výrobnej haly,
- **Rozpätie:** záleží od rozpätia oporných múrov výrobnej haly, prípadne rozpätia podperných stĺpov.



Obr. 3 Mostový žeriav Cralif 20t [8]

2.3 SAMOBYBNÉ MANIPULÁTORY

Samohybné manipulačné zariadenia sa vyznačujú mobilitou a flexibilitou, ktorá umožňuje ich presun v rámci celého pracovného priestoru bez nutnosti použitia koľajníc alebo iných vodiacich prostriedkov. Samohybné zariadenia sa používajú v širokej škále priemyselných a výrobných odvetví, ako aj v stavebníctve a logistike. Samohybné manipulátory sa vyrábajú s rôznymi typmi pohonov. Zaujímavosťou sú hybridné pohony, ktoré kombinujú výhody rôznych typov pohonov, napríklad vysoký výkon hydraulického pohonu s nízkou hlučnosťou a emisiami elektromotora.

Výhody: mobilita, efektívnosť, rozmanitosť.

Nevýhody: údržba, bezpečnosť.

2.3.1 PALETOVÝ VOZÍK

Paletový vozík je jednoduché zdvíhacie zariadenie určené na prepravu paletizovaného tovaru. Umožňujú rýchle a efektívne zdvíhanie a prepravu takéhoto tovaru, zvyčajne o maximálnej hmotnosti 2 500 kg a výšky zdvihu 200 mm. Pozostáva z rámu vyrobeného z ocele alebo hliníka. Konštrukcia rámu musí byť robustná a odolná voči namáhaniu. Ďalej pozostáva z vidlíc, ako nosných prvkov tohto vozíku, zdvíhacieho mechanizmu a riadiaceho systému. Toto zariadenie je ručne poháňané a obsluha ho musí manuálne riadiť. Pri výbere zvažujeme tieto faktory:

- **Nosnosť:** maximálnu váhu, s ktorou môže vozík manipulovať,
- **Dĺžka vidlíc:** dĺžka vidlíc musí zodpovedať rozmerom používaných palet,
- **Typ pohonu:** výber pohonu v závislosti od frekvencie používania.



Obr. 4 Paletový vozík [9]

2.3.2 VYSOKOZDVIŽNÝ VOZÍK

Vysokozdvižný vozík je samohybné zdvíhacie zariadenie. Ide o mimoriadne obľúbené zariadenie, ktoré je určené na zdvíhanie, prepravu a ukladanie materiálov v regáloch. Konštrukčné prvky sú veľmi podobné ako pri paletovom vozíku. Vysokozdvižný vozík pozostáva z rámu, pohonnej jednotky, zdvíhacieho mechanizmu, vidlíc a riadiaceho mechanizmu. Oproti paletovému vozíku vieme s vysokozdvižným vozíkom prepravovať niekoľkonásobne ťažšie bremená. Ako pohon sa využíva spaľovací motor alebo elektromotor, zohľadňujeme tieto faktory:

- **Nosnosť:** rozlišuje sa nosnosť a menovitá nosnosť, pri menovitej nosnosti uvažujeme s váhou bremena a polohou ťažiska bremena od vzdialenosti čela vozíka,
- **Dĺžka vidlíc:** záleží od dĺžky palet prípadne iných bremien, s ktorými budeme manipulovať,
- **Výška zdvihu:** vyberáme na základe najvyššej zakladacej výšky, ktorú potrebujeme, uvažujeme s rezervou cca 200 mm.



Obr. 5 Vysokozdvížený vozík [10]

2.4 MANIPULAČNÉ PRÍSLUŠENSTVÁ

Manipulačné príslušenstvo je široká kategória nástrojov a zariadení, ktoré sa používajú na uľahčenie a zefektívnenie manipulácie s materiálom v rôznych priemyselných odvetviach. Manipulačné príslušenstvo je dôležitou súčasťou moderných logistických a výrobných procesov. Správny výber a používanie manipulačného príslušenstva môže výrazne zvýšiť efektivitu, produktivitu a bezpečnosť pri manipulácii s materiálom.

2.4.1 VÁKUOVÉ MANIPULÁTORY

Manipulátory s vákuovými prísavkami fungujú na princípe vytvorenia podtlaku pod prísavkou. Podtlak sa vytvára pomocou vákuovej pumpy, ktorá odsáva vzduch z priestoru pod prísavkou. Týmto sa vytvorí silné utesnenie, ktoré umožňuje zdvihnúť a prepravovať materiál. Toto zariadenie obsahuje aj pneumatický balancér, ktorý zabezpečuje plynulý pohyb a automatické vyvažovanie manipulovaného bremena. Manipulátor disponuje aj aretačným tlačidlom, ktoré umožňuje zafixovať ho v akejkoľvek polohe. Toto zvyšuje komfort, ale aj bezpečnosť obsluhy.[11]



Obr. 6 Vakuový uchopávač VM 1000/4–2,5x1 [11]

2.4.2 PERMANENTNE BREMOVÉ MAGNETY

Srdcom zdvíhacieho magnetu je rotujúci magnet, ktorý generuje silné magnetické pole na zdvíhacej ploche. Špeciálny profil tejto plochy umožňuje magnetu udržať aj bremená valcového tvaru. Magnetické pole sa ovláda otočením riadiacej páky. Prepnutím páky do polohy OFF sa magnetické pole zablokuje. Otočením páky v smere šípky (ON) sa magnetické pole aktivuje a orientuje do zdvíhacej plochy. Strmeň v hornej časti slúži na zavesenie zdvíhacieho magnetu na zodpovedajúci bremenný hák.

Vďaka svojej sile sa stali veľmi obľúbeným a používaným manipulátorom v kovospracujúcom priemysle. Jednou z nevýhod je potreba znalosti hmotnosti manipulovaného bremena a správneho použitia magnetu s príslušnou silou, aby sme dokázali manipulovať iba s jedným kusom plechu. [12]



Obr. 7 Bremenné magnety FX Lift [12]

2.4.3 SVORKY

Svorky boli konkrétne navrhnuté na manipuláciu s tabuľami plechov, ale vďaka rôznej konštrukcii týchto svoriek dokážeme manipulovať napríklad aj s plechovými rúrami alebo rôznymi profilmi jakov. Vo väčšine prípadov sa čeluste vyrábajú z tvrdenej ocele. Dôležitým kritériom pri výbere správnej svorky, je hrúbka a tvrdosť manipulovaného materiálu.



Obr. 8 Svorka na plech KS [13]

2.4.4 NAKLADACIE VIDLICE

Nakladacie vidlice je zariadenie, ktoré primárne prepravuje bremená na paletách. Okrem paliet sa nakladacie vidlice s úspechom používajú aj na manipuláciu s inými typmi bremien, ako sú zväzky trubiek, profilov alebo plechov. Pri manipulácii s týmito atypickými tvarmi je nutné zabezpečiť dostatočný priestor pre nájazd vidlíc pod bremeno. Používajú sa nakladacie vidlice s pevnými vidlicami alebo nastaviteľnými vidlicami (viz. *Obr. 9*), ktoré umožňujú optimálne prispôbenie paletám alebo bremenám rôznych rozmerov.



Obr. 9 Nakladacie vidlice Eichinger [14]

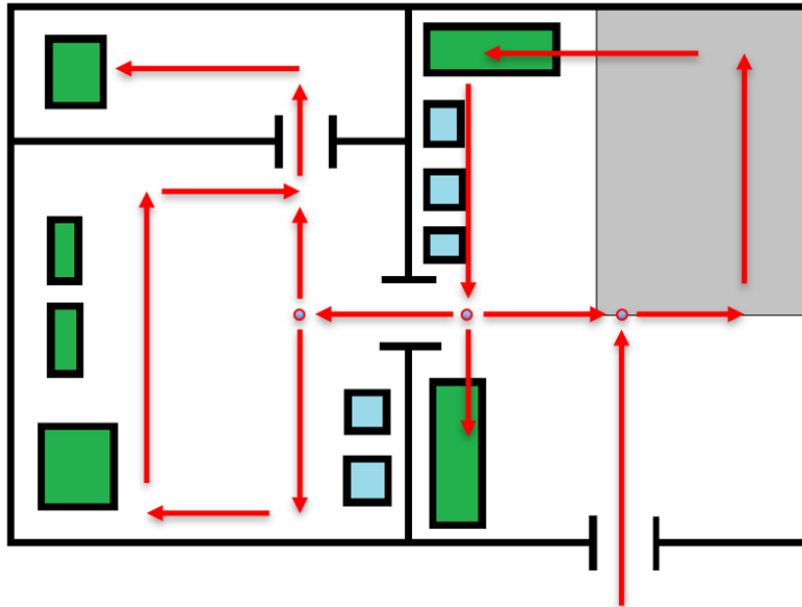
2.5 ZÁVER REŠERŠE

Po dôkladnej rešerši zameranej na výber vhodného typu manipulátora a manipulačného príslušenstva pre priestory výrobných hál sa dospelo k záveru, že navrhnutý manipulátor by sa mal konštrukčne podobáť teleskopickým kliešťom (viz. *Obr. 10*) od firmy Prestar. Táto konštrukcia nám dovoľuje manipulovať s tabuľami plechov rôznych rozmerov vďaka rozťahovateľným vidliciam. Ďalšou veľkou výhodou je možnosť otáčania celého manipulátora okolo svojej osi, čo uľahčí ukladanie a zakladanie tabúl plechov na požadované miesto.



