



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 AUTOMATIZACE PŘEKLÁDACÍ JEDNOTKY

DESIGN OF AUTOMATIZATION OF HANDLING UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Franěk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Pavel Franěk**
Studijní program: Mechatronika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh automatizace překládací jednotky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je návrh nového pracoviště na překládání výrobků společnosti Bosch na dopravníkovém pásu mezi pračkou a odjehlovacím zařízením. Návrh bude obsahovat popis výrobku, modelovou a výkresovou dokumentaci stanice a finanční analýzu.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.
Návrh variant řešení a zdůvodnění výběru konkrétního řešení.
Zpracování 3D modelu zvolené varianty.
Nezbytné výpočty potřebné pro návrh a dimenzování.
Výkresová dokumentace vybraných uzlů.
Zhodnocení navrženého řešení jak z technického, tak finančního hlediska
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 bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh a konstrukci zařízení pro překládání košů s vysokotlakými zásobníky ve společnosti Bosch v Jihlavě. Zásobníky, jakožto klíčová součást systému Common Rail, jsou spolu s tímto systémem podrobně popsány v úvodní části. Práce se dále věnuje rozboru dalších možností automatizované manipulace. Praktická část obsahuje analýzu současného pracoviště a návrh jeho automatizace. Celkem jsou vypracovány tři konstrukční varianty daného manipulátoru. Ty jsou porovnány multikriteriální metodou. Na závěr je detailně popsán návrh nejlépe hodnocené varianty a je provedena jeho finanční analýza.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and construction of the station for the relocating of baskets with high-pressure rails in the Bosch company in Jihlava. The rails, as a key component of the Common Rail system, are described in detail together with this system in the introductory section. The thesis also deals with other possibilities of automated handling. The practical part contains an analysis of the current workplace and a concept for its automation. In total, three variants of the manipulator are developed. These are compared using a multi-criteria method. Finally, the design of the best evaluated variant is described in detail and its financial analysis is carried out.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rail, Automatizace, Manipulátor, Robot, Bezpečnost

KEYWORDS

Rail, Automation, Manipulator, Robot, Safety

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FRANĚK, Pavel. *Návrh automatizace překládací jednotky*. Bakalářská práce. Jan PAVLÍK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D., za cenné rady a konzultace, které mi během jejího zpracování poskytl.

Dále bych rád poděkoval Ing. Marku Hodačovi, Ing. Radimovi Buzovskému, Aleši Bártovi a Bc. Davidovi Salákovi za jejich pomoc a odborné rady při návrhu konstrukčního řešení.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům za veškerou podporu během mého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka, Ph.D a použil jsem pouze zdroje uvedené v seznamu literatury a zdrojů.

V Brně dne 22. 5. 2025

.....

Franěk Pavel

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	MOTIVACE	10
3	RAIL A JEHO VYUŽITÍ	11
3.1	Vysokotlaký zásobník	11
3.1.1	Výroba	12
3.2	Common Rail	14
4	ROZBOR OBLASTI MANIPULACE	15
4.1	Robot	15
4.1.1	Sériově řízené roboty	15
4.1.2	Paralelně řízené roboty	17
4.2	Manipulátor	18
4.3	Koncové efekторы	19
5	SOUČASNÝ STAV PRACOVÍŠTĚ	20
5.1	Současné pracoviště	20
5.2	Požadavky automatizace	21
6	NÁVRH AUTOMATIZACE	22
6.1	Prací koš	22
6.2	Varianta 1	24
6.3	Varianta 2	27
6.4	Varianta 3	29
6.5	Vyhodnocení	31
7	KONSTRUKCE FINÁLNÍ VARIANTY	34
7.1	Popis stanice	34
7.2	Dopravník	35
7.3	Rozkládací mechanismus	37
7.3.1	Horizontální zdvih	38
7.3.2	Vertikální doraz	40
7.3.3	Senzorická kontrola	46
7.4	Zastavení košů	47
7.5	Ohraničení rámovou konstrukcí	48
7.6	Celková sestava	53
8	ZHODNOCENÍ NÁVRHU	54
8.1	Zhodnocení návrhu	54
8.2	Finanční zhodnocení	54
9	ZÁVĚR	56
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	59
	Seznam zkratk	59
	Seznam obrázků	60
	Seznam tabulek	61
	Seznam rovnic	61
	SEZNAM PŘÍLOH	62

1 ÚVOD

V dnešní době hraje automatizace významnou roli v průmyslové výrobě. Stále vyšší požadavky na efektivitu, rychlost, přesnost, a především bezpečnost práce vedou k vývoji moderních automatizovaných systémů, které zvyšují produktivitu a zároveň snižují fyzickou náročnost manuální práce. Jedním z takových systémů jsou automatizované manipulační stanice, které umožňují rychlé a přesné přemístění materiálu bez nutnosti přímého zásahu pracovníků.

Společnost Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě se v rámci trvalého zlepšování výrobních procesů také snaží zavádět nové automatizované prvky do svých pracovišť. Cílem je především zvýšit efektivitu a bezpečnost výroby. Tato bakalářská práce vznikla ve spolupráci s uvedenou společností a zabývá se návrhem a konstrukcí automatizované překládací stanice. Jejím úkolem je nahradit stávající systém ručního přenášení košů s vysokotlakými zásobníky plně automatizovaným řešením, včetně následného rozložení košů.

Teoretická část práce se zaměřuje na popis vysokotlakých zásobníků a jejich výrobního procesu. Dále se věnuje možnostem automatizované manipulace při překládání, a také koncovým efektorům.

Praktická část práce nejprve popisuje současný stav automatizovaného úseku. Následuje soupis požadavků zadavatele, které slouží jako základ pro návrhovou část. V další kapitole jsou zpracovány koncepční návrhy několika variant automatizovaného rozkládání pracích košů. Tyto varianty jsou následně analyzovány a vyhodnoceny pomocí vícekriteriální metody.

Výsledné řešení je nakonec detailně popsáno. Důležitým faktorem by měla být jeho snadná integrace do koncepčního návrhu stanice, spolehlivost v provozních podmínkách a splnění požadavků na rozměry, výkon a bezpečnost.

2 MOTIVACE

Už v dětství mě zajímala technika a její využití v praxi. Právě to mě vedlo k rozhodnutí pokračovat po základní škole ve studiu na oboru Technické lyceum na Střední průmyslové škole strojní a stavební v Táboře. Během studia jsem získal mnoho znalostí, které mi později výrazně pomohly při dalším vzdělávání na Vysokém učení technickém v Brně. Zde jsem se také naučil základy konstrukce a práce se softwarem Autodesk Inventor.

V životě ale nestačí jen teoretické znalosti, ale i praktické dovednosti. Právě proto jsem se rozhodl ucházet o praxi v jihlavské pobočce mezinárodní společnosti Bosch.

Provoz jihlavské pobočky byl spuštěn v roce 1993 a v současnosti zde pracuje více než 4500 zaměstnanců. Výroba se zaměřuje především na diesellové vstříkovací systémy a jejich součásti. Probíhá ve čtyřech výrobních závodech, přičemž pátý je ve finální fázi výstavby. Největším z nich je závod III na Pávově, specializovaný na výrobu vysokotlakých čerpadel. Závod II na Dolech se soustředí na výrobu vysokotlakých zásobníků, zatímco závod I na Humpolecké vyrábí komponenty pro vedení paliva, DRV a PCV ventily. Závod IV na LogPointu slouží jako logistické centrum a sídlo konstrukčního týmu TEF21, jehož jsem se stal součástí.

Tým TEF21 se primárně zaměřuje na mechanickou konstrukci a vývoj. V tomto týmu pracuji již druhým rokem a během této doby jsem měl možnost podílet se na automatizaci některých pracovních stanic a konstrukci různých přípravků pro zvýšení efektivity ve výrobě. Na základě této spolupráce mi bylo nabídnuto několik témat pro bakalářskou práci, a já si vybral právě toto. Hlavním důvodem mé volby byla jeho praktická využitelnost. Automatizace tohoto procesu přinese snížení fyzické zátěže pracovníků a současně zvýší efektivitu a bezpečnost práce.

Toto téma mi poskytuje jedinečnou možnost propojit teoretické znalosti nabyté při studiu s praktickými zkušenostmi získanými během praxe a aplikovat je při řešení reálného problému. Navíc zavedení automatizované překládací stanice odpovídá současným trendům Průmyslu 4.0, které se zaměřují na digitalizaci, autonomní řízení a optimalizaci výrobních procesů.

3 RAIL A JEHO VYUŽITÍ

Tato kapitola se zaměřuje na vysokotlaké zásobníky, jejich výrobní proces, roli v systému Common Rail a detailní popis tohoto systému.

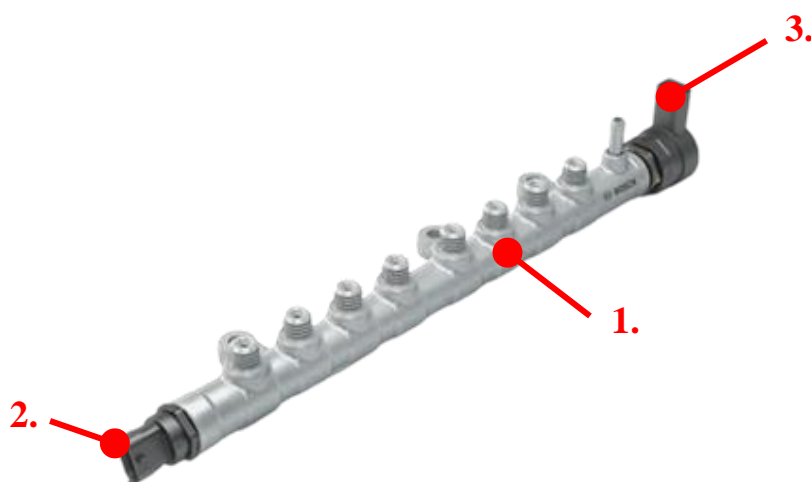
3.1 Vysokotlaký zásobník

Také známý jako rail, tvoří jednu z klíčových částí systému Common Rail. Jeho primárním úkolem je uchovávat palivo a následně jej rozvádět k jednotlivým vstřikovacím hlavám. Další důležitou funkcí je tlumení tlakových výkyvů, které vznikají vlivem činnosti čerpadla a otevíráním vstřikovačů. Raily se vyrábí z kované oceli a jejich tvar je přizpůsoben konstrukci motoru – nejčastěji bývá podélný nebo sférický. Podle způsobu výroby se dále rozlišují dva typy: HFR (obráběný) a SFR (svařovaný). V Jihlavě se vyrábí více než 200 různých variant a roční produkce dosahuje téměř 2,5 milionu kusů. [1]

K railu jsou připojovány další důležité součásti, které zajišťují jeho správnou funkci v systému, a to tlakový senzor a PCV ventil. Senzor hraje klíčovou roli při monitorování a regulaci systému. Jeho hlavním úkolem je zajistit správný tlak, který je nezbytný pro optimální vstřikování. K tomu se využívají různé typy senzorů, jako například piezoelektrické, kapacitní nebo tenzometrické. [1]

Úlohou PCV ventilu je regulace tlaku v zásobníku. Pokud je tlak příliš vysoký, palivo je upouštěno zpět do nádrže. Naopak při nízkém tlaku je vyslán signál řídicí jednotce, a dochází k vyššímu přívodu paliva. Při výrobě těchto ventilů je kladen důraz na kvalitu PCV filtru. Pokud je nedostatečná, dochází k rychlejšímu zanesení railu, což může vést ke snížení výkonu motoru a zhoršení spalování.

Na obrázku 1 je znázorněna sestava HFR railu. Je zde vidět zásobník (1), tlakový senzor (2) a PCV ventil (3).



Obr. 1) Sestava HFR railu [1]

3.1.1 Výroba

Výroba probíhá velkosériově, a to v jihlavském závodě II na Dolech. Je zde hned několik výrobních hnízd, která umožňují automatizované obrábění railu bez přímého zásahu pracovníků.

Popis výrobního procesu

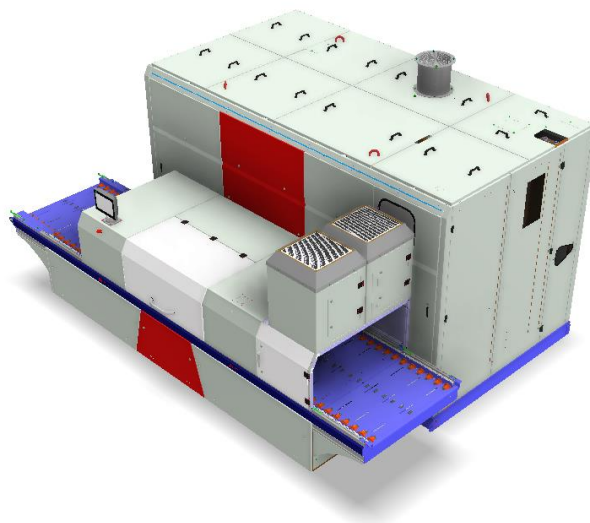
Odlitky railů jsou na úvod označeny DMC kódem, což je klíčové pro sledování celé výroby. Tento kód umožňuje zpětné dohledání procesů, kterými raily prošly, čímž je zajištěn monitoring jejich kvality. V případě zhoršené kvality, například kvůli chybě na stroji, lze snadno identifikovat i ostatní kusy z dané výrobní várky. Tento kód je načítán na každém pracovišti. Po označení následuje první třískové obrábění. Při něm se vytvářejí válcové plochy a slepé dutiny na koncích zásobníku.

Další obrábění probíhá na jiném stroji v hnízdě. Zde je vytvořen průchodový kanál railem. Po dokončení této operace se součást vrací zpět na první stroj a probíhá další obrábění. Tentokrát jsou vytvořeny nízkotlaké a vysokotlaké vývody a jejich propojovací dutiny s hlavním kanálem. Poslední úpravou je čtvrté obrábění, při kterém jsou vytvořeny těsnicí plochy a závity. Poté je rail připraven na čištění. [4]

To začíná kartáčováním, které slouží k odstranění nečistot, hrubých otřepků a zlepšení odolnosti proti korozi. Po tomto čištění se součást podrobuje zinkování, které poskytuje galvanickou ochranu a zvyšuje odolnost vůči abrazi a mechanickému opotřebení.

Po dokončení všech povrchových úprav je nutné odstranit všechny zbylé nečistoty, a proto rail pokračuje na pracoviště ECM. Tato technologie využívá elektrického jiskření k odstranění zbývajících nečistot a otřepů v otvorech a hlavním kanále. Při tomto procesu je důležitá přítomnost elektrolytové pasty. Ty se liší podle typu railu a rozdělují se na AFM a AFM Liquid. Oba tyto typy je nutné následně pečlivě vyčistit. [4]

To zajišťuje prací stroj, do kterého jsou raily vkládány v pracích koších. Nejprve probíhá sekce praní, při níž dochází k neutralizaci elektrolytu. Poté jsou koše různě natáčeny, aby se elektrolyt důkladně vyplavil ze všech částí railu. Na závěr probíhá pasivace a sušení. Dále jsou raily ručně přenášeny k finálnímu procesu zvanému autofretáž. Automatizací tohoto přechodu se zabývá tato bakalářská práce.

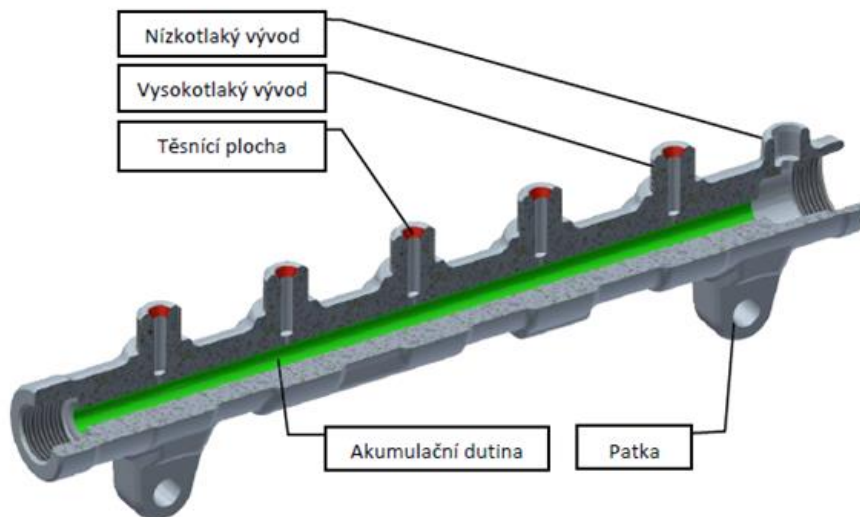


Obr. 2) Model pracího stroje [2]

Autofretáž je proces, který se používá k zesílení materiálů, hlavně těch, které musí vydržet velký tlak. Cílem je vytvořit vnitřní napětí v materiálu, které zlepší jeho schopnost odolávat tlaku. [3]

Nejprve je vnitřek railu vystaven vysokému vnitřnímu tlaku, což způsobí plastickou deformaci materiálu, aniž by došlo k trvalé deformaci celé struktury. Po skončení tohoto namáhání se rail snaží vrátit do původní polohy, ale vnější vrstvy zůstávají lehce plasticky deformované. V důsledku toho jsou vnitřní části vystaveny tahu, zatímco vnější části jsou pod kompresí. Tento stav zvyšuje u railů odolnost, což zvyšuje bezpečnost a životnost zásobníku. [3]

Na obrázku 3 je znázorněn řez railem a jsou zde popsány jeho důležité části.



Obr. 3) Řez railem [2]

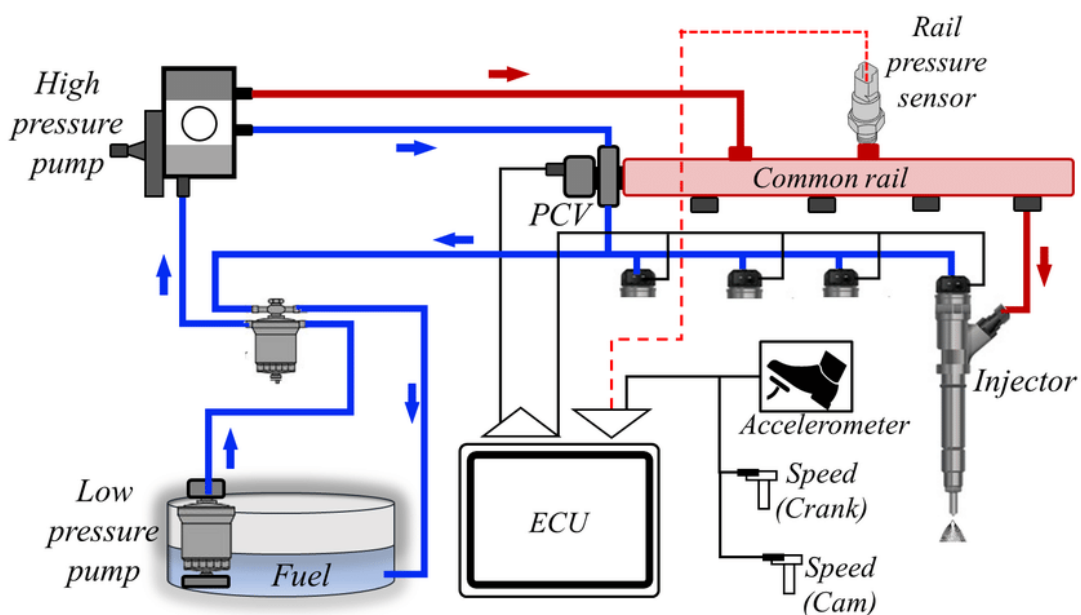
3.2 Common Rail

Common rail je jedním z nejrozšířenějších systémů přímého vstřikování paliva do vznětových motorů a je využíván hlavně v automobilech, průmyslových strojích a lodních motorech.

V systémech čerpadlo-tryska je palivo dodáváno přímo do vysokotlakých čerpadel jednotlivých válců a následně do vstřikovačů, přičemž každý válec má své vlastní čerpadlo. Na rozdíl od toho v systému Common Rail je palivo přiváděno jedním vysokotlakým čerpadlem do společného zásobníku a odtud je rovnoměrně distribuováno do vstřikovačů všech válců motoru. [5]

Celý proces začíná v nízkotlaké části systému, která je na obrázku 4 označena modře. Jejím úkolem je dopravit palivo do vysokotlaké části. To je odebíráno z nádrže nízkotlakým čerpadlem, umístěným v levém dolním rohu obrázku, a následně vedeno potrubím do filtru, který zajišťuje jeho vyčištění. Poté palivo pokračuje do vysokotlakého čerpadla, které lze vidět v levém horním rohu obrázku. To už je součástí vysokotlaké části systému, zaznačené na obrázku červeně. Palivo je dále vháněno do vysokotlakého zásobníku tvořeného silnostěnným potrubím. Tento zásobník, zobrazený v pravém horním rohu obrázku, zajišťuje uskladnění a stabilizaci tlaku směsi, který může dosahovat až 220 MPa. Regulaci tlaku zajišťuje již zmíněný PCV ventil. Nakonec je natlakované palivo distribuováno ze zásobníku do vstřikovačů, které jsou znázorněny v pravém dolním rohu obrázku. Tyto vstřikovače jsou řízeny řídicí jednotkou, která je na obrázku označena černě. [5][6]

Největší výhodou tohoto vstřikování je kvalitní jemné rozprášení paliva, které zamezí tvorbě sazí. Vstřikovače jsou také elektricky ovládané a tím umožňují vstříknout palivo v libovolný okamžik. Díky tomu má motor poklidný chod a dobré provozní parametry. [5]



Obr. 4) Schéma systému Common Rail [6]

4 ROZBOR OBLASTI MANIPULACE

Tato kapitola se věnuje současným možnostem v oblasti automatizované manipulace. Zabývá se rozdělením robotů a manipulátorů využívaných pro překládání a také klasifikací různých typů uchopovacích zařízení.

