



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

PROJEKT AUTOMATIZACE MANIPULACE S PÍSTY

PROJECT AUTOMATION OF MANIPULATION WITH PISTON

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Markéta Mužíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	Bc. Markéta Mužíková
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2018/19

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

Projekt automatizace manipulace s písty

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě rozboru stávajícího stavu manipulace s písty, bude proveden návrh nového řešení s cílem snížení nákladů na výrobu, za podpory automatizačních prostředků ve výrobním podniku. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě.

Cíle diplomové práce:

Cílem je návrh, optimalizace a automatizace dílčího procesu manipulace s písty za účelem cílem snížení nákladů, což obsahuje:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Zhodnocení současného stavu stávající montáže: analýza montážních a pracovních časů, výrobních procesních kroků nákladů na opravy apod.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Podrobněji k automatizaci procesů: simulace nových montážních a pracovních časů po automatizaci a optimalizaci procesů, návrh variant řešení a jejich vyhodnocení multikriteriální metodou, výběr a propracování nejvhodnější varianty na základě simulace dějů a procesů.

Kalkulace návratnosti investic: oslovení dodavatelů, výpočet návratnosti investice vložených finančních prostředků.

Vyhodnocení navrhovaného řešení z technického a ekonomického hlediska.

Analýza rizik nového řešení automatizace montáže drobných dílců.

Závěr a kritické zhodnocení výsledků, doporučení pro další rozvoj.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Třetí vydání. Praha: MM publishing, s. r. o. ISBN- 978-80-260-6780-1.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá řešením projektu automatizace manipulace s písty. Na základní teoretické poznatky o společnosti Bosch a pojmech spojených s automatizací v průmyslu je navázáno detailním popisem současného stavu řešení, který představí pracoviště, jenž je předmětem práce. Následuje návrh samotných procesů obsahující simulace časů a popis variant řešení, z nichž je vybrána ta nejlepší. Zvolená varianta je popsána samostatnou kapitolou, kde je analyzován koncept optimalizovaného pracoviště s prvky automatizace a jeho jednotlivé části. Pracoviště je zhodnoceno technickým a ekonomickým směrem, což zahrnuje také kalkulaci návratnosti projektu. V posledním bodě je provedena analýza rizik sloužící ke snížení potenciálních rizik a zvýšení bezpečnosti pracoviště.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizace, manipulace, montážní linka, píst, robotické pracoviště.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with solution of project automatization of manipulation with piston. On the basic theoretical knowledge about Bosch Company and terms connected with automatization in industry is tied up with detailed description of actual state of solution, which presents workplace as the thesis issue. After that follows the project of processes containing time simulations and description of variants of the solution, from which is selected the best one. The selected variant is described in a special chapter, where is analysed the concept of optimized workplace with its elements of automatization and its parts. Workplace is appraised by technical-economic way, where is included the project calculation of backflow. In last point is made risk analysis used for reduction of risks and increase of the workplace safety.

KEYWORDS

Automatization, assembly line, manipulation, piston, robotic workplace.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MUŽÍKOVÁ, Markéta. *Projekt automatizace manipulace s písty* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116986>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Velké díky patří vedoucímu mé diplomové práce panu Radku Knoflíčkovi, za cenné připomínky a rady při vypracování závěrečné práce. Další, kdo si zaslouží mé vřelé díky je můj „průvodce“ společností Bosch Diesel spol. s.r.o., a také tohoto projektu, pan Ing. Pavel Petr za své postřehy, předané zkušenosti, ochotu a věnovaný čas. Za podporu během celého studia bych dále chtěla vyslovit díky své rodině a příteli, kteří po celou dobu stáli po mém boku, byli mi velkou oporou a inspirací.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Projekt automatizace manipulace s písty vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu.

24. května 2019

.....
Markéta Mužíková

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	MOTIVACE DIPLOMOVÉ PRÁCE	19
3	O SPOLEČNOSTI BOSCH	21
	3.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	21
	3.2 VÝROBA V ZÁVODĚ JIHLAVA-PÁVOV.....	21
	3.3 PÍST VYSOKOTLAKÉHO ČERPADLA CP3.....	22
4	TEORETICKÝ ÚVOD K AUTOMATIZACI PRACOVIŠTĚ	23
	4.1 MONTÁŽ S VYUŽITÍM AUTOMATIZACE	23
	4.1.1 Rozdělení montážních linek	23
	4.2 AUTOMATIZACE	24
	4.2.1 Rozdělení automatizace a její zdůvodnění.....	24
	4.2.2 Návrh automatizace na pracovišti	26
	4.3 ROBOTIKA A ROBOTIZACE PRACOVIŠTĚ.....	27
	4.3.1 Průmyslový robot.....	28
	4.3.2 Kolaborativní robot	29
5	SYSTÉMOVÝ ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	31
	5.1 KONCEPT PRACOVIŠTĚ A JEHO ÚKOL	31
	5.2 PŘEHLED MANIPULOVANÝCH PÍSTŮ	32
	5.3 POPIS PRACOVIŠTĚ	34
	5.4 POPIS ČINNOSTÍ	37
	5.5 ČASOVÁ ANALÝZA PROCESU	39
	5.5.1 Přímé měření	40
	5.5.2 MTM analýza – nepřímé měření.....	40
	5.6 OBSLUHA PRACOVIŠTĚ.....	42
	5.7 NÁKLADY NA OPRAVY A SERVIS.....	42
	5.8 VÝHODY A NEVÝHODY SOUČASNÉHO STAVU A PŘÍNOS NOVÉHO ŘEŠENÍ..	43
	5.9 PŘEDSTAVA NOVÉHO ŘEŠENÍ Z POHLEDU SPOLEČNOSTI	43
6	NAVRŽENÍ AUTOMATIZACE PROCESŮ	45
	6.1 SIMULACE PRACOVNÍCH A MONTÁŽNÍCH ČASŮ S VYUŽITÍM AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE	45
	6.1.1 Varianta simulace A	46
	6.1.2 Varianta simulace B	46
	6.1.3 Varianta simulace C	46
	6.1.4 Varianta simulace D.....	46
	6.1.5 Varianta simulace E	46
	6.1.6 Varianta simulace F	47
	6.2 DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ PRACOVIŠTĚ	47
	6.3 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ.....	47
	6.3.1 Varianta A.....	48
	6.3.2 Varianta B.....	48

6.3.3	<i>Varianta C</i>	48
6.3.4	<i>Varianta D</i>	49
6.4	VÝBĚR VARIANTY.....	49
6.4.1	<i>Kritéria výběru</i>	49
6.4.2	<i>Hodnocení variant pomocí hodnotících kritérií</i>	50
7	ZVOLENÁ VARIANTA PODROBNĚJI	51
7.1	CELKOVÝ KONCEPT	51
7.1.1	<i>Nepravidelné děje</i>	53
7.1.2	<i>Koncept bezpečnosti automatizovaného pracoviště</i>	53
7.2	ROBOTY.....	54
7.2.1	<i>Průmyslový robot</i>	54
7.2.2	<i>Robot SCARA</i>	55
7.3	UCHOPOVACÍ SYSTÉM.....	56
7.3.1	<i>Jednotky pro uchopení</i>	57
7.3.2	<i>Kleštiny</i>	57
7.3.3	<i>Kontrola navrženého řešení výpočtem</i>	57
7.3.4	<i>Ostatní prvky</i>	60
7.4	DOPRAVNÍKOVÝ SYSTÉM PALETEK S PÍSTY	61
7.5	ODKLÁDACÍ PLOCHY	62
7.6	MANIPULACE S PRÁZDNÝMI PALETKAMI	62
7.6.1	<i>Uchopovací systém na portálu</i>	63
7.7	ODKLÁDACÍ MÍSTA NA EXOTICKÉ PÍSTY A N.I.O. PÍSTY	65
7.8	OSTATNÍ ZÁSAHY NA PRACOVÍŠTI.....	66
7.8.1	<i>Přesun stanice</i>	66
7.8.2	<i>Programování stanice</i>	66
7.9	BEZPEČNOST PRACOVÍŠTĚ	67
7.9.1	<i>Oplocení</i>	67
7.9.2	<i>Tlačítko nouzového zastavení</i>	68
7.9.3	<i>Signalizační světelná věž</i>	68
8	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	69
8.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	69
8.1.1	<i>Náklady na pracoviště v současném stavu</i>	69
8.1.2	<i>Náklady na nové robotizované pracoviště</i>	69
8.1.3	<i>Souhrn nákladů na projekt</i>	71
8.2	KALKULACE NÁVRATNOSTI INVESTIC.....	72
8.3	SHRNUTÍ TECHNICKO-EKONOMICKÉHO ZHODNOCENÍ	72
9	ANALÝZA RIZIK	73
9.1	METODICKÝ POSTUP ANALÝZY RIZIK.....	73
9.2	ANALÝZA SYSTÉMU PRACOVÍŠTĚ	74
9.2.1	<i>Základní blokový diagram</i>	74
9.2.2	<i>Blokový diagram</i>	75
9.3	IDENTIFIKACE RELEVANTNÍCH NEBEZPEČÍ	76
9.4	ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ.....	77

9.5	PŘEHLED ZÁVAŽNÝCH IDENTIFIKOVANÝCH NEBEZPEČÍ	78
9.6	FORMULÁŘE PRO SNÍŽENÍ RIZIK.....	79
10	ZÁVĚR.....	81
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	83
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
13	SEZNAM TABULEK.....	89
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A INDEXŮ	91
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	93

1 ÚVOD

Strojírenské společnosti, které chtějí být konkurence schopné a udržovat krok se současnou dobou jsou nuceny využívat moderní technologie a svou výrobu automatizovat. Jednou z takovýchto firem, jenž nechtějí zůstat v pozadí je i Bosch Diesel spol. s.r.o. v Jihlavě za jejichž podpory a spolupráce vznikla tato diplomová práce. Jedná se o pobočku mezinárodního koncernu Bosch, logo viz obr. 1.

Snaha snížit náklady na výrobním procesu pomocí automatizace žene kupředu techniky každým dnem. Člověk zapojený do výrobního procesu je totiž nestabilní prvek, který v mnoha případech může negativně ovlivnit kvalitu výroby. Také množství odvedené práce se může lišit v závislosti na mnoha faktorech.

Výše zmíněné negativní faktory ovlivňují právě pracoviště párování pístů, které je součástí výrobní linky na vysokotlaké čerpadlo CP3 vyráběné v jihlavském závodě. Každý rok jsou náklady spojené s údržbou pracoviště velmi vysoké, zvláště pak výměna dílů na měřících kroužcích (což jsou přesné snímače pro měření pístů) stanice od výrobce Stotz. Obsluha pracoviště nemůže nikdy dosáhnout tak vysoké přesnosti pohybů během manipulace s písty, aby nedocházelo k negativnímu opotřebením dílů. Nutno vzít v potaz, že obsluha nemůže pracovat nonstop 24 hodin 7 dnů týdně a také se musí zohlednit mzdové hodnocení.

Suma sumárum náklady na pracoviště dosahují částek, jenž nelze zanedbat a je nasnadě se porozhlédnout po řešení, které by ušetřilo finanční prostředky a bylo spolehlivé na takové úrovni, abychom mohli hovořit o plnohodnotné náhradě splňující všechny požadavky dané společností. Stanoviště v novém kabátu musí plynule zapadat do koncepce výrobní linky, již je součástí. Mezi další požadavky patří dodržení taktu pracoviště do 26 vteřin a splnění návratnosti investice do 2 let.

Automatizace pracoviště – jak lehké je tato slova vyslovit, ovšem je nutné si uvědomit, že se za tímto souslovím skrývá mnoho práce, plánů, lidského snažení a velké množství času stráveného nad projektováním. Proto na začátku je důležité důkladně prozkoumat současný stav a pokračovat s těmito poznatky v návrhu projektu optimalizovaného a automatizovaného pracoviště.



Obr. 1 Logo společnosti BOSCH

2 MOTIVACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Studium technického oboru, mezi něž patří například i strojírenství, dnes vyžaduje propojení s praxí. Během studia na vysoké škole se dozvídáme poznatky, které nám poskytují základní dovednosti a znalosti z tohoto zákoutí techniky. Rovnice, vzorce, poučky i teorie zajisté mají své čestné místo ve skriptech a našich studijních plánech. Nicméně absolvent bez zkušeností z firemního prostředí je v dnešní době na trhu práce méněcenný a velkou váhu zaměstnavatelé právě přikládají praxi získané během studentských let.

Jak říká i ruský slovatný maršál Suvorov: „Těžko na cvičišti, ale lehký na bojišti“, je možné na toto rčení navázat. Výše zmíněné se stalo důvodem k rozšíření obzoru i na „bitevní poli“, konkrétně v jedné z poboček mezinárodního koncernu společnosti Bosch. Spojení jména autorky s touto společností proběhlo již během jejího studia v Brně, a to konkrétně se společností Bosch Rexroth, která je součástí Bosch Group.

Další kroky, zvědavost a specializace v oboru nicméně vedly směrem k pobočce Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě, kde proběhlo rozhodnutí výběru konkrétního téma diplomové práce s tematikou blízkou studijnímu oboru Výrobní stroje, systémy a roboty. Důvodů k tomuto rozhodnutí bylo hned několik. Jedná se o větší pobočku s výrobním závodem a také s větším spektrem oborů. Propojení jednotlivých oborů a oddělení v rámci jedné společnosti a spolupráce s lidmi v oboru znamená velkou výzvu k vypracování této diplomové práce.

3 O SPOLEČNOSTI BOSCH

3.1 Představení společnosti

Mezinárodní společnost Bosch byla založena roku 1886 Robertem Boschem. S Českou republikou se pojí začátky první oficiální pobočky o několik let později, a to od roku 1920. Nucená přestávka však přerušila obchodní zájmy v Česku, avšak devadesátá léta znamenala návrat na trh v naší zemi. V roce 1993 vznikla v Jihlavě nová éra, kdy se Bosch spojil s Motorpalem a započala se tak výroba pro vznětové motory. Avšak v roce 1996 Bosch odkoupil podíl Motorpalu. Od této chvíle je stoprocentním vlastníkem závodu německý gigant [1], [2].

Na českém trhu má zastoupení Robert Bosch GmbH Stuttgart v podobě několika dceřiných společností. Hlavní výrobní závody se nachází v Českých Budějicích, Jihlavě a Brně. Celkem se zde nachází zastoupení šesti společností, ovšem některé z nich mají funkci pouze obchodního zastoupení (v České republice se ovšem nachází také 4 výrobní závody a 1 opravárenské centrum) [1].

3.2 Výroba v závodě Jihlava-Pávov

Závody v Jihlavě jsou celkem tři, z nichž nejnovější a největší je právě závod III – Pávov (viz obr. 2). V současné době zde pracuje více než 4000 zaměstnanců a jedná se o jednu z největších firem v kraji Vysočina. Zároveň se jedná také o jeden z největších výrobních závodů v rámci Bosch Powertrain Solutions (nově vzniklé označení spojující osobní automobily, užitková vozidla a elektromobily) vůbec [2].

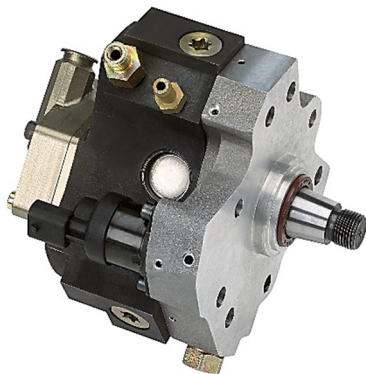
Produktová řada vyráběná v jihlavském závodě skýtá diesellové produkty do osobních a nákladních automobilů, ale také do zemědělských strojů. Konkrétně se v závodě číslo III vyrábí vysokotlaká čerpadla CP3, CP4 a CPN5/6 [2].



Obr. 2 Závod III v Jihlavě [2]

3.3 Píst vysokotlakého čerpadla CP3

Vysokotlaké čerpadlo CP3 (viz obr. 3), vyráběné od roku 2000, je dnes vyráběno pouze v jihlavském závodu, což v sobě nese jistou jedinečnost. Dodává se do osobních vozidel značek jako jsou Audi, BMW, ale především do nákladních a užitkových vozidel (což činí v současnosti přibližně 99 % produkce) [2].



Obr. 3 Čerpadlo CP3 [2]

Čerpadlo CP3 je součástí vysokotlaké části systému vstřikování paliva Common Rail. Písty jsou právě místem, kde se vytváří vysoký pracovní tlak zabezpečující správnou funkci systému. Obráběcími procesy je dosaženo vysoké kvality a dlouhé životnosti čerpadla [2].

Polotovár nakupovaného pístu (obr. 4) prochází výrobním tokem linky a pracovišť s cílem přetvořit ho do konečné podoby s danými tolerancemi, úchytkami a rozměry. Přebroušením polotovaru dochází ke splnění požadovaného průměru pístu a dané třídy pístu, které jsou určeny interním rozřazením. Po této technologické operaci broušení následuje měření zařízením Stotz na pracovišti výrobní linky, jehož automatizace je cílem tohoto projektu. Rozměry pístu (především ty funkční) jsou podstatné pro dodávaný objem paliva z čerpadla, proto je nutné během výroby a montáže čerpadla tyto rozměry ověřovat a testovat. Na pracovišti párování pístů dochází k párování pístů s čerpadlem podle tříd [2].



Obr. 4 Píst čerpadla CP3

Důležitými parametry pístu testovanými na měřicí stanici jsou průměr pístu (dříku) a kuželovitost, respektive maxima a minima těchto hodnot. Kuželovitost je také parametr ovlivněný důsledkem povrchových úprav na pístech. Tyto povrchové úpravy zvyšují odolnost pístů proti mechanickému opotřebení a jejich životnost. Používají se v zemích, kde se na trhu objevují paliva se sníženou kvalitou (např. Asie, Spojené státy americké).

4 TEORETICKÝ ÚVOD K AUTOMATIZACI PRACOVIŠTĚ

Nežli započne samotné řešení projektu automatizace manipulace s písty a seznámení se současným stavem, je nutné definovat základní teoretické pojmy, které se budou objevovat napříč celou diplomovou prací.

4.1 Montáž s využitím automatizace

Cílem montážního procesu využívajícího automatizaci je za co nejkratší čas a s použitím co nejkratší dráhy dokončit montáž daného výrobku. Jednou z možností, jak úspěšně provést montáž výrobku je montážní linka [3].

Montážní linka je vícero pracovišť rozmístěných dle daného technologického postupu a propojených dopravníkem materiálu. Lze takto provést montáž celého výrobku nebo pouze jeho části [3].

Výhodou tohoto způsobu montáže je minimalizování prostojů ve výrobě. Použití linek je výhodné při velkosériové a hromadné výrobě stejných či podobných výrobků. Pracovníci montáže mají za úkol jednoduché úkony, které ve své podstatě vyžadují krátké zaškolení, neboť se jedná o opakující se stejné činnosti [3].

4.1.1 Rozdělení montážních linek

Z hlediska teorie výrobních linek lze uvést následující rozdělení:

Synchronní linky

Každé pracoviště má pro danou činnost k dispozici stejný čas. Po vypršení tohoto času dochází k přesunu rozpracovaného výrobku k další stanici, bez ohledu na to, jestli je činnost dokončena nebo není. Tento typ linky je efektivní v případě, kdy se činnosti rozdělí tak, aby trvaly přibližně stejnou dobu na každém pracovišti [3].

Asynchronní linky

Jestliže mají operace rozdílné doby trvání, lze použít asynchronní variantu. Charakteristickým znakem takovéto linky je, že k další stanici se přesouvá rozpracovaný výrobek až v momentě, kdy je operace na předchozím pracovišti dokončena [3].

Smíšená linka

Pokud není vhodné použití ani jedné z předešlých variant, dochází k použití „kompromisu“ těchto variant v podobě smíšené linky. Řízení je složitější, avšak celkově má linka pružnější charakter [3].

Pružné linky

Přizpůsobit se charakteru výroby lze pomocí takzvaných pružných linek. Ty umožňují pružně reagovat na vzniklé podmínky [3].

4.2 Automatizace

Automatizaci lze definovat jako proces, kdy využíváme technická zařízení k nahrazení fyzické práce člověka, ale zejména k nahrazení jeho duševní řídicí činnosti. Mezi řídicí činnosti, tzn. činnosti spojené především s myšlením, řadíme [4]:

- rozhodování
- logické usuzování
- výpočtářské práce
- zapamatování a vyhledávání
- tvorba a realizace složitějších postupů

Tyto činnosti se obvykle nachází při:

- spouštění strojů a zařízení
- všeobecném řízení jejich chodu
- udržování provozních parametrů
- hledání a nastavování provozních podmínek
- odstavování strojů
- řešení havarijních a nezvyklých situací
- dálkovém ovládní strojů
- signalizace funkčních a provozních stavů
- technické diagnostice

Nejvyšší úroveň výrobního procesu je představován právě automatizací. Můžeme totiž rozlišovat tři úrovně zdokonalování procesu [4]:

- 1. úroveň – instrumentace, kdy je výrobní proces vybaven ručními nástroji
- 2. úroveň – mechanizace, kdy fyzickou práci nahrazujeme činností strojů
- 3. úroveň – automatizace, kdy je duševní i řídicí práce nahrazeny činností strojů

4.2.1 Rozdělení automatizace a její zdůvodnění

Automatizovat lze výrobní proces (posloupnost změn v určitém časovém úseku), který vnímáme v našem pojetí jako promyšlený systém¹. Automatizaci můžeme mít komplexní, kdy se jedná o plně mechanizovaný proces, který je automaticky řízen a člověk strategicky proces řídí. Automatizací částečnou nazýváme automatizaci, kdy nejsou automatizovány plně všechny procesy. Další dělení je možné na automatizaci výrobních procesů (jako je řešením této práce) nebo nevýrobních procesů, tu najdeme například veřejných službách, u peněžních ústavů či v informačních službách [4].

Důvodů, které vedou k myšlence automatizovat pracoviště je více, ale musí zde být dostatečné zdůvodnění, proč je to správný směr, kam by se měl projekt ubírat. Tyto argumenty můžeme rozdělit do tří základních skupin [4]:

¹ Systém definujeme jako skupinu předmětů organizovanou určitým způsobem. Systém je množina prvků a vztahů interaktivní vazby mezi nimi, což určuje charakteristiku systému [5].