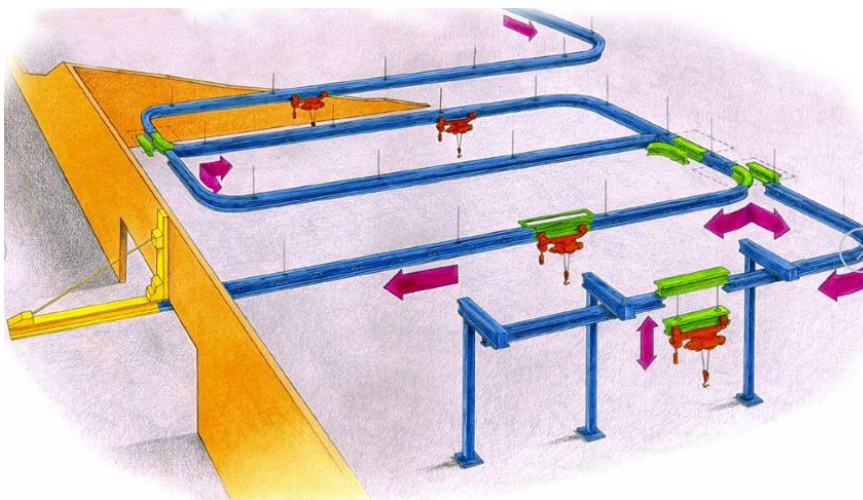
Obr. 10 Teleskopické kliešte od firmy Prestar [15]

Na Obr. 11 je zobrazené rozmiestnenie výrobnjej haly. Zeleno označene, sú pracovné stroje ako napríklad plazmový páliaci stroj, pasová píla, sústruh, lakovacia stanica atď. Modré označené sú pozície zvaracích stolov. Hala je rozdelená na 3 časti, čo pre použitie mostového žeriavu nie je vyhovujúce, pretože by každá časť musela obsahovať svoj vlastný mostový žeriav. Pre toto konkrétne rozmiestnenie výrobnjej haly bol navrhnutý systém dopravy tzv. monorail. Červenou farbou je naznačený návrh trajektórie závesnej jednokoľajovej dopravy Monorail.



Obr. 11 Rozmiestnenie výrobnjej haly

Monorail bol zvolený aj na základe toho, že sa jedna o výrobnú halu sériovej výroby. V prípade zaobstarania nového stroja alebo iba zmeny pozícií pracovných strojov a zvaracích pracovísk, je možné zmeniť a prispôbiť trajektóriu monorailu novému layoutu výrobnjej haly.



Obr. 12 Monorail [24]

3 NÁVRH A HODNOTENIE KONŠTRUKČNÝCH RIEŠENÍ

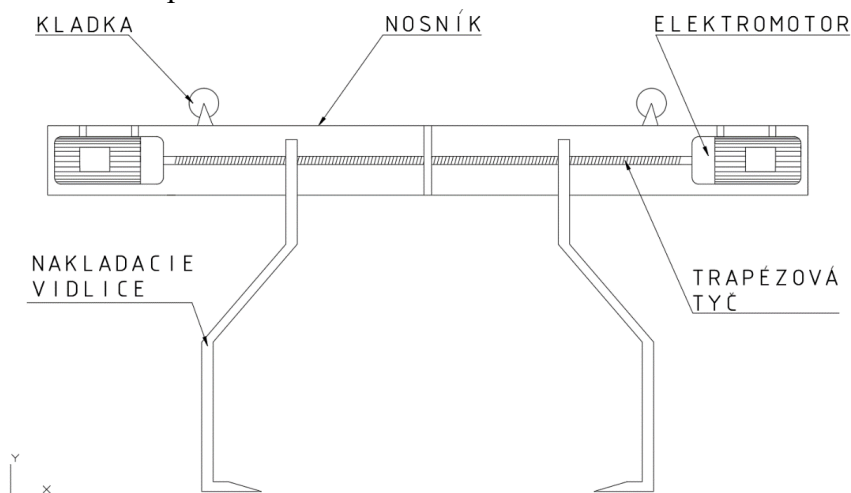
V tejto časti práce sa pozrieme na 3 typy návrhov, s cieľom vybrať to najvhodnejšie konštrukčné riešenie. Pre realizáciu zariadenia, boli podrobne preskúmané a porovnané predbežné návrhy manipulátora. Porovnanie prebiehalo na základe metódy vážených hodnôt, ktorá zohľadnila viacero dôležitých kritérií a pomohla tak vyselektovať optimálne riešenie. [16]

Tab. 1 Hodnotiace kritéria

Váha kritéria	Kritérium	Hodnotenie		
		3 body (dobré)	2 body (neutrálne)	1 bod (zlé)
6	Rozsah vidlíc	Veľmi veľké	Veľké	Male
5	Mobilita	Veľmi dobrá	Dobrá	Špatná
4	Prístup ku komponentom	Jednoduchý	Zložitejší	Náročný
3	Zložitosť	Malá	Veľká	Veľmi zložité
2	Hmotnosť	Malá	Veľká	Veľmi veľká
1	Elektrotechnická náročnosť	Malá	Veľká	Veľmi veľká

3.1 VARIANT A

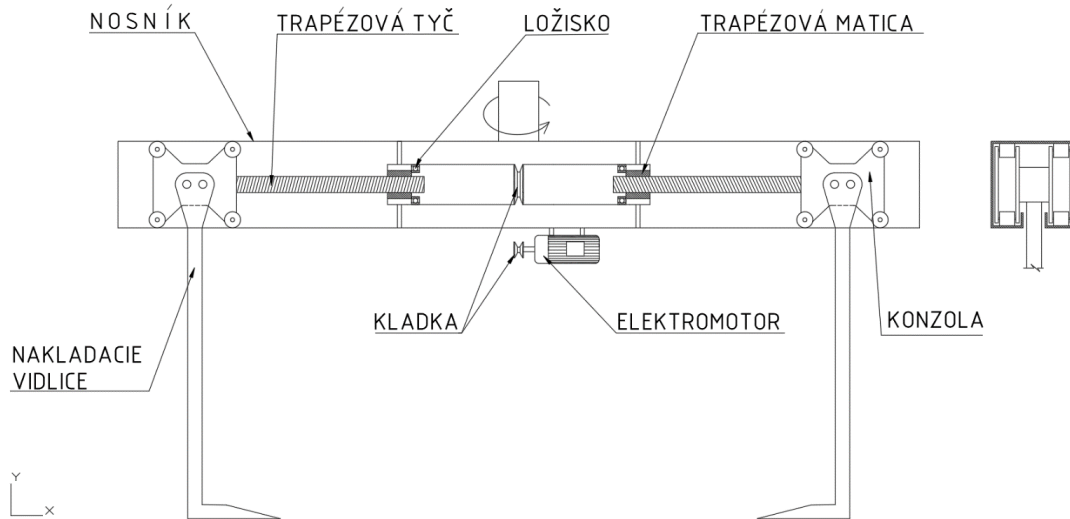
Túto variantu môžeme vidieť na Obr. 13. Hlavným prvkom je nosník, na ktorom sú priamo upevnené kladky zdvíhacieho mechanizmu. V nosníku sú umiestnené 2 elektromotory, ktoré zabezpečujú rotáciu trapézovej skrutky a tým aj pohyb nakladacích vidlíc. Hlavnou nevýhodou tohto konceptu je, že trapézová skrutka by odolávala veľkému cyklickému zaťaženiu kvôli jej dĺžke a skoro nemožnému podloženiu.



Obr. 13 Konštrukčné riešenie variantu A

3.2 VARIANT B

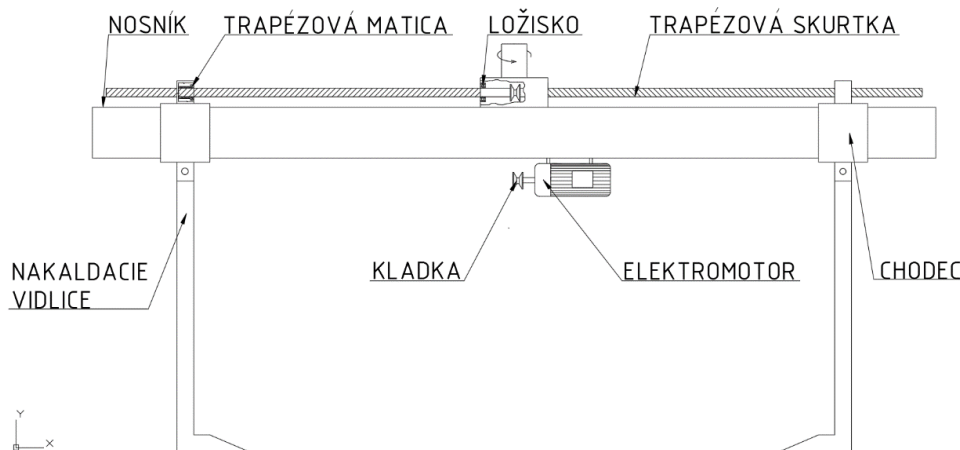
Varianta B môžeme vidieť na *Obr. 14*. Konštrukciu tvorí nosník s profilom tvaru C, v ktorom sa pomocou pohonu a trapézovej tyče pohybujú dve konzoly. Pohon je riešený elektromotorom a krútiaci moment prenášaný pomocou remeňového prevodu. V strede nosníka sa nachádza dutý hriadeľ, v ktorom sú umiestnené ložiská a trapézové matice. Tento variant umožňuje aj výmenu nakladacích vidlíc za ľubovoľné manipulačné príslušenstvo, kompatibilné s upínaním manipulátora.



Obr. 14 Konštrukčné riešenie variantu B

3.3 VARIANT C

Tento variant manipulátora (*Obr. 15*) konštrukčne tvorí opäť nosník, ktorý slúži ako nosná časť manipulátora a zároveň na uchytenie a vedenie ostatných komponentov. Pohonná jednotka manipulátora je elektromotor s remeňovým prevodom, ktorý prenáša pomocou remenice krútiaci moment na hriadeľ. Tento hriadeľ je spojený s trapézovou tyčou a otáčaním remenice sa tak pohybuje aj trapézová matica čoho následkom je pohyb chodca. Chodec ako pohyblivý element manipulátora umožňuje roztváranie a uzatváranie nakladacích vidlíc. Tento variant tiež umožňuje výmenu nakladacích vidlíc za kompatibilne manipulačné príslušenstvá.



Obr. 15 Konštrukčné riešenie variantu C

3.4 VYHODNOTENIE VARIANT

Kvôli veľkej podobnosti konštrukcií bolo nutné porovnať tieto varianty. Porovnanie bolo prevedené pomocou metódy vážených hodnôt, kedy sme každému kritériu priradili hodnotu podľa jej dôležitosti. [16]

Tab. 2 Porovnanie hodnotiacich kritérií variant A, B a C

Kritérium	Variant A			Variant B			Variant C		
	Váha kritéria	Známka	Súčin	Váha kritéria	Známka	Súčin	Váha kritéria	Známka	Súčin
Rozsah vidlíc	6	2	12	6	1	6	6	3	18
Mobilita	5	1	5	5	3	15	5	3	15
Prístup ku komponentom	4	1	4	4	2	8	4	3	12
Zložitosť	3	3	9	3	1	3	3	2	6
Hmotnosť	2	2	4	2	2	4	2	2	4
Elektrotech. náročnosť	1	2	2	1	1	1	1	1	1
Suma			36			37			56

Po zhodnotení metódou vážených hodnôt ako najoptimálnejší a najviac vyhovujúci variant, vyšiel variant C. Tento variant disponuje najlepším rozsahom vidlíc, ktorá je pre toto použitie dôležitá a disponuje aj najlepším prístupom ku komponentom pri údržbe alebo prípadnej poruche.