4.1 Robot

Robot je programovatelný automatizovaný systém, který díky vyššímu počtu stupňů volnosti dokáže vykonávat komplexní pohyby. Na rozdíl od manipulátorů vyniká vyšší adaptivitou a autonomií, což umožňuje jeho flexibilnější nasazení v různých aplikacích. [7]

Roboty lze dělit podle různých kritérií, například podle jejich funkce, oblasti použití nebo způsobu pohybu. V rámci této práce je však zvoleno členění na základě kinematické struktury, jelikož nejlépe vystihuje rozdíly mezi zvažovanými variantami pro překládací proces. [7] [9]

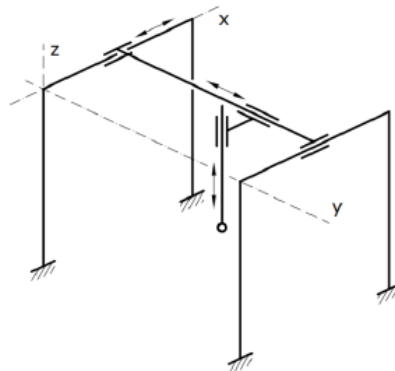
4.1.1 Sériově řízené roboty

Sériové roboty mají konstrukci složenou z jednotlivých článků propojenými otočnými nebo lineárními klouby uspořádanými za sebou. Každý článek je řízen samostatně, což umožňuje vysokou flexibilitu pohybu. Nevýhodou tohoto řešení je zvýšená složitost řízení, jelikož každý další pohyblivý článek zvyšuje nároky na kontrolu trajektorie. Přesto se jedná o nejrozšířenější typ robotů v průmyslové automatizaci. Sériově řízené roboty lze dále rozdělit podle způsobu pohybu na kartézské, SCARA a kloubové.

Kartézské roboty

Kartézské roboty využívají translační nebo rotační pohyb v kartézském souřadném systému, tedy v osách X, Y, Z, což znamená, že disponují třemi stupni volnosti. Existuje spousta možných konstrukčních variant určených pro různé aplikace. Jedna z nich je zobrazena na obrázku 5. Tato varianta umožňuje translační pohyb ve všech osách, a je ideální pro překládání na dopravníkových páslech nebo při paletizaci. Dala by se také využít pro řešení této práce. V tomto případě by stačil pohyb v ose x a z. [8][9]

Hlavní výhodou tříosých robotů je jejich schopnost manipulovat s vysokým zatížením a pracovat ve větším pracovním prostoru než jiné typy robotů. Nevýhodou je naopak omezený rozsah pohybu v porovnání s víceosými variantami. [9][4]

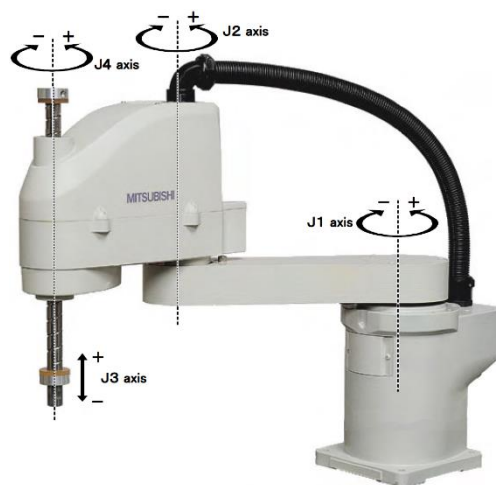


Obr. 5) Schéma portálové konstrukce [9]

SCARA roboty

SCARA roboty získaly svůj název podle prvního robotu tohoto typu vyrobeného v Japonsku. Tyto modely disponují čtyřmi stupni volnosti a jejich pohyb je realizován třemi rotačními osami a jednou translační osou, jak je patrné z obrázku 6. Všechny rotační pohyby se odehrávají kolem vertikálních os, což umožňuje vysokou rychlost i přesnost pohybu. Právě z těchto důvodů se SCARA roboty často využívají při paletizaci, manipulaci s materiálem nebo montáži. [4] [10] [11]

V porovnání s kartézskými roboty jsou modely SCARA mnohem rychlejší. Jejich nevýhodou je však vyšší cena a omezená nosnost. Konstrukce SCARA robotů neumožňuje manipulaci s těžšími objekty, a právě z tohoto důvodu nejsou v této práci uvažovány jako vhodné řešení.



Obr. 6) SCARA robot Mitsubishi [12]

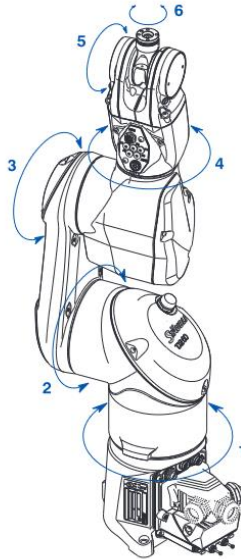
Šestiosé roboty

Šestiosé roboty patří mezi nejpokročilejší typy průmyslových robotů. Jejich konstrukce je založena na šesti rotačních kloubech, které umožňují pohyb připomínající lidskou ruku. Díky tomu se mohou pohybovat ve třech osách a provádět rotace ve třech směrech, což je činí ideálními pro složité manipulace. [9] [10]

V praxi se nejčastěji využívají v aplikacích, jako je montáž, svařování nebo manipulace s materiálem. Jejich hlavní výhodou je již zmíněný pohyb v šesti nezávislých osách, který je znázorněn na obrázku 7.

Nevýhodou může být vyšší pořizovací cena, nicméně návratnost investice může být v mnoha případech velmi rychlá.

Ve společnosti Bosch se šestiosé roboty nejčastěji uplatňují při svařování nebo manipulaci s těžkými motorovými komponenty mezi jednotlivými dopravníky. Nejčastěji používanými značkami jsou KUKA, Stäubli a ABB. Kartézské roboty se pak primárně využívají pro paletizaci a depaletizaci, a SCARA roboty pro rychlé překládání lehkých dílů mezi boxy.



Obr. 7) Šestiosý robot Stäubli TX2-60 [13]

4.1.2 Paralelně řízené roboty

Paralelní roboty jsou tvořeny několika pohyblivými rameny připojenými k pevné základně, která spolupracují při manipulaci s koncovým efektem. Na rozdíl od sériově řízených robotů jsou pohony jednotlivých ramen zapojeny paralelně na jedné desce, což přináší jiné mechanické vlastnosti. Nejčastěji jsou umístěny nad výrobní linkou a využívají se především pro rychlé překládání materiálu. Kromě toho nacházejí uplatnění také v oblasti 3D tisku, kde jejich konstrukce umožňuje vysokou přesnost a rychlost pohybu tiskové hlavy. [14]

Mezi jejich hlavní výhody patří vysoká tuhost konstrukce, která umožňuje přesné a stabilní pohyby. Nevýhodou je omezený pracovní prostor, který vyplývá ze specifické konstrukce tohoto typu robotů.



Obr. 8) Paralelní robot Tripod EXPT společnosti Festo [15]

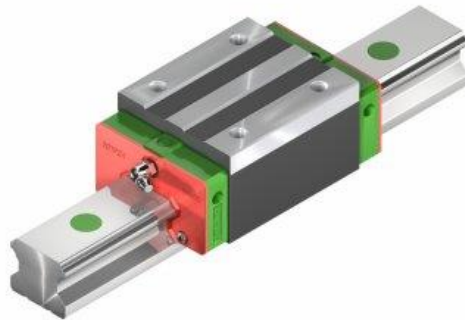
4.2 Manipulátor

Manipulátor je mechanické zařízení určené k uchopení, přesunu nebo polohování objektů bez nutnosti lidského zásahu. Nejčastěji se používá pro manipulaci s těžšími předměty nebo v aplikacích s omezeným pohybovým rozsahem. Běžně bývá také součástí robotických konstrukcí. [7]

Manipulátory lze rozdělit podle různých kritérií, přičemž jedním z nich je typ pohybu. Z tohoto hlediska se dělí na lineární – například lineární osy či pneumatické válce, a rotační – například otočné stoly nebo výkyvná ramena.

Lineární osy

Lineární osy jsou základním prvkem v konstrukci přímočarých systémů. Obvykle se skládají ze tří hlavních částí: vedení, pohyblivého vozíku a pohonu. Typ pohonu se liší v závislosti na konkrétní aplikaci – může jím být kuličkový šroub, řemenový pohon nebo pneumatický válec. K nejběžnějším dodavatelům těchto systémů pro společnost Bosch patří Hiwin, jehož lineární vedení je znázorněno na obrázku 9, dále Festo a Rexroth. [16]



Obr. 9) Lineární vedení HGH-M společnosti Hiwin [17]

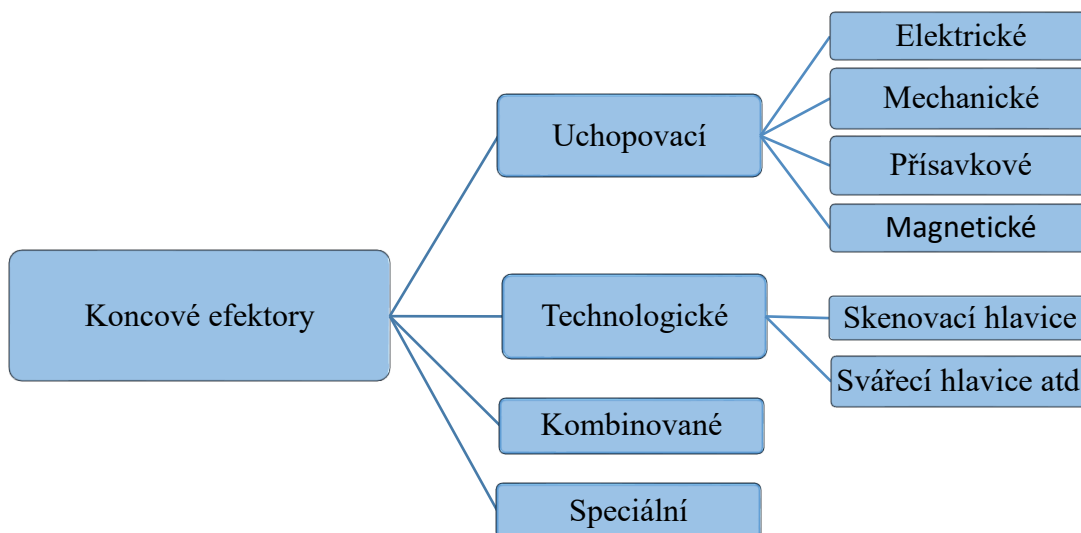
Porovnání robotů a manipulátorů

Tab 1) Porovnání robotů a manipulátorů

Vlastnosti	Robot	Manipulátor
Porovnání ceny	Vyšší	Nižší
Flexibilita	Vysoká	Omezená
Ovládání	Programování nebo pokročilé řízení	PLC nebo mechanické řízení
Použití	Složitá manipulace	Přesun břemen, montážní linky

4.3 Koncové efekty

Koncový efektor představuje mechanickou součást umístěnou na konci robota nebo manipulátoru, která přichází do přímého kontaktu s manipulovaným dílem a vykonává požadovanou činnost. Jelikož efektor přímo ovlivňuje funkčnost celého systému, je výběr vhodného typu klíčový pro správnou a bezpečnou činnost zařízení. Obecné rozdělení efektorů je uvedeno v tabulce 2. [9] [18]



Tab 2) Rozdělení koncových efektorů

Pro účely této práce je klíčová kategorie uchopovacích efektorů. Mezi přední výrobce těchto systémů patří německá společnost Schunk Group, která nabízí široké portfolio uchopovacích řešení, včetně paralelních (viz obrázek 10), středících, úhlových a vakuových chapadel.

Uchopovací zařízení pro lineární osu je o něco složitější. Jednou z možností je kombinace paralelního chapadla s pneumatickým pohonem nebo použití pneumatického pohonu s vlastní konstrukcí uchopovacího mechanismu.



Obr. 10) Paralelní chapadlo ELG společnosti Schunk [19]

5 SOUČASNÝ STAV PRACOVISTĚ

Tato kapitola se zaměřuje na analýzu a popis současného stavu pracoviště a specifikaci požadavků na automatizaci překládacího úseku.

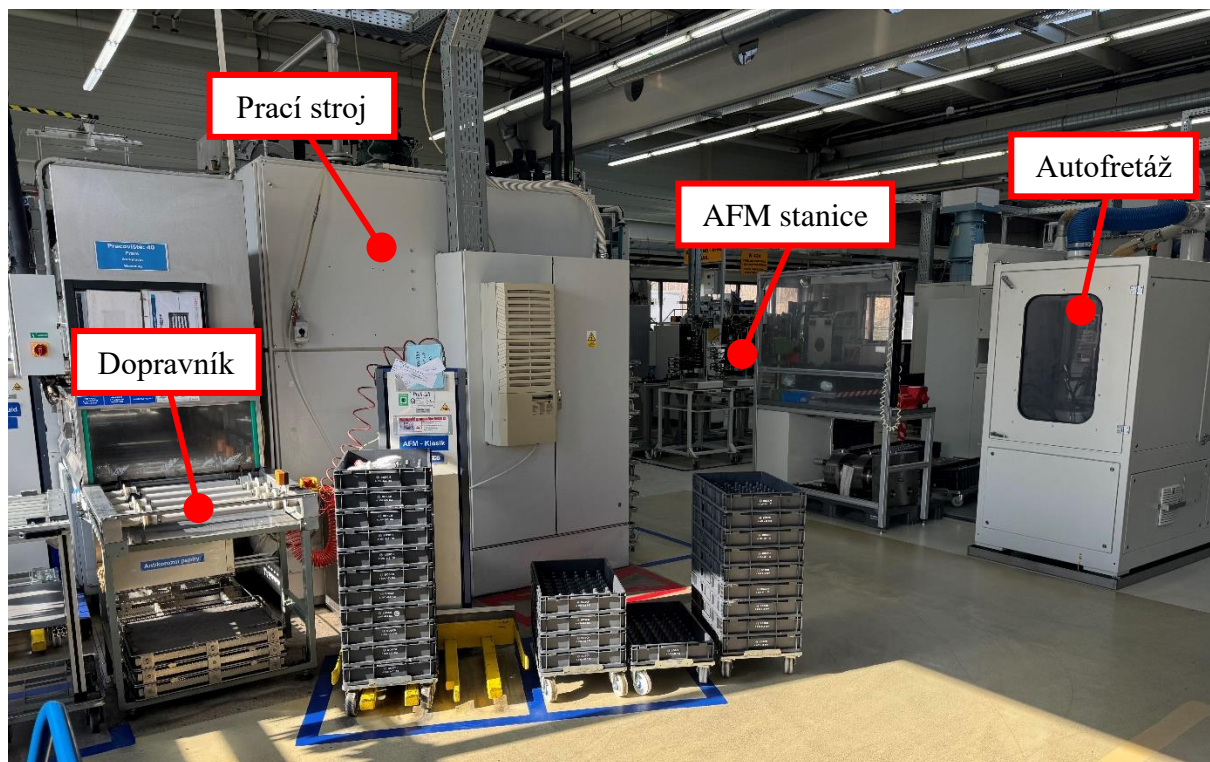
5.1 Současné pracoviště

Pracoviště slouží k čištění obrobených railů pomocí elektrolytových past a v současnosti zde fungují čtyři hlavní stroje. Celý proces začíná ve stanici AFM, kde jsou raily naplněny pastou, vyčištěny a následně umístěny do pracích košů. Tyto koše jsou pomocí zvedáků naloženy na vozíky a přepraveny k pracímu stroji. Po dokončení praní jsou koše opět naloženy na vozík a převezeny k autofretážní stanici, kde je obsluha provádí jejich ruční vykládání. Rozmístění strojů je znázorněno na obrázku 11.

Omezení této práce spočívá především v manipulaci s koši, která probíhá za pomoci zvedáků, vozíků a obsluhy. Dopravník se v současnosti nachází pouze u vstupu a výstupu pracího stroje.

Průměrná hmotnost konstrukce pracích košů je 7 kg. Do každého koše se vkládá 5 railů, přičemž jeden váží průměrně 4 kg. Celková hmotnost naplněného koše tedy činí 27 kg. Použití zvedáků zajišťuje splnění bezpečnostních požadavků, ovšem i tak je převážení poměrně fyzicky náročné.

Další komplikací je variabilita pracích košů. Aktuálně projde AFM stanicí 32 typů zásobníků s různou délkou, což vyžaduje použití různých typů pracích košů. Obsluha tak musí vždy vybrat správný typ koše podle délky čištěných railů.



Obr. 11) Současný layout pracoviště

5.2 Požadavky automatizace

Hlavním důvodem pro automatizaci stanice je zjednodušení celého manipulačního procesu a snížení jeho fyzické náročnosti. Dalším důvodem je plánovaný přechod na novější model pracího stroje.

Požadavky

Základní požadavkem je, aby byla překládací stanice plně automatizovaná. Celý proces rozkládání musí probíhat mezi výstupem z pracího stroje a vstupem do stanice autofretáže. Stanice musí být schopna detekovat počet košů, které opouštějí prací stroj, a rozpoznat, zda se jedná o kompletní sadu čtyř košů, nebo zda došlo k chybě. Následně musí být sada košů automaticky rozložena do série pro další manipulaci.

Dalším požadavkem je zaručení bezpečného provozu a snadného přístupu pro údržbu. Při vstupu do stanice musí být automaticky zastaven jakýkoliv probíhající proces, aby byla zajištěna bezpečnost personálu. Kromě toho je nutná světelná signalizace informující o stavu zařízení a bezpečnostní ohraničení celého pracoviště, které zabrání neoprávněnému vstupu.

Třetím požadavkem jsou rozměry stanice. Musí být navržena tak, aby nezasahovala do sousedních pracovišť a zároveň neomezovala průchodnost uliček. Je tedy nutné optimalizovat její prostorové uspořádání a minimalizovat zastavěnou plochu.

Důležitým požadavkem je sjednocení pracích košů pro různé typy railů. Přestože je možné přizpůsobit jejich tvar, musí být zachována plná funkčnost při praní. Zároveň je nutné zajistit, aby bylo možné koše stabilně skládat na sebe, protože jedna prací dávka vždy obsahuje čtyři na sobě uložené koše.

Celková investice do projektu musí být ekonomicky návratná do tří let. Zároveň je nutné zajistit, aby stanice dodržovala požadovaný takt celé linky.

Takt

Stanice bude fungovat nepřetržitě v třisměnném provozu po celý týden, což podle interních norem firmy Bosch Powertrain Jihlava odpovídá 325,64 pracovním dnům ročně. Tabulka 3 uvádí časy, které rail stráví na jednotlivých pracovištích. Protože se stanice bude nacházet mezi pracím strojem a autofretáží, je pro výpočet klíčový čas autofretáže.

Každý koš obsahuje 5 zásobníků. Aby byl dodržen takt linky, musí být koš rozložen do 225 sekund.

Tab 3) Časy na jednotlivých stanovištích

Stanoviště	AFM	Prací stroj	Autofretáž
Čas pro jeden rail [s]	45	45	45
Čas pro prací koš [s]	225	225	225
Čas pro celou sadu [s]	900	900	900

6 NÁVRH AUTOMATIZACE

Tato kapitola popisuje tři zvažované varianty automatizace překládacího procesu a jejich začlenění do pracovní linky. Každé z řešení bylo detailně popsáno z hlediska konstrukce, funkce a prostorového uspořádání. Následně byly všechny varianty vzájemně porovnány a byla vybrána optimální varianta. Součástí této kapitoly je také návrh univerzálního pracího koše.

Vzhledem k tomu, že se jedná o automatizaci celé pracovní linky, byl vytvořen koncepční návrh systému dopravníkových pásů propojující všechny stanice. Do tohoto systému jsou následně umísťovány jednotlivé varianty překládacího procesu. Na konci každé podkapitoly věnované konkrétní variantě je uvedena stručná hodnotící tabulka, která řešení porovnává z hlediska pořizovacích nákladů, nosnosti, délky překládacího cyklu a náročnosti údržby.

V jednotlivých návrzích jsou využívány nakupované díly převážně od firem, se kterými Bosch Powertrain Jihlava dlouhodobě spolupracuje.

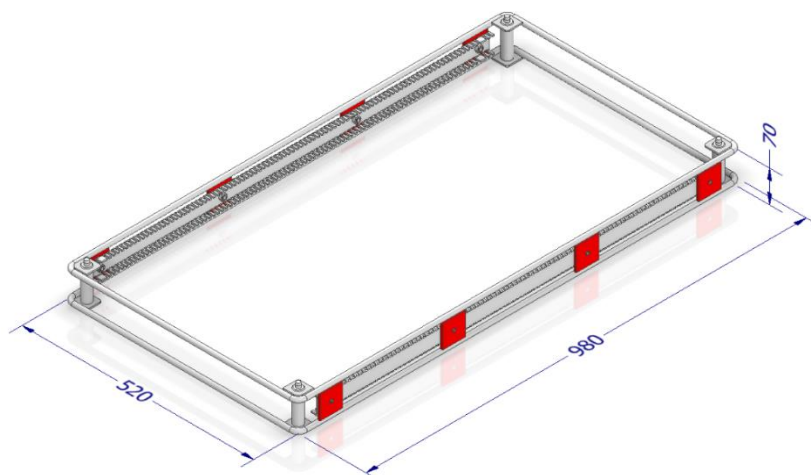
Všechny modely jsou vytvořeny v aplikaci Autodesk Inventor Professional 2023.

