

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B0715A270013 Strojní inženýrství
Studijní obor: PIMB Průmyslové inženýrství a management

Bakalářská práce

Technicko-ekonomické zhodnocení robotizace pracoviště

Autor: **Jan PAVLÍČEK**

Vedoucí práce: **Ing. David ŽENÍŠEK**

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan PAVLÍČEK**
Osobní číslo: **S19B0592P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Technicko-ekonomické zhodnocení robotizace pracoviště**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Úvod do řešené problematiky
2. Metody a analýzy pro hodnocení robotizace pracoviště
3. Charakteristika vybraného pracoviště
4. Volba kritérií pro hodnocení
5. Závěr a ekonomické zhodnocení

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **0 výkresů**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Národní iniciativa průmysl 4.0.* 2015.
2. SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika.* 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011, 471 s. ISBN 978-80-247-3494-1.
3. KOLÍBAL, Zdeněk a kol. *Roboty a robotizované výrobní technologie.* První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. 787 stran. ISBN 978-80-214-4828-5.
4. FOTR, Jiří, SOUČEK, Ivan. *Investiční rozhodování a řízení projektů.* 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2011. 416 s. ISBN 978-80-247-3293-0.
5. HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. ISBN 80-214-2871-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Ženíšek**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Marek Bureš, Ph.D.**
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Za odborné vedení mé bakalářské práce, velkou míru trpělivosti a ochoty, rychlost, lidský přístup a také za cenné a velmi podnětné rady při zpracovávání práce děkuji vedoucímu práce Ing. Davidu Ženíškovi.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Pavliček	Jméno Jan	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 - Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Ženíšek	Jméno David	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST – KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Technicko-ekonomické zhodnocení robotizace pracoviště		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	71	TEXTOVÁ ČÁST	51	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá zhodnocením robotizace pracoviště. V první části je věnován prostor úvodu do řešené problematiky (průmysl 4.0 a robotika). Následně je sestaven systém hodnocení včetně parametrů hodnocení. V další části je představen podnik a řešené pracoviště, je popsána robotizace pracovišť. Závěrem práce je zhodnocení robotizace, posouzení oproti současné verzi a shrnutí poznatků.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>robotizace, průmysl 4.0, technickoekonomické hodnocení, investice, návratnost investice, technické hodnocení, robotické pracoviště</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Pavliček	Name Jan	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Ženíšek	Name David	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Technical - economic evaluation of robotic workstation		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	71	TEXT PART	51	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This work evaluates the robotic workstation. First part is dedicated to the introduction of robotic Workstation problem (Industry 4.0 and robotics). Next part of work is about technique of evaluation (methods and parameters). Last part is devoted to the introduction of the Workstation itself and its robotization. At the very end of work there is the self-evaluation of Workstation.
KEY WORDS	robotics, Industry 4.0, economic evaluation, technical evaluation, robotic workstation, automatization, investment, payback period

Obsah

Prohlášení o autorství	3
Poděkování	5
Seznam použitých zkratk a symbolů	11
Seznam obrázků.....	13
Seznam tabulek.....	14
Úvod do řešené problematiky	15
1 Průmysl 4.0	16
1.1 Implementace.....	16
1.2 Komunikace.....	17
1.3 Chytré továrny	17
1.4 Robotizace a průmysl 4.0	18
1.4.1 Rozvoj robotizace	18
1.4.2 Odvětví průmyslu s největším počtem robotů.....	19
1.4.3 Aplikace robotů	20
2 Robotika.....	21
2.1 Technické parametry robotů	21
2.2 Druhy robotů.....	22
2.2.1 Kloubový robot.....	22
2.2.2 SCARA.....	23
2.2.3 Delta robot	23
2.2.4 Kartézský robot	24
2.2.5 Kolaborativní robot – kobot	24
2.3 Koncový efektor	25
2.4 Programování robotů	25
2.5 Robotická pracoviště	25
2.5.1 Rozdělení robotických pracovišť.....	26
2.5.2 Bezpečnost robotického pracoviště	28
3 Hodnocení robotizace pracoviště	29
3.1 Technické zhodnocení pracoviště.....	29
3.1.1 Technické parametry robotického pracoviště.....	29
3.1.2 Technické parametry robota	30
3.1.3 Technické parametry výrobku.....	30

3.2	Ekonomické zhodnocení pracoviště	30
3.2.1	Investice.....	30
3.2.2	Ekonomické zhodnocení investic	31
3.2.3	Hodnocení investice do robotizace pracoviště.	32
3.3	Multikriteriální hodnocení robotizace pracoviště.....	33
3.3.1	Metody stanovení multikriteriálního hodnocení	33
3.3.2	Bodová stupnice	34
4	Případová studie robotizace pracoviště ve společnosti DAIKIN.....	36
4.1	O společnosti DAIKIN	36
4.2	Popis současného stavu a řešeného problému	37
4.2.1	Linka F5.....	37
4.2.2	Linka F6.....	38
4.2.3	Pracovní úkony na současném pracovišti.....	38
4.2.4	Časový snímek pracoviště	39
4.3	Robotizace pracovišť na linkách F5 a F6	39
4.3.1	Popis řešení.....	40
4.3.2	Popis pracovního procesu po robotizaci.....	40
4.3.3	Potřebné komponenty	41
4.3.4	Navrhované komponenty.....	41
4.4	Ekonomická stránka robotizace	43
4.4.1	Velikost investice	43
4.4.2	Náklady na údržbu.....	45
4.4.3	Náklady na provoz.....	45
4.4.4	Návratnost investice	50
4.5	Technické hledisko robotizace pracoviště.....	51
4.5.1	Výrobní takt pracovišť.....	51
4.5.2	Nutné technologické přestávky	53
4.5.3	Pracovní úkony po robotizaci pracoviště	54
4.5.4	Bezpečnost pracoviště	54
4.5.5	Plocha pracoviště.....	55
4.5.6	Údržba robotizovaného pracoviště	55
4.5.7	Připojení pracoviště	55
5	Technickoekonomické zhodnocení.....	56

5.1	Určení váhy pro sledované parametry	56
5.2	Bodové hodnocení jednotlivých parametrů variant.....	56
5.2.1	Velikost investice	57
5.2.2	Doba návratnosti investice	57
5.2.3	Zhotovitelnost pracoviště	59
5.2.4	Bezpečnost.....	60
5.2.5	Roční náklady na provoz	61
5.2.6	Takt pracoviště	63
5.3	Hodnocení variant.....	63
	Závěr.....	65
	Seznam použité literatury	67

Seznam použitých zkratk a symbolů

CPS - Kyber-fyzický systém

IoT – Internet of things (překlad: „internet věcí“)

M2M – machine to machine (překlad: „stroj stroji“),

IFR – International Federation of Robotics (Mezinárodní federace robotiky)

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj)

CNC – Computer Numerical Control (číslicové řízení)

ISO – International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

SCARA – Selective Compliance Articulated Robot Arm (překlad: „selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno“)

Zr – průměrný čistý roční zisk

IN – investiční náklady na rok

ROI – rentabilita investic

I – kapitálový výdaj na investici

Zn – roční výnos z investice po zdanění v dílčích letech životnosti

An – roční odpisy z investice v dílčích letech životnosti

n – dílčí roky životnosti

a – doba splácení

P_n – roční peněžní příjem z investice

ČSHI – čistá současná hodnota investice

SHCF – současná hodnota cashflow

CF_t – očekávaná hodnota cashflow v období t

IN – investiční náklady

k – kapitálové náklady na investici (podniková diskontní sazba)

t – období 1 až n (roků)

n – doba životnosti investice

IRR – internal rate of return (vnitřní výnosové procento)

IZ – index ziskovosti

CF_n – diskontní příjmy za období n

DICz – Daikin Industries Czech Republic s.r.o.