4 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE MANIPULÁTORA

V nasledujúcej časti bakalárskej práci, budú podrobne rozobrané dôležité komponenty manipulátora. Komponenty boli počítané analyticky a následne overené pomocou numerickej metódy MKP. Komponenty, ktorých výpočet nebol súčasťou tejto práce, sú navrhnuté tak, aby zabezpečovali funkčnosť manipulátora ako celku.

4.1 NAKLADACIE VIDLICE

Zostava nakladacích vidlíc je tvorená zvarencom rámu normalizovaných obdĺžnikových a štvorcových profilov rovnakého materiálu a vlastností. Použité boli štvorcové profily EN 10219 100x6, ktoré vedú stredom rámu. Táto časť rámu je najviac zaťažovaná na ťah a preto si vyžadujú pevnejší profil ako na zbytok rámu vidlíc. Obdĺžnikový profil EN 10219 100x50x5 sa ukázal ako dostačujúci pri pracovnom zaťažení. [17] [18]



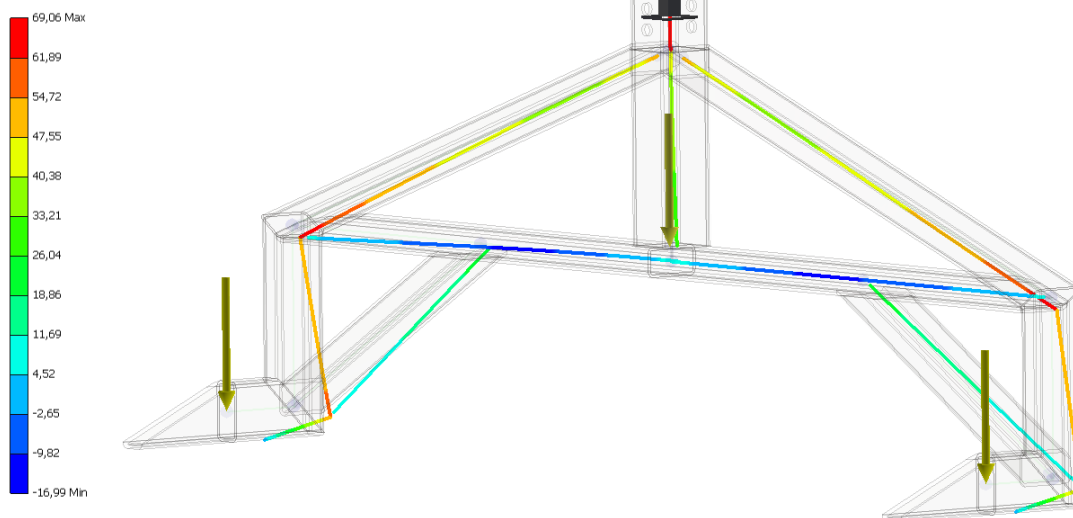
Obr. 16 Konštrukcia nakladacích vidlíc

4.1.1 PEVNOSTNÁ ANALÝZA KONŠTRUKCIE VIDLÍC

Pevnostná analýza, bola prevedená za reálnych podmienok maximálneho zaťaženia rámu, čo zodpovedá zaťaženiu 2500 N na nosnej ploche vidlíc a zaťaženiu od gravitačného zrýchlenia.

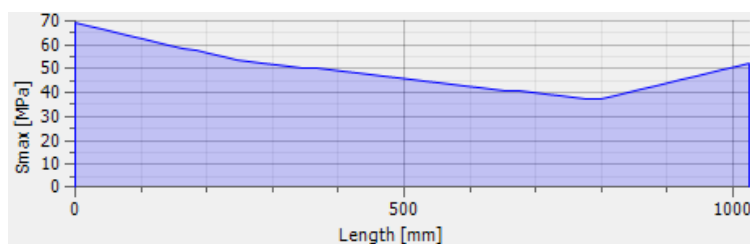
Rám je v hornej časti pripevnený k manipulátoru pomocou dvoch čapov so závitom, s priemerom 20 mm. Tieto čapy sú kvôli bezpečnosti poistené korunovou maticou so závlačkou. Na obrázku č. 15 je vidieť maximálne napätie 69,09 MPa, ktoré pri použitom materiáli S235JRH EN 10219-1 nám zaisťuje bezpečnosť rámu $k=3,40$. [17] [18]

Type: Normal Stress Smax
 Units: MPa
 7. 5. 2024, 18:53:25

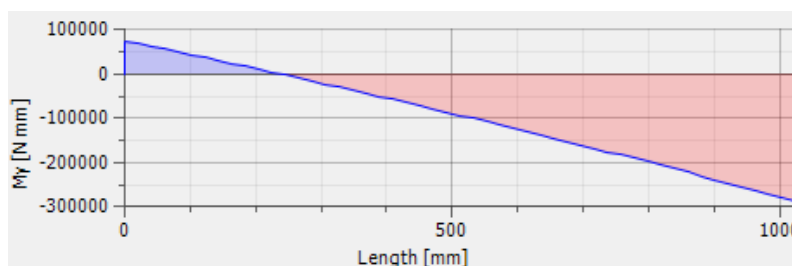


Obr. 17 Analýza MKP rámu nakladacích vidlíc

Najdlhším prvkom rámu je zároveň aj najviac zaťaženým prvkom celého rámu vidlíc. Na obrázku č. 18 a 19 sú vidieť výsledné vnútorné účinky, ktoré dokazujú maximálne napätie 69,09MPa. Z Obr. 19 je možné vidieť, že tento profil je v prvej štvrtine namáhaný na tlak a zbytok na ťah.



Obr. 18 Maximálne napätie



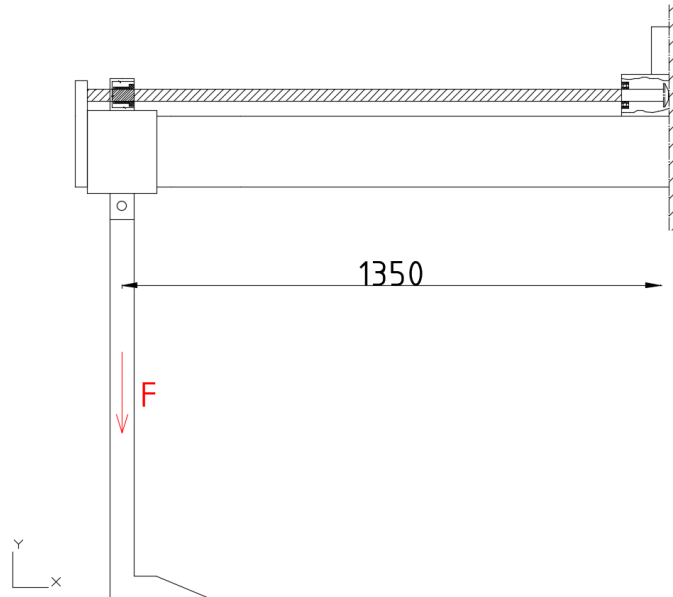
Obr. 19 Priebeh ohybového momentu v ose Y-Y

Dodatočné informácie:

- Hmotnosť rámu vidlíc: 68 kg
- Maximálny priehyb: 3,03 mm (v mieste nosnej plochy)
- Redukované napätie sa skoro nelíši od normálového, pretože nevznikajú veľké šmykové napätia.

4.2 NOSNÍK

Nosník je hlavnou nosnou komponentou celého manipulátora, ktorý je namáhaný v závislosti od dĺžky rozťahnutia vidlíc. Pre analytický výpočet bolo uvažované maximálne rozťahnutie vidlíc aké manipulátor konštrukčne dovoľuje, to znázorňuje *Obr.20*. Sila, ktorá bola pri výpočte použitá, sa skladá zo sily od plného zaťaženia manipulátora, čo predstavuje 24 525N (2500 kg) a samotnej váhy nakladacích vidlíc 667 N (68 kg).



Obr. 20 Schéma maximálneho rozťahnutia nakladacích vidlíc

Pre výpočet maximálneho momentu M_{max} bola použitá rovnica (1):

$$M_{max} = F \cdot l \quad (1)$$

$$M_{max} = 25\,192,08 \cdot 1,35$$

$$M_{max} = 34\,009,3 \text{ Nm}$$

Rovnica (1), kde:

$F = 25\,192,08 \text{ N}$ sila zaťažujúca nosník [N]

$l = 1,35 \text{ m}$ vzdialenosť maximálneho rozpätia [m]

Pri návrhu konkrétneho typu profilu, sa ukázal ako najvhodnejší typ profil dutý s obdĺžnikovým prierezom EN 10219 o rozmeroch 250x100x8 mm. Materiál tohto konkrétneho typu profilu je S355J2H (1.0576) podľa EN 10219-1. Hlavnou výhodou tohto profilu je jeho mez klzu až 355MPa a pružný modul prierezu 297,13 cm³. Pre analytický výpočet maximálneho ohybového napätia σ_{max} bola použitá rovnica (2). [19]

$$\sigma_{Max} = \frac{M_{max}}{W_y} \quad (2)$$

$$\sigma_{Max} = \frac{34\,009,3}{0,000297,13}$$

$$\sigma_{Max} = 114,45 \text{ MPa}$$

Rovnica (2), kde:

$$M_{max} = 34\,009,3 \text{ Nm} \quad \text{maximálny ohybový moment [Nm], z rovnice (1)}$$

$$W_y = 0,000297,13 \text{ m}^3 \quad \text{pružný modul prierezu [m}^3\text{], z [19]}$$

Z porovnania sa zistila bezpečnosť voči medze klzu.