6.1 Prací koš

Jedním z důležitých požadavků zadavatele bylo sjednocení pracích košů. V současné době se používá 10 různých typů košů v závislosti na délce vkládaných railů. To zbytečně zpomaluje základací proces, protože obsluha musí pokaždé správně zvolit odpovídající koš. Sjednocením těchto košů na jeden standardizovaný rozměr se nejen zjednoduší zakládání, ale také manipulace, jelikož nebude nutné měnit koncový efektor manipulátoru. Vzhledem k tomu, že všechny varianty musí tyto koše překládat, bylo důležité vyřešit tento problém jako první.

Konstrukční řešení

Celý vnější rám koše byl vytvořen svařencem z duralových kruhových tyčí o průměru 10 mm. Každá tyč má celkovou délku 2935 mm a je ohnuta do tvaru obdélníku dle rozměrů uvedených na obrázku 12. Rozměry byly navrženy tak, aby umožnily bezpečné založení i pro nejdelší rail C445, který má délku 850 mm. Na každé straně je ponechána rezerva minimálně 50 mm, a konstrukce zároveň zohledňuje rozteč rolen pracího stroje, která činí 1050 mm.

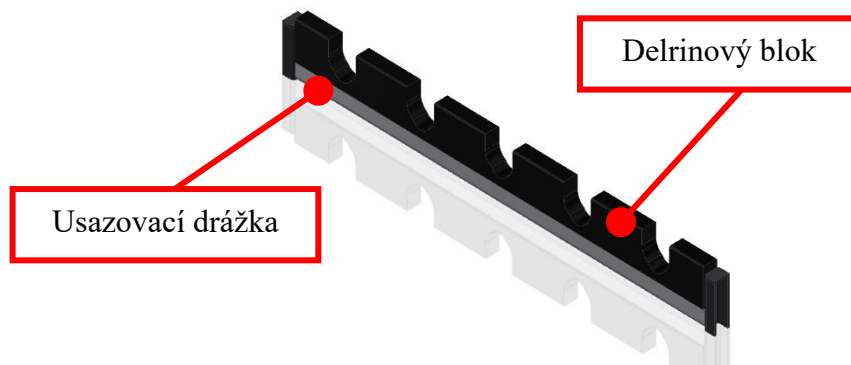


Obr. 12) Konstrukce pracího koše

Obvodové hrany jsou od sebe vzdáleny 70 mm a jsou pevně spojeny s rohovými spojkami vyrobenými z kruhových tyčí o průměru 20 mm. Každá spojka je z jedné strany opatřena zakládacím trnem a z druhé strany vodící dírou, což umožňuje stabilní stohování košů na sebe. Toto řešení zajišťuje bezpečnost při praní i během přepravy na dopravníkovém systému.

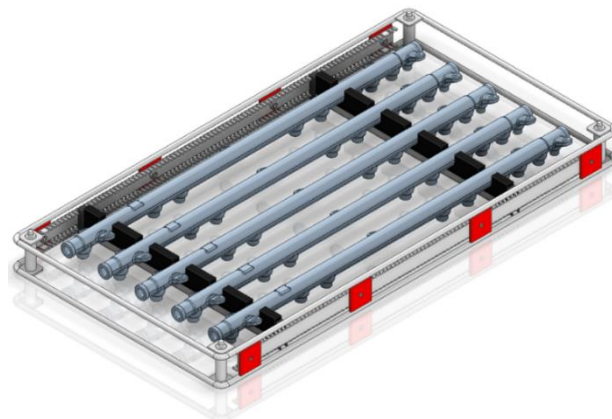
Pro zakládání railů různých délek bylo nutné najít univerzální řešení. Inspirace byla čerpána z výrobního procesu čerpadel. Při něm jsou různé typy ukládacích mříží nasouvány na drážky rámu. Tento princip byl převzat a upraven tak, aby byl vhodný pro zakládání railů. Na boční strany konstrukce byly připevněny dva ohnuté plechy s vyřezanými otvory, které vytvářejí protilehlé „ukládací hřebeny“. Na tyto hřebeny se následně nasouvají zakládací prisma. Díky počtu otvorů je možné na prisma zakládat všechny typy railů bez nutnosti používat různé druhy košů, což výrazně zjednodušuje celý proces. Směr založení railů při překládání nehraje roli, protože automatizovaná autofretáž je vybavena robotem s kamerovým systémem od společnosti Keyence. Robot tak vždy správně identifikuje a otočí rail do požadované polohy.

Zakládací prisma jsou opět svařovaná a jejich základní konstrukce je tvořena ohýbanými plechy. Na bočních stranách jsou umístěny bloky s drážkou, které umožňují snadné nasunutí na ukládací hřebeny zmiňované výše. Uvnitř konstrukce, viditelné na obrázku 13, je usazen blok z delrinu (Jedná se o termoplast, konkrétně POM. Jeho hlavní výhody jsou vysoká pevnost, chemická odolnost a snadné obrábění). Toto řešení umožňuje snadnou výměnu prisma i jejich flexibilní přizpůsobení různým typům railů. Výkres prisma byl zařazen do přílohy práce.



Obr. 13) Zakládací prisma

Prázdný koš váží necelých 5 kg. Pokud je do něho uloženo 5 zásobníků C445, blíží se váha k 30 kg. Tato hodnota byla dále v práci brána jako výchozí váha. Na dalším obrázku je model celé sestavy pracího koše. Jeho výkres je přiložen v příloze.



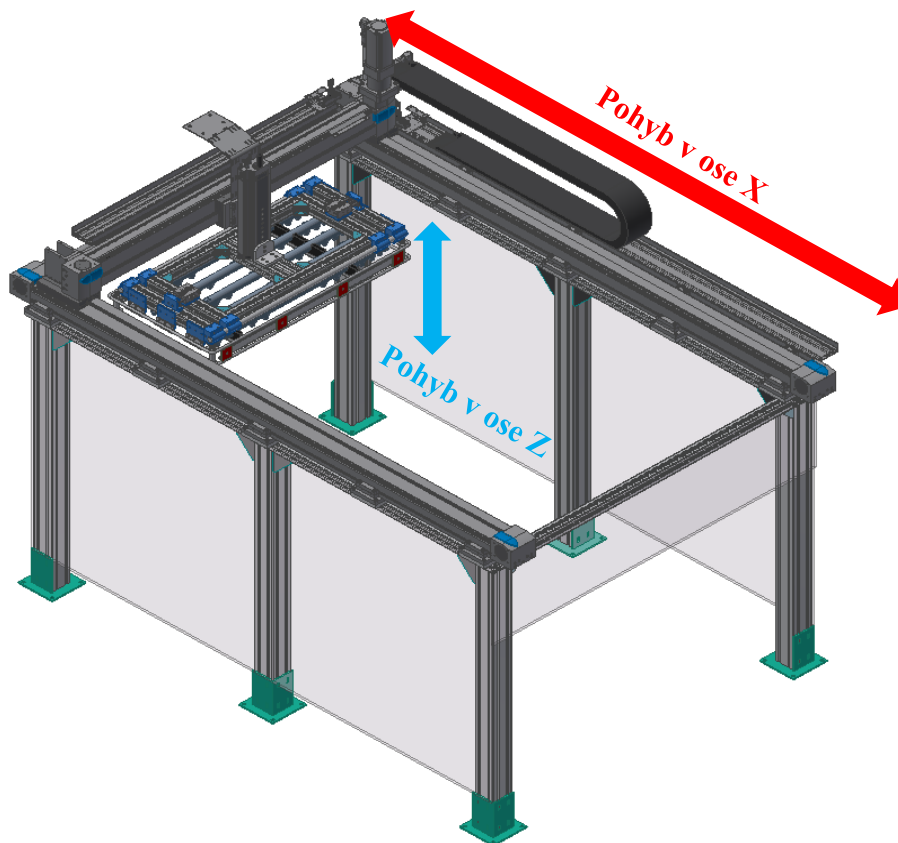
Obr. 14) Sestava pracího koše

6.2 Varianta 1

Koncept první varianty využívá kartézský portálový robot. Vzhledem k tomu, že koncový efektor s plně naloženým košem může vážit přes 40 kg, bylo nutné, aby měl robot nosnost alespoň 50 kg, čímž se zajistí potřebná rezerva. Na základě těchto požadavků byl vybrán model YXCR-4 od společnosti Festo. Alternativně lze použít i jiný robot s odpovídající nosností. Pro tento typ manipulace ovšem není potřeba pohyb ve třech osách, ale postačuje pohyb pouze ve dvou osách – vodorovné (X) a vertikální (Z).

Horizontální pohyb, který zajišťuje příčný nosník, umožňuje přesun koše mezi uchopovacím a pokládacím místem a může dosahovat až 2000 mm. Tento pohyb je na obrázku 15 znázorněn červenou šipkou. Vertikální pohyb vykonává samotné rameno robota, a slouží k nadzvedávání koše – na obrázku 15 je označen modrou barvou. Maximální zdvih pro uchopení posledního koše činí 350 mm. Obě osy jsou řízeny servomotory, což zajišťuje vysokou přesnost a opakovatelnost celého manipulačního procesu.

Pracovní cyklus začíná zastavením dopravníku. Rameno robota se nejprve sníží na úroveň čtvrtého koše, a ten je poté uchopen efektozem. Následně se rameno vrací do výchozí pozice a probíhá horizontální přesun v ose X. Během něj je koš přemístěn nad druhý dopravníkový pás. Poté se rameno opět přesune svisle dolů, koš je položen na dopravník a pokračuje směrem k stanici autofretáže. Po dokončení této operace se jak rameno, tak příčný nosník vrací do své startovní polohy. Celková doba překládání jednoho koše je dle výpočtu v kalkulátoru společnosti Festo přibližně 20 sekund. V rámci cyklu je potřeba přeložit tři koše, zatímco poslední odjíždí po dopravníku bez nutnosti manipulace. Celková doba překládání tedy činí 60 sekund, což splňuje takt linky.



Obr. 15) Konceptní návrh první varianty

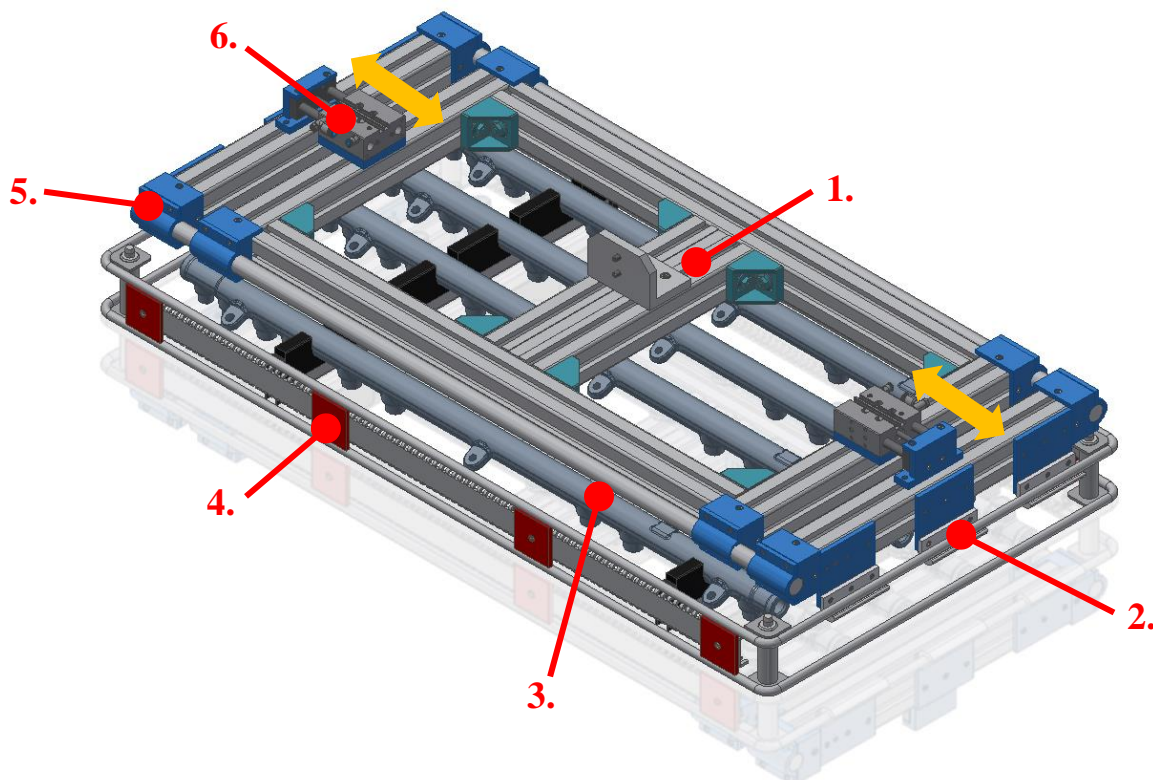
Robot byl připevněn k rámové konstrukci sestavené z hliníkových profilů o rozměru 90×90 mm.

Z důvodu bezpečnosti byly po obou stranách stanice nainstalovány makrolonové desky, které slouží jako zábrana proti nechtěnému vstupu do prostoru manipulace. Dále byly u vjezdu a výjezdu košů do stanice umístěny optické bezpečnostní brány. Tyto senzory slouží k detekci narušení pracovního prostoru. V případě neoprávněného zásahu se zastaví celý provoz stanice, a tím je minimalizováno riziko úrazu a poškození zařízení.

Koncový efektor

Koncový efektor je připevněn k rameni robotu. Jeho základ tvoří obdélníková konstrukce z hliníkových profilů 45×45 mm (1), která je k robotu připevněna ocelovým L-profilem. Proces rozkládání je zajišťován dvěma dvoučinnými pneumatickými bloky DFM-12-30 od společnosti Festo (6), každý se zdvihem 30 mm, umístěnými na obou stranách konstrukce. Pohyb vnějších profilů probíhá po duralových tyčích o průměru 20 mm (3), které jsou pevně uchyceny pomocí spojek umístěných na základové konstrukci (5). Spojky na krajních profilech jsou utaheny tak, aby umožňovaly mírnou vůli potřebnou pro plynulý pohyb. Celková váha efektoru je 10,2 kg. Sestavu a jednotlivé komponenty jsou znázorněny na obrázku 16.

Pro uchopení koše (4) jsou obě strany efektoru nejprve rozevřeny – jedná se o pohyb o vzdálenosti 30 mm, který je na obrázku 16 znázorněn žlutou barvou. Rameno manipulátoru je pomalu zvedáno, čímž dochází k usazení koše do delrinových háků (2) umístěných po stranách efektoru. Díky tomu, že při tomto typu manipulace nedochází k žádnému naklápění nebo natáčení koše, je celý proces uchopení velmi stabilní a bezpečný. Použití delrinových háků navíc zajišťuje šetrný kontakt s košem a eliminuje riziko poškození během manipulace.

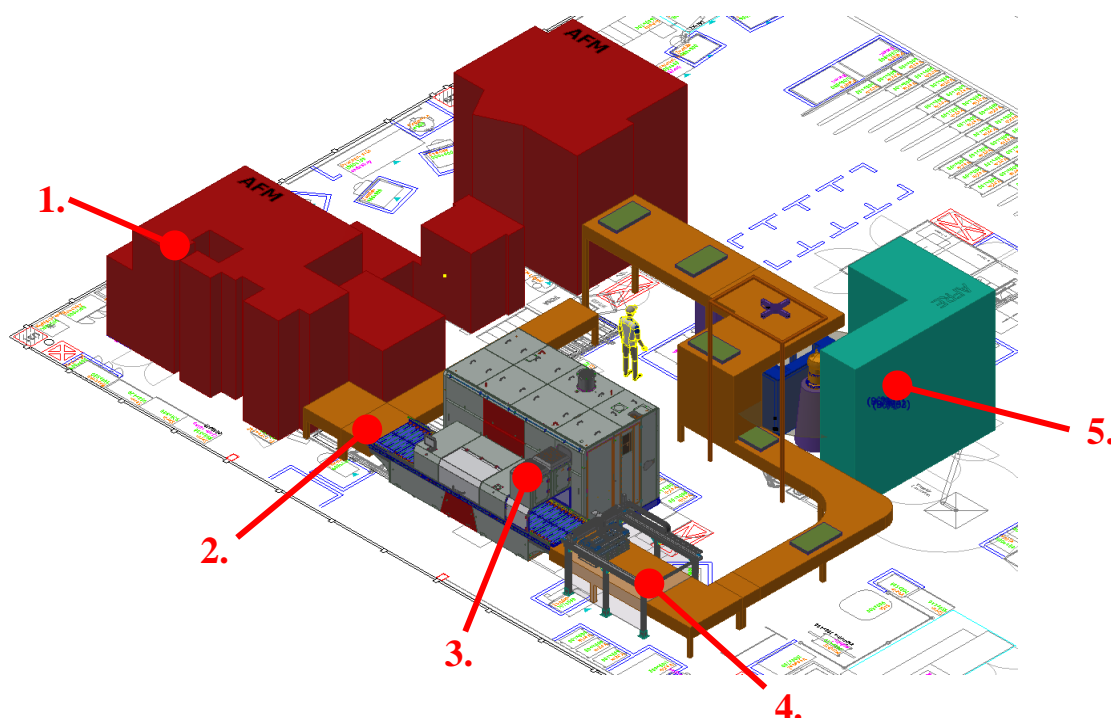


Obr. 16) Sestava koncového efektoru

Usazení do konceptu

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5, celá stanice má být automatizována. Proto byl při tvorbě práce navržen i koncepční návrh dopravníkového systému mezi jednotlivými stanicemi, který je zobrazen na obrázku 17.

Budou tedy přistavěny dopravníkové pásy (1) spojující AFM stanice (2) s pracím strojem (3). Prací koše budou dále přesouvány na autofretáž (5) a následnou paletizaci. Právě v úseku mezi pracím strojem a autofretáží bude postavena překládací stanice (4), jak je zobrazeno na obrázku 17. Celý proces tak bude automatický a obsluha bude pouze u AFM stanic kontrolovat výrobu a ukládat prací koše na dopravník. Koše budou pracím strojem automaticky naskládány na sebe, a rozložení bude zajištěno právě překládací stanicí.



Obr. 17) Koncepční návrh celé stanice s první variantou

Zhodnocení návrhu

Tab 4) Shrnutí pro variantu 1

Varianta 1 - Kartézský robot	
Kritéria	Hodnota
Cena – hrubý odhad bez montáže [€]	10 000
Nosnost [kg]	50 kg
Čas celého cyklu [s]	60 s
Náročnost údržby	Střední – servomotory + vedení

6.3 Varianta 2

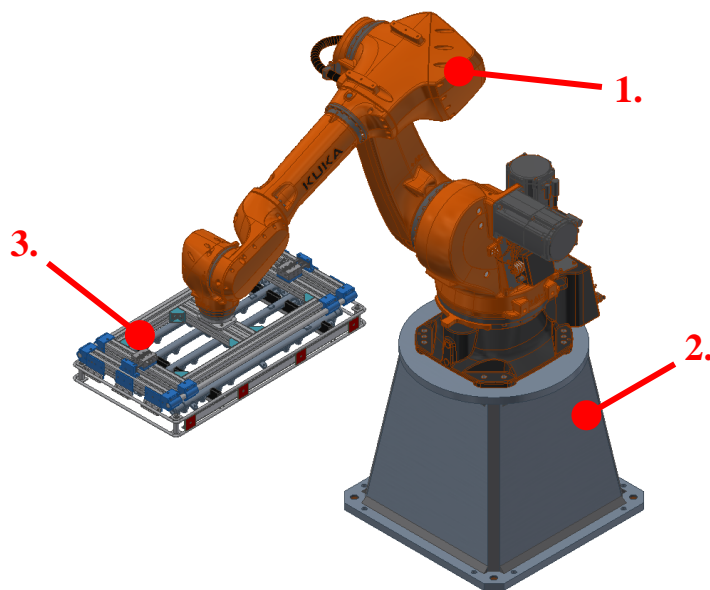
Podobně jako u první varianty byla klíčovým požadavkem nosnost minimálně 50 kg – aby mohla být manipulace s košem bez problémů zvládnuta robotem. Společnost Bosch dlouhodobě spolupracuje s několika výrobcí robotů, mezi nimiž je i značka KUKA. Z její nabídky byl pro tento návrh zvolen model KR70, který poskytuje nosnost až 70 kg, což představuje dostatečnou rezervu pro danou aplikaci. Alternativně by bylo možné využít i jiné vhodné modely, například IRB 5710-90/2.7 LID od společnosti ABB, se kterou Bosch rovněž úzce spolupracuje.

Manipulační dosah vybraného robota činí až 2100 mm, což s dostatečnou rezervou pokrývá prostor potřebný k přemístění košů mezi jednotlivými dopravníky. Samotný překládací cyklus je svým průběhem podobný první variantě, ale odlišuje se ve způsobu pohybu.