AGV – Automated guided vehicle – v překladu: automaticky naváděné vozítko

h – hodiny

kWh – kilo watt hodina

kW – kilo watt

t_{dk} – počet kalendářních dnů v roce

t_{dn} – počet nepracovních dnů v roce

t_{do} – počet pracovních dnů, ve kterých budou prováděny opravy

t_{dpr} – počet dnů ostatních nezbytných přestávek

s – průměrný počet směn v jednom pracovním dnu

t_h - průměrný počet hodin v jedné směně

W_h – elektrická práce vykonaná za hodinu pracovního cyklu

U – elektrický výkon

N_{rp} – roční náklady na pracovníka

Nm – měsíční náklady na pracovníka

CF – cash flow

Seznam obrázků

Obr. 1 Ohrožená pracovní místa automatizací [2].....	16
Obr. 2 Smart factory – znázornění propojení jednotlivých prvků [24]	17
Obr. 3 Graf celosvětového prodeje robotů (data z roku 2018) [25]	18
Obr. 4 Graf porovnávající náklady na nákup robota a náklady na zaměstnance [26]..	19
Obr. 5 Zastoupení robotů v průmyslových odvětvích v roce 2017 dle IFR [27]	19
Obr. 6 Znázornění os 6 - osého kloubového robota [28].....	22
Obr. 7 Aplikace robota SCARA – vysokorychlostní pick and place úloha [29].....	23
Obr. 8 Delta robot společnosti ABB [30]	23
Obr. 9 Kartézský robot pro aplikaci v plastikářském průmyslu [31]	24
Obr. 10 Kolaborativní robot KUKA [32]	24
Obr. 11 Možnosti spolupráce kobota s člověkem [12].....	26
Obr. 12 Robotické pracoviště paletizace [33]	27
Obr. 13 Pracoviště s kolaborativním robotem [34]	28
Obr. 14 Magický trojúhelník investování [15]	31
Obr. 15 Výrobní závod Daikin v Plzni [39]	36
Obr. 2 Ukázka krabic uložených na odkládacím místě [40]	37
Obr. 3 Schéma pracovního procesu na pracovištích F5 a F6 [vlastní zpracování]	41
Obr. 4 Páskovací stroj MOSCA [41].....	42
Obr. 5 Válečkový dopravní Haberkorn [42].....	42
Obr. 6 Robot FANUC M-710iC/45M [43].....	43
Obr. 7 Štítkovačka Legi – air 6000 [44].....	43
Obr. 9 Optické závory, ukázka bezpečnostní aplikace [47]	55

Seznam tabulek

Tab. 1 Bodové hodnocení důležitosti parametrů	34
Tab. 2 Typovost výrobků na lince F5	37
Tab. 3 Typovost výrobků na lince F6	38
Tab. 4 Průměrně naměřené časy jednotlivých úkonů [40]	39
Tab. 5 Materiálové a pořizovací náklady [55]	44
Tab. 6 Náklady na práci spojenou se zprovozněním [55]	44
Tab. 7 Roční náklady na údržbu linky	45
Tab. 8 Celkový elektrický výkon pracoviště F5	46
Tab. 9 Roční náklady na provoz linky F5	48
Tab. 10 Celkový elektrický výkon pracoviště F6	49
Tab. 11 Roční náklady na provoz linky F6	50
Tab. 12 Časový snímek pracoviště F5 po robotizaci	52
Tab. 13 Časový snímek pracoviště F6 po robotizaci	53
Tab. 14 Bodová stupnice pro hodnocení důležitosti parametrů	56
Tab. 15 Váhy jednotlivých parametrů pracoviště	56
Tab. 16 Bodové hodnocení velikosti investice	57
Tab. 17 Bodové hodnocení návratnosti investice	59
Tab. 18 Bodové hodnocení zhotovitelnosti	60
Tab. 19 Bodové hodnocení bezpečnosti	61
Tab. 20 Bodové hodnocení ročních nákladů na provoz	62
Tab. 16 Bodové hodnocení taktu pracoviště	63
Tab. 21 Hodnocení variant pracoviště	64

Úvod do řešené problematiky

Tato práce se zabývá technicko–ekonomickým zhodnocením robotizací pracoviště. Robotizace je v současnosti velkým tématem. Robotizace je úzce spjata s termínem průmysl 4.0, který vyjadřuje vizi budoucího rozvoje technologií. Robotizace hraje v průmyslu 4.0 hlavní roli, rozdílem oproti robotizaci v minulosti je, že díky rozvoji elektroniky a komunikačních technologií vzniká koncept chytré továrny, ve které spolu stroje komunikují, sdílí data a upravují výrobu v reálném čase. Část těchto procesů probíhá zatím pouze v laboratořích, ale i přesto už dnes lze na dálku přes internet programovat jednotlivé roboty, číst data a upravovat výrobu. Problematice průmyslu 4.0, jeho zavedením do praxe, jeho dílčích částí a rolí robotů se zabývá *kapitola 1: Průmysl 4.0*

Díky tomu, že robotizace obnáší řadu výhod, mezi které patří např. opakovatelnost, přesnost a rychlost. Stala se robotizace velmi žádaným inovačním řešením pro řadu firem. Postupem času vznikaly různé druhy průmyslových robotů. Každý druh robota má své specifika, pomocí kterých je volena jeho vhodnost pro plnění dané operace. Vlastnostem jednotlivých druhů průmyslových robotů se věnuje *kapitola 2: Robotika*. V kapitole jsou rovněž popsány robotické pracoviště.

Pro posouzení robotizace pracoviště je nutné stanovit řadu parametrů, a to jak z pohledu technického, tak i pohledu ekonomického. Protože každé pracoviště je různé je stanoven univerzální seznam, který je vhodný pro většinu robotických pracovišť. Spolu s parametry se v kapitole 3 *Hodnocení robotizace pracoviště* seznámíme s metodou hodnocení robotického pracoviště.

Druhá polovina práce je věnována praktické části, ta má za úkol popis současného stavu, stavu po robotizaci a zhodnocení robotizace daného pracoviště. Prvnímu úkolu se věnuje kapitola 4 *Případová studie robotizace pracoviště ve společnosti DAIKIN*, v té je po seznámení se se společností a současném stavu popsána robotizace pracoviště vycházející ze studentské projektu. Robotizace v této práci byla na základě odborné konzulty s Ing. Michaelem Froněkem ze společnosti FANUC pozměněna. Oproti původnímu návrhu byl změněn typ robota na konvenčního. Kapitola se dále dělí dle pohledu na robotizaci na technickou část a ekonomickou. Technická část se věnuje výrobnímu taktu linky, rozdělení pracovních úkolů po robotizaci, bezpečnosti a dalším technickým aspektům. Na druhé straně ekonomická část popisuje velikost počáteční investice, náklady na provoz a např. návratnost investice.

Závěrem práce (*kapitola 5 Technickoekonomické zhodnocení*) je sestavení hodnotící matice z jednotlivých parametrů technického i ekonomického spektra. Pro hodnocení byli vybrány parametry reflektující požadavky společnosti a popisující v co nejobjektivnější míře pracoviště. Parametry jsou ohodnoceny vahou dle jejich významu. V hodnocení stojí proti sobě varianta robotizace s kolaborativním robotem, varianta robotizace s konvenčním robotem a původní varianta pracoviště. Parametry jednotlivých variant jsou bodově ohodnoceny dle toho, jestli splňují zadaná kritéria a podle jejich hodnoty. Výsledkem je hodnotící matice složená právě z těchto bodů, z této matice je poté možno získat hodnocení jednotlivých variant.

1 Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 je tedy vizí, která spojuje všechny části výroby dohromady, umožňuje jejich řízení v reálném čase a celkové zdokonalení výrobního procesu. Část technologií je teprve ve vývoji, avšak postupná implementace už započala. Jelikož průmysl 4.0 spojuje řadu nejnovějších technologií, které jsou drahé a náročné na uvedení do provozu. Je implementace do provozu mnohdy finančně náročná.

Velkou roli hraje komunikace, která propojuje jednotlivé segmenty výroby. Každý stroj je v průmyslu 4.0 zapojen do komunikace a sběru dat. Data jsou následně zpracována v cloudu a vyhodnocena.

Průmysl 4.0 představuje reformu i pro zbylý průmysl, počítá se zavedením automatizace procesů jako jsou např. vyplňování formulářů a další rutinní činnosti. [1]

1.1 Implementace

Implementace robotů s sebou nese změnu pracovního trhu, mnoho pracovních míst změní svoji podobu, popřípadě zaniknou. Předpokládané procento ohrožených pracovních míst pro jednotlivé sektory je na Obr. 1. Vodorovná osa značí procento ohrožených pozic v daném sektoru a svislá osa obsahuje jednotlivé segmenty pracovních pozic. Ohrožení se týká především pracovních míst, na kterých je vykonávána rutinní práce.