$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma_{Max}} \quad (3)$$

$$k = \frac{355}{114,45}$$

$$k = 3,10$$

Rovnica (3), kde:

$$\sigma_D = 355 \text{ MPa} \quad \text{mez klzu oceli S355J2H [MPa], z [19]}$$

$$\sigma_{Max} = 114,45 \text{ MPa} \quad \text{maximálne ohybové napätie [MPa], z rovnice (2)}$$

4.3 MKP ANALÝZA NOSNÍKA

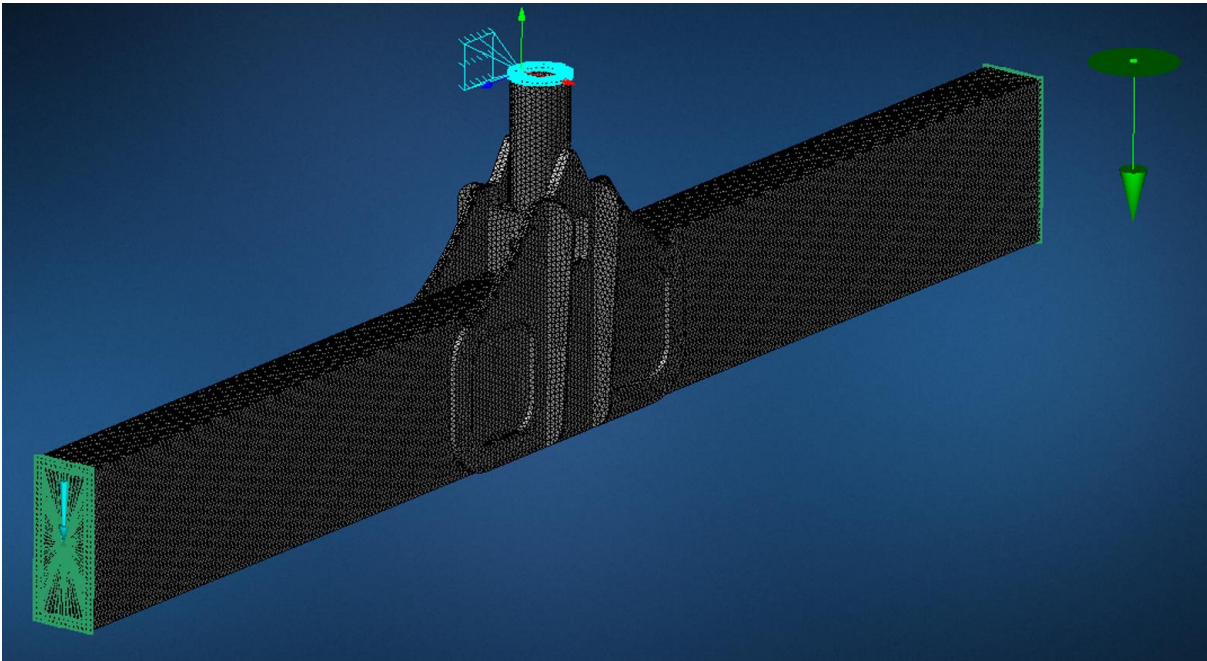
V úvode analýzy sme vytvorili 3D model nosníka v prostredí Autodesk Inventor Professional 2024. Tento program bol využitý aj na predbežnú MKP analýzu, pre overenie správnej optimalizácie modelu. Za účelom dosiahnutia presných výsledkov bol následne importovaný tento model do prostredia MSC Apex, kde bola vykonaná podrobná numerická simulácia jeho správania pod reálnym zaťažením.

4.3.1 PRÍPRAVA MODELU

Na modely bola vytvorená konečno-prvková sieť (mesh) konkrétne s lineárnym 3D elementovým štvorstenovým prvkom. Prvok má veľkosť 8 mm a v mieste rebier bola táto sieť zjemnená na veľkosť prvku 5 mm pre presnejšie výsledky analýzy. Sieť celkovo obsahuje 220 419 prvkov, z čoho 220 000 prvkov je v zóne dobrej kvality podľa kvalitového indexu prvkov.

Následne bola v hornej časti nosníka aplikovaná väzba Fixed support. Táto okrajová podmienka simuluje ideálny prípad, kedy je nosník v tomto bode pevne ukotvený a nedeformuje sa. Ďalej sme definovali sily, ktoré na nosník môžu pôsobiť. Tieto sily predstavujú možné zaťaženie, s

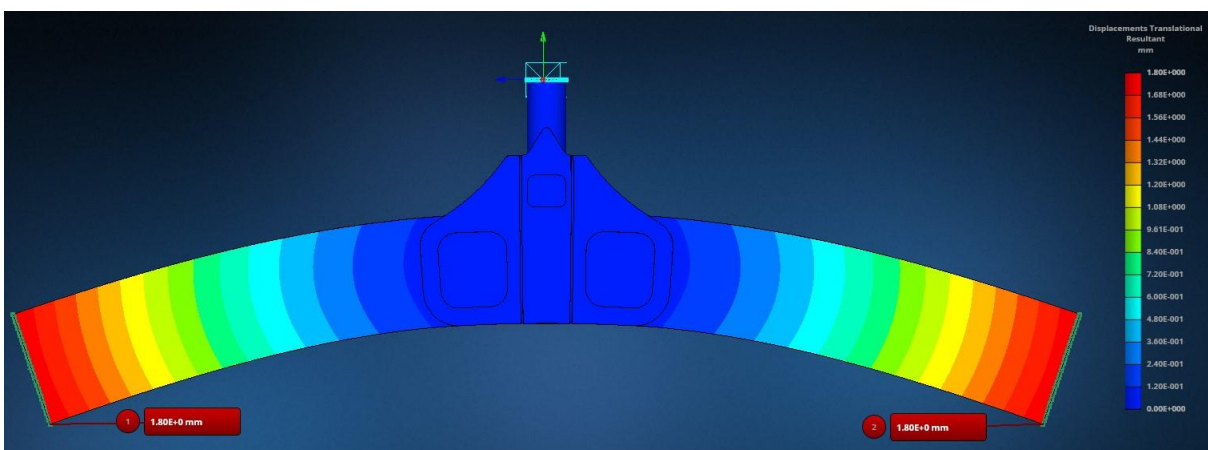
ktorým by sa nosník mohol stretnúť v reálnych prevádzkových podmienkach. Konkrétne sila pri maximálnom zaťažení a pôsobenie gravitačného pola.



Obr. 21 Konečno-prvková sieť modelu nosníka s lineárnym 3D elementovým štvorstenovým prvkom

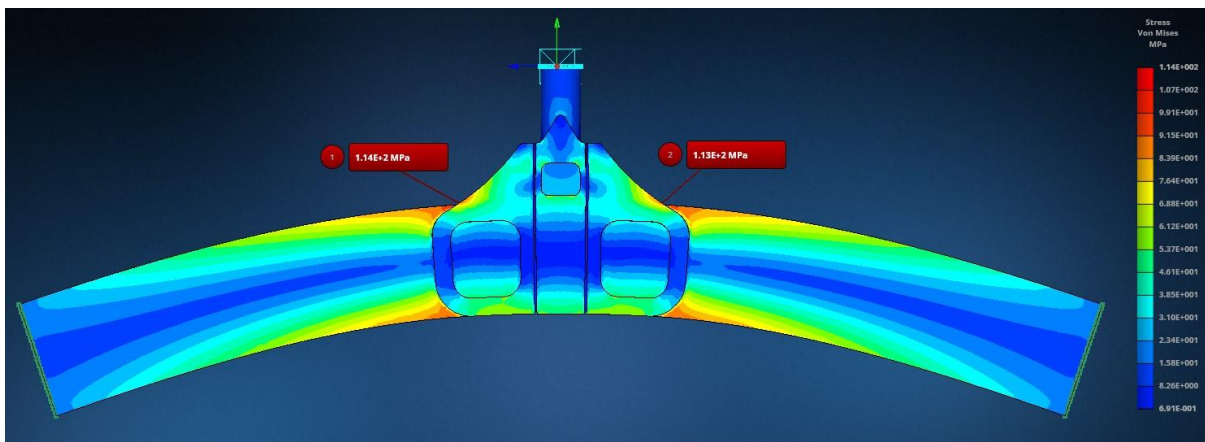
4.3.2 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Po dokončení prípravy modelu a nastavení všetkých okrajových podmienok bola spustená simulácia s cieľom zistiť maximálny priehyb nosníka. Na Obr. 20 je vidieť, že maximálny priehyb je na konci nosníka o hodnote 1,8 mm.



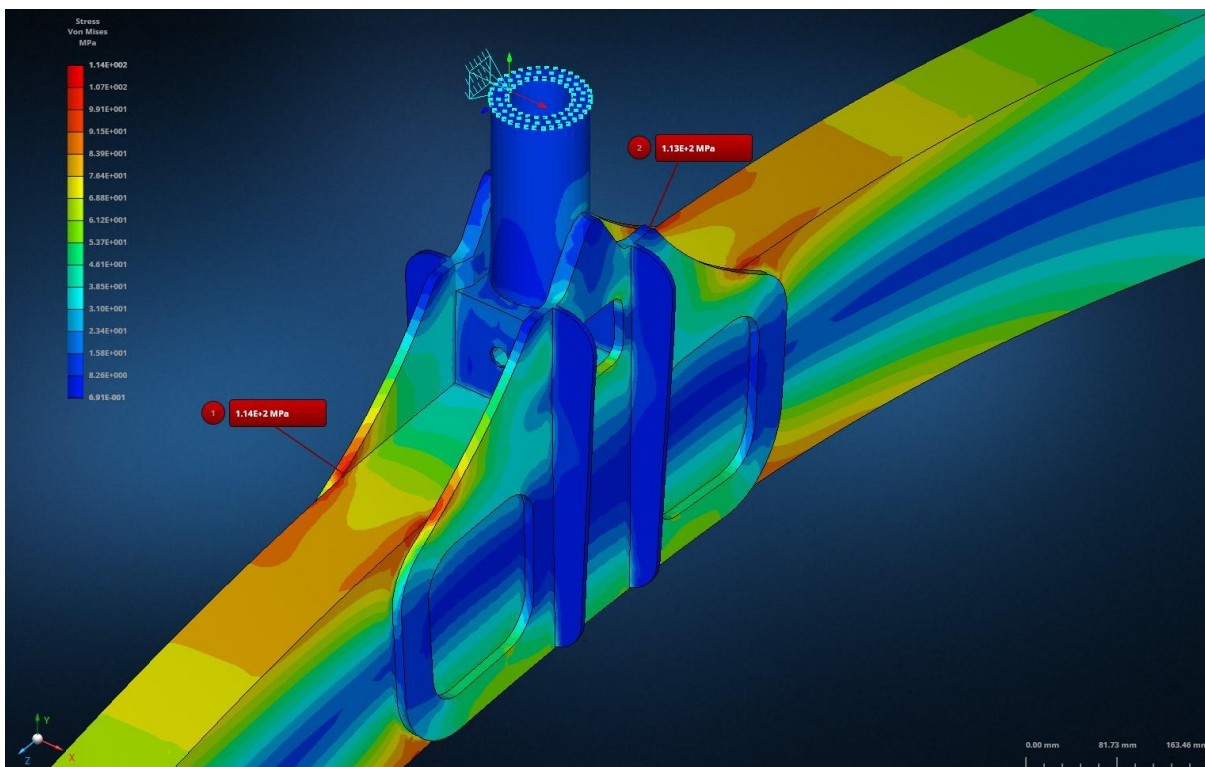
Obr. 22 Numerická simulácia deformácie modelu nosník

Ako druhé bolo zistené maximálne napätie, aké sa nachádza v modeli. Na *Obr. 23* je vidieť maximálne napätie, ktorého hodnota je 114 MPa, v mieste prepojenia nosníka so zvernom.