Robot v tomto případě pracuje v horizontální rovině (osách X a Y) a využívá svislý pohyb v ose Z k uchopení a odložení koše. Pracovní cyklus je zahájen přesunem nad sadu košů, poté je rameno spuštěno na úroveň prvního z nich, a koš je uchopen pomocí efektoru. Následně je koš přemístěn nad druhý dopravník a bezpečně položen. Po dokončení této operace je rameno vráceno do výchozí polohy a cyklus je opakován pro zbývající koše. Podle výpočtů z kalkulačního nástroje společnosti KUKA trvá manipulace s jedním košem přibližně 15 sekund. Vzhledem k rozmístění dopravníků je v tomto případě nutné přeložit všechny čtyři koše, což znamená, že celý překládací cyklus trvá 60 sekund. Tento čas je stejně jako u první varianty plně v souladu s požadovaným taktem výrobní linky.

Robot je umístěn na ocelovém stojanu (2) vlastní konstrukce. Volba vlastního řešení je v tomto případě ekonomičtější než pořízení originálního stojanu od společnosti KUKA. Stojan je zhotoven jako svařenec z ocelových desek o tloušťce 30 mm, což zajišťuje dostatečnou tuhost a stabilitu konstrukce s ohledem na hmotnost robota, která činí 520 kg. Ve spodní části stojanu se nacházejí nivelační matice, které umožňují přesné vyrovnaní výšky při nerovnosti podlahy.

Zabezpečení pracoviště by v případě této varianty bylo řešeno pomocí pletivového oplocení. Tento typ zábrany je vhodný zejména v situacích, kdy je potřeba zachovat občasný přístup k robotu, například pro účely údržby nebo kontroly. Zároveň je umožněna dobrá viditelnost pracovního prostoru, čímž je usnadněn vizuální dohled nad provozem stanice a zajištěna přehlednost celého procesu.



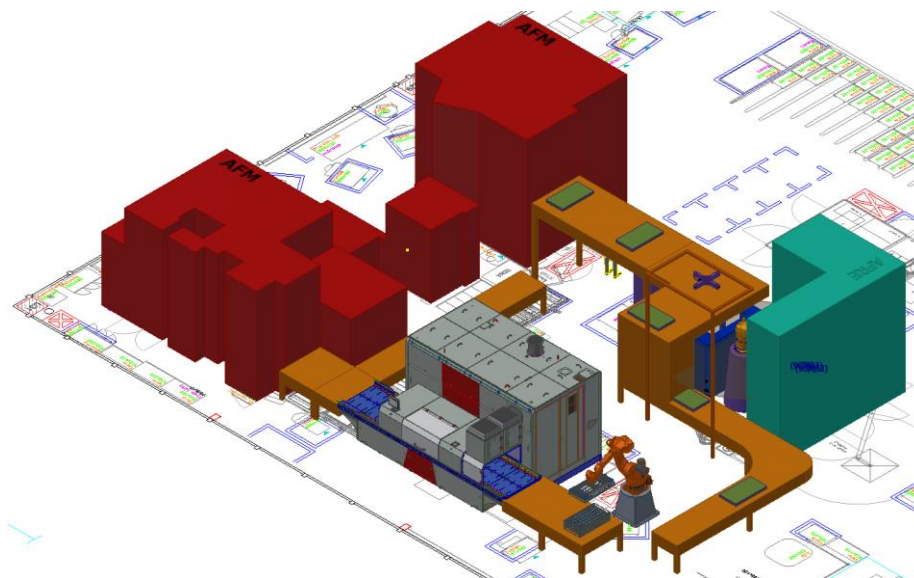
Obr. 18) Koncepční návrh druhé varianty

Efektor použitý v této variantě je totožný s tím, který byl využit v předchozím návrhu, pouze upraven tak, aby mohl být připevněn k přírubě šestiosého robota. Pokud by však během manipulace docházelo vlivem otáčení robota k nežádoucímu naklápění koše, bylo by vhodné efektor přepracovat. V takovém případě by mohly být využity koncové efekty od společnosti Schunk, které byly zmíněny v kapitole 4.3. Tyto efekty by byly uchyceny k rámové konstrukci. Pohyb robota by zůstal stejný, jako doposud. Díky pevnému uchopení by však byla zajištěna vyšší bezpečnost při překládání.

Usazení do konceptu

Rozmístění stanic a většiny dopravníků zůstává ve variantě 2 shodné s uspořádáním ve variantě 1. Jedinou změnou je úprava dopravníků v pravém rohu za pracím strojem. Dopravník, který vychází z pracího stroje, je zkrácen a není napojen na navazující úsek.

Tato úprava byla zvolena s ohledem na vyšší pořizovací cenu šestiosého robota, jehož schopnost otáčení a větší flexibilita umožňují pokrýt potřebnou oblast bez nutnosti prodlužování dopravní trasy. Díky tomu mohou být alespoň částečně kompenzovány vyšší náklady na samotného robota v rámci celkové automatizace systému.



Obr. 19) Koncepční návrh celé stanice s druhou variantou

Zhodnocení návrhu

Tab 5) Shrnutí pro variantu 2

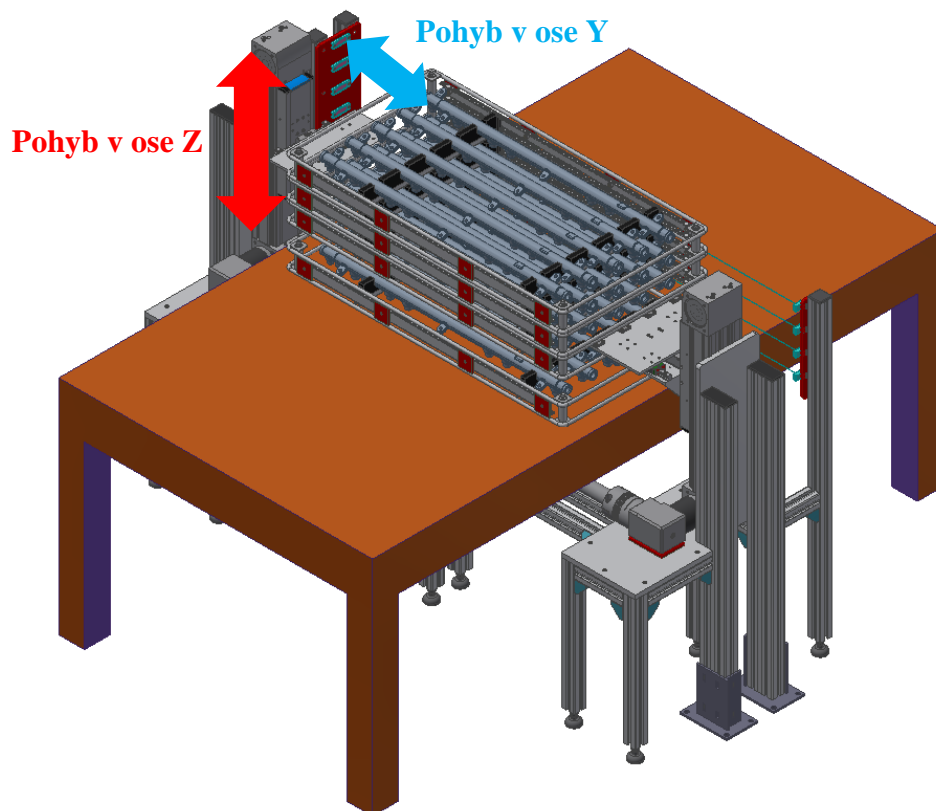
Varianta 2 - Šestiosý robot KUKA	
Kritéria	Hodnota
Cena – hrubý odhad bez montáže [€]	65 000
Nosnost [kg]	70 kg
Čas celého cyklu [s]	60 s
Náročnost údržby	Vyšší – komplexní robot

6.4 Varianta 3

Koncept třetí varianty je založen na kombinaci lineárních os a pneumatických pístů. Na rozdíl od předchozích řešení je zde prováděna manipulace s více koši současně – konkrétně až se třemi. Z tohoto důvodu bylo nutné navrhnout systém s celkovou nosností minimálně 100 kg, aby bylo zajištěno spolehlivé a bezpečné nadzvednutí celé sady.

V návrhu jsou použity dvě lineární osy, každá umístěná na jedné straně dopravníku. Jejich úkolem je zajišťovat vertikální pohyb košů, který je na obrázku 20 znázorněn červenou barvou. S nimi jsou po obou stranách instalovány také pneumatické písty, jejichž funkcí je přesné vysunutí manipulátoru pod jednotlivé koše. Tento pohyb je na obrázku 20 označen modře. Kombinací těchto dvou prvků je zajištěna spolehlivá a přesná manipulaci během celého překládacího cyklu.

Celý pracovní cyklus je zahájen uchopením a nadzvednutím tří horních košů. Nejspodnější z nich je ponechán volně uložený na dopravníku a následně odjíždí směrem k další stanici. Poté se lineární osy vrátí do výchozí pozice, koše jsou položeny, následně jsou uchopeny horní dva a cyklus se opakuje, dokud nejsou všechny koše postupně rozloženy do série.

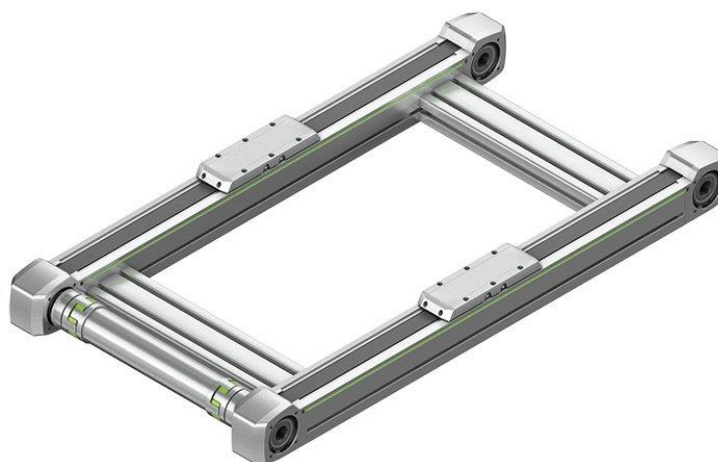


Obr. 20) Konceptní návrh třetí varianty

Při výběru vhodného typu lineární osy byly zvažovány dvě hlavní varianty. První z nich byla osa s pohonem pomocí ozubeného řemene od společnosti Festo, konkrétně model ELGA, u něhož je nabízena nosnost až 70 kg na jednu osu. Díky rovnoměrnému rozložení zatížení mezi obě osy je u této varianty je bez problémů pokryta požadovaná nosnost.

Jako druhá možnost byl zvažován systém HD3 od společnosti Hiwin, který je tvořený dvěma osami na každé straně, propojenými torzní hřídelí. Tento systém je zobrazen na obrázku 21. Nakonec však byla zvolena varianta od společnosti Festo, a to především z důvodu nižší pořizovací ceny a jednodušší integrace do navržené konstrukce.

Hlavními výhodami této varianty jsou příznivá cena a nižší nároky na údržbu ve srovnání s předchozími řešeními.



Obr. 21) Lineární systém HD3 od společnosti Hiwin [20]

Zhodnocení návrhu

Tab 6) Shrnutí pro variantu 3

Varianta 3 - Lineární osy	
Kritéria	Hodnota
Cena – hrubý odhad bez montáže [€]	10 000
Nosnost [kg]	140 kg
Čas celého cyklu [s]	30 s
Náročnost údržby	Střední – motory + vedení

6.5 Vyhodnocení

Než může dojít k samotnému porovnání jednotlivých variant, musí být nejdříve vybrána hodnotící kritéria. Ta byla stanovena z požadavků zadavatele, ale zároveň i z obecných principů při návrhu automatizovaných pracovišť.

Volba hodnotících kritérií

Cena – Vyjadřuje celkové náklady pro realizaci dané varianty. Zohledňuje nejen pořizovací cenu jednotlivých komponent, ale také náklady na montáž, integraci do linky a uvedení zařízení do provozu. Cena byla stanovena jako klíčové kritérium, jelikož přímo ovlivňuje návratnost celé investice.

Náročnost konstrukce – Hodnotí, jak složité je navrhnout, zkonstruovat a následně začlenit danou variantu do celkového konceptu stanice. Zohledněna byla technická složitost návrhu a množství potřebných komponent.

Náročnost údržby – Toto kritérium posuzuje, jak náročné je provádět údržbu a servis dané varianty v průběhu jejího provozu. Zohledněna byla potřeba specializovaného personálu, dostupnost náhradních dílů a složitost výměny a kontroly opotřebitelných komponent.

Možnost rozšíření – Kritérium hodnotí, jak snadno lze danou variantu v budoucnu upravit, doplnit nebo rozšířit. I když se v současnosti s rozšířením linky nepočítá, flexibilita systému může být v budoucnu výhodou.

Prostorová náročnost – Tento parametr hodnotí, kolik prostoru daná varianta zaujímá na pracovišti. Zohledněna byla nejen samotná zastavěná plocha potřebná pro instalaci zařízení, ale také prostor nutný pro bezpečnostní ohraničení. Nižší prostorová náročnost je výhodou, protože minimalizuje zásah do výrobní haly, neomezuje pohyb personálu a usnadňuje lepší přístup pro údržbu i servisní zásahy.

Stanovení pořadí jednotlivých kritérií

Jednotlivá kritéria byla mezi sebou porovnáována pomocí párové metody srovnání. Tu je možné vidět v tabulce 7. V této metodě jsou kritéria zanesena do tabulky, a v každém kroku se kritérium v řádku postupně porovná s kritérii ve sloupci. Při každém porovnání je vybráno to kritérium, které je z důležitější, a je zapsáno do příslušné buňky. Tímto způsobem jsou vyhodnoceny všechny možné kombinace. Na závěr je spočítán celkový počet výskytů pro každé kritérium a ten následně určuje pořadí kritérií při zapisování do další tabulky. [21]

Tab 7) Určení pořadí jednotlivých kritérií

Kritérium	Cena	Náročnost konstrukce	Náročnost údržby	Možnost rozšíření	Prostorová náročnost	Suma	Pořadí
Cena	Cena	Cena	Cena	Cena	Cena	5	1.
Náročnost konstrukce		Náročnost konstrukce	Náročnost údržby	Náročnost konstrukce	Prostorová náročnost	2	4.
Náročnost údržby			Náročnost údržby	Náročnost údržby	Náročnost údržby	4	2.
Možnost rozšíření				Možnost rozšíření	Prostorová náročnost	1	5.
Prostorová náročnost					Prostorová náročnost	3	3.

Stanovení vah jednotlivých kritérií

V tomto kroku byla kritéria opět porovnávána pomocí párové metody, tentokrát se zaměřením na jejich vzájemnou provázanost. K hodnocení je použita třibodová stupnice, kde:

- 1 bod označuje silnou provázanost,
- 2 body střední provázanost,
- 3 body žádnou provázanost.

Každá dvojice kritérií byla takto ohodnocena a výsledky byly zaznamenány do tabulky. Následně byly sečteny hodnoty v jednotlivých řádcích. Tato hodnota byla následně vydělena celkovým součtem všech hodnocení, čímž byla získána váha daného kritéria. Výsledné váhové koeficienty jsou uvedeny v tabulce 8. [21] [22]

Tab 8) Určení vah jednotlivých kritérií

Kritérium	Cena	Náročnost údržby	Prostorová náročnost	Náročnost konstrukce	Možnost rozšíření	Suma	Váha
Cena	1	1	3	2	2	9	0,429
Náročnost údržby		1	1	2	2	6	0,286
Prostorová náročnost			1	1	1	3	0,143
Náročnost konstrukce				1	1	2	0,095
Možnost rozšíření					1	1	0,048
					Suma	21	1

Cena byla vyhodnocena jako nejvýznamnější kritérium pro vyhodnocení variant, jelikož přímo ovlivňuje ekonomickou návratnost celého projektu a zároveň byla ze strany zadavatele označena jako prioritní. Naopak možnost rozšíření získala nejnižší váhu, jelikož se v dohledné době nepředpokládá potřeba rozšiřování stanice.

Vyhodnocení variant

Pro vyhodnocení jednotlivých variant byla zvolena multikriteriální metoda PATTERN. V této metodě bylo každé kritérium hodnoceno pomocí pětibodové stupnice, kde 1 bod představuje nejhorší možné hodnocení a 5 bodů nejlepší možné hodnocení.

Toto základní hodnocení bylo uvedeno v levém horním rohu každé rozhodovací buňky v tabulce 9. Následně byla tato hodnota dělena nejvyšším hodnocením v daném řádku, čímž byla získána normalizovaná hodnota, kterou lze nalézt v levém dolním rohu buňky. Tato hodnota pak reprezentuje relativní výkonnost dané varianty v rámci konkrétního kritéria. Normalizovaná hodnota byla následně vynásobena váhovým koeficientem příslušného kritéria, který byl určen v předchozí tabulce. Výsledky tohoto výpočtu jsou uvedeny v rozhodovacích buňkách vpravo.

Po sečtení hodnot v jednotlivých sloupcích bylo získáno celkové skóre, které slouží jako podklad pro výběr nejvhodnějšího řešení. [21] [22]

Tab 9) Vyhodnocení variant

Kritérium	Váha	Kartézský robot	KUKA robot	Dvousý manipulátor
Cena	0,429	4	2	5
		0,8	0,4	1
Náročnost údržby	0,333	3	2	4
		0,75	0,5	1
Prostorová náročnost	0,167	3	2	4
		0,75	0,5	1
Náročnost konstrukce	0,111	4	5	2
		0,8	1	0,4
Možnost rozšíření	0,056	1	5	2
		0,2	1	0,4
Celkem	1	0,82	0,59	0,996
Relativní technická úroveň		139,01 %	100,00 %	169,18 %
Pořadí z technického hlediska		2.	3.	1.

Varianta s nejnižším hodnocením byla vybrána jako referenční, a zbylé dvě varianty s ní byly porovnávány pro získání relativní technické úrovně.

$$RTU = \frac{V_i}{V_{min}} \cdot 100 = \frac{0,82}{0,59} \cdot 100 = 139,01 \% \quad (1)$$

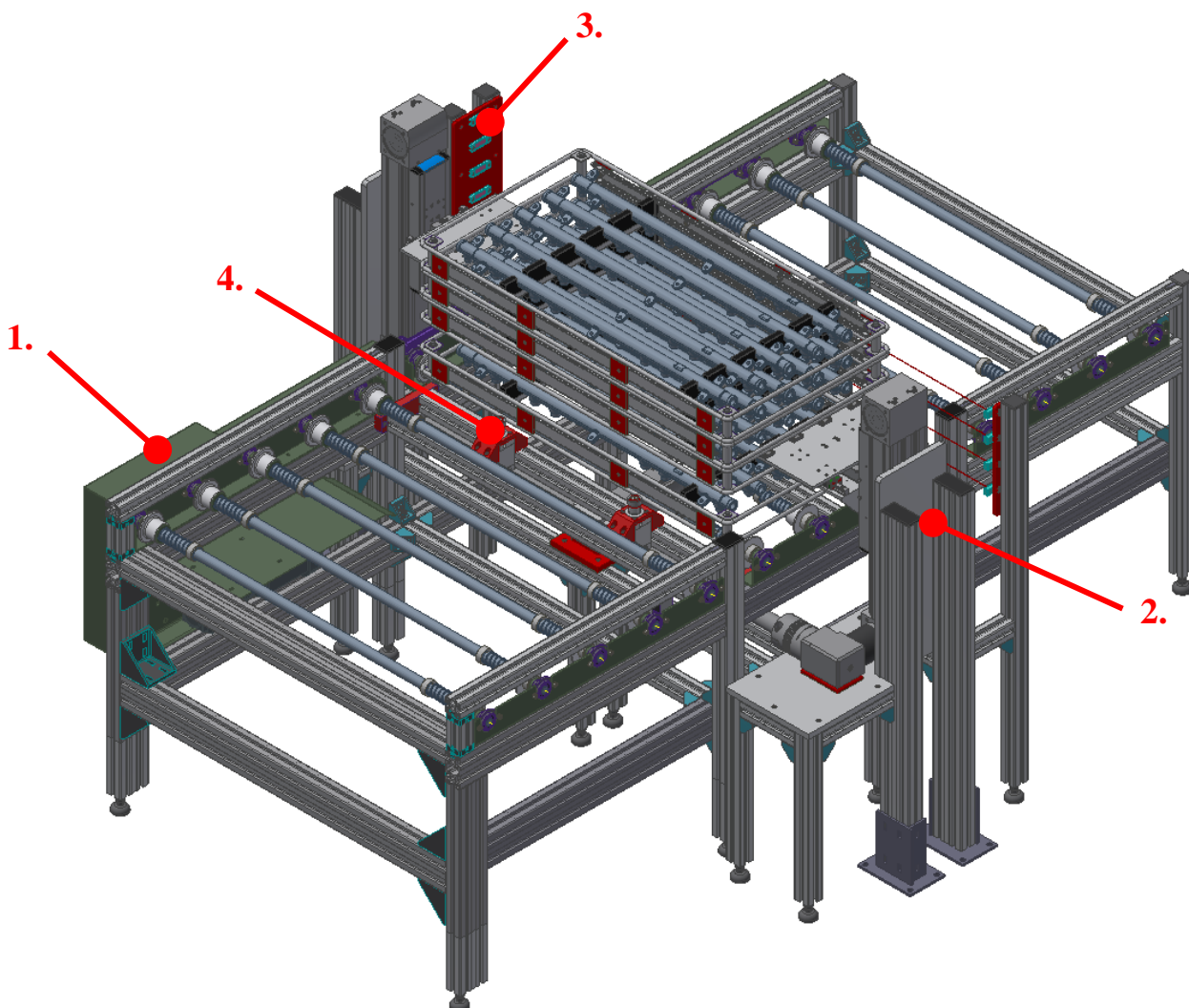
Nejlepší variantou se stala varianta 3, která využívá kombinaci dvou lineárních os a pneumatických pístů. Hlavním důvodem výhry byla její nízká cena a náročnost údržby v porovnání s ostatními variantami. Nevýhodou byla složitější konstrukce a nízká možnost pro rozšíření. Tato varianta tedy bude detailně zpracována v další části práce.