- vynucená automatizace
 - člověk představuje pro daný proces nebezpečí (i smrtelné) – práce za vysokých teplot, v radioaktivním prostředí, ...
 - člověk je příčinou chyb, jejichž následky vedou ke ztrátám (i ke ztrátám na životech) – například navigace letadel v mlze
 - proces působí na člověka nepříznivě, způsobuje mu trvalé následky – práce v dolech, u vysokých pecí apod.
 - člověk není schopen danou činnost vykonávat, ať už z důvodu rychlosti, přesnosti, nebo jiných důvodů – například řízení turbín, řízení reakce v jaderném reaktoru
 - automatizovaný proces vykoná úkon s vyšší jakostí oproti člověku – například lakování karoserií
 - přítomnost člověka je absurdní – příklad kosmické sondy
 - příliš obtížné a ve svém smyslu i zbytečné zaměstnávat na některé činnosti člověka – vydávání lístků na dopravu, nápojové automaty, ...
- důvody založené na ekonomických hlediscích trhu
 - snížení výrobních nákladů spojené s úsporou na mzdách a úspory materiálu díky přesnější výrobě
 - snížení režijních nákladů na skladovací prostory, opotřebení strojů a nástrojů, spotřebu energií apod.
 - vyšší produktivita stažená na množství výrobků za daný časový úsek
 - zkrácení doby vývoje a výroby, krok před konkurencí
 - pružnější reakce na požadavky a přání zákazníka a tím větší šance zisku zákazníka
 - lepší funkční vlastnosti zaručují větší zájem potenciálních zákazníků
 - větší přehled o výrobě pro společnost, informovanost o stavu výroby, stavu trhu apod.
 - vyšší jakost se může oprávněně projevit na vyšší tržní ceně
- jiné důvody
 - zvýšení prestiže firmy, firma chce dokumentovat konstrukční, technické nebo finanční schopnosti a možnosti
 - zvýšení pohodlí pro člověka (dálkové ovládání, automatické otevírání dveří a vrat aj.)
 - dodávání informací, které mohou být využity pro potřebu člověka (palubní počítač v automobilu, automatická signalizace o stavu parkoviště, ...)
 - příznivý vliv na zlepšení životního prostředí a ekologie (například monitorování čistoty ovzduší)
 - může být zdrojem zábavy (automatické dětské hračky, losovací zařízení aj.)

Realizace automatizace nepřináší však bezprostředně jenom výhody, ale nese s sebou i problémy v sociálním prostředí. Mezi ty nejpodstatnější patří [4]:

- zvyšování nezaměstnanosti v důsledku rušení pracovních pozic
 - eliminovat lze pomocí rekvalifikací, pracovníky lze přeučit na pozice související úzce s automatizovaným pracovištěm (např. servisní profese), nebo vytvořením jiných pracovních pozic
- nutnost časté rekvalifikace
 - inovace a automatizace přináší do výroby nutnost rekvalifikace a proškolení na nově použité prvky, vyhnout se problémům můžeme díky informovanosti a rekvalifikaci s dostatečným časovým předstihem
- bezpečnost automatizace
 - musí být kladen důraz na bezpečnost celého řešení, včetně analýzy rizik

4.2.2 Návrh automatizace na pracovišti

Projektování nového řešení pracoviště, které je součástí složitého výrobního procesu na lince zahrnuje několik na sebe navazujících činností. Jako jednotlivé kroky projektování můžeme uvést rozdělení etap podle způsobu informovanosti [4]:

- studijní – analytická etapa
 - Má za cíl shromážďovat, analyzovat a zaznamenávat informace během této etapy získané. Podstatnou součástí této etapy poskytuje posouzení vhodnosti procesů z hlediska konstrukčně-technologických požadavků, efektivity výroby a realizace s technickými možnostmi a s danými prostředky
- návrhová etapa
 - Zpracováváme informace získané v předchozí etapě s logickým postupem. Ten se může měnit a nemusí mít vždy stejnou podobu, daným informacím přiřazujeme varianty řešení a snažíme se vyhovět požadavkům a omezením objeveným v rámci studijní analýzy. Během návrhu lze využít zkušenosti s předchozími projekty, tvořivost, znalosti, modelování apod.
- optimalizační etapa
 - Cílem etapy je vybrat nejvhodnější řešení ze všech navržených. Všechny musí splňovat ale požadavky, avšak provedení se liší technicky i ekonomicky. Je potřebné najít metodu, kterou zhodnotíme výhody a nevýhody každého řešení. V tomto případě použijeme multikriteriální metodu, ta nám upřesní řešení s nejlepšími parametry.

Na projektování se dá nahlížet také dle stupně determinovanosti zpracování a vazeb na okolí [4]:

- aplikace známých řešení
 - Využíváme jako vzor dříve vykonané projekty a práce, účinné využití námi ověřených metod a procesů.
- tvořivá práce
 - Zakládá se na výzkumně-vývojové a inovační činnosti. Zaměřena na návrhy vícero řešení s uvědoměním si důsledků spolu se vstupními informacemi.

- inženýrské výpočty
 - Jedná se o výpočty potřebné k řešení projektu, například se může jednat o určení spotřeby času, výpočtu zatěžujících sil apod.
- ekonomické výpočty
 - Slouží jako podstatná část analýzy při porovnávání návrhů, zahrnuje výpočty nákladů nebo také návratnost investice. V této diplomové práci jim je věnován prostor v kapitole 8.

4.3 Robotika a robotizace pracoviště

Robotiku můžeme definovat jako technickou disciplínu o řízení mechanických systémů, robotů, manipulátorů a jiných strojů. Robotika má vazby na další obory a lze ji podle těchto vazeb rozdělit následovně [6]:

- teoretická robotika
 - Má za úkol hledat principy, možnosti a omezení, je spojena například s biologií, matematikou, fyzikou nebo psychologií
- experimentální robotika
 - Používá se k ověřování nově navržených principů například stavěním modelů, spolupracuje s umělou inteligencí, kybernetikou a dalšími inženýrskými obory.
- průmyslová robotika
 - Cílem průmyslové robotiky je navržení daných konstrukčních řešení univerzálních, ale také řešení na míru podle určitých požadavků a umístění nových konstrukčních řešení do průmyslu.

Průmyslové roboty a manipulátory (označované také PRaM) tvoří základní prvek robotizovaného technologického pracoviště (RTP). Další zařízení umístěné na pracovišti je označováno jako periferní zařízení [7].

Při vlastním návrhu pracoviště se uvažuje vlastní RTP a dále také jeho zařazení do výrobního systému², jakým je také výrobní a montážní linka. Robot v zásadě lze využívat ke třem typům operací [7]:

- technologický proces
- manipulační operace
- řízení veškerých funkcí robotizovaného modulu

Manipulace s materiálem je významnou částí výrobního systému. Průmyslový robot v kombinaci s dalším zařízením zajišťuje manipulaci s materiálem. Oblasti manipulace s materiálem se dají rozdělit takto [7]:

² Výrobní systém je definován jako soubor technických prostředků obsluhovaných lidmi a řízený na základě metod, postupů a principů s cílem přetvářet vstupy na výstupy a naplnit tak vize a strategie firmy. Obecně lze výrobní systém chápat vše, co přetváří vstupy na výstupy s určitou přidanou hodnotou [8].

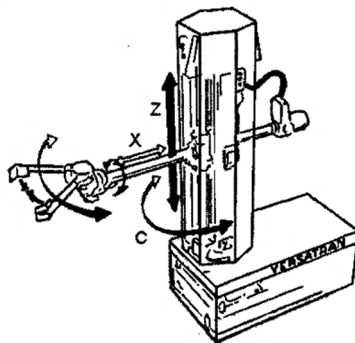
- materiálový tok
- skladování materiálů, polotovarů a výrobků
- mezioperační a operační manipulace
- řešení manipulace s materiálem
- manipulace s odpadem
- balení, vážení a počítání kvantity

Do skupiny materiálového toku pak řadíme například tyto objekty manipulace:

- materiály a polotovary
- výroby
- nástroje
- měřicí a kontrolní zařízení
- pomocné prostředky
- odpad

4.3.1 Průmyslový robot

V průmyslu se využívají stroje, které zastávají práci člověka, avšak nemají lidskou podobu. Říká se jim z tohoto důvodu často automaty, nicméně v roce 1961 přišla americká firma AMF (American Machine and Foundry Corporation) s mnohoúčelovým automatem pod názvem „průmyslový robot VERSATRAN“ (VERSAtile TRANSfer) (obr. 5). Ten také vykonával činnost člověka, aniž by měl jeho podobu. Od této doby automatu říkáme termínem průmyslový robot [7].



Obr. 5 Průmyslový robot VERSATRAN [7]

K přesnému definování pojmu průmyslový robot poslouží například citace P. N. Beljamina [9]: „*Průmyslový robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí.*“

Vlastnosti, kterými by měl takovýto průmyslový robot oplývat, jsou potažmo tyto:

- manipulační schopnost
- univerzálnost
- vazba s prostředím
- autonomnost chování
- integrovanost
- obratnost

Roboty, nejen ty průmyslové lze posuzovat z několika hledisek a dělit je tak do kategorií. Pro jejich posuzování se používají tyto aspekty [10]:

- velikost a hmotnost
- počet stupňů volnosti
- velikost obsluhovaného prostoru
- dosahovaná přesnost
- architektura (stavba) robotu
- autonomnost robotu
- způsob pohonu
- rychlost pohybů
- hmotnost břemene
- druh servopohonů
- způsob odměřování
- způsob řízení a komunikace s okolím

4.3.2 Kolaborativní robot

Kolaborativní robot (například UR 5 viz obr. 6) neboli kobot se liší od jiných typů průmyslových robotů tím, že je určen pro spolupráci s člověkem. Proti klasickému řešení s průmyslovým robotem nemusí pracovat za oplocením, a přesto je bezpečný. Jeho bezpečnost a vlastnosti zaručuje implementování částí [11]:

- rychlostní a momentové senzory v kloubech robota
- co nejmenší hmotnost ramena kobotu
- nižší rychlosti ramen kobotu
- zaoblený tvar ramen robota
- použití měkčích materiálů na povrchu ramen
- taktilních čidel (sensitive skin)
- sériové elastické členy v kloubech ramen
- kamerový systém sledující okolí kobotu

Mezi výhody použití kobotů v průmyslu patří například tyto [11]:

- snadná instalace
- bezpečnost
- snadné přemístění a nová instalace s přeprogramováním
- souběh manuální lidské práce a práce robota



Obr. 6 Kolaborativní robot typ UR 5 [11]

Moderní technologie s kolaborativními roboty lze nahradit také i řešením společnosti Bosch nazvaným APAS. Pod tímto názvem se ve své podstatě skrývá „rukáv“ s citlivými čidly umístěný na průmyslovém robotu, čímž se stane klasický průmyslový robot kobotem [12].



Obr. 7 Bosch APAS Fanuc LR Mate [12]

Na trhu jsou dvě verze tohoto spojení rukávu s robotem dvou světových výrobců robotů – Fanuc (obr. 7) a Kuka. Výhoda tohoto řešení je rychlá flexibilní přeměna technologií, která může předurčit směr průmyslu do budoucna. Není zde nutnost speciálního programového vybavení robotu. Robot pak reaguje na pohyb ve vzdálenosti 50 mm od citlivé „kůže“. S kolaborativním robotem je společné, že je lze používat bez příslušného oplocení prostoru, čímž se ušetří místo ve výrobní hale. Univerzálnost a praktičnost použité technologie je například zaručena unikátním kamerovým systémem, či uchopováním zhotoveným přímo pro tyto robotické systémy [12].

5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

5.1 Koncept pracoviště a jeho úkol

Pracoviště párování pístů vysokotlakého čerpadla (viz obr. 8) je jedním z pracovišť montážní výrobní linky, které plní své funkce skloubením manuální lidské činnosti a automatického provozu.



Obr. 8 Pracoviště párování pístů v současném stavu [2]

Prostoje jsou zde minimální, neboť je linka navržena na míru pro velkosériovou výrobu čerpadla CP3, a tak činnosti v běžném provozu na sebe plynule navazují. Jednotlivá pracoviště jsou propojena transferovým dopravníkem, jehož účel je manipulace mezi pracovišti s rozpracovaným vysokotlakým čerpadlem.

Pracoviště je koncipováno jako jednoúčelové měřicí zařízení s periferiemi a obsluhou, která má obsluhovat pracoviště primárně vestoje, potažmo vsedě. V aktuálním stavu linky zde probíhá jako hlavní činnost párování pístů (rozměřování pístů) a souběžně probíhají na pracovišti dvě vedlejší činnosti, a to montáž šroubů a lepení štítků. Tyto dvě vedlejší činnosti nikdy neprobíhají souběžně během jednoho cyklu. Podle daného typu čerpadla vyráběného na lince se zde provádí jedna, nebo druhá doplňková činnost. Tudíž se činnost pojí s konkrétní výrobní dávkou (sérií).

Takt tohoto pracoviště je stanoven v současném stavu na 26 vteřin, přičemž je zde započítána i časová rezerva, neboť člověk není stroj, a přece jen může dojít ke krátkým prodlevám způsobených například lidským vnímáním, reakcí, manuální zručností apod. Výrobní linka je z těchto důvodů pružná a pracoviště v současném stavu je velkou měrou závislé na lidském prvku.

5.2 Přehled manipulovaných pístů

V současném stavu jsou písty na toto pracoviště dodávány v kovových koších (obr. 9) nebo plastových paletkách (obr. 10), které jsou všechny určeny pro opakované použití a ve firemním slangu jsou označovány jako blistry. Prázdné se navracejí z montážní linky jihlavské pobočky zpět do výrobního závodu, kde se do nich vloží další písty.



Obr. 9 Kovový koš s písty

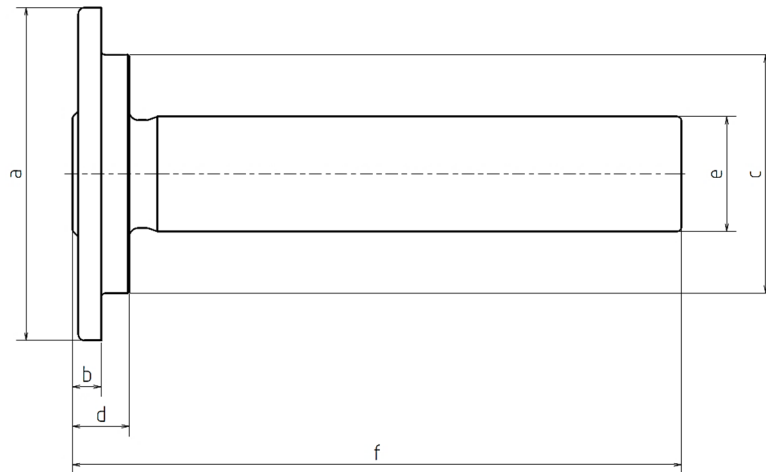


Obr. 10 Plastová paletka na písty

Uložení pístů v paletce spočívá v zasunutí dřívku do otvoru a opření se spodní plochou hlavy pístu o paletku. U kovové paletky nastává volné uložení, které sice zabezpečí oddělení jednotlivých pístů, ale díky volnému prostoru v okolí dřívku se může při manipulaci s paletkou píst vychýlit ze své původní polohy.

Písty jsou vyrobeny z polotovaru a mohou být povlakovány. Tento povlak se nanáší pro písty určené na trhy, kde bývá zpravidla nízká kvalita paliva. S tímto nanášením povlaku souvisí i drobné tvarové změny, čímž se dosáhne specifického tvar povlakovaného pístu.

Písty se liší také svými rozměry, ty nejdůležitější z nich jsou označeny na následujícím obr. 11.



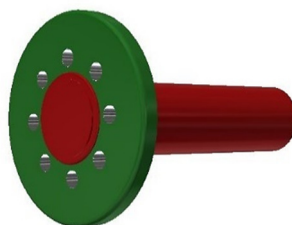
Obr. 11 Hlavní rozměry pístu

Úplný přehled hlavních rozměrů pístů podstatných pro řešení projektu poskytuje následující tabulka 1. Rozměry jsou označeny dle obr. 11.

Tab. 1 Přehled manipulovaných dílů

Číslo pístu	Průměr hlavy	Tloušťka hlavy	Průměr spodní hlavy	Tloušťka hlavy celková	Průměr dřívku	Celková délka pístu
	a	b	c	d	e	f
1	18,9	1,65	13,5	3,30	7,045	27,20
2	21,9	1,90	15,7	3,75	7,560	40,15
3	21,9	1,90	15,7	3,75	7,545	32,10
4	17,9	1,80	12,5	3,30	6,450	26,35
5	18,9	1,80	13,5	3,30	6,545	27,45
6	18,9	1,80	13,5	3,30	7,045	27,45
7	20,6	1,00	15,7	2,90	7,557	37,80
8	22,8	1,90	16,2	3,75	8,062	37,55
9	17,9	1,80	12,5	3,30	6,545	29,90
10	21,9	1,90	15,7	3,75	6,545	32,10
11	17,9	1,80	12,5	3,30	6,545	26,35

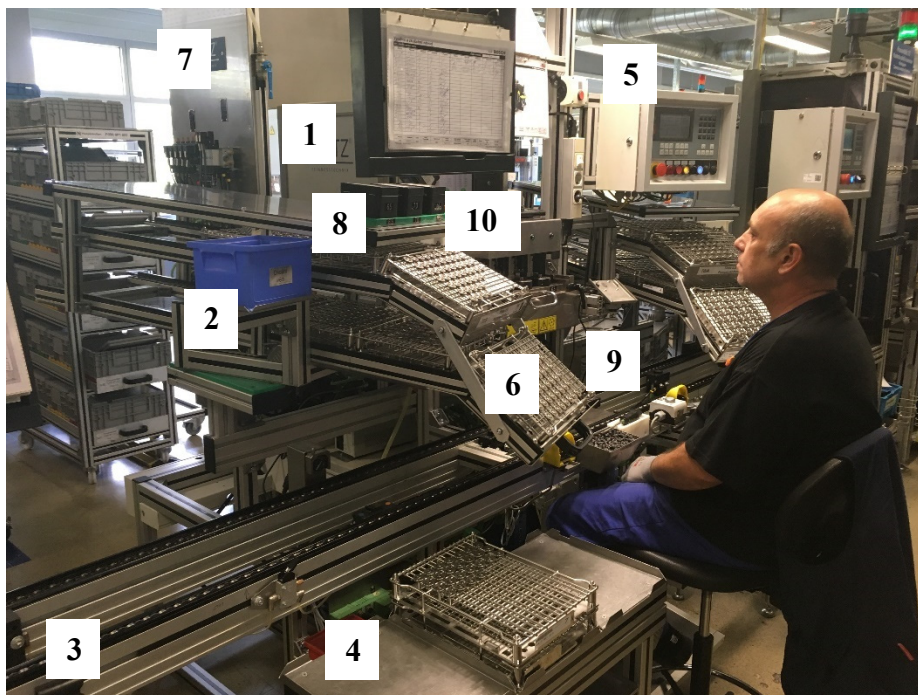
Během manipulace s písty je důležité využívat pouze plochy pístu k tomuto určené. Definování ploch, které jsou vhodné pro manipulaci je vidět na obr. 12 (vyznačeny zeleně).



Obr. 12 Plochy dotyku na pístu

5.3 Popis pracoviště

Pracoviště párování pístů představuje komplexní systém. K detailnějšímu popisu poslouží i obr. 13, který následuje.



Obr. 13 Pracoviště a jeho popis [2]

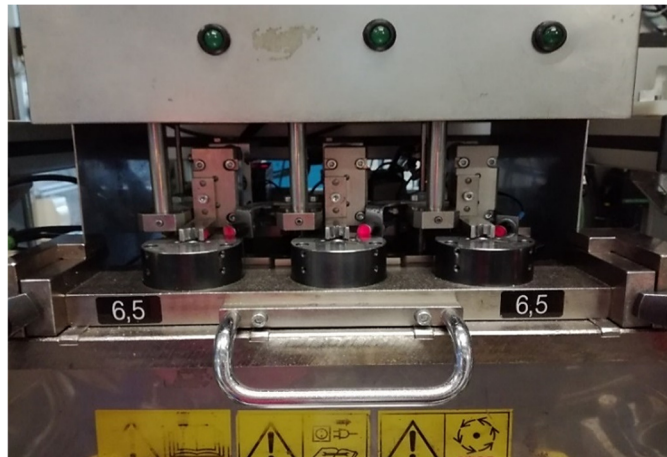
- | | |
|--------------------------------|--|
| 1 – měřicí stanice Stotz | 6 – paletka s písty |
| 2 – skluzy | 7 – elektrický rozvaděč a rozvody pneumatiky |
| 3 – dopravník mezi pracovišti | 8 – kalibrační sada |
| 4 – vozík na paletky s písty | 9 – stopper a zvedačka na dopravníku |
| 5 – ovládací panel pro obsluhu | 10 – měřicí kroužky |

Uprostřed tohoto pracoviště se nachází měřicí zařízení společnosti Stotz. Obsluha tohoto zařízení se uskutečňuje na základě ovládacího panelu na pravé straně obrazovky - tlačítek, které jsou umístěny přímo před pracovníkem (viz obr. 14). Obsluha pracoviště může řídit pracoviště i pomocí druhé obrazovky umístěné na pravé straně pracoviště (pozice 5, obr. 13).



Obr. 14 Obrazovka měřicího zařízení Stotz [2]

Zařízení obsahuje tři měřicí pozice (viz obr. 15) se třemi měřicími kroužky. Nad jednotlivými pozicemi se nachází LED kontrolky sloužící k signalizaci.



Obr. 15 Měřicí pozice na zařízení [2]

Po obou stranách měřícího zařízení jsou umístěny skluzy (obr. 16), na kterých jsou umístěny paletky s písty. Tyto skluzy jsou čtyři – na obou stranách dva nad sebou. Skluzy lze natočit dle potřeby obsluhy. Jedná se o sestavu z profilů, na nichž jsou umístěny válečky, díky nimž je možný skluz paletek.



Obr. 16 Skluz v současném stavu [2]

Skluzy společně s měřícím zařízením jsou umístěny na rámové konstrukci smontované ze čtvercových profilů. Konstrukce je ukotvena do podlahy a tímto je zabezpečena poloha jednotlivých prvků stanice.

Pracoviště párování pístů je s dalšími propojeno dopravníkem. Přímo před pracovní stanicí je umístěn na dopravníku stopper se zvedačkou (obr. 17), na které lze nosič obrobku neboli WT (obr. 18) spolu s čerpadlem otočit a usnadnit tak práci obsluhy při doplňkových činnostech lepení a šroubování. Nosič obrobku je v základu deska, na kterou se následně umísťuje speciálně upravený přípravek přímo pro konkrétní umístění čerpadla.