Obr. 23 Numerická simulácia maximálneho napätia, priebeh napätia podľa HMH

Na *Obr. 24* je zobrazený detail napojenia zverenca s nosníkom, s označením maximálneho napätia.



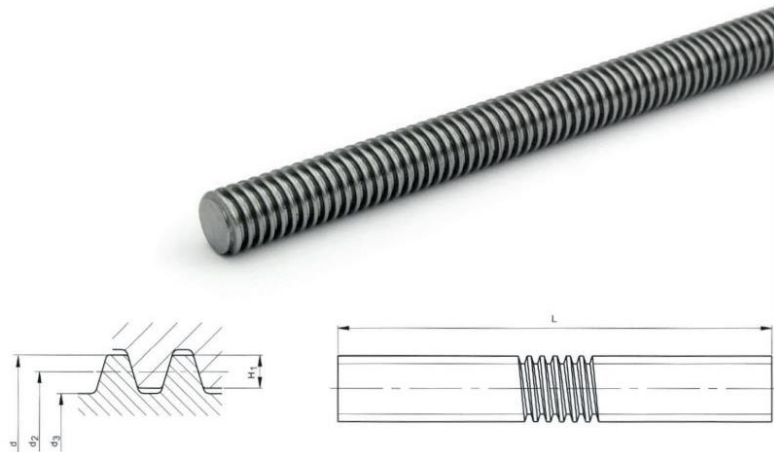
Obr. 24 Detail numerickej simulácie maximálneho napätia, priebeh napätia podľa HMH

Výsledkom tejto MKP analýzy je maximálna hodnota napätia 114 MPa. Čo sa zhoduje s analytickým výpočtom maximálneho napätia z rovnice (3).

4.4 TRAPÉZOVÝ ZÁVITOVÝ MECHANIZMUS

4.4.1 TRAPÉZOVÁ TYČ

Zvolená bola trapézová tyč typu KSR a to vďaka materiálu, z ktorého je táto tyč vyrobená. Materiál: C45 1.0503 má mez klzu 305 MPa, čo oproti materiálu C15 1.1141 dovoľuje použiť tyč s menším priemerom. [20]



Obr. 25 Trapézová tyč od firmy Conti so schémou kótovania hlavných rozmerov [20]

Na výpočet plochy potrebnej pre stanovenie priemeru trapézovej tyče bola upravená rovnica (4) pre výpočet napätia pri namáhaní v jednoosom ťahu.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (4)$$

Po úprave rovnice (4), na výpočet prierezu plochy bola použitá rovnica (5):

$$S = \frac{F \cdot \mu}{\sigma_{Re}} \quad (5)$$

$$S = \frac{25192,08 \cdot 0,11}{305}$$

$$S = 9,08 \text{ mm}^2$$

Rovnica (5), kde:

$F = 25\,192,08 \text{ N}$ sila zaťažujúca nosník [N]

$\mu = 0,11$ súčiniteľ trenia medzi teflonom a oceľou [23]

$\sigma_{Re} = 305 \text{ MPa}$ mez klzu pre materiál C45 1.1141 [MPa] [22]

Pre výpočet priemeru, použijeme upravenú rovnicu na výpočet obsahu kruhu (6):

$$S = \pi \cdot r^2 \quad (6)$$

Po úprave:

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (7)$$

$$r = \sqrt{\frac{9,08}{\pi}}$$

$$r = 1,7 \text{ mm}$$

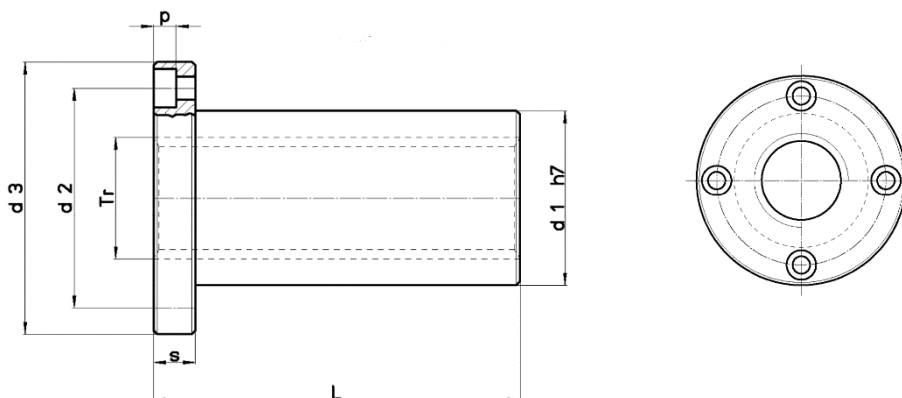
Rovnica (7), kde:

$$S = 9,08 \text{ mm}^2 \quad \text{prierez plochy trapézovej tyče [mm}^2\text{], z rovnice (5)}$$

Zvolená bola trapézová tyč o priemeru 20 mm s plochou prierezu 314 mm². Kontrola trapézovej tyče nebola vykonaná, z dôvodu jej predimenzovania. Potrebná plocha prierezu je 9,08 mm², čo pri zvolenej trapézovej tyči je 37x väčšia.

4.4.2 TRAPÉZOVÁ MATICA

Trapézová matica typu HDL, prírubová matica z bronzu, materiál: EN 1982 Cu Sn12-C. Táto matica je vhodná k použitiu pre vysoké zaťaženia alebo vysokú rýchlosť posuvu. Vďaka jej dĺžke, ktorá je rovná 3xTr, podstatným spôsobom eliminuje opotrebenie. Tento typ matice bol zvolený aj kvôli jej zameniteľnosti s maticami typu FTN, FXN, HAL a FCS. [20]



Obr. 26 Výkres trapézovej matice typu HDL [20]

Veľkosť trapézovej matice bola zvolená na základe parametrov trapézovej tyče. Dôležité bolo overiť či, zvolená matica bude vyhovovať prevádzkovému režimu manipulátora. Nato bol využitý graf klzných podmienok pre bronz (Obr. 27). Potrebné bolo spočítať rýchlosť kĺzania

matice a tlak dosadacej plochy matice. Na základe tohto výpočtu je možné určiť, do ktorej zóny použitia matica zapadá. [20]

- Zóna A (0-21 pxVst): Optimálne provozné podmienky, možný nepretržitý provoz, životnosť matice pri týchto podmienkach je veľmi dobrá.
- Zóna B (21-80 pxVst): Provozná podmienka zhoršená, nepretržitý provoz možný len na obmedzenú dobu a vyžaduje dostatočné mazanie, životnosť matice je pri týchto podmienkach obmedzená.
- Zóna C (80-250 pxVst): Provozná podmienka veľmi zlá, je nemožné pracovať v nepretržitom provoze.

Pre výpočet rýchlosti kĺzania tyče "Vst" bola použitá rovnica (8) :

$$V_{st} = \frac{n \cdot P}{1000 \cdot \sin \alpha} \quad (8)$$

$$V_{st} = \frac{233 \cdot 4}{1000 \cdot \sin 4,03}$$

$$V_{st} = 13,26 \text{ [m/min]}$$

Rovnica (8), kde:

$$n = 233 \text{ ot.min}^{-1} \quad \text{počet otáčok matice za minútu} \left[\frac{\text{otáčky}}{\text{min.}} \right]$$

$$P = 4 \quad \text{stúpanie závitú [mm] [20]}$$

$$\alpha = 4,03^\circ \quad \text{uhol stúpania šrubovice závitú [^\circ] [20]}$$

Pre výpočet tlaku dosadacej plochy "p" bola použitá rovnica (9):

$$p = \frac{F}{A_t} \quad (9)$$

$$p = \frac{2820}{1696}$$

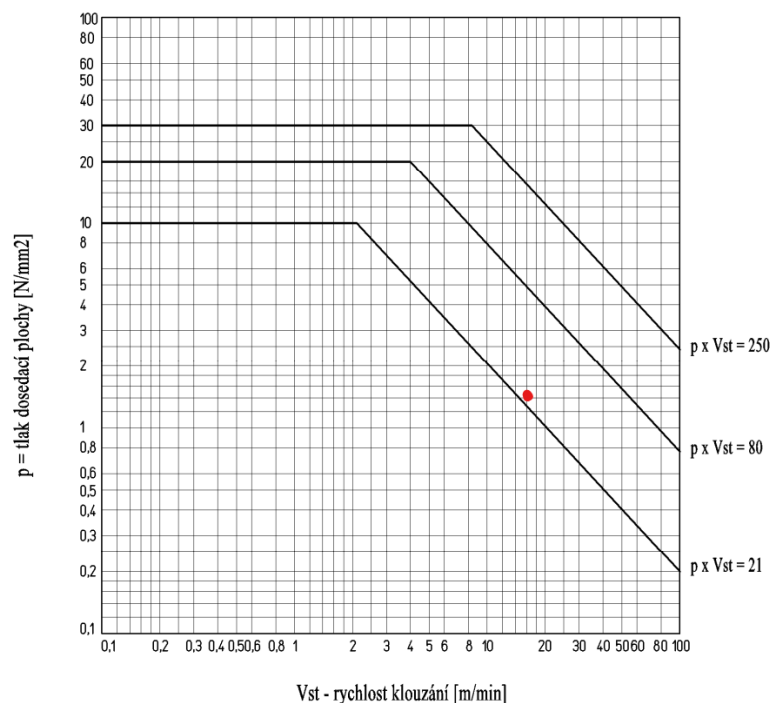
$$p = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

Rovnica (9), kde:

$$F = 2820 \text{ N} \quad \text{axiálna sila [N]}$$

$$A_t = 1696 \text{ mm}^2 \quad \text{celková dosadacia plocha medzi ozuby tyče a ozuby matice na ploche kolmej k osi [mm}^2\text{] [20]}$$

Po výpočte rýchlosti kĺzania a tlaku na dosadacej ploche, je možné určiť, či je zvolená matice vhodná pre provozné podmienky. V grafe (Obr. 27) je možné vidieť červeným označením klzné podmienky pre zvolenú maticu.