Nástup průmyslu 4.0 je na grafu rozdělen do tří etap [2]:

- **algoritmická** (oranžová) – automatická analýza dat, digitálních úkolů
- **augmentativní** (okrová) – automatické provádění opakujících se úkolů, rozvoj dronů, robotů ve skladech, semi-autonomních vozidel.
- **autonomní vlna** (bordová) – analýza dat z různých zdrojů, vyhodnocení dat, fyzická akce dle vyhodnocených dat bez nutného zásahu člověka např. autonomní vozidla.



Obr. 1 Ohrožená pracovní místa automatizací [2]

Pro správnou implementaci je nutné připravit lidi na tento pokrok, umožnit jim zlepšit své dovednosti a znalosti potřebné pro nové pracovní pozice. Současně by byla potřeba reforma systému vzdělávání, tak aby více odpovídala novým požadavkům. [3]

1.2 Komunikace

Důležitou roli Průmyslu 4.0 hraje komunikace. Vize průmyslu 4.0 je, že všechna zařízení budou propojena a budou spolu komunikovat a na základě toho vznikne rozhodnutí výrobního programu o korekci výroby zcela autonomně. Tato myšlenka je označována jako kyber-fyzický systém – CPS (Cyber physical systém).

Komunikace probíhající mezi stroji bez nutné interakce člověka se označuje jako *M2M* (v překladu *stroj stroji* z angl. *machine to machine*). Tato komunikace je hlavním hybatelem průmyslu 4.0, umožňuje totiž sběr dat z celého výrobního systém.

Problémem komunikace jsou vytvořená data, těch je velké množství a můžou mít různou podobu (video, analogový signál, digitální). Tato problematika je označována jako *Big Data* (překlad: *velká data*). Koncept *Big Data* je sběr, zpracování a vyhodnocení velkého množství různorodých dat v reálném čase.

1.3 Chytré továrny

Chytré továrny tvoří srdce Průmyslu 4.0. Jsou tvořeny výrobními stroji, jež jsou připojeny k datové síti, ve které probíhá inteligentní komunikace mezi všemi částmi výrobního procesu. Díky tomu je možno dosáhnout automatické koordinace výroby dle aktuálních dat.

Jak můžeme vidět na Obr. 2, celá výroba je propojena. Základ tvoří roboti, kteří zaznamenávají data z výroby pomocí senzorů. Data následně putují pomocí internetu (komunikace *M2M*) na server, kde jsou zpracována pomocí *Big data*. Z vyhodnocených dat dochází ke konfiguraci výroby v reálném čase. [3]



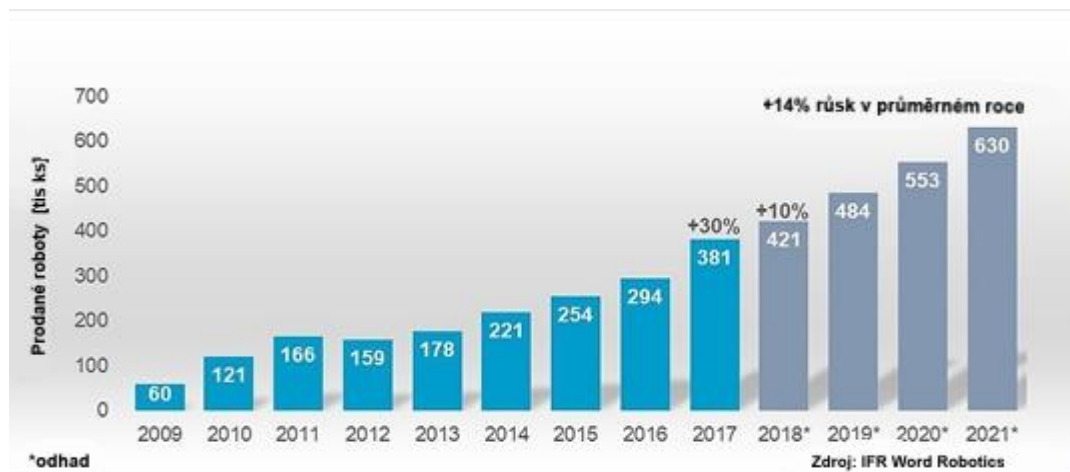
Obr. 2 Smart factory – znázornění propojení jednotlivých prvků [24]

1.4 Robotizace a průmysl 4.0

Roboti existovali již před vznikem průmyslu 4.0, dříve však nebyli roboti tak konstrukčně dokonalí jako dnes. V současnosti je několik druhů robotů (důkladně probráno v kapitole 2.2 *Druhy robotů*). Robotizace spojená s průmyslem 4.0 přináší novinku, kterou je kolaborativní robot. Díky kolaborativnímu robotovi a jeho symbióze s člověkem, je možné pokrýt i dosud nevhodné úkoly pro robotizaci.

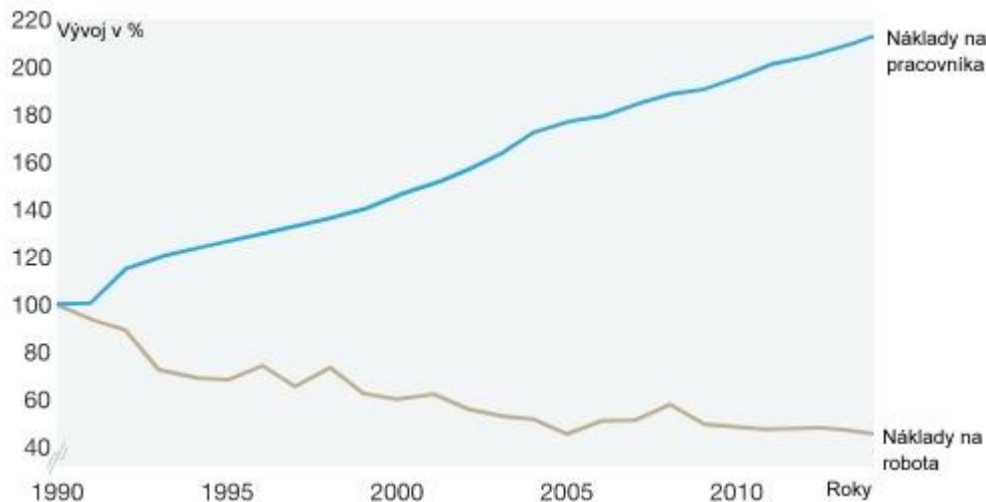
1.4.1 Rozvoj robotizace

Prodeje robotů každoročně stoupají a odhaduje se, že tento trend bude pokračovat i nadále (dle IFR je odhad 14% růst každý rok). Na *Obr. 3* je graf celosvětového prodeje robotů, z něhož je jasně patrný každoroční růst prodejů robotů. Svislá osa označuje prodeje a osa vodorovná obsahuje jednotlivé roky. Modrými sloupci jsou znázorněny záznamy z minulých let a modrošedou barvou jsou znázorněny odhady prodejů v následujících letech.