Obr. 17 Dopravník se zvedačkou před měřicí stanicí [2]



Obr. 18 Základní deska nosiče obrobku [2]

V přední části pracoviště je také umístěn vozík, na němž jsou uloženy paletky s další třídou pístů. Na tento vozík může být umístěno více tříd pístů, avšak obsluha pracoviště musí mít přehled o tom, jaká třída je kde umístěna.

V zadní části pracoviště je umístěno technické zázemí pracoviště. Je zde například elektrický rozvaděč, či rozvody pneumatiky. Pohled z druhé strany pracoviště nabízí obr. 19.



Obr. 19 Pohled na pracoviště ze zadní strany [2]

Samozřejmě i v současném stavu jsou bezpečnostní prvky. Je zde umístěna signální věž (možno vidět v levém rohu na obr. 19), tlačítko nouzového zastavení apod.

5.4 Popis činností

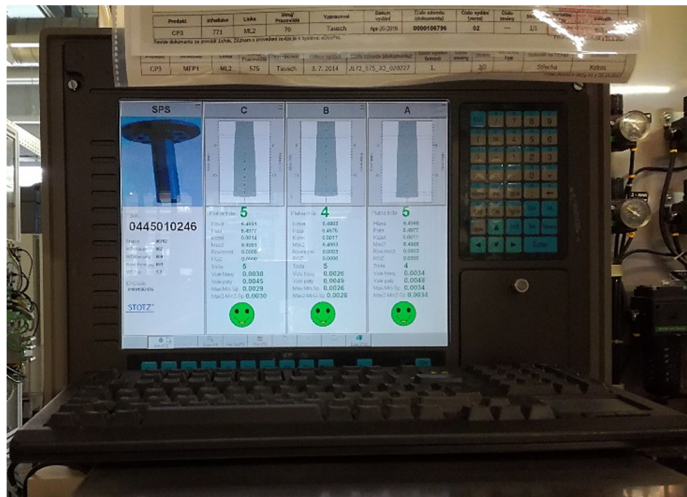
Obsluha pracoviště má za úkol sled jednotlivých kroků, které musí být provedeny správně dle odpovídající kvality a zároveň musí dojít ke splnění časového plánu. Koloběh hlavních úkolů probíhá cyklicky.

WT přijíždí, s čerpadlem na něm umístěným, samostatně lineárním posuvem na dopravníku, který propojuje mezi sebou jednotlivá pracoviště. Zastavuje se na zvedáče zabudované v dopravníkovém systému. S přichozím WT se na displeji před obsluhou zobrazí třídy pístů, které musí být použity. Informace se automaticky načtou do systému již na předstoperu stanice.

Pracovník vybírá písty daných tříd z paletků umístěných na skluzech (zásobnících) po stranách měřicího zařízení Stotz. Skluzy jsou 4, takže máme k dispozici pro každou třídu nejpoužívanějších pístů jeden skluz. V případě nedostatku prostoru pro aktuálně používané třídy pracovníci linky využívají mobilního vozíku, na který si uloží koše s písty jiných tříd (v praxi se jedná nejvýše o 3 koše, s takzvanými exoty). V návaznosti na zkušenosti posledních let z výroby se používá nejčastěji celkem 8 tříd pístů.

Ve vysokotlakém čerpadle jsou písty tři, proto se musí přemístění z paletků provést ve dvou krocích. Není pevně určeno, zda v prvním kroku se jedná o výběr jednoho nebo dvou pístů či naopak). Písty uloží obsluha do měřicích kroužků a stiskne tlačítko, čímž spustí proces samotného měření. Zařízení Stotz je určeno k měření kuželovitosti a průměru pístu.

Po dokončení měření dochází k vyhodnocení (viz obr. 20), zda písty splňují či nesplňují dané hodnoty. Splnění či nesplnění je zobrazené smajlíkem v dolní části obrazovky. Obsluha tak lehce vyčte potřebné informace.



Obr. 20 Zobrazení výsledku měření i.O. na monitoru [2]

Pokud měření proběhlo úspěšně – proces je i.O.³, zobrazí se tři zelené smajlíky (obr. 21). Obsluha písty vloží do otvorů na hrazdičce na nosiči obrobku.

³ i.O. zkratka z německého in Ordnung, neboli je vše v pořádku.



Obr. 21 Zobrazení i.O. měření

Pokud se zobrazí žlutý smajlík, či smajlíci (viz obr. 22), obsluha vezme tento píst z měřicího kroužku a umístí jej zpět do paletky. Zeleně označené písty ponechává v zařízení. Na místo žlutého umístí jiný píst dané třídy.



Obr. 22 Vyhodnocení n.i.O. měření - písty vybrány znovu

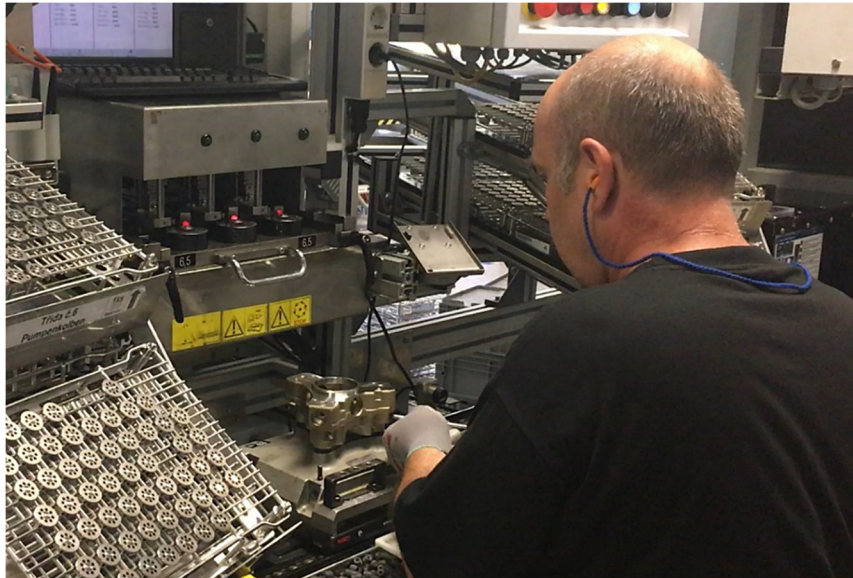
V případě zobrazení červeného smajlíku (smajlíků), viz obr. 23, dochází také k výměně pístu, ale červeně označený píst je odložen do n.i.O. boxu⁴, ne zpět do paletky. Následuje opakované přeměření. Postup se opakuje do doby, než budou všechny tři smajlíky zelené.



Obr. 23 Měření ni.O. - písty vloženy do n.i.O. boxu

Během procesu pracovník stanoviště má za úkol již výše zmíněné vedlejší činnosti – lepení štítků a montáž šroubků. Lepení štítků následuje po vyhodnocení vložených pístů. Dochází k uvolnění otoče nosiče obrobku pomocí tlačítka, natočení do potřebné polohy a nalepení štítku na stanovené místo. Po nalepení štítku se opět nosič obrobku stiskem tlačítka vrátí do výchozí polohy. Tento nosič pak s vysokotlakým čerpadlem pokračuje na lince k další stanici. Montáž šroubků (obr. 24) probíhá v době, kdy zařízení Stotz přeměřuje písty a montáž obsluha provádí dle montážního návodu, avšak tato činnost není navržena v procesu tohoto pracoviště.

⁴ Takzvaný n.i.O. box – tento název je z němčiny, a to konkrétně ze slovního spojení nicht in Ordnung (není v pořádku – např. se závadami).



Obr. 24 Vedlejší činnost šroubování [2]

Po dokončení jednoho cyklu se znovu činnosti cyklicky opakují. Činnosti se přeruší pouze při pravidelných přestávkách nebo při zastavení linky díky chybě v procesu. Paletky do skluzů jsou zakládány dalším pracovníkem (milkranem⁵) jednou za hodinu, což neovlivní chod pracoviště, neboť zásobování probíhá ze zadní části montážního pracoviště (vyjma paletek na mobilním vozíku ve přední části pracoviště).

Proces párování pístů se přeruší v okamžiku, kdy je nutné provést plánovanou kalibraci. Ke kalibracím slouží kalibrační sada, která je vždy umístěna na pracovišti. Jednodušší kalibrace se uskutečňuje jednou za hodinu, větší kalibrace pak nastává na konci pracovní směny. Tyto časy se zahrnují do plánovaného taktu, viz kapitola o nepřímém měření.

5.5 Časová analýza procesu

Pro jasný přehled o stavu současného poznání je nedílnou součástí také časová analýza. V praxi se používá několik druhů časové analýzy, jež by nám měla poskytnout objektivní pohled, kolik času reálně spotřebujeme na daný proces [15, 16].

V případě hrubého odhadu je možné použít stopky, avšak v případě, kdy je již nutné mít přesnější hodnoty, používají se odlišné metody. Ty pak lze v zásadě rozdělit na dva typy, a to na přímé a nepřímé. Mezi přímé měření se zahrnují například již zmíněné stopky, nebo také specializovaný software či specializované zařízení. K nepřímým metodám časové analýzy řadíme například MTM metodu, u níž máme předem k jednotlivým úkonům dle náročnosti přiřazené časy [15, 16, 17].

⁵ Vzniklo z anglického spojení „milk run“ používaného pro rozvoz materiálu ze skladu po předem dané logistické trase s přesným harmonogramem. Během rozvozu se také odváží prázdné palety (v našem případě blistry) zpět do skladu nebo na určené místo [14].

5.5.1 Přímé měření

První varianta, jak stanovit časový sled činností, spočívá ve video analýze, která je proveditelná z nahrávky videa z výrobní linky. Taková to metoda je zatížena chybou vzniklou díky člověku, ale může ukázat alespoň přibližnou spotřebu času u daného procesu. V tomto případě bylo využito snímkování z předem nahraného videa.

Video si projektant přehrává a postupně stopuje a zapisuje jednotlivé intervaly činností. Tato analýza je přesnější, pokud se video například zpomalí nebo se využijí speciální softwary určené k simulaci času.

Avšak touto metodou nebylo dosaženo potřebné přesnosti, neboť je potřeba zkušeností s obdobným měřením. Výsledky přímého měření párování pístů s vedlejší činností se šroubky zobrazuje tab. 2. Proto bude využito jiné metody, a to konkrétně MTM analýzy [15, 17, 18].

Tab. 2 Časová analýza – metoda přímého měření

Č. op.	Předmět	Operace	Start operace	Konec operace	Doba trvání operace
			[s]	[s]	[s]
1	člověk	doba prodlevy čekání po ukončeném měření na zašroubování šroubků	7	10	3
2	člověk	natažení se pro písty	10	11	1
3	píst 1 a 2	přesun z měřicí stanice do nosiče obrobku	11	12	1
4	píst 3	přesun z měřicí stanice do nosiče obrobku	12	13	1
5	tlačítko	zmáčknutí tlačítka obsluhou a odjetí nosiče obrobku	13	14	1
6	WT	přijetí dalšího nosiče obrobku	14	18	4
7	člověk	zjištění třídy a natažení se pro písty 1 a 2 do koše	18	20	2
8	píst 1 a 2	vložení pístů 1 a 2 z koše do měřicí stanice	20	21	1
9	píst 3	natažení se pro píst 3	21	22	1
10	píst 3	vložení pístu 3 z koše do měřicí stanice	22	23	1
11	člověk	inicializace měření	23	23,5	0,5
12	Stotz	měření na stanici	23,5	29	5,5
Celková doba cyklu					22

5.5.2 MTM analýza – nepřímé měření

MTM (Methods Time Measurement) analýza je metoda sloužící k analýze lidské práce, během níž dochází ke stále se opakujícím se úkonům, jako jsou například úchopy, přemístění apod. Během výzkumu se prokázalo totiž, že s určitou mírou tolerance jsou časy jednotlivých úkonů stejné. U této analýzy dochází k přijetí několika předpokladů, které částečně idealizují činnosti pracovníka, který je již zaškolený a řádně zapracovaný k daným činnostem.

MTM analýza rozloží manuální činnosti pracovníka na základní pohyby, ze kterých se skládá pracovní postup a statisticky lze získat pro každý základní pohyb hodnotu času, kterou trvá. Těchto základních pohybů rozlišujeme 11 a pro každý máme i označení (symbol), které je mezinárodní [15, 17]:

- Sáhnout R
- Přemístit M
- Uchopit G
- Přehmátnout G2
- Tlačit AP
- Spojit P
- Pustit RL
- Oddělit D
- Otáčet T
- Přemístit zrak ET
- Zkoušet EF

MTM nám dává informace a zároveň analyzuje [15]:

- omezení pohybů (pohyby, které omezují jiné pohyby)
- možné kombinace pohybů (kritické a nekritické cesty)
- identifikace neefektivních nebo zbytečných pohybů
- zlepšování existujících metod na zvýšení výroby a snížení potřeby práce
- vytvoření časových norem pro odměňování a stimulování pracovníků
- výběru efektivního zařízení

Během této analýzy se vyjadřují úkony v jednotkách TMU (Time Measurement Unit), přičemž 27,7 vteřiny odpovídá 1 TMU neboli $1 \text{ TMU} = 0,0006 \text{ min}$ [15].

Nutností je zahrnout do této analýzy také faktory a podmínky ovlivňující trvání každého úkonu [14]:

- vzdálenosti měřeny v centimetrech (potažmo metrech)
- hmotnosti vyjádřeny v kilogramech
- úhly měřeny v klasické šedesátkové soustavě
- typy pohybů
 - pohyby horních končetin (děleno dále na 8 pohybů)
 - pohyby očí (2 pohyby)
 - pohyby dolních končetin a celého těla (dále dělíme na 15 pohybů)

Díky této analýze je umožněno popisovat pracovní postupy se zahrnutím závislosti činnosti a času, lze popsat snadno pracovní postup a stanovit jeho časové trvání. Tato výše popsaná MTM analýza je pouze základní a označovaná jako MTM 1. Dle potřeby se MTM analýzy může dále zpřesnit, avšak musí se zvážit, zda přesnější a nákladnější analýza je pro daný pracovní postup nutností, či je dostačující pouze levnější varianta omezená na základní pohyby a podmínky [15].

V soustavě MTM můžeme rozlišovat 5 stupňů. Vyšší stupně jsou odvozeny ze základní MTM 1 a jsou určeny spíše pro kusovou a malosériovou výrobu. MTM analýza patří mezi nejrozšířenější analýzy lidské práce používanou v moderně orientovaných průmyslových závodech v Evropě [15].

Na dané výrobní lince a konkrétně i na pracovišti párování pístů se analýza v jednodušší podobě provádí také. Hodnoty z této analýzy (viz tab. 3) využijeme i v kapitole týkající se simulace časů. Každému úkonu byl přiřazen čas dle normovaných interních hodnot.

Tab. 3 Využití MTM analýzy na pracovišti párování pístů

Číslo operace	Popis	Doba trvání [s]	Doba trvání [TMU]
1	výběr pístu	4,55	0,164
2	zmáčknout tlačítko Start	0,48	0,017
3	strojní čas párování	13,90	0,502
4	písty do WT	3,06	0,111
5	odeslat WT	0,41	0,015
6	doplnění materiálu	0,22	0,008
7	čištění a kalibrace	0,73	0,026
Celková doba operace		23,35	0,843

5.6 Obsluha pracoviště

Nedílnou součástí současného stavu pracoviště na lince je obsluha – člověk. Pracovníci linky se střídají v třisměnném provozu, přičemž jedna směna trvá 8 hodin s povinnými přestávkami na odpočinek.

Člověku je pracoviště přizpůsobeno v mnoha směrech. Při konstrukci pracoviště je počítáno s ergonomií, kdy musí být dodrženy pravidla dle platných norem. Primárně zde obsluha vykonává činnosti ve stoje, ale k dispozici je také vyvýšená nastavitelná židle, která umožňuje pohodlný posed v rámci vykonávaných činností. Obsluha pracoviště je seznámena s celým montážním procesem, produktem a řádně proškolená, čímž se snižuje riziko výroby (montáže) zmetkových kusů.

5.7 Náklady na opravy a servis

Jedním z pádných důvodů, proč by mělo být pracoviště párování pístů automatizováno, je ten, že náklady na provoz pracoviště, a především měřicího zařízení jsou každoročně příliš vysoké. Tento pravidelný servis probíhá v době, kdy je výrobní linka zcela zastavena dvakrát do roka, a to přibližně po půl roce provozu.

Příčina nákladných oprav tkví v opotřebením měřících kroužků. Vlivem nepřesné lidské manipulace se opotřebením zvětšuje s každým cyklem. V možnostech obsluhy pracoviště totiž není dodržení umístění pístů zcela přesného na středy měřících kroužků a následujícího přesného kolmého vložení. Dále k nákladům zahrnujeme provádění servisu a velké kalibrace na zařízení během provozu. Tyto jednodušší zákroky spojené s kalibrací jsou prováděny několikrát za den a zaručují potřebnou přesnost a dobrý stav zařízení.

5.8 Výhody a nevýhody současného stavu a přínos nového řešení

Automobilový průmysl je průkopníkem v oboru robotiky. V rámci výrobních závodů po celém světě se zvyšuje tendence nahrazovat lidskou obsluhu roboty a není to bezdůvodné.

Mezi záporné body současného stavu se mohou uvést vysoké náklady na pracovníky, které se každoročně zvyšují, protože stoupá cena lidské práce a také ubývá pracovníků ochotných vykonávat manuální práce ve výrobě a ve směnném provozu.

Pravidelný servis uskutečňovaný na montážním pracovišti zahrnuje kalibraci měřících kroužků, seřízení pracoviště, mechanických prvků a prvků sloužících k dopravě materiálu. Velký servisní zákrok se uskutečňuje v současném stavu dvakrát ročně (zpravidla co půl roku) s ohledem na opotřebenění zařízení.

Kalibrace „malá“ i „velká“ pak probíhá necyklicky během každé směny a je provedena obsluhou pracoviště. Servis a údržba jsou tak finančně i časově náročné úkony, které je potřeba v procesu eliminovat na potřebné minimum.

Pracovníci linky mohou chybovat například díky únavě, nepozornosti, nebo také mohou přehlédnout informace, které se k ní dostávají. Pozitivní je ovšem, že člověk se snáze přizpůsobí v případě změny prvků, se kterými manipuluje, bez dalších změn v nastavení, výměny prvků nebo velkých prodlev.

Souhrn nejpodstatnějších výhod a nevýhod je uveden v následující tabulce 4:

Tab. 4 Výhody a nevýhody pracoviště v současném stavu

Výhody	Nevýhody
Lidský postřeh	Vysoké náklady na pracovníky
Možnost vyhodnocení při neobvyklých situacích	Vysoké náklady na servis zařízení
	Náklady a čas nutné na kalibraci
	Chybovost obsluhy

5.9 Představa nového řešení z pohledu společnosti

Řešení automatizovaného pracoviště bude spočívat v návrhu přemístování pístů mezi paletkami, měřícím zařízením a WT. Tyto činnosti musí splnit požadavky na přesnost (snížení nákladů na servis), rychlost (splnění taktu) a také být co nejméně náročné na finanční investici. Modernizované pracoviště by mělo být efektivní a používat nejnovější technologie.

V rámci závodu jsou již instalovány roboty průmyslové i kolaborativní. Tyto typy robotů jsou upřednostňovány v tomto novém řešení z několika důvodů. Mezi ně patří již zaškolení zaměstnanci i skladové zásoby náhradních dílů, což zkracuje čas na opravu a tím se také zmenšují možné finanční ztráty při prostojích linky.

Změna na pracovišti by se neměla dotknout chodu linky jako celku a také by se co nejméně měla dotknout uspořádání pracoviště linky. Nový návrh by měl vzít v úvahu rozvržení elektrické energie, pneumatických rozvodů a dalších prvků, které jsou společné pro více pracovišť.

Při navrhování inovativního řešení je nutno dodržet jisté parametry. Mezi ně patří zabezpečení uličky vedoucí kolem linky (vzdálenost 1 m), po které se pohybují servisní pracovníci, obsluha jednotlivých pracovišť a také milkran obstarávající dodávky materiálu či sběr odpadu k jednotlivým pracovištím nebo od nich. V zadní části musí být také dostatek místa pro obsluhu pracovišť a doplnění materiálu. Zde se nachází i elektrické rozvaděče a je potřeba během nenadálých událostí a poruch nutné otevřít jejich dvířka a mít přístup k prvkům zde umístěným.

K dispozici musí být dostatek pístů, a to tolik, aby milkran mohl doplňovat materiál jen jednou za hodinu. Také je důležité uvažovat i malé množství speciálních pístů (exotů) a jejich umístění na pracovišti.

Mezi výhody a nevýhody nového řešení automatizovaného a optimalizovaného pracoviště by měly patřit uvedené ty v následující tabulce (tab. 5):

Tab. 5 Výhody a nevýhody automatizovaného pracoviště

Výhody	Nevýhody
Zaniknou náklady na obsluhu	Vysoké pořizovací náklady
Vyšší přesnost pohybů	Vznik nových rizik pro výrobní proces
Vyšší efektivita pracoviště	
Nižší náklady na servis	

6 NAVRŽENÍ AUTOMATIZACE PROCESŮ

6.1 Simulace pracovních a montážních časů s využitím automatizace a robotizace

Pro přesnou představu o spotřebě času v taktu linky využijeme simulaci času, během které vycházíme především z MTM analýzy a ze stavu současného poznání. Jako pomocný nástroj u simulace výrobního, respektive montážního procesu slouží v této době počítačové systémy.

Výhod provedení simulační časové analýzy ve virtuální podobě je několik. Snadno se zjišťují místa, kde dochází ke kolizím během procesu a můžeme jim tak předejít. Při optimalizaci a návrhu nového řešení procesu můžeme zjistit úzká místa z hlediska dlouhého trvání nebo rezervy procesu. Navíc se shledává bonusem snadné odzkoušení nových přístupů a řešení vedoucí k eliminaci návrhů a finálnímu výběru řešení. Experimentovat lze s množstvím prvků na pracovišti, rozmístěním prvků, nebo také umístěním skladových zásob. Výsledkem je také čas potřebný k výrobě (montáži) jednoho výrobku.

K simulaci můžeme využívat specializovaný software, jako jsou například simulační programy Plant Simulation, Quest nebo WITNESS. Pro náš projekt je využito simulace v jednodušší podobě tabulky v programu Excel [18].