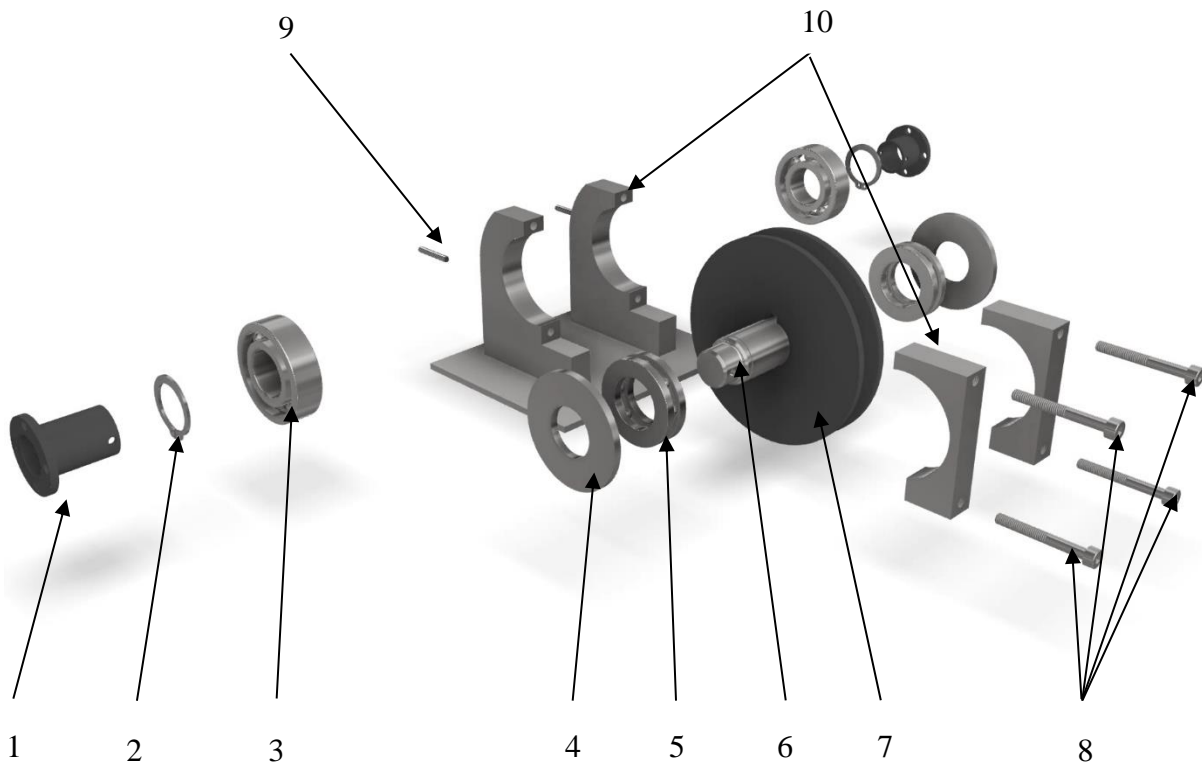


Obr. 27 Graf klzných podmienok pre bronz [20]

Klzné podmienky použitej matice sa nachádzajú v zóne B, ľahko nad hranicou so zónou A. Ako bolo už spomenuté, provozné podmienky sú zhoršené a je potrebné dostatočné mazanie kvôli zahrievaniu. V tomto konkrétnom prípade použitia matice, je vyhovujúca aj zóna B, pretože hlavnou úlohou manipulátora je prenos materiálu z pozície na pozíciu. Rozťahovanie a sťahovanie vidlíc je vždy iba na pár sekúnd, tým pádom nepretržitý prevoz nie je vyžadujúci.

4.5 MECHANIZMUS HRIADEĽA A LOŽÍSK PRE NAKLADACIE VIDLICE

Výpočet, dimenzovanie a kontrola hriadeľa, tak isto aj výpočet a kontrola ložísk nebolo súčasťou tejto bakalárskej práce. Pre úplnosť a funkčnosť celého manipulátora však bol navrhnutý tento mechanizmus. Na obr. 28 je vyššie spomenutý mechanizmus s komponentami. V kapitole nižšie je opis fungovania a zdôvodnenie vybraných komponentov.



Obr. 28 Konštrukcia mechanizmu hriadeľa a ložísk, 1 - prírubová spojka, 2 - poistný krúžok, 3 - radiálne guľôčkové ložisko, 4 - prítlačný krúžok, 5 - axiálne guľôčkové ložisko, 6 - hriadeľ, 7 - remenica, 8 - skrutka, 9 - kolík, 10 – ložiskový domec

Hriadeľ (6), vďaka ktorému je prenášaný krútiaci moment, zabezpečuje rotáciu trapézovej tyče a vďaka tomu je umožnené rozťahovanie a sťahovanie nakladacích vidlíc. Hriadeľ (6) je uložený v radiálnych guľôčkových ložiskách (3) poistených s poistovacím krúžkom (2) a následne upevnený v ložiskových domcoch (10), ktoré sa nachádzajú v zakrytovanej časti nosníka. Táto zakrytovaná časť je navrhnutá tak, aby bola jednoduchá údržba, prípadne výmena komponentov tohto mechanizmu.

Z teoretického hľadiska, by axiálne ložiská (5) v tomto mechanizme neboli potrebné, pretože axiálne sily, ktoré by vznikali sťahovaním a rozťahovaním vidlíc sa vďaka opačnému smeru pôsobenia navzájom vyrušia. Napriek tomu, z bezpečnostného hľadiska, boli axiálne ložiská (5) v tomto mechanizme zakomponované pre prípad nesprávneho zaobchádzania s manipulátorom. Axiálne ložiská (5) sú prítlačané k remenici (7) pomocou prítlačných krúžkov (4), ktoré sú zároveň opreté aj o ložiskové domce (10).

Napojenie hriadeľa (6) na trapézovú tyč je realizovaný pomocou prírubovej spojky (1). Prírubová spojka (1) bola použitá kvôli jej výhodám, že v prípade zaseknutia nakladacích vidlíc o prekážku, by nedošlo k poškodeniu komponentov, ale k pretrhnutiu spojovacích skrutiek prírubovej spojky. Týmto sa minimalizujú náklady na opravu alebo výmenu drahších komponentov. Prírubová spojka (1) je na hriadeľi upevnená pomocou kolíku (9), cez dieru v hriadeľi.

4.6 ELEKTROMOTOR

Elektromotor musí spĺňať požiadavky, aby zabezpečoval kontinuálny a primeraný posuv trapézovej matice, od čoho sa odvíja rýchlosť roztáhovania a sťahovania vidlíc manipulátora. Prvotný výpočet bol realizovaný pomocou rovnice (10), ktorú uvádza firma Conti Group. Tento vzorec je prispôbený k výpočtu momentu elektromotora pre mechanizmus, v ktorom boli použité komponenty tejto firmy. [20]

4.6.1 VÝPOČET ELEKTROMOTORA

Pre výpočet nutného krútiaceho momentu "M" bola použitá nasledovná rovnica (10). [20]

$$M = \frac{F \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot 1000} \quad (10)$$

$$M = \frac{(2820 \cdot 2) \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot 0,26 \cdot 1000}$$

$$M = 13,80 \text{ Nm}$$

Rovnica (10), kde:

$F = 2820 \text{ N}$ axiálna sila pôsobiaca na jednu maticu [N]

$P = 4 \text{ mm}$ stúpanie závitú [mm] [20]

$\eta = 0,26$ účinnosť (uvažovaná účinnosť na základe koeficientu trenia matice) [20]

Táto hodnota krútiaceho momentu nepočíta so stratami komponentov mechanizmu (ložiska, remeň...), preto je pri navrhovaní treba počítať s navýšením o 20-30% oproti vypočítanej teoretickej hodnote. Po navýšení krútiaceho momentu získame hodnotu 16,56 až 17,94 Nm. [20]

Ako kontrolu tejto hodnoty krútiaceho momentu, bol výsledok porovnaný s výpočtom krútiaceho momentu podľa [1].

Pre výpočet zdvíhacej sily "Fzv" pre jednu trapézovú maticu bola použitá rovnica (11) [1] na strane 424 [1].

$$F_{zv} = \frac{F \cdot (\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi)}{\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi} \quad (11)$$

$$F_{zv} = \frac{2820 \cdot (\sin 4,03 + 0,26 \cdot \cos 4,03)}{\cos 4,03 - 0,26 \cdot \sin 4,03}$$

$$F_{zv} = 949,26 \text{ N}$$

Rovnica (11), kde:

$F = 2820 \text{ N}$ axiálna sila pôsobiaca na jednu maticu [N]

$\varphi = 4,03^\circ$ uhol skrutkovice [°] [20]

$f = 0,26$ koeficient trenia matice [20]

Pre výpočet krútiaceho momentu "M" bola použitá rovnica (12) [1] na strane 425 [1]:

$$M = F_{zv} \cdot \frac{d_2}{2} \quad (12)$$

$$M = (949,26 \cdot 2) \cdot \frac{17,64}{2}$$

$$M = 16,74 \text{ Nm}$$

Rovnica (12), kde:

$F_{zv} = 949,26 \text{ N}$ veľkosť zdvíhacej sily [N], z rovnice (11)

$d_2 = 17,64 \text{ mm}$ stredný priemer trapézovej matice [mm]

Výsledok krútiaceho momentu podľa [1] a krútiaceho momentu podľa [20] je totožný. Pre nutný výkon bude vo výpočte použitý krútiaci moment navýšený o 30%, t.j. 17,94 Nm.

