



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

Návrh zařízení pro obsluhu vstřikovacího lisu

Design of the equipment for service of injection press

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTERS'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Dušek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Martin Dušek
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
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 diplomové práce:

Návrh zařízení pro obsluhu vstřikovacího lisu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem práce je návrh konstrukce automatického zařízení pro obsluhu vstřikovacího lisu. Zařízení bude sloužit pro zakládání kovových lišt do lisu a odběr hotového dílu z lisu. Stanovení zbývajících charakteristik bude součástí návrhu. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností Inprotec s. r. o. Brno.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Návrh variant řešení a zdůvodnění výběru konkrétního řešení.

Konstrukční návrh zvolené varianty - 3D model.

Nezbytné výpočty potřebné pro návrh a dimenzování.

Výkresová dokumentace vybraných uzlů.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zařízení pro obsluhu vstřikovacího lisu. V rešeršní části je představena technologie vstřikování plastů a možnosti její automatizace. Dále prvky pro podávání a manipulaci s díly. Praktická část je zaměřena na konstrukční návrh automatizovaného zařízení pro obsluhu vstřikovacího lisu.

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on the design of a device for operating an injection molding machine. The research section introduces the technology of plastic injection molding and the possibilities for its automation, as well as elements for feeding and handling parts. The practical section is dedicated to the design of an automated device for operating the injection molding machine.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizované pracoviště, jednoúčelový stroj, automatické podávání, obsluha vstřikovacího lisu

KEYWORDS

Automated workstation, special-purpose machine, automatic feeding, operation of injection molding machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DUŠEK, Martin. *Návrh zařízení pro obsluhu vstřikovacího lisu*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157802>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Pavlík.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Pavlíkovi za cenné rady pro zpracování tak komplexního zařízení. Další poděkování směřuji k firmě Inprotec s.r.o. za umožněnou příležitost, jelikož je tato práce výstupem dlouhodobé spolupráce již od zahájení mého studia. Následně bych chtěl poděkovat mým kolegům za věcnou zpětnou vazbu při konzultacích konstrukčního návrhu. V závěru bych chtěl poděkovat rodině a mým blízkým přátelům za podporu, náklonnost a motivaci.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne

.....

Martin Dušek

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VĚDY A TECHNIKY	14
2.1	Technologie vstřikování plastů	14
2.2	Obsluha výroby vstřikovacích lisů	16
2.2.1	Ruční obsluha vstřikovacího lisu	16
2.2.2	Využití vyhazovacího systému	17
2.2.3	Robotické pracoviště	18
2.3	Manipulační koncové efekторы	20
2.4	Automatické podavače dílů	21
2.4.1	Kruhové vibrační zásobníky	21
2.4.2	Vibrační lineární podavače	22
2.4.3	Předzásobníky	23
2.4.4	Krokové podavače	24
3	SYSTÉMOVÝ ROZBOR	25
3.1	Analýza současného pracoviště	25
3.1.1	Popis pracoviště	25
3.1.2	Proces výroby	25
3.1.3	Výsledky analýzy	25
3.2	Požadavky na konstrukci stroje	26
3.3	Stanovení okrajových podmínek pro konstrukci stanice	26
3.3.1	Rozloha pracoviště	26
3.3.2	Manipulované díly	27
4	NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ.....	29
4.1	Navržené varianty	29
4.1.1	Varianta č. 1	29
4.1.2	Varianta č. 2	30
4.1.3	Varianta č. 3	30
4.2	Výběr nejvhodnější varianty	31
4.2.1	Vícekritériální analýza	32
5	KONSTRUKČNÍ NÁVRH ZVOLENÉ VARIANTY.....	33
5.1	Popis funkce pracoviště	33
5.2	Podavač ocelových listů	34
5.3	Řetězový dopravník	34
5.4	Manipulační stanice	35
5.4.1	Polohovací sestava	36
5.4.2	Manipulátor	37
5.4.3	Pojízdný suport	39
5.4.4	Odebírací lůžka	41
5.5	Koncový efektor	43
5.6	Plošina	46
5.7	Bezpečnost pracoviště	50
5.8	Ovládání zařízení	51
5.9	Senzorika a komunikace	52
6	VYPRACOVÁNÍ POTŘEBNÝCH VÝPOČTŮ.....	56
6.1	Stanovení kroutícího momentu servopohonů	56

6.1.1 Manipulátor manipulační hlavice	56
6.1.2 Manipulátor pojízdného suportu	60
6.2 Kontrola únosnosti sloupů	63
6.3 Simulace taktu podávání lišt.....	65
7 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ PRO PRAXI.....	69
8 ZÁVĚR.....	71
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	73
10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ.....	76
10.1 Seznam zkratk a symbolů	76
10.2 Seznam tabulek.....	77
10.3 Seznam grafů	78
10.4 Seznam obrázků.....	78
11 SEZNAM PŘÍLOH.....	81

1 ÚVOD

Průmysl se v současnosti nachází v trendu dynamických změn, které jsou poháněny technologickým pokrokem a měnícími se globálními trhy. Tyto trendy s sebou přinášejí výzvy, a tím i příležitosti pro firmy všech velikostí, jež mají za cíl si z pomyslného dortu ukrojit svou část. Zrychlené tempo vývoje technologií přicházejících na trh zvyšuje nátlak na firmy, jež jsou nuceny neustále inovovat, hledat nová sofistikovanější řešení, s čímž se pojí nemalé investice. A taktéž ve spojení s narůstající konkurencí napříč odvětvími, jenž má usnadněný vstup na trh díky digitalizaci a přístupu k informacím. To má za následek zvyšování nátlaku na ceny produktů a hledání cest, jež budou směřovat k maximalizaci marže. Proto jsou firmy nuceny hledat a aplikovat způsoby pro zvýšení efektivity výrobních procesů za doprovodu zvýšení optimalizace provozu. Jednou z mnoha možností je zavedení automatizace do výrobního procesu, která s sebou přináší řadu výhod, počínaje se zvýšením efektivity výroby, stabilitou kvality výrobků, případně přeměrováním pracovních sil na jiné pozice za cenu nemalé investice v závislosti na rozsahu automatizace.

Na zavedení automatizace do výrobního procesu se musí firmy řádně připravit a mít jasně nastavené požadavky, jichž má být dosaženo. Firmy, které poté nabízejí řešení pro automatizaci zadaných procesů, vychází právě ze zmíněných požadavků, jež mají zásadní vliv na konstrukci a cenu navrhovaného stroje. Vzhledem k rozsáhlé konkurenci mezi zprostředkovateli automatizace je snaha hledat rovnováhu mezi funkčností automatizovaného zařízení a jeho prodejní cenou.

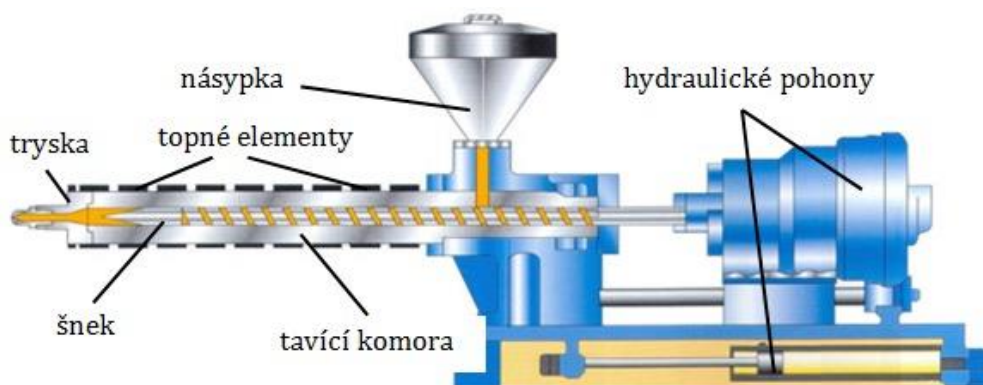
Cílem této diplomové práce je navržení automatizovaného pracoviště pro zásobování výrobního procesu vstřikovacím lisu ocelovými lištami za využití již instalovaného průmyslového robota a výstupního dopravníku. Instalací tohoto zařízení zákazník zdvojnásobí výrobní kapacitu již probíhající zakázky.

V průběhu práce je proveden systémový rozbor současného pracoviště a rozbor zadaných parametrů pro pracoviště budoucí. Na jeho základě jsou navrženy tři varianty řešení, které se odlišují způsobem podávání ocelových lišt. Pro volbu nejvhodnější varianty je provedena vícekritériální analýza, jejíž výsledek je nadále detailně zpracován. Součástí konstrukčního návrhu je 3D model, jehož komponenty jsou znázorněny pomocí obrázků a slovního popisu. Dále práce obsahuje výpočty nezbytné pro návrh vybraných komponent. Návrh je završen simulací taktu podávání ocelových lišt. Zadání diplomové práce je realizováno ve spolupráci s firmou Inprotec s.r.o.

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VĚDY A TECHNIKY

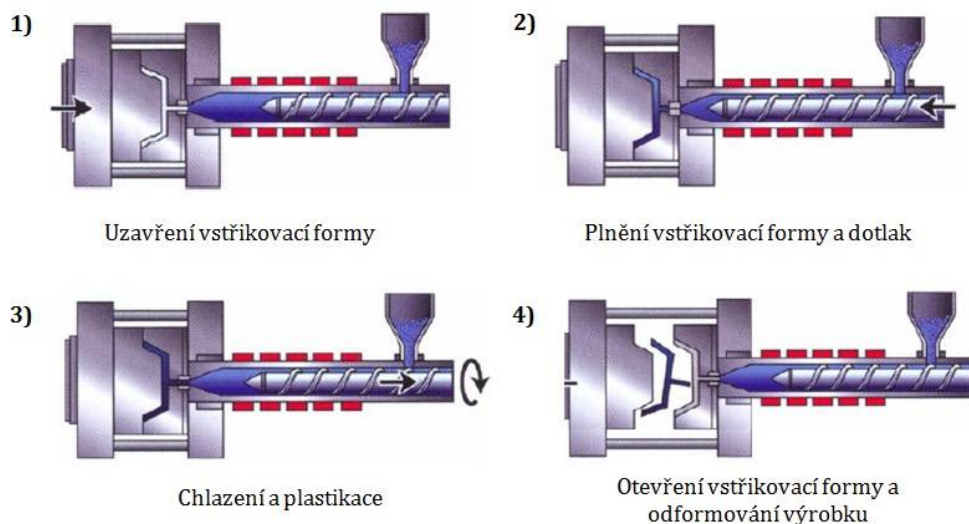
2.1 Technologie vstřikování plastů

Technologie vstřikování plastů patří k jedné z nejpoužívanějších v oblasti výroby plastových výrobků, které se vyznačují vysokou přesností, kvalitní povrchovou úpravou a konzistentními mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Nejčastěji používaným materiálem jsou termoplasty. [1]



Obr. 1: Popis vstřikovací jednotky [2]

Popis vstřikování zobrazen Obr. 2 začíná dopravením granulátu do prostoru násypky vstřikovacího zařízení. Ten je pomocí rotujícího se šneku dopraven do tavicí komory, kde je granulát za působení tepla a tlaku přeměněn z pevného stavu na taveninu a je připraven na vstříknutí do formy. Vstřikovací forma se zavírá a je k pevné straně přisunuta tavicí komora, jakmile dojde k propojení, je tavenina vstříknuta do uzavřené formy pod vysokým tlakem skrze trysku a vodící kanály ve formě. Ihned po vstříknutí tavenina chladne a mění se zpět do pevného skupenství. Během této fáze je axiálním pohybem šneku vytvářen dotlak, jenž vyrovnává tvarové a rozměrové změny výrobku vlivem chlazení, jež je doprovázeno smršťováním výrobku. Následuje opětovné spuštění rotace šneku pro dopravu dalšího materiálu, čímž je šnek axiálně posunut zpět do výchozí pozice. V konečné fázi dochází k rozevření formy, ze které je výrobek vytlačen pomocí vyhazovacích trnů. Proces se následně opakuje. [1; 3]



Obr. 2: Schéma vstřikovacího cyklu šnekových vstřikolisů [4]

Výrobky jsou po dokončení vstřikovacího procesu konečným produktem nebo jsou využity jako polotovary pro další zpracování. Do výrobků je možné přidávat různé typy zálsků, které zlepšují mechanické vlastnosti, nebo jsou funkčního charakteru, jako například závity, šrouby, pouzdra nebo piny, jak je možné vidět na Obr. 3. Zálsky bývají ve formě přidržovány pomocí magnetů nebo tvarového styku, a v případně svislých vstřikovacích lisů drží zálsky na pozici svou tíhou.



Obr. 3: Plastový výlisek se zálsky [5]

2.2 Obsluha výroby vstřikovacích lisů

Ve vstřikovacích lisech jsou vyráběny plastové výrobky různých velikostí v závislosti na velikosti formy a lisu. Během výroby je nutné výrobky odebírat z prostoru formy, aby bylo možné proces opakovat. K tomuto účelu je do procesu zapojena obsluha, která má za úkol odebírat výrobky z formy, a případně do formy vkládat zálisky. V závislosti na objemu produkce, typu a velikosti dílů a i samotném rozpočtu pro daný výrobek je možno u vstřikovacích lisů uplatnit různé možnosti obsluhy procesu výroby. [6]

Na základě pozorování v různých výrobních závodech je obsluha rozdělena do tří typů, jež se odlišují využívanými zdroji síly a použitými technologiemi.

2.2.1 Ruční obsluha vstřikovacího lisu

Ruční vyndávání výlisků z formy je nejzákladnějším a nejjednodušším způsobem obsluhy, která se používá u malých vstřikovacích strojů nebo při výrobě velkých dílů. Jedná se o pomalou formu obsluhy, jež je využívána pro menší produkce.

Operátor se nachází v bezprostřední blízkosti lisu a odebírá výrobky rovnou z formy. Prostor formy je uzavřen za ochrannými dveřmi, jež je nutné před každým procesem uzavírat, aby byla splněna bezpečnost pracoviště. Vzhledem k vysoké teplotě forem a výrobků, musí operátor nosit potřebné ochranné prvky jako rukavice a ochranné brýle, nebo používat kleště pro uchycení výrobku. Operátor v průběhu vstřikování plastů provádí kontrolu kvality výrobku, odstraňuje technologické vtoky a zakládá výrobek do krabice. [6]



Obr. 4: Ruční zakládání do lisu [7]

Z hlediska výroby se jedná o řešení s nízkými počátečními náklady s minimálním použitím technologií, proto se s tímto řešením můžeme setkat v menších podnicích nebo v nízko objemové výrobě. V tomto případě je též dosaženo velké flexibility pracoviště, kdy stačí operátora přeškolit na jiný typ výrobku.

Úskalím ruční obsluhy lisu je její nízká produktivita, tudíž není vhodná na vysoko objemovou výrobu. Jedná se o monotónní práci, při které vzniká prostor na chyby ze strany

operátora, a tím se tak snižuje efektivita pracoviště i výstupní kvalita výroby. Z dlouhodobého ekonomického hlediska je využití operátorů neekonomické převážně v případě, kdy výroba probíhá ve vícesměnném provozu. Dále plastové výlisky mívají ostré hrany a hrozí tak zvýšené riziko úrazu operátora, což opět snižuje efektivitu. Pokud se jedná o velké výrobky, například nárazníky automobilů, je zvýšena fyzická náročnost na manipulaci, případně je využito více operátorů.

2.2.2 Využití vyhazovacího systému.

Vyhazovací systém je automatizovaná metoda, která se používá u většiny vstřikovacích strojů k vyndávání hotových výlisků z formy. Vyhazovač se skládá z desky s vyhazovacími tyčemi, které jsou umístěny v zadní části formy. Po otevření formy řídicí systém vysune tyto tyče vpřed, čímž se výlisky vytlačí z dutiny formy. Další možností pro vyfouknutí výlisku z formy je využití stlačeného vzduchu, případně jsou pro mechanické odchlípnutí z formy využity stírací plechy. Výlisky poté propadají na dno lisu, kde jsou vyjmuty pásovým dopravníkem před prostor lisu, kde jsou následně odebrány operátorem. Ten provede kontrolu kvality a poté zabalí výrobky do krabic pro expedici. [8]



Obr. 5: Ukázka vyhazování výlisků z formy [9]

Předností využití automatického vyhazování výlisků je eliminace potřeby vstupu operátora do prostoru lisu, tím je sníženo jak riziko úrazu, kdy operátor nepřichází do styku s horkou formou, tak i zvýšena efektivita celého procesu. Vyhazovací systém také přináší výhody z hlediska kvality výlisků, kdy jsou z formy šetrně vyndávány díky rozmístění vyhazovacích tyčí po ploše výlisku.



Obr. 6: Ukázka manipulace s výlisky [10]

Vyhazovací systémy, ačkoliv nabízejí automatizované a efektivní řešení pro vyhazování výlisků, přicházejí s některými nevýhodami, které je nutné zvážit. Dále je tento systém omezen pouze na výlisky, které neobsahují zálisky, jež je nutné vkládat do formy. [8]

2.2.3 Robotické pracoviště

Robotické pracoviště je nejmodernější a nejefektivnější metodou pro obsluhu výrobního procesu vstřikování, které postupně nachází uplatnění v řadě podniků. Jedná se o pružnou automatizaci, kdy je proces výroby plně automatizovaný a je zde eliminován zásah operátora do procesu výroby. Zapojení robotizovaných pracovišť do výrobního procesu je různé. Pracoviště mohou být koncipována jako samostatné buňky, do kterých vstupuje materiál ve formě zálisků a vystupují hotové výrobky běžně na výstupních dopravnících, nebo jsou pracoviště zapojena do výrobního toku napříč závodem a jsou tak součástí komplexního automatizovaného systému. Operátoři zde stále nacházejí uplatnění při doplňování a odebrání výrobků nebo jako technici, kteří se starají o nepřerušovaný chod pracoviště.



Obr. 7: Robotická buňka pro obsluhu vstřikovacího lisu [11]

V současné době se v robotizovaných pracovištích určených pro obsluhu lisů nacházejí v drtivé většině dva typy robotů. Prvním je jednoduchý tří nebo čtyřosý robot, jenž je připevněn na pevné desce vstřikovacího lisu. Ten je využíván pro jednoduché typy výrobků menších rozměrů s omezenými možnostmi manipulace. Druhým typem jsou průmyslové roboty, které se využívají pro komplexnější aplikace, například při manipulaci s velkými výlisky (nárazníky aut apod.). Oba typy robotů je nutné vybavit koncovým efektem specificky navrženým pro daný typ výrobku. [6]



Obr. 8: Využití 4-osého robotu [12]

Využití robotizovaného pracoviště

Hlavním důvodem využití robotizovaného pracoviště je zvýšení produktivity, kdy robotické pracoviště má stabilní provoz bez nutnosti zásahu operátora. Jelikož díly odebírá z formy robot, jsou eliminovány prostoje při otevírání a zavírání bezpečnostních dveří. Zvýšená efektivita s sebou přináší i snížení celkové zmetkovitosti výroby, a to díky vysoké opakovatelnosti robotů. Robotizované pracoviště přináší řadu výhod z hlediska flexibility, kdy je možné rychlé přizpůsobení na změnu vyráběného produktu pouhou výměnou nástroje a programu výroby. Zvýšení bezpečnosti obsluhy lisu je další velkou výhodou, kdy se obsluha nedostává do kontaktu s horkou formou. [6; 13]

Bezpochybně velké výhody jsou kompenzovány vysokými počátečními náklady na implementaci automatizované výroby, kdy jsou zvýšené nároky na technické znalosti obsluhy. Samotný proces vyžaduje naprogramování výroby, což s sebou nese další náklady na implementaci.

2.3 Manipulační koncové efekty

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, je nezbytné vybavit roboty adekvátním koncovým efektem. Jejich funkcí je uchopení manipulovaných výlisků a zálisků, které jsou součástí výrobního procesu. Díly je možné uchopit pomocí mechanických chapadel ovládaných pneumaticky nebo elektricky, vakua, magnetické síly nebo poměrně novou technologií adhezivního chapadla využívající van der Waalsovy síly.

Konstrukce efektorů se odlišuje v závislosti na velikosti a tvaru manipulovaného předmětu, dále podle přístupu do prostoru formy a podle využitých chapadel. Typicky se v praxi vyskytují efekty sestavené z hliníkové profilové nebo trubkové konstrukce, díky které je dosaženo nízké hmotnosti nástroje, jež má zásadní vliv na dynamiku pohybů robotu. Konstrukce jsou pak připevněny na přírubě robotu.



Obr. 9: Koncový efektor pro odebírání výlisků [14]

2.4 Automatické podávače dílů

Automatické podávání dílů je klíčovou součástí mnoha výrobních procesů. Umožňuje efektivní a spolehlivé dodávání materiálu do strojů a zařízení, čímž se zvyšuje produktivita a snižuje se manuální práce. V praxi je možné se setkat s různými typy automatických podavačů, z nichž každý je navržen tak, aby vyhovoval specifickým potřebám dané aplikace. Převažují převážně kruhové vibrační zásobníky, vibrační lineární podavače, předzásobníky a krokové podavače.

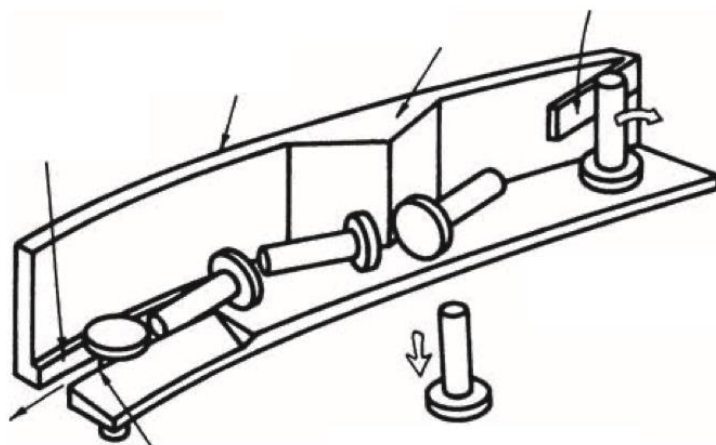
2.4.1 Kruhové vibrační zásobníky

Kruhové vibrační zásobníky jsou využívány pro dopravu, orientaci a dávkování drobných dílů různých tvarů, jež mohou být vyrobeny ze široké škály materiálů, převážně z plastů, případně kovů. Díly jsou dopravovány po spirálovité dráze, jež je připevněna na vnitřní straně válce, jenž může mít tvar kužele nebo válce. Dráha je opatřena prvky, které díly různě rozdělují, překlápějí, případně shazují z dráhy zpět na dno zásobníku. Tím jsou díly postupně tříděny a orientovány do požadované orientace. Kruhové vibrační zásobníky jsou tvořeny z elektromagnetu, zásobníku, základny, dráhy a listových pružin, které jsou zobrazeny na Obr. 10. [15; 16]



Obr. 10: Kruhový vibrační zásobník od firmy Hanus [17]

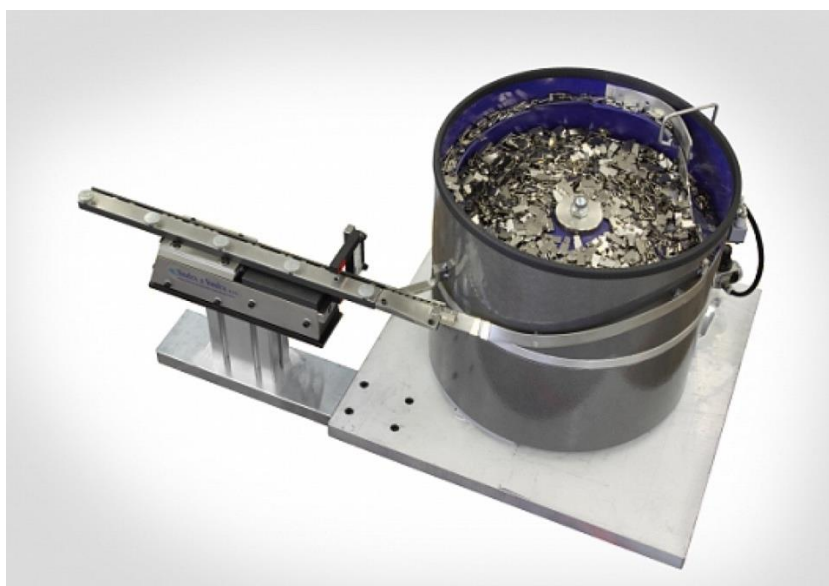
K toku materiálu dochází opakovaným buzením elektromagnetické síly, jež přitahuje zásobník uložený na trojici listových pružin. Ty jsou uspořádány tak, aby při jejich stlačení docházelo k miniaturnímu rotačnímu a axiálnímu pohybu. Díky tomu jsou díly postupně nadhazovány a posouvány po spirálovité dráze směrem k výstupu.