V tabulce se nachází jednotlivé kroky a činnosti v takovém pořadí, v jakém se vykonávají na pracovišti. Mezi jednotlivé časové údaje jsou vloženy prodlevy z důvodu přiblížení se reálné situaci s prodlevou v řízení procesu a komunikaci mezi jednotlivými prvky systému. Jednotlivé varianty simulace znázorňují sled myšlenek a návrhů tak, jak byly postupem času vytříbeny od prvního návrhu až ke konečné variantě. V úvahu byly brány i přibližné vzdálenosti mezi částmi pracoviště. Tyto vzdálenosti byly položeny jako základní myšlenka pro určení jednotlivých časů a v pokročilejší fázi řešení se mohou změnit.

Ve všech variantách jsou započteny také časy pro uchopení a uvolnění pístu. V popisu je uveden postup mezi danými polohami. Tabulky jsou umístěny pro svůj velký rozsah v přílohách, a to konkrétně jako příloha A. Následující tabulka 6 uvádí přehled jednotlivých variant a jejich časovou náročnost s ohledem na počet použitých ramen. Dále jsou pak popsány varianty ve zkratce slovy.

Tab. 6 Přehled variant simulací času

Varianta	Počet ramen	Celkový čas cyklických operací	Celkový čas včetně necyklických operací
		[s]	[s]
A	1	61,6	62,9
B	1	62,3	63,6
C	1	48,4	49,7
D	2	47,2	48,5
E	2	29,8	31,1
F	2	24,5	25,8

6.1.1 Varianta simulace A

První varianta A spočívá v návrhu, kde veškeré pohyby vykonává jedno rameno robotu. Cyklus začíná přesunutím pístu z měřicího zařízení do nosiče obrobku. Odtud se přesune rameno k paletkám, kde nabere píst. Pro zjednodušení a zkrácení vzdáleností a časů byla v systému navržena mezipoloha, do které robot bude odkládat poté písty z paletek. Až po vybrání všech tří pístů, přehmatu a výměně uchopovacího nástroje, robot začne další písty z mezipolohy po jednom přemísťovat do měřicího zařízení. Po vyložení a odjetí robota do bezpečné polohy proběhne měření. Když měření je u konce, robotické rameno přemístí písty opět postupně do nosiče obrobku a cyklus bude u konce. Tyto úkony jsou cyklické. Budeme-li uvažovat necyklické operace (např. kalibrace) tento čas se ještě navýší.

Časově se jedná o náročnou variantu a tato varianta zdaleka nespĺňuje takt pracoviště, a proto je vyhodnocena jako nevhodná. Problémem by zde mohla být i výměna nástroje.

6.1.2 Varianta simulace B

Druhá varianta B se odvíjí z prvního a opět se jedná o variantu s jedním ramenem. Po ukončení měření dochází k přesunu pístu z měřicí stanice do nosiče obrobku, dále do rámu, mezipolohy a z mezipolohy přímo do měřicího zařízení, což je změna oproti prvnímu návrhu. Dochází zde také k více přehmatům, a to vždy před přesunem do měřicího zařízení za účelem přesného usazení pístu do měřicích kroužků.

Cyklus opět překračuje povolený takt a nejedná se o směr, kterým by se návrh měl dále ubírat.

6.1.3 Varianta simulace C

Tato varianta měla za cíl uspořít čas a během doby, kdy probíhá měření, dochází k ukládání pístů z rámu do mezipolohy. Ostatní činnosti probíhají shodně jako ve variantě B, nicméně ani tato varianta neuspøřila čas dostatečně.

6.1.4 Varianta simulace D

První tři varianty s použitím jednoho ramena nesplnily svůj účel, tudíž došlo k variantě D. Ta již zahrnuje dvě robotická ramena. První rameno vykonává přesuny mezi měřicí stanicí a nosičem obrobku. Druhé rameno má na starost přesun pístu z rámu do mezipolohy a po přehmatu následně do měřicího zařízení. Přehmat v mezipoloze zabezpečuje přesnější uložení do měřicího kroužku. Po těchto úkonech pro všechny tři písty následuje samotné přeměření pístů ve stanici.

Tato varianta zkrátila čas procesu přibližně o třetinu, ovšem stále se výsledná hodnota nepřibližuje požadovanému taktu. Proto je nutné uvažovat o jiném optimalizovaném uspořádání kroků tohoto procesu.

6.1.5 Varianta simulace E

S využitím poznatků z předchozích variant byla sestavena varianta E. V tomto případě opět měřicí stanice měří a zároveň ramena jsou činné. První rameno chystá postupně 2 písty z rámu do mezipolohy a druhé rameno doplní do mezipolohy třetí píst. Rameno č. 2 vykoná tuto činnost rychleji, proto čeká a po ukončení měření ve stanici začíná vykládat ze stanice písty do nosiče obrobku.

Touto variantou jsme se přiblížili ke splnění taktu pracoviště na necelých 30 vteřin (cyklicky). Avšak je potřeba tuto variantu upravit tak, aby takt pracoviště byl již splněn.

6.1.6 Varianta simulace F

U výsledné varianty došlo k obměně verze E, opět se jedná o variantu se dvěma rameny. První z nich bude vykonávat přichystání pístů z paletky do mezipolohy (každý píst zvlášť). Díky sdruženému nástroji se ušetří čas v další operaci, protože se nejdříve uskuteční nabrání pístů (vyzvednutí prvního pístu, pootočení nástroje, vyzvednutí druhého pístu, pootočení a vyzvednutí třetího pístu) a po té přesun ke stanici a založení pístů do stanice (stejným způsobem s využitím otočení nástroje). Čas ušetříme tím, že není nutné uskutečňovat dlouhé přejezdy mezi prvky pracoviště. Rameno 2 po ukončení měření stanice začne obdobným sdruženým ramenem vykládat ze stanice přeměřené písty a ukládat je do držáku na nosiči obrobku (také je využito pootočení u vykládání i uložení).

Varianta splňuje takt pracoviště, tudíž je vhodná pro další postup projektu. Pro větší přehlednost simulace byly vypracovány Ganttovy diagramy této varianty (viz příloha B).

6.2 Dispoziční řešení pracoviště

Dispoziční řešení pracoviště má svá omezení, neboť linka je již v provozu a k dispozici je prostor o daných rozměrech, tudíž změny jsou možné v omezené míře. Větší prostor by zde vznikl například výraznějšími změnami v rozložení pracovišť, ale vzhledem k nákladnosti těchto změn a nutnosti přerušit chod linky by tato změna měla dlouhou a nepřípustnou návratnost.

Rozmístění jednotlivých pracovišť, manipulátorů, skladových zásob, dopravníků a všech částí výrobní linky je vidět například na layoutu. Layout je v podstatě výkres sloužící pro představu prostorového rozmístění a větší společnosti jej využívají při inovacích linek pravidelně. Stroje a zařízení jsou zde nakresleny pomocí obrysů bez detailnějších nákrešů s dodržáním měřítka. Část montážní linky v podobě layoutu s pracovištěm v současném stavu je součástí příloh jako příloha G. [17].

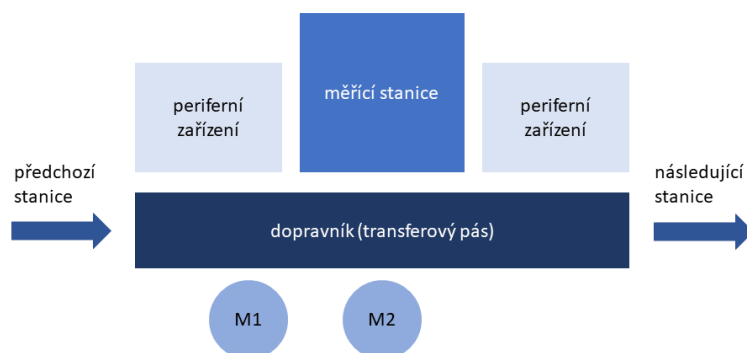
Bez odměřování na lince je layoutem získána představa o rozměrových možnostech nabízejících se během návrhu nového řešení. V provozu je však mnohdy řešení upravováno a změny nejsou zaneseny do výkresu, proto je důležité ověřit si také reálný stav.

6.3 Návrh variant řešení

Ze simulace spotřeby času vyplynula informace, že při navržení nového automatizovaného pracoviště je nutné počítat se dvěma rameny nebo dvěma manipulačními zařízeními, které splní takt pracoviště. Tato informace je základem pro další vývoj řešení a navržení konkrétních možností manipulace s písty čerpadla, proto budou i následné varianty vycházet ze simulace času – varianty F.

Vzhledem k dispozičnímu řešení pracoviště a nedostatku místa bylo určeno, že zásoba paletky s písty bude na transportním systému a přidružené manipulační zařízení budou umístěny na levé straně pracoviště (při pohledu ze přední části, v prostoru označeném jako periferní zařízení). Předpokládá se, že měřicí stanice bude stát přibližně uprostřed pracoviště na původním místě. M1 a M2 jsou na schématu (obr. 25) označení pro manipulační zařízení, potažmo roboty. Dopravník zajišťující transfer mezi pracovišti zůstane v současném stavu.

Všechny následující varianty proto počítají s tímto přibližným rozložením zařízení. Toto schéma nezahrnuje přesné umístění ani rozměry částí, slouží pouze pro základní představu prvotního návrhu.



Obr. 25 Základní schéma návrhu pracoviště

6.3.1 Varianta A

První varianta A počítá s umístěním dvou kolaborativních robotů (na místě M1 i M2). Výhodou tohoto řešení by byla bezpečnost pracoviště, neboť při přiblížení obsluhy do jejich blízkého okolí by se robot zpomalil, potažmo zastavil a nedošlo by ke kontaktu s obsluhou. Stinná stránka kolaborace by se mohla projevit v nesplnění taktu z důvodu prodlev provozu. Dva aspekty, které jsou právě negativní u splnění taktu jsou jednotlivá zpomalení na menší rychlost, než je maximální, nebo úplné zastavení. Dalším negativním parametrem by byla vyšší cena investice do této moderní technologie.

6.3.2 Varianta B

Varianta B spočívá v použití dvou šestiosých robotů (M1 i M2). Opět první z nich bude mít na starost manipulaci s písty mezi koši a mezipolohou. Druhý z nich bude zastávat funkci manipulátoru u měřicí stanice. Zde bude zakládat, případně vykládat, písty a směřovat proces k jeho ukončení, aby mohlo dojít k odeslání čerpadla na nosiči obrobku k následující stanici.

Jako nevýhodu by mohlo být užití většího prostoru v okolí stanice (řešením bude složitější naprogramování pracoviště), nebo také jako v prvním případě vyšší cenová náročnost potenciální investice. Avšak oproti variantě A nebude potřeba prvků spojených s kolaborativitou (světelné závory, skenery apod.), což by znamenalo malou úsporu. Bude však nutné pracoviště oplotit nebo jinak zajistit, aby byla splněna bezpečnostní stránka pracoviště. Dalším bodem, který je nutné zmínit je seřazení robotů. K tomu bude muset docházet z důvodu přesnosti zakládání pístů.

6.3.3 Varianta C

Ve třetí variantě je opět použit jeden průmyslový šestiosý robot na místě M1. Funkce a jeho proces jsou zachovány stejné jako v předchozí variantě B. Změna se týká druhého prostředku manipulace. Na místě M2 u měřicí stanice by byly použity rotační jednotky.

Jednotky by byly tři, pro každý píst jedna. Každá jednotka by byla součástí systému s lineárními posuvy zabezpečující pohyb ve dvou osách, kvůli manipulaci mezi měřicím zařízením a nosiči obrobku, kam by se písty ukládaly. Problémem u těchto jednotek je prostorové uspořádání, neboť díky nedostatku prostoru mezi dopravníkem s nosičem obrobku a s čerpadlem a stanicí je zde nedostatek prostoru na komplexní řešení s těmito jednotkami.

Výhodou rotačních jednotek by byla vysoká přesnost manipulace, což by znamenalo menší náklady na měřicí kroužky a servis měřícího zařízení.

V případě, že by jednotky byly umístěny v různých výškách (z důvodu vytočení jednotky s chapadlem), tak je stále problém, kam umístit lineární osy. Použití je tudíž pro tento projekt zcela nevyhovující.

6.3.4 Varianta D

Čtvrtá a poslední varianta D v sobě ukrývá použití průmyslového robota s šesti osami u přemísťování pístů z paletok (M1) a čtyřosého robota typu SCARA, jehož funkce bude manipulace s písty mezi měřicí stanicí a nosičem obrobku (M2).

Záměna šestiosého robota jako druhého robotického ramena za čtyř osou SCARU přinese zlepšení tohoto systému. Efektivita bude vyšší například díky vyšší rychlosti SCARY. Výhodou bude také i nižší pořizovací cena robota, což se projeví na návratnosti investice.

6.4 Výběr varianty

Pro výběr varianty z těchto čtyř konceptů bude důležité provést multikriteriální metodu, která určí konečnou variantu projektu.

Multikriteriální metoda se používá v případě rozhodování mezi více alternativami, jejíž cílem je vyhodnotit je a rozhodnout se pro jednu z nich. K této analýze je nutné stanovit kritéria kvalitativně a kvantitativně splňující představy řešitelů [19].

Kritéria výběru se sepisují do tabulky. Každému kritériu se přiřadí určitá váha, na základě výhod, respektive nevýhod návrhu a vztahu k výrobnímu systému, montážní lince, procesu atd. Jednoduše řečeno zahrneme zde význam pro naše řešení. Hodnocení těmito variantami lze provést mnoha způsoby a záleží i na zkušenostech projektanta, či konstruktéra. Lze použít bodové ohodnocení – například vyšší hodnocení mají výhodnější varianty [19].

6.4.1 Kritéria výběru

Kritéria, kterými se ohodnotí každá z variant, byla stanovena v souladu s požadavky na řešení. Přehled hodnotících kritérií, které budou u variant ohodnoceny se nachází v následující tabulce 7:

Tab. 7 Hodnotící kritéria

Kritérium	Váha	Hodnocení		
		1 bod	2 body	3 body
splnění taktu linky	8	nevyhovující	vyhovující s obtížemi	vyhovující
bezpečnost řešení	7	nebezpečné	bezpečné s opatřením	bezpečné
využití prostoru	6	nevyhovující	vyhovující s obtížemi	vyhovující
náklady na investici	5	vysoké	střední	nízké
jednoduchost řešení	4	obtížné	neutrální	snadné
plynulost systému	3	nekontinuální	neutrální	plynulý
nároky na údržbu	2	nízké	střední	vysoké
modularita	1	nevyhovující	vyhovující s obtížemi	vyhovující

Váhy jsou přiřazeny hodnotami od 1 do 8, kde nejvyšší hodnota je přiřazena nejdůležitějšímu kritériu, a naopak menší hodnoty jsou přiřazeny méně důležitým kritériím. Každé kritérium má pak své hodnocení, kterému jsou přiděleny 1,2 nebo 3 body. Opět hodnota tři body hodnocení znamená nejlepší řešení. Jeden bod hodnocení je přiřazen tomu, co je uvažováno jako nevyhovující nebo nevhodné.

6.4.2 Hodnocení variant pomocí hodnotících kritérií

S pomocí hodnotící tabulky kritérií s váhami bylo vytvořeno hodnocení, na základě kterého, by měla být určena „vítězná“ varianta. V tabulce 8 jsou uvedeny obodované varianty.

Tab. 8 Hodnocení variant

Kritérium	Váha kritéria	Varianta A		Varianta B		Varianta C		Varianta D	
		Hodnocení	Vážené hodnocení	Hodnocení	Vážené hodnocení	Hodnocení	Vážené hodnocení	Hodnocení	Vážené hodnocení
Splnění taktu linky	8	2	16	3	24	3	24	3	24
Bezpečnost řešení	7	2	14	2	14	2	14	2	14
Využití prostoru	6	3	18	2	12	1	6	3	18
Náklady na investici	5	3	15	2	10	1	5	1	5
Jednoduchost řešení	4	2	8	3	12	1	4	3	12
Plynulost systému	3	1	3	3	9	3	9	3	9
Nároky na údržbu	2	2	4	2	4	3	6	2	4
Modularita	1	3	3	3	3	2	2	3	3
Suma			81		88		70		89

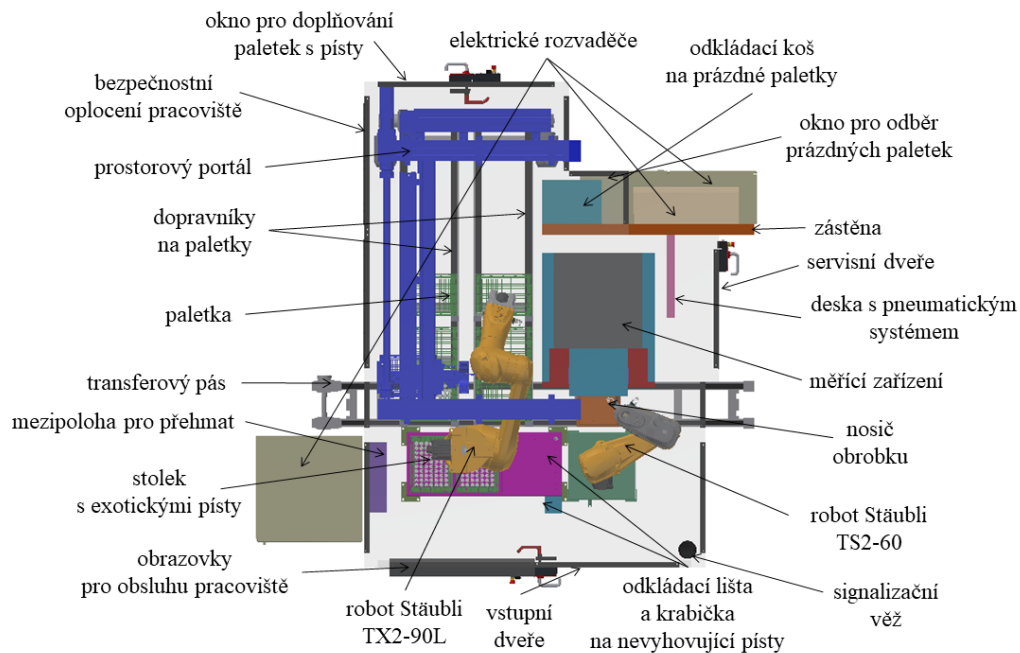
Sloupce jsou věnovány jednotlivým variantám A – D. Pro každou variantu jsou určena hodnocení kritérií. V posledním sloupci u každé varianty se nachází vážené hodnocení, což je součin váhy kritéria a hodnocení. Vážená hodnocení jsou u každé varianty sečtena a výsledné sumy jsou porovnány. Varianta s největším počtem bodů je vybrána jako nejvhodnější varianta a bude podrobněji zpracována.

Jak je vidět v této tabulce, nejvhodnějším řešením bude varianta D v součtu s 89 body, která obstála v konkurenci ostatních a bude dále rozpracována detailněji v následující kapitole včetně periferních zařízení.

7 ZVOLENÁ VARIANTA PODROBNĚJI

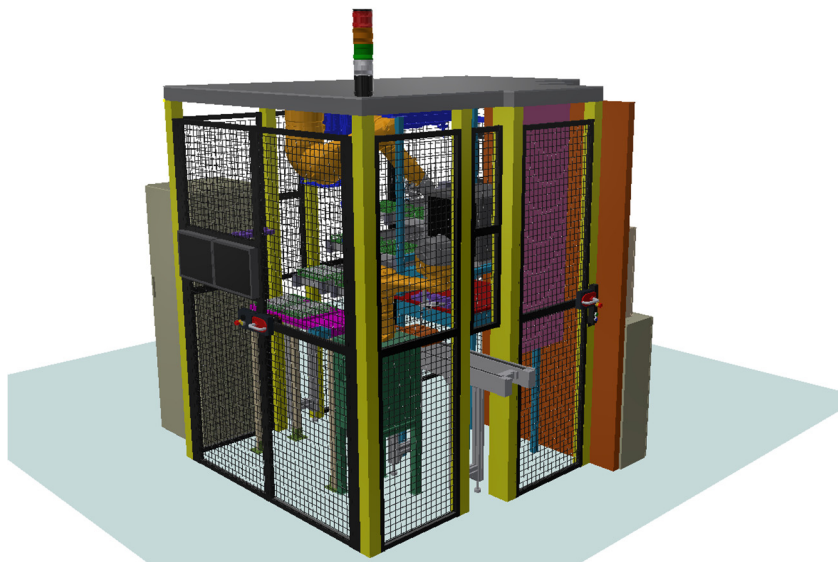
7.1 Celkový koncept

Koncept pracoviště v podobě layoutu lze vidět podrobně v příloze H, jeho umístění na lince v příloze I. Rozložení jednotlivých prvků pracoviště je zobrazeno i na následujícím obrázku obr. 26. Toto schéma bylo vyhotoveno s využitím již nabytých informací a rozhodnutí uskutečněných na základě analýzy a samotného návrhu pracoviště. Barvy jednotlivých prvků jsou voleny v modelech pouze ilustrativně z důvodu jejich přehlednosti. Pro lehké zorientování jsou zde uvedeny i popisky.



Obr. 26 Schéma pracoviště - pohled shora

Hlavními prvky optimalizovaného a modifikovaného pracoviště (obr. 27) jsou dva roboty, jeden průmyslový šestiosý a druhý robot je typu SCARA. Činnosti těchto robotů budou vycházet ze simulace časů, která byla na začátku tohoto projektu provedena. V důsledku co nejlepšího využití prostoru pracoviště bylo vyhodnoceno jako nejvhodnější umístění šestiosého robotu na rámové konstrukci nad pracovištěm, kde bude zavěšen. SCARA robot bude umístěn v blízkosti pásu na podstavci, který zajistí stabilní pozici pro tohoto robota. Rámová konstrukce i podstavec musí být navrženy tak, aby měly dostatečnou nosnost a zabezpečily vyhovující podmínky pro provoz pracoviště.