Pre výpočet výkonu elektromotora "Pt" bola použitá rovnica (13) [20]:

$$Pt = \frac{M \cdot n}{9550} \quad (13)$$

$$Pt = \frac{17,94 \cdot 700}{9550}$$

$$Pt = 1,31 \text{ kW}$$

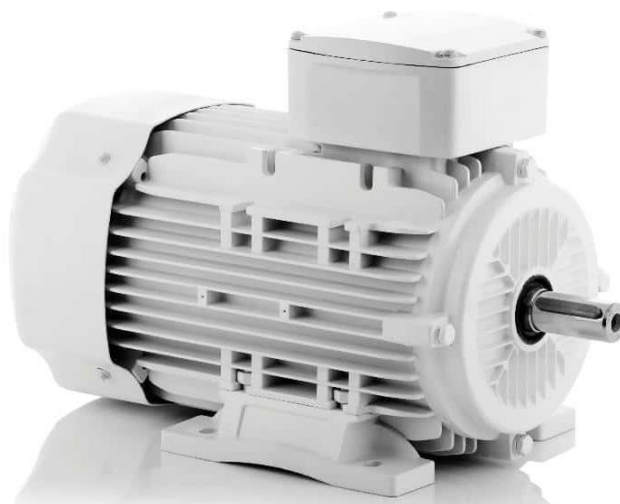
Rovnica (13), kde:

$M = 17,94 \text{ Nm}$ krútiaci moment [Nm]

$n_{em} = 700 \text{ ot. min}^{-1}$ počet otáčok elektromotora za minútu $\left[\frac{\text{otáčky}}{\text{min.}}\right]$.

4.6.2 VOĽBA ELEKTROMOTORA

Elektromotor je zvolený na základe jeho potrebného výkonu z rovnice (13) t. j. 1,31 kW. Vhodným elektromotorom sa ukázal trojfázový asynchrónny elektromotor 1,5 kW 1 AL112M-8 od výrobcu VYBO Electric a. s., ktorý je určený pre štandardnú, ale hlavne premyslenú prevádzku. Katalógový moment tohto elektromotora je 20,50 Nm, čiže dostatočne vysoký na pokrytie potrebného momentu 17,94 Nm. Jednou z výhod je aj možné zväčšenie výkonu až na 1,8 kW, zmenou napätia na 400 V. Pri použití tohto konkrétneho elektromotora bude pohyb trapézovej matice (rozťahovanie a sťahovanie nakladacích vidlíc) 0,016 m/s. [21]



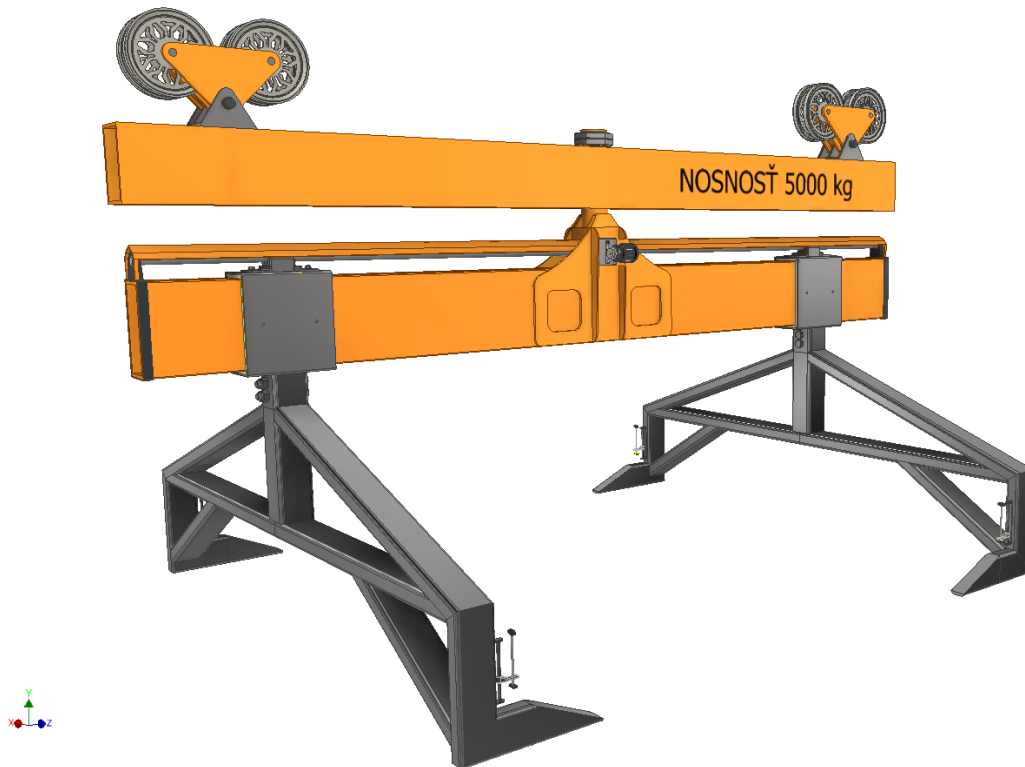
Obr. 29 trojfázový asynchrónny elektromotor 1,5kW 1 AL112 M-8 od výrobcu VYBO Electric a.s. [21]

4.7 KONŠTRUKCIA MANIPULÁTORA

V tejto kapitole bude zobrazená celá konštrukcia manipulátora a detaily konštrukčných riešení komponentov, ktoré zabezpečujú funkčnosť celého zariadenia.

4.7.1 3D MODEL MANIPULÁTORA

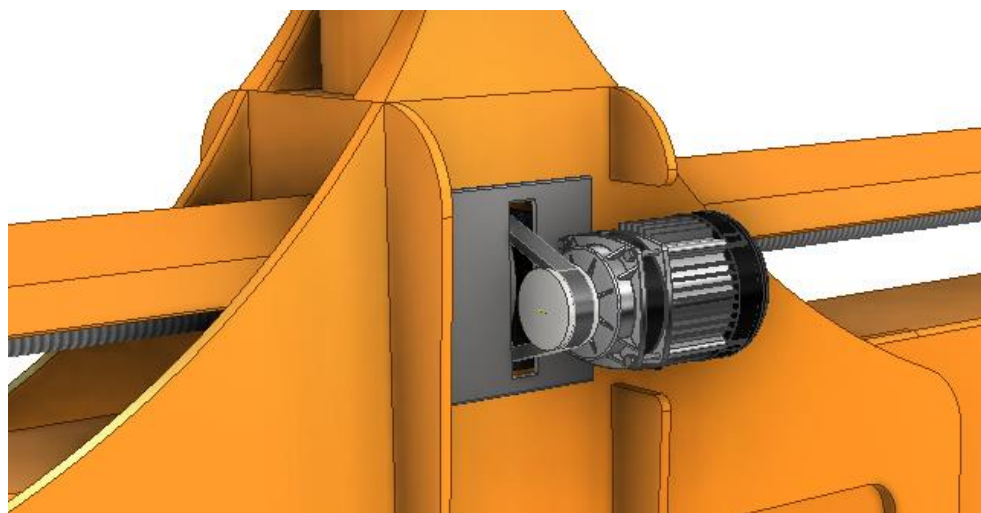
Na *Obr. 30* je zobrazený 3D model manipulátora, vytvorení v prostredí Autodesk Inventor Profesional 2024. Model je konštrukčne zostavený tak, aby spĺňal hlavné požiadavky tejto bakalárskej práce t. j. dokázal bezpečne, efektívne a spoľahlivo premiestňovať materiál, konkrétne tabule plechov v priestoroch výrobnéj haly.



Obr. 30 3D model konštrukcie manipulátora

4.7.2 DETAIL POHONU

Elektromotor, zabezpečuje sťahovanie a roztáhovanie nakladacích vidlíc a tým umožňuje nakladanie, skladanie a zakladanie prepravovaného materiálu. Prevodový pomer prevodového remeňu je 3:1, čo pri použití 1,5 kW elektromotora 1 AL112 M-8 od výrobcu VYBO Electrics a. s. bude zaisťovať pohyb trapézovej matice a posuv 0,016 m/s. Na *Obr. 31* je vidieť kryt, ktorý slúži na ochranu mechanizmu hriadeľa, ložísk a komponentov spomenutých v *kap. 4.5* pred prachom, nečistotami a cudzími predmetmi. Pri údržbe alebo prípadnej výmene komponentov, môže byť tento kryt demontovaný, čo umožní prístup k mechanizmu. [21]



Obr. 31 Detail pohonu a elektromotoru

4.7.3 DETAIL OBJÍMKY A TRAPÉZOVEJ MATICE

Nakladacie vidlice sú pripojené k objímke pomocou dvoch korunových matíc so závlačkou spomenutých v kap. 4.1.1. Na vnútorných stranách objímky sú inštalované teflonové dosky na zníženie trecej sily použitej v rovnici (5), ktoré vznikajú pri roztáhovaní a sťahovaní nakladacích vidlíc. Použitie teflonových dosiek zároveň umožnilo použiť elektromotor s menším výkonom. Trapézová matica a trapézová tyč sú zakrytované, aby sa zamedzilo prístupu k pohyblivým elementom v rámci bezpečnosti a zároveň chránila trapézový závitový mechanizmus pred poškodením.



Obr. 32 Detail objímky

4.7.4 DETAIL NOSNÍKA PRE ZDVIHOVÝ MECHANIZMUS

Nosník, riešený v *kap. 4.2* je uložený pomocou dutého hriadeľa v bronzovom puzdre, v nosníku určeného pre zdvihový mechanizmus manipulátora. Nosník je zaistený pomocou matice a kontra matice. Toto uloženie dovoľuje otáčanie manipulátora okolo svojej osi v rozsahu 360°. Ďalšou výhodou je, že v dutom hriadeľi môže byť vedená pripájacia kabeláž pre elektromotor.