Obr. 11: Ukázka principu orientování dílů [16]

2.4.2 Vibrační lineární podavače

Vibrační lineární podavače jsou běžně používány v návaznosti na kruhové vibrační podavače a jsou určeny k vyrovnání toku materiálu, jelikož jejich dávkování dílů není konzistentní. Lineární podavač má tedy funkci zásobníku již srovnaných dílů, které jsou dopravovány v drážce po rovné liště rovnou k odebíracím lůžkům. Sestava podavače je tvořena opět základnou, společně s listovými pružinami, dále elektromagnetem a v poslední řadě nosnou deskou určenou pro připevnění lišty. Oba typy vibračních podavačů bývají uloženy na silent blocích, které redukují přenášení vibrací do stroje. [18]



Obr. 12: Spojení lineárního vibračního podavače s kruhovým podavačem [19]

2.4.3 Předzásobníky

Předzásobníky společně s kruhovým a lineárním vibračním podavačem tvoří ucelené řešení, které je využíváno převážně pro zvýšení zásoby dílů nebo pro automatické podávání. Tato situace nastává, když je objem kruhových podavačů nedostatečný nebo jejich přeplnění omezuje správnou funkci. V praxi jsou využívány převážně dva typy zásobníků, které se liší způsobem podávání dílů. První typ využívá pásového dopravníku pro posouvání dílů a druhý typ je umístěn na pohonu shodném s lineárním vibračním podavačem.



Obr. 13: Předzásobník s dopravníkem od firmy Advateq



Obr. 14: Předzásobník s lineárním vibračním pohonem od firmy Libor Kříž [20]

2.4.4 Krokové podavače

Posledním běžně používaným typem podavače je podavač krokový. Ten je využíván jako dávkovač určitého počtu. Jsou často preferovanou volbou v aplikacích, kde není možné použít tradiční dopravníkový pás nebo vibrační podavač. Jedná se například o díly, které je jsou křehké nebo nesmí být vystaveny vibracím. [21]



Obr. 15: Krokový podavač od firmy Performance Feeders [22]

Konstrukce krokového podavače zahrnuje základní desku s připojeným zásobníkem, který slouží k udržení podávaných dílů. Na zadní straně zásobníku je mechanismus připomínající tvar schodů, které postupně dávkuje díly do stroje nebo na další vibrační lineární podavač. Šíře schodů je navržena s ohledem na konkrétní počet nebo rozměr dávkovaných dílů. Neusazené díly spadnou zpět na dno zásobníku. [21]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

3.1 Analýza současného pracoviště

Zákazník má ve svém závodě již instalované zařízení se stejnou funkcí, ale jsou vzneseny požadavky na zdvojnásobení výrobní kapacity. Vzhledem k nedostatku operátorů je požadován vyšší stupeň automatizace, proto byla vytvořena poptávka po automatizovaném pracovišti, jež bude mít snížené nároky na využití operátorů v průběhu pracovní směny. Konstrukce navrhovaného zařízení vychází již z instalovaného pracoviště.

3.1.1 Popis pracoviště

Současný stav pracoviště obsahuje vynášecí dopravník s lůžky pro umístění ocelových lišt směřovaný k vstřikovacímu lisu, průmyslového robota umístěného na pevné upínací desce lisu s namontovaným koncovým efektozem pro uchopení ocelových lišt a hotového dílu po vysokotlakém vstřikování plastu. Proces je zakončen výstupním dopravníkem.

3.1.2 Proces výroby

Výrobní proces obsluhují dva operátoři, kde operátor A odebírá ocelové lišty z přistavěného gitterboxu, které následně naskládá do připravených pozic na vynášecím dopravníku. Na konci dopravníku jsou ocelové lišty odebrány průmyslovým robotem, kde jsou 2 sady lišt odebrány zvlášť, tudíž robot mezi odebráním dvou sad přejíždí k odebrání druhé sady. Jakmile jsou lišty odebrány z dopravníku, jsou přesunuty do prostoru lisu a následně vloženy do formy. V prostoru lisu robot přejíždí k pohyblivé části formy, kde odebere hotový díl. Takto uchopený díl robot přesune do prostoru výstupního dopravníku, kde je díl dopraven k odebrání operátorem B. Operátor hotové díly rovná do krabic umístěné vedle pracoviště.

3.1.3 Výsledky analýzy

Studováním a pozorováním aktuálního stavu pracoviště byly zjištěny různé nedostatky, kterým by se mohlo předejít sofistikovanějším řešením. Zároveň některá současná řešení je možné využít jako inspiraci při návrhu nového pracoviště.

Seznam poznatků:

Nedostatky:

1. Při odebrání ocelových lišt se čeká na ustálení pozice nástroje vlivem nedostatečné tuhosti nástroje.
2. Při odebrání ocelových lišt robot přejíždí mezi první a druhou sadou. Vzhledem ke kmitání nástroje je tento proces značně neefektivní.

Inspirace:

1. Přichycení ocelových lišt je provedeno pomocí magnetů
2. Pozicování lišt na nástroji je vedeno tvarovými lůžky
3. Hotový díl je uchycen pomocí pneumatických rychloupínačů
4. Nástroj je složen z hliníkové profilové konstrukce

3.2 Požadavky na konstrukci stroje

Ze strany zákazníka byly stanoveny požadavky, které musí stanice splňovat. Jedná se o jednu z nejdůležitějších částí při zadávání samotného projektu, jelikož na jeho základě se odvíjejí jednotlivá řešení a jsou vytyčeny přesně dané hranice, které je nutné dodržet pro splnění očekávání zákazníka.

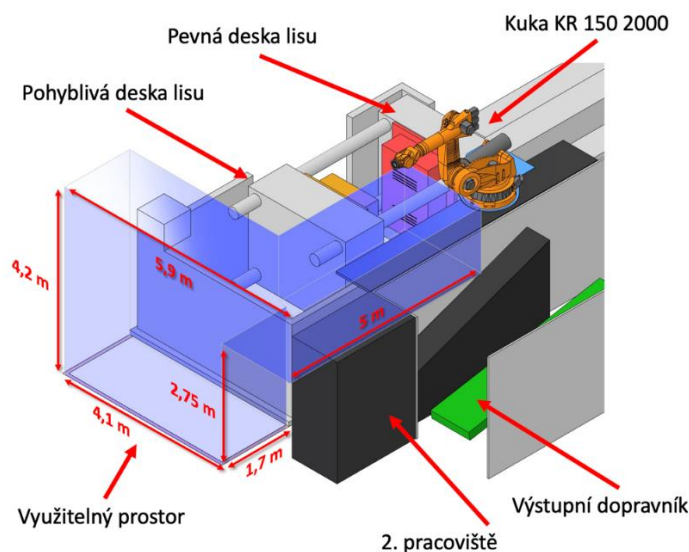
Požadavky:

- a. Změna způsobu podávání ocelových lišt do výrobního procesu
- b. Snížení využití operátora starající se o vkládání lišt do výrobního procesu.
 - Operátor již lišty jednotlivě neskládá na dopravník, ale pouze přemístí ocelové lišty z gitterboxu na vstup výrobního procesu
- c. Stanice automaticky zpracuje neorientované díly
- d. Využití již namontovaného průmyslového robotu Kuka KR150 2000 na pevné desce lisu
- e. Využití již používaného výstupního dopravníku
- f. Přeprava ocelových lišt po pracovišti k pracovnímu prostoru průmyslového robotu
- g. Návrh nového koncového efektoru robotu
- h. Dodržení stejného taktu podávání ocelových lišt 45 s

3.3 Stanovení okrajových podmínek pro konstrukci stanice

3.3.1 Rozloha pracoviště

Zástavbový prostor pracoviště je prvotním vymezením rozměrů stanice. Ze strany zákazníka bývá předložen obecný layout s existujícími prvky a vymezeným prostorem pro umístění stanice. V případě této diplomové práce bylo nutné navštívit výrobní závod zákazníka a změřit si veškeré rozměry fyzicky, jelikož sdílení dat nebylo umožněno. Na Obr. 16 jsou načrtnuty rozměry potřebné při konstrukci stroje. V okolí lisu je možné využít prostor u čela lisu o rozměrech 4100 mm x 1700 mm. Dále je možné využít prostor nad uličkou a již existujícím pracovištěm, kde nesmí být zastavěn půdorys lisu z důvodu umožnění jeho servisu.



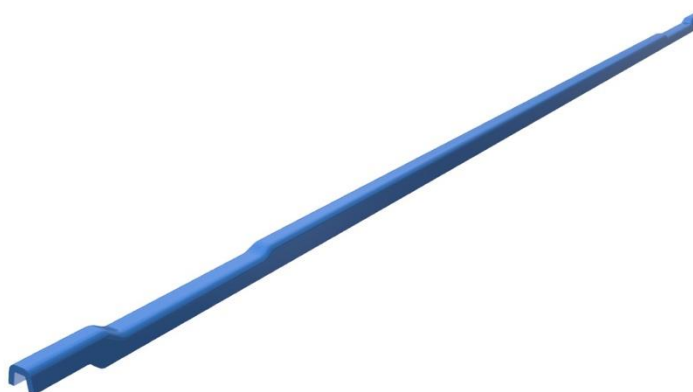
Obr. 16: Využitelný prostor pracoviště

3.3.2 Manipulované díly

Ve výrobním procesu se vyskytují dva typy dílů, kde prvním dílem je ocelová lišta, která vstupním členem výrobního procesu. Je samostatně manipulována až do procesu lisování, kde je po dokončení lisovacího procesu v počtu čtyř kusů pevně propojena pomocí plastu. Tím je vytvořen samostatný díl, který nese název plastový rám. Jedná se o výstupní člen výrobního procesu a je z prostoru lisu přemístěn na výstupní dopravník.

Ocelová lišta

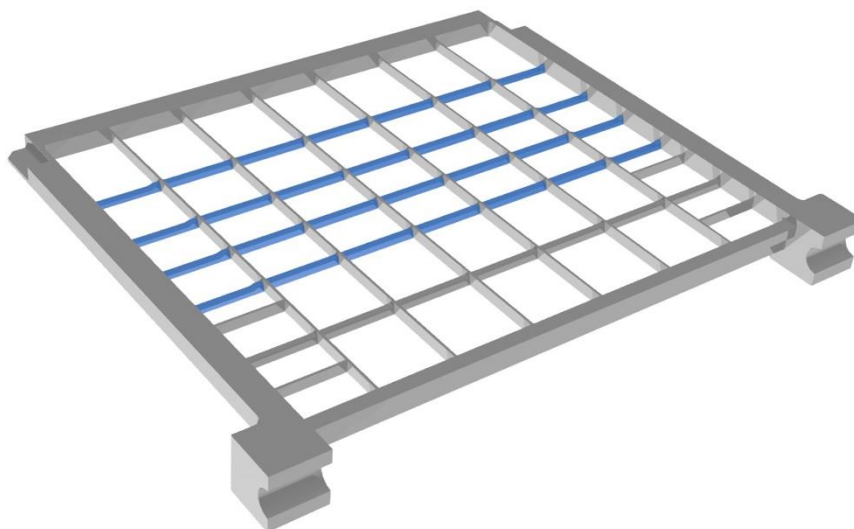
Manipulovaná ocelová lišta je vyrobena z neznámé oceli, která je vyrobena pravděpodobně tvářecím procesem. Má rozměry 630 mm x 11 mm x 15 mm s tloušťkou stěny 2 mm. Hmotnost lišty je 130 g. Vlivem výroby a dopravy mezi pracovišti mohou být lišty lehce prohnuté, kde maximální nepřesnost činí 4 mm ve středu lišty, jak je naznačeno na Obr. 17.



Obr. 17: Ocelová lišta

Plastový rám

Plastový rám je složen ze 4 kusů ocelových lišt, které jsou propojeny plastovými žebry a tvoří tak jeden celek. Zpracovaný plastový rám má rozměry 700 mm x 541 mm x 60 mm. Hmotnost plastového rámu se zalisovanými lištami činí 1,5 kg. Při odebrání z formy je rám stále zahřátý, což ovlivňuje samotnou pevnost a tuhost dílu.



Obr. 18: Plastový rám se záhlisky

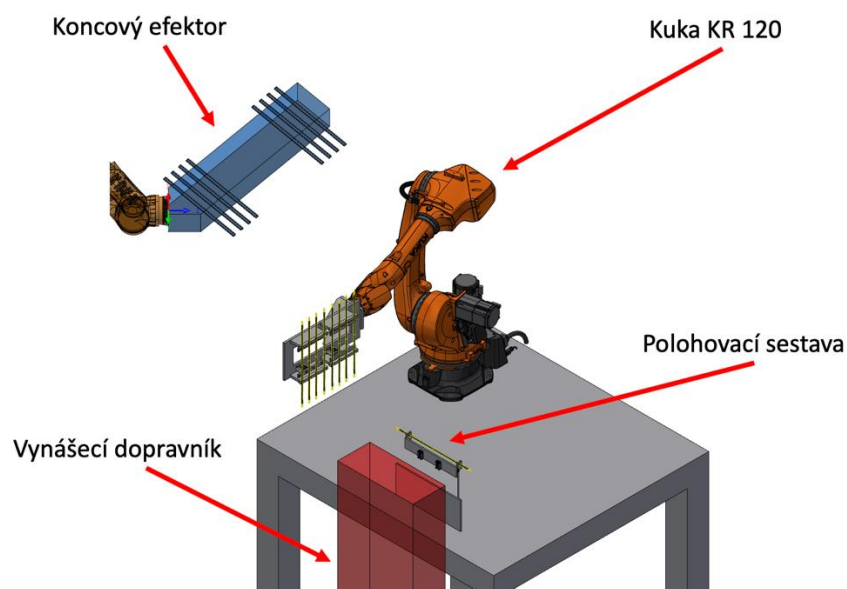
4 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ

Detailnímu konstrukčnímu návrhu pracoviště předchází zohlednění různých variant návrhu dané problematiky pro nalezení ideálního řešení. Na základě systémového rozboru jsou navrženy 3 varianty, kde má každá své výhody a nevýhody. Varianty jsou zpracovány do podoby jednoduchých a přehledných konceptů, ve kterých jsou obsaženy stěžejní konstrukční uzly. Navržené varianty jsou poté podrobeny technickoekonomickému zhodnocení, kde použitím vícekritériální analýzy je nalezeno nejvhodnější řešení na základě stanovených požadavků.

4.1 Navržené varianty

4.1.1 Varianta č. 1

V první variantě je využit pro manipulaci s lištou průmyslový robot KUKA KR120, který odebírá ocelové lišty z vynášecího dopravníku. Dopravník je zásobován díly z krokového podavače s integrovaným vstupním zásobníkem lišt, do kterého jsou díly doplňovány obsluhou linky. Ten je umístěn na podlaze pracoviště. Po dopravení ocelových lišt na plošinu vynášecím dopravníkem je kontrolována orientace lišt, kdy jsou nesprávně orientované lišty odhozeny do NOK boxu. Správně orientované lišty jsou připraveny pro odebrání manipulačním průmyslovým robotem Kuka KR120, který lišty odebírá speciálním koncovým efektem. K otočení ocelových lišt dojde během pohybu k odebíracím lůžkům na 6. ose robotu a poté jsou lišty postupně po dvou sadách předány do zakládacích lůžek na koncovém efektoru robotu Kuka KR150 2000 (již instalovaným).



Obr. 19: Varianta č. 1 s průmyslovým robotem

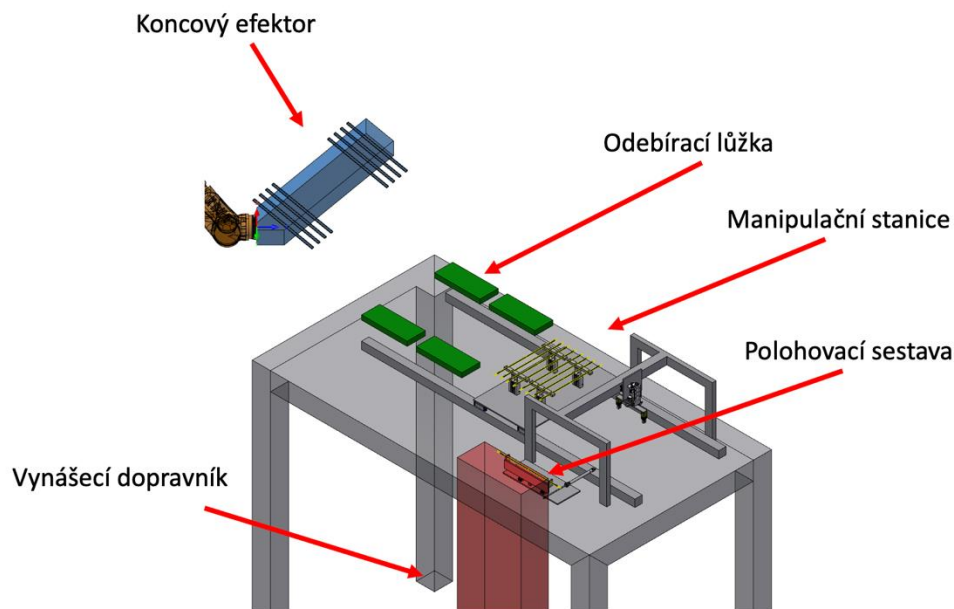
Předností tohoto řešení je jednoduchost manipulace s lištou v prostoru mezi dopravníkem a odebíracími lůžky, jelikož hlavní přípravu lišt koná průmyslový robot, jehož pohyby je možné jednoduše upravovat. Další nespornou výhodou je robustnost konstrukce, kdy

je možné po fyzické úpravě lůžek a koncového efektoru znovu použít průmyslového robota v případě změny vyráběného kusu.

Nevýhodou tohoto řešení je poměrně vysoká pořizovací cena průmyslového robota a dále neekonomické zacházení s nevhodně orientovanými lištami, kde hrozí velké množství NOK kusů pouze na základě jejich špatné výchozí orientace. Zároveň vznikají prostoje v předávací pozici, kdy robot musí čekat na odebrání druhým robotem.

4.1.2 Varianta č. 2

Druhá varianta se zaměřuje na nahrazení průmyslového robota určeného na manipulaci za manipulační stanici, která připravuje ocelové lišty od vynášecího dopravníku po odebrací lůžka. Ostatní části stanice zůstávají stejné jako tomu bylo v případě první varianty. Manipulační stanice je složena ze 4 segmentů, kde v prvním segmentu se odebrá ocelová lišta z vynášecího dopravníku za pomoci skluzu. Dále je lišta otočena do správné orientace pomocí polohovače. Takto připravená lišta je přesunuta pomocí manipulátoru na pojízdný suport, jsou lišty zásobeny pro odebrací lůžka. Jakmile jsou lišty naskládány na pojízdný suport jsou převezeny do odebracích lůžek, kde jsou připraveny pro odebrání zakládacím koncovým efektem.



Obr. 20: Varianta č. 2 s manipulační stanicí

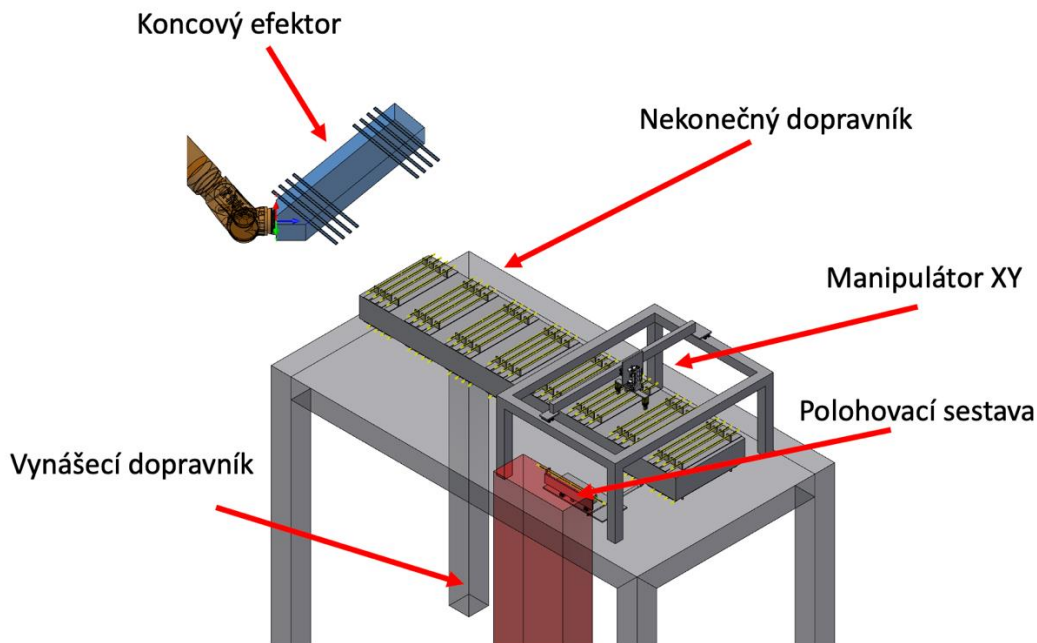
Výhodou této varianty je převážně výrobní cena jednotlivých částí, dále také rozložení jednotlivých operací na menší podoperace, kdy je vytíženost manipulace rovnoměrně rozložena.

Nevýhodou se v tomto řešení jeví komplikovanost konstrukce, kdy je zapotřebí více vyráběných dílů a vzájemné sladění přechodů mezi jednotlivými sestavami v průběhu manipulace.

4.1.3 Varianta č. 3

Třetí varianta se oproti druhé variantě odlišuje v uspořádání manipulátoru, jenž zásobuje dopravník a to tak, že se manipulační hlavice pohybuje ve dvou osách a připomíná tak konfiguraci horní gantry, jež je zobrazena na Obr. 21. V ostatních ohledech je třetí varianta stejná jako druhá varianta, tudíž je pro přípravu orientace lišt použit polohovač. Pojízdny suport

je nahrazen nekonečným dopravníkem, na kterém jsou rozmístěny jednotlivé lůžkové segmenty. Díky tomu je vytvořen kontinuální tok materiálu k odebrací pozici. Ocelové lišty jsou následně odebrány přímo z dopravníku koncovým efektem robotu.



Obr. 21: Varianta č. 3 s nekonečným dopravníkem

Výhodou třetí varianty je velká zásoba dílů na dopravníku, která umožňuje rychlou reakci na případné neúspěšné odebrání. Tím je tak vytvořen stabilní tok materiálu.

Jako nevýhoda se zde jeví fakt, že je rapidně zvýšen počet vyráběných dílů, což se projeví na výsledné ceně návrhu, neboť je zároveň přidán další motor pro pohon dopravníku. Dalším problémem je samotné vyřazení dílů na konci dopravníku, kde není moc prostoru pro šuplík na NOK díly. Kvůli spojení manipulátorů je také zvýšen zástavbový prostor konstrukce, jelikož je nutné, aby bylo možné plnit dvě sady lůžek zároveň.

4.2 Výběr nejvhodnější varianty

Po navržení různých variant řešení byla vybírána nejvhodnější varianta, kterou je možné následně realizovat. Pro výběr byla využita vícekritériální analýza s ohledem na váhu jednotlivých kritérií. Posuzované parametry jsou zobrazeny v Tab. 1, kde je každému kritériu přidána váha, aby bylo možné zohlednit jejich důležitost. Každému parametru je poté přidáno subjektivní bodování na základě bodovací stupnice (1 – nejlepší až 5 – nejhorší).

Tab. 1: Přehled kritérií s uvedením vah

Kritérium	Zkratka	Váha kritéria
Jednoduchost konstrukce	K1	0,6
Variabilita	K2	0,3
Časová vytíženost	K3	0,7
Odhadovaná cena	K4	0,8

Popis kritérií:

a) Jednoduchost konstrukce:

- Posouzení na základě rozsahu navrhovaných komponent a technologie výroby.
- b) Variabilita:**
- Možnost přestavby návrhu na jinou výrobu, případně využití již navržených komponent pro jiné účely.
- c) Časová vytíženost:**
- Efektivita podávání dílů a využití prostojů výrobního procesu pro jiné operace.
- d) Odhadovaná cena:**
- Ekonomický pohled na navržené varianty.