Obr. 27 Finální koncept pracoviště – pohled z přední části

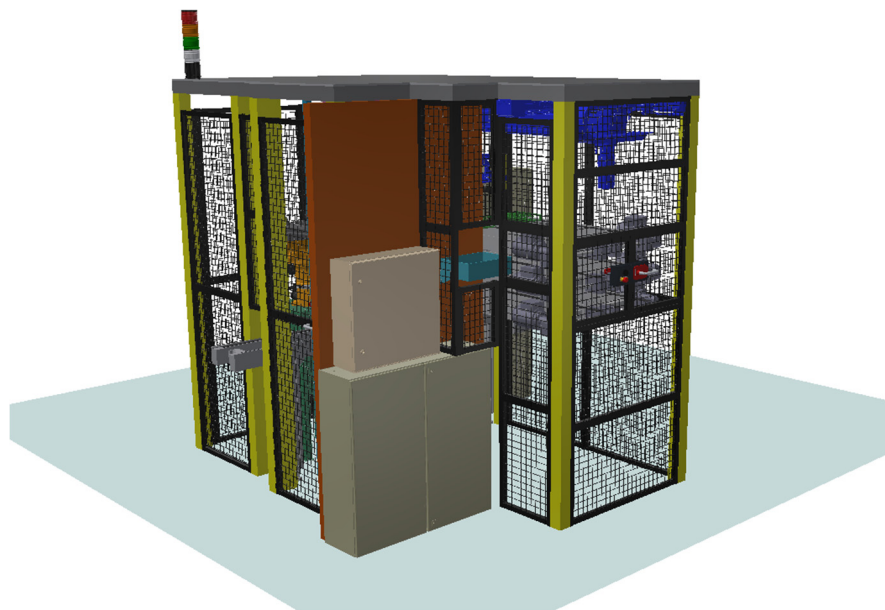
Na obou robotech je použit uchopovací systém – sdružený nástroj, který zahrnuje přírubu, na kterou navazuje deska. Na této desce jsou pak umístěny jednotky s kleštinami. Šestiosý robot je opatřen tímto systémem s 1 jednotkou pro manipulaci z paletek a se třemi jednotkami pro manipulaci z mezipolohy a měřicího zařízení. Sdružený nástroj na SCARA robotu se liší tím, že zde není jednotka pro uchopování seshora.

Nalevo od měřicího zařízení jsou umístěny dopravníky, na kterých jsou umístěny paletky s písty. Paletky ze zadní části budou doplňovány milkranem ručně, jak je tomu dosud. S ohledem na tento fakt bylo nutné navrhnout řešení splňující ergonomii, neboť dle normy a interních předpisů nesmí přesáhnout výška, která je obsluhována člověkem vzdálenost od země 1,8 metru. Pro tento fakt je rozvržení dopravníků následující – 2 dopravníky vedle sebe a 3 nad sebou (což znamená 6 celkově). Počet dopravníků odpovídá představě společnosti, což je také předpokladem ke splnění zadání.

Kapacity dopravníků budou dostačující pro hodinový provoz pracoviště, avšak stále se objevují na montážní lince vysokotlaká čerpadla, kde je nutnost využití takzvaných exotů neboli dalších tříd pístů. Umístění paletek s nimi se nachází v těsné blízkosti dopravního pásu přesouvajícího čerpadla tokem celé linky. Toto umístění je vhodné z důvodu dosahu šestiosého robotu a také z důvodu úspory místa. Celkem tak bude k dispozici více tříd pístů. Tentokrát pohled na zadní část nabízí obr. 28.

Jako periferní zařízení jsou v těsné blízkosti pracoviště umístěny tři elektrické rozvaděče, které zabezpečí provoz pracoviště. Dva z nich se nachází za pracovištěm, jeden pak v přední části. Ze současného stavu zde budou ponechány stěna na upnutí pneumatických rozvodů a zástěna oddělující měřicí stanici od rozvodů.

V přední části budou umístěny obrazovky, které milkranovi a servisnímu pracovníkovi poskytnou důležité informace o pracovišti a také umožní ovládání prvků pracoviště.



Obr. 28 Finální koncept pracoviště - pohled na zadní část

7.1.1 Nepravidelné děje

Na modifikovaném automatizovaném pracovišti se stále objevují necyklické činnosti. Mezi významný děj na pracovišti lze zařadit situaci s měřícím zařízením a jeho vyhodnocením pístu, který je n.i.O. V případě, že je zjištěn píst, který neodpovídá dané třídě a jeho rozměry se s třídou neshodují, musí být volen speciální postup. Po n.i.O. výstupu ze zařízení je v dalším kroku robotem SCARA n.i.O. píst vyndán z měřícího zařízení a přesunut do lůžka, které slouží pouze pro tento případ a nachází se na konstrukci s oplocením. Dále na jeho místo šestiosý robot z paletky vybere náhradní píst. Robot po přehmatu v mezipoloze přesune píst do měřícího zařízení a proces měření bude spuštěn znovu. Pokud by vyhodnotilo měřící zařízení chybu u více pístů, tak výměna pístů bude provedena u všech těchto nevyhovujících kusů, pokud bude potřeba, může se proces výměny opakovat. Lůžko, kam se budou odkládat n.i.O. kusy bude nutné vyprázdnit po jeho naplnění, proto zde musí být kontrolní prvek oznamující tuto skutečnost.

Odběr prázdných paletky po jejich vyprázdnění se také děje necyklicky, protože není žádná pravidelnost v tom, jaké třídy se používají. Za účelem odběru je nad dopravníky umístěn portál s třemi lineárními osami. Aby byl možný přístup ke všem dopravníkům, musí být tyto dopravníky umístěny v různých délkách, kdy je shora přístup v přední části k celé paletce. Tyto prázdné paletky se vždy umístí do zadní části pracoviště, kde budou skladovány v koši a milkranem tento koš vyprazdňován.

7.1.2 Koncept bezpečnosti automatizovaného pracoviště

Pracoviště, které prošlo změnami a automatizací činností je nutné zabezpečit tak, aby nedošlo k ohrožení pracovníků na montážní lince. Tudíž je nutné zde umístit některé bezpečnostní prvky. K širšímu pohledu na bezpečnost poslouží také analýza rizik (viz kapitola 9).

Prvním krokem k zaručení bezpečnosti je oplocení kolem celého pracoviště. Oplocení nemůže však omezit úplně přístup k technickému zázemí pracoviště, jako jsou rozvody, elektrické rozvaděče apod., také je nutné udržet přístup mlkranovi k paletkám a dopravníkům, a také k odběru prázdných palet a n.i.O. pístů. Tento přístup bude dobré zajistit dveřmi a okny se zámky, aby při běžném provozu nedošlo k poranění obsluhy.

V případě nebezpečí je nutné také zajistit zastavení činností na lince nouzovým vypínačem. Pracoviště bude opatřeno světelnou signalizací stavu, ve kterém se právě nachází, což umožní snadný přísun informací obsluze linky nebo servisnímu pracovníkovi.

7.2 Roboty

Z vyhodnocení multikriteriální metodou a simulace času vyplynula jako finální varianta projektu ta, ve které se nachází dva roboty, a to klasický průmyslový robot a robot typu SCARA.

Výběr robotů proběhl na základě splnění požadavků, které jsou nutné ke splnění a dodržení všech funkcí. Dále jsou uvedeny parametry, dle kterých byly roboty vybrány:

- vysoká přesnost opakování polohy
- počet os
- nosnost
- dosah
- rychlost

Na přesnosti při opakování polohy velmi záleží, neboť právě přesnost je jedna z vlastností jejíž zlepšení je požadováno při návrhu automatizovaného pracoviště. Počet os ovlivní jen typ robota – u průmyslového robota bude výběr z šestiosých robotů, zatímco druhý robot bude vybírán z typu SCARA, což znamená výběr ze čtyřosých robotů. Nosnost robota musí být taková, aby robot mohl být opatřen uchopovacím systémem a sloužit k manipulaci s písty. Pracovní dosah průmyslového robota by měl být 1100 mm a u SCARY 500 mm, což vyplývá z analýzy provedené v modelu pracoviště. Na rychlosti robotů jsou kladeny také vysoké požadavky, aby byl splněn takt pracoviště.




7.2.1 Průmyslový robot

Na základě vlastností v předchozí tabulce byli vybráni tři zástupci klasických průmyslových robotů dostupných na českém trhu. Jedná se o konkrétně roboty Stäubli TX2-90L, Kuka KR 6-2 a ABB IRB 1600-6 /1.2. Vlastnosti těchto robotů, na základě, kterého se mohl uskutečnit výběr vhodného, se nachází v tabulce 9 [20], [23], [24].

Nejvyšší přesnost je plusovým bodem ABB, spolu se Stäubli má dosah 1200 mm, což pro aplikaci v tomto projektu je dostačující. Zástupce francouzského výrobce Stäubli má výhodu proti ostatním ve vyšších rychlostech, jichž dosahuje na všech osách a také v možnosti neomezeného montážního umístění.

Z těchto třech robotů byl pro finální řešení vybrán robot Stäubli TX2-90L, jež splňuje všechny požadavky.

Tab. 9 Průmyslové roboty a jejich vlastnosti [20], [21], [22], [23], [24]

	Stäubli TX2-90L	Kuka KR 6-2	ABB IRB 1600-6 / 1.2			
						
Přesnost opakování polohy	0,035 mm	0,05 mm	0,02 mm			
Počet os	6	6	6			
Nosnost	6 kg	6 kg	6 kg			
Pracovní dosah	1200 mm	1611 mm	1200 mm			
Rychlosti jednotlivých os	A1	400°/s	A1	156°/s	A1	150°/s
	A2	390°/s	A2	156°/s	A2	160°/s
	A3	420°/s	A3	156°/s	A3	170°/s
	A4	540°/s	A4	343°/s	A4	320°/s
	A5	475°/s	A5	362°/s	A5	400°/s
	A6	760°/s	A6	659°/s	A6	460°/s
Montážní poloha	bez omezení (360°)	stěna, podlaha, strop	stěna, podlaha, strop, šikmá rovina			




7.2.2 Robot SCARA

Druhý robot bude opět vybírán z porovnání třech zástupců různých výrobců, a to konkrétně Stäubli TS2-60, ABB IRB 910SC-3/0,55 a MELFA RH-6FRH5520N. Vlastnosti těchto robotů se nachází v tabulce 10 níže.

Přesnosti opakování polohy mají všichni tři zástupci srovnatelné, tudíž toto kritérium není rozhodující. Nosnost robotů splňují dle zadání také všechny tři roboty. Rozhodujícím parametrem, kde jasně vyniká robot Stäubli, je rozsah jednotlivých os, a zvláště pak osa zajišťující lineární pohyb, kde hodnota zdvihu činí 400 mm, což je přibližně dvakrát více než dovedou konkurenční roboty.

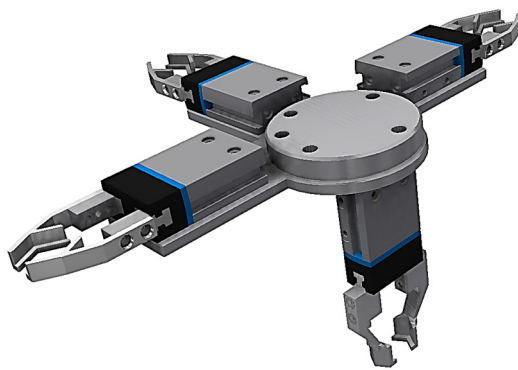
Výhodami robota TS2-60 jsou také vyšší rychlosti jednotlivých os a možné montážní umístění do vícero poloh (umožňuje také montáž na strop nebo stěnu). Pro tyto výhody byl i jako druhý vybrán zástupce společnosti Stäubli.

Tab. 10 Roboty SCARA a jejich vlastnosti [20], [23], [25], [26]

	Stäubli TS2-60	ABB IRB 910SC – 3/0,55	MELFA RH-6FRH520N
			
Přesnost opakování polohy	± 0,01 mm	± 0,01 mm / 0,01°	± 0,012 mm / 0,004°
Počet os	4	4	4
Nosnost	8,4 kg	6 kg	6 kg
Pracovní dosah	620 mm	550 mm	550 mm
Rozsah jednotlivých os	A1 RP ± 140° A2 RP ± 150° A3 LP 400 mm A4 RP ± 500°	A1 RP ± 140° A2 RP ± 150° A3 LP 180 mm A4 RP ± 400°	A1 RP ± 170° A2 RP ± 145° A3 LP 200 mm A4 RP ± 360°
Rychlosti jednotlivých os	A1 490°/s A2 610°/s A3 2220 mm/s A4 1929°/s	A1 415°/s A2 659°/s A3 1000 mm/s A4 2400°/s	A1 400 °/s A2 720 °/s A3 1100 mm/s A4 3000 °/s
Montážní poloha	stěna, podlaha, strop	podlaha	podlaha

7.3 Uchopovací systém

Pro robotický systém je důležité i navržení uchopování dílu. Takovýto systém se skládá především z uchopovače a kleštin. Jak by mohl tento systém vypadat je naznačeno na obr. 29. Vzhledem k projekčnímu charakteru diplomové práce nebyla řešena přesná konstrukce.


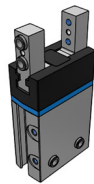


Obr. 29 Koncept uchopovacího systému

7.3.1 Jednotky pro uchopení

Uchopovače pro robotické systémy dnes nabízí velkou řadu řešení. Pro tento projekt bylo vybráno uchopení pneumatickým uchopovačem s konstrukcí na paralelní kleštiny. Parametr, který byl důležitý pro výběr, byl zdvih čelisti. Ten postačí menší, aby byl píst bezpečně uchopen a zároveň aby nedošlo ke kolizi s jinými prvky (především při odběru z paletok, kde je omezen prostor sousedními písty). Dále pak bylo požadováno co nejvyšší přesnosti. Následně byly porovnány vlastnosti dvou konkurenčních výrobků tab. 11:

Tab. 11 Uchopovací jednotky [27], [28]

	Schunk PGN Plus P-50-1	Festo DHPS -10-A-NC
		
Zdvih na jednu čelist	4 mm	3 mm
Velikost	50 mm	10 mm
Zavírací síla	220 N	60 N
Pracovní tlak	2,5-8 bar	4–8 bar
Verze	na přesnost	pojištění při sevření

V rámci uchopovacích systémů byla vybrána jednotka výrobce FESTO. Těchto jednotek bude potřeba celkem 7, a to 4 na systém k průmyslovému robotu a zbylé 3 k uchopovači na robot SCARA.

7.3.2 Kleštiny

K těmto uchopovacím jednotkám patří neodmyslitelně také kleštiny. Ty musí být navrženy tak, aby umožnily uchopení pístů všech tříd – všech velikostí. Uchopení musí být pevné a bez poškození uchopeného pístu. Rozdílné budou kleštiny pro uchopení pístu shora a odlišné pro uchopení z boku. Pro bezpečný dotyk je možné použití kleštin s gumovou výstelkou.

7.3.3 Kontrola navrženého řešení výpočtem

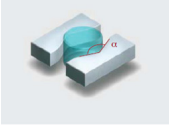
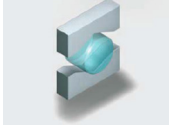
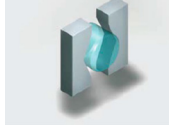
Pro přesný návrh jednotky i kleštin je nutné provést konstrukční výpočet. Jeden z hlavních výpočtů, které se provádí ve spojitosti s kleštinami je výpočet uchopovací síly. Uchopovací síla se bude odvíjet také od způsobu uchopení předmětu.

V tomto případě se výpočet provádí pro paralelní uchopovač [29]:

- Force-fit gripping – pro držení a uchopení objektu je nejdůležitější orientace uchopovacích sil
- Form-fit gripping – pro držení a uchopení objektu je nejdůležitější tvar uchopovacích čelistí

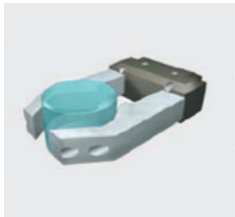



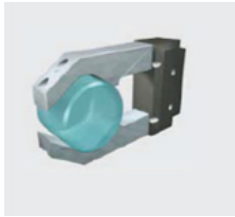



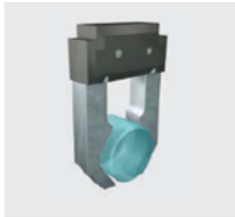



Výpočet pro každý princip uchopování do čelistí s kontaktem více ploch se provádí dle vztahů (1)-(3) v následující tabulce 12:

Tab. 12 Základní způsoby uchopování [29]

Force-fit gripping	Form-fit gripping	
		
$F_G = \frac{m \cdot g}{2\mu} \left(1 + \frac{a}{g}\right) \sin \frac{\alpha}{2} \cdot S$ <p>(1)</p>	$F_G = m \cdot (a + g) \cdot S$ <p>(2)</p>	$F_G = m \cdot (a + g) \cdot \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2}$ <p>(3)</p>

Při výpočtu uchopovacích sil je možné zahrnout také kinetiku robotického systému a směry pohybu, ve kterých probíhá zrychlení. Pro tento případ lze použít vztahy (4) – (16) viz tabulka 13:

Tab. 13 Kinetické účinky na požadované uchopovací síly na jednu kleštinu [29]

Možnost instalace	Směr zrychlení	Síla / požadovaná upínací síla na jednu kleštinu
<p>a)</p> 	  	$F_G = m(a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad (4)$ $F_{Gz} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad (5) \quad F_{Gx} = ma_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad (6)$ $F_{Gz} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad (7) \quad F_{Gy} = ma_y S \quad (8)$
<p>b)</p> 	  	$F_G = m(a_z + g) \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S \quad (9)$ $F_G = m \left(a_z + g \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S \quad (10)$ $F_{Gz} = mg \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S \quad (11) \quad F_{Gy} = ma_y \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad (12)$
<p>c)</p> 	  	$F_G = m(a_z + g) S \quad (13)$ $F_G = m \left(g + a_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S \quad (14)$ $F_{Gz} = mg S \quad (15) \quad F_{Gy} = ma \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad (16)$

V tomto případě bude uvažována ve výpočtu situace, kdy se jedná o dotyk ocelového pístu na ocelové kleštiny, bez použití jakéhokoliv maziva. V praxi se můžeme setkat se vzájemnými interakcemi různých materiálů, proto je zde uvedena tabulka (tab. 14) koeficientů tření pro vybrané materiály.

Tab. 14 Koeficienty tření pro vybrané materiály [29]

Kombinace materiálů	Koeficienty adhezivního tření	
	Suchý povrch	Povrch s mazáním
Ocel na litinu	0,2	0,15
Ocel na ocel	0,2	0,1
Ocel na Cu-Sn slitiny	0,2	0,1
Ocel na Po-Sn slitiny	0,15	0,1
Ocel na polyamid	0,3	0,15
Ocel na třecí nátěr	0,6	0,3
Ocel na Quentes (Schunk)	0,3 – 0,4	-

Pro výpočet u uchopovacího systému na robotech použijeme tyto parametry, které byly získány z interních zdrojů a běžné praxe v oboru [2]:

- hmotnost největšího pístu $m = 0,023$ kg
- zrychlení robotu $a = 20$ m·s⁻² (uvažováno pro všechny tři směry x, y a z)
- bezpečnostní faktor $S = 2$
- koeficient tření $\mu = 0,2$
- tíhové zrychlení $g = 9,81$ m·s⁻²

Vzhledem k charakteru uchopování, budou použity případy a) a c) z tabulky č. 12. Pro první případ a) je proveden výpočet uchopovacích sil pomocí vyjádření rovnic (17)-(20) (celkové, i pro jednotlivé osy x, y, z):

$$F_{Ga} = m \cdot (a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S = 0,023 \cdot (20 + 9,81) \cdot \frac{\sin \frac{120}{2}}{2 \cdot 0,2} \cdot 2 = 2,969 \text{ N} \quad (17)$$

$$F_{Gax} = m \cdot a_x \cdot \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2\mu} \cdot S = 0,023 \cdot 20 \cdot \frac{\tan \frac{120}{2}}{2 \cdot 0,2} \cdot 2 = 3,984 \text{ N} \quad (18)$$

$$F_{Gay} = m \cdot a_y \cdot S = 0,023 \cdot 20 \cdot 2 = 0,92 \text{ N} \quad (19)$$

$$F_{Gaz} = m \cdot g \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} \cdot S = 0,023 \cdot 9,81 \cdot \frac{\sin \frac{120}{2}}{2 \cdot 0,2} \cdot 2 = 0,977 \text{ N} \quad (20)$$

kde

m [kg] – hmotnost pístu, g [ms⁻²] – tíhové zrychlení, a_x [ms⁻²] – zrychlení robotu ve směru x, a_y [ms⁻²] – zrychlení robotu ve směru y, a_z [ms⁻²] – zrychlení robotu ve směru z, α [°] – úhel svíraný mezi kontaktními plochami, S – bezpečnostní faktor, μ [-] – třecí koeficient, F_{Ga} [N] – celková uchopovací síla u varianty uchopování a), F_{Gax} [N] – uchopovací síla v ose x u varianty uchopování a), F_{Gay} [N] – uchopovací síla v ose y u varianty uchopování a), F_{Gaz} [N] – uchopovací síla v ose z u varianty uchopování a)

Výpočet pro variantu c) z tabulky č. 12 pro uchopovací síly je:

$$F_{Gc} = m \cdot (a_z + g) \cdot S = 0,023 \cdot (20 + 9,81) \cdot 2 = 1,371 \text{ N} \quad (21)$$

$$F_{Gcx} = m \cdot \left(g + a_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) \cdot S = 0,023 \cdot \left(9,81 + 20 \cdot \frac{\tan \frac{120}{2}}{2} \right) \cdot 2 = 1,248 \text{ N} \quad (22)$$

$$F_{Gcy} = m \cdot a \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} \cdot S = 0,023 \cdot 20 \cdot \frac{\sin \frac{120}{2}}{2 \cdot 0,2} \cdot 2 = 1,992 \text{ N} \quad (23)$$

$$F_{Gzc} = m \cdot g \cdot S = 0,023 \cdot 9,81 \cdot 2 = 0,451 \text{ N} \quad (24)$$

kde

m [kg] – hmotnost pístu, g [ms^{-2}] – tíhové zrychlení, a_x [ms^{-2}] – zrychlení robotu ve směru x , a_y [ms^{-2}] – zrychlení robotu ve směru y , a_z [ms^{-2}] – zrychlení robotu ve směru z , α [°] – úhel svíraný mezi kontaktními plochami, S – bezpečnostní faktor, μ [-] – třecí koeficient, F_{Gc} [N] – celková uchopovací síla u varianty uchopování c), F_{Gcx} [N] – uchopovací síla v ose x u varianty uchopování c), F_{Gcy} [N] – uchopovací síla v ose y u varianty uchopování c), F_{Gcz} [N] – uchopovací síla v ose z u varianty uchopování c)

Z výsledků lze vidět, že hodnoty uchopovacích sil jsou daleko menší, než je maximální uchopovací síla vybrané jednotky, tudíž jednotky jsou vhodné pro toto použití. Nízké hodnoty uchopovacích sil jsou dány především nízkou hmotností pístu.