7 KONSTRUKCE FINÁLNÍ VARIANTY

V této kapitole je nejprve stručně shrnut princip fungování navržené stanice. Následně je představena její celková konstrukce bez krytování včetně klíčových částí, které tvoří hlavní funkční celky. Tyto uzly jsou poté podrobněji rozebrány v jednotlivých podkapitolách.

7.1 Popis stanice

Stanice byla navržena pro automatické sériové rozkládání pracích košů. V ideálním případě přijíždí po dopravníku (1) sada čtyř košů z pracího stroje. Během přesunu projíždí skrze senzorové snímače (3), pomocí nichž je ověřeno, zda je sada kompletní. Po detekci dorazí sada do překládacího místa, kde je zastavena pomocí dorazových pneumatických válců (4). Následně je spuštěn překládací cyklus, který je prováděn manipulátorem (2). Samotný průběh překládání je podrobně popsán v kapitole 7.2. Výkres celé sestavy byl přiložen do přílohy.



Obr. 22) Návrh celé stanice

7.2 Dopravník

Jako první prvek celého projektu byl navržen dopravník, kterým jsou propojeny jednotlivé části linky. Hlavním úkolem celého dopravníkového systému je zajištění plynulého přesunu pracích košů mezi jednotlivými stanicemi – konkrétně mezi pracím strojem, překládací jednotkou a stanicí autofretáže. Z celého systému však byla konstruována pouze krátká část, a to úsek propojující prací stroj s překládací stanicí. Ten je určen hlavně k demonstraci překládání a dává celému modelu ucelenější vzhled. Na tento úsek budou navazovat další dopravníky, aby byl vytvořen systém podobný tomu na obrázku 17 v kapitole 6.2.

Vzhledem k tomu, že prací stroj je vybaven vlastním rolnovým dopravníkem, je i tento dopravník navržen jako rolnový, aby plynule navazoval na prací stroj. Inspirací v konstrukci byl již existující rolnový dopravník, který je ve společnosti Bosch využíván. Rám nového dopravníku je tvořen hliníkovými profily typu 90×45 mm, 60×45 mm a 45×45 mm. Celková spotřeba profilů je detailně uvedena v tabulce 10. Největší podíl tvoří profily 90×45 mm, které tvoří nosné části rámu a krajní nohy. Profily 60×45 mm jsou využity v prostředních nohách, a profily 45×45 mm jsou využity pro doplňkové části a příčné spojení. Celá konstrukce je pak lehce nastavitelná díky nivelačním nohám a je zobrazena na obrázku 24.

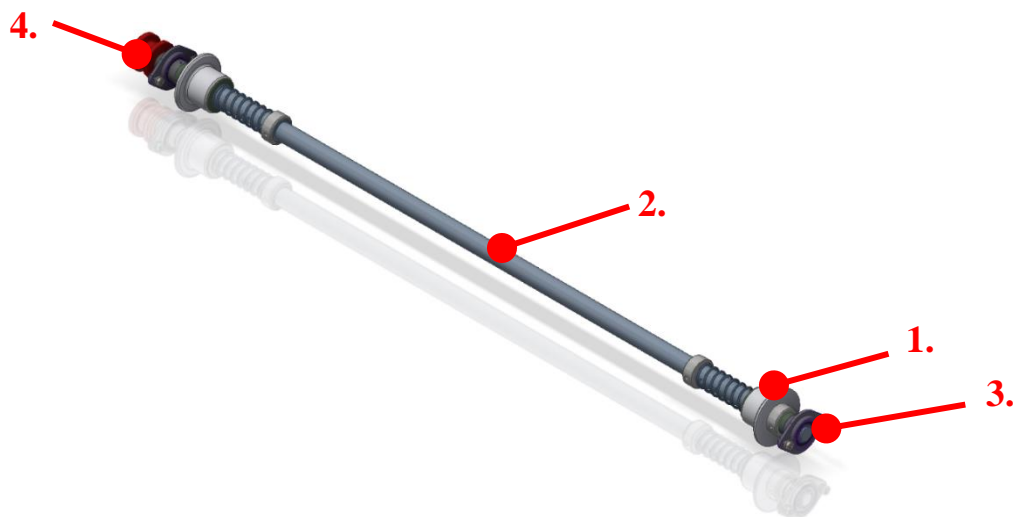
Tab 10) Využití profilů pro dopravník

Využití profilů pro dopravník		
Profily 90x45 mm		
Délka [mm]	Počet	Celkem [mm]
561,5	2	1 123
675,5	2	1 351
640,0	2	1 280
837,0	2	1 674
2 227,5	2	4 455
1 023,0	2	2 046
Celkem		11 929
Profily 60x45 mm		
796,5	2	1 593
Profily 45x45 mm		
796,5	2	1 593
933,0	5	4 665
Celkem		6 258

Pohyb košů po dopravníku byl zajištěn sestavou rolen vyrobených z delrinu (1). Použití delrinu v tomto případě zamezí vysokému tření a poškození košů. Rolny jsou umístěny naproti sobě a jsou propojeny ocelovými spojovacími tyčemi (2), což umožňuje převést pohon z jedné strany dopravníku na druhou.

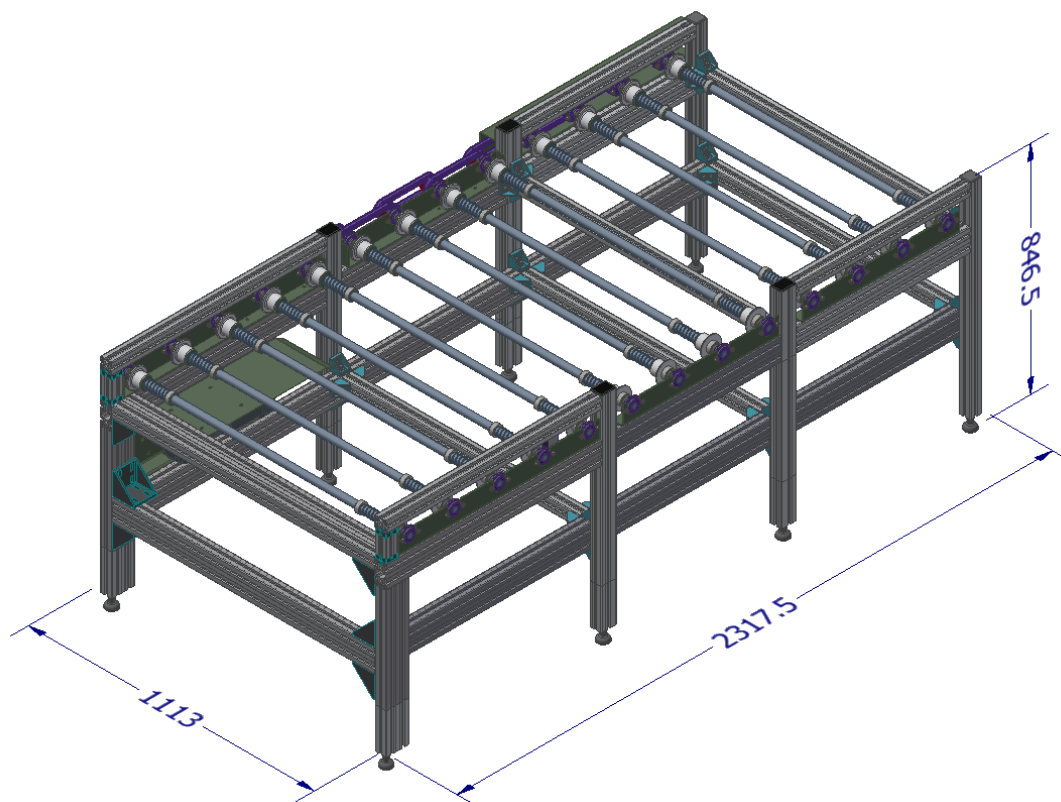
Na obou koncích každé rolny jsou osazeny ložiskovými domky (3), jejichž úkolem je zajistit plynulý chod celé sestavy. Ta je pevně uchycena k rámové konstrukci pomocí šroubů, což umožňuje snadnou montáž i případnou údržbu.

Na levé straně dopravníku se nachází řetězové kolo (4), které přenáší kroutící moment poháněcího pásu na celý systém rolen.



Obr. 23) Sestava rolen

Na celém dopravníku se nachází 13 těchto sestav, a všechny jsou poháněny jedním motorem za pomoci řemenů. Ty jsou zakrytovány odnímatelnými plechy.



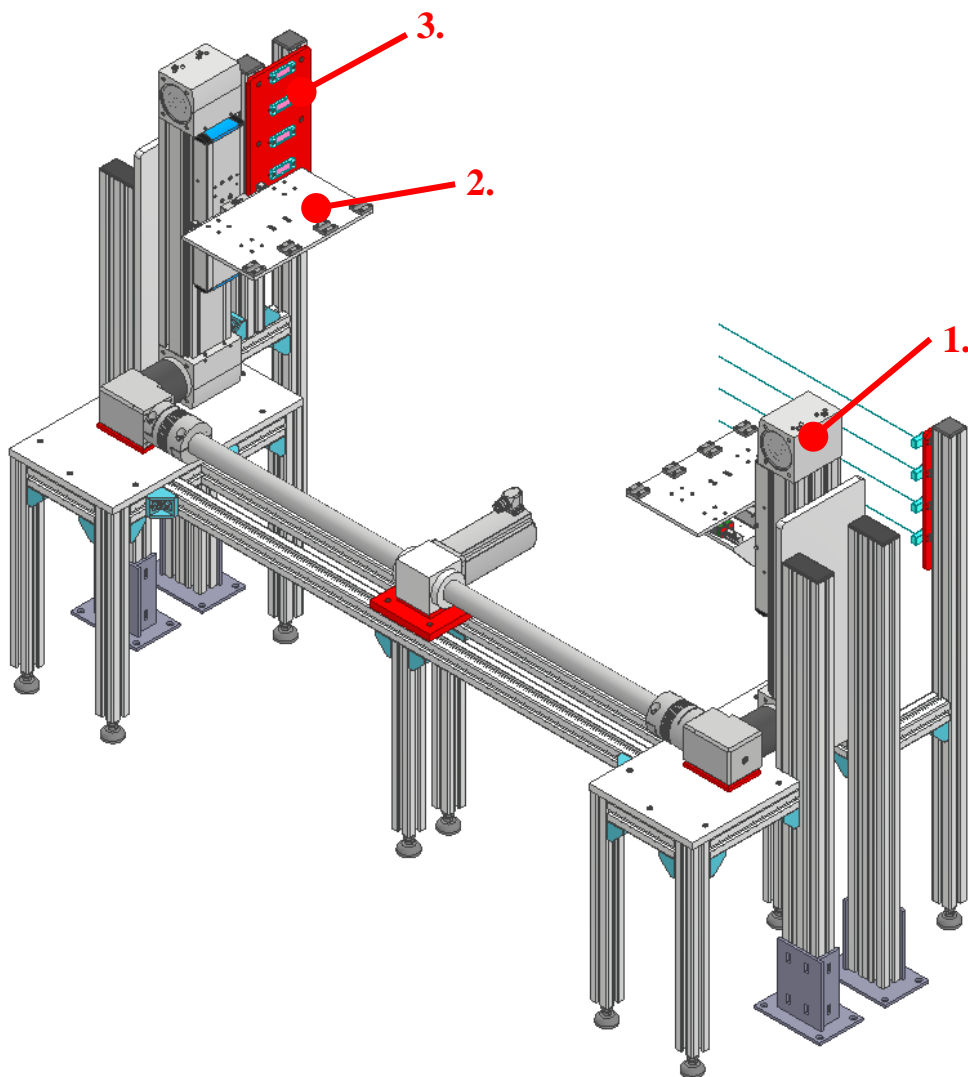
Obr. 24) Sestava dopravníkového pásu

7.3 Rozkládací mechanismus

Dalším konstrukčním prvkem navrženým v rámci projektu byl překládací mechanismus, jehož úkolem je zajistit automatické rozložení sady čtyř na sobě stohovaných pracích košů, které přijíždějí z pracího stroje. Tento mechanismus tak tvoří jádro celé automatizace a je složen ze tří klíčových částí, které jsou znázorněny na obrázku 25. Těmi jsou:

- Horizontální zdvih (1) - zajišťuje samotný pohyb košů při překládání,
- Vertikální doraz (2) - slouží k přesnému pozicování košů před manipulací,
- Senzorická kontrola (3) - dohlíží na počet košů a správnost jejich rozložení.

Všechny tyto části jsou detailně popsány v následujících podkapitolách, kde je rozebrána jejich funkce a konstrukce. Výkres sestavy je pak přiložen v příloze.



Obr. 25) Rozkládací mechanismus

7.3.1 Horizontální zdvih

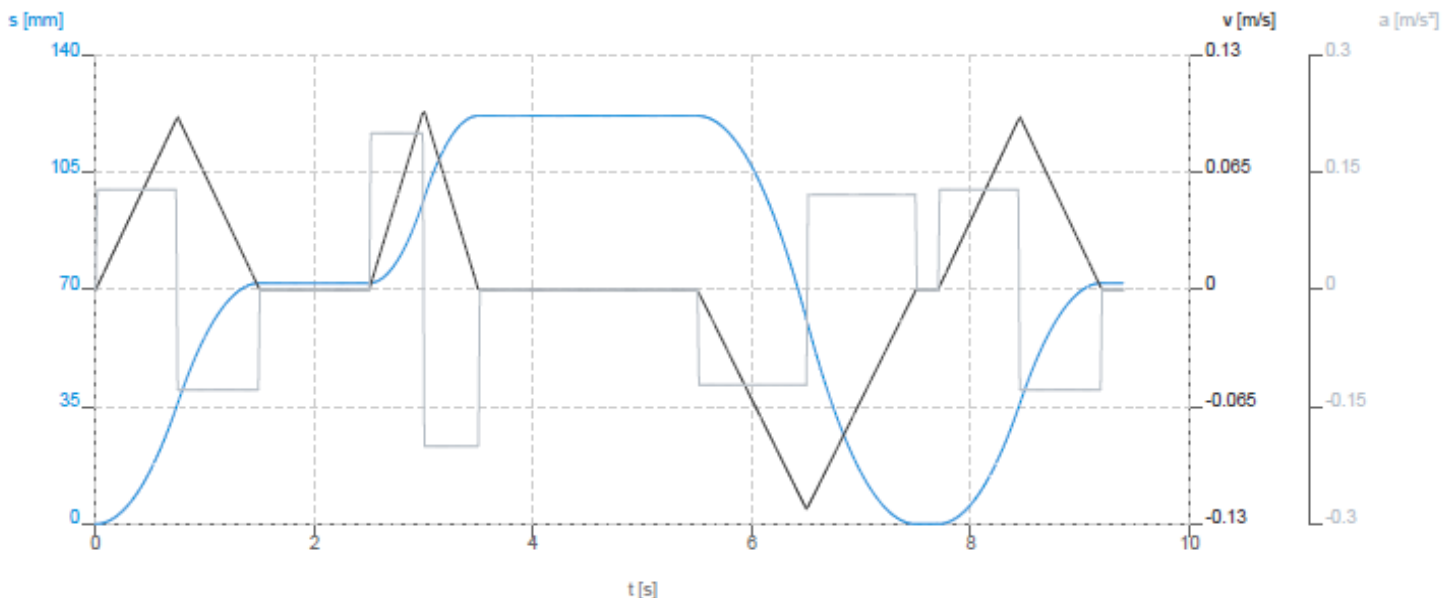
Jak již bylo uvedeno v kapitole 6.4, překládací mechanismus funguje na principu postupného nadzvedávání košů, aby mohl spodní koš volně odjet po dopravníku. Prvním krokem při návrhu této části stanice proto bylo navrhnout způsob, jak bezpečně a přesně nadzvednout koše nad úroveň dopravníku.

Při zvedání jsou na sobě uloženy maximálně tři plně naložené koše. Hmotnost jednoho dosahuje přibližně 30 kg, a celková zátěž tedy je kolem 90 kg. Bylo nutné ale počítat s rezervou pro zajištění bezpečného provozu, a proto by měl mechanismus zvládnout minimálně zatížení 120 kg. Jako nejvhodnější řešení se ukázalo použití lineárních os – konkrétně vřetenových nebo s ozubeným řemenem.

Vřetenové osy využívají k přenosu pohybu kuličkový šroub, který převádí rotační pohyb motoru na lineární zdvih. Narozdíl od os s ozubeným řemenem dosahují vřetenové osy vyšších přenosových sil, a proto u nich často není potřeba použití převodovky. Jejich hlavní výhodou je vysoká přesnost a opakovatelnost pohybu. Nevýhodou je naopak častější potřeba údržby (mazání) a vyšší pořizovací cena. [23]

Lineární osy s ozubeným řemenem využívají k převodu rotačního pohybu motoru na lineární ozubenou řemenici a řemen. Jejich váha, údržba a cena jsou proto o poznání nižší než u vřetenových os. Jejich nevýhodou je ovšem menší tuhost.[24]

Pro potřeby tohoto návrhu byla nakonec zvolena lineární osa s ozubeným řemenem, a to konkrétně model ELGA-120-150 od společnosti Festo. Tento typ osy poskytuje zdvih 150 mm, což odpovídá požadavkům. Pro správnou volbu ostatních komponent a ověření vhodnosti řešení byl využit online kalkulačtor společnosti Festo. Tento nástroj umožnil nejen ověřit potřebnou nosnost osy, ale také předběžně stanovit takt sestavy. Výsledky provedené kalkulace jsou uvedeny v příloženém obrázku a následující tabulce.



Obr. 26) Dynamika systému [25]

Tab 11) Výsledky základních vlastností [25]

N	Cílová poloha s [mm]	Zátěž [kg]	Rychlost v [m/s]	Zrychlení a [m/s ²]	Brzdění a [m/s ²]	Přejezd [s]	Prodleva [s]
1	72	5	0,09591	0,12807	0,12807	1,5	1,0
2	122	60	0,09991	0,20029	0,20029	1,0	2,0
3	0	60	0,12191	0,12205	0,12205	2,0	0,2
4	72	5	0,09591	0,12807	0,12807	1,5	0,2

Z přiloženého grafu je možné vyčíst průběh polohy, rychlosti a zrychlení vozíku v čase. Také z něho vyplývá, že jeden překládací cyklus trvá přibližně 10 sekund. Celková doba nutná pro rozložení celé sady tří košů je tedy přibližně 30 sekund, což s výraznou rezervou splňuje požadovaný takt linky.

V doplňující tabulce jsou detailně popsány jednotlivé fáze cyklu. V první fázi dochází k posunu osy z výchozí polohy do výšky 72 mm, kde se nachází druhý koš v sadě. V této fázi je užitečné zatížení na jednu osu pouze 5 kg, protože je nadzvedáván pouze lehký vertikální doraz, bez zatížení koši. Ve druhé fázi následuje samotné nadzvednutí košů do výšky 122 mm. Zde už je osa zatížena polovinou maximální hmotnosti, tedy přibližně 60 kg na osu, protože jsou zvedány tři koše současně. Tento pohyb slouží k oddělení horních košů od spodního, který zůstává uložený na dopravníku. Jakmile je spodní koš volný, odjíždí po dopravníku dále do systému. Následuje návrat osy zpět do výchozí polohy, stále se zátěží 60 kg. Tím jsou zbývající koše položeny zpět na dopravník a celý cyklus se opakuje, dokud nejsou všechny koše rozloženy.

Celý překládací cyklus je možné ovládat dvěma způsoby – buď pomocí dvojice krokových motorů, nebo za použití jednoho výkonnějšího servomotoru. Na základě výpočtů z návrhového nástroje byl jako nejvhodnější řešení zvolen servomotor EMMT-AS-80-P-G20-EAS-80. Tento motor je v sestavě umístěn centrálně pod dopravníkem. K servomotoru je připojena převodová hřídel, která zajišťuje přenos výkonu k oběma lineárním osám. Tato konstrukce zároveň zaručuje synchronní pohyb obou vozíků, čímž se eliminuje riziko jejich nesouměrného zdvihu nebo křížení během manipulace. Pro dosažení požadovaného točivého momentu jsou mezi převodovou hřídel a samotné osy vloženy převodovky, které umožňují přesné a dostačující řízení celého systému.

Samotné lineární osy, servomotor a převodovky jsou namontovány na duralových deskách, které jsou pevně uchyceny k rámové konstrukci z hliníkových profilů. Celý rám je sestaven hlavně z profilů 45×45 mm. Výjimku tvoří stojné nohy, které jsou vyrobeny z robustnějších profilů o rozměru 90×45 mm, aby lépe odolávaly zatížení a zajišťovaly stabilitu při provozu. Nohy jsou také vybaveny aretačními prvky, což umožňuje snadné nastavení a vyrovnání výšky celého systému podle potřeby.