Obr. 3 Graf celosvětového prodeje robotů (data z roku 2018) [25]

Rozvoj robotizace je dán klesající cenou robotů, potažmo automatizace, a naopak rostoucí cenou pracovní síly. Tento jev ilustruje graf na *Obr. 4*. Graf porovnává procentuální vývoj nákladů na pořízení robota s náklady na zaměstnání člověka. Rozdíl mezi náklady na pořízení robota a náklady na plat zaměstnance je velký. Rozdíl je velký z toho důvodu, že výroba robotů je dnes založena na bázi, kde robot vyrábí robota a také z důvodu toho, že graf je vytvořen z dat nasbíraných v USA, kde je pracovní síla velmi drahá (v USA byla dle OECD v roce 2013 nejvyšší průměrná mzda na světě). [4]

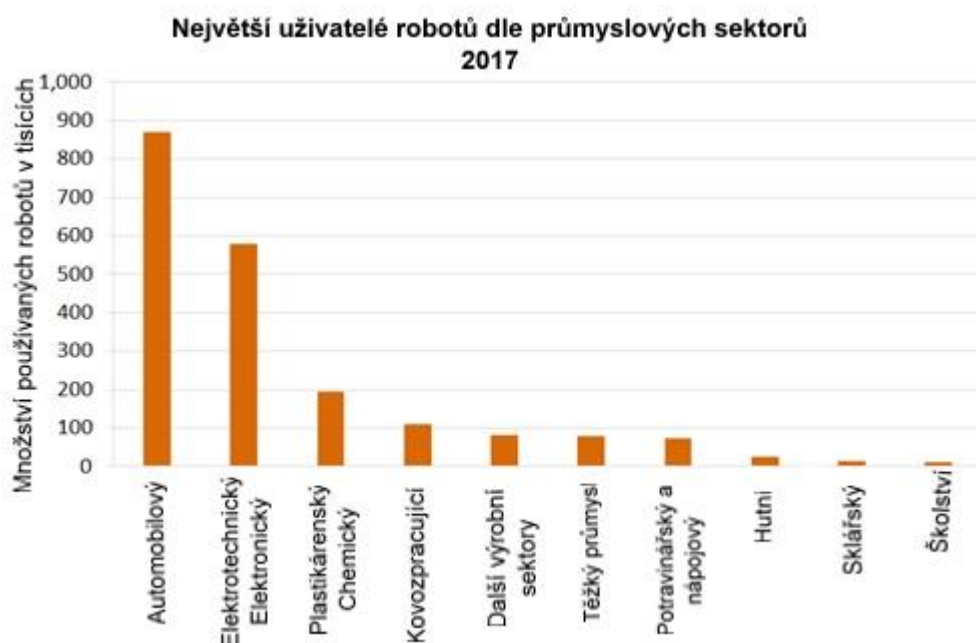


Obr. 4 Graf porovnávající náklady na nákup robota a náklady na zaměstnance [26]

1.4.2 Odvětví průmyslu s největším počtem robotů

Spolu s vývojem a zdokonalením robotů se rozšiřuje také možnost jejich aplikací. V současnosti proto najdeme zastoupení robotů napříč celým průmyslem. Roboti se dokonce objevují i mimo výrobní sektor, můžeme tedy potkat např. robota baristu.

Na Obr. 5 je graf zastoupení robotů v jednotlivých segmentech průmyslu. Osa „Y“ označuje počty robotů v jednotlivých sektorech, které jsou vyneseny na ose „X“. Z grafu je patrné, že tradičně největší zastoupení robotů je v automobilovém průmyslu. Další průmyslové odvětví jsou elektrotechnické, plastikářské a kovo–zpracovatelské. Velké zastoupení v automobilovém průmyslu je dáno velkým počtem vyrobených kusů v sérii, rychlostí výroby a požadavkem na kvalitu výsledného produktu.



Obr. 5 Zastoupení robotů v průmyslových odvětvích v roce 2017 dle IFR [27]

V následujících letech se očekává rozšíření robotů zejména v elektrotechnickém průmyslu. Očekávané zvýšení počtu robotů v elektrotechnickém průmyslu je dáno zvýšenou poptávkou po elektronických komponentech ze strany automobilového průmyslu, kde v současné době dochází k přechodu na elektrické pohony aut. Dalším důvodem je celkové zvyšující se množství elektroniky v našem okolí.

1.4.3 Aplikace robotů

Aplikace robotů je velmi různorodá. V dnešní době můžeme použít roboty téměř na cokoliv, v praxi se však používají z velké části hlavně pro určité výrobní úkony. V některých aplikacích totiž buď není robot schopen daný úkol plnit protože je limitován technicky, nebo se aplikace robota nevyplatí. Protože automotive je odvětví s největším počtem robotů, bude provedena ukázka aplikací právě z tohoto sektoru.

Nejčastější úkoly v oblasti automotive, které roboti plní [5]:

- **Svařování** – každé auto vyžaduje velké množství svarů, robot všechny dokáže provést za zlomek času oproti člověku
- **Montáž** – roboti se využívají např. pro montáž kol, předního skla a dalších těžkých částí vozu, kde se využívá opakovatelnosti cyklu i s těžkými břemeny
- **Lakování** – v automotive je potřeba lakovat velké plochy, díky robotu je možné tyto plochy nalakovat přesně a se stejnou vrstvou pro jednotlivé kusy.
- **Odstranění materiálu** – ořezání vtoků z plastových dílů, ořez kontury výlisku Robotizace přináší výhodu přesnosti, díky tomu je zvýšena kvalita ořezaných ploch.
- **Obsluha výrobního stroje** – vyndávání a zandávání dílů do CNC obráběcích center, vyndávání výlisků z lisu nebo vyndávání odlitků. Díky své tuhosti a nosnosti lze vyndávat i těžké díly, které můžou být horké a toxické.

V současnosti se roboti začínají aplikovat i v kooperaci s člověkem (detailně rozvedeno v kapitole Kolaborativní roboti – koboti). Zde se člověk a robot navzájem doplňují, kobot např. vychystává pro člověka díly na pozice. Tímto spojením lze pokrýt i ta místa, kam by nebylo vhodné aplikovat jiné roboty.

2 Robotika

Robotika hraje v současném průmyslu velkou roli, stojí za zkvalitněním, zefektivněním a zrychlením výroby. Co je to ale robotika? Pro objasnění je zde definice:

Robotika (McKerrow, 1986) je disciplína zahrnující:

1. **návrh, výrobu, řízení a programování robotů;**
2. **použití robotů pro řešení úloh;**
3. **zkoumání řídicích procesů, senzorů, akčních členů a algoritmů u lidí, zvířat a strojů;**
4. **použití výše uvedeného pro návrh a použití robotů.**

Postupem času byli vyvinuti různí roboti, kromě výrobních existují i roboti, kteří mají lidem sloužit nebo plnit jiné úkoly. Definice pojmu robot: Robot (McKerrow, 1986) Robot je stroj, který může být naprogramován k vykonávání různých činností.

V této kapitole budou probráni průmyslový roboti, jejich rozdělení, aplikace a programování.

2.1 Technické parametry robotů

- **Morfologie robotů** – konstrukce robota, jeho kinematická struktura, možnost pojezdu (připojené pojezdové ústrojí, nebo mobilní robot), druh efektoru robota.
- **Počet stupňů volnosti** – počet nezávislých proměnných nutných pro jednoznačné určení polohy bodu v prostoru, ovlivňuje manipulační schopnosti robota.
- **Vlastní velikost a hmotnost** – je dána konstrukcí robota, materiálem a požadovaným využitím (velikost, hmotnost břemen a efektoru)
- **Velikost obsluhovaného prostoru** – dosah robota je dán velikostí vlastní konstrukce a kinematickou strukturou
- **Užitečné zatížení** – hmotnost břemene je jeden z klíčových parametrů robota, do hmotnosti břemene je většinou započtena i hmotnost efektoru
- **Dosahovaná přesnost** – důležitý údaj pro zaručení kvality výroby, přesnost se mění v závislosti na vzdálenosti bodu od počátku, hmotnosti břemene, tuhosti a kinematické konstrukce, přesnost je definována normou ČSN ISO 9283, každá osa vnáší do systému chybu, proto je chyba různá pro každý souřadnicový systém
- **Rychlost pohybu** – rychlost se odvíjí od zatížení robota, požadované přesnosti a závisí na použitém pohonu
- **Způsob pohonu** – pneumatické, elektrické, hydraulické a kombinované
- **Způsob odměřování a druh servopohonu** – ovlivňuje přesnost a rychlost pohybu robota
- **Způsob a rozsah vnímání** – závisí na osazených senzorech, dělí se na kontaktní a bezkontaktní
- **Způsob řízení a komunikace s okolím** – robot může být řízen bodově (na trajektorii nezáleží) nebo dráhově, programování se dělí na zprostředkované (ručně nastavení bodů), bezprostřední (přímé vedení robota po dráze) a pomocí loutky
- **Autonomnost robota** – schopnost rozhodování na základě přijatých dat

2.2 Druhy robotů

Robot je dnes v normě ISO 8373 definován jako: „automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.“ [6]

Robot tedy není pouze jeden, ale existuje mnoho druhů robotů např. androidi, kyborgové, průmysloví roboti, kuchyňští roboti atd. Tato práce se však zaměřuje pouze na průmyslové roboty.