7.3.4 Ostatní prvky

Příruba

Dle vybraných typů robotů budou zhotoveny v rámci kooperace ve firmě také příruby. Ty by měly být mezičlánkem mezi ramenem robota a deskou s uchopovacími jednotkami.

Deska

Uchopovací jednotky musí být uchyceny na robota, a proto je vhodné využít jako spojovací prvek všech jednotek a robota kovovou desku. Tato deska bude zkonstruována „na míru“, a tak bude mít ideální rozměry a parametry, které budou optimalizovány k co možná nejlepšímu řešení. Také je vhodné desku optimalizovat z důvodu co nejnižší hmotnosti.

Kolizní jednotky

Uchopovací systém je vhodné vybavit také kolizní jednotkou, aby nedocházelo ke kolizím mezi uchopovacím systémem a ostatními prvky robotického pracoviště. Efektor během cyklu vykonává pohyby v těsné blízkosti dalších částí. Pravděpodobnost kolize je vyšší v případě použití složitějšího sdruženého koncového efektoru, který je využit i v tomto případě. V případě použití složitějšího systému se také předejde škodám, jež by mohly být vysoké [7].

Kolizní jednotka, která je vybrána na koncové efektor, je Schunk OPR-061-P00 (vlastnosti uvedeny v tabulce 15. Jednotka funguje jako vypínací pojistka a zpravidla se umísťuje mezi rameno robota a koncový efektor [7], [30].

Tab. 15 Kolizní jednotka Schunk [30]

Schunk OPR-061-P00






Min. spouštěcí moment, úhlový	M_x, M_y	6,8 Nm
Min. spouštěcí moment, rotační	M_z	6,8 Nm
Citlivost	C	0,5 mm
Přesnost opakování	P_l	$\pm 0,025$ mm
Přesnost opakování – rotační	P_r	5'

7.4 Dopravníkový systém paletků s písty

Na levé straně pracoviště přímo vedle měřicího zařízení bude umístěn dopravní systém, který zabezpečí přísun pístů v paletkách k ramenu robotu. Tento systém musí zabezpečit přísun pístů bez toho, aniž by došlo k vysypání pístů z paletky či jakémukoliv jejich vyosení, vysunutí apod., což by mělo negativní vliv na odebrání pístu robotem.

Pro vyřešení této manipulace bylo navrženo opět více variant, které by mohly splňovat daná kritéria. Způsoby dopravy paletků jsou následující, viz tabulka 16.

Tab. 16 Srovnání vlastností dopravníků

	Dopravník s plochým řemenem	Válečkový dopravník nepoháněný	Dopravník pásový s pohonem v bubnu
	Bosch Rexroth	Haberkorn	Haberkorn
	 [30]	 [31]	 [31]
Výhody	+ jednoduché řešení + využití prostoru + rozměrově přesné na paletku	+ bez nutnosti pohonu + nižší cena	+ pohon nezabírá místo + stabilní poloha pro paletku
Nevýhody	- nutnost zarážek - nutnost pohonu - vyšší cena	- nutné naklonění dopravníku - nestabilní poloha pístů při posunutí - nevyžádané zastavení paletky na dopravníku	- náročnější na prostor - vyšší cena - nutnost pohonu - nutnost zarážek

7.5 Odkládací plochy

Průmyslový robot se sdruženým nástrojem bude využívat pro přehmat s písty mezipolohy. Důvod k tomuto přehmatu je ten, že z paletky jsou vybírány písty shora, avšak pro uložení do měřicí stanice je nutné se vyhnout kolizím, a to tak, že se píst uloží do mezipolohy a z ní po přehmatu je umístěn do měřicí stanice. Vstupní prostor u měřících kroužků je omezený, proto zde nelze písty umístit v poloze, ze které jsou vytáhnuty z paletek.

7.6 Manipulace s prázdnými paletkami

Odběr prázdných paletek z dopravníků bude muset být zajištěn tak, aby nenarušil samotný pracovní cyklus.


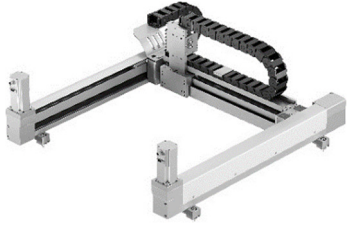
Při návržení odběru paletek byl uvažován nejprve odběr pomocí skluzů, které by umožnily bez použití složitých prvků zajištění skladování prázdných paletek. Problematické a těžko řešitelné je v tomto případě umístění tohoto skladovacího místa, skluzů i zajištění ergonomie pracoviště. Pro složité řešení byl tento návrh zamítnut.

Druhý návrh v pořadí uvažoval odběr paletek pomocí systému, kde by muselo dojít k úpravám dopravníků. Ty by v daném případě musely být pohyblivé v jedné ose na rámu, nebo být nakloněny, a musely by být vybaveny zarážkami v přední části. Ty by se v případě odebrání prázdné paletky otevřely a umožnily paletce postup na skladovací místo. Tento přesun by musel být realizován například lineární osou apod. I v tomto druhém případě bylo řešení složité a nedostatek prostoru v přední části dopravníků tento přístup posouvá k těm nepřijatelným. Nevyhovující je i možné naklonění dopravníků. Neboť jak už bylo zmíněno výše, je zde zvýšené riziko posunutí pístů v paletkách.

Třetí a konečné řešení odběru paletek spočívá v umístění portálu nad dopravníky. Tento portál se skládá ze třech lineárních os. Osy musí být dostačující pro plošný rozsah, avšak jedná se o velmi jednoduché řešení. V době, kdy se bude odběr uskutečňovat, průmyslový robot se zastaví v předem definované pozici, ve které nebude zasahovat do prostoru portálu, a v této době portál odebere paletku, následovně ji odloží na dané odběrné místo, kde je prostor pro skladování paletek ve sloupci. Odtud prázdné paletky odebírá milkran.

Jeden z důvodů, proč by měl být odběr automatický, je především ten, že obsluha na montážní lince nemůže zasahovat do pracovního prostoru robotů umístěných na pracovišti. Dva vybrané zástupce prostorových portálů jsou uvedeny v následující tabulce 17.

Tab. 17 Prostorové portály [33], [34], [35], [36]

	Schunk RPE	Festo YXCR
		
Pohon	X – elektrický Y – elektrický Z – elektrický	X – elektrický Y – elektrický Z – elektrický / pneumatický
Maximální zdvih	X – 2000 mm Y – 1000 mm Z – 600 mm	X – 1100 mm Y – 700 mm Z – 500 mm
Nosnost	10 kg	8 kg
Rychlosti os	v_x $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v_y $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v_z $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	v_x $1,26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v_y $2,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v_z $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Zrychlení os	a_x $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a_y $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a_z $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$	a_x $2,66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a_y $4,43 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a_z $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
Řešení	zcela zakázkové (nadměrná velikost)	sériový typ, parametry definované zákazníkem



Finální výběr padl na portál výrobce Festo, z důvodu, že se jedná o sériový typ řešení, čímž bude daná nižší cena a krátký termín dodání. Rychlosti a zrychlení jsou parametry, které jsou zde definované na zakázku, tudíž je lze upravit dle konkrétního požadavku. Z dynamiky se odvíjí také nosnost systému, avšak pro využití v tomto projektu je plně dostačující.

7.6.1 Uchopovací systém na portálu

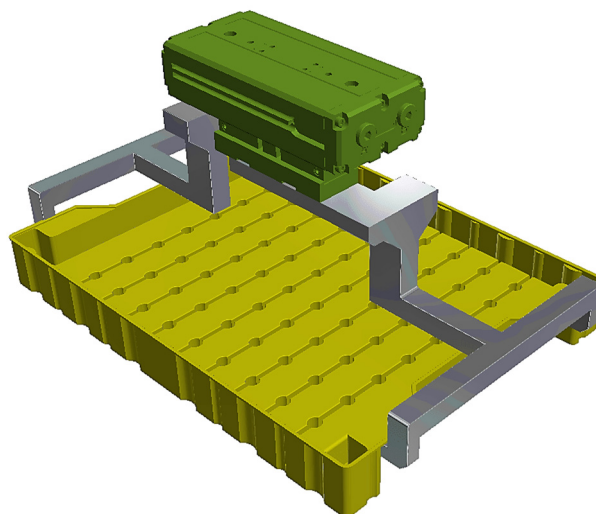
Pro pevné a stabilní uchycení paletky je nutné zvolit odpovídající uchopovací jednotku a navrhnout k ní vhodné kleštiny.

Uchopovací jednotky (tab. 18) byly vybírány opět pneumatické, avšak s větším zdvihem a větší nosností. Z těchto dvou uvedených jednotek byla vybrána na základě parametrů jednotka Schunk PHL-G 25-030 [37], [38].

Tab. 18 Srovnání uchopovacích jednotek na portál [37], [38]

	Schunk PHL-G 25-030	Festo HGPL 40-40-A-B
		
Zdvih na jednu čelist	30 mm	40 mm
Zavírací síla	390 N	608 N
Pracovní tlak	2 – 8 bar	3 – 8 bar
Doporučená hmotnost obrobku (maximální)	1,95 kg	-
Maximální délka kleštiny	200 mm	-
Maximální hmotnost kleštiny	1 kg	0,42 kg

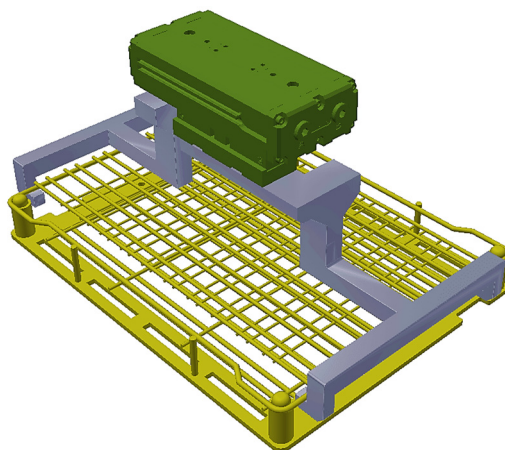
K vybrané uchopovací jednotce je nutné také navrhnout odpovídající kleštiny. Tyto kleštiny musí zvednout jak kovový koš, tak i plastovou paletku. Příklad těchto kleštin v sestavení s uchopovací jednotkou a plastovým blistrem lze vidět na obr. 30.



Obr. 30 Uchopovací systém na portál s plastovou paletkou

Prsty (kleštiny) při jejich konstrukci je opět vhodné propočítat na uchopovací sílu, jak tomu bylo i u kleštin pro roboty. Zde totiž bude uchopovací síla větší, protože paletka je proti pístu o dost těžší. Její hmotnost se u kovové pohybuje přibližně kolem 1,7 kg, u plastové kolem 0,2 kg. Avšak maximální hmotnost uchopovaného kusu u jednotky je stále dodržena.

Kleštiny budou mít celkem 4 uchopovací body (2 pro každou), aby byla paletka stabilně uchopena. Kvůli dvěma druhům paletek je nutné navrhnout univerzální kleštiny, které zvládnou uchopit obě varianty. Uchopení kovové paletky lze vidět na obr. 31.

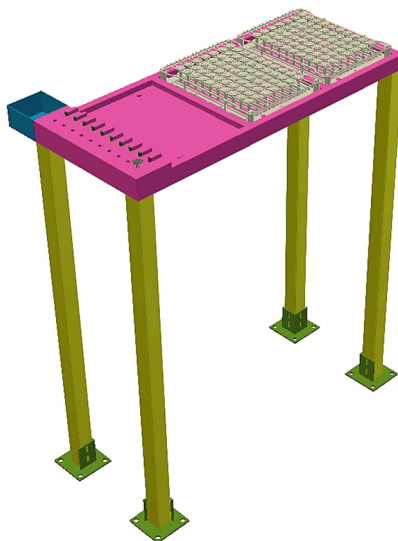


Obr. 31 Uchopovací systém na portál s kovovou paletkou

7.7 Odkládací místa na exotické písky a n.i.O. písky

Jak již bylo zmíněno, je zde potřeba také odkládat takzvané exoty, které se využívají pouze v omezeném množství, proto není potřeba mít jich velkou zásobu. V novém konceptu budou tři tyto paletky umístěny na speciálním místě před dopravníkem. Koncept tohoto odkládacího místa by mohl vypadat jako na obr. 32.

Bude se jednat o zakázkovou výrobu horního dílu, kde budou založeny paletky přesně na dva čepy umístěné vespod paletky zabezpečující stabilní polohu.

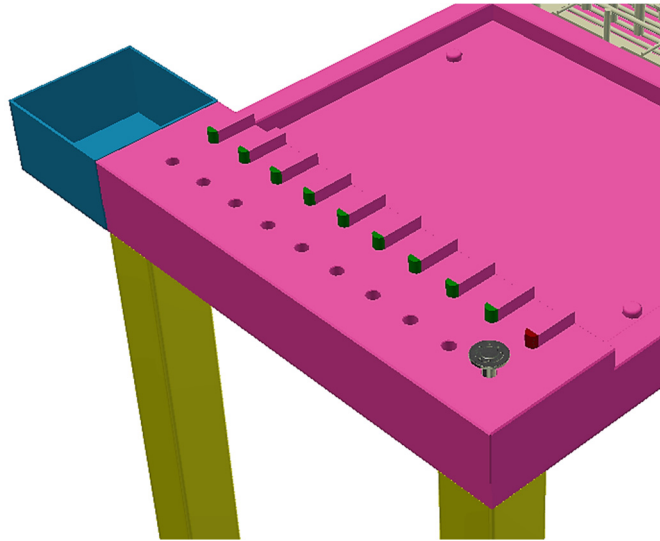


Obr. 32 Odkládací plocha na exotické písky

Vedle těchto odkládacích ploch na paletky s exoty se nachází odkládací místo na n.i.O. písky (detail obr. 33). Vedle každé polohy bude čidlo s diodou, které bude mít za úkol signalizovat prázdné / obsazené místo (prázdné zelená, obsazené červená). Robot SCARA dle obsazenosti bude zakládat n.i.O. písky do jednotlivých poloh.

Na straně konstrukce je umístěna krabička na zcela nevyhovující písky, které dále nebudou využívány, proto nemusí být kladen zřetel na jejich opatrné uložení.

Vykládka všech těchto pístů bude uskutečňována obsluhou linky. V naprogramování pracoviště bude provedeno opatření, kdy po úplném naplnění / vyprázdnění se zapne signalizace. Písty označené jako n.i.O. (v odkládací ploše, ne v krabici) budou dále obsluhou přeměřeny a roztríděny do skupin, poté budou opět součástí procesu.



Obr. 33 Detailní zobrazení uložení n.i.O. pístů a nevyhovujících pístů

7.8 Ostatní zásahy na pracovišti

7.8.1 Přesun stanice

Stávající poloha měřicí stanice je nevyhovující a bude muset být změněna. Důvodem nevyhovujícího stavu je kolizní vztah prvků nového řešení pracoviště a pracovišť s ní sousedících.

Tudíž je nutné počítat s přesunem nejen samotné stanice s nosnou konstrukcí, ale i částmi vázaných na ni. Mezi tyto části, jejichž poloha se změní, patří například elektrické rozvaděče, přívodní žlaby s rozvody elektrické energie a pneumatického systému, stopper na nosič obrobku apod. Všechny výše zmíněné zásahy budou zahrnuty do investice projektu jak počtem hodin, tak i finančně.

7.8.2 Programování stanice

Návrh předpokládá také se změnami v programu stanice. V první řadě zde budou přidány nové prvky (roboty, dopravníky, ...), za druhé jsou předpokládány změny v samotném procesu. Softwarové úpravy včetně online a offline programování robotů jsou také zahrnuty do projektu a jeho kalkulace.

Software bude o to složitější, aby nedocházelo ke kolizím prvků a byly vyřešeny všechny stavy, které mohou nastat.

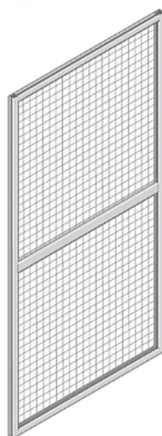
7.9 Bezpečnost pracoviště

Celkový koncept pracoviště musí být vyhotoven v souladu se splněním bezpečnosti dle všech platných norem a nařízení, proto budou na pracoviště umístěny prvky zvyšující bezpečnost.

7.9.1 Oplocení

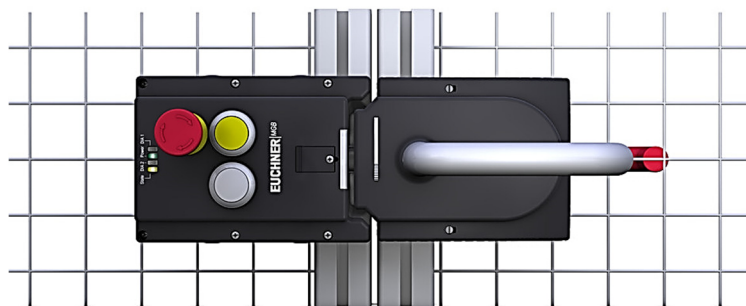
Jedním z podstatných prvků zajišťující zvýšení bezpečnosti na pracovišti je jeho oplocení. Oplocení bude provedeno především kvůli znepřístupnění blízkého okolí obou robotů.

Samotné provedení se bude skládat z jednotlivých částí oplocení modulů EcoSafe výrobce společnosti Rexroth. Výška bude zvolena 2300 mm a šířka dle dispozic pracoviště ve více variantách. Přičemž rozměry dílů se budou odvíjet od prostorového uspořádání na layoutu. Jednotlivé segmenty oplocení budou používány s horizontálním dělením (viz obr. 34), nebo u malých dílů nedělené [39].



Obr. 34 Bezpečnostní oplocení pracoviště Rexroth EcoSafe [39]

V oplocení budou vestavěny dveře, sloužící k přístupu obsluhy k výměně pístů v přední části pracoviště, ale také k servisu SCARA robotu, či měřicího zařízení. Dveře budou opatřeny bezpečnostním zámkem Euchner (obr. 35), typ MGB-AR, v případě servisních dveří, které umožní přístup k rozvodům pneumatiky a měřicímu zařízení, bude použit typ zámku MGBS [40].



Obr. 35 Bezpečnostní zámek Euchner MGB-AR [40]

Oplocení bude upevněno k rámové konstrukci vytvořené ze čtvercových profilů a bude tvořit celek, jak je zobrazeno na výkresu – příloze H.

7.9.2 Tlačítko nouzového zastavení

Pro úplné zastavení pracoviště bude sloužit tlačítko nouzového zastavení umístěné na oplocení pracoviště. V případě stisku tohoto tlačítka se také spustí světelná signalizace na věži. Vybráno bylo tlačítko výrobce Euchner (obr. 36), řady ES-FB dodávané v instalačním pouzdře [41].



Obr. 36 Tlačítko nouzového zastavení Euchner [41]

7.9.3 Signalizační světelná věž

V prostoru pracoviště bude umístěna signalizační věž. Účel této věže spočívá v signalizaci stavu pracoviště. Servisní pracovník tak lépe zaznamená poruchy a chyby pracoviště. Tyto světelné věže se používají v několika provedeních. Základní typ se skládá pouze z červené a zelené signalizace, na linkách se však používají také tři a čtyř modulové signalizační majáky (obvykle červená, oranžová, zelená a bílá či modrá). Každé barvě je softwarově přiřazen jiný stav pracoviště. Červená barva značí chybu na pracovišti (pracoviště je odstaveno z provozu), zelená barva běžný provoz a zbylé moduly se liší dle konkrétního použití a důležitosti stavů (například otevření dveří stanice, přehřátí apod.). Tyto majáky jsou opatřeny také signalizací zvukovou, aby pracovníci zaznamenali změnu stavu pracoviště. Typ signalizace bude zvolen na základě požadavků pracovníků společnosti a dohody s programátory pracoviště [2].

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výsledný koncept pojednává o modernizovaném pracovišti s využitím robotů a automatizačních prvků. Pracoviště bude splňovat takt linky, což zaručí výrobnost kusů shodnou se současným stavem. V ekonomickém hodnocení však nelze uvažovat zvýšení výrobnosti, neboť i když se zmenší spotřeba času na pracovišti, takt linky se nezmění.

Použité komponenty a zařízení budou pořízeny z více zdrojů (externě i interně), budou nakoupeny ze sériově vyráběných dílců, vyrobeny na zakázku nebo ponechány současné.

8.1 Ekonomické zhodnocení

Součástí každého projektu, včetně tohoto diplomového musí být ekonomický rozbor, který ukáže, zda náklady spojené s automatizací pracoviště jsou přijatelné a můžeme s návratností investice počítat v krátkodobém trvání.

Běžný požadavek na návratnost investice projektu v dnešní době je 2 roky, jak je tomu i zde. Delší časový horizont je vhodný pouze pro větší projekty, které například inovují celé výrobní či montážní linky, nebo zasahují velkou mírou do výrobního systému. Zpravidla se u těchto větších investic počítá s horizontem 6 let. Pro vytvoření zhodnocení je potřeba znát náklady jak na inovované robotizované pracoviště, tak i na současný stav [2].

8.1.1 Náklady na pracoviště v současném stavu

S modernizovaným pracovištěm zaniknou některé náklady, které v současném stavu znamenají pro společnost další finanční zatížení. Následující tabulka 19 uvádí veškeré finance, vztaženy na kalendářní rok, jež budou v novém řešení ušetřeny.

Zde hraje významnou roli lidská práce. Na třisměnný provoz je potřeba zaměstnávat tři osoby. Částka uvedená na jednoho člověka zahrnuje veškeré náklady zaměstnavatele (mzdu, pojištění, školení aj.). Druhou položkou, která bude ušetřena jsou měřicí kroužky používané na měřicí stanici. Dle statistických údajů se dá předpokládat ušetření minimálně 10 kusů ročně [2].