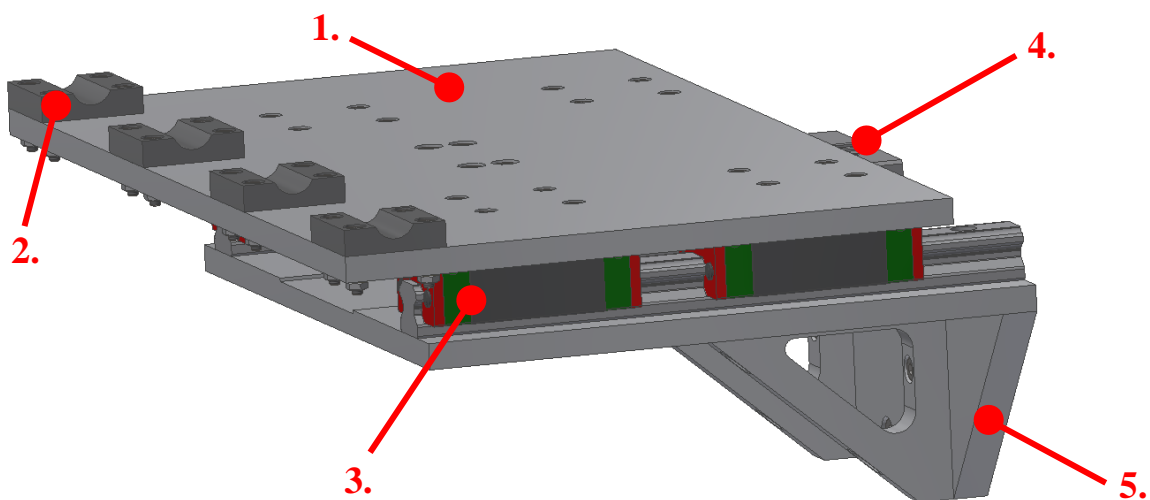
Celá rámová konstrukce pak není pevně spojena s dopravníkem, aby se zabránilo přenosu vibrací, které vznikají během jeho chodu. V následující tabulce je uvedena celková spotřeba profilů pro překládací mechanismus.

Tab 12) Využití profilů pro překládací mechanismus

Využití profilů pro mechanismus		
Profily 90x45 mm		
Délka [mm]	Počet	Celkem [mm]
965	4	3 860
Profily 45x45 mm		
1 200,0	2	2 400
390,0	2	780
170,0	4	680
225,0	2	450
182,0	2	364
1028,5	2	2 057
573,5	2	1 147
455,0	6	2 730
410,0	2	820
Celkem		11 428

7.3.2 Vertikální doraz

Dalším krokem při návrhu bylo najít způsob, jak se efektivně dostat pod obvodovou konstrukci pracích košů a zajistit jejich bezpečné nadzvednutí. Výsledné řešení je znázorněno na následujícím obrázku a je založeno na kombinaci pneumatického pístu a lineárního vedení. Výkres sestavy je přiložen v příloze.



Obr. 27) Vertikální doraz

V horní části sestavy je umístěna duralová deska o rozměrech 300×180×7,5 mm (1), jejíž výkres je přiložen v příloze. Na čelní straně této desky jsou připevněny čtyři bloky z materiálu delrin (2), které slouží jako základací prvky pro obvodovou konstrukci pracích košů. Každý blok je uchycen čtyřmi šrouby typu DIN 912 velikosti M4, což zajišťuje pevné a zároveň snadno demontovatelné spojení. Tvar bloků je navržen tak, aby vybrání bylo dostatečně hluboké a koš do něj mohl bezproblémově zajet a bezpečně se usadit.

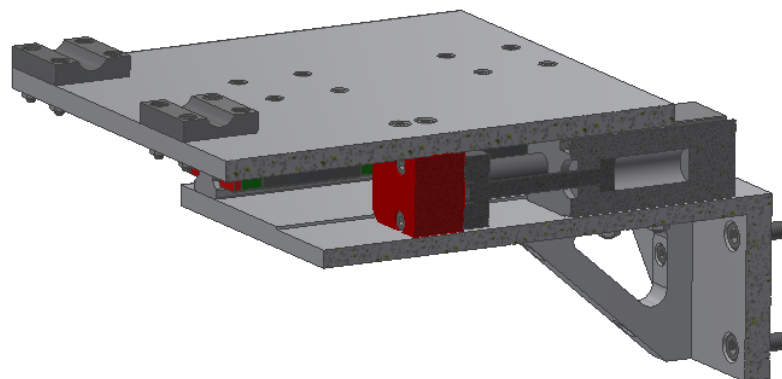
Deska je uchycena k čtyřem lineárním vozíkům řady HGH 15 CA, což je typ kuličkového vedení od české společnosti Hiwin (3). Tato vedení umožňují plynulý pohyb desky s minimálním třením, čímž zaručují delší životnost celého mechanismu a zajišťují hladký posuv.

Přesný posuv desky zajišťuje pneumatický blok (4), konkrétně se jedná o dvojčinný blok typu DFM-12-30-P-A-GF od společnosti Festo. Jak napovídá označení, tento model má pracovní zdvih 30 mm, což přesně odpovídá požadované vzdálenosti pro vysunutí desky pod koše. Jelikož prací stroj vždy umístí koše na stejné místo, je tento způsob ovládání desky dostačující. Pokud by ovšem v realitě nastal problém, bylo by možné na konec spodní desky přidat nastavitelný elektrický doraz, který by za pomoci senzoru vždy zastavil písty v ideální poloze. Umístění bloku je dobře viditelné na obrázku 28, kde je znázorněn řez středem celé sestavy. K němu je pevně uchycen plastový spojovací blok vyrobený na 3D tiskárně z materiálu PLA+, který slouží k propojení válce s pohyblivou deskou. Tento spojovací blok je na obrázku vyznačen červenou barvou.

Pneumatický válec je spolu s vodicími kolejnicemi pro vozíky uchycen ke spodní duralové desce (5). Tato deska o tloušťce 7,5 mm má tvar písmene L, přičemž její hrany jsou zkosené, jak je patrné z obrázku 27. Aby se předešlo možnému průhybu při zatížení, je konstrukce dodatečně zpevněna dvěma duralovými výztužnými žebry. Ty zajišťují dostatečnou tuhost celé sestavy.

Hmotnost celé sestavy je přibližně 3 kg, a je připevněna k vozíkům lineárních os pomocí čtyř šroubů DIN 912 velikosti M6.

Celá pracovní cyklus překládacího mechanismu pak probíhá následovně: při pohybu lineárních os do požadované polohy se horní vodicí deska podle potřeby vysune nebo zasune. Pokud je deska vysunuta, umožňuje bezpečný úchop košů zespodu. Naopak při zasunutí polohy deska nepřekáží a osa se může volně pohybovat bez rizika kontaktu s konstrukcí pracích košů.



Obr. 28) Řez vertikálním dorazem

Konstrukční výpočty

Pro zajištění bezpečného provozu překládacího mechanismu bylo nezbytné provést pevnostní výpočty, které ověřují odolnost jednotlivých částí vůči působícím silám. První ověřovanou částí byla horní duralová deska. Tato deska má šířku 300 mm a tloušťku 7,5 mm. Na desku působí síla odpovídající hmotnosti tří plně naložených košů, která je přibližně 60 kg. Tato síla působí na vnějším okraji desky. Jelikož je deska pevně přichycena k vozíkům, je možné desku pro účely výpočtu považovat za vetknutý nosník namáhaný ohybem. Síla pak působí na vzdálenosti 60 mm. Jako první jsem počítal maximální ohybové napětí. Ve výpočtech pak uvažuji tyto hodnoty:

- $E = 70 \text{ GPa}$
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- $R_e = 240 \text{ MPa}$

$$F = m \cdot g = 60 \cdot 9,81 = 588,6 \text{ N} \quad (2)$$

$$M = F \cdot l = 588,6 \cdot 60 = 35\,316 \text{ Nmm} \quad (3)$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 7,5^3}{12} = 10\,574 \text{ mm}^4 \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{M \cdot h}{2 \cdot I} = \frac{35\,316 \cdot 7,5}{2 \cdot 10\,574} = \mathbf{12,525 \text{ MPa}} \quad (5)$$

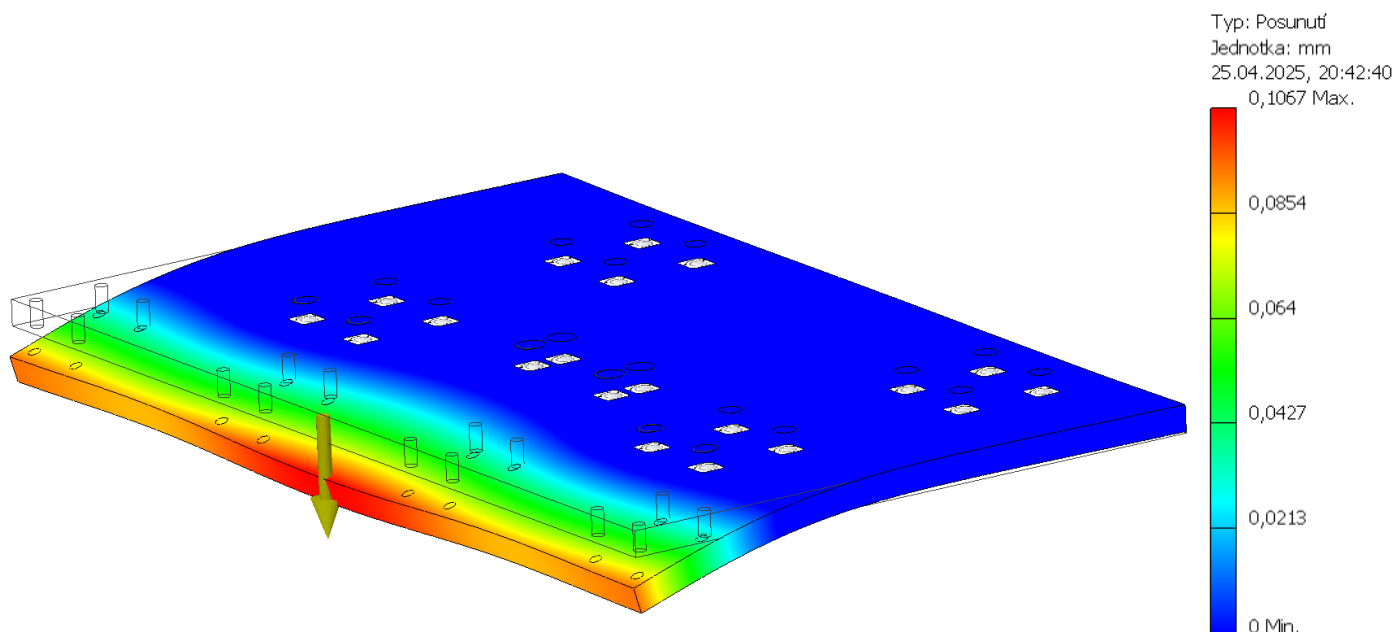
Jako další jsem poté počítal maximální průhyb desky:

$$w_a = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{588,6 \cdot 60^3}{3 \cdot 70\,000 \cdot 10\,574} = \mathbf{0,055 \text{ mm}} \quad (6)$$

Nakonec jsem spočítal bezpečnost desky:

$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{240}{12,525} = \mathbf{15,459} \quad (7)$$

Z výpočtů tedy vyšlo že deska je velmi bezpečná a nemělo by docházet k žádnému znatelnému poškození. Pro jistotu jsem provedl také pevnostní analýzu v programu Inventor, Výsledek průhybu je možné vidět na obrázku 29. Výsledek se lehce liší, jelikož metoda konečných prvků přesněji simuluje „reálné“ chování desky. I tak je průhyb 0,1 mm což je velmi nízká hodnota. Změnila se také bezpečnost desky, jelikož ve šroubových dírách dochází ke koncentraci napětí. Nejnižší bezpečnost ze simulace vyšla ale i tak 3,5, takže by deska měla být bezpečná.



Obr. 29) Výsledek statické analýzy horní desky v Inventoru

Následně bylo nutné ověřit zatížení působící na lineární vozíky značky Hiwin. Dovolené hodnoty pro konkrétní typ vozíku je možné dohledat v katalogovém listu dostupném na oficiálních stránkách výrobce. Pro zvolený model jsou příslušné parametry uvedeny na obrázku 30.

Řada/rozměr	Dynamická únosnost C_{dyn} [N] ¹⁾	Statická únosnost C_s [N]	Statický moment [Nm]		
			M_{ax}	M_{ay}	M_{az}
HG_15C	14.700	23.470	120	100	100

Obr. 30) Dovolené zatížení a momenty pro vozíky Hiwin [26]

Na dalším obrázku je další výstřížek z katalogu, který znázorňuje výpočet zatížení pro jednotlivé vozíky.

Typické příklady	Rozmístění zátěže	Zatížení vozíku
		$P_1 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_2 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_3 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$ $P_4 = \frac{W}{4} + \frac{F}{4} + \frac{F \times a}{2c} + \frac{F \times b}{2d}$

Obr. 31) Rovnice pro výpočet zatížení [26]

Deska uložená na lineárních vozících má hmotnost 1 kg, přičemž její tíhová síla je zahrnuta do veličiny W . Hodnota síly F , která představuje zatížení od zvedaných košů, byla převzata z výpočtu uvedeného v rovnici (2). Pro samotný výpočet zatížení jednotlivých vozíků byly dále uvažovány následující hodnoty:

- $a = 0 \text{ mm}$
- $b = 75 \text{ mm}$
- $c = 166 \text{ mm}$
- $d = 83,6 \text{ mm}$

$$W = m \cdot g = 1 \cdot 9,81 = 9,81 \text{ N} \quad (8)$$

$$P_1 = \frac{9,81}{4} + \frac{588,6}{4} + \frac{588,6 \cdot 0}{2 \cdot 0,166} + \frac{588,6 \cdot 0,075}{2 \cdot 0,0836} = \mathbf{413,6 \text{ N}} \quad (9)$$

$$P_2 = \frac{9,81}{4} + \frac{588,6}{4} + \frac{588,6 \cdot 0}{2 \cdot 0,166} - \frac{588,6 \cdot 0,075}{2 \cdot 0,0836} = \mathbf{-114,4 \text{ N}} \quad (10)$$

$$P_3 = \frac{9,81}{4} + \frac{588,6}{4} + \frac{588,6 \cdot 0}{2 \cdot 0,166} + \frac{588,6 \cdot 0,075}{2 \cdot 0,0836} = \mathbf{413,6 \text{ N}} \quad (11)$$

$$P_4 = \frac{9,81}{4} + \frac{588,6}{4} + \frac{588,6 \cdot 0}{2 \cdot 0,166} - \frac{588,6 \cdot 0,075}{2 \cdot 0,0836} = \mathbf{-114,4 \text{ N}} \quad (12)$$

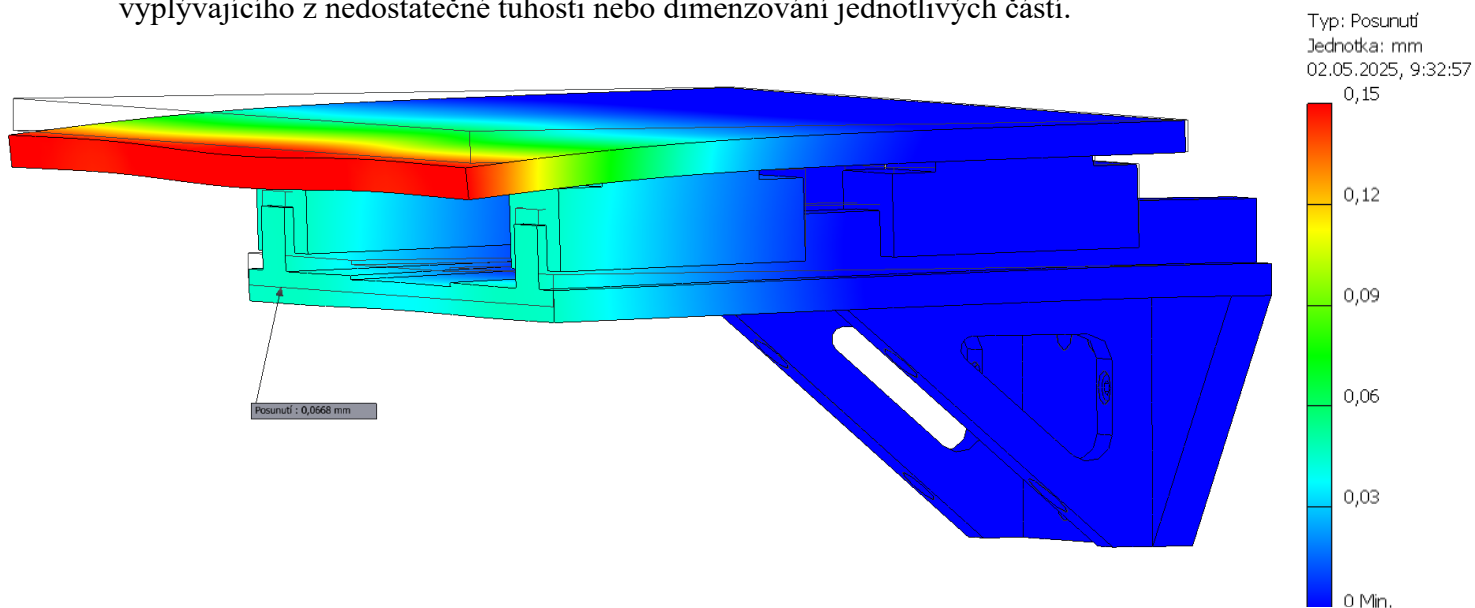
Z výpočtů vychází, že v obou případech je ale zatížení nízké a nepřesahuje povolenou únosnost.

Na samotné vozíky pak nepůsobí moment. Nosná deska je totiž navržena jako dostatečně tuhá, a proto se při zatížení chová jako celek. Jakékoli vnější momenty, které na desku působí, jsou staticky vyrovnány prostřednictvím reakcí ve vozících. Deska tedy nepřenáší moment přímo, ale převádí jej na silovou dvojici, kterou přenášejí jednotlivé vozíky v opačných směrech.

Poslední pevnostní kontrola je na spodní duralovou desku, u které bylo potřeba opět ověřit její tuhost a velikost průhybu. Výpočet již nebyl prováděn ručně, jelikož by byl velmi podobný předchozímu výpočtu u horní desky. Místo toho byla rovnou provedena simulace metodou konečných prvků v softwaru Autodesk Inventor. Výsledky simulace jsou znázorněny na obrázku 32.

Z výsledků je patrné, že největší deformace stále vzniká na horní desce, přičemž u spodní desky se průhyb v nejméně zatížených místech pohybuje přibližně okolo 0,068 mm. Díky kumulaci deformací je tedy celkový posuv horní desky přibližně 0,15 mm.

Na základě všech těchto simulací a výpočtů lze celou sestavu vertikálního dorazu z hlediska pevnosti považovat za bezpečnou. Nemělo by tedy existovat žádné riziko vyplývajícího z nedostatečné tuhosti nebo dimenzování jednotlivých částí.



Obr. 32) Výsledek statické analýzy celé sestavy v Inventoru

7.3.3 Senzorická kontrola

Posledním krokem při návrhu překládacího mechanismu bylo vyřešit způsob kontroly počtu košů přijíždějících do stanice. Tento úkol byl nakonec realizován pomocí optických senzorů, které by měli spolehlivě detekovat přítomnost jednotlivých košů během jejich pohybu po dopravníku.

Konkrétně byl použit fotoelektrický snímač WL4-3F2130 od společnosti SICK. Jedná se o senzor pracující na principu retro reflexe – vysílá paprsek červeného světla směrem k zrcátku umístěnému naproti. Jakmile se mezi vysílač a zrcátko dostane koš, paprsek je přerušen a snímač okamžitě zaznamená změnu. Tímto způsobem je možné přesně určit, zda stanice obdržela správný počet košů, nebo zda došlo k nějaké chybě během předchozích operací.

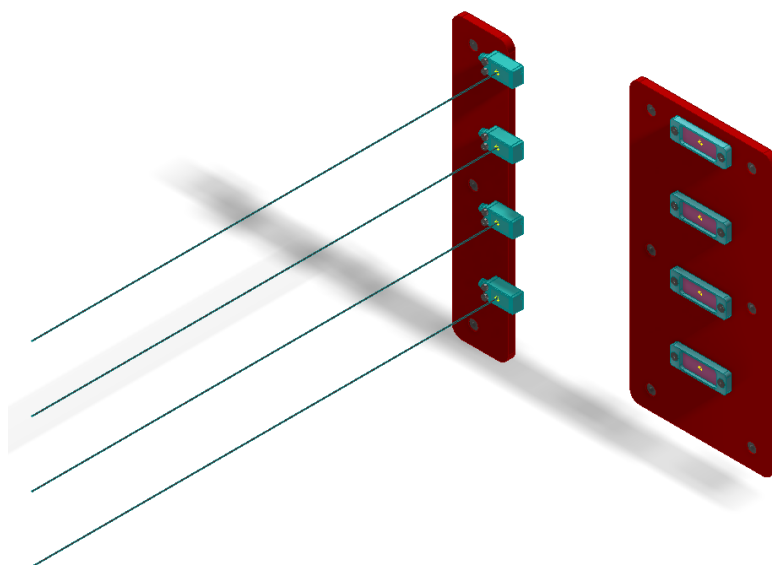
Mezi hlavní výhody tohoto typu senzoru patří kompaktní rozměry, snadná instalace, krytí IP67 zaručující odolnost vůči prachu a vlhkosti a detekční dosah až 4 metry, což s přehledem pokrývá celou šířku dopravníkového pásu. Vzhled a konkrétní provedení senzoru je znázorněno na obrázku 33. [26]



Obr. 33) Fotoelektrický snímač WL4-3F2130 [27]

V sestavě jsou celkem čtyři optické snímače, které jsou umístěny vertikálně nad sebou. Toto uspořádání umožňuje detekci jednotlivých košů v celé výšce zakládané sady. Jakmile koše přijdou do stanice, přeruší signál senzorů a je tak rychle zjištěn jejich počet. Koše jsou snímány i v průběhu rozkládání, takže systém vždy ví, kolik košů zbývá rozložit.