4.2.1 Vícekriteriální analýza

Vložení hodnot do Tab. 2

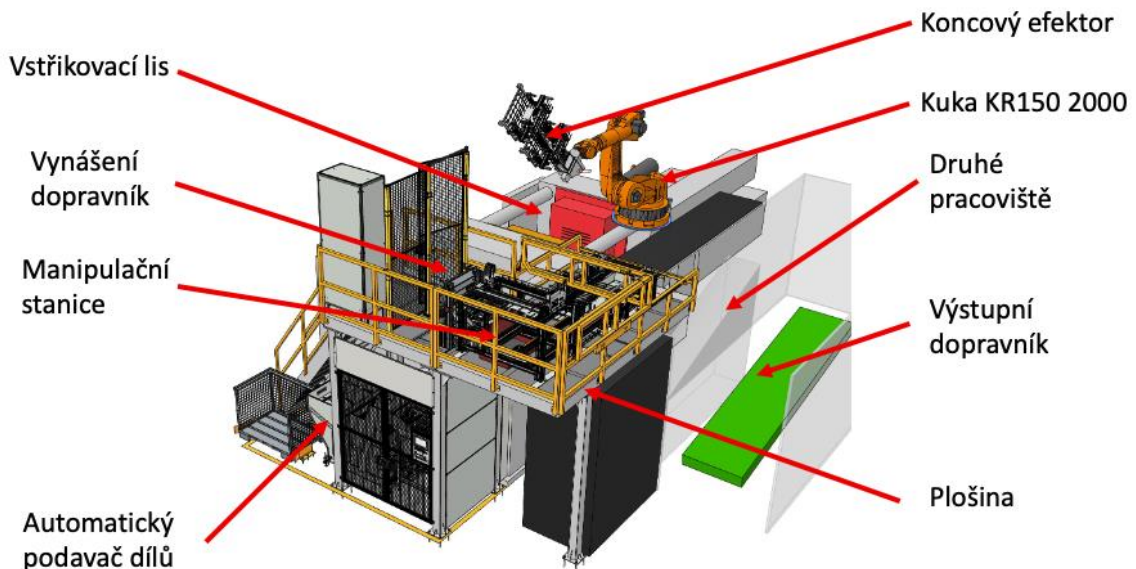
Tab. 2: Vícekriteriální analýza

		Jednoduchost konstrukce	Variabilita	Vytíženost	Ekonomická zátěž	Vážený průměr	Pořadí
Váha		0,6	0,3	0,7	0,8		
Varianta 1	Hodnocení 1-5	1	1	4	5		2.
		0,6	0,3	2,8	4	1,925	
Varianta 2	Hodnocení 1-5	3	3	3	3		1.
		1,8	0,9	2,1	2,4	1,8	
Varianta 3	Hodnocení 1-5	4	3	2	4		3.
		2,4	0,9	1,4	3,2	1,975	

Podle výsledků vícekritériální analýzy vychází jako nejvhodnější varianta číslo 2.

5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH ZVOLENÉ VARIANTY

V této kapitole je popsán postup návrhu zvolené varianty na základě zhodnocení všech navržených variant. Samotný návrh započal detailním prostudováním materiálového toku, na základě kterého byly určeny funkce jednotlivých konstrukčních uzlů. Při návrhu se postupovalo od strohého konceptu tvořeného jednoduchými dílčími sestavami pro zvýšení přehlednosti a vyřešení základního rozpoložení sestav, kdy tento přístup zvyšuje efektivitu konstrukčního návrhu. Předchází se zbytečným úpravám v konečné fázi návrhu způsobených přílišným zpracováním detailů, které by bylo potřeba změnit.



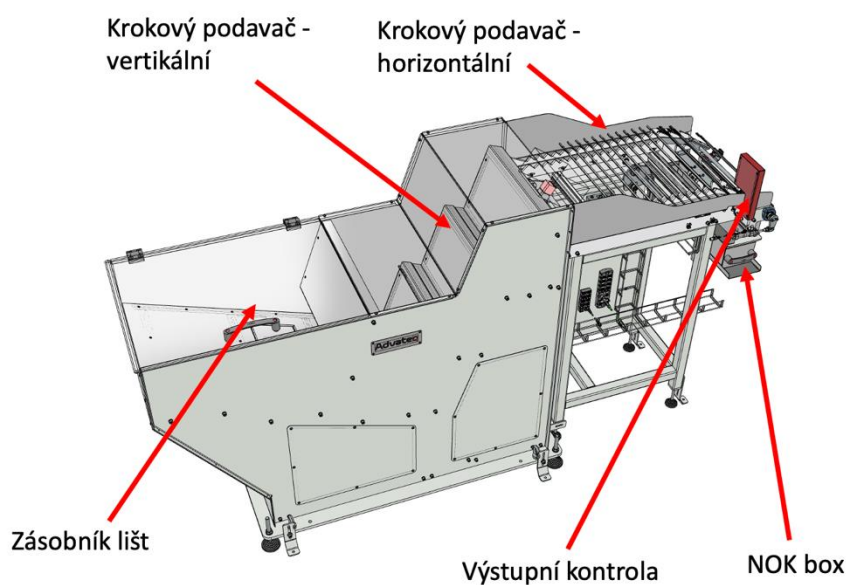
Obr. 22: Přehled použitých částí stanice

5.1 Popis funkce pracoviště

Výrobní proces manipulace s ocelovou lištou začíná vložením ocelových lišt do zásobníku dílů, kde jsou díly rozděleny na jednotlivé kusy a podány pomocí krokového podavače na vynášecí dopravník, který lišty dopraví do vrchní části stroje. V této fázi jsou lišty pouze rozděleny na kusy a nemají známou orientaci, což je pro manipulaci nepřijatelné. Proto následuje předání lišty do manipulační stanice pomocí skluzu. Lišta je přenesena vidlicovým manipulátorem k polohovadlu, kde je lišta otočena do požadované orientace. Následně je lišta odebrána manipulátorem a převezena do lůžka pojízdného suportu. Proces se opakuje do naplnění osmi pozic na pojízdném suportu. Ten převezme a odloží lišty do odbíracích lůžek. Zde jsou lišty připraveny na odběr koncovým efektem robotu. Jakmile jsou lišty odebrány robotem, jsou založeny do pevné formy lisu. V poslední operaci jsou z lisu odebrány dva plastové rámy a odloženy na výstupní dopravník.

5.2 Podavač ocelových lišt

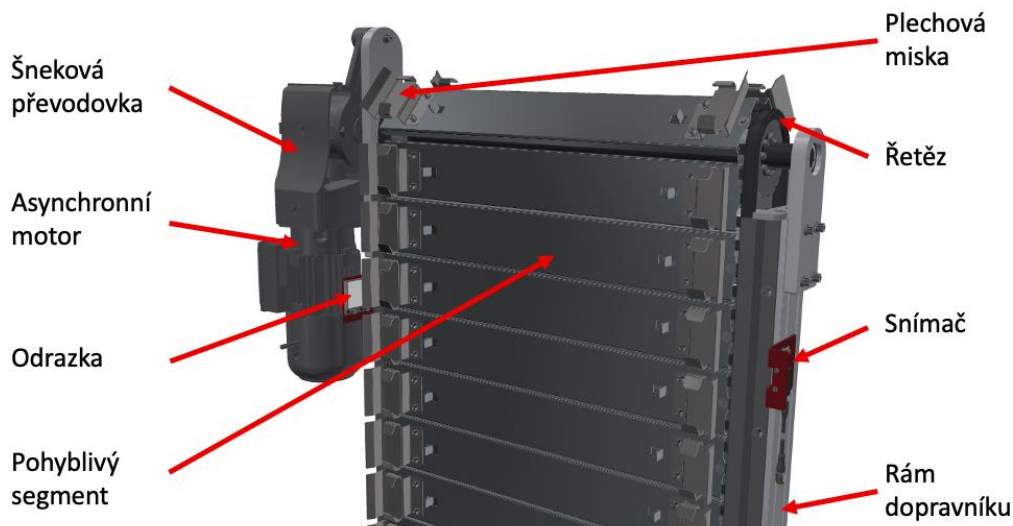
Prvotní částí stanice je podavač ocelových lišt. Výrobce tohoto stroje je firma Advateq s.r.o. kde byly stanoveny požadavky na zásobu dílů na 2 hodiny a rychlost dávkování (1 ks za 4s). Jedná se o jednu z kritických komponent celé stanice, jelikož plní funkci rozdělení dílů na kusy pro následné zpracování. Podavač obsahuje dvě části. První částí je zásobník pro uložení nerozdělených lišt, což odpovídá zásobě přibližně 2000 kusů lišt, druhou částí je samotné rozdělení lišt na jednotlivé kusy. Tento proces plní krokový podavač, který pomocí speciálně tvarovaných pojezdů rozděluje lišty na jednotlivé kusy, na jejichž konci se nachází dělič na rozřazení lišt, které buď pokračují ve výrobním procesu, nebo jsou lišty vhozeny do NOK boxu, jakmile vznikne jakýkoliv problém s podáváním.



Obr. 23: Popis automatického podavače dílů

5.3 Řetězový dopravník

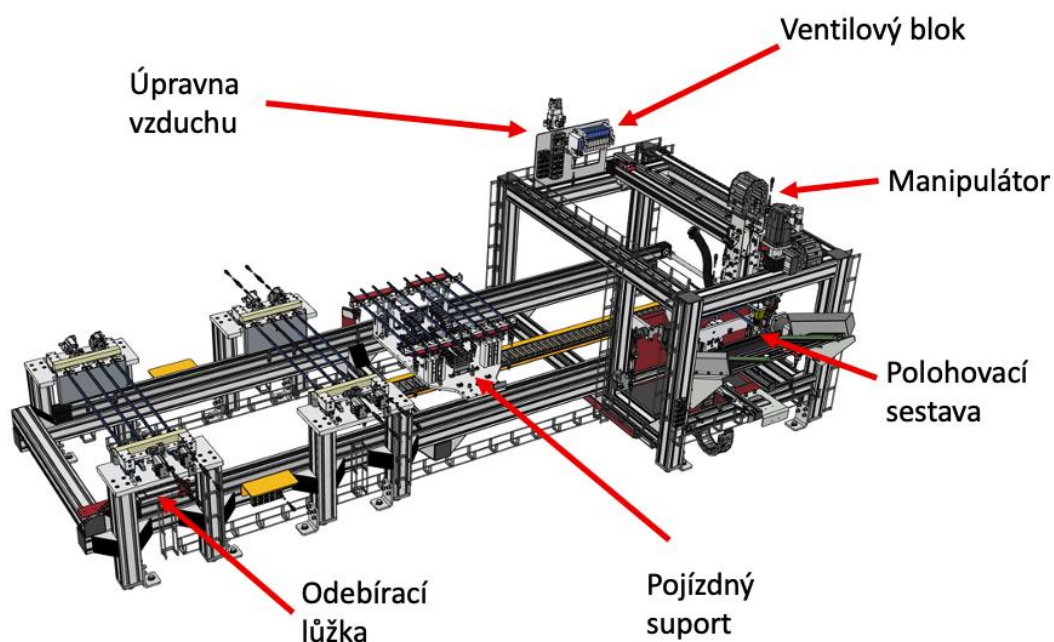
Po rozdělení na jednotlivé kusy jsou lišty předány na vynášecí řetězový dopravník, jehož hlavní funkcí je vyvezení lišt do úrovně manipulační stanice umístěné ve výšce 3 metrů. Lišty jsou umístěny do nerezových plechových misek připomínající tvar „C“. Ty mají funkci udržet lištu po celou dobu manipulace v obou směrech, tudíž při výjezdu na plošinu a při svážení směrem zpět a po předání na skluz umístěný na manipulační stanici. Misky lištu podepírají na obou koncích lišt. Tyto misky jsou vzájemně spojeny pomocí plechu a reprezentují tak jeden pohyblivý segment. Jednotlivé segmenty jsou na dopravníku připevněny k okům řetězových článků. Řetěz je poháněn asynchronním motorem od firmy Nord, pro snížení rychlosti dopravníku jsou otáčky redukovány v poměru 1:5 pomocí šnekové převodovky taktéž dodané firmou Nord. Jelikož je potřeba zastavovat segmenty v definované poloze, je dopravník vybaven laserovým snímačem BOS 5K-PU-LR10-S49 od firmy Balluff, který snímá pozici segmentů v místě skluzu manipulační stanice. Z dopravníku jsou lišty předány do manipulační stanice pomocí skluzu, který projíždějící lištu vyvlíkně z misky, která následně samovolně sjede na doraz umístěný na konci skluzu.



Obr. 24: Popis vynášecího dopravníku

5.4 Manipulační stanice

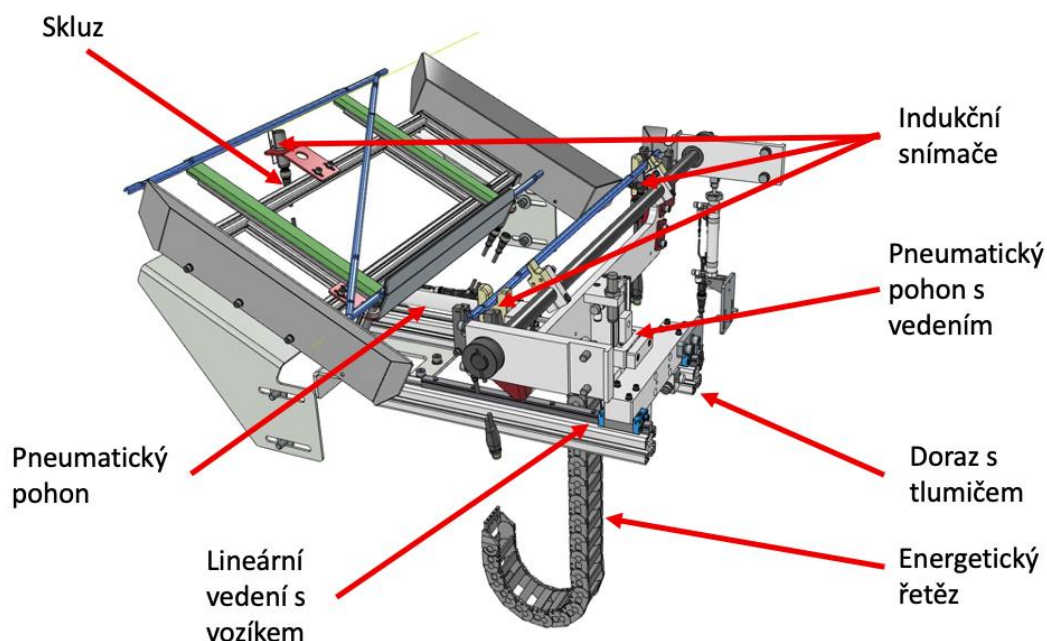
Ocelová lišta z dopravníku pokračuje do manipulační stanice. Ta je tvořena z několika částí, počínaje skluzem, polohovací sestavou, manipulátorem, pojízdným suportem a v závěru odebracími lůžky. Stanice sestavená z hliníkových profilů má za úkol ocelové lišty připravit pro odebrání koncovým efektem.



Obr. 25: Popis manipulační stanice

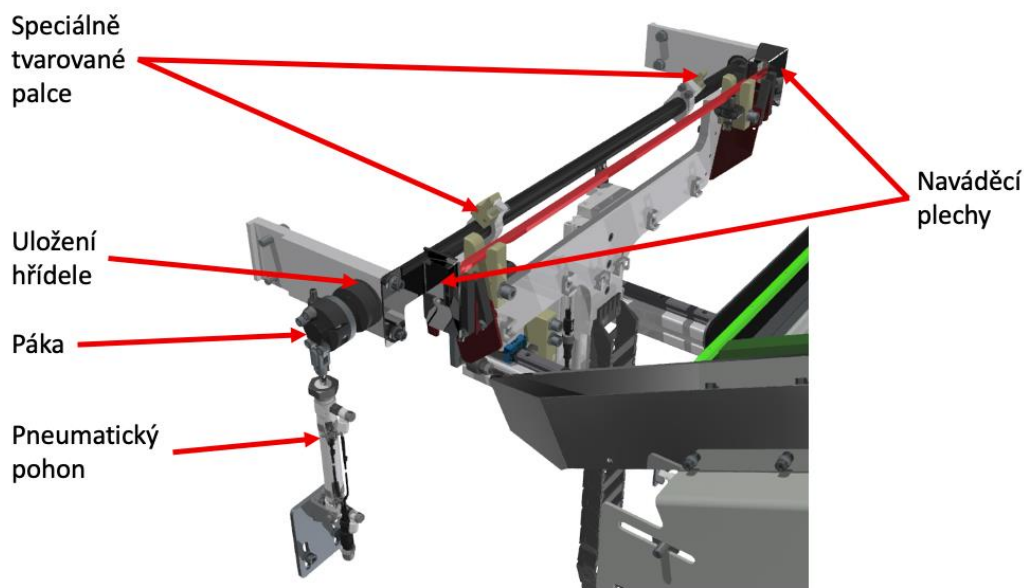
5.4.1 Polohovací sestava

Počátek polohování ocelové lišty probíhá v polohovací sestavě, kde je lišta otočena do požadované orientace potřebné pro odebrání koncovým efektozem. Polohovací sestava je určena pro odebrání ocelové lišty ze skluzu a její přemístění k otáčecí sestavě. Lišta je odebrána pomocí lůžek ve tvaru „U“, které jsou připevněny na hliníkové desce a tvoří tak pneumatický manipulátor. Velkou problematikou byla samotná pozice uchycení lišty, kdy jsou možné celkově 4 orientace lišty. V průběhu návrhu byla snaha snížit množství orientací na minimum. Konečný návrh má pouze 2 orientace, kdy je využíván prolis lišty, která má díky poloze těžiště tendenci padat k jedné straně, tudíž má lišta buď správnou orientaci nebo je otočena o 180 stupňů, jak je ukázáno na Obr. 28. Toto řešení umožňuje použití pouze dvojice vidlicových optických závor namísto například 2D kamery, která by značně prodražila navržené řešení. Snímanou částí je vykrojení na okrajích lišty.



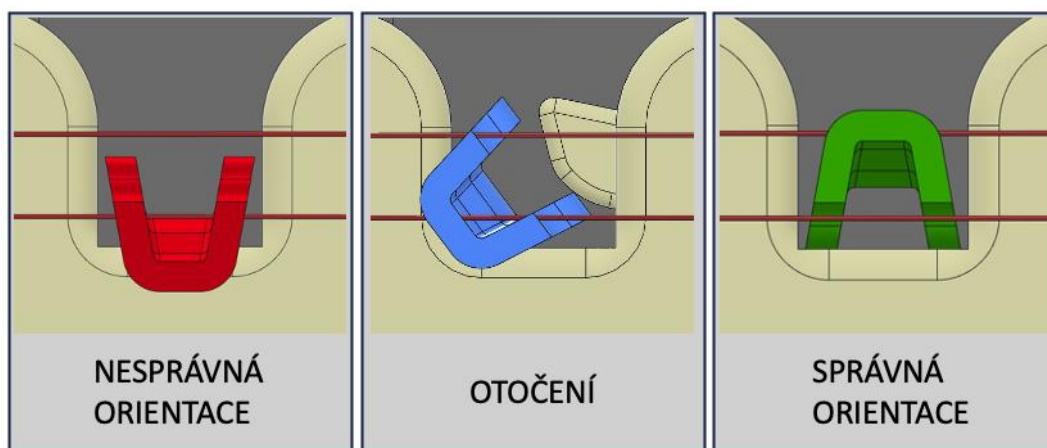
Obr. 26: Popis polohovací sestavy

Mechanismus zobrazený na Obr. 26 je sestaven z jednoduchého pneumatického manipulátoru s dvěma pneumatickými pohony, kde jeden zvedá lištu ze skluzu a druhý lištu přesouvá k polohovacím trnům. Sestava se v ose X pohybuje po lineárním vedení s vozíkem a v ose Z je využíváno integrované lineární vedení v pneumatickém válci. Pro snížení rázů při přesouvání lišty jsou koncové polohy válců vybaveny tlumiči nárazu, a to zejména z důvodu pozvolného zastavení, aby se minimalizovala možnost vypadnutí lišty z lůžka.



Obr. 27: Popis polohovadla

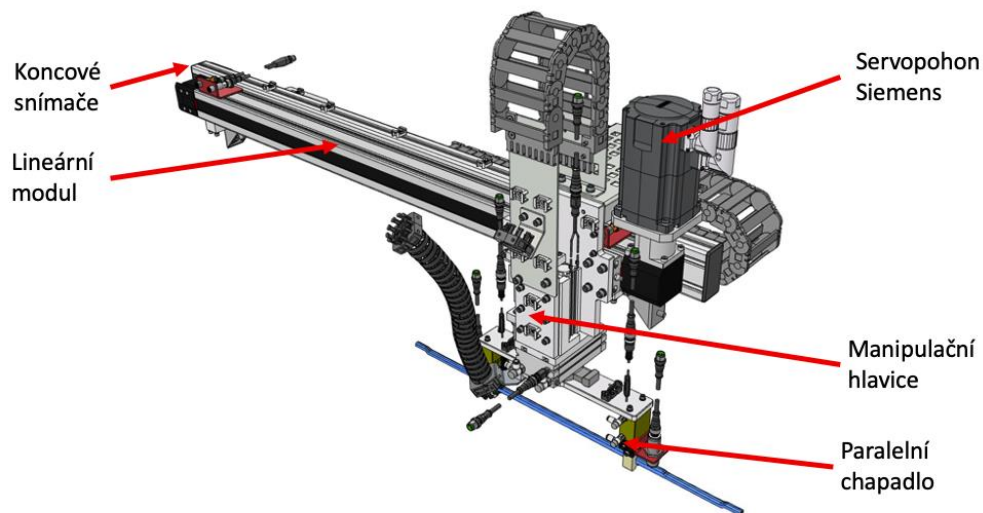
Druhou částí polohovací sestavy je mechanismus pro otáčení lišty do požadované polohy, který je zobrazený na Obr. 27. Pro otáčení je využívána dvojice speciálně tvarovaných palců, jež jsou rotačně uloženy na hřídeli. Palce působí na hranu lišty, která díky zaobleným rohům umožňuje protočení lišty v lůžkách. Moment na hřídel je tvořen pákovým mechanismem, kde pneumatický válec působí silou na páku připevněnou na jednom konci hřídele. Samotná hřídel je poté uložena ve dvojici kuličkových ložisek. Hřídel je axiálně zajištěna svěrnými pouzdry, kde na jednom je připevněna páka vyrobená z plechu.



Obr. 28: Průběh otáčení ocelové lišty

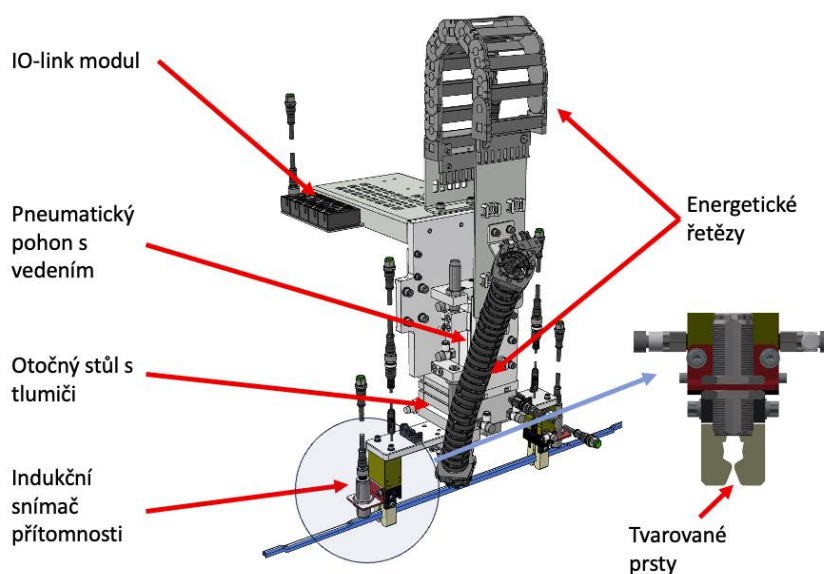
5.4.2 Manipulátor

Jakmile je dokončeno otáčení ocelové lišty, tak následuje její přesun na pojízdný suport. Pro tento úkon byl navrhnut manipulátor, který lištu uchopí pomocí dvou chapadel a převeze na lineárním pojezdu poháněný servomotorem. Jak lze vidět na Obr. 29, je manipulátor složen z hliníkových desek, na kterých jsou připevněny dva pneumatické pohony a dvě chapadla opatřená ocelovými prsty, které umožňují uchopení obou orientací lišty.



Obr. 29: Popis manipulátoru

Manipulátor vykonává 4 základní pohyby, a to jmenovitě uchopení, zdvih, otočení o 90 stupňů a přejezd. Vzhledem k pohybům jsou použity tyto komponenty. Pro uchopení ocelové lišty byly použity dvě paralelní chapadla od firmy Schunk s označením MPG-plus 40-AS, jež dosahují zavírací síly 170 N a jsou vybaveny udržováním uchopovací síly. Zdvih je umožněn pomocí pneumatického pohonu s valivým vedením od firmy SMC z řady MXS s označením MXS20-50B, jehož zdvih je 50 mm, průměr válce 20 mm a je zároveň vybaven tlumiči nárazů v koncových polohách. Dále je potřeba lištu otočit o 90 stupňů. Pro vykonání tohoto pohybu je použit pneumatický otočný stůl s pastorkem od firmy SMC z řady MSQ s označením MSQB30H3, kde je průměr válce 30 mm a úhel otočení 90 stupňů, který je opět vybaven hydraulickými tlumiči. V případě volby otočného stolu je nutné dbát zvýšenou pozornost momentu setrvačnosti otáčené sestavy, kdy výrobce stanovuje toleranční pole ve spojení s dobou otočení. V případě nesprávně nakonfigurovaného pohonu by mohl být průběh otáčení nespojitý při zvyšování doby otáčení.