Tab. 19 Náklady na současné pracoviště [2]

Ušetřené náklady na současné pracoviště				
Číslo položky	Popis položky	Počet	Cena za jednotku €	Cena celkem €
1	obsluha pracoviště	3	36 400	109 200
2	měřicí kroužky	10	3 300	33 000
Celkem				142 200

8.1.2 Náklady na nové robotizované pracoviště

Investici na robotizované pracoviště lze rozdělit do čtyř skupin. První z nich jsou nakupované díly (tab. 20). Díly budou především nakupovány od externích dodavatelů, proto jejich ceny byly zjištěny přímo nezávaznou poptávkou formou emailové komunikace. Náklady na elektroinstalaci, pneumatiku, a bezpečnostní prvky byly pouze odhadnuty dle zkušeností odborných pracovníků z obdobných projektů.

Tab. 20 Nakupované díly [2], [34], [35], [38], [42], [43]

Nakupované díly				
Číslo položky	Popis položky	Počet kusů	Cena za kus €	Cena celkem €
1	robot Stäubli TX2-90L	1	36 500	36 500
2	robot Stäubli TS2-60	1	28 000	28 000
3	dopravník Rexroth 1200 mm	2	1 600	3 200
4	dopravník Rexroth 1500 mm	2	1 700	3 400
5	dopravník Rexroth 1800 mm	2	1 800	3 600
6	separátor	12	60	720
7	gripper FESTO DHPS-10-A	7	300	2 100
8	gripper Schunk PHL-G 25-030	1	800	800
9	3D portál FESTO	1	13 200	13 200
10	kolizní jednotka Schunk OPR-061-P00	2	1 500	3 000
11	elektroinstalace	1	14 000	14 000
12	pneumatické rozvody	1	4 900	4 900
13	bezpečnostní prvky	1	2 000	2 000
Celkem				115 420

Druhá skupina financí představuje komponenty vyráběné v rámci firmy v kooperaci výrobních oddělení (viz tab. 21). Ceny byly určeny odhadem dle zkušeností z obdobných projektů.

Tab. 21 Vyráběné díly

Díly vyrobené v kooperaci společnosti				
Číslo položky	Popis položky	Počet kusů	Cena za kus €	Cena celkem €
1	meziplochy kroužků	1	1 200	1 200
2	odkládací plocha n.I.O. pístů	1	1 400	1 400
3	příruby robotů	2	300	600
4	kleštiny pro manipulaci z boku	12	300	3 600
5	kleštiny pro manipulaci shora	2	300	600
6	deska na grippery	2	700	1 400
7	konstrukce na uchycení robotu TX2-90L	1	6 000	6 000
8	konstrukce na uchycení robotu TS2-60	1	4 500	4 500
9	odkládací plocha pro umístění exotů	1	600	600
10	odkládací plocha pro prázdné paletky	1	600	600
11	konzola na portál	1	1 500	2 100
Celkem				22 600

Další, a to třetí skupina, se sestává z činností spojených s automatizací pracoviště (tab. 22). Dotace hodin je zde opět pouze orientační dle zkušeností a náročnosti daných prací.

Tab. 22 Náklady na činnosti

Činnosti spojené s automatizací pracoviště				
Číslo položky	Činnost	Počet hodin	Cena za hod €	Cena celkem €
1	Konstruování mechanické části	600	40	24 000
2	Software	800	40	32 000
3	Elektro konstrukce	300	40	12 000
4	Montáž elektrických částí	250	45	11 250
5	Montáž mechanických částí	250	45	11 250
6	Projektové vedení	100	37	3 700
7	Certifikace CE a revize	-	-	2 100
8	Zaškolení obsluhy na roboty	-	-	v ceně
Celkem				96 300

Náklady na přemístění elektroinstalace, rozvodů, žlabů a náklady na přemístění měřicí stanice jsou zařazeny do ostatních nákladů (tab. 23). Zde je také položka s finanční rezervou, která se započítává z důvodu, aby se předešlo chybě ve výpočtu návratnosti, respektive předchází se špatnému odhadu výše zmíněných nákladů.

Tab. 23 Ostatní náklady

Ostatní náklady				
Číslo položky	Položka	Počet hodin	Cena za ks €	Cena celkem €
1	Přemístění měřicí stanice	150	45	6 750
2	Přemístění rozvodů, elektroinstalace a žlabů	-	1 800	1 800
3	Finanční rezerva na projekt	-	15 000	15 000
Celkem				23 550

8.1.3 Souhrn nákladů na projekt

Celkové náklady na projekt (tab. 24) lze získat jako součet jednotlivých podskupin, které jsou uvedeny výše. Největší položku investice tvoří nakupované díly, jejich podíl z celkové investice tvoří 44,8 %. Druhou významnou položkou jsou náklady spojené s činnostmi s podílem 37,3 %. Celková částka investice je v součtu 257 870 euro.

Tab. 24 Celkové náklady na projekt

Celkové náklady na projekt			
Číslo položky	Položka	Cena €	Podíl investice %
1	Nakupované díly	115 420	44,8
2	Díly vyrobené v kooperaci společnosti	22 600	8,8
3	Činnosti spojené s automatizací	96 300	37,3
4	Ostatní náklady	23 550	9,1
Celkem		257 870	100

8.2 Kalkulace návratnosti investic

Návratnost investice bude v tomto případě vypočítána jako poměr financí nákladů na projekt a nákladů na pracoviště v současné době (25). Nebudou zde brány v potaz finance za energie a další položky, které se týkají současného stavu pracoviště, ale i nového robotizovaného.

Tento poměr lze vyjádřit v obecné rovině i následujícím vztahem:

$$Návratnost\ investice = \frac{Celkové\ náklady\ na\ projekt}{Náklady\ na\ pracoviště\ v\ současném\ stavu} \quad (25)$$

Dále bude použit výpočet dle daných hodnot s následujícím označením (26).

$$N_{rok} = \frac{N_{celk}}{N_{souč}} \quad ,\ kde: \quad (26)$$

N_{rok} – návratnost investice [rok]

N_{celk} – celkové náklady na projekt automatizace [euro]

$N_{souč}$ – náklady na současný stav, které budou ušetřeny [euro]

Celkové náklady jsou vyjádřeny v tabulce č. 23, avšak lze je vyjádřit i pomocí vzorce:

$$N_{celk} = N_n + N_v + N_{\xi} + N_o \quad ,\ kde: \quad (27)$$

N_{celk} – celkové náklady na investici [euro]

N_n – náklady na nakoupené díly [euro]

N_v – náklady na vyrobené díly [euro]

N_{ξ} – náklady na činnosti spojené s projektem [euro]

N_o – ostatní náklady [euro]

Tudíž návratnost investice na tento projekt automatizace bude:

$$N_{rok} = \frac{N_{celk}}{N_{souč}} = \frac{257\ 870}{142\ 200} = 1,81\ roku \doteq 1\ rok\ a\ 10\ měsíců \quad (28)$$

8.3 Shrnutí technicko-ekonomického zhodnocení

Z předešlé podkapitoly návratnosti investice je na první pohled patrný výsledek, kde hodnota návratnosti byla vypočítána na 1,81 roku, což odpovídá přibližně 1 roku a 10 měsícům. Tento výsledek projekt posouvá blíže jeho realizaci, protože je splněna návratnost investice do 2 let.

Vzhledem k naddimenzování hodnot především vyráběných dílů pro pracoviště je možné, že by k navrácení investice došlo za kratší dobu. Dalším parametrem, na kterém se bude odvíjet rentabilita projektu je meziroční nárůst cen materiálu – projektová činnost probíhá delší dobu, avšak investor nemusí projekt dokončit ve stejném roce, kdy byla vyhotovena kalkulace.

9 ANALÝZA RIZIK

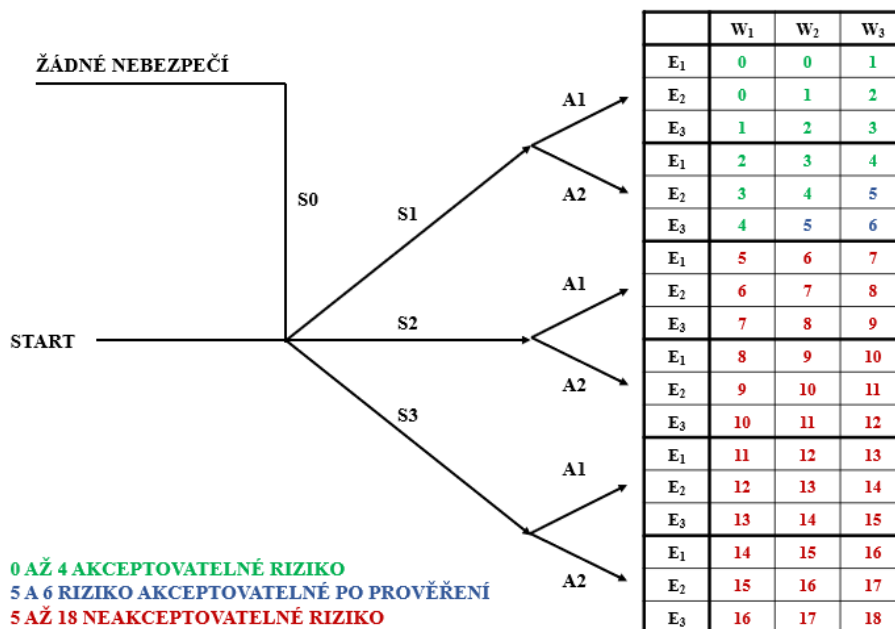
Podstatnou kapitolou u zpracování projektu tvoří analýza rizik. Jejím účelem je stanovit potenciální rizika nově vzniklého pracoviště a k nim také nalézt způsob, jak pravděpodobnost jejich nastání snížit. Tato analýza je také důležitá, aby pracovní buňka mohla být uvedena do provozu a splňovala požadavky kladené na její bezpečnost. Dle výsledků této analýzy lze posoudit i vhodnost jednotlivých zabezpečujících a ochranných prvků použitých na pracovišti, což se projeví ochranou lidského zdraví, ale také částečně například na finančních nákladech. Analýza rizik je vypracována v souladu s normou ČSN EN ISO 12100 [44], [45].

9.1 Metodický postup analýzy rizik

Analýzu rizik lze provést na základě jistého metodického postupu, který se používá v praxi, ale je také součástí norem.

První krok spočívá v provedení detailnější analýzy pracoviště a jednotlivých komponent systému. Tento systém pak bude zobrazen v podobě blokového schématu a blokového diagramu, který znázorní jednotlivé komponenty systému ve vzájemných interakcích. V další dílčí části se identifikují rizika týkající se všech částí. U tohoto rozboru jsou uvedeny i části pracoviště v nichž je daný prvek umístěn a druh rizik se zde vyskytujících. Po identifikaci relevantních nebezpečí následuje analýza významných nebezpečí ve vztahu k jednotlivým fázím životního cyklu pracoviště. Shrnutí těchto dvou úkolů je zpracováno přehledem identifikovaných nebezpečí [45].

Po těchto náležitostech dochází k vypracování formulářů pro odhad rizik. Zde se musí provést odhad, jak moc jsou zmíněná rizika závažná a jaké jsou jejich následky. Pro tento odhad je využíván graf viz obr. 37 [44], [45].



Obr. 37 Graf pro odhad velikosti rizika [45]

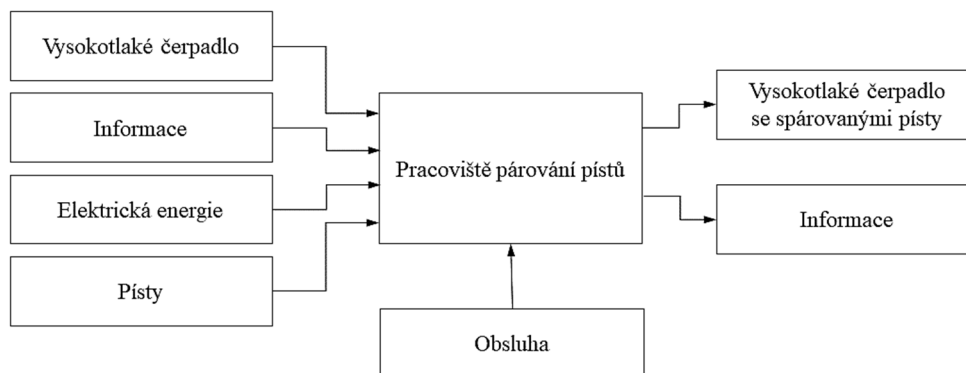
S pomocí tohoto grafu je možno určit velikost rizika. Ke určení konkrétní hodnoty odhadu a zisku této velikosti se využívají pak tyto aspekty [45]:

- Z - Závažnost a možné škody na zdraví
 - S0 žádné zranění
 - S1 lehké zranění
 - S2 těžké zranění
 - S3 smrt
- V - Četnost a doba ohrožení
 - A1 zřídka až častěji
 - A2 často až trvale
- M - Možnost vyvarování se nebezpečí
 - E1 možné
 - E2 možné za určitých podmínek
 - E3 sotva možné
- P - Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události
 - W1 malá či nepravděpodobná
 - W2 střední
 - W3 velká

Velikost rizika se pohybuje v rozmezí od 0 do 18, přičemž se rozděluje do třech skupin. První z nich jsou akceptovatelná rizika, kde velikost odhadu nabývá hodnot od 0 do 4. Další skupinu tvoří rizika akceptovatelná pro prověřená (pro 5 a 6 bodů). Poslední třetí skupinu tvoří rizika neakceptovatelná (7 – 18 bodů), kde je nutné navrhnout opatření a snížit tuto hodnotu rizika na akceptovatelnou úroveň [45].

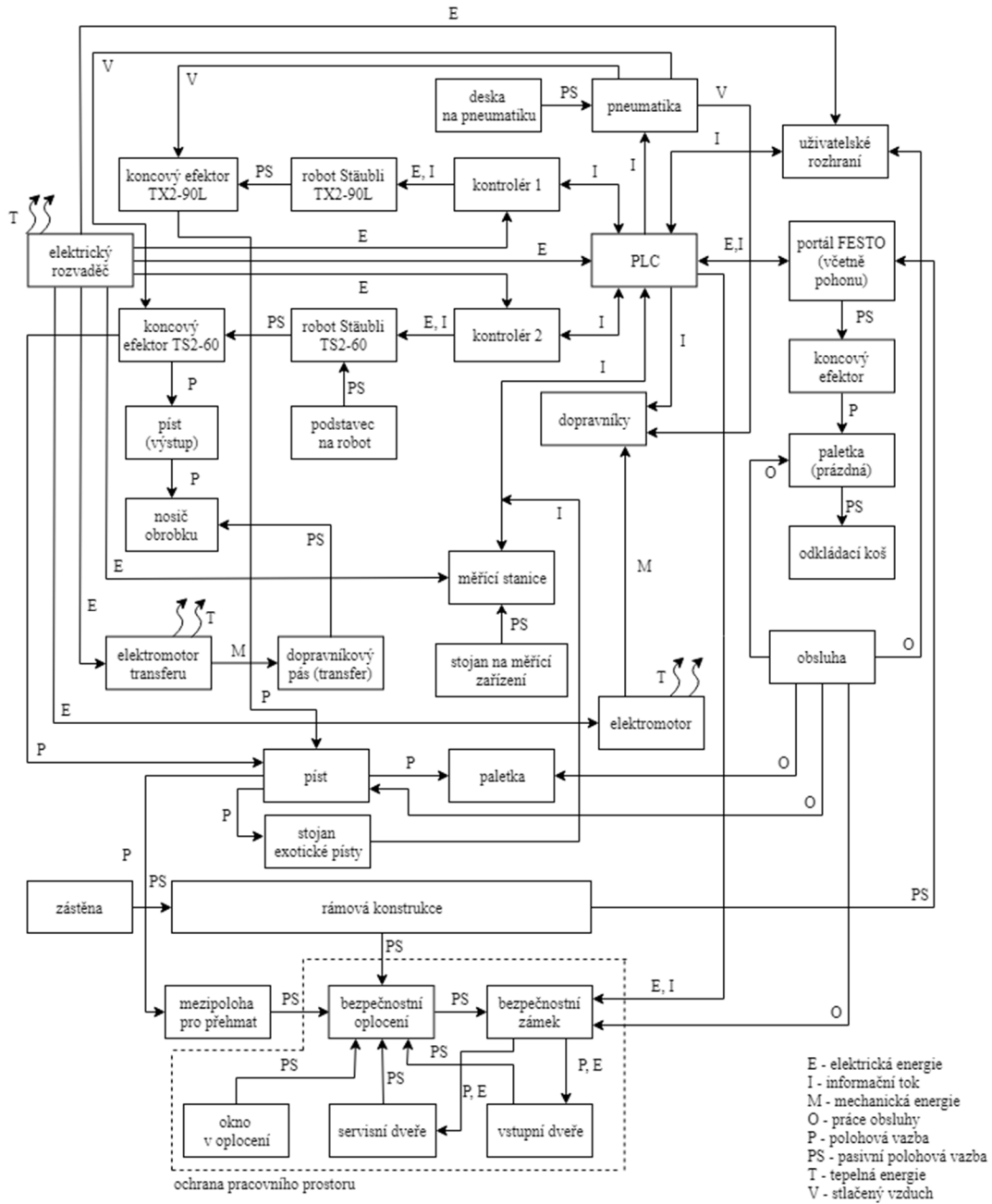
9.2 Analýza systému pracoviště

9.2.1 Základní blokový diagram



Obr. 38 Základní blokové schéma pracoviště

9.2.2 Blokový diagram



Obr. 39 Blokový diagram pracoviště

9.3 Identifikace relevantních nebezpečí

V rámci identifikace relevantních nebezpečí je podstatné vypsát všechny komponenty nacházející se na pracovišti, je možné vycházet z blokového schématu. Každé komponentě je také přiřazen popis přesné polohy v systému. Dalším bodem je sepsání všech nebezpečí, které se mohou u jednotlivých částí nacházet dle normy ČSN EN ISO 12100-1. V následující tabulce č. 25 se nachází ukázka takovéto identifikace. Tabulka obsahující všechny komponenty je umístěna v příloze C [44], [45].

Tab. 25 Ukázka identifikace relevantních nebezpečí

Komponenta	Poloha v systému	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-1
elektrický rozvaděč	okolí pracoviště	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.2-1, 1.5-1, 1.8-1) Elektrická nebezpečí (2.1-1, 2.2-1, 2.2-1) Ergonomická nebezpečí (8.4-1, 8.4-2)
rozvody pneumatiky	pracovní prostor, okolí pracoviště	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.7-1) Nebezpečí hluku (4.1-1, 4.1-2)
uživatelské rozhraní (monitor apod.)	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.2-1, 1.5-1) Elektrická nebezpečí (2.2-1, 2.2-2)
měřicí zařízení	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.2-1, 1.4-1, 1.5-1, 1.6-1, 1.6-2) Elektrická nebezpečí (2.2-1, 2.2-2) Ergonomická nebezpečí (8.1-2, 8.4-1, 8.4-2)
stojan měřicího zařízení	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.2-1, 1.4-1, 1.6-1, 1.6-2) Ergonomická nebezpečí (8.1-1, 8.1-2)
kontrolér průmyslového robotu	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.2-1) Elektrická nebezpečí (2.1-1, 2.2-1, 2.2-2)

9.4 Analýza významných nebezpečí

Následujícím krokem je podrobnější analýza významných nebezpečí, kde se zaměřuje na jednotlivé fáze životního cyklu pracoviště. Tyto cykly pojednávají již od dopravy zařízení a jednotlivých komponent na místo určení, přes montáž pracoviště, jeho zprovoznění, provoz, servis, až po opravování závad a také vyřazení z provozu. Opět se vychází z výše zmíněné normy ČSN EN ISO 12100. Následuje samotná analýza, ovšem ve zkrácené podobě (viz tab. 26). Celá analýza se nachází v příloze D [44], [45].

Tab. 26 Ukázka analýzy významných nebezpečí

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				Projekt
Během přepravy, montáže a instalace				Pracoviště párování pístů
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí (dle ČSN ISO 12100)		Popis nebezpečné události
		Stručný popis	ID číslo	
1	Doprava			
1.1	Nakládání, přeprava, vykládání	stlačení, pořezání, naražení, pád, svalově kosterní poškození	1.1-1 1.2-1 1.5-1 1.6-2 8.5-1	Během nakládání, přepravy a vykládání zařízení může dojít ke stlačení, pořezání, naražení obsluhy či pádu v důsledku ztráty stability. Také může dojít ke svalově kosternímu poškození vlivem těžkého břemene.
1.2	Balení a rozbalování	stlačení, pořezání, píchnutí či propíchnutí	1.1-1 1.2-1 1.8-1	Při balení a manipulaci se zařízeními může dojít ke stlačení, pořezání, píchnutí či propíchnutí pracovníka.
2	Montáž a instalace, uvedení do provozu			
2.1	Montáž zařízení na pracovišti	stlačení, pořezání, naražení, zakopnutí, pád, pád (uklouznutí), nepohodlí, lidská chyba, svalově kosterní poškození kombinace nebezpečí kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.5-1 1.6-1 1.6-2 1.6-4 8.1-2 8.4-1 8.5-1 10.1 10.2	Při montáži zařízení na pracovišti může dojít ke stlačení zařízením, k pořezání se o ostré hrany zařízení, naražení, zakopnutí, pádu i uklouznutí a také vlivem nevhodné ergonomie k nepohodlí pracovníka. V další řadě také může dojít k lidské chybě a svalově kosternímu poškození. Nakonec se také mohou rizika zkombinovat, například v podobě kombinace únavy a práce ve výškách

9.5 Přehled závažných identifikovaných nebezpečí

Aby byly určeny konkrétní hodnoty, jak je nebezpečí závažné, provádí se přehled v podobě tabulky (tab. 27). Celá tabulka se opět nachází v přílohách, a to konkrétně jako příloha E. Vychází se z grafu pro odhad rizik. Nebezpečí, která vyjdou jako nepřijatelná budou dále snížena ve formulářích [44], [45].