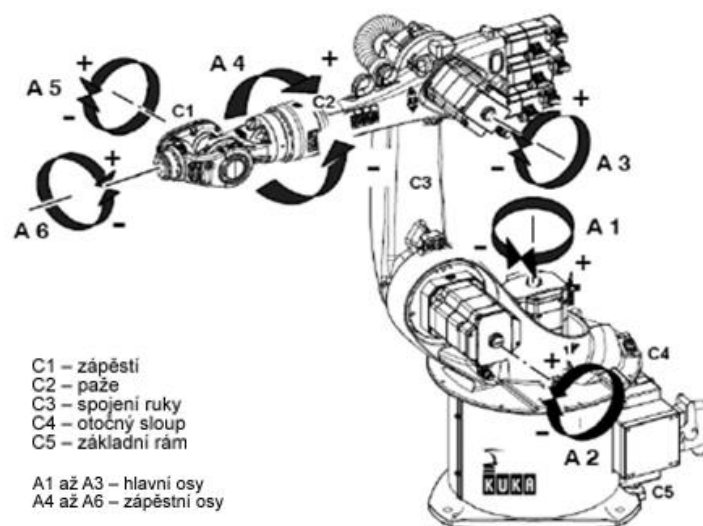
Dělení průmyslových robotů [7]:

- **Kloubový robot**
- **SCARA**
- **Delta robot**
- **Kartézský robot**
- **Kolaborativní robot**

V následujících kapitolách budou jednotlivé typy robotů, které se používají v průmyslu, důkladně rozebrány.

2.2.1 Kloubový robot

Kloubový robot je pravděpodobně nejznámější typ robota. Ten se dále rozděluje dle počtu kloubů neboli os rotace, ty jsou znázorněny na Obr. 6. Nejrozšířenějším je 6 – osý robot, je ale možné narazit i na 4 nebo 7 – osé. Díky flexibilitě, velkému dosahu a obratnosti, je robot schopen zvládat řadu aplikací mezi něž patří: přemísťování předmětů, obsluha zařízení,



Obr. 6 Znázornění os 6 - osého kloubového robota [28]

skládání součástí, pájení, balení, kontrola nebo odstranění nežádoucího materiálu.

Mezi nevýhody tohoto typu se řadí složitější aplikace, vyšší pořizovací náklady a v neposlední řadě je tento typ robota díky své složitější konstrukci a kinematice pomalejší než např. SCARA.

2.2.2 SCARA

Selective Compliance Articulated Robot Arm (SCARA) v překladu: „selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno“ jsou roboti, kteří mají jednoduchou konstrukci a zpravidla pracují velmi rychle. Tento typ robotů je však omezen v možnostech aplikace díky své konstrukci, která se skládá z několika pohybujících se ramen v jedné rovině. SCARA se využívá pro vysokorychlostní montáž a přemístění součástek, které často vyžadují jemné zacházení viz Obr. 7.



Obr. 7 Aplikace robota SCARA – vysokorychlostní pick and place úloha [29]

Na obrázku je vidět aplikace pro vysokorychlostní *pick and place* (volný překlad: „vezmi a polož“), robot vybírá z vibračního podavače díly a zakládá je. Nevyžadují velký pracovní prostor a jsou díky své jednoduché konstrukci a menším rozměrům také cenově dostupnější.

Největší nevýhodou robotů SCARA je pravděpodobně možnost práce pouze v jedné rovině. Nehodí se příliš pro zajíždění/vybírání zúžených míst nebo k pohybu kolem překážky. Toto omezení pramení z podstaty jejich konstrukce.

2.2.3 Delta robot

Delta roboti jsou někdy označováni jako „Spider.“ Toto označení nesou, protože jejich konstrukce připomíná tvarem pavouka (Obr. 8). Robot je složen z několika ramen (nejčastěji ze tří, čtyř nebo šesti), která jsou spojena křížovým kloubem na jedné základně. Ramena jsou tvořena paralelogramy, jež vytváří orientaci efektoru. Pohony ramen robota jsou na základnách. Ramena mohou být díky tomu méně robustní a vyrobena z lehkých slitin nebo z kompozitu.

Předností tohoto robota je rychlost a také přesnost. Využívá se tam, kde je třeba rychlého přesunu drobných a lehkých částí, nejčastěji tedy při balení nebo kompletaci. Z důvodu odlehčené konstrukce ta je zobrazena na se příliš nehodí pro manipulaci větších břemen.



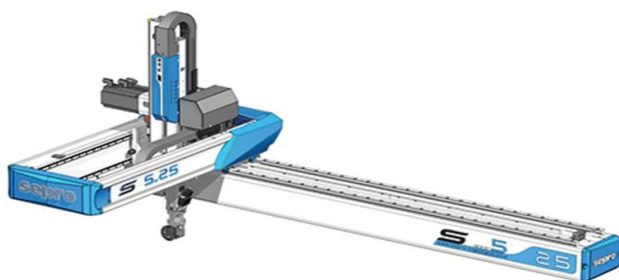
Obr. 8 Delta robot společnosti ABB [30]

2.2.4 Kartézský robot

Kartézský robot neboli jinak řečeno tří-osý manipulátor, je nejjednodušším typem robota. Je tvořen osami, po kterých se pohybuje rameno. Výhodou této konstrukce je větší tuhost a pevnost.

Aplikace těchto robotů je při manipulování s těžšími objekty, které mohou být větších rozměrů. Sofistikovaná verze manipulátorů, je využívána pro vyndávání dílů ze vstřikolisů. Vysokorychlostní manipulátor pro vyndávání dílů ze vstřikolisů je na Obr. 9.

Nevýhoda v tomto řešení je menší obratnost robota. Je ale možné dosáhnout poměrně vysokých rychlostí [8].



Obr. 9 Kartézský robot pro aplikaci v plastikářském průmyslu [31]

2.2.5 Kolaborativní robot – kobot

Spolupracující neboli kolaborativní robot (z angl. Collaborative robot) je navržen tak, aby spolupracoval s lidským protějškem. Jejich konstrukce je lehká a kompaktní natolik, aby bylo možné robota snadno přemístit na jiné pracoviště, kde bude po přeprogramování plnit další funkci (viz. Obr. 10). Kolaborativní roboti se oproti těm běžným liší v konstrukci, která je uzpůsobena výskytu lidí v pracovním prostoru stroje. Kobot je adaptivní, což znamená, že se hodí i pro aplikace, které jsou krátkodobější (např. v horizontu 3-4 měsíců). [9]



Obr. 10 Kolaborativní robot KUKA [32]

Kobot se často využívá jako pomocník, který buďto zakládá díly, které vyžadují vysokou přesnost opakovatelnosti (ta může být např. 0,03 mm – Universal Robot UR5e), nebo pokud je třeba opakovaně přemísťovat břemena, která by člověk těžko/pomalou přemísťoval anebo by mu mohla způsobit tzv. nemoc z povolání

Konstrukce robota se odvíjí od podstaty Kobota a tou je práce v prostředí s člověkem. Koboti jsou vyrobeni tak, aby nezpůsobili zranění člověku – jejich konstrukce je pokryta gumou nebo měkkým materiálem. Zároveň jsou také eliminovány střížné hrany a ostré části. Základní myšlenkou konstrukce je kompaktní velikost, umožňující snadné přemístění robota. Proto se většinou jejich zatížení pohybuje do 15 kg. Mimo konstrukci ramen robota se liší i jeho funkční zakončení (chapadlo), které musí splňovat bezpečnostní předpisy.

Mezi výhody kobotů patří menší pořizovací náklady, rychlá návratnost, snadná změna pracovního úkolu. Za nevýhody lze považovat pomalejší rychlost, omezenou nosnost a velká bezpečnostní omezení.

2.3 Koncový efektor

Dle normy ČSN ISO 8373: „zařízení specificky navržené pro připojení k mechanickému propojení, které umožní robotu provádět své úkoly“.

Efektor je důležitou součástí robota, díky které robot může provádět svůj úkol. Efektory dělíme na:

Úchopné (chapadlo, kleště aj.)

Technologické (svařovací hlava, stříkáci aj.)