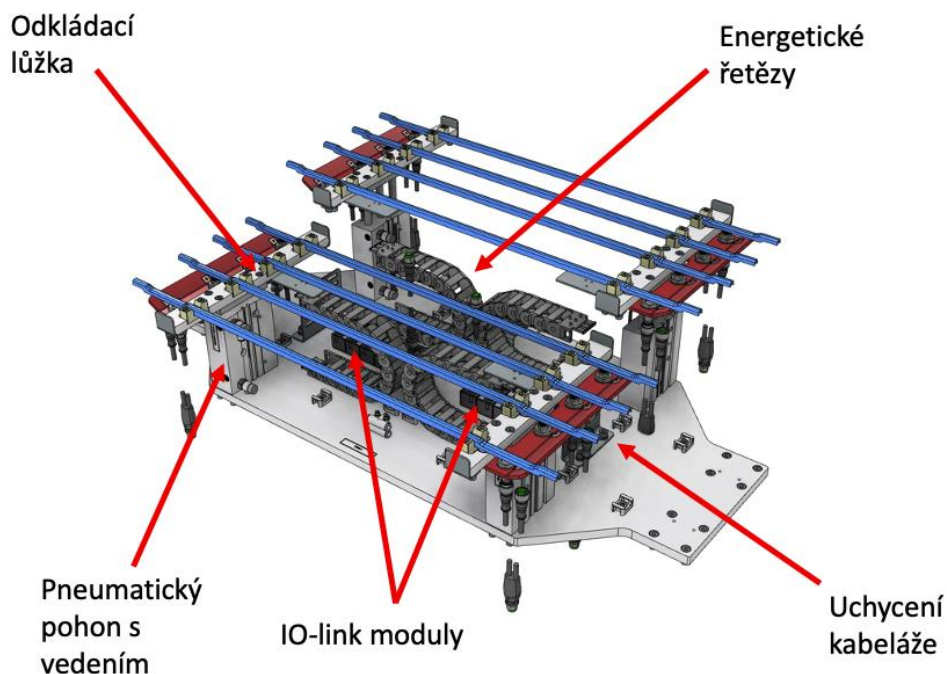


Obr. 30: Popis manipulační hlavice

Posledním pohybem je přesun manipulátoru nad úroveň pojízdného suportu. Tento pohyb umožňuje lineární modul od firmy MN systems, který nabízí ucelené řešení lineárního pohonu skládajícího se z lineárního vedení s vozíkem včetně pohonného elementu a upínací desky, tudíž zbývá pouze osadit pohonné ústrojí, kterým je v případě tohoto návrhu servomotor společnosti Siemens s označením 1FL6042-1AF61-2AG1. Použití servomotoru umožňuje přesné polohování s možností zastavení v pozici NOK boxu, který se nachází mezi polohovací sestavou a pojízdným suportem.

5.4.3 Pojízdný suport

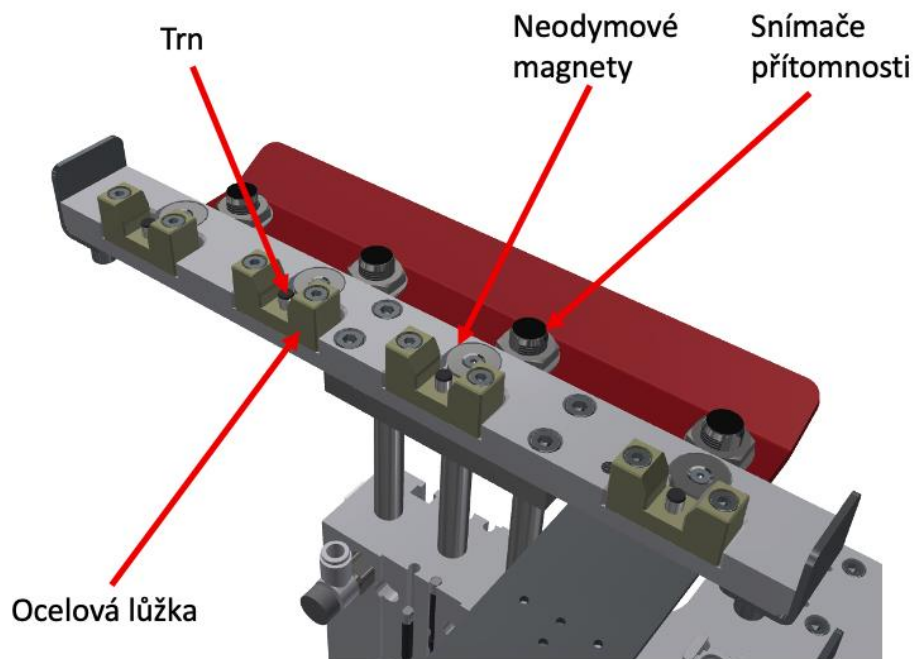
Vzhledem ke vzdálenostem mezi polohovací sestavou a odebíracími lůžky je nutné efektivně přepravit lišty na vzdálenost přibližně 3 metry. Pro tento účel byl navržen pojízdný suport, na který jsou postupně odkládány ocelové lišty, jež jsou poté převezeny k odebíracím lůžkům, kde jsou založeny. Pojízdný suport je tvořen z hliníkové desky, na které jsou připevněny pneumatické pohony s odkládacími lůžky, kde jsou jednotlivé pozice kontrolovány snímači přítomnosti. Suport je připevněn na lineárním modulu poháněném servomotorem.



Obr. 31: Popis pojízdného suportu

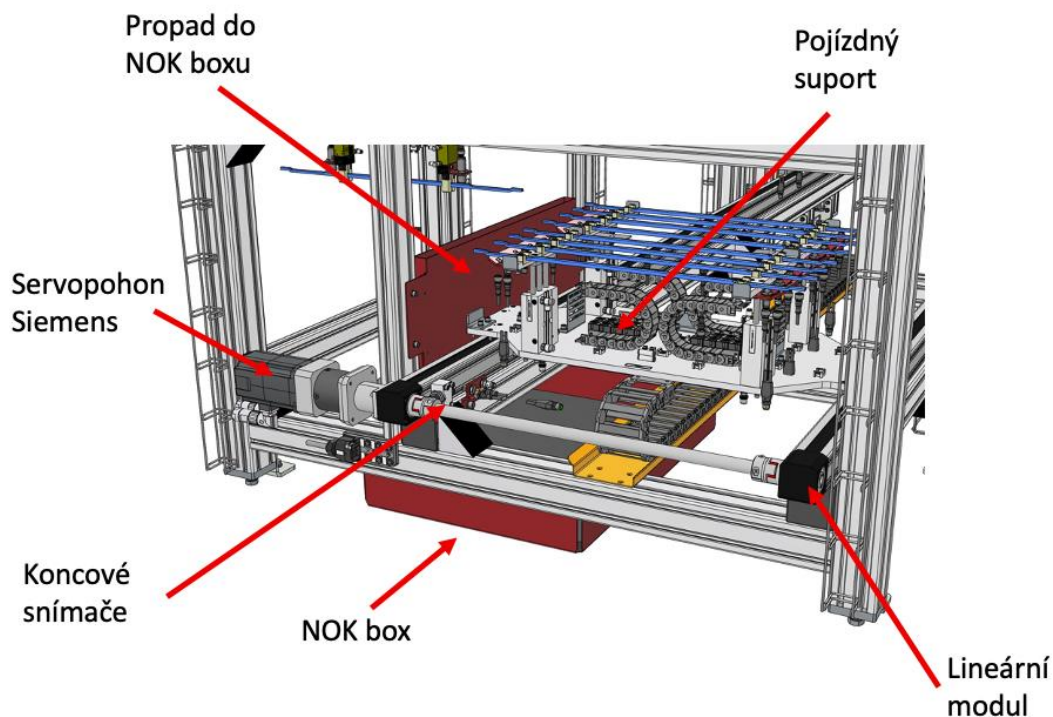
Pojízdný suport je koncipován jako odkládací rošt, kde jsou lišty již poskládané podle rozložení ve formě vstřikovacího lisu. Tudíž je na suportu umístěno celkem 8 lišt tvořící dvě sady. Ocelové lišty jsou podepřeny lůžky na obou koncích, jež jsou rozděleny tak, aby bylo možné ovládat v ose Z každou sadu zvlášť. Jsou tak vytvořeny 4 skupiny lůžek, kde je každá skupina zvedána pomocí pneumatického pohonu s vedením MGPL20-50AZ od firmy SMC. Jedna skupina lůžek zobrazena na Obr. 32 obsahuje 4 ocelová lůžka, která jsou uchycena na hliníkové desce. Dále jsou na desce namontovány magnety, jež brání pohybu lišty, při přesunu k odebíracím lůžkům. Každá pozice lůžka je vybavena indukčním snímačem pro kontrolu přítomnosti lišty. Jelikož se může vyskytnout situace špatného založení lišty do pozice lůžek, tak mají snímače i funkci pro kontrolu správné orientace lišty. Toho je docíleno přidáním trnu do lůžka, který neumožní dosednutí lišty na jeho dno, tudíž není zaznamenána přítomnost, čímž

je vyhodnoceno založení jako nesprávné a lišty jsou poté odhozeny do NOK boxu v pozici odebíracích lůžek.



Obr. 32: Popis odkládacích lůžek pojízdného suportu

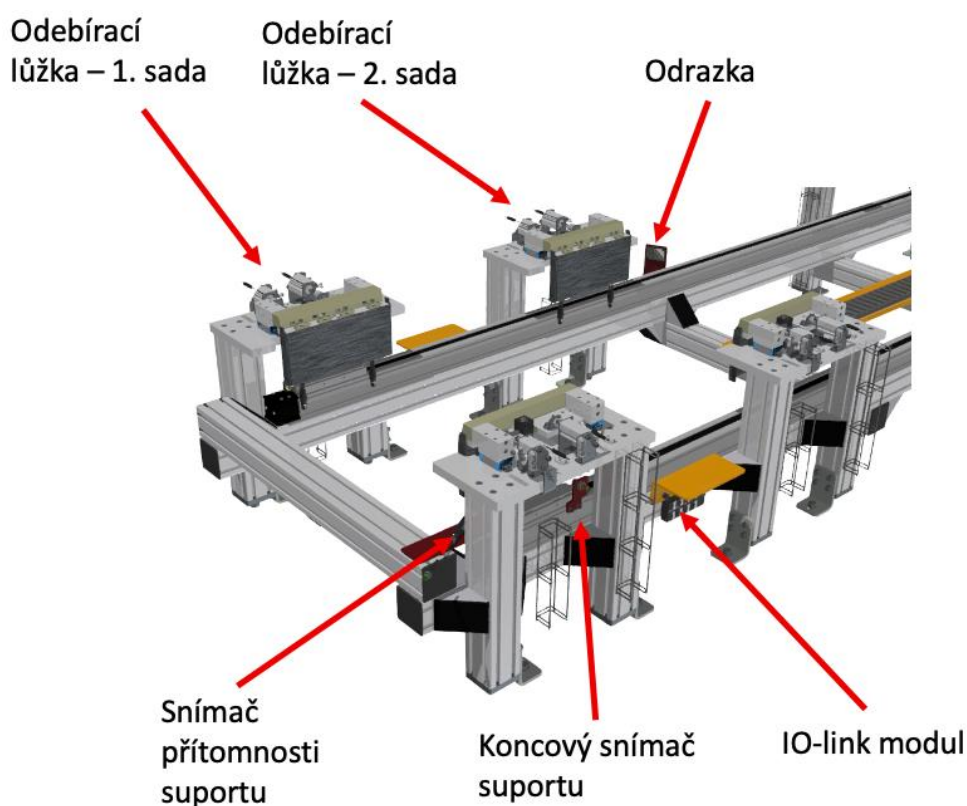
Celý pojízdný suport je umístěn na pohyblivé ose tvořené lineárním modulem od firmy MN systems, stejným jako v případě manipulátoru. Oba lineární moduly jsou propojeny hřídelí pomocí pružné hřídelové spojky, což zaručuje synchronizovaný pohyb obou os. Pohon osy je zajištěn pomocí servopohonu Siemens s označením 1FL6042-1AF61-2AG1, jehož výkon je 400 W. Výstupní moment je zvyšován pomocí planetové převodovky s poměrem 1:3.



Obr. 33: Popis pozice nabíjení suportu

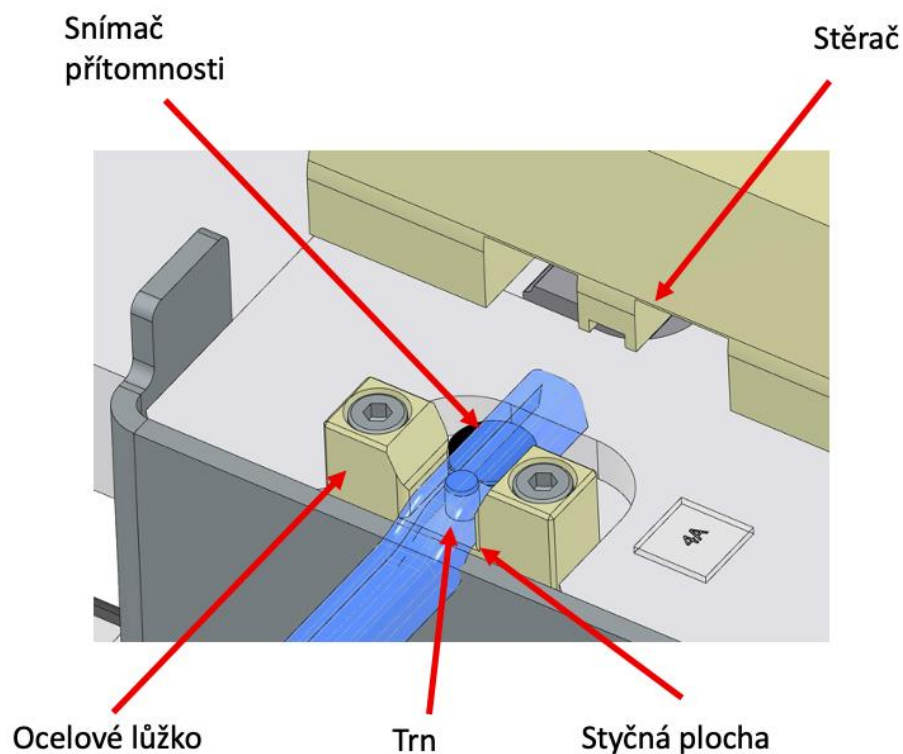
5.4.4 Odebírací lůžka

Poslední částí manipulační stanice je pozice odebíracích lůžek, která je určena pro odebrání dopravených lišt efektořem připevněným na hlavě průmyslového robotu. V pozici odebíracích lůžek jsou lišty rozmístěny v přesných pozicích, které odpovídají vzdálenostem nacházejících se ve formě vstřikovacího lisu. Z tohoto důvodu jsou odebírací lůžka rozdělena do dvou sad, kde každá sada odpovídá jednomu plastovému rámu. Základní funkcí odebíracích lůžek je konečné ustavení ocelových lišt, kde jsou veškeré díly ve správné orientaci a připraveny na odebrání efektořem. Pokud je zaznamenána chyba při manipulaci lišt, převážně tedy po odložení na pojízdný suport, tak je možné lišty odhodit do NOK boxu, který se nachází přímo pod pozicí odebíracích lůžek. Tak je docíleno spolehlivé přípravy dílů pro odebrání. Pro zajištění přesného pozicování lišt jsou pozice vybaveny pneumatickým centrováním pomocí pohyblivého stěrače. Aby bylo dosaženo vysoké opakovatelnosti a spolehlivosti odebrání, je vzájemná poloha efektořu a odebíracích lůžek zajištěna středícími trny.



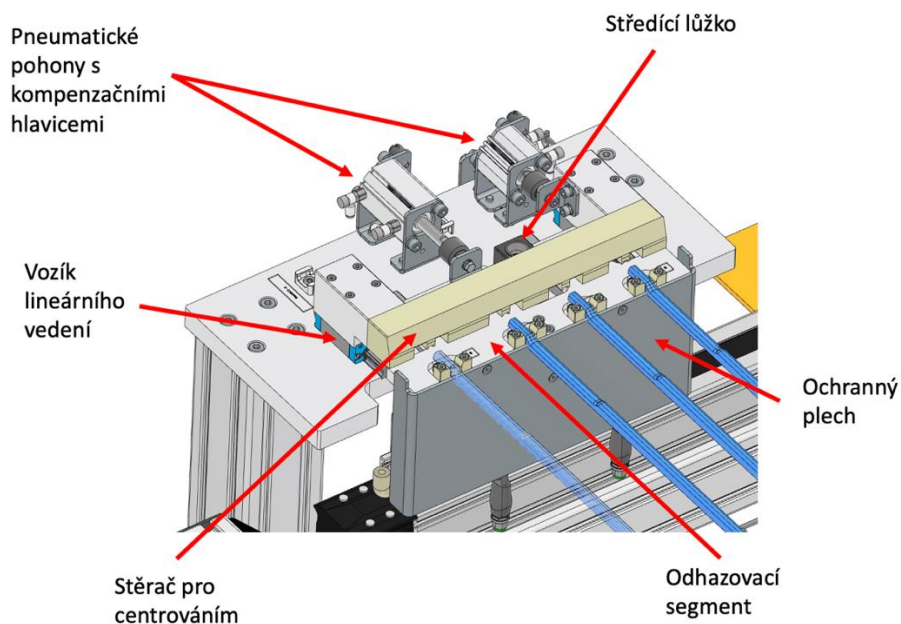
Obr. 34: Prvky odebírací části

V odebíracích lůžkách je lišta zachycena za nejvzdálenější okraj, což odpovídá přibližně 20 mm styčné plochy, jak je zobrazeno na Obr. 35. Stejně jako v případě pohyblivého suportu je v lůžkách integrován trn pro vymezení správně orientované lišty, kde je jejich přítomnost opět kontrolována indukčním snímačem. Samotná lůžka jsou pohyblivá a po jejich rozevření lišty propadnou do NOK boxu. Rozevírání lůžek probíhá současně, aby lišta neměla tendenci padat k jedné straně. Zajištění sejmutí lišty je provedeno pomocí ocelového stěrače, který tvarově odpovídá průřezu odebíracích lůžek. Stěrač je také využit jako pohyblivý centrovací prvek pro přesné nastavení pozice lišt, aby byly rovnoměrně zarovnané, a tím se tak snížilo riziko kolize s výstupky ve formě vstřikovacího lisu.



Obr. 35: Uložení ocelové lišty v odebíracím lůžku

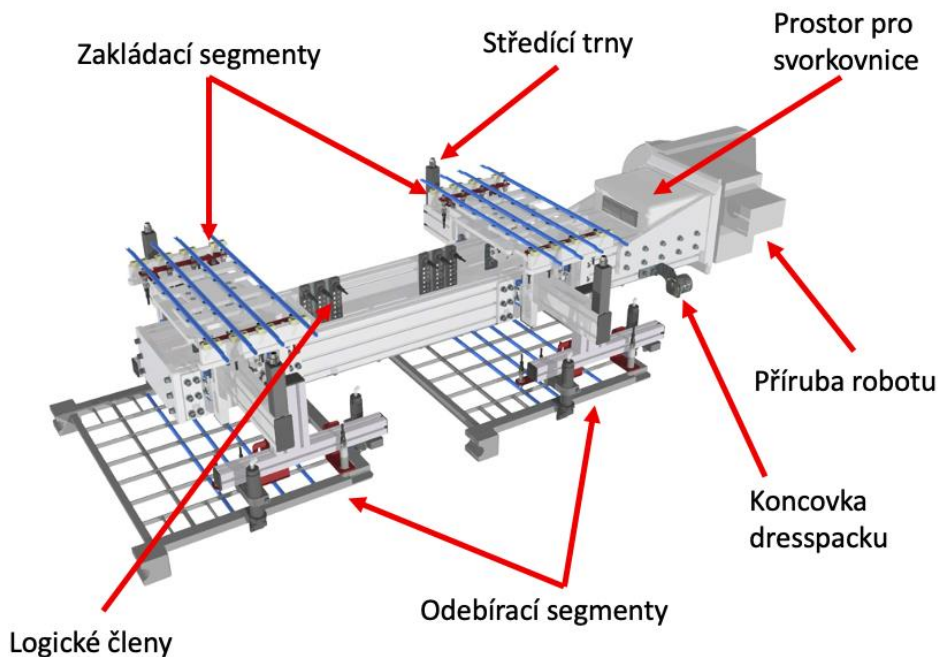
Základnou odebíracích lůžek je hliníková deska o tloušťce 20 mm, která je ustavena na dvojici hliníkových profilů 80 x 80 mm. Tím je vytvořena pevná a tuhá část sestavy. Na desce je umístěna druhá hliníková deska, která je určena pro připevnění odebíracích lůžek. Jelikož jsou lůžka pohyblivá, je deska usazena na dvojici lineárních vedení s vozíkem od firmy SNR. Pohyb desky je zajištěn pomocí pneumatického pohonu od firmy SMC s označením CDQ2A20-30DCZ, jenž má průměr válce 20 mm a zdvih 30 mm. Na pohyblivé desce jsou dále našroubovány indukční snímače od firmy Balluff s označením BES M12ZE-PSC40B-S04G. Ty mají snímací vzdálenost 4 mm a jsou určeny pro kontrolu přítomnosti lišt v lůžku. Dále jsou na pohyblivé desce přimontována celkem 4 ocelová lůžka, která jsou vyrobena z legované oceli s označením 42CrMo4, ta je nadále tepelně zpracována nitridací, jež zvyšuje tvrdost povrchu a čímž je značně prodloužena životnost lůžka po opakovaném kontaktu s ocelovými lištami. Navrhnutý stěrač, který stírá lišty z lůžek, je vyroben ze stejného materiálu jako je tomu v případě lůžek, a to z legované oceli s označením 42CrMo4, která je následně tepelně zpracována nitridací. Stěrač je přišroubován na dvojici hliníkových kostek, jež jsou usazeny na lineárních vozících od firmy SNR, které umožňují pohyb stěrače při centrování pozice lišt. Změna pozice stěrače je docílena použitím pneumatického pohonu CDQ2A20-10DCZ s průměrem válce 20 mm a zdvihem 10 mm. Jelikož je nutné mít zpětnou vazbu o poloze válce, jsou v obou pneumatických pohonech použity magnetické snímače BMF00JJ od firmy Balluff. Pro použití těchto snímačů je nutné, aby nakupované pohony byly vybaveny písky s magnety, které následně spínají použité snímače. Posledním dílem je ocelový domeček, ve kterém je namontováno vodící lůžko pro centrování koncového efektoru. Ten je namontován na hliníkové základně pomocí dvojice šroubů, jež vedou skrze desku v dírách s dostatečnou vůlí, aby bylo možné lůžko nastavit podle trnů koncového efektoru pro vykrytí vzájemných nepřesností komponent.



Obr. 36: Popis prvků odebíracího lůžka

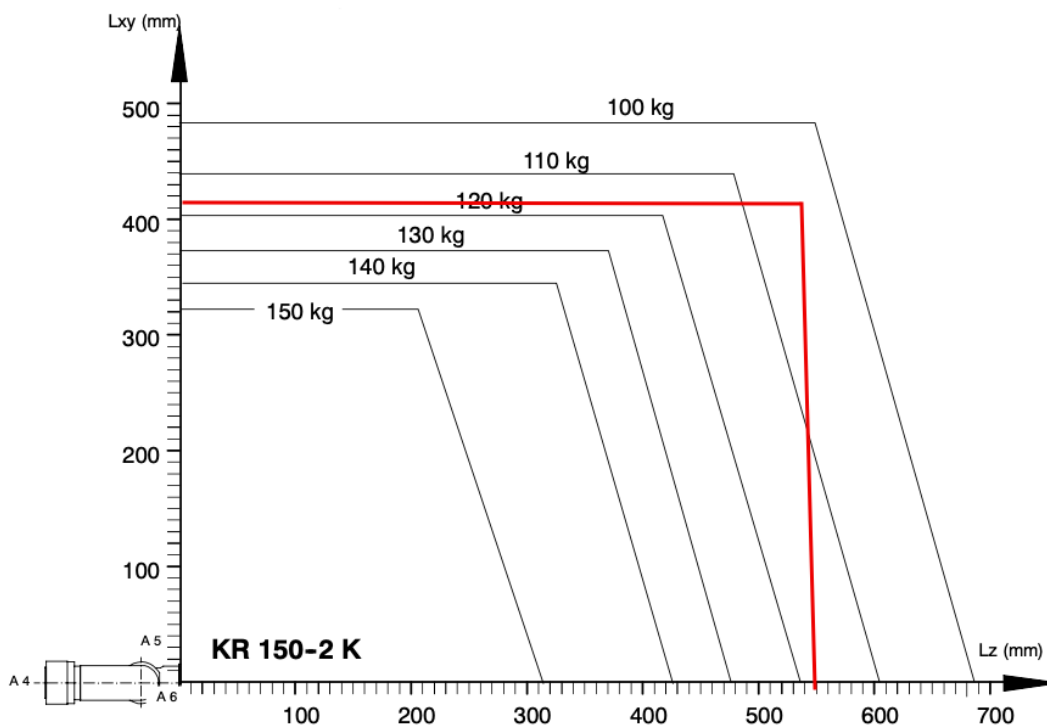
5.5 Koncový efektor

Po dopravení ocelových lišt do odebíracích lůžek jsou lišty připraveny na odběr koncovým efektem. Ten je přimontován na průmyslovém robotu Kuka KR150 2000, jenž je umístěn na pevné desce vstřikovacího lisu zobrazeno na Obr. 39. Koncový efektor je navržen pro odebrání lišt z manipulační stanice, dále jejich založení do pohyblivé části formy a následné odebrání hotových plastových rámců z pevné části formy.