Tab. 27 Ukázka přehledu závažných identifikovaných nebezpečí

Přehled identifikovaných závažných nebezpečí						
		Z	V	M	P	Σ
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačení					
1.1-1	Nebezpečí stlačení při manipulaci se zařízeními	S2	A1	E2	W2	12
1.2	Nebezpečí pořezání					
1.2-1	Nebezpečí pořezání o ostré hrany při manipulaci s jednotlivými částmi pracoviště	S1	A1	E3	W3	3
1.3	Nebezpečí vymrštění					
1.3-1	Nebezpečí vymrštění pístu	S1	A1	E2	W1	0
1.3-2	Nebezpečí vymrštění koncového efektoru	S2	A1	E2	W1	6
1.4	Nebezpečí zachycení					
1.4-1	Nebezpečí zachycení během manipulace v prostoru pracoviště	S2	A1	E2	W2	7
1.5	Nebezpečí naražení					
1.5-1	Nebezpečí naražení během manipulace v prostoru pracoviště	S2	A1	E2	W1	6
1.6	Nebezpečí zakopnutí a pád					
1.6-1	Nebezpečí zakopnutí o zařízení nebo jeho část na pracovišti	S1	A2	E3	W2	5
1.6-2	Nebezpečí pádu v důsledku ztráty stability	S2	A1	E3	W1	7
1.6-3	Nebezpečí pádu z výšky	S3	A1	E2	W1	12
1.6-4	Nebezpečí pádu v důsledku uklouznutí na drobné součásti	S2	A1	E1	W1	5
1.7	Nebezpečí vystříknutí					
1.7-1	Nebezpečí vystříknutí stlačeného vzduchu	S1	A1	E1	W1	0
1.8	Nebezpečí propíchnutí nebo píchnutí					
1.8-1	Nebezpečí propíchnutí či píchnutí během rozbalování zařízení	S2	A1	E1	W1	5
2	Elektrická nebezpečí					
2.1	Nebezpečí požáru					
2.1-1	Nebezpečí vzniku požáru při provozu pracoviště v rámci elektroinstalace	S3	A1	E2	W1	12

9.6 Formuláře pro snížení rizik

Posledním krokem analýzy rizik je formulář pro snížení rizik (příloha F). Pro tento účel je nutnost určit opatření, která zapříčiní snížení hodnoty každého z nebezpečí, jež přesahuje povolenou hranici. V první řadě je snaha vytvořit bezpečnostní opatření týkající se konstrukce zařízení a pracoviště. Pokud i po prvním kroku je hodnota vyšší než povolená, musí být nalezeno další opatření snižující nebezpečí. Dále se pak vytváří opatření bezpečnostními prvky. Ve třetím a posledním kroku se tvoří opatření jako jsou informace pro obsluhu, upozornění pro obsluhu apod. Ukázka takového formuláře je zobrazena následující tab. 28.

Tab. 28 Ukázka formuláře pro snížení rizika

VUT FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracovala: Markéta Mužíková		Pracoviště párování pístů Datum: 17.04.2019
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí		
2.1-1	9	Nebezpečí vzniku požáru na pracovišti v rámci elektroinstalace		
Životní etapa stroje	montáž a instalace, provoz		Nebezpečný prostor: pracovní prostor	
Ohrožené osoby	montážní pracovník, obsluha pracoviště, seřizovač		Provozní stav pracoviště: mimo provoz, provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí vzniku požáru na pracovišti v rámci elektroinstalace s následkem popálenin či smrti.			
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 16	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá		
Krok 1	Použití doplňkových prostředků			
Popis opatření	Použití jisticích prvků v elektroinstalaci. Všechna elektrická zařízení používat pouze certifikovaná.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 12	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až často		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých ok.		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Použití bezpečnostního protipožárního systému na pracovišti včetně čidel apod.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 6	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až často		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých ok.		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Pravidelné proškolení personálu ohledně požární ochrany a pokynů v případě požáru.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až často		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá		
Validace:	Opatření jsou dostatečná		Bc. Markéta Mužíková	17.04.2019

10 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh pracoviště párování pístů s využitím automatizačních a robotických prvků s předpokladem optimalizace procesu, který probíhal ve spolupráci se společností Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. Vstupem pro pracoviště s měřicí stanicí je vysokotlaké čerpadlo a písty, přičemž na výstupu k danému čerpadlu jsou přiřazeny písty s vyhovujícími parametry.

Úvodní část práce je věnována teoretickým poznatkům, které uvádí informace týkající se společnosti Bosch, dále je navázáno teorií automatizace na pracovišti, přičemž je kladen důraz na robotizaci v průmyslu.

V další kapitole je vystižen současný stav pracoviště a jeho systémový rozbor během provozu montážní linky. Pro podrobnější výklad je zmíněn přehled manipulovaných dílů sloužící dále k samotné úvaze o novém konceptu. Pracoviště je popsáno z hlediska prvků zde umístěných a činností probíhajících cyklicky i necyklicky díky pracovníkům linky. Jedna z podkapitol zahrnuje časový rozbor současného stavu s pomocí MTM analýzy. Závěrem kapitoly přichází shrnutí výhod a nevýhod současného stavu a představa společnosti o novém řešení modernizovaného pracoviště s použitím robotizace.

Díky poznatkům a informacím o časovém rozvržení procesu bylo možné navázat simulacemi času. Od prvotního návrhu se postupnou optimalizací návrhů došlo k finálnímu návrhu. Optimalizace se udály ve více směrech, a to například v posloupnosti činností, změnou počtu manipulačních ramen (robotů), či myšlenice sdruženého nástroje. Pro poslední variantu byly vytvořeny i Ganttovy diagramy, které jsou součástí příloh a vytváří ucelený souhrn dané varianty. Vypočtený takt pomocí simulace je 25,8 vteřin, přičemž tato hodnota je nadsazená a reálný takt může být nižší. Po vytvoření varianty simulace času splňující požadovaný takt pracoviště následoval předběžný nástin rozložení prvků na pracovišti a vytvoření čtyř variant s různými robotickými prvky. Pro výběr verze konceptu posloužila takzvaná multikriteriální metoda založená na porovnávání kritérií, kterým je přidělena váha na základě důležitosti každého z nich. Z tohoto důvodu byl vybrán návrh, s nejvíce získanými body, označovaný v této práci jako D, kde se nachází šestiosý průmyslový robot a robot čtyřosý typu SCARA.

Další kapitola praktické části podrobněji popisuje všechny důležité prvky pro novou podobu pracoviště. Prvky byly vybírány s ohledem na své funkční vlastnosti a na požadavky dané společností. Jsou zde uváděny také tabulky sloužící například k porovnání robotů s přibližnými vlastnostmi od různých výrobců, na základě čehož byly vybrány dva roboty od výrobce Stäubli. K těmto robotům bylo vybráno příslušenství jako jsou uchopovací jednotky, kolizní jednotky a další. Pro vytvoření konceptu bylo potřeba použít i další prvky umožňující automatizovaný provoz pracoviště, proto se zde objevily dopravníky s řemenem nahrazující skluzu. Systém manipulace byl dotvořen periferními prvky, mezi které patří odkládací stojan na exotické písty, krabíčka na nevyhovující písty, či mezipoloha pro přehmat pístu koncovým efektořem. Vzhledem k nutnosti propracovat celý systém včetně situací, které mohou nastat necyklicky, byl navržen odběr prázdných paletok prostorovým portálem a jejich umístění do koše a odkladová lišta na písty, jejichž označení je nevyhovující a je nutné jejich přeměření a zařazení do správné třídy. Díky faktu, že se jedná o montážní linku v provozu, bylo nutné provést odhad změn, které se dotknou nejbližšího prostoru pracoviště a projeví se na tomto projektu finančním zatížením.

Navržená varianta pracoviště počítá se splněním aktuálně platných uznávaných bezpečnostních norem, směrnic a nařízení, proto je zde navrženo bezpečnostní oplocení se zámkou a stop tlačítky, nicméně pro další vyvarování se nebezpečným situacím byla provedena

analýza rizik. Tato analýza vycházela ze systému znázorněného formou blokových schémat obsahující všechny prvky. Dále se dle zvyklostí vedl postup analýzy. Prvně se identifikovala všechna rizika, jež mohou nastat. K dalším krokům patřily analýza významných nebezpečí, přehled identifikovaných nebezpečí, a nakonec formuláře pro snížení rizika, vypracované pro rizika překračující povolenou mez.

Ke každému projektu zajisté patří kromě technické stránky i ta ekonomická, a proto bylo zpracováno finanční zhodnocení a kalkulace návratnosti. Cena jednotlivých položek byla určena na základě přímé komunikace s dodavateli, čímž se dosáhlo jisté přesnosti vypočtené sumy. Celkové pořizovací náklady na pracoviště činí 257 870,- Euro, a tudíž návratnost tohoto projektu je 1,81 roku, kdy došlo k výpočtu na základě ušetřených nákladů na obsluhu pracoviště, ale také na měřící kroužky, jejich spotřeba se dle predikce výrazně sníží. Tento výsledek je v souladu se zadaným požadavkem maximální návratnosti do dvou let.

Koncept modernizovaného pracoviště vyhovuje všem požadavkům na něho kladených společností Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. Jediným záporem nově navrženého řešení může být nutnost přesunu rozvodů (elektrické energie a pneumatiky) a posun měřící stanice, čímž se zvedla mírně výše nákladů.

Vzhledem k tomu, že se jedná o projektovou diplomovou práci, bylo nemožné detailněji rozvést dílčí části, tudíž je zde možnost pokračování konstrukčním směrem a úplného dokončení projektu. V budoucnu lze například na výsledky této diplomové práce navázat návrhem pracoviště párování pístů na obdobné lince vyrábějící stejný typ čerpadla. Potenciál použití konceptu vidím díky tomu, že se linky liší mírnými rozdíly, nicméně jejich princip je totožný. Rozvíjet získané poznatky a řešení je možné i na linkách novějších typů vysokotlakých čerpadel, které zajisté tvoří důležitou část produktového portfolia. Zlepšení procesu výroby a montáže s jeho optimalizací by mohla přinést ušetření nákladů, nebo také snížení taktu.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Naše společnost: Bosch v České republice [online]. [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/>
- [2] *BOSCH DIESEL s.r.o.*, Interní zdroje. [cit. 2018-10-30]
- [3] VAŠEK Lubomír. *Teorie a stavba výrobních systémů – část 2 – linky*. Prezentováno na: [Přednášky předmětu Teorie a stavba výrobních systémů; 2018-10-02; Brno.]
- [4] LACKO, Branislav. *Automatizace a automatizační technika*. Praha: Computer Press, 2000. *Všechny cesty k informacím*. ISBN 80-7226-246-7
- [5] VAŠEK, Lubomír. *Simulace systémů*. 1. vyd. Brno: VUT, 1991. ISBN 8021402628
- [6] VACHÁLEK, Ján. *Robotika*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014. *Edícia vysokoškolských učebníc (Slovenská technická univerzita)*. ISBN 978-80-227-4163-7.
- [7] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [8] VAŠEK Lubomír. *Teorie a stavba výrobních systémů – část 1 – základy*. Prezentováno na: [Přednášky předmětu Teorie a stavba výrobních systémů; 2018-10-02; Brno.]
- [9] BELJANIN, Peter Nikolajevič. *Promyšlenyje roboty*. 1. vyd. Moskva: Mašinostrojenije, 1976, 397 s.
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 178 s. *Edícia vedeckej a odbornej literatúry*. ISBN 80-88922-227-5.
- [11] Robot nebo kobot [online]. 5. 4. 2018 [cit. 2018-10-31]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>
- [12] *Bosch APAS* [online]. [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.bosch-apas.com/en/home/>
- [13] WT 2/E workpiece pallet. *Rexroth: A Bosch Company* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/transfer-systems/ts-2plus-transfer-system/workpiece-pallet/wt-2-e-workpiece-pallet>
- [14] CIGÁNEKOVÁ, Monika. Milk run. In: *IPA: More Than Expected* [online]. 31.1.2007 [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/milk-run>
- [15] KRIŠŤAK, Jozef. MTM - Methods Time Measurement. In: *IPA: More Than Expected* [online]. 8.3.2007 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/mtm-methods-time-measurement>
- [16] *MTM: Czech & Slovak* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.czechmtm.cz/sluzby.php>
- [17] DLABAČ, Jaroslav. *Analýza a měření práce*. In: *API – Akademie produktivity a inovací s. r. o.* [online]. 29.10.2015 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace>
- [18] MATUŠOVÁ, Miriam. *Aplikácia simulačných metód pri projektovaní výrobného systému*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015. *Edícia monografií (Slovenská technická univerzita)*. ISBN 978-80-227-4487-4.

- [19] KALINA, J., K. SLOUPOVÁ a M. VÉRTEŠI. Multikriteriální analýza. *Správným směrem* [online]. 21. 7. 2014 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://spravnym.smerem.cz/Tema/Multikriteri%C3%A1ln%C3%AD%20anal%C3%BDza>
- [20] Robotic arms: A wide range of robots covering all industries and applications. *Stäubli* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/cs-cz/robotics/product-range/6-axis-scara-picker-industrial-robots/>
- [21] Stäubli TX2. *Cobotsguide* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://cobotsguide.com/2017/03/staubli/>
- [22] KUKA KR 6-2. *RobotWorx: a SCOTT company* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.robots.com/robots/kuka-kr-6-2>
- [23] ABB ROBOTIKA. *ABB* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs>
- [24] Průmyslové roboty firmy KUKA. *KUKA* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty>
- [25] Průmyslové roboty MELFA. *Mitsubishi Electric Czech Republic - Factory Automation* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/products/rbt/robot/>
- [26] Robot: Robotssystem. *Mitsubishi Electric Europe - eshop Factory Automation* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://mitsubishi-electric-eshop.mee.com/mee/FA_IA/en/EUR/Catalogue/Robot/Robotssystem/RH-6FRH5520N-D/p/000000000000312985/zoomImages
- [27] *PGN-plus-P: Zaručeně bezúdržbový po celou dobu životnosti!* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/pgn-plus-p/
- [28] Paralelní chapadlo DHPS. *FESTO: Česko* [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DHPS?CurrentIDCode1=DHPS
- [29] WOLF, Andreas a Henrik SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Cincinnati: Hanser Publications, [2018]. ISBN 978-1-56990-715-3.
- [30] OPR-061-P00. *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: https://schunk.com/ro_en/clamping-technology/product/17860-0321361-opr-061-p00/
- [31] Longitudinal conveyor. *Rexroth: A Bosch Company* [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/transfer-systems/ts-2plus-transfer-system/longitudinal-conveyor>
- [32] Dopravníky a dopravníkové systémy. *HABERKORN* [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/dopravniky/>
- [33] RPE: Portallösungen - Raumportal. *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0012188.PDF>
- [34] Prostorové portály. *Festo: Česko* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/RAUMPORTALE_CZ.PDF
- [35] E-mailová korespondence s Ing. Ctiborem Novákem [online], 23. 1. 2019, ctibor.novak@festo.com

- [36] E-mailová korespondence s Ing. Petrem Matuškou [online], 22. 1. 2019, petr.matuska@cz.schunk.com
- [37] PHL-G 25-030. *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/36003-0308120-phl-g-25-030/
- [38] Paralelní chapadla HGPL-B, robustní s dlouhým zdvihem. *FESTO: Česko* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HGPL-B_CZ.PDF
- [39] EcoSafe protective frame, in horizontal sections. *Rexroth: A Bosch Company* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/basic-mechanic-elements/protective-devices-and-partition-walls-ecosafe/ecosafe-protective-frame-in-horizontal-sections>
- [40] Bezpečnostní dveřní systém MGB-AR. *Euchner: More Than Safety* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-systemy/mgb-ar/>
- [41] Tlačítka nouzového zastavení řady ES-FB. *Euchner: More Than Safety* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/tlacitka-nouzoveho-zastaveni/es-fb-v-pouzdre/>
- [42] Emailová korespondence s Jiřím Chaloupkou [online], 24.1.2019, jiri.chaloupka@boschrexroth.cz
- [43] Emailová korespondence s Janem Fikarem [online], 24.1. 2019, j.fikar@staubli.com
- [44] ČSN EN ISO 12100: 2011. Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [45] BLECHA Petr. *Metodický přístup ke snižování rizika u strojních zařízení*. Prezentováno na: [Přednášky předmětu Management rizik u výrobních strojů; 2017-10-25; Brno.]

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Logo společnosti BOSCH	17
Obr. 2 Závod III v Jihlavě [2].....	21
Obr. 3 Čerpadlo CP3 [2].....	22
Obr. 4 Píst čerpadla CP3	22
Obr. 5 Průmyslový robot VERSATRAN [7]	28
Obr. 6 Kolaborativní robot typ UR 5 [11].....	30
Obr. 7 Bosch APAS Fanuc LR Mate [12].....	30
Obr. 8 Pracoviště párování pístů v současném stavu [2].....	31
Obr. 9 Kovový koš s písty	32
Obr. 10 Plastová paletka na písty	32
Obr. 11 Hlavní rozměry pístu	33
Obr. 12 Plochy dotyku na pístu	33
Obr. 13 Pracoviště a jeho popis [2]	34
Obr. 14 Obrazovka měřicího zařízení Stotz [2].....	34
Obr. 15 Měřicí pozice na zařízení [2].....	35
Obr. 16 Skluz v současném stavu [2]	35
Obr. 17 Dopravník se zvedačkou před měřicí stanicí [2].....	36
Obr. 18 Základní deska nosiče obrobku [2]	36
Obr. 19 Pohled na pracoviště ze zadní strany [2].....	36
Obr. 20 Zobrazení výsledku měření i.O. na monitoru [2].....	37
Obr. 21 Zobrazení i.O. měření.....	38
Obr. 22 Vyhodnocení n.i.O. měření - písty vybrány znovu	38
Obr. 23 Měření ni.O. - písty vloženy do n.i.O. boxu.....	38
Obr. 24 Vedlejší činnost šroubování [2].....	39
Obr. 25 Základní schéma návrhu pracoviště	48
Obr. 26 Schéma pracoviště - pohled shora.....	51
Obr. 27 Finální koncept pracoviště – pohled z přední části	52
Obr. 28 Finální koncept pracoviště - pohled na zadní část.....	53
Obr. 29 Koncept uchopovacího systému	56
Obr. 30 Uchopovací systém na portál s plastovou paletkou	64
Obr. 31 Uchopovací systém na portál s kovovou paletkou	65
Obr. 32 Odkládací plocha na exotické písty.....	65
Obr. 33 Detailní zobrazení uložení n.i.O. pístů a nevyhovujících pístů.....	66
Obr. 34 Bezpečnostní oplocení pracoviště Rexroth EcoSafe [39]	67
Obr. 35 Bezpečnostní zámek Euchner MGB-AR [40].....	67
Obr. 36 Tlačítko nouzového zastavení Euchner [41]	68
Obr. 37 Graf pro odhad velikosti rizika [45].....	73
Obr. 38 Základní blokové schéma pracoviště	74
Obr. 39 Blokový diagram pracoviště.....	75

13 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled manipulovaných dílů.....	33
Tab. 2 Časová analýza – metoda přímého měření.....	40
Tab. 3 Využití MTM analýzy na pracovišti párování pístů.....	42
Tab. 4 Výhody a nevýhody pracoviště v současném stavu.....	43
Tab. 5 Výhody a nevýhody automatizovaného pracoviště.....	44
Tab. 6 Přehled variant simulací času.....	45
Tab. 7 Hodnotící kritéria.....	49
Tab. 8 Hodnocení variant.....	50
Tab. 9 Průmyslové roboty a jejich vlastnosti [20], [21], [22], [23], [24].....	55
Tab. 10 Roboty SCARA a jejich vlastnosti [20], [23], [25], [26].....	56
Tab. 11 Uchopovací jednotky [27], [28].....	57
Tab. 12 Základní způsoby uchopování [29].....	58
Tab. 13 Kinetické účinky na požadované uchopovací síly na jednu kleštinu [29].....	58
Tab. 14 Koeficienty tření pro vybrané materiály [29].....	59
Tab. 15 Kolizní jednotka Schunk [30].....	61
Tab. 16 Srovnání vlastností dopravníků.....	61
Tab. 17 Prostorové portály [33], [34], [35], [36].....	63
Tab. 18 Srovnání uchopovacích jednotek na portál [37], [38].....	64
Tab. 19 Náklady na současné pracoviště [2].....	69
Tab. 20 Nakupované díly [2], [34], [35], [38], [42], [43].....	70
Tab. 21 Vyráběné díly.....	70
Tab. 22 Náklady na činnosti.....	71
Tab. 23 Ostatní náklady.....	71
Tab. 24 Celkové náklady na projekt.....	72
Tab. 25 Ukázka identifikace relevantních nebezpečí.....	76
Tab. 26 Ukázka analýzy významných nebezpečí.....	77
Tab. 27 Ukázka přehledu závažných identifikovaných nebezpečí.....	78
Tab. 28 Ukázka formuláře pro snížení rizika.....	79

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A INDEXŮ

Symbol	Jednotka	Veličina
a	$m \cdot s^{-2}$	zrychlení
C	mm	citlivost kolizní jednotky
F _G	N	uchopovací síla
g	$m \cdot s^{-2}$	tíhové zrychlení
m	kg	hmotnost
M	Nm	spouštěcí moment
N	rok	návratnost
P _l	mm	přesnost opakování lineární
P _r	' (min)	přesnost opakování rotační
S	-	bezpečnostní faktor
v	$m \cdot s^{-1}$	rychlost
α	°	úhel svírající kontaktní plochy kleštiny
μ	-	koeficient tření
€	-	euro

Indexy

Stav	Symbol
varianta uchopování a)	a
varianta uchopování c)	c
celkové	celk
činnost	č
nakoupené	n
píst	p
osa x	x
osa y	y
osa z	z
ostatní	o
roční	rok
současné	souč
vyráběné	v

Zkratky

Zkratka	Význam	Překlad do češtiny
A1	Axis 1	Osa 1
A2	Axis 2	Osa 2
A3	Axis 3	Osa 3
A4	Axis 4	Osa 4
A5	Axis 5	Osa 5
A6	Axis 6	Osa 6
i.O.	in Ordnung	v pořádku
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung	s.r.o.
LP	lineární pohyb	-
MELFA	Mitsubishi Electric Factory Automation	-
MTM	Methods -Time Measurement	-
n.i.O.	nicht in Ordnung	v nepořádku
PRaM	průmyslové roboty a manipulátory	-
RP	rotační pohyb	-
RTP	robotizované technologické pracoviště	-
TMU	Time Measurement Unit	jednotka měření času
WT	Werkstückträger	nosič obrobku

15 SEZNAM PŘÍLOH

CD

Příloha A – Varianty simulace časů

Příloha B – Ganttovy diagramy pro variantu F

Příloha C – Identifikace relevantních nebezpečí

Příloha D – Analýza významných nebezpečí

Příloha E – Přehled závažných identifikovaných nebezpečí

Příloha F – Formuláře pro snížení rizika

Příloha G – Výkres – layout části montážní linky v současném stavu

Příloha H – Výkres – layout pracoviště navrženého řešení

Příloha I – Výkres – layout části montážní linky s novým konceptem pracoviště