Obr. 33 Detail nosníka s ukotvením a časťou kladového mechanizmu

4.7.5 DETAIL BEZPEČNOSTNÉHO PRVKU

Na poslednom detaile je zobrazený bezpečnostný prvok, ktorý sa skladá z upínacích svoriek. Svorka slúži na zafixovanie plechu na dosadacích plochách nakladacích vidlíc a tým zvyšuje bezpečnosť na pracovisku pri používaní manipulátora.



Obr. 34 Detail bezpečnostného prvku manipulátor

ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnuť a skonštruovať manipulator plechových tabúl pre potreby výroby haly. V práci boli podrobne rozanalyzované rôzne typy manipulatorov a manipulačného príslušenstva. Na základe metódy vážených hodnôt, bol vybraný najvhodnejší variant. Následne boli navrhnuté a analyticky spočítané všetky komponenty manipulatora. Detailná numerická analýza metódou konečných prvkov (MKP) potvrdila správnosť konštrukčného riešenia.

Z analýzy MKP boli zistené poznatky a to konkrétne, že najvyššie napätia sa vyskytujú v oblastiach zvaru napojenia nosníka, tak ako sa očakávalo. V týchto miestach je koncentrácia napätia výrazná, avšak stále pod medzou klzu materiálu S355J2H. Deformácie nosníka sú v rámci prípustných limitov a neohrozujú funkčnosť konštrukcie manipulatora. Maximálny priehyb nosníka pri maximálnom zaťažení je 1,8 mm, čo je zobrazené na Obr. 22. Na základe výsledkov numerickej analýzy bol vypočítaný bezpečnostný faktor, ktorý je 4,06. To znamená, že nosník má dostatočnú rezervu pevnosti a odolá aj nárazovým zaťaženiam.

Okrem MKP analýzy boli vykonané aj analytické výpočty pre ostatné komponenty manipulatora, ako sú nakladacie vidlice a pohonný mechanizmus. Tieto výpočty potvrdili správnosť konštrukčného riešenia a bezpečnosť manipulatora pri maximálnom zaťažení s hodnotou bezpečnostného faktoru $k > 3$.

Vhodnosť navrhnutého manipulatora, monorailu a teda aj navrhnutej trajektórie, by sa zistila až pri zakomponovaní v reálnej výrobní prevádzke. Dôvodom je interakcia medzi týmto návrhom a ostatnými podnetmi z prostredia výroby. Preto je dôležité, aby sa navrhnutý systém validoval a optimalizoval priamo v prevádzke. Na základe poznatkov z reálnej prevádzky, ktoré môžu byť simulované v prostredí Plant Simulation sa dá systém doladiť tak, aby dosiahol optimálnu funkčnosť, spoľahlivosť a efektívnosť.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Brno: Vysoké učení technické, 1988.
- [3] LEINVEBER, Jiří a VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [4] DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. Manipulace s materiálem. Praha: SNTL, 1979, 454 s.
- [5] ForMetal. *ForMetal plechotvarecí stroje* [online]. 2018 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/blog/system-pro-manipulaci-s-tabulovymi-plechy-d-tower-pro-lasery-durma/>
- [6] BGB Solutions. *BGB Solutions* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.bgb.sk/portaloxy-zeriav/>
- [7] ITECO žeriavy. *ABU ITECO žeriavy* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://itecozeriavy.sk/zeriavy/mostove-zeriavy/>
- [8] Cralif. *Cralif* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.cralif.sk/liaci-mostovy-zeriav-20t-8t/>
- [9] AI Stock Photo. *HotPot* [online]. 2024 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://hotpot.ai/ai-stock-photo>
- [10] AI Stock Photo. *HotPot* [online]. 2024 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://hotpot.ai/ai-stock-photo>
- [11] VAKUUMTECHNIK s.r.o. *VAKUUMTECHNIK s.r.o.* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.vakuumtechnik.sk/vakuove-manipulatory/vakuove-manipulatory-na-plechy-a-hlinikove-bloky-horizontalna-manipulacia/vm-1000-4-2-5x1/>
- [12] HUVYK spol s.r.o. *HUVYK spol s.r.o.* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.huvyk.sk/produkty/permanentne-magnety-a-zvierky/>
- [13] Kaiserkraft works. *Kaiserkraft* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.kaiserkraft.sk/zd-vihacie-zariadenia/upinacie-zariadenia-pojazdne-macky/svorka-na-plech-ks/rozsah-uchopenia-0-25-mm/p/M3173619/>

- [14] Kaiserkraft works. Kaiserkraft [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: [https://www.kaiserkraft.cz/zvedaky/nakladaci-vidlice/nakladaci-vidlice-rucni/uzitna-vyska-1150-1750-mm-lehke-provedeni/p/M15567997/?articleNumber=572147&utm_content=LiftingEquipment%3ECranes&utm_term=572147&customerType=B2C&infinity=ict2~net~gaw~cmp~PM_Jarvis0\(410\)~ag~ar~kw~mt~&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAoKeuBhCoARIsAB4WxteHw-at_Np4E8O0JdbklNlrJbWXxO4KVm8hgPA6VcHIBCIWEMlidyowaAjY8EALw_wcB](https://www.kaiserkraft.cz/zvedaky/nakladaci-vidlice/nakladaci-vidlice-rucni/uzitna-vyska-1150-1750-mm-lehke-provedeni/p/M15567997/?articleNumber=572147&utm_content=LiftingEquipment%3ECranes&utm_term=572147&customerType=B2C&infinity=ict2~net~gaw~cmp~PM_Jarvis0(410)~ag~ar~kw~mt~&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAoKeuBhCoARIsAB4WxteHw-at_Np4E8O0JdbklNlrJbWXxO4KVm8hgPA6VcHIBCIWEMlidyowaAjY8EALw_wcB)
- [15] Kleště teleskopické na svazky plechů. Prestar [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.prestar.cz/kleste-teleskopicke-na-svazky-plechu-2/>
- [16] Výpočet požadavků. Logistika dopravy a manipulace [online]. Brno: VUT, 2017, 1. 12.2017[cit.20200616].Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/133910/mod_resource/content/1/DLD-3part.pdf
- [17] Profil dutý zváraný černý so štvorcový prierezom, EN 10219 // rozmer 100x6. Profily oceľové uzavreté (jäkly) štvorcové [online]. Praha: Feron, c2017 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/29073/profil-duty-svarovany-cerny-sectvercovym-prurezem-en-10219-rozmer-100x6>
- [18] Profil dutý zváraný černý so obdĺžnikovým prierezom, EN 10219 // rozmer 100x50x5. Profily oceľové uzavreté (jäkly) obdĺžnikove [online]. Praha: Feron, c2017 [cit. 2020-05-15].Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/23549/profil-duty-svarovany-cerny-s-obdelnikovym-prurezem-en-10219-rozmer-100x50x5>
- [19] Profil dutý zváraný černý so obdĺžnikovým prierezom, EN 10219 // rozmer 200x100x8. Profily oceľové uzavreté (jäkly) obdĺžnikove [online]. Praha: Feron, c2017 [cit. 2020-05-15].Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/34113/profil-duty-svarovany-cerny-s-obdelnikovym-prurezem-en-10219-rozmer-200x100x8>
- [20] Conti Catalogo. *Copertina catalogo Prima* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <http://www.contigroup.it/Catalogo/Catalogo-CZ.pdf>
- [21] Elektromotor 1,5kW 1 AL112 M – 8 VYBO Electric 380V až 400V. VYBO *Electrics.sk* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://vyboelectric.sk/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwo6GyBhBwEiwAzQTmc5IQkWA50vtUa83Fc8b7RZlySle6n9jIQgiYLPgzxwYMZBYMkZoxeRoCZPMQAvD_BwE
- [22] Jakost C45. *Arteon* [online]. 2024 [cit.20240519].Dostupné z: <https://www.atreon.cz/jakost-c45/>
- [23] SOUČINITEL TŘENÍ. *F-konstrukter* [online]. 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [24] Monorail Systems. *Cincinnati Crane a Hoist* [online]. 2017 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: <https://cincinnati-crane.com/cigallery/monorail-systems/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

At	[mm ²]	Celková dosadacia plocha medzi ozuby tyče a ozuby matice na ploche kolmej k ose
d2	[mm]	Stredný priemer trapézovej matice
F	[N]	Sila zaťažujúca nosník
f	[-]	Koeficient trenia trapézovej matice
Fzv	[N]	Zdvihová sila na jednu trapézovú maticu
g	[m.s ⁻²]	Gravitačne zrýchlenie
HMH	[-]	Hypotéza Huber-von Mises-hencky
k	[-]	Bezpečnosť voči medznému stavu pružnosti
l	[m]	Vzdialenosť maximálneho rozpätia
m	[kg]	Hmotnosť zaťažujúca trapézovú tyč
M	[Nm]	Potrebný krútiaci moment
Mmax	[Nm]	Maximálny moment pôsobiaci na nosník
n	[ot.min ⁻¹]	Počet otáčok matice
n _{em}	[ot.min ⁻¹]	Katalógový počet otáčok Elektromotora
p	[N/mm ²]	Tlak na dosadacej ploche At
P	[mm]	Stúpanie závitú trapézovej matice
Pt	[kW]	Potrebný výkon elektromotora
r	[mm]	Polomer trapézovej tyče
S	[mm ²]	Prierez plochy trapézovej tyče
V _{st}	[m/min]	Rýchlosť kĺzania trapézovej matice
W _y	[m ³]	Pružný modul prierezu
α	[°]	Uhol stúpania šrubovice závitú
η	[-]	Účinnosť (uvažovaná účinnosť na základe koeficientu trenia matice)
σ	[MPa]	Ohybové napätie
σ _{max}	[MPa]	Maximálne ohybové napätie
σ _D	[MPa]	Medz klzu oceli S355J2H
σ _{Re}	[MPa]	Medz klzu pre materiál C45 1.1141
μ	[-]	Súčiniteľ trenia medzi teflonom a oceľou
φ	[°]	Uhol skrutkovice

Zoznam príloh

Výkres zostavy	MANIPULÁTOR	1-GAZDI-01
Zoznam položiek	KUSOVNÍK MANIPULTORA	4-GAZDI-101
Výkres zostavy	NAKLADACIE VIDLICE	3-GAZDI-02
Zoznam položiek	KUSOVNÍK NAKLADACICH VIDLIC	4-GAZDI-201
Výkres súčasti	HRIADEL	3-GAZDI-03
Výkres súčasti	VYPALOK	4-GAZDI-04