Kombinované (uchopení a odstřížení vtoků výlisku atd.)

2.4 Programování robotů

Programování je pro zprovoznění robota zásadní. Pokud přirovnáme robota ke Golemovi, tak řídicí program bude šém. V dnešní době je programování daleko jednodušší než dříve. Dnes jsou standardem grafické programy pro tvorbu řídicího programu robota. Díky tomu je programování jednodušší a rychlejší. Tato možnost je důležitá pro aplikaci kobotů, kteří jsou často nasazováni i pro krátkodobější aplikace, kde je nutná rychlá tvorba programu.

Některé koboty je možné ručně navádět k jejich úkonu, který se tak robot „sám“ naučí a popřípadě jej dokáže i zdokonalit [10].

2.5 Robotická pracoviště

Pojmem robotické pracoviště rozumíme takové pracoviště, kde robot vykonává práci. Z toho vyplývá, že robotické pracoviště je velmi komplexní pojem, který může být např. jednoduché pracoviště paletizace stejně jako výrobní linka s několika roboty.

2.5.1 Rozdělení robotických pracovišť

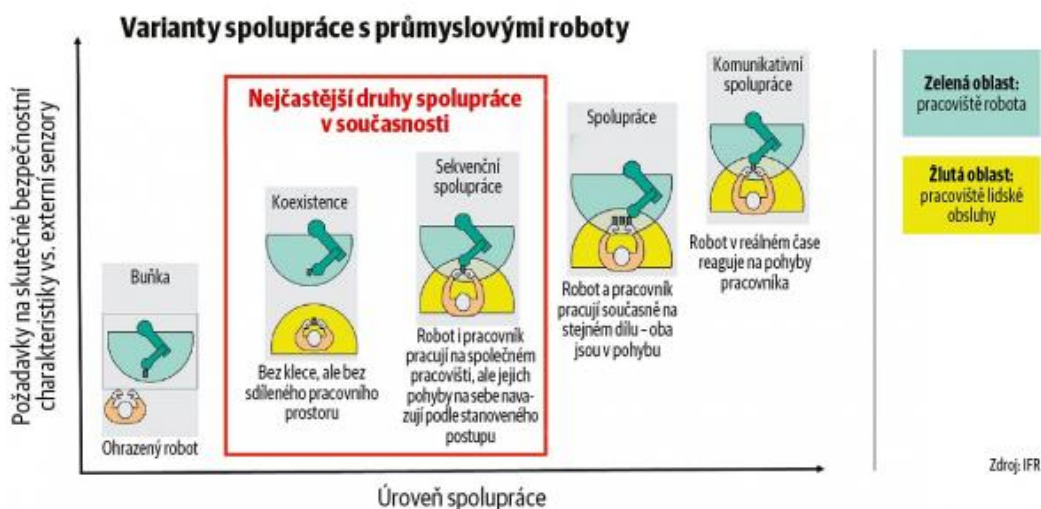
Robotické pracoviště můžeme rozdělit v základu podle přístupu člověka do pracovního prostoru robota na dvě kategorie:

- **Pracoviště bez přístupu člověka**
- **Pracoviště s přístupem člověkem**

Na Obr. 11 jsou ukázány různé možnosti spolupráce člověka a robota, které jsou:

- **Buňka** – robot izolován od člověka viz. kapitola: *Robotické pracoviště bez přístupu člověka*
- **Koexistence** – odstranění klece, kde ale jednotlivé pracovní prostory pracovníka a robota jsou oddělené např. optickou bránou
- **Sekvenční spolupráce** – robot a pracovník mají společný pracovní prostor, ale nedochází ke kontaktu, střídají se o pracovní prostor
- **Spolupráce** – pracovník i robot pracují současně na jednom dílu, každý provádí jiný úkol
- **Komunikativní spolupráce** – pracovník i robot pracují na jednom dílu, robot reaguje na pohyb pracovníka v reálném čase

Z obrázku lze vyčíst, že čím je spolupráce mezi člověkem a robotem komplexnější, tím je kladen větší nárok na bezpečnost prvky na pracovišti.



Obr. 11 Možnosti spolupráce robota s člověkem [12]

Kromě hlediska zapojení člověka je dále robotická pracoviště možné dělit podle počtu robotů na jednom pracovišti:

- **Pracoviště s jedním robotem**
- **Pracoviště s více roboty**

Každý druh pracoviště má svá konkrétní specifika a mnoho podob provedení. V praxi máme mnohdy kombinaci jednotlivých typů. Pracoviště jsou také často osazena postupně na výrobním pásu, kde po sobě následuje vícero pracovišť s konkrétním úkolem např. výrobní linka automobilu.

a) Robotické pracoviště bez přístupu člověka

Tento typ je v současnosti nejběžnější, asi 95 % pracovišť je koncipována tímto způsobem [11]. Historicky je nejstarší a jednodušší, protože jeho koncepce neřeší otázku bezpečnosti. Robot je totiž uzavřen v „cele“ (bezpečnostní bariéra – plot, plexisklo atd.)

Robotické pracoviště bez přístupu člověka může obsahovat více robotů, nebo jen jednoho, jak můžeme vidět na *Obr. 12*. Na obrázku provádí robot paletizaci balíků, balíky přijíždí na pásu k robotovi, ten dále posílá již vyskládanou paletu.



Obr. 12 Robotické pracoviště paletizace [33]

Výhodou tohoto provedení je velká rychlost robotů uvnitř pracoviště, možnost zapojení ve špatných pracovních podmínkách (vyndávání dílů z pece, svařování, lakování atd.) a také velmi dobrá možnost vytvoření výrobní linky s vícero roboty.

b) Robotické pracoviště s přístupem člověka

Robotické pracoviště s přístupem člověka je v současnosti rozšiřující se trend, protože dovoluje zapojit spolupráci člověka a robota. Tato spolupráce je však vykoupena nutností zvýšené bezpečnosti práce viz *kapitola Bezpečnost robotického pracoviště*.

Na *Obr. 13* je vyobrazeno robotické pracoviště s jedním kolaborativním robotem a obsluhou, která se pohybuje v pracovním prostoru robota. Takto může být zapojeno i více robotů za sebou v lince. Výhodou kolaborativních pracovišť je kombinace člověka a robota, protože jak robot, tak člověk mají své slabiny. Spojením robota a člověka tedy zlepšíme tyto jednotlivé nevýhody samostatného zapojení robota nebo člověka. Oproti pracovištím, kde člověk nezasahuje do pracovního prostoru robota je rychlost výroby nižší. [12]



Obr. 13 Pracoviště s kolaborativním robotem [34]

2.5.2 Bezpečnost robotického pracoviště

Bezpečnost práce je zásadní hledisko výroby. Je tedy nutné její zohlednění i při návrhu robotického pracoviště. Z Obr. 11 Možnosti spolupráce kobota s člověkem je patrné, že požadavky na bezpečnost se odvíjejí od rozsahu kontaktu člověka a robota. Můžeme tedy rozdělit i bezpečnostní prvky chránící člověka dle aplikace:

- **Bezpečnostní prvky robotů bez přístupu člověka do pracovního prostoru**
- **Bezpečnostní prvky kolaborativních robotů**

Jednotlivé možnosti jsou popsány v následujících kapitolách.

a) Bezpečnostní prvky robotů bez přístupu člověka do pracovního prostoru

Robot je umístěn do ochranné buňky neboli cely. Do tohoto prostoru nemá obsluha přístup, pokud dojde k narušení tohoto prostoru člověkem, robot se zastaví. Cela musí být ohraničená tak, aby nemohlo dojít k úrazu člověka. Příklad ohraničení robota je na Obr. 12 Robotické pracoviště paletizace. Místa, kde dochází k příjmu dílů nebo jejich odchodu z cely musí být zabezpečená, tak aby řídicí program poznal případné narušení pracovního prostoru člověkem a zastavil robota.

b) Bezpečnostní prvky kolaborativních robotů

Bezpečnostní prvky kobotů jsou složitější, protože dochází k přímému kontaktu s člověkem a tomu je celková bezpečnost také uzpůsobena. Bezpečnostními prvky kobotů jsou [13]:

- **Konstrukce** – opatřená gumou, absorbující část energie při nárazu, absence ostrých hran
- **Čidla na přítomnost člověka v pracovní zóně robota**
- **Rychlost robota** – rychlost musí být uzpůsobena tak, aby stroj dokázal zastavit. Koboti často pracují ve vícero rychlostních režimech, dle toho, kde se obsluha robota zrovna nachází. Dokážou tedy zrychlit, pokud je člověk v bezpečné zóně, a naopak zpomalit na bezpečnou rychlost, když se člověk přiblíží do pracovní zóny kobota.