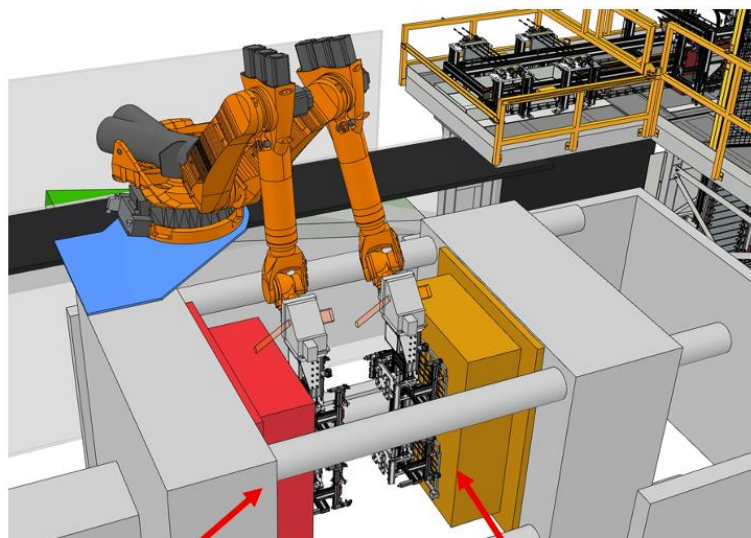
Obr. 37: Popis prvků koncového efektoru

Při navrhování koncového efektoru bylo nutné brát v potaz nosnost průmyslového robotu Kuka KR150 2000, jenž má hodnotu 150 kg. Nosnost robotu je závislá na vzdálenosti těžiště efektoru od příruby, jejíž ověření je zobrazeno na grafu udávaného v dokumentaci výrobce robotu viz Příloha 7. Tato závislost je červeně vyznačena na Obr. 38. Navržený efektor má hmotnost 94,4 kg.



Obr. 38: Graf nosnosti robotu v závislosti na poloze těžiště

Mezi koncovým efektořem a přířubou robotu je instalována další přířuba zázakzníka, která je využívána napřič pracovišti, tudíž bylo nutné navrhnout koncový efektor tak, aby jej bylo možné přichytit na stávající zázakznickou přířubu, jejíž upínací mechanismus je založen na trojici pohyblivých klínů. Dalším faktorem je centrování koncového efektoru v prostoru lisu, kdy je při zakládání ocelových lišt přesně polohován pomocí středících trnů. Ve formě jsou ocelové lišty přichyceny pomocí magnetů. Rozteč dvou sad je 820 mm s mezerami mezi lištami 2 x 62,5 mm a 1 x 75,5 mm, kde celkový operativní prostor je 1,5 metru. Z formy jsou odebírány 2 plastové rámy s vloženými ocelovými lištami, u kterých je potřebné zkontrolovat jejich přítomnost. Na Obr. 39 je zobrazen proces zakládání ocelových lišt a odebírání plastových ráků.



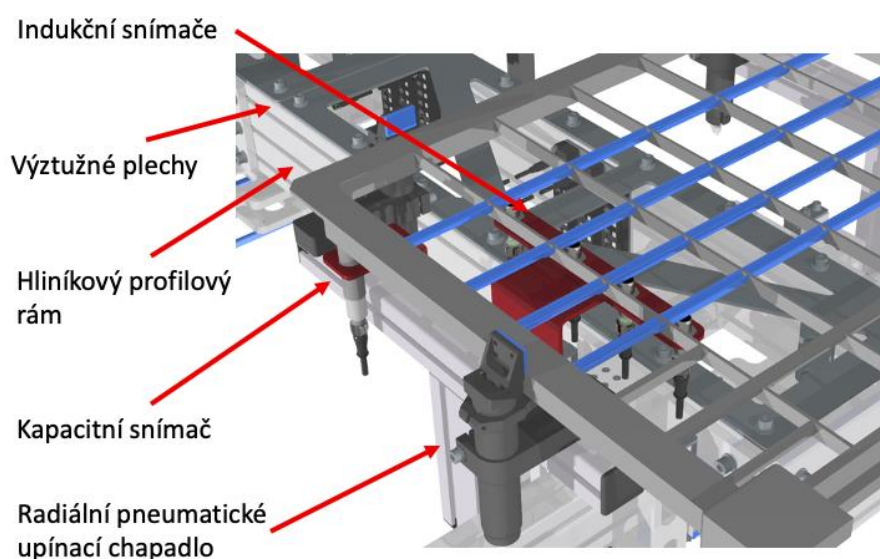
Zakládání
ocelových lišt

Odebírání
plastových rámu

Obr. 39: Ukázka zakládání a odebírání dílů v prostoru lisu

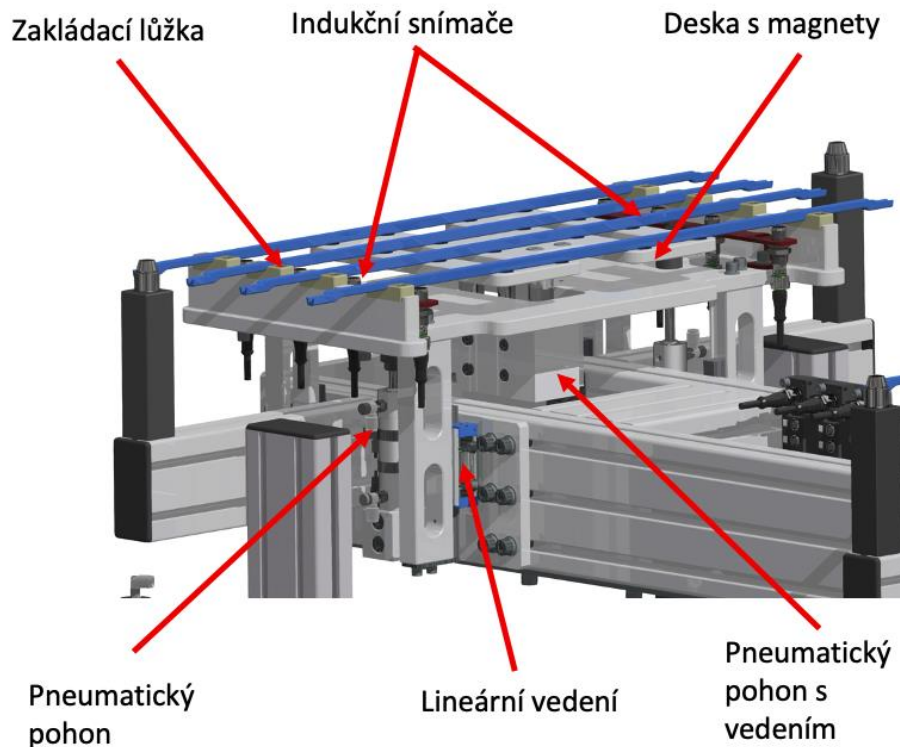
Základem konstrukce koncového efektoru je hliníková profilová konstrukce, jež je tvořena z profilů 120 x 40 mm a je vyztužena ocelovými plechy pro zvýšení tuhosti při udržení nízké hmotnosti. Tuhost spojení rámové konstrukce s hliníkovou přírubou zvyšuje dvojice hliníkových žebér. Na hliníkovém profilovém jsou připevněny segmenty určené pro zakládání a odebírání dílů v prostoru lisu.

Odebírací segment plastového rámu zobrazený na Obr. 40 je sestaven z hliníkových profilů, které mají rozměry 80 x 40 mm a 40 x 40 mm tvořící základ pro připevnění radiálních pneumatických upínacích chapadel a ocelových držáků. Kvůli kombinaci plastu a oceli byly použity dva typy snímačů, a to kapacitní pro kontrolu přítomnosti plastového rámu a indukční snímače pro kontrolu přítomnosti všech ocelových lišt.



Obr. 40: Odebírací segment plastového rámu

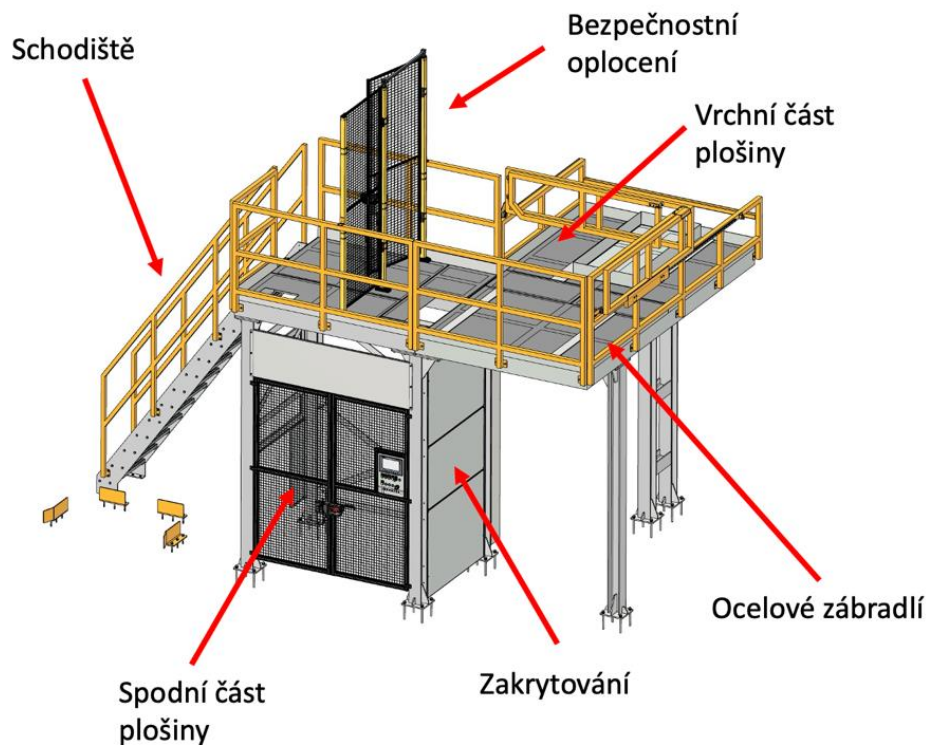
Na opačné straně nástroje je přichycen zakládací segment, jež je určený pro vkládání ocelových lišt do pevné formy lisu. Segment je rozdělen na dvě pohyblivé části. První část je postavena na nosné hliníkové desce, která je uložena na lineárním vedení. Pro zdvih desky byl použit pneumatický pohon CDG1BA20-25Z. Na desce jsou následně připevněna zakládací lůžka pro uložení ocelových lišt. Lůžka jsou tvarovaná a zamezují tak liště pohyb do stran. Pomocí indukčních snímačů umístěných na obou koncích lišty je kontrolována správnost pozice v lůžkách. Aby bylo zaručeno pevného přichycení ocelových lišt v lůžcích byla navržena druhá pohyblivá část, která je tvořena z hliníkové desky opatřené neodymovými magnety, jež je přichycená na pneumatickém válci s vedením MGPM32-25Z. K přerušení působení magnetické síly dojde zasunutím válce.



Obr. 41: Popis zakládacího segmentu koncového efektoru

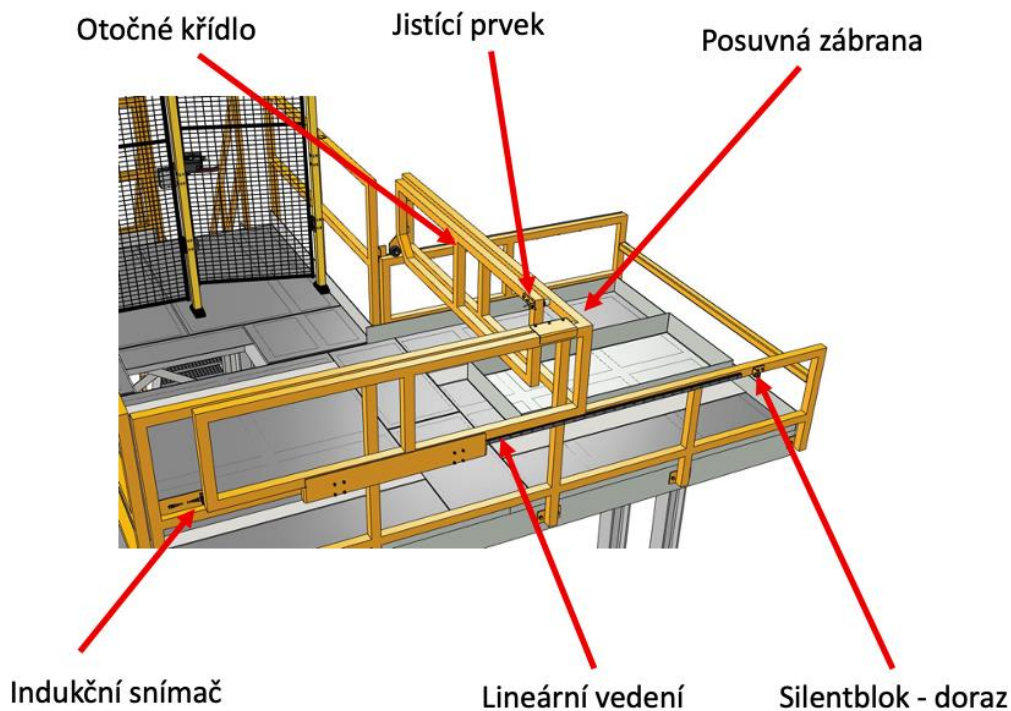
5.6 Plošina

Vzhledem k využitelnému prostoru pracoviště jsou některé části zařízení umístěny na plošinu, která je postavena nad průchodem podél vstřikovacího lisu a částečně nad druhovýrobou. Na plošině je umístěna manipulační stanice společně s hlavním rozváděčem stanice a na rámovou konstrukci je připevněn vynášecí dopravník. Rozměry plošiny jsou přizpůsobeny rozměrům jednotlivých segmentů tak, aby byl zajištěn přístup ke všem ovládacím prvkům a samotným komponentám pro případ výskytu poruch, případně při odladění procesu stroje.



Obr. 42: Prvky plošiny

Z bezpečnostních důvodů je po celém obvodu plošiny umístěno ocelové zábradlí. V pracovním prostoru robotu je zábradlí sníženo, kvůli zvýšení využitelného prostoru pohybů robotu. Jelikož je nutné mít možnost do tohoto prostoru vstoupit, byla tato část opatřena posuvnou zábranou, jež je nutné uzavřít při vstupu do pracovního prostoru zařízení. Posuvná zábrana je uložena na lineárním vedení z jedné strany zábradlí a vysutý konec je opřen o ložiska, jež se odvalují po vrchní části zábradlí. Pro zajištění vysutého konce proti zvednutí s rizikem vyvrácení zábrany bylo navrženo vedení, kde se pohybuje šroub v drážce plechu, jež je přichycen k zábradlí. Po vysunutí posuvné zábrany vzniká otevřená část na levé straně plošiny, která je následně uzavřena otočným křídlem připevněným na posuvné zábraně, které je po zavření zajištěno jisticím prvkem. Zasunutí posuvné zábrany je kontrolováno pomocí indukčního snímače.

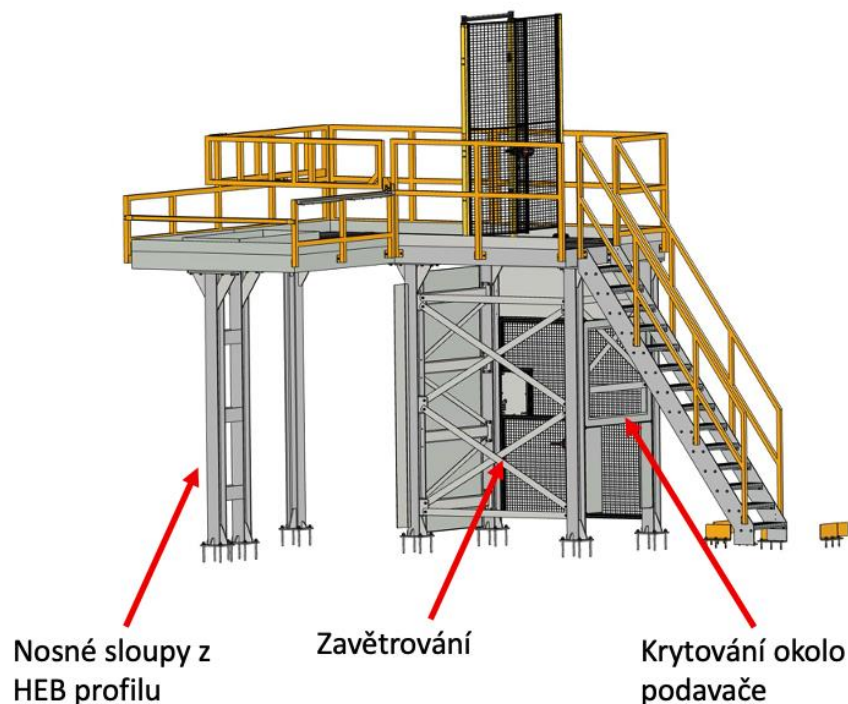


Obr. 43: Popis posuvné zábrany

Vrchní prostor plošiny je rozdělen na dvě části, kde první je servisně-ovládací prostor, v němž je umožněn přístup k elektrickému rozváděči a ovládacímu panelu (HMI). Druhým prostorem je pracovní prostor stanice. Zde jsou umístěny veškeré pohyblivé prvky zařízení, které se podílejí na manipulaci s ocelovou lištou, tedy vynášecí dopravník a manipulační stanice. Z hlediska bezpečnosti jsou tyto prostory odděleny ochranným bezpečnostním oplocením tvořeným z panelů, kde se do pracovního prostoru vstupuje skrze dveře, jež jsou opatřeny bezpečnostní klikou od firmy Euchner. Na plošinu je přístup umožněn pomocí strmého schodiště, kde bylo nutné brát v potaz výšku schodů pro dosažení požadované ergonomie. Návrh schodiště je popsán v normě ČSN EN ISO 14122-3[23], podle které bylo schodiště zkonstruováno.

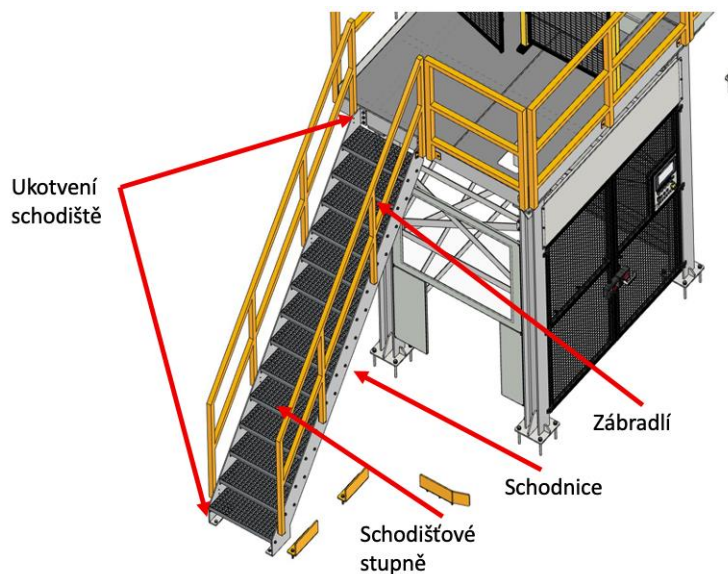
Ve spodní části plošiny, pod její částí, je umístěn automatický podavač, jehož pracovní prostor musel být taktéž uzavřen z důvodu bezpečnosti a je umožněn přístup pouze k zásobníku lišt. Pracovní prostor automatického podavače je uzavřen za bezpečnostním oplocením zabezpečeném bezpečnostní klikou. Zbylé části okolo automatického podavače jsou obloženy plechovými kryty.

Plošina je z konstrukčního hlediska rozdělena na dvě části, a to z důvodu ulehčení stavby a zároveň pro umožnění přepravy k zákazníkovi. Konstrukce plošiny je tvořena ocelovými profily UPE 160, které jsou svařeny do sítě a tvoří tak nosnou část plošiny. Pro podlahu byl použit navařený slízkový plech, který díky výstupkům snižuje riziko uklouznutí. Ochranné zábradlí je tvořeno ze svařované rámové konstrukce, pro kterou byl použit čtvercoví profil 50 x 50 mm s tloušťkou stěny 3 mm. Důležitým parametrem při navrhování ochranného zábradlí je vzájemná rozteč příček. Podle norem ČSN EN ISO 14122-3 nesmí být rozteč větší než 500 mm. [23] Celá konstrukce plošiny je postavena celkem na sedmi sloupech, které jsou tvořeny ocelovými profily HEB 140, jež jsou k plošině přišroubovány pomocí osmi šroubů M16 skrze patky, jež jsou k sloupům přivařeny a jsou dále vyztuženy pomocí žeber. Sloupy jsou zobrazeny na Obr. 44.



Obr. 44: Popis konstrukce plošiny

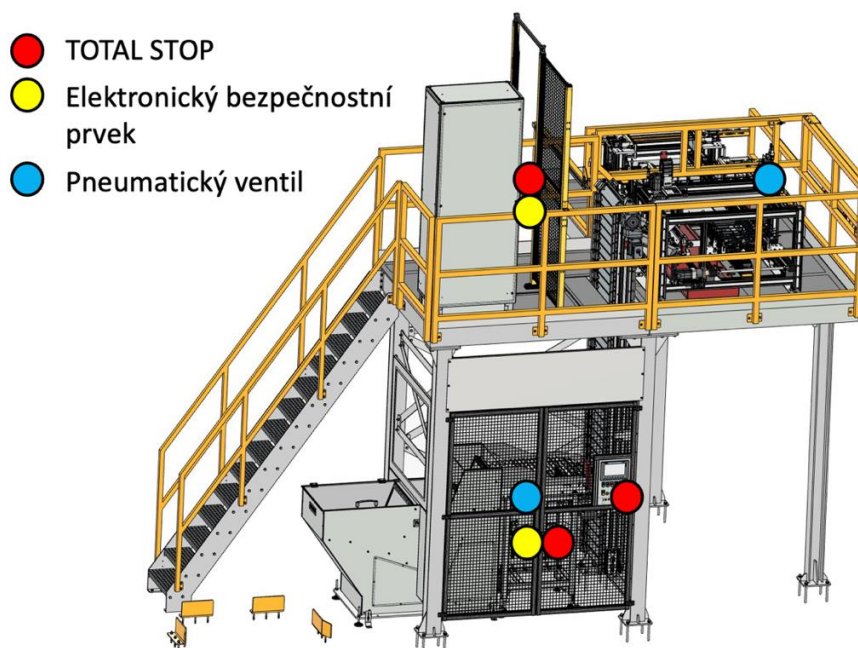
Pro zvýšení tuhosti konstrukce byly sloupy vzájemně zavětrovány ocelovými plechy o tloušťce stěny 6 mm. Pohled na řešení rámové konstrukce je ukázán na Obr. 44. Z důvodu komplexnosti řešení rámové konstrukce omezeno pouze na kontrolu sloupů na vzpěrnou stabilitu. Při návrhu schodiště byl kladen důraz na jednoduchost konstrukce a maximalizaci použití nakupovaných dílů, proto byly použity schodišťové stupně s protiskluzovou hranou a ocelovým roštem. Tyto rošty byly poté připevněny mezi dvojicí schodnic, které jsou tvořeny ocelovým plechem o tloušťce 6 mm, na jejichž koncích jsou navařeny patky pro uchycení k plošině a zároveň k podlaze. Schodiště zobrazené na Obr. 45 je taktéž opatřeno zábradlím, které bylo navrženo se stejnými náležitostmi, jako v případě zábradlí umístěného na plošině.