Všechny snímače jsou pevně uchyceny k montážní desce vyrobené z materiálu PLA+. Samotná deska je následně pomocí šroubů připevněna k rámové konstrukci překládacího mechanismu. Naproti desce se senzory je umístěna další deska ze stejného materiálu, tentokrát se zrcátka. Desky navíc obsahují drážky, takže se vždy senzory i zrcátka dají správně nastavit. Sestavu desky a senzorů lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 34) Desky se senzory a zrcátky

7.4 Zastavení košů

Po dokončení konstrukce rozkládacího mechanismu zbývalo vyřešit už jen několik drobných detailů. Jedním z nich bylo zajistit, aby se prací koše vždy zastavily ve správné a opakovatelné poloze před začátkem překládacího cyklu. Ve finální verzi projektu bude dopravník naprogramován tak, aby zastavení probíhalo automaticky a s dostatečnou přesností. Pro případ, že by došlo k chybnému zastavení nebo zpoždění dopravníku, byla do návrhu zařazena dvojice pneumatických dorazových válců.

Konkrétně byly vybrány dvojčinné pneumatické válce DFSP-40-20-F-PA od společnosti Festo. Jak vyplývá z označení, jejich zdvih je 20 mm, což je plně dostačující, jelikož slouží pouze jako doraz pro spodní obvodovou tyč koše. Jejich model je vidět na následujícím obrázku.

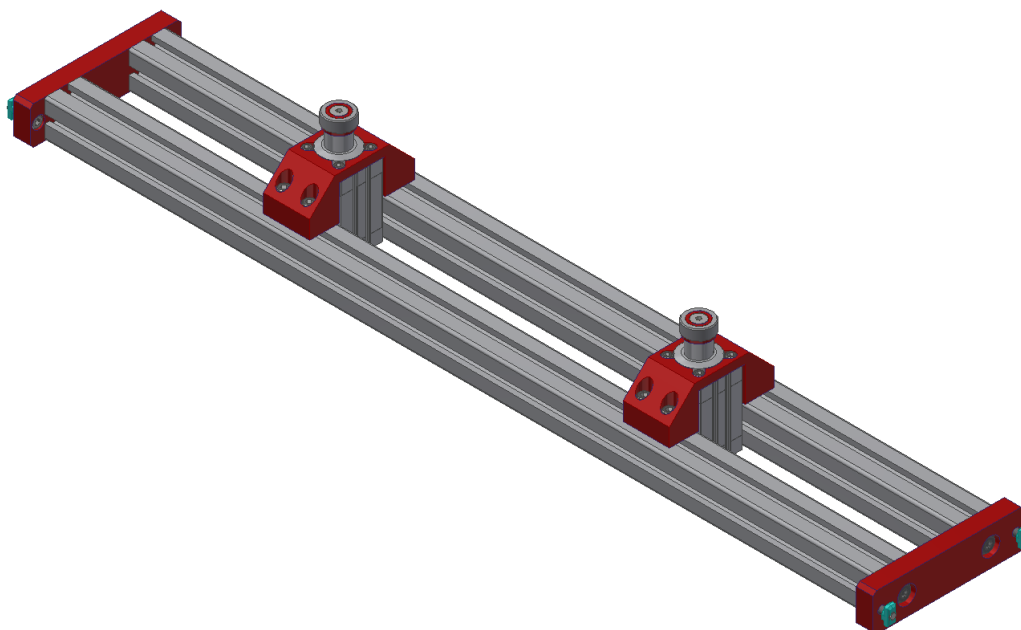


Obr. 35) Pneumatický dorazový válec DFSP-40-20-F-PA [28]

Válce jsou uchyceny do držáků vyrobených na 3D tisku. Tyto držáky jsou následně přišroubovány k hliníkovému profilu 45x45 mm, který tvoří součást rámu dopravníku.

Na samotné písty je ještě přilepen gumový nástavec, který ztlumí případný náraz od košů.

Ve výchozím stavu jsou válce v zasunuté poloze. Jakmile senzory detekují příjezd košů, dojde k vysunutí pístů, a tím jsou zastaveny v přesně definované poloze. Po zahájení překládacího cyklu jsou válce opět zasunuty, čímž uvolní odjezd spodního koše. Toto jednoduché, ale účinné řešení tak slouží jako záložní jištění celého procesu. dolů. Celá sestava je na dalším obrázku.



Obr. 36) Sestava pneumatických dorazů

7.5 Ohraničení rámovou konstrukcí

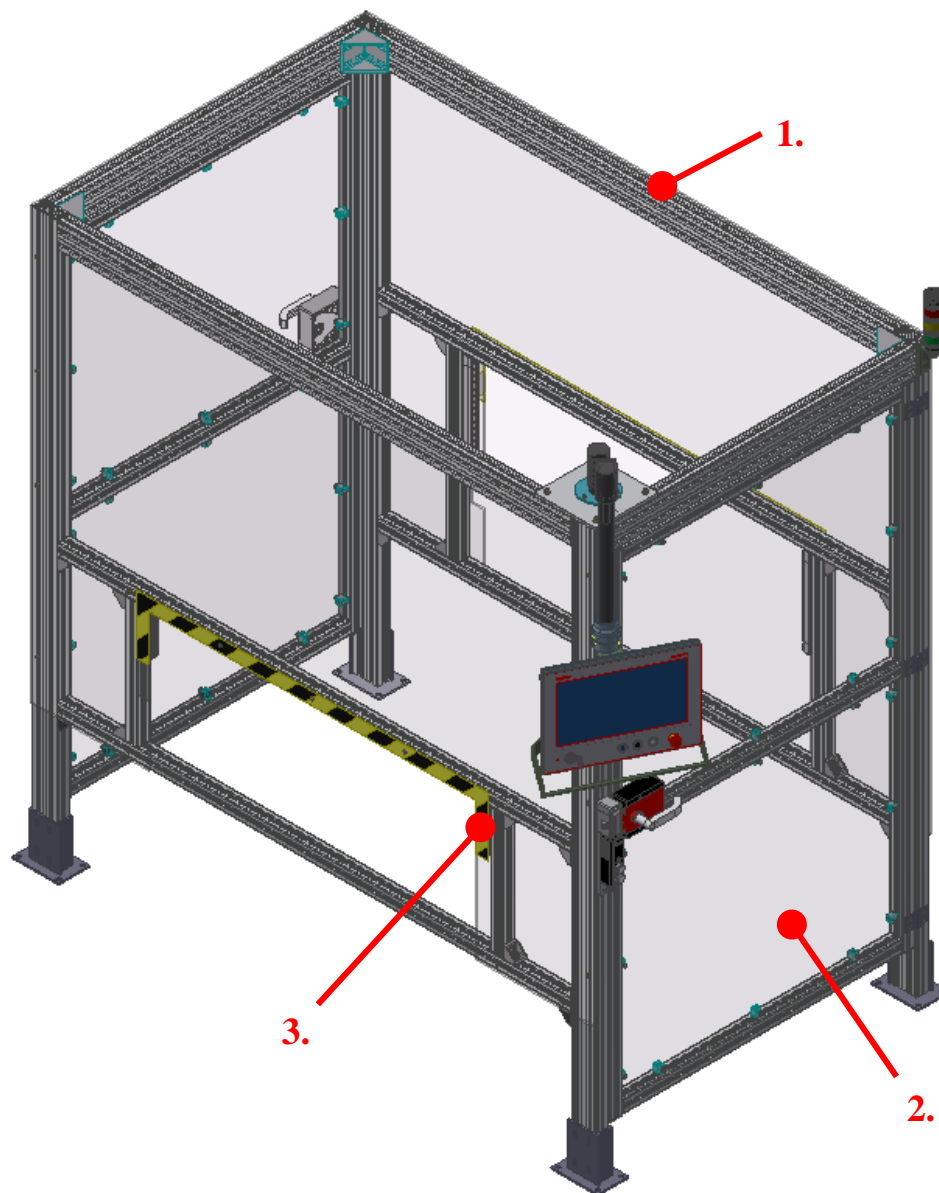
Závěrečným krokem při návrhu celé stanice bylo vytvoření bezpečnostního ohraničení pracoviště. Cílem bylo zajistit maximální bezpečnost a minimalizovat riziko jakéhokoliv úrazu během provozu.

Jako řešení byla zvolena konstrukce složená z hliníkových profilů, doplněná o krycí desky z makrolonu. Díky průhlednému makrolonu je zajištěn dobrý přehled o dění uvnitř stanice i během jejího provozu, což usnadňuje kontrolu. Zároveň makrolon působí jako zvuková izolace, čímž přispívá ke snížení hluchnosti celého pracoviště. Další výhodou je ochrana před prachem a dalšími nečistotami, které by mohly narušit provoz nebo ohrozit části zařízení.

Ohraničení je dále tvořeno několika klíčovými prvky. Tyto prvky jsou znázorněny na následujícím obrázku a jejich detailní popis je uveden v následujících podkapitolách:

- Rámová konstrukce (1)
- Bezpečnostní dveře (2)
- Bezpečnostní světelné závory (3)

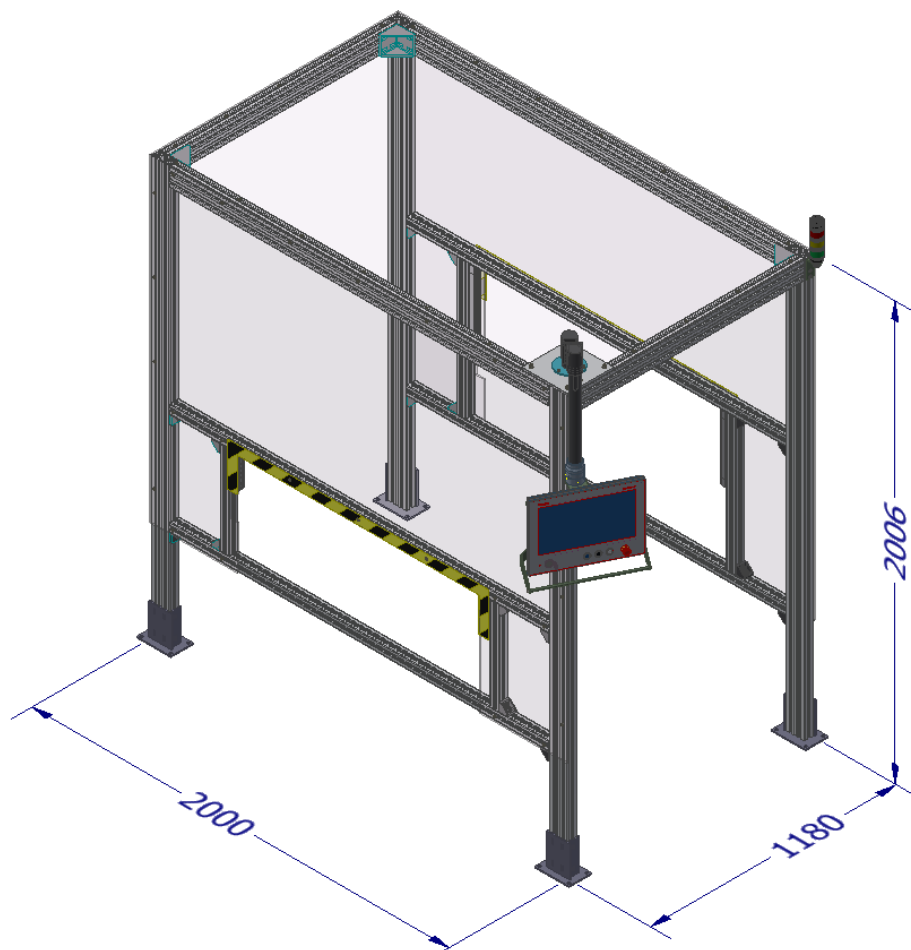
Všechny tyto prvky jsou na obrázku označeny a výkres celého ohraničení je součástí přílohy této práce.



Obr. 37) Krytování stanice

Rámová konstrukce

Rámová konstrukce tvoří základ celého krytování stanice. Pro hlavní obvodovou konstrukci byly zvoleny hliníkové profily o rozměrech 90×45 mm, které poskytují dostatečnou tuhost. Vnitřní spojovací prvky jsou z profilů 45×45 mm. Celkové rozměry a uspořádání konstrukce jsou zachyceny na obrázku 38.



Obr. 38) Rámová konstrukce krytování s rozměry

Z obrázku je rovněž patrné, že celá konstrukce je uchycena ke čtyřem ocelovým nohám, které jsou pevně ukotveny do podlahy. Toto řešení zajišťuje vysokou stabilitu krytování i během provozu stanice. Důležité je také oddělení rámové konstrukce od překládacího mechanismu a dopravníku – tím se eliminuje přenos vibrací, které by mohly negativně ovlivnit funkci nebo životnost krytování.

Na čelní a zadní straně konstrukce jsou uchyceny průhledné desky z makrolonu o tloušťce 6 mm, které slouží jako vizuální i fyzická bariéra. Tyto desky jsou upevněny pomocí šroubů přímo do drážek hliníkových profilů. V každé desce jsou vytvořeny výřezy pro průchod pracích košů, přičemž jejich okraje jsou zvýrazněny bezpečnostním značením v černo-žluté barvě. Za těmito výřezy jsou umístěny bezpečnostní světelné závory, které budou podrobněji popsány v následující podkapitole.

Další částí navržené konstrukce je kloubové rameno s displejem. Ten je od společnosti Bosch Rexroth a slouží jako hlavní ovládací a informační panel celé stanice. Obsluha z něho získá přehled o aktuálním stavu výroby, počtu přeložených košů během směny, chybových hlášeních a dalších provozních údajích. Díky teleskopickému a otočnému uložení displeje na kloubovém rameni je možné jej snadno přizpůsobit podle potřeb obsluhy. Zároveň však nezasahuje do prostoru okolo stanice a nijak neomezuje průchodnost pracoviště.

V pravém horním rohu konstrukce se nachází tříbarevný signalizační maják od společnosti BANNER. Tento maják poskytuje vizuální indikaci stavu stanice – zelená signalizuje běžný provoz, oranžová údržbu nebo zásah obsluhy a červená signalizuje chybu nebo nouzový stav. Díky tomu mají pracovníci vždy okamžitý přehled o stavu zařízení, což zvyšuje bezpečnost i efektivitu provozu.

Na bocích konstrukce, jak je patrné z obrázku 38, se nachází volný prostor určený pro instalaci bezpečnostních dveří. Ty budou podrobněji popsány v následující podkapitole. Přehled spotřebovaného materiálu, zejména profilů využitých pro konstrukci a dveře, je uveden v následující tabulce.

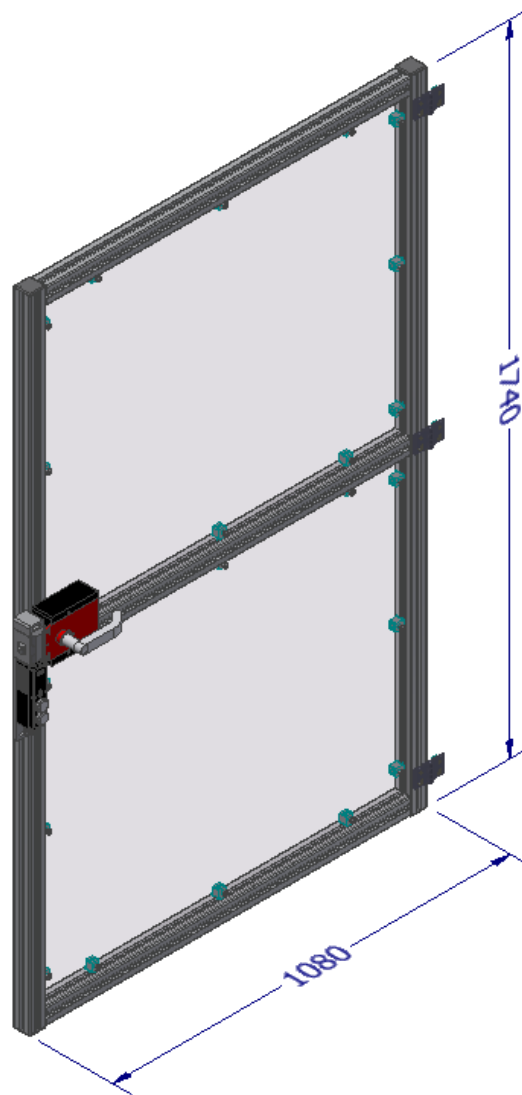
Tab 13) Využití profilů pro překládací mechanismus

Využití profilů pro krytování a dveře		
Profily 90x45 mm		
Délka [mm]	Počet	Celkem [mm]
2 000,0	4	8 000
1 820,0	2	3 640
1 090,0	2	2 180
Celkem		13 820
Profily 45x45 mm		
1 820,0	4	7 280
445,0	2	890
655,0	2	1 310
175,0	1	175
130,0	1	130
1 740,0	2	3 480
990,0	3	2 970
Celkem		16 235

Bezpečnostní dveře

Bezpečnostní dveře umožňují přístup do stanice v případech, kdy je nutné provádět údržbu, seřízení nebo jiný servisní zásah. Jejich konstrukce byla opět navržena z hliníkových profilů o rozměrech 45x45 mm. Volné plochy dveří jsou vyplněny makrolonovými deskami o tloušťce 6 mm.

Pro zajištění maximální bezpečnosti jsou dveře vybaveny zámkem od společnosti Euchner. Tento zámek je přímo napojen na řídicí systém stanice, jakmile tedy dojde k otevření dveří, okamžitě je zastaven veškerý pohyb a všechny probíhající procesy se přeruší. Tím je výrazně sníženo riziko úrazu a je tak zase zvýšena bezpečnosti celého zařízení při provozu. Model sestavy je na následujícím obrázku.



Obr. 39) Bezpečnostní dveře

Bezpečnostní světelné závory

Bezpečnostní světelné závory jsou další ochranou pracoviště, a ještě více minimalizují rizika úrazu během provozu stanice. Jsou umístěny u obou průchozích otvorů pro prací koše, přímo za žluto-černým bezpečnostním označením. Toto umístění zajišťuje, že i v případě, kdy by někdo nechtěně nebo úmyslně ignoroval bezpečnostní označení, bude situace okamžitě detekována.

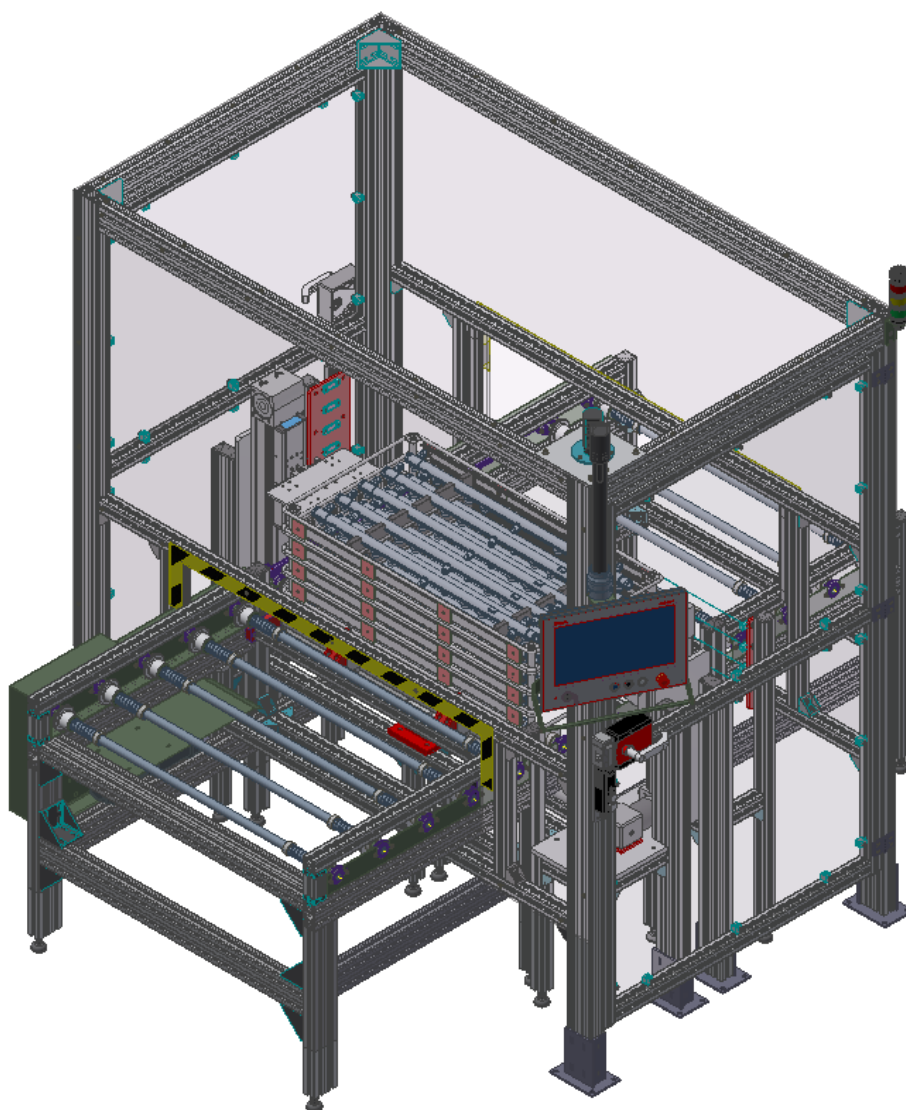
Závory pracují na principu optické detekce přerušení paprsku. Pokud se v oblasti závory objeví nějaká překážka, dojde k přerušení signálu, což systém vyhodnotí jako bezpečnostní riziko a automaticky zastaví veškeré probíhající procesy.