3 Hodnocení robotizace pracoviště

Robotické pracoviště je komplexní zařízení a pro jeho hodnocení je nutné prozkoumat obě jeho hlediska, a to technické a ekonomické. Pokud chceme co nejobektivněji zhodnotit robotizaci pracoviště je vhodné zkombinovat oba tyto pohledy v jednom hodnocení.

3.1 Technické zhodnocení pracoviště

- Z technického hlediska je robotické pracoviště relativně komplexní celek. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.5 *Robotická pracoviště* může být osazeno vícero roboty (kapitola 2.2 *Druhy robotů*), kteří mohou obsluhovat vícero periferních stanovišť. Je také možné, aby robot prováděl úkony různého druhu, v souhrnu tedy pojem robotické pracoviště zastává řadu technických hledisek, jednotlivá hlediska budou popsána v této kapitole.

3.1.1 Technické parametry robotického pracoviště

Technické parametry robotického pracoviště zahrnují řadu parametrů, které jsou se pro každé pracoviště liší. Jako souhrn pro většinu pracovišť můžeme určit následující univerzální parametry:

- **Pracovní úkol pracoviště** – operační, technologický a manipulační
- **Výrobní takt pracoviště** – interval mezi odvedením dvou po sobě jdoucích výrobků [36]
- **Jednouúčelové pracoviště/víceúčelové**
- **Počet operací na pracovišti**
- **Počet periferních stanovišť**
- **Nutné technologické přestávky** – např. výměna efektoru
- **Bezpečnostní rizika** – hluk, výpary, možná kolize s obsluhou, aj.
- **Plocha pracoviště** – zastavěná plocha robotického pracoviště
- **Údržba** – interval údržby, náročnost
- **Kvalita vyrobeného kusu** – odvíjí se od pracovního úkolu, přesnosti robota a rychlosti
- **Potřebný čas na přetypování** – pokud se mění výroba, čas potřebný pro přípravu na výrobu jiného typu součástí
- **Využití kapacity stroje** – využití robota a periferních stanovišť
- **Požadavky na připojení** – elektrické napětí, proud, stlačený vzduch, technické plyny aj.
- **Parametry vstupu materiálu/součástí** – parametry dopravníku, zásobníku, frekvence vstupu součástí
- **Parametry výstupu výrobku/součásti** – parametry dopravníku, rozměry bedny, palety aj.

3.1.2 Technické parametry robota

Parametry robota jsou popsány v kapitole 2.1 *Technické parametry robotů*. Parametry robota jsou důležité zejména z konstrukčního hlediska, avšak ovlivňují i celkovou koncepci pracoviště, cenu a v neposlední řadě i rychlost výrobního taktu.

3.1.3 Technické parametry výrobku

Pro správný návrh a provedení pracoviště je nutné znát detailní vlastnosti výrobku a aspekty pracovního procesu. Tyto aspekty také výrazně ovlivňují celkovou cenu robotizace pracoviště.

- **Materiál výrobku** – důležitý zejména pro návrh efektoru
- **Váha** – od váhy výrobku se odvíjí velikost/typ robota
- **Teplota výrobku** – ovlivňuje použité materiály efektoru
- **Velikost a tvar** – klíčové pro kvalitní uchopení a manipulaci
- **Požadovaná přesnost operace s výrobkem** – ovlivňuje konstrukci pracoviště včetně typu robota a výsledného programu, promítá se také do ceny celého pracoviště
- **Proměnlivost výrobku** – zdali je vždy stejný nebo se může měnit – vlivem teploty, v závislosti na předchozí operaci atd.
- **Typovost výrobku** – jeden typ/ více typů

3.2 Ekonomické zhodnocení pracoviště

Ekonomický pohled na robotizaci pracoviště zkoumá především ekonomickou vhodnost investice do robotizace. Bude řešena problematika pro jednotlivé pracoviště a budou zkoumány ekonomická hlediska (velikost investice, návratnost, vhodnost) robotizace.

Metod a postupů ekonomického hodnocení vhodnosti robotizace pracoviště existuje celá řada, v následujících kapitolách bude nastíněn teoretický základ k vybraným teoriím.

3.2.1 Investice

Pro úplnost je třeba zmínit co jsou to investice:

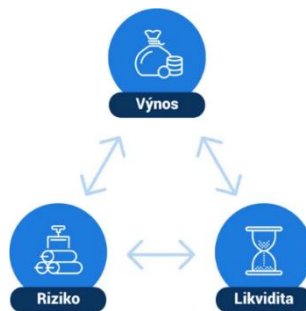
Scholleová (2009, s. 13) definuje investice v pojetí podniku jako majetek, který je místo ke spotřebě určen ke tvorbě dalšího majetku, který poté podnik prodává. V obecnějším pohledu popisuje investici jako obětované prostředky, které firmě v budoucnu přinesou užitek a finanční výnosy. O dlouhodobém procesu řízení investic se mluví jako o investičním controllingu. [14]

Investiční rozhodování

Rozhodnutí, zda je robotizace správnou volbou pro daný podnik lze vyvodit z řady faktorů, které volbu ovlivňují. Nejzákladnějšími faktory jsou:

- **výnosnost**
- **rizikovost**
- **doba splacení – likvidita**

Pro tyto tři faktory vzniklo označení: Magický investiční trojúhelník viz. Obr. 14 Magický trojúhelník investování .



Obr. 14 Magický trojúhelník investování [15]

Výnosnost je vztah mezi výnosy, respektive peněžními příjmy, které investice po dobu své životnosti přinese zpět do podniku a náklady, které obnáší její pořízení a provoz po dobu životnosti. Rizikovost je vyjádření nebezpečí, které hrozí, že nebude splněn objem plánovaných finančních výnosů. Likvidita je vyjádření rychlosti přeměny investice zpět do peněžní formy.

3.2.2 Ekonomické zhodnocení investic

Metody hodnocení jsou v zásadě dvojího druhu, podle hlavního hlediska, které zohledňují je dělíme na [15]:

- **statické metody** – nerespektují faktor času
- **dynamické metody** – respektují faktor času.

a) Statické metody hodnocení investic

Peněžní příjmy z investice se porovnávají s kapitálovými výdaji. Do propočtů není zahrnut faktor rizika a čas je zvažován pouze omezujícím způsobem. Využití těchto zhodnocení je omezené zejména na méně významné investice, které jsou krátkodobého charakteru a nejsou spojeny s rizikem. Základní statické metody jsou: [15]

- **Metoda míry výnosu investice**
- **Prostá doba návratnosti**

V případě této práce se bude pozornost upírat pouze na prostou dobu návratnosti, ta je detailně popsána níže:

Prostá doba návratnosti

Metoda doby návratnosti neboli také *payback period*, je často využívána – z velké části v bankovníctví. Vyjadřuje dobu návratu počáteční investice. Výnosem z investice je zisk po zdanění a odpisy. Pokud je vypočtená návratnost kratší než předem stanovená doba, je investice hodnocena kladně. Čím kratší je doba splácení, tím výhodnější je investice. Podmínkou je, že návratnost musí být nižší než životnost.

Návratnost je pospána rovnicí [15]:

$$I = \sum_{n=1}^a (Z_n + A_n) \quad (1)$$

I – kapitálový výdaj na investici

Z_n – roční výnos z investice po zdanění v dílčích letech životnosti

A_n – roční odpisy z investice v dílčích letech životnosti

n – představují dílčí roky životnosti

a – je doba splácení

Pro lepší názornost a jednodušší zápis, můžeme rovnici přepsat následovně (3):

$$I = \sum_{n=1}^a P_n \quad (2)$$

V této rovnici je P_n roční peněžní příjem z investice. Ostatní symboly jsou totožné jako v rovnici předchozí. [15]

b) Dynamické metody hodnocení investic

Na rozdíl od metod statických, metody dynamické zohledňují investice a jejich hlediska v čase, spolu s jejich riziky. Riziko je zde představeno úrokovou mírou, ta je ukazatelem požadované výnosnosti. Dynamické metody tedy pracují s primárním principem ekonomického rozhodování, který je: časová hodnota peněz. Jednotlivé dynamické metody:

- čistá současná hodnota
- vnitřní výnosové procento
- index ziskovosti
- diskontovaná doba návratnosti

3.2.3 Hodnocení investice do robotizace pracoviště.

Robotizace pracoviště obnáší řadu změn ať již z hlediska technického tak i ekonomického, např. po zavedení robota není nutné zaměstnávat pracovníka, je ale nutné dodávat elektrickou energii robotovi. Takovýchto aspektů je více, a právě těm ekonomickým spojeným s robotizací se věnuje tato kapitola

a) Velikost počáteční investice

Velikost počáteční investice v sobě zahrnuje často návrh zařízení, výrobu, zprovoznění, případné nutné úpravy pro připojení např k dopravníku aj.

b) Návratnost investice

Jako výnos bude považována úspora mezi měsíčními náklady na provoz jednotlivých pracovišť (s obsluhou/bez obsluhy). „Úspora z investice“ bude použita pro výpočet doby návratnosti investice. Míra investice je rovna ceně za zhotovení robotizace pracoviště.

c) Úspora na mzdových nákladech

Jedná se rozdíl mezi náklady na provoz pracoviště po robotizace a před robotizací.

d) Náklady na údržbu pracoviště

Popisují roční náklady na údržbu pracoviště, např. výměna opotřebených součástí, nutný servis.

e) Náklady výrobu jednoho kusu

Reprezentují vhodnost varianty, zobrazuje náklady na provoz a pořízení rozpočítané na jeden vyrobený kus

f) Roční provozní náklady na provoz

Zahrnují v sobě náklady na elektrickou energii, pokud je nutná obsluha, tak jsou zde započteny i náklady na pracovní sílu obsluhy atd.

3.3 Multikriteriální hodnocení robotizace pracoviště

Multikriteriální rozhodování představuje snahu o komplexní posouzení situace, která se projevuje tím, že volba neprobíhá na základě jednoho ukazatele, ale je sledováno kritérií více. Taková situace nastává běžně jak v osobním životě, tak v profesní oblasti [37].

Pracoviště je hodnoceno z hlediska:

- **Technického** – funkční vlastnosti projektu
- **Ekonomického** – náklady na zabezpečení funkcí

3.3.1 Metody stanovení multikriteriálního hodnocení

Většina technik pro hodnocení variant vyžaduje stanovení vah jednotlivých kritérií. Tyto váhy jsou číselným vyjádřením významnosti kritérií, a čím je aspekt důležitější, tím je jeho váha vyšší. Pro dosažení srovnatelnosti vah souboru kritérií je zpravidla třeba váhy znormovat tak, aby jejich součet byl roven 1, resp. 100. U některých metod stanovení vah jsou výsledkem již znormované hodnoty. [37]

Nejpoužívanější metodou je

- **Bodová stupnice**
Přiřazuje daným hodnotám parametru bodové ohodnocení, čím lepší výsledek tím vyšší bodové ohodnocení. Viz. kapitola 3.3.2 *Bodová stupnice*

Další často používané metody pro hodnocení variant:

- **Alokace 100 bodů**
Tzv. *Metfesselova alokace*, cílem je rozdělení 100 bodů mezi jednotlivá kritéria. Metoda je o něco komplikovanější v tom, že rozhodovatel musí dbát na to, aby mezi kritéria rozdělil přesně 100 bodů. [23]

▪ **Preferenční uspořádání**

Určení nejméně významného parametru, tomu je přiřazena 1, ostatní parametry ohodnoceny dle důležitosti.

3.3.2 Bodová stupnice

Ohodnocení ukazatelů dle důležitosti

Jednotlivé ukazatele/parametry jsou hodnoceny v závislosti na důležitosti vůči celku tedy čím vyšší číslice tím důležitější, příkladná tabulka je zobrazena v *Tab. 1 Bodové hodnocení důležitosti parametrů*.

Tab. 1 Bodové hodnocení důležitosti parametrů

Bodová hodnota	Důležitost
1	nedůležitý
3	málo důležitý
5	důležitý
7	více důležitý
9	velmi důležitý

Následně je pro každý ukazatel vypočtena váha dle vzorce:

$$V_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^k p_i} \tag{3}$$

p_i bodová hodnota přiřazená ukazateli i
 $i = 1, 2, \dots, p$ počet sledovaných ukazatelů

Určení hodnoty ukazatele

Zjednodušená varianta spočívá v tom, že u každého ukazatele najdeme objekt, u něhož příslušný ukazatel dosahuje maximální (je-li žádoucí růst tohoto ukazatele), nebo minimální (je-li žádoucí pokles) hodnoty. Tento objekt ohodnotíme 100 body, ostatní objekty dostanou body podle následujících vzorců: [38]

$$m_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{i \max}} \text{ pro maximalizaci;} \tag{4}$$

$$m_{ij} = \frac{x_{i \min}}{x_{ij}} \text{ pro minimalizaci} \tag{5}$$

kde x_{ji} je hodnota i -tého ukazatele j -tého objektu,

$i = 1, 2, \dots, p$ – počet sledovaných ukazatelů,

$j = 1, 2, \dots, n$ – počet objektů,

x_{\max} – nejvyšší hodnota i -tého ukazatele,

x_{\min} – nejnižší hodnota i -tého ukazatele,

m_{ij} – počet bodů připadající na j -tý objekt v i -tém ukazateli. [38]

Za základní metu je považována ta, která přiděluje body tak, že nejlepšímu objektu v daném ukazateli přiřadí 100 bodů. Ostatní hodnoty se určí lineární interpolací. Pro ukazatele, které je žádoucí maximalizovat platí: [38]

$$m_{ij} = \frac{m_{ij} - m_{i \max}}{m_{i \max} - m_{i \min}} \quad (6)$$

Pro ukazatele, které chceme minimalizovat, platí: [38]

$$m_{ij} = \frac{m_{i \max} - m_{ij}}{m_{i \max} - m_{i \min}} \quad (7)$$

Body pro každý objekt za všechny ukazatele sečteme. Pořadí objektu stanovíme podle součtu dosažených bodů, který je hodnotícím kritériem. Při různém počtu ukazatelů jednotlivých objektů vypočteme průměrnou hodnotu. Počet bodů říká, kolik procent z maximálního počtu bodů objekt získal. Lze srovnávat objekty i mezi sebou (podílem jejich bodů). [38]

4 Případová studie robotizace pracoviště ve společnosti DAIKIN¹

Případová studie vznikla jako návrh na zlepšení procesu paletizace ve společnosti Daikin. Studie se zabývá nahrazením pracovníků robotem, je provedena ve dvou variantách. Varianty se od sebe odlišují zejména druhem použitého robota (kolaborativní/konvenční).

4.1 O společnosti DAIKIN

Společnost Daikin je významným celosvětovým výrobcem klimatizačních jednotek. Plzeňská továrna Daikin Industries Czech Republic s.r.o. (DICz) byla založena v květnu 2003 a zároveň byly položeny základy výrobního areálu Daikin, situovaného v plzeňské industriální zóně Borská pole. Areál Daikin se tak se svým plánovaným a cíleným růstem stává jednou z hlavních dominant Borských polí. Výroba v plzeňské továrně DICz je zaměřena na klimatizační jednotky pro domácnosti.[39] Výrobní závod v Plzni je na *Obr. 15 Výrobní závod Daikin v Plzni [39]*.



Obr. 15 Výrobní závod Daikin v Plzni [39]

Ve výrobní pobočce v Plzni probíhá výroba na devíti výrobních linkách, z toho šest je vymezeno pro výrobu klimatizačních jednotek pro vnitřní prostory a tři linky vyrábí venkovní část klimatizační jednotky.

¹ Celým názvem: DAIKIN INDUSTRIES CZECH REPUBLIC s.r.o.

4.2 Popis současného stavu a řešeného problému

Předmětem případové studie jsou dvě výrobní linky F