Obr. 45: Popis schodiště

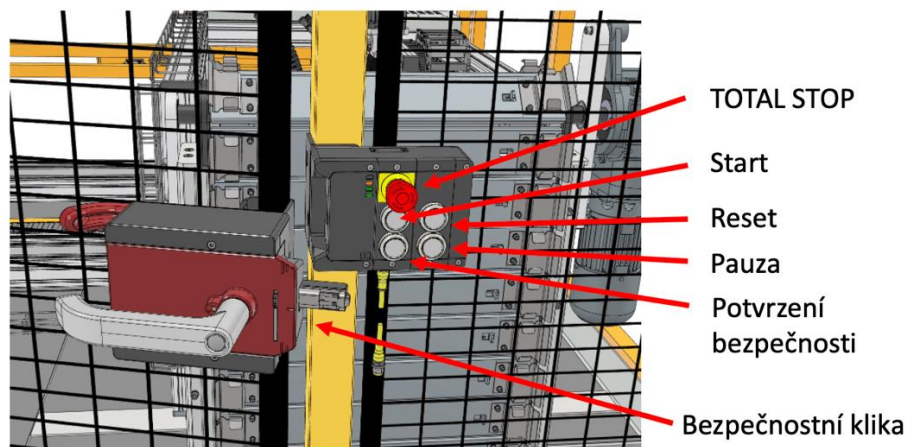
5.7 Bezpečnost pracoviště

Při navrhování pracoviště je nutné, aby zařízení splňovalo požadavky na bezpečnost nejen při denním provozu, ale také i během servisu pracoviště. Je důležité věnovat zvýšenou pozornost jeho správnému návržení, aby se eliminovalo, případně snížilo riziko výskytu úrazu, poranění nebo v nejhorším případě smrti. Proto jsou při návrhu využívány normy, jež předepisují pravidla, která je nutná splnit pro dosažení bezpečného pracoviště. Při návrhu zařízení byly využívány především normy ČSN EN ISO 14122-3, ČSN EN 12100, ČSN EN ISO 13857 a ČSN EN ISO 13849-1. Pro posouzení bezpečnosti je provedena analýza rizik viz Příloha 6, kde je zhodnocen stav bez bezpečnostních prvků a stav po aplikaci bezpečnostních prvků. Jedná se o šablonu firmy Inprotec, která odpovídá normě ČSN EN 12100.



Obr. 46: Rozmístění bezpečnostních prvků

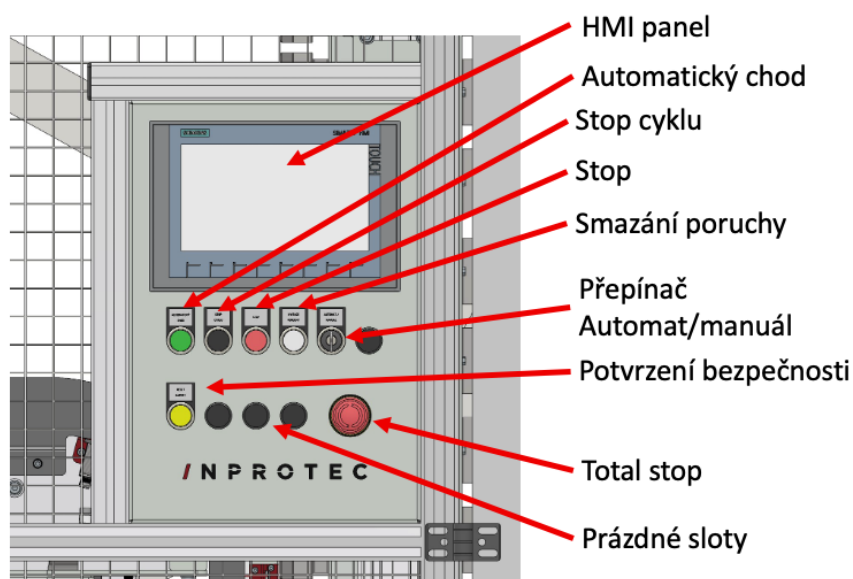
V případě tohoto zařízení byly zabezpečeny prostory automatického podavače a manipulační stanice společně s vynášecím dopravníkem. Na plošině je pracovní prostor zabezpečen ochranným oplocením s dveřmi, které jsou zabezpečeny bezpečnostní klikou od firmy Euchner, jež je zobrazena na Obr. 47. Jedná se o zařízení, jež je vybaveno ovládacími tlačítky a je elektronicky uzamykatelné, tudíž při narušení bezpečnosti je stanice uvedena do stavu TOTAL STOP, kdy se zastaví veškeré pohyby stroje. Aby nebylo možné zamknout obsluhu vně pracovního prostoru, je kliku možné zevnitř otevřít mechanicky, bez nutnosti odemknout zámek. Ve spodní části zařízení je prostor automatického podavače zakryt ocelovými plechy a polykarbonátovými skly. Do pracovního prostoru je vstup umožněn skrze křídlové dveře, které jsou vyplněny pletivem s velikostí oka 30 mm, což podle normy ČSN EN ISO 13857 omezuje dosah do nebezpečného prostoru na 120 mm. [24] Dveře jsou zabezpečeny stejnou bezpečnostní klikou jako v horní části pracovního prostoru. [23]



Obr. 47: Ukázka bezpečnostní kliky

5.8 Ovládání zařízení

Navržené zařízení je možné ovládat pomocí ovládacího panelu, jenž je zobrazen na Obr. 48. Ten se skládá z HMI panelu a osmi tlačítek. Veškeré komponenty jsou vloženy do schránky složené z ohýbaných plechů a výpalků. Funkce jednotlivých tlačítek jsou zobrazeny v Tab. 3. Stroj je možné přepínat mezi dvěma stavy, a to mezi režimem automatu a ručním režimem. V režimu automatu je stroj při běžné výrobě a stroj tak běží automaticky bez nutnosti vnějšího zásahu. Operátor tak pouze vkládá a odebírá díly. Kdežto v ručním režimu je možné pohybovat s jednotlivými mechanismy, dále je možné ovládat robota pomocí teachpendantu. Tento režim je používán při servisu nebo seřizování. Umístěný HMI panel je určen pro sledování základních informací o stavu stroje, dále jsou zde zobrazovány statistiky o výrobě a v neposlední řadě je zde připraven panel pro ruční ovládání, kde je možné nastavovat parametry pro jednotlivé mechanismy a pohybovat s nimi. Na HMI panel je možné přidat více oken po domluvě s programátorem, jenž tato okna připravuje.



Obr. 48: Popis ovládacího panelu

Tab. 3: Popis funkcí tlačítek stroje

Ovládací prvek	Popis
AUTOMATICKÝ CHOD	Tlačítko je určené ke spuštění automatického chodu stroje.
STOP CYKLU	Je určené k ukončení cyklu stroje. Robot dokončí aktuální operaci, automaticky zaparkuje do HOME pozice a dojde k ukončení automatického režimu stroje.
STOP	Tlačítko je určené k zastavení automatického chodu stroje.
SMAZÁNÍ PORUCHY	Tlačítko je určené k potvrzení poruch vyhlášených na stroji.
AUTOMAT /MANUAL	Klíček je určené k volbě režimu stroje.
POTVRZENÍ BEZPEČNOSTI	Tlačítko je určené k potvrzení bezpečnostního okruhu, potvrzení, že se žádná osoba nenachází ve vyhrazeném prostoru a je bezpečné zařízení zapnout.
TOTAL STOP	Tlačítko je určené pro nouzové zastavení stroje bez ohledu na jeho poškození

5.9 Senzorika a komunikace

Po celém zařízení je rozmístěno množství snímačů, které jsou využívány k různým funkcím. Cílem používání snímačů je zpětná vazba o stavech, jež jsou používány pro řízení celého zařízení. Snímače se poté využívají pro kontrolu přítomnosti dílu, koncových poloh pohyblivých mechanismů. V navrženém zařízení jsou použity převážně indukční snímače, optoelektronické snímače, magnetické snímače a dále kapacitní snímače, kdy se jejich použití odlišuje podle funkce. Veškeré snímače byly vybírány z katalogu firmy Balluff.

Indukční snímače jsou využívány po celém zařízení zejména pro kontrolu přítomnosti ocelové lišty, ale jsou využity i jako inicializační pro oba manipulátory se servomotory, ve kterých jsou také využity jako zpětná vazba o koncové poloze. Vzhledem k velkému množství (60 ks) kontrolovaných pozic byly pro ocelovou lištu vybrány snímače z ekonomické řady s označením BES M12ZE-PSC40B-S04G se snímací vzdáleností 4 mm. V případě obou manipulátorů jsou využity dvě různá rozhraní indukčních snímačů, spínací a rozpínací, kdy spínací slouží k inicializaci manipulátoru a rozpínací je použit pro koncovou polohu. Důvodem použití rozpínacího rozhraní je ošetření rizika porušeného snímače či kabelu, jelikož snímač udržuje signál, a v případě jakékoliv chyby je tento signál ztracen a tím je vyvolána chyba.



Obr. 49: Indukční snímač [25]

Optoelektronické snímače jsou využity na kontrolu orientace ocelové lišty. Pro kontrolu byla využita vidlicová optická závora s označením BGL 30A-003-S49, jež má průměr paprsku 0,3 mm, díky tomu je dosaženo přesného nastavení pro kontrolu. Dále byl optoelektronický snímač využit pro zastavování vynášecího dopravníku, kdy jsou snímány průjezdy jednotlivých segmentů. Pro snímání byl využit snímač BOS 5K-PU-LR10-S49, se světelnou stopou o průměru 5 mm na 3 metry, k tomuto snímači je nutné použít odrazku. Následujícím využitím optoelektronického snímače bylo v případě kontroly přítomnosti pojízdného suportu v pozici odebíracích lůžek, k čemuž může dojít v případě vypnutí stroje. V tu chvíli je ztracena informace o pozici pojízdného suportu a vzniká riziko kolize s nástrojem robotu při opětovném spuštění. Pro tento účel byl využit snímač s označením BOS 18KF-PA-1QD-S4-C, jež má snímací vzdálenost 0 - 4,5 m, i tento snímač vyžaduje použití odrazky. Poslední částí, ve které byl využit snímač stejného typu, je kontrola propadu odhozených ocelových lišt do NOK boxu. Zde byl využit stejný snímač BALLUFF BOS 18KF-PA-1QD-S4-C společně s odrazkou.



Obr. 50: Ukázka optoelektronických snímačů[26; 27]

Magnetické snímače jsou primárně využity pro kontrolu polohy pneumatických válců, kdy je nutné, aby použité pneumatické válce měly pístnici s instalovaným magnetem. Tyto snímače jsou určeny pro přímou montáž do „C“ drážek v těle pneumatických válců, případně jsou upevněny na páscích na obvodu válce. V zařízení byly využity tyto snímače BMF 423K-

AAPS-C-2-SA95-P0-S4-00,3, BMF 204K-PS-C-2A-SA2-S49-00,3 a BMF 203K-H-PI-C-A8-S4-00,3. Magnetické snímače jsou využity pro kontrolu polohy uchopovacích hlavic Schunk.



Obr. 51: Magnetický snímač [28]

Kapacitní snímače byly použity na snímání přítomnosti nekovových materiálů, konkrétně plastového rámu, jež je odebírán z formy vstřikovacím lisu. Dvojice kapacitních snímačů je umístěna na koncovém efektoru robotu a kontrolují tak přítomnost obou odebíraných dílů. Použité snímače mají označení BCS M18B4I3-PSC80D-S04K se snímací vzdáleností 1–8 mm.



Obr. 52: Kapacitní snímač [29]

Aby bylo možné efektivně přijímat signály po celém pracovišti, byly jednotlivé snímané segmenty propojeny skrze IO-link modul. Ty mají běžně 8 pozic pro zapojení snímačů a zajišťují tak komunikaci mezi snímači a řídicím PLC. Použitím IO-link modulů je zvýšena stabilita signálu a umožňuje zpracování digitálních a analogových vstupů a výstupů. Snímače v pozici odebíracích lůžek a pojízdného suportu jsou propojeny do IO-link modulu MVP12 plastic DI16 IOL od společnosti Murr. Vzhledem k celkovému množství IO-link modulů, bylo nutné použít nadřazený modul IO-link master IMPACT67 Pro PN DIO8 DIO8_IOL8 M12L 4P, do kterého byly napojeny podřazené IO-linky. Použitím IO-link modulů je ušetřeno množství výstupů a vstupů na PLC, do kterých by jinak byly napojeny jednotlivé snímače.



Obr. 53: IO-link modul [30]

Důležitou stránkou návrhu bylo navržení vedení energií, a to primárně elektrické a pneumatické. Primárně z hlediska uspořádanosti a vzhledu je kabeláž a hadice vedena v ocelových žlabech, jež jsou rozmístěny podél manipulační stanice a dále pod plošinou směrem k automatickému podavači lišt. Použitím žlabů je také zvýšena ochrana proti poškození kabelů vnějšími vlivy. K pohyblivým mechanismům jsou energie vedeny v energetických řetězech, jež jsou tvořeny jednotlivými články, a tím tak zvyšují životnost použitých kabelů. Při volbě energetických řetězů je nutné brát v potaz minimální rádius ohnutí.



Obr. 54: Energetický řetěz[31]

Parametry manipulátoru:

Přejezdová vzdálenost:

$$l_x = 610 \text{ mm}$$

Dráha zrychlení a zpomalení:

$$l_{xac} = l_{xdec} = 100 \text{ mm}$$

Doba zrychlování a zpomalování:

$$t_{xac} = t_{xdec} = 0,4 \text{ s}$$

Hmotnost manipulační hlavičky:

$$m_{hl} = 8,5 \text{ kg}$$

Statické hledisko

Vzorec momentu motoru s využitím kuličkového šroubu

$$M_{xmstat} = \frac{F_x \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c} + M_{zsrhm} \quad [32] \quad (1)$$

Kde:

F_x ...požadovaná radiální síla

s ...stoupání kuličkového šroubu

i ...převodový poměr

η_c ...celková účinnost posuvové soustavy (pro lineární vedení 0,98)

M_{zsrhm} ...statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru

Vzhledem ke skutečnosti, že zde nebyl využit kuličkový šroub, je vzorec zjednodušen do tvaru:

$$M_{xmstat} = \frac{F_x \cdot r_{rem}}{i \cdot \eta_c} + M_{zsrhm} \quad [32] \quad (2)$$

Kde:

r ... poloměr hnací řemenice lineárního modulu

i ... převodový poměr bez využití převodovky = 1

Jelikož poloměr hnací řemenice výrobce neuvádí, je vypočten z parametru posunu na otáčku řemenice p_{mod} , což odpovídá obvodu řemenice, tudíž lze využít tvaru:

$$O_{rem} = 2 \cdot \pi \cdot r_{rem} \rightarrow r_{rem} = \frac{O_{rem}}{2 \cdot \pi} = \frac{150}{2 \cdot \pi} = 23,87 \text{ mm} \quad (3)$$

Dále je nutné zjistit radiální sílu pro akceleraci manipulační hlavičky

$$F_x = m_{hl} \cdot a_{hl} \quad (4)$$

Kde:

a ... zrychlení hlavičky při uvedení do pohybu

$$a_{hl} = \frac{2 \cdot l_{xac}}{t_{xac}^2} = \frac{2 \cdot 0,1}{0,4^2} = 1,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5)$$

Po dosazení do vzorce (4):

$$F_x = m_{hl} \cdot a_{hl} = 8,5 \cdot 1,25 = 10,625 \text{ N} \quad (6)$$

Statický moment zátěže redukovaný na hřídel motoru se skládá ze složek, které vytvářejí odpor proti pohybu zátěže. Vzhledem k tomu, že je manipulátor umístěn horizontálně, nevznikají zde žádné síly vlivem náklonu, a proto jsou do statického momentu jsou započítány pouze odpory lineárního modulu.

Výsledný statický moment zátěže se tedy rovná:

$$M_{zsrhm} = M_0 = 0,8 \text{ Nm} \quad [32] \quad (7)$$

Výsledný potřebný moment motoru po dosažení všech proměnných vychází takto:

$$M_{xmstat} = \frac{F_x \cdot r_{rem}}{i \cdot \eta_c} + M_{zsrhm} = \frac{10,625 \cdot 0,0239}{1 \cdot 0,98} + 0,8 = 1,0591 \text{ Nm} \quad (8)$$

Kinematické hledisko

V této části výpočtu je řešena kontrola času cyklu, ze kterého bude možné stanovit úhlové zrychlení potřebné pro výpočet dynamického hlediska servomotoru. Výpočet začíná stanovením jednotlivých drah, kde manipulační hlavice zrychluje, udržuje rychlost a zpomaluje.

Dráha při konstantní rychlosti:

$$l_{xrov} = l_x - l_{xac} - l_{xdec} = 610 - 100 - 100 = 410 \text{ mm} \quad (9)$$

Celkový čas:

$$T_x = t_{xac} + t_{xrov} + t_{xdec} = 0,4 + 0,65 + 0,4 = 1,45 \text{ s} \quad (10)$$

Rychlost rovnoměrného pohybu

$$v_{xrov} = \frac{l_{xrov}}{t_{xrov}} = \frac{0,41}{0,65} = 0,631 \text{ m/s} \quad [32] \quad (11)$$

Lineární zrychlení

$$a_{xkin} = \frac{v_{xrov}}{t_{xac}} = \frac{0,631}{0,4} = 1,5775 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad [32] \quad (12)$$

Úhlové zrychlení motoru

$$\varepsilon_{xm} = \frac{a_{xkin}}{r_{rem}} = \frac{1,5775}{0,0239} = 66 \text{ rad}^{-2} \quad [32] \quad (13)$$

Na základě získaných údajů je porovnána dráha s dosazenou vypočtenou rychlostí a zrychlením, kdy je řešeno porovnání, zda je nově vypočtená dráha vyšší než reálná celková dráha, což znázorňuje, zda manipulační stanice dosáhne maximální rychlosti na celkové dráze. V tom případě je rychlost rovnoměrného pohybu podlimitní, v opačném případě nadlimitní.

$$s_{xkon} = \frac{v_{xrov}^2}{a_{xkin}} = \frac{0,631^2}{1,5775} = 0,2524 \text{ m} \quad [32] \quad (14)$$

$$l_x \geq s_{xkon} \rightarrow \text{podlimitní rychlost}$$

Kdy celkový čas cyklu je:

$$T_{xkon} = \frac{l_x}{v_{xrov}} + \frac{v_{xrov}}{a_{xkin}} = \frac{0,61}{0,631} + \frac{0,631}{1,5775} = 1,37 \text{ s} \quad [32] \quad (15)$$

Dynamické hledisko

Momentová rovnice určující potřebný moment motoru

$$M_{xmdyn} = J_{rhm} \cdot \varepsilon_m + M_{zdrhm} \quad [32] \quad (16)$$

Kde:

J_{rhm} ...celkový moment setrvačnosti redukovaný na hřídel motoru

ε_m ... úhlové zrychlení motoru

M_{zsrhm} ...zátěže redukovaný na hřídel motoru

První počítanou veličinou je celkový moment setrvačnosti, jehož tvar vypadá následovně:

$$J_{rhm} = J_{mot} + J_{prev} + J_{mod} + \frac{J_m}{i^2} \quad [32] \quad (17)$$

Kde:

J_{mot} ... moment setrvačnosti motoru

J_{prev} ... moment setrvačnosti převodovky

J_{mod} ... moment setrvačnosti lineárního modulu

J_m ... redukovaný moment setrvačnosti zátěže

i ... převodový poměr

Moment setrvačnosti motoru je doplněn do výpočtu po jeho vybrání, jelikož má minimální vliv na výsledný kroutící moment. Dále není využita žádná převodovka, tudíž je její moment setrvačnosti taktéž zanedbán společně s převodovým poměrem, který se rovná 1. Z hlediska výpočtu je tedy nutné vypočítat moment setrvačnosti zátěže.

Moment setrvačnosti zátěže je nutné vztáhnout k hřídeli motoru, ale v tomto případě se zátěž pohybuje rovnoměrným pohybem, proto je nezbytné tuto zátěž redukovat z rovnoměrného pohybu na rotační pohyb.

Redukce rovnoměrného pohybu na rotační je dosaženo pomocí rovnosti kinetických energií, kdy je kinematická soustava složena ze zátěže rovnoměrně pohybující se na horizontální rovině, na kterou působí síla potřebná pro uvedení do rovnoměrné rychlosti, jež je redukována na rotační pohyb.

Rovnováha kinetických energií

$$E_{krot} = E_{krovn} \quad (18)$$

$$\frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (19)$$

Kde:

I ... moment setrvačnosti rotujícího tělesa

ω ... úhlová rychlost

m ... hmotnost zátěže

v ... rychlost pohybu zátěže

Rychlost rovnoměrného pohybu lze přepočítat na úhlovou rychlost v případě, kdy je známý poloměr rotujícího tělesa. Ten byl zvolen jako poloměr řemenice lineárního modulu.

Přepočet rychlosti rovnoměrného pohybu na rotační pohyb

$$v = \omega \cdot r_{rem} \quad (20)$$

Dosazením vzorce rychlosti do rovnice (19) vyjde vztah

$$\frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot r_{rem}^2 \quad (21)$$

Po vykrácení má vztah pro moment setrvačnosti zátěže tento vztah

$$I_{Xzat} = J_m = m_{hl} \cdot r_{rem}^2 = 8,5 \cdot 0,0239^2 = 4,855 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (22)$$

Dále je doplněn moment setrvačnosti do rovnice pro celkový moment setrvačnosti (17)

$$J_{rhm} = J_{mot} + J_{prev} + J_{mod} + \frac{J_m}{i^2} = 2,7 \cdot 10^{-4} + 0 + 7,4 \cdot 10^{-5} + \frac{4,855 \cdot 10^{-3}}{1^2} = 0,00493 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (23)$$

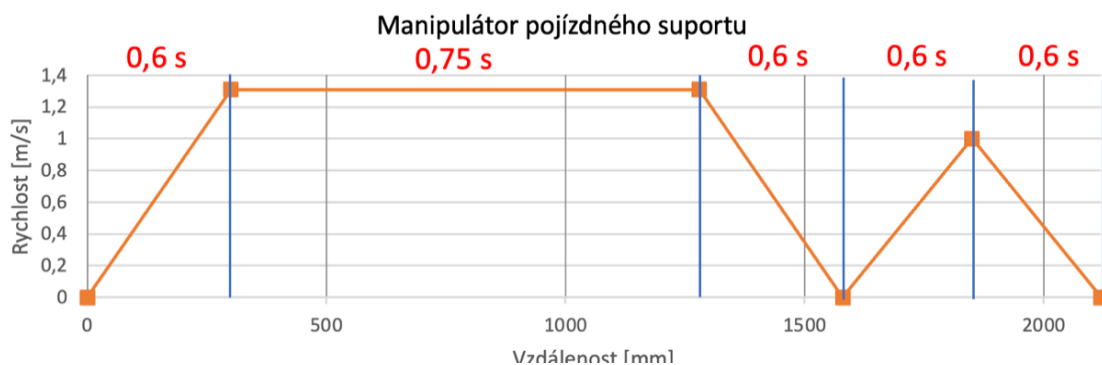
Dosazení do momentové rovnice (16):

$$M_{Xmdyn} = J_{rhm} \cdot \varepsilon_m + M_{zdrhm} = 0,00493 \cdot 66 + 0,8 = 1,13 \text{ Nm} \quad (24)$$

Na základě vypočteného momentu byl vybrán servomotor od společnosti Siemens z nejprodávější série 1FL6 s označením 1FL6042-1AF61-2AG1 a nominálním kroutícím momentem 1,27 Nm.

6.1.2 Manipulátor pojízdného suportu

V manipulátor pojízdného suportu přesouvá skupinu osmi ocelových lišt, jenž se pohybují po celkové trase dlouhé přibližně 2120 mm. Rychlostní profil trasy odpovídá Obr. 56, kde suport zrychluje a zpomaluje na vzdálenosti 300 mm v čase 0,6 s. Přejezd mezi jednotlivými lůžky je zanedbán, jelikož není očekáváno, že suport stihne zrychlit a zpomalit na vzdálenosti 540 mm. Tudíž je počítáno pouze se vzdáleností mezi posledním zakládaným lůžkem pro lišty a prvním odebíracím lůžkem, jehož vzdálenost je 1580 mm. Hmotnost suportu činí 18,9 kg.



Obr. 56: Rychlostní profil pojízdného suportu

Cílem pro volbu servomotoru manipulátoru pojízdného suportu bylo využít stejného typu, jako v případě manipulátoru manipulační hlavy. Vzhledem k tomu, že je zátěž vyšší, než tomu bylo v případě druhého manipulátoru, tak byl předpoklad použití planetové převodovky s počátečním převodovým poměrem 3. Typ převodovky byl vybrán od výrobce

Neugart s typovým označením PLQE080-003-SSSA3AE-E19, jež umožňuje přímou montáž na lineární modul a servomotor.

Parametry manipulátoru:

Přejezdová vzdálenost:

$$l_y = 1580 \text{ mm}$$

Dráha zrychlení a zpomalení:

$$l_{Yac} = l_{Ydec} = 300 \text{ mm}$$

Doba zrychlování a zpomalování:

$$t_{Yac} = t_{Ydec} = 0,6 \text{ s}$$

Hmotnost pojízdného suportu

$$m_{sup} = 18,9 \text{ kg}$$

Poloměr hnací řemenice:

$$r_{rem} = 23,9 \text{ mm}$$

Statické hledisko

Potřebný moment motoru:

$$M_{Ymstat} = \frac{F_Y \cdot r_{rem}}{i \cdot \eta_c} + M_{zsrhm} [32] \quad (25)$$

Kde:

r... poloměr hnací řemenice lineárního modulu

i... převodový poměr bez využití převodovky = 3

Výpočet radiální síly

$$F_Y = m_{sup} \cdot a_{sup} [32] \quad (26)$$

Kde:

a_{sup}... zrychlení suportu při uvedení do pohybu

$$a_{sup} = \frac{2 \cdot l_{Yac}}{t_{Yac}^2} = \frac{2 \cdot 0,3}{0,6^2} = 1,667 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} [32] \quad (27)$$

Po dosazení do vzorce síly (26):

$$F_Y = m_{sup} \cdot a_{sup} = 18,9 \cdot 1,667 = 31,51 \text{ N} \quad (28)$$

Z důvodu ukotvení pojízdného suportu na dvojici lineárních modulů a použití planetové převodovky má statický moment zátěže tento vztah

Výsledný statický moment zátěže:

$$M_{zsrhm} = \frac{2 \cdot M_0}{i} = \frac{2 \cdot 0,8}{3} = 0,53 \text{ Nm} \quad (29)$$

Výsledný potřebný moment motoru po dosazení všech proměnných vychází takto:

$$M_{Ymstat} = \frac{F_Y \cdot r_{rem}}{i \cdot \eta_c} + M_{zsrhm} = \frac{31,51 \cdot 0,0239}{3 \cdot 0,98} + 0,53 \quad (30)$$

$$M_{Ymstat} = 0,786 \text{ Nm}$$

Kinematické hledisko

Dráha při konstantní rychlosti:

$$l_{Yrov} = l_y - l_{ac} - l_{dec} = 1580 - 300 - 300 = 980 \text{ mm} \quad (31)$$

Celkový čas:

$$T_Y = t_{Yac} + t_{Yrov} + t_{Ydec} = 0,6 + 0,75 + 0,6 = 1,95 \text{ s} \quad (32)$$

Rychlost konstantního pohybu

$$v_{Yrov} = \frac{l_{Yrov}}{t_{Yrov}} = \frac{0,98}{0,75} = 1,31 \text{ m/s} \quad (33)$$

Lineární zrychlení

$$a_{Ykin} = \frac{v_{Yrov}}{t_{Yac}} = \frac{1,31}{0,6} = 1,638 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (34)$$

Úhlové zrychlení motoru

$$\varepsilon_{Ym} = \frac{a_{Ykin}}{r_{rem}} \cdot i = \frac{1,638}{0,0239} \cdot 3 = 205,61 \text{ rad}^{-2} \quad (35)$$

Limitní vzdálenost

$$s_{Ykon} = \frac{v_{Yrov}^2}{a_{Ykin}} = \frac{1,31^2}{1,638} = 1,05 \text{ m} \quad (36)$$

$$l_y \geq s_{Ykon} \rightarrow \text{podlimitní rychlost}$$

Kdy celkový čas cyklu je:

$$T_{Ykon} = \frac{l_y}{v_{Yrov}} + \frac{v_{Yrov}}{a_{Ykin}} = \frac{1,58}{1,31} + \frac{1,31}{1,638} = 2,01 \text{ s} \quad (37)$$

Dynamické hledisko

Momentová rovnice určující potřebný moment motoru

$$M_{Ymdyn} = J_{rhm} \cdot \varepsilon_{Ym} + M_{zdrhm} \quad [32] \quad (38)$$

Celkový moment setrvačnosti

$$J_{rhm} = J_{mot} + J_{prev} + J_{mod} + \frac{J_m}{i^2} \quad [32] \quad (39)$$

Moment setrvačnosti zátěže

$$I_{zat} = J_m = m_{sup} \cdot r_{rem}^2 = 18,9 \cdot 0,0239^2 = 0,011 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (40)$$

Dále je doplněn moment setrvačnosti do rovnice (39) pro celkový moment setrvačnosti

$$\begin{aligned} J_{rhm} &= J_{mot} + J_{prev} + J_{mod} + \frac{J_m}{i^2} = \\ &= 2,7 \cdot 10^{-4} + 3,59 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 7,4 \cdot 10^{-5} + \frac{0,011}{3^2} = \\ J_{rhm} &= 1,676 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned} \quad (41)$$

Dosažením do momentové rovnice (38):

$$\begin{aligned} M_{Ymdyn} &= J_{rhm} \cdot \varepsilon_{Ym} + M_{zdrhm} = \\ &= 1,676 \cdot 10^{-3} \cdot 205,61 + 0,53 \\ M_m &= 0,875 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (42)$$

Z výpočtu potřebného kroutícího momentu je patrné, že je možné použít stejný servopohon jako tomu bylo v případě manipulátoru manipulační hlavice.

6.2 Kontrola únosnosti sloupů

Při návrhu řešení zařízení pro obsluhu vstřikovacího lisu byly některé manipulační segmenty umístěny na ocelovou plošinu, jež je postavena na ocelových sloupech tvořených z profilu HEB 140. Proto bylo nezbytné zkontrolovat jejich únosnost. Samotné zatížení je počítáno pouze u té části plošiny, kde se nachází manipulační stanice společně s vynášecím dopravníkem, a v případě odběru lišt i s koncovým efektem robotu. Hmotnosti veškerých komponent jsou získány z programu Inventor, konkrétně ze záložky iVlastnosti, kde je zobrazena přibližná hmotnost sestavy. Dále se nesmí opomenout skutečnosti, že se na plošině bude nacházet i servisní technik, například při servisu nebo ladění. Vzhledem k tomu, že není jisté, kolik lidí se bude na plošině nacházet v jeden moment, byl předpokládán celkový počet 6ti lidí s průměrnou hmotností 90 kg.

Plošina je umístěna na celkem 5 sloupech, jež jsou rozmístěny různě pod plošinou, v závislosti na rozložení využitelného místa pod plošinou. Vzhledem k charakteristice zatížení bylo ke sloupům přístupováno jako k prutům, jež jsou namáhány silou působící v axiálním směru. Z toho důvodu jsou pruty (sloupy) kontrolovány na vzpěrnou stabilitu, při které je kontrolováno, zda se sloupy vyhnou vlivem působící síly.

Výčet jednotlivých hmotností segmentů:

Plošina:

$$m_{plos} = 750 \text{ kg}$$

Ochranné zábradlí:

$$m_{zabr} = 180 \text{ kg}$$

Manipulační stanice:

$$m_{stan} = 340 \text{ kg}$$

Vynášecí dopravník:

$$m_{dopr} = 250 \text{ kg}$$

Koncový efektor:

$$m_{ef} = 100 \text{ kg}$$

Osoba:

$$m_{os} = 90 \text{ kg}$$

Celková hmotnost zatěžující sloupy je:

$$\begin{aligned} m_{celk} &= m_{plos} + m_{zabr} + m_{stan} + m_{dopr} + m_{ef} + 6 \cdot m_{os} = \\ &= 750 + 180 + 340 + 250 + 100 + 6 \cdot 90 = \\ m_{celk} &= 2160 \text{ kg} \end{aligned} \quad (43)$$

Celková zatěžující síla je poté:

$$F_{celk} = m_{celk} \cdot g = 2160 \cdot 9,81 = 21189 \text{ N} \quad (44)$$

Kdy při přepočtu na jeden sloup vyjde síla:

$$F_{sloup} = \frac{F_{celk}}{n} = \frac{21189}{5} = 4237 \text{ N} \quad (45)$$

Kontrola na vzpěrnou stabilitu

Při kontrole vzpěrné stability je hledanou veličinou kritická síla, při které prut ztrácí vzpěrnou stabilitu a vyhne se.

Vzorec pro kritickou sílu má tento tvar:

$$F_{krit} = \frac{\alpha^2 \cdot E \cdot J_{min}}{L^2} \quad (46)$$

Kde:

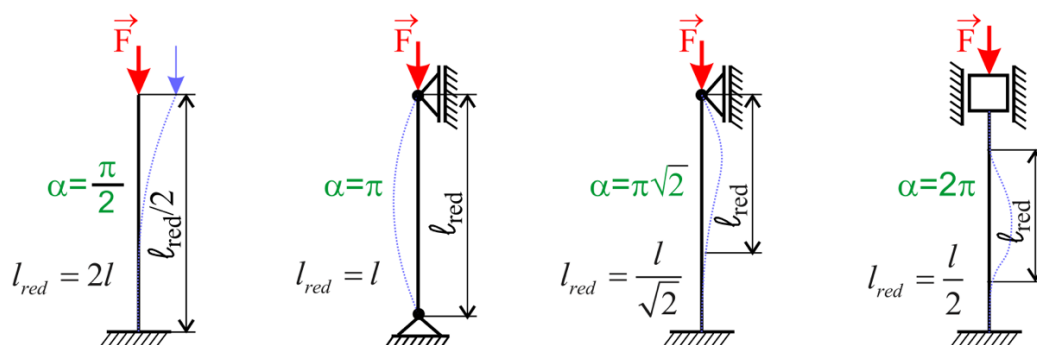
α ... druh vzpěru podle způsobu uložení

E ... Youngův modul pružnosti

J_{min} ... minimální kvadratický moment průřezu prutu

L ... délka prutu

Prvně je nutné vybrat způsob uložení prutu ve vazbách. Běžně se uvádějí celkem 4 způsoby uložení [33], jak je zobrazeno na Obr. 57.



Obr. 57: Přehled možných konfigurací uložení prutů [33]

Způsob uložení byl vybrán jako vetknutý prut s volným koncem, jenž se nejvíce přibližuje k reálnému použití, kdy jsou sloupy pevně ukotveny k podlaze a druhému konci je umožněn volný pohyb, jelikož plošina není pevně ukotvena.

Pro druh vzpěru tedy platí vztah:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \quad (47)$$

Dále bylo nutné zjistit kvadratický moment průřezu k jednotlivým osám. Ten byl zjištěn pomocí online kalkulačky na stránkách e-konstruktor [34]. Navržený prut HEB 140 není v průřezu symetrický, tudíž má odlišné kvadratické momenty vztažené k rovinám X a Y. Z tohoto důvodu je počítáno s nižším kvadratickým momentem, jelikož je to rovina, ve které se prut prohne.

Kvadratický moment k ose Y:

$$J_y = 3204934.83 \text{ mm}^4 \quad [34]$$

Kvadratický moment k ose X

$$J_x = 9842499.33 \text{ mm}^4 \quad [34]$$

Minimální kvadratický moment

$$J_y < J_x \rightarrow J_{min} = J_y \quad (48)$$

Délka sloupů:

$$L = 2900 \text{ mm}$$

Youngův modul pružnosti:

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Dosazením proměnných do vzorce kritické síly (46):

$$F_{krit} = \frac{\alpha^2 \cdot E \cdot J_{min}}{L^2} = \frac{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,2049 \cdot 10^{-6}}{3^2} = 184514 \text{ N} \quad (49)$$

Kontrola bezpečnosti vzpěrné stability:

$$k_{vzp} = \frac{F_{krit}}{F_{sloup}} = \frac{184514}{4238} = 43,5 \quad (50)$$

Jelikož je možné, že dříve než ke ztrátě vzpěrné stability může dojít k plastickým deformacím, je nutné zkontrolovat, zda nedojde k napětí, jež by překonalo mez kluzu. Profil HEB 140 je z oceli S235JR, jež má mez kluzu $Re = 195 \text{ MPa}$.

Napětí vyvolané působením síly na prut:

$$\sigma = \frac{F_{sloup}}{S_{sloup}} = \frac{4120}{4,172 \cdot 10^{-3}} = 987536 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa} \quad (51)$$

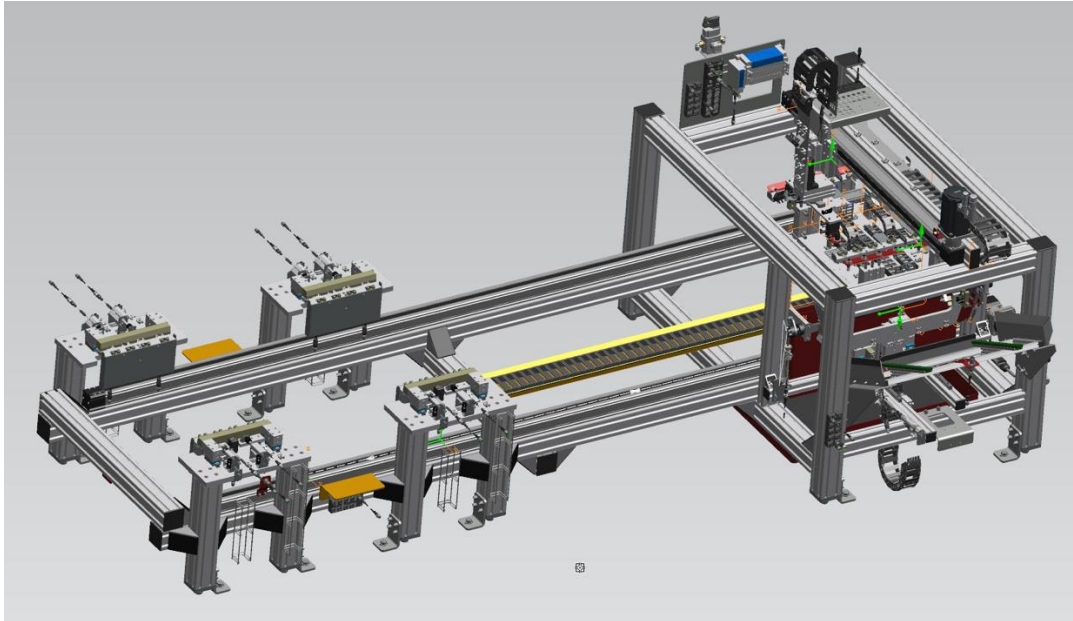
Kontrola bezpečnosti vzniku plastické deformace:

$$k_{def} = \frac{Re}{\sigma} = \frac{195}{0,1} = 1950 \quad (52)$$

Na základě výpočtů je navržený profil dostatečně pevný pro udržení veškerého zatížení na plošině. Zvolený profil dle výpočtů je značně předimenzovaný, ale na základě konzultace s firmou Inprotec byla volba profilu odsouhlasena z důvodu zachování robustnosti a tuhosti konstrukce.

6.3 Simulace taktu podávání lišt

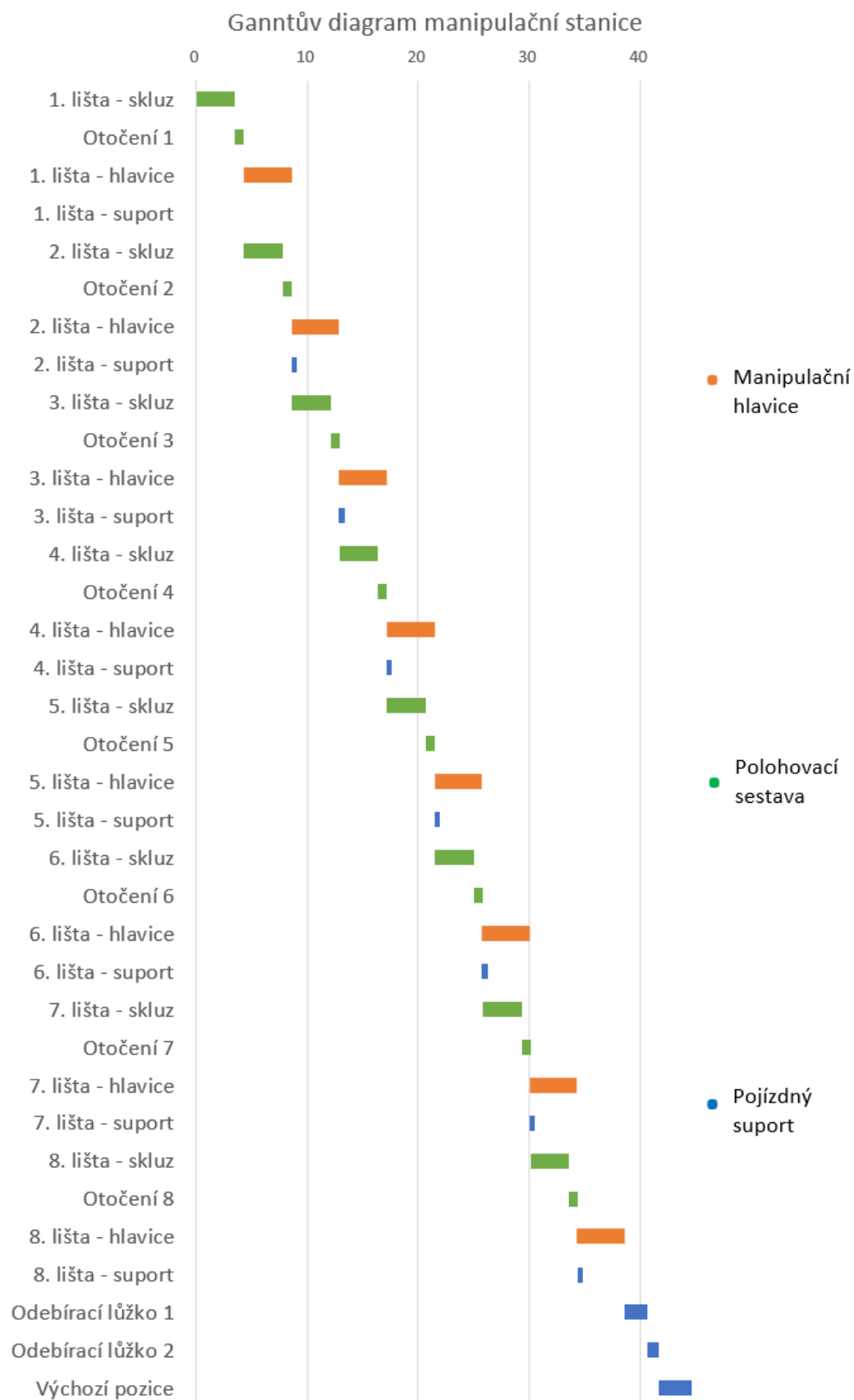
Časová vytíženost je pro zákazníka jedním z nejdůležitějších parametrů navrženého stroje. Je možné ji zobrazit na časové ose například pomocí Gantového diagramu viz. Graf 1. Zde bývají vyznačeny primární operace, jež nějakým způsobem zasahují do taktu stroje. Pro zlepšení představy o plynulosti chodu stroje je možné využít programy, ve kterých je možné zařízení rozpohybovat, a tím nasimulovat jeho chod v offline prostředí. Mezi tyto programy se například řadí Tecnomatix Process Simulate, Visual Components nebo Emulate 3D. V případě této diplomové práce byl využit program Process Simulate, který nabízí intuitivní ovládání a širokou škálu použitelných nástrojů.

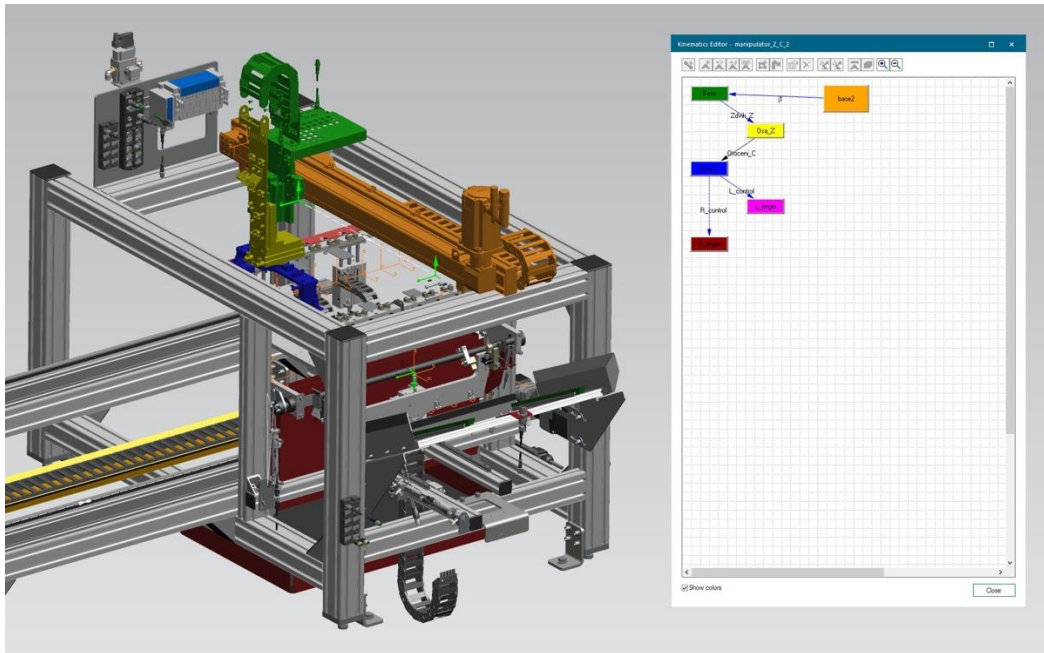


Obr. 58: Simulovaná část stanice

Tvorba simulace začíná vložením 3D modelů do prostředí programu, kde je jednotlivým komponentám přiřazen typ podle jejich funkce v simulaci. Používanými typy jsou Fixture (statický model tvořící vizuální reprezentaci), Gripper (dynamický model umožňující tvorbu kinematických vazeb), Device (dynamický model s definovanými polohami) a Conveyor (dynamický člen pro přesun komponent). Každý typ komponenty umožňuje použití jiných operací, kde jejich kombinací je docíleno pohybujícího se modelu. V simulaci byly řešeny komponenty manipulační stanice, která v konečném důsledku určuje takt podávání lišt, jelikož je nejvíce časově vytížená. Vzhledem ke komplexnosti kinematických členů, je stanice rozdělena na menší skupiny, kdy každé z nich je přidělen typ popsáný výše. Oběma manipulátorům je přidělen typ Conveyor, jenž umožňuje použití Flow Operation, díky které je možné manipulátory přesouvat mezi pozicemi s nastavením rychlostních křivek. Pro manipulační hlavici byl zvolen typ Device, pomocí kterého je možné nastavení jednotlivých kinematik pohyblivých mechanismů, jak je zobrazeno na Obr. 60. V typu Device jsou nastavovány poziční reprezentace, mezi kterými je pohyblivá sestava přepínána. Pro veškeré statické modely simulace je nastaven typ Fixture.

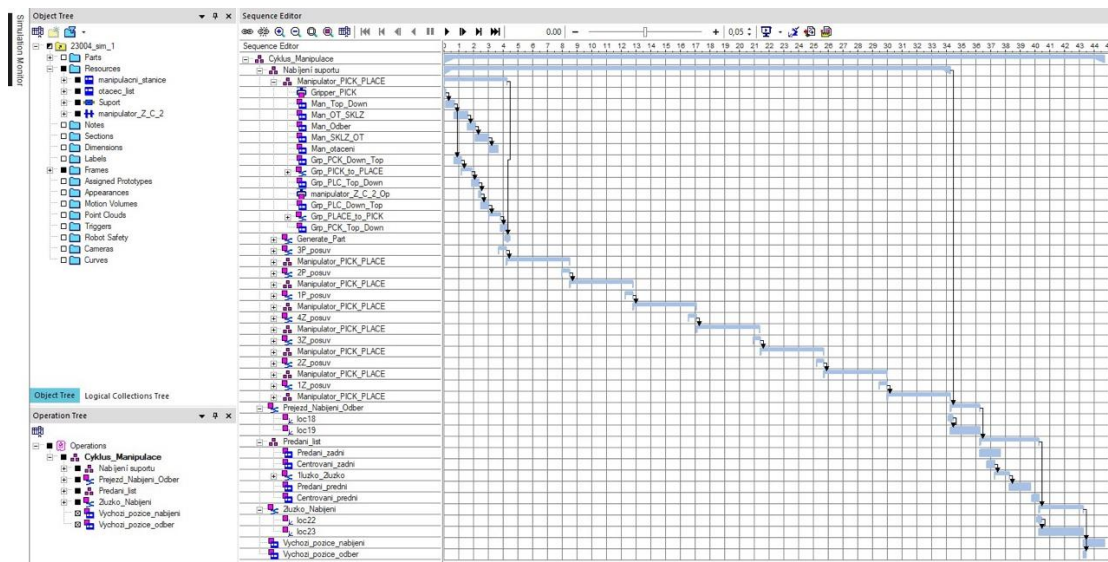
Graf 1: Zobrazení operací manipulační stanice na časové ose





Obr. 59: Ukázka definice kinematického řetězce manipulátoru

Dalším krokem pro rozpořádání stroje je vytvoření jednotlivých operací, které se postupně vkládají do panelu sequence editor, ve kterém jsou operace seřazeny podle jejich návaznosti, stejně jako tomu je v případě Gantova diagramu. Jeho příklad je ukázán na Obr. 60. Jelikož při simulaci není využit robot a jsou testovány pouze pohyby manipulační stanice, jsou využity pouze operace flow operation a device operation. Podle provedených výpočtů byly operacím přiřazeny časy a rychlosti.



Obr. 60: Ukázka operací simulace

Výsledkem této simulace je celkový takt přípravy lišt pro odebrání, jenž má hodnotu 44 s. Poměrně neobvyklým benefitem této simulace je výstupní video, jež zřetelně ukazuje kompletní proces podávání lišt a slouží tak jako přehledný podklad pro psaní programu. Simulace jako taková má velkou přidanou hodnotu i pro zákazníka, který má lepší představu o funkci stroje.

7 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Navržené automatizované zařízení splňuje zadané požadavky společně s požadavky definovaných v průběhu návrhu. V průběhu návrhu se částečně vycházelo z již existujícího pracoviště, kde na základě zpětné vazby od zákazníka byly provedeny změny v designu komponent, se kterými mají problémy, převážně z hlediska chování ocelových lišt při odebírání a zakládání koncovým efektozem. Navržené pracoviště je koncipováno jako jednoúčelové zařízení, tudíž jakákoliv změna ve výrobě povede k zásadním změnám konstrukce zařízení.

Navržené varianty byly omezeny pouze na způsoby podávání ocelových lišt ve vrchní části plošiny a podávání dílů ve spodní části bylo vymezené na automatický podavač dodávaný firmou Advateq a vynášecí dopravník. Důvodem tohoto vymezení je úzká spolupráce mezi firmou Inprotec a Advateq, tudíž se design vynášecího dopravníku odvíjel od designu automatického podavače. V případě poptávky u jiné firmy zabývající se automatickým podáváním dílů by design mohl vypadat zcela jinak, jelikož každá firma má jiné preference ve způsobu podávání dílů. Koncept vynášecího dopravníku by nejspíše byl velice podobný navrženému řešení.

Co se týče návrhu manipulační stanice, bylo zde více návrhů uspořádání odebíracích lůžek, kde v první variantě měla lůžka shodnou rozteč jako na pojízdném suportu. To by přineslo ušetření času taktu, kdy pojízdný suport dojíždí pouze do jedné pozice a nemusí se znovu rozjíždět k druhé pozici pro předání druhé sady lišt, jako je v současném řešení. Omezením tohoto řešení však bylo nutné přejetí robotu mezi odebíracími pozicemi, jelikož je odlišná rozteč ocelových lišt na odebíracích lůžkách vůči rozteči lišt umístěných ve formě. Bylo by však možné změnit koncept koncového efektozu, kdy by byla jedna zakládací část posuvná. To by však značně komplikovalo konstrukci koncového efektozu a vedlo by to i ke zvýšení jeho hmotnosti.

Za povšimnutí stojí řešení otáčení lišty, které v počátku návrhu vypadalo zcela jinak, kdy jedním z návrhů bylo využití kamery, která by snímala pozici natočení lišty a pomocí kombinace kyvného pohonu a chapadla by byla lišta otočena. Toto řešení bylo nevyhnutelné do doby, než bylo prozkoumáno více do hloubky chování lišty v různých částech jejího tvaru, a bylo více pozic, ve kterých lišta stabilně držela pozici. Jakmile byly možné pozice vymezeny pouze na dvě, bylo využití kamery zbytečné a pouze by byl prodražován řešený návrh.

Poměrně velkou rezervou práce je pevnostní kontrola sloupů a celkově konstrukce plošiny, kdy je v práci kontrolována pouze vzpěrná stabilita. Vzhledem ke komplexnosti celé plošiny by byla vhodná pevnostní analýza pomocí metody konečných prvků. To by však značně zvětšilo obsah této práce. V praxi je konstrukční řešení předáváno firmám, které se touto analýzou zabývají a podávají návrhy na úpravu konstrukce. Tím je ušetřen čas návrhu zařízení za cenu zvýšení nákladů na návrh.

Co považují za přidanou hodnotu práce je jednoduchá simulace podávání lišt, při které je kontrolován takt podávání lišt. To ocení převážně zákazník, který má hlubší představu o funkci zařízení. Zadaný takt zákazníkem na podávání lišt byl 45 s. Podle simulace je výsledný takt roven 44 s, což přesně splňuje zadané požadavky. V praxi je možné tento takt upravit změnou rychlostí na jednotlivých osách a také na pneumatických pohonech.

8 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navržení konstrukčního řešení obsluhy vstřikovacího lisu, do kterého vstupují zálisky ve formě ocelových lišt a vystupují z něj dva plastové rámy s vloženými lištami. Práce začíná rešerší v oblasti problematiky technologie vstřikování plastů a způsoby obsluhy vstřikovacích lisů. Dále jsou v rešeršní části probrány možnosti automatického podávání dílů společně s úvodem do problematiky konstrukce koncových efektorů.

Na rešeršní část práce navazuje systémový rozbor, kde je probrán současný stav pracoviště, jehož výsledkem jsou poznatky týkající možných vylepšení současného návrhu. Dále jsou definovány požadavky na navrhované zařízení včetně představení využitelného prostoru a manipulovaných dílů.

Po představení veškerých požadavků jsou navrženy tři varianty možného řešení lišící ve způsobu manipulace ocelových lišt ve vrchní části zařízení. Jednotlivé varianty jsou následně hodnoceny podle stanovených kritérií, na jejichž základě je podle vícekritériální analýzy vybrána nejvhodnější varianta. Výsledkem analýzy je řešení využívající manipulační stanici pro dopravu a přípravu ocelových lišt pro odebrání. Tato varianta je podrobně konstrukčně zpracována.

Konstrukční návrh začíná popsáním funkce pracoviště. Následně jsou podle materiálového toku postupně představeny jednotlivé části automatizovaného zařízení, počínaje automatickým podavačem dílů, jenž je dodán externí firmou a není tak součástí návrhu. Navazující částí je poté samotná manipulace s lištou, která je do vrchního prostoru vynesena vynášecím dopravníkem, který ji předá do manipulační stanice. Zde jsou lišty postupně připravovány pro založení do odebíracích lůžek. Po jejich přípravě jsou odebrány koncovým efektozem, jenž je přimontován na průmyslovém robotu Kuka KR150 2000, jež je součástí již existujícího pracoviště. Proběhla kontrola nosnosti robotu vzhledem k hmotnosti koncového efektoru, který zakládá připravené ocelové lišty do formy a následně odebírá dvojici plastových rámu, jež jsou odloženy na výstupní dopravník. Dále je rozebrán konstrukční návrh plošiny, na které je umístěna manipulační stanice společně s elektrickým rozvaděčem. Při návrhu plošiny byl kladen důraz na bezpečnost, proto je plošina opatřena bezpečnostním zábradlím, jež je vybaveno posuvnou zábranou pro rozšíření pracovního prostoru robotu. Do pracovního prostoru zařízení se vstupuje skrze dveře, jež jsou zabezpečeny bezpečnostní klikou. Plošina je postavena celkem na sedmi sloupech, jež jsou pevně ukotveny k zemi a spojeny s plošinou pomocí šroubů. Pro zvýšení tuhosti jsou některé sloupy zavětrovány pomocí plechů. Spodní pracovní prostor zařízení je zakrytý plechy a vstup je opět umožněn skrze dveře, jež jsou zabezpečeny pomocí bezpečnostní kliky. Na spodních dveřích je také umístěn ovládací panel pracoviště.

Kontrolní výpočty jsou zaměřeny na návrh servomotorů, které pohánějí manipulator a pojízdný suport. Při výpočtu byla zohledněna celkem tři hlediska statické, kinematické a dynamické. Výstupem je potřebný moment pro pohon jednotlivých os, na základě kterého jsou zvoleny servomotory. Další částí výpočtu byla kontrola sloupů na vzpěrnou stabilitu, kde je výstupem stupeň bezpečnosti. V poslední části výpočtu je kontrola taktu manipulační stanice, která proběhla pomocí simulace v programu Process Simulate. Výsledkem simulace bylo potvrzení dodržení stanoveného taktu 45 s.

Součástí přílohy je 3D model celé konstruované sestavy, společně se zjednodušených modely nakupovaných komponent. Dále je v příloze celkem 5 výkresů, jeden výkres hlavní sestavy, dále jeden výkres podsestavy a celkem tři výrobní výkresy. Obsahem přílohy je také technická dokumentace průmyslového robotu Kuka. Poslední položkou v příloze je analýza rizik dle předlohy firmy Inprotec.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. Technologie II. *Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [2] Vstřikovací jednotka. In: *Publi.cz* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/images/pics/4.jpg>
- [3] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. © Code Creator, 2016 [cit. 2024-05-21]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [4] Schéma vstřikovacího cyklu šnekových vstřikolisů. In: *Publi.cz* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/images/pics/3.jpg>
- [5] Vstřikovaný díl se zálskem. In: *Zlín Precision* [online]. © 2008 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <http://www.zlin-precision.cz/fotos/reference/zp-product15.jpg>
- [6] Zdokonalené postupy vstřikování plastů a automatizace při výrobě | MM Průmyslové spektrum. *MM Průmyslové spektrum - nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah...* [online]. 2007, 07.02.2007 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zdokonalene-postupy-vstrikovani-plastu-a-automatizace-pri-vyrobe>
- [7] [Obsluha vstřikovacího lisu]. In: *3erp* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.3erp.com/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2020/04/injection-molding-e1587367308352.jpeg.webp>
- [8] PIONEER PLASTICS. Custom Injection Molding—3 Common Methods for Part Ejection. *Pioneer plastics* [online]. © 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.pioneerplastics.com/blog/custom-injection-molding-3-common-methods-for-part-ejection/>
- [9] Bloodtubes. In: *MHT Mold & Hotrunner Technology AG · home* [online]. c 1998-2018 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://www.mht-ag.com/fileadmin/user_upload/bloodtubes2.png
- [10] Molding of truck parts. In: *Dynamic Conveyor | Custom Conveyor Systems - and Solutions* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://dynamicconveyor.com/wp-content/uploads/2015/09/molding_of_truck_parts.jpg
- [11] Krumpholz. In: KUKA. *Industrial intelligence 4.0 beyond automation / KUKA AG* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/images/industries/case-studies/krumpholz/krumpholz.jpg?rev=ff44fc4ffd52457cb72857394d35b978&w=1900&hash=BB31230FF478B518CCDFC1AAB2CC82CA>
- [12] [Robot Wittmann]. In: *Fortell* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://www.fortell.cz/files/gallery_images/0/rlkbu/06.jpg

- [13] Robot-Guided Injection Molding | Plastic Robotic Injection Molding. *Custom Molding, Design, and Engineering Services | Lomont Molding* [online]. c 2017 - 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.lomont.com/robotics>
- [14] End of Arm Tooling components. In: *Dek* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://dekmake.b-cdn.net/wp-content/uploads/End-of-Arm-Tooling-components.jpg>
- [15] ROX - Kruhové vibrační zásobníky - KZ. *ROX spol. s.r.o. - Vibrační technika* [online]. c 2009 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: http://www.rox.cz/vyrobky0210-kruhove_vibracni_zasobniky.php
- [16] BOOTHROYD, Geoffrey. *Assembly Automation and Product Design* [online]. 2. CRC Press, 2005 [cit. 2024-05-21]. ISBN 978-1-57444-643-2. Dostupné z: <http://www.iqytechnicalcollege.com/BAE%20682-Assembly%20Automation%20&%20Product%20Design.pdf>
- [17] [Kruhový vibrační zásobník]. In: *Úvod | Kovo Hanus* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://www.kovohanus.eu/files/20181105/1541420822_999607-full.jpg
- [18] Produkty | Advateq | Vibrační podavače a podávací technika. *Advateq / Vibrační podavače a podávací technika* [online]. c 2019 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://advateq.cz/produkty>
- [19] [Lineární vibrační podavač]. In: *PlasticPortal.cz- Portál pro plastikářský a gumárenský průmysl* [online]. c 2009 - 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://www.plasticportal.cz/image/clanky/4758/tn_10815.jpg
- [20] [Předzásobník]. In: *Vibrační technika Libor Kříž | LiborKříž.eu* [online]. c 2020 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://www.liborkriz.eu/cache/img/contents/base/se7j1jw5dsf2qvll/dscn3321.jpg_1280_1024.jpg
- [21] Advantages of Part Feeding with Step Feeders. *Bellco Feeders* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.bellcofeeders.com/blog/part-feeding-with-step-feeders>
- [22] PFSM Step Feeder. In: *Performance Feeders - Industrial Automation for Assembly Lines* [online]. c 2023 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: https://performancefeeders.com/wp-content/uploads/2018/10/PFSM_Step_Feeder.jpg
- [23] EVROPSKÝ VÝBOR PRO NORMALIZACI. ČSN EN ISO 14122-3, *Bezpečnost strojních zařízení - Trvalé prostředky přístupu ke strojním zařízením - Část 3: Schodiště, žebříková schodiště a ochranná zábradlí*. 3. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [24] EVROPSKÝ VÝBOR PRO NORMALIZACI. ČSN EN ISO 13857, *Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostorů horními a dolními končetinami*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.

- [25] [Indukční snímač]. In: BALLUFF. *Homepage / Balluff* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://assets.balluff.com/product_detail_1280x1280/7200013676_AB_P_00_00_00.png
- [26] [BGL0019]. In: BALLUFF. *Homepage / Balluff* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://assets.balluff.com/product_detail_1280x1280/45186_01_P_00_00_00.png
- [27] BOS0255. In: *Homepage / Balluff* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://assets.balluff.com/product_detail_1280x1280/48550_01_P_00_00_00.png
- [28] BMF00P7. In: BALLUFF. *Homepage / Balluff* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://assets.balluff.com/product_detail_1280x1280/58240_00_P_00_00_00.png
- [29] BCS00MF. In: BALLUFF. *Homepage / Balluff* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://assets.balluff.com/product_detail_1280x1280/45604_00_P_00_00_00.png
- [30] MVP12 plastic DI16 IOLMu. In: *MurrElektronik* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://shop.murrelektronik.cz/out/pictures/generated/product/1/665_665_75/IMG850441_zoom.png
- [31] [Energetický řetez]. In: *Image and Video Upload, Storage, Optimization and CDN* [online]. c 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: https://res.cloudinary.com/rsc/image/upload/b_rgb:FFFFFF,c_pad,dpr_2.625,f_auto,h_214,q_auto,w_380/c_pad,h_214,w_380/R8141929-01?pgw=1
- [32] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. 3. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [33] JIŘÍ, Burša, Horníková JANA a Janíček PŘEMYSL. *Pružnost a pevnost* [online]. Brno: Akademické nakladatelství, 2003 [cit. 2024-05-22]. ISBN 80-7204-268-8. Dostupné z: <http://beta.fme.vutbr.cz/cpp/texty/p15.pdf>
- [34] Výpočet kvadratického momentu - Portál pro strojní konstruktéry. *Portál pro strojní konstruktéry* [online]. c 2013 - 2017 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/14-kvadraticky-moment-a-modul-prurezu-v-ohybu/101-kvadraticky-moment-prurezu-modul-prurezu-v-ohybu-h-profilu>

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ

10.1 Seznam zkratek a symbolů

Obr.		obrázek
OK		správně smontovaná sestava
NOK		chybně smontovaná sestava
3D		three-dimensional (trojrozměrný)
2D		two-dimensional (dvourozměrný)
PLC		programovatelný logický automat
HMI		Rozhraní člověk stroj
p_{mod}	[mm]	Posun na otáčku řemenice
M_o	[Nm]	Momentový odpor lineárního modulu
J_{mod}	[kg·cm ⁴]	Moment setrvačnosti lineárního modulu
l_x	[mm]	Přejezdová vzdálenost manipulační hlavice
l_{Xac}	[mm]	Dráha zrychlení hlavice
l_{Xdec}	[mm]	Dráha zpomalení hlavice
t_{Xac}	[s]	Doba zrychlení hlavice
t_{Xdec}	[s]	Doba zpomalení hlavice
m_{hl}	[kg]	Hmotnost manipulační hlavice
M_{Xmstat}	[Nm]	Moment motoru ze statického hlediska pro hlavici
F_X	[N]	Radiální síla rozjezdu hlavice
M_{Xmdyn}	[Nm]	Moment motoru z dynamického hlediska pro hlavici
s	[mm]	Stoupání šroubu
i	[-]	Převodový poměr
η_c	[-]	Účinnost řemenového převodu
M_{zsrhm}	[Nm]	Moment od zátěžných sil
r_{rem}	[mm]	Poloměr řemenice
O_{rem}	[mm]	Obvod řemenice
a_{hl}	[m·s ⁻²]	Zrychlení manipulační hlavice
l_{Xrov}	[mm]	Dráha konstantní rychlosti hlavice
T_X	[s]	Celková doba pohybu
t_{Xrov}	[s]	Doba konstantní rychlosti hlavice
v_{Xrov}	[m·s ⁻¹]	Konstantní rychlost hlavice
a_{Xkin}	[m·s ⁻²]	Zrychlení hlavice z kinematického hlediska
ε_{Xm}	[rad·s ⁻²]	Úhlové zrychlení motoru
S_{Xkon}	[mm]	Limitní vzdálenost konstantní rychlosti
T_{Xkon}	[s]	Výsledná doba pohybu
I_{Xzat}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti od zátěže hlavice
J_{rhm}	[kg·m ²]	Celkový moment setrvačnosti redukováný na hřídel
J_{mot}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti motoru
J_{prev}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti převodovky
J_{mod}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti lineárního modulu
J_m	[kg·m ²]	Redukovaný moment setrvačnosti od zátěže
E_{krot}	[J]	Kinetická energie rotačního pohybu
E_{krovn}	[J]	Kinetická energie rovnoměrného pohybu

ω	[rad·s ⁻¹]	Úhlová rychlost
v	[m·s ⁻¹]	Rychlost
l_y	[mm]	Přejezdová vzdálenost pojízdného suportu
l_{Yac}	[mm]	Dráha zrychlení suportu
l_{Ydec}	[mm]	Dráha zpomalení suportu
l_{Yrov}	[mm]	Dráha konstantní rychlosti suportu
t_{Yac}	[s]	Doba zrychlení suportu
t_{Ydec}	[s]	Doba zpomalení suportu
F_Y	[N]	Radiální síla rozjezdu suportu
M_{Ymstat}	[Nm]	Moment motoru ze statického hlediska pro suport
m_{sup}	[kg]	Hmotnost suportu
a_{sup}	[m·s ⁻²]	Zrychlení suportu
M_{Ydyn}	[Nm]	Moment motoru z dynamického hlediska
v_{Yrov}	[m·s ⁻¹]	Konstantní rychlost suportu
a_{Ykin}	[m·s ⁻²]	Kinematické zrychlení suportu
ε_{Ym}	[rad·s ⁻²]	Úhlové zrychlení řemenice
S_{Ykon}	[mm]	Limitní vzdálenost konstantní rychlosti
T_{Ykon}	[s]	Výsledná doba pohybu
I_{Yzat}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti od zátěže suportu
m_{plos}	[kg]	Hmotnost plošiny
m_{zabr}	[kg]	Hmotnost zábradlí
m_{stan}	[kg]	Hmotnost manipulační stanice
m_{dopr}	[kg]	Hmotnost vynášecího dopravníku
m_{ef}	[kg]	Hmotnost koncového efektoru
m_{os}	[kg]	Hmotnost osoby
m_{celk}	[kg]	Celková hmotnost
F_{celk}	[N]	Zatěžovací síla
F_{sloup}	[N]	Síla působící na jeden sloup
F_{krit}	[N]	Kritická síla při porušení vzpěrné stability
g	[m·s ⁻²]	Gravitační zrychlení
α	[-]	Typ uložení prutu
E	[Pa]	Youngův modul pružnosti
J_{min}	[mm ⁴]	Minimální kvadratický moment
L	[mm]	Délka sloupu
J_y	[mm ⁴]	Kvadratický moment k ose Y
J_x	[mm ⁴]	Kvadratický moment k ose X
S_{sloup}	[mm ²]	Plocha průřezu sloupu
Re	[Pa]	Mez kluzu
k_{vzp}	[-]	Bezpečnost na vzpěr
k_{pev}	[-]	Bezpečnost na vznik plastické deformace

10.2 Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled kritérií s uvedením vah	31
Tab. 2: Vícekriteriální analýza	32
Tab. 3: Popis funkcí tlačítek stroje	52

10.3 Seznam grafů

Graf 1: Zobrazení operací manipulační stanice na časové ose	67
---	----

10.4 Seznam obrázků

Obr. 1: Popis vstřikovací jednotky [2]	14
Obr. 2: Schéma vstřikovacího cyklu šnekových vstřikolisů [4]	15
Obr. 3: Plastový výlisek se zálisky [5].....	15
Obr. 4: Ruční zakládání do lisu [7]	16
Obr. 5: Ukázka vyhazování výlisků z formy [9].....	17
Obr. 6: Ukázka manipulace s výlisky [10].....	18
Obr. 7: Robotická buňka pro obsluhu vstřikovacího lisu [11].....	19
Obr. 8: Využití 4-osého robotu [12]	19
Obr. 9: Koncový efektor pro odebrání výlisků [14]	20
Obr. 10: Kruhový vibrační zásobník od firmy Hanus [17].....	21
Obr. 11: Ukázka principu orientování dílů [16].....	22
Obr. 12: Spojení lineárního vibračního podavače s kruhovým podavačem [19].....	22
Obr. 13: Předzásobník s dopravníkem od firmy Advateq	23
Obr. 14: Předzásobník s lineárním vibračním pohonem od firmy Libor Kříž [20]	23
Obr. 15: Krokový podavač od firmy Performance Feeders [22].....	24
Obr. 16: Využitelný prostor pracoviště.....	26
Obr. 17: Ocelová lišta	27
Obr. 18: Plastový rám se zálisky	27
Obr. 19: Varianta č. 1 s průmyslovým robotem	29
Obr. 20: Varianta č. 2 s manipulační stanicí.....	30
Obr. 21: Varianta č. 3 s nekonečným dopravníkem	31
Obr. 22: Přehled použitých částí stanice.....	33
Obr. 23: Popis automatického podavače dílů	34
Obr. 24: Popis vynášecího dopravníku	35
Obr. 25: Popis manipulační stanice	35
Obr. 26: Popis polohovací sestavy.....	36
Obr. 27: Popis polohovadla	37
Obr. 28: Průběh otáčení ocelové lišty	37
Obr. 29: Popis manipulátoru	38
Obr. 30: Popis manipulační hlavice	38
Obr. 31: Popis pojízdného suportu	39
Obr. 32: Popis odkládacích lůžek pojízdného suportu	40
Obr. 33: Popis pozice nabíjení suportu	40
Obr. 34: Prvky odebrací části	41
Obr. 35: Uložení ocelové lišty v odebracím lůžku	42
Obr. 36: Popis prvků odebracího lůžka	43
Obr. 37: Popis prvků koncového efektoru	43
Obr. 38: Graf nosnosti robotu v závislosti polohy těžiště.....	44
Obr. 39: Ukázka zakládání a odebrání dílů v prostoru lisu	45
Obr. 40: Odebrací segment plastového rámu	45

Obr. 41: Popis zakládacího segmentu koncového efektoru	46
Obr. 42: Prvky plošiny	47
Obr. 43: Popis posuvné zábrany.....	48
Obr. 44: Popis konstrukce plošiny	49
Obr. 45: Popis schodiště.....	49
Obr. 46: Rozmístění bezpečnostních prvků	50
Obr. 47: Ukázka bezpečnostní kliky	51
Obr. 48: Popis ovládacího panelu	51
Obr. 49: Indukční snímač [24]	53
Obr. 50: Ukázka optoelektronických snímačů[25; 26]	53
Obr. 51: Magnetický snímač [27]	54
Obr. 52: Kapacitní snímač [28]	54
Obr. 53: IO-link modul [29].....	55
Obr. 54: Energetický řetěz[30].....	55
Obr. 55: Rychlostní profil manipulační hlavice.....	56
Obr. 56: Rychlostní profil pojízdného suportu	60
Obr. 57: Přehled možných konfigurací uložení prutů [32]	64
Obr. 58: Simulovaná část stanice	66
Obr. 59: Ukázka definice kinematického řetězce manipulátoru	68
Obr. 60: Ukázka operací simulace	68

11 SEZNAM PŘÍLOH

1	I-00036001	Výkres hlavní sestavy
2	I-00036082	Výkres sestavy odebíracího lůžka
3	I-00036083	Výrobní výkres výsuvné desky - pravé
4	I-00036015	Výrobní výkres pevného lůžka
5	I-00036280	Výrobní výkres základny základacího segmentu
6	DP_analýza_rizik	Analýza rizik
7	MA_KR_2000_K	Technická dokumentace robotu
8	208524_3D_model	3D model pracoviště