V tomto návrhu byly použity světelné závory od společnosti KEYENCE, konkrétně modely GRH 08 a GRH 16.

7.6 Celková sestava

Na obrázku 40 je zobrazena kompletní sestava stanice zahrnující všechny konstrukční a bezpečnostní prvky, které byly detailně popsány v předchozích částech této kapitoly.

Jediné komponenty, které nejsou součástí konstrukčního návrhu, jsou pneumatické rozvody a elektrická kabeláž. Ty se standardně navrhují až ve fázi realizace, kdy bývají přizpůsobeny konkrétním podmínkám na pracovišti. Rozvaděč bude umístěn mimo stanici, hned vedle jejího krytování. Jeho přesná poloha bude ovšem určena až při finální instalaci. Z tohoto důvodu není součástí 3D modelu. Tento model jsem poté najít ve formě STEP v příloženém souboru.



Obr. 40) Model celkové sestavy včetně krytování

8 ZHODNOCENÍ NÁVRHU

Tato kapitola se věnuje posouzení, zda byly ve výsledném řešení splněny všechny požadavky definované v průběhu práce. Součástí je také finanční analýza zvolené varianty a odhad doby návratnosti investice.

8.1 Zhodnocení návrhu

Takt a stupeň automatizace

Jedním z hlavních a zároveň prvním posuzovaným kritériem byl požadavek na plnou automatizaci překládacího procesu při zachování taktu výrobní linky. Tento požadavek byl ve finálním návrhu splněn díky kombinaci lineárních os a pneumatických pístů, které zajišťují rychlou, plynulou a zároveň bezpečnou manipulaci s koši.

Důležitou součástí tohoto kritéria byla také detekce počtu košů, která umožňuje včasné rozpoznání případné chyby v procesu. I tento požadavek byl naplněn, a to pomocí senzorů.

Bezpečnost, přístupnost a prostorová náročnost

Dalším klíčovým kritériem bylo zajištění bezpečnosti pracoviště, snadného přístupu pro údržbu a zároveň minimalizace zásahů do okolních stanic a uliček. I tento požadavek byl ve finálním návrhu úspěšně splněn. Stanice byla vybavena zabezpečenými dveřmi a světelnými bezpečnostními bránami, které zabraňují neoprávněnému vstupu během provozu. Použitý způsob krytování a celkové konstrukční řešení pak zajišťuje kompaktní rozměry celé stanice, díky čemuž nedochází k omezení okolních pracovišť ani blokování průchozích tras.

Sjednocení pracích košů

Dalším z hlavních požadavků bylo sjednocení pracích košů pro různé délky railů. Tento požadavek byl úspěšně splněn díky použití ukládacích hřebenů, které umožňují flexibilní nastavení koše dle délky zakládaných railů. Nové modely košů jsou již zavedeny ve výrobě, a obsluha je s nimi velmi spokojena.

8.2 Finanční zhodnocení

Posledním z požadavků zadavatele byla návratnost investice do tří let od uvedení stanice do provozu. V níže uvedené tabulce jsou proto shrnuty odhadované náklady na realizaci finální varianty.

Uvedené částky jsou zaokrouhlené, a to záměrně – cílem bylo zachovat důvěrnost přesných cenových údajů, aby nedošlo k finančnímu poškození jak společnosti Bosch, tak ani spolupracujících dodavatelů. Přesto kalkulace poskytuje relevantní představu o celkové investici a umožňuje posouzení návrhu.

Tab 14) Náklady na investici

Náklady na investici	
Položka	Cena [€]
2 lineární osy ELGA 120 a pohony	4 000
Pneumatické písty a příslušenství	500
Lineární vedení Hiwin	700
Konstrukce a výroba potřebných dílů	10 000
Elektronika a senzory	2 500
Krytování	1 500
Montáž a programování	10 000
Projektové vedení a certifikace CE	5 000
SUMA	34 200

Pro stanovení odhadované doby návratnosti projektu bylo nejprve nutné vypočítat roční náklady na současnou obsluhu, kterou má automatizovaná stanice plně nahradit. Stanice nahrazuje práci jednoho zaměstnance v třísměnném provozu.

Z důvodu zachování důvěrnosti, jak bylo zmíněno výše, byla pro výpočet použita průměrná mzda v Kraji Vysočina za rok 2024, která činí 40 750 Kč měsíčně. Tato hodnota byla následně [29]:

- Vynásobena počtem měsíců v roce.
- Převedena na eura pomocí kurzu platného k datu 5. 4. 2025, který činí 25,23 Kč/€,
- Násobena třemi, protože stanice nahrazuje obsluhu ve třech směnách.

Výsledná rovnice pro výpočet roční úspory v eurech tedy vypadá následovně:

$$\text{Roční náklady} = \frac{40\,750 \cdot 12 \cdot 3}{25,23} = 58\,145 \text{ €} \quad (13)$$

V následující tabulce je poté vyčíslení odhadované doby pro návratnost projektu.

Tab 15) Návrh návratnosti investice

Návratnost investice	
Kategorie	Hodnota
Celková investice [€]	34 200
Roční náklady stávající obsluhy [€]	58 145
Roční náklady na provoz [€]	3 000
Roční úspora [€]	55 145
Doba návratnosti investice [rok]	0,62

Výsledkem je doba návratnosti projektu přibližně 0,62 roku, což odpovídá přibližně 7 měsícům. Tento výsledek výrazně překonává požadavek zadavatele, který byl 3 roky. Díky takto krátké době návratnosti lze návrh hodnotit jako velmi efektivní a ekonomicky výhodný. Zároveň také varianta splňuje všechny zadané požadavky.

9 ZÁVĚR

V teoretickém úvodu této práce byly sepsány klíčové informace týkající se vysokotlakých zásobníků, tzv. railů. Podrobně byl popsán jejich výrobní proces od počátečního označení až po finální úpravy. Následně byla představena jejich úloha v systému Common Rail, včetně základního principu fungování tohoto systému a rozboru jeho jednotlivých částí.

V navazující rešeršní části byl proveden rozbor v oblasti automatizované manipulace. Zaměření bylo konkrétně na roboty a manipulátory. Z každé kategorie byli vybráni vhodní zástupci, kteří by mohli být potenciálně využiti pro překládání pracích košů, a byly následně porovnány z hlediska vhodnosti použití v dané aplikaci. Konec rešeršní části byl věnován koncovým efektorům.

V praktické části proběhlo nejprve seznámení se současným stavem automatizovaného pracoviště. Následovala specifikace požadavků ze strany firmy, které bylo nutné zohlednit při návrhu. Na to navázala konstrukce nového modelu univerzálních pracích košů, jejíž návrh a provedení bylo následně detailně popsáno.

Poté byly vytvořeny tři koncepční návrhy různých variant pro překládání pracích košů. Každá z těchto variant byla detailně popsána, a na závěr každé podkapitoly byla zařazena stručná tabulka shrnující její klíčové vlastnosti. Pro výběr nejvhodnějšího řešení byla použita multikriteriální metoda PATTERN. Na základě tohoto hodnocení byla jako nejvhodnější vybrána varianta číslo 3 – kombinace lineárních os a pneumatických pístů. Tato varianta zvítězila především díky své nízké pořizovací ceně a minimální náročnosti na údržbu.

V další části práce byla podrobně rozpracována konstrukce vítězné varianty. Úvod kapitoly představil stanici jako celek, následně byly detailně popsány jednotlivé komponenty. Klíčovým prvkem je překládací mechanismus složený ze dvou lineárních os, které zajišťují vertikální manipulaci s koší. K těmto osám je připojen vertikální doraz, který slouží k bezpečnému uchopení košů během překládání. Další součástí mechanismu jsou také senzory, zajišťující správný průběh celého cyklu. Do kapitoly byly rovněž zahrnuty potřebné technické výpočty, které slouží k ověření návrhu a dimenzování jednotlivých prvků. Závěr konstrukční části byl věnován krytování stanice a použitým bezpečnostním prvkům.

V poslední kapitole bylo provedeno zhodnocení návrhu – posouzení splnění všech stanovených požadavků a zpracování finanční analýzy včetně výpočtu návratnosti celé investice.

Součástí práce bylo rovněž vytvoření modelu a výkresové dokumentace klíčových uzlů. Celkem bylo vytvořeno sedm výkresů: celková sestava stanice, sestava krytování, sestava pracího koše, sestava překládacího mechanismu, sestava vertikálního dorazu a dva díly – konkrétně horní deska dorazu a zakládací prisma.

Návrh stanice byl následně prezentován ve společnosti Bosch Rexroth, kde nahradí dosavadní způsob překládání košů. Díky tomu dojde ke zvýšení efektivity a úspoře nákladů v rámci překládacího procesu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] High pressure rail. Online. Bosch Mobility. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/fuel-supply/high-pressure-rail/>. [cit. 2025-02-21].
- [2] Bosch Powertrain s.r.o. Interní materiály společnosti
- [3] PARKER, Anthony. Autofrettage of Open-End Tubes—Pressures, Stresses, Strains, and Code Comparisons. Online. In: Journal of Pressure Vessel Technology. 123, 3. ASME, 2001, s. 271-281. Dostupné z: <https://asmedigitalcollection.asme.org/pressurevesseltech/article-abstract/123/3/271/474926/Autofrettage-of-Open-End-Tubes-Pressures-Stresses?redirectedFrom=fulltext>. [cit. 2025-02-21].
- [4] HODAČ, Marek. Konstrukce pracovní stanice – Bosch Powertrain s.r.o. Online, Diplomová práce, vedoucí prof. Ing. Martin Pexa, Ph.D. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2024. [cit. 2025-05-22].
- [5] Common rail. Online. Wikipedie Otevřená encyklopedie. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Common_rail. [cit. 2025-02-11].
- [6] A Wavelet-Based Diagnostic Framework for CRD Engine Injection Systems under Emulsified Fuel Conditions. Online. ResearchGate. 2021. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/356609132_A_Wavelet-Based_Diagnostic_Framework_for_CRD_Engine_Injection_Systems_under_Emulsified_Fuel_Conditions. [cit. 2025-02-11].
- [7] GROOVER, Mikell P.; WEISS, Mitchel a NAGEL, Roger N. Industrial Robotics. Online. 3. Tata McGraw-Hill, 1987. Dostupné z: <https://www.rvstcc.ac.in/assets/img/pdf/ROBOTICS%20%20TEXT%20BOOK%20BY%20GROOVER.pdf>. [cit. 2025-02-26].
- [8] KOLÍBAL, Zdeněk a KNOFLÍČEK, Radek. Morfologická analýza stavby průmyslových robotů. 2. Edice vědecké a odborné literatury. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-889-2227-5
- [9] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Online, Učení text. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf. [cit. 2025-02-22].
- [10] GROOVER, Mikell P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. Online. 4. Pearson, 2015. ISBN 978-1-292-07612-6. Dostupné z: <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9781292076126>. [cit. 2025-02-26].
- [11] SCARA. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/SCARA>. [cit. 2025-02-28].
- [12] Seriální robot SCARA. Online. In: Wikipedie Otevřena encyklopedie. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SCARA#/media/File:SCARA_robot_2R.png. [cit. 2025-02-28].
- [13] STAUBLI. TX2-60 6-axis product data sheet [online]. [cit. 2025-02-22]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/content/dam/robotics/products/robots/tx2/TX2-60-6-axis-product-data-sheet-EN.pdf>
- [14] BORUNTE. Co jsou paralelní roboty a sériové roboty? Jaké jsou jejich vlastnosti? Online. 2022. Dostupné z: <http://cz.borunte.net/info/what-are-parallel-robots-and-serial-robots-wh-76626180.html>

- [15] FESTO. Paralelní kinematika Tripod EXPT. Online. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/paralelni-kinematika-tripod-id_EXPT/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndNewProduct. [cit. 2025-02-26].
- [16] HIWIN S.R.O. Lineární technika. Online. Hiwin. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/>. [cit. 2025-02-23].
- [17] HIWIN S.R.O. Vozík HGH-M. Online. Hiwin. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/nerezove-kulickove-vedeni/515_vozik-hgh-m. [cit. 2025-02-23].
- [18] Efektory priemyselných robotov. Online. Daily Automation Magazin. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/efektory-priemyselnych-robotov>. [cit. 2025-02-26]
- [19] SCHUNK GROUP. Paralelní chapadlo ELG. Online. Schunk. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/paralelni-chapadlo/elg/c/PGR_6885. [cit. 2025-02-23]
- [20] HIWIN. Lineární systém HD. Online. Hiwin. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-osy/osy-s-ozubenym-remenem/309_linearni-system-hd. [cit. 2025-03-30].
- [21] SOUKOPOVÁ, Jana. Vícekriteriální metody hodnocení. Online, Studijní text. Brno: Masarykova univerzita Brno. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MKV_VZVP/um/33149329/Studijni_text_metody_vicekriterialniho_rozhodovani.pdf. [cit. 2025-04-01].
- [22] KODÝDEK, Daniel. Výběr dodavatele s pomocí vícekriteriálního rozhodování. Online, Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Michal Kavan, CSc. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Strojní ústav řízení a ekonomiky podniku, 2018. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/79974/F2-BP-2018-Kodydek-Daniel-Vyber_dodavatele_s_pomoci_vicekriterialniho_rozhodovani.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. [cit. 2025-04-05].
- [23] IGUS. Lineární posuvné stoly. Online. Igus Motion plastics. Dostupné z: <https://www.igus.cz/technologie-pohonu/linearni-osy-s-vretenem>. [cit. 2025-04-25].
- [24] IGUS. Lineární osy s pohonem ozubeného řemene. Online. Igus Motion plastics. Dostupné z: <https://www.igus.cz/technologie-pohonu/linear-axes-with-toothed-belts>. [cit. 2025-04-25].
- [25] FESTO. Electric Motion Sizing. Online. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/s/electric-motion-sizing/>. [cit. 2025-04-25].
- [26] HIWIN. Lineární vedení. Online. Hiwin. 2024. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-qh/17_vozik-hgh. [cit. 2025-05-02].
- [27] SICK. WL4-3F2130. Online. SICK. 2025. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/pdf/0/60/060/dataSheet_WL4-3F2130_1028155_en.pdf. [cit. 2025-05-02].
- [28] FESTO. Stopper cylinder. Online. Festo. Dostupné z: <https://www.festo.com/tw/en/a/576129/>. [cit. 2025-05-02].
- [29] Průměrná mzda na Vysočině v 1. až 3. čtvrtletí 2024 – nevelký reálný nárůst. Online. Český statistický úřad. 2024. Dostupné z: <https://csu.gov.cz/vys/prumerna-mzda-na-vysocine-v-1-az-3-ctvrtleti-2024-nevelky-realny-narust>. [cit. 2025-04-05].

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam zkratek

s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung – německá obdoba s.r.o.
PCV	Regulační tlakový ventil
DMC	DataMatrix Code – Datový kód
ECM	Electrochemical Machinig – Elektrochemické obrábění
AFM	Active Foam Mixture – Aktivní čistící směs
ECU	Engine control unit – Řídicí jednotka motoru
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm – Rameno robota pro selektivní montáž
PLC	Programmable Logic Controller – Programovatelný logický počítač
POM	Polyoxymethylen (CH ₂ O) _n
PATTERN	Planning Asistence Through Technical Avaluation of Relevance Number
RTU	Relativní technická úroveň
V _i	Vybraná varianta
V _{min}	Varianta s nejnižším hodnocením
E	Youngův modul pružnosti v tahu
g	Gravitační zrychlení
R _e	Mez kluzu
F	Síla od působících košů
M	Ohybový moment
m	Hmotnost
W	Tíhová síla od desky
l	Délka
I	Průřezový moment setrvačnosti
b	Šířka desky
h	Tloušťka desky
σ	Ohybové napětí
w _a	Průhyb
k	Bezpečnost
P _{1,2,3,4}	Zatížení jednotlivých vozíků

Seznam obrázků

Obr. 1)	Sestava HFR railu [1].....	11
Obr. 2)	Model pracího stroje [2].....	12
Obr. 3)	Řez railem [2]	13
Obr. 4)	Schéma systému Common Rail [6].....	14
Obr. 5)	Schéma portálové konstrukce [9].....	15
Obr. 6)	SCARA robot Mitsubishi [12]	16
Obr. 7)	Šestiosý robot Stäubli TX2-60 [13]	17
Obr. 8)	Paralelní robot Tripod EXPT společnosti Festo [15].....	17
Obr. 9)	Lineární vedení HGH-M společnosti Hiwin [17]	18
Obr. 10)	Paralelní chapadlo ELG společnosti Schunk [19]	19
Obr. 11)	Současný layout pracoviště.....	20
Obr. 12)	Konstrukce pracího koše.....	22
Obr. 13)	Zakládací prisma	23
Obr. 14)	Sestava pracího koše	23
Obr. 15)	Koncepční návrh první varianty.....	24
Obr. 16)	Sestava koncového efektoru	25
Obr. 17)	Koncepční návrh celé stanice s první variantou.....	26
Obr. 18)	Koncepční návrh druhé varianty	27
Obr. 19)	Koncepční návrh celé stanice s druhou variantou.....	28
Obr. 20)	Koncepční návrh třetí varianty.....	29
Obr. 21)	Lineární systém HD3 od společnosti Hiwin [20]	30
Obr. 22)	Návrh celé stanice	34
Obr. 23)	Sestava rolen	36
Obr. 24)	Sestava dopravníkového pásu	36
Obr. 25)	Rozkládací mechanismus.....	37
Obr. 26)	Dynamika systému [25]	38
Obr. 27)	Vertikální doraz	40
Obr. 28)	Řez vertikálním dorazem	41
Obr. 29)	Výsledek statické analýzy horní desky v Inventoru	43
Obr. 30)	Dovolené zatížení a momenty pro vozíky Hiwin [26].....	43
Obr. 31)	Rovnice pro výpočet zatížení [26]	43
Obr. 32)	Výsledek statické analýzy celé sestavy v Inventoru	45
Obr. 33)	Fotoelektrický snímač WL4-3F2130 [27]	46
Obr. 34)	Desky se senzory a zrcátka	47
Obr. 35)	Pneumatický dorazový válec DFSP-40-20-F-PA [28]	47
Obr. 36)	Sestava pneumatických dorazů	48
Obr. 37)	Krytování stanice	49
Obr. 38)	Rámová konstrukce krytování s rozměry	50
Obr. 39)	Bezpečnostní dveře	52
Obr. 40)	Model celkové sestavy včetně krytování	53

Seznam tabulek

Tab 1) Porovnání robotů a manipulátorů.....	18
Tab 2) Rozdělení koncových efektorů	19
Tab 3) Časy na jednotlivých stanovištích.....	21
Tab 4) Shrnutí pro variantu 1	26
Tab 5) Shrnutí pro variantu 2	28
Tab 6) Shrnutí pro variantu 3	30
Tab 7) Určení pořadí jednotlivých kritérií.....	32
Tab 8) Určení vah jednotlivých kritérií	32
Tab 9) Vyhodnocení variant	33
Tab 10) Využití profilů pro dopravník	35
Tab 11) Výsledky základních vlastností [25]	39
Tab 12) Využití profilů pro překládací mechanismus	40
Tab 13) Využití profilů pro překládací mechanismus	51
Tab 14) Náklady na investici.....	55
Tab 15) Návratnost investice	55

Seznam rovnic

(1) Výpočet relativní technické úrovně.....	33
(2) Výpočet zátěžné síly od pracích košů.....	42
(3) Výpočet ohybového momentu horní desky.....	42
(4) Výpočet průřezového momentu setrvačnosti.....	42
(5) Výpočet maximálního ohybového momentu.....	42
(6) Výpočet maximálního průhybu desky.....	42
(7) Výpočet bezpečnosti desky.....	42
(8) Výpočet tíhové síly od horní desky.....	44
(9) Výpočet reakční síly na vozíku P_1	44
(10) Výpočet reakční síly na vozíku P_2	44
(11) Výpočet reakční síly na vozíku P_3	44
(12) Výpočet reakční síly na vozíku P_4	44
(13) Výpočet ročních nákladů na provoz stanice.....	55

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy	Automatizace překládání pracích košů
Výkres sestavy	Krytování stanice
Výkres sestavy	Prací koš
Výkres součásti	Prisma
Výkres sestavy	Rozkládací mechanismus
Výkres sestavy	Vertikální doraz
Výkres součásti	Horní deska dorazu
Model sestavy	75880_CJ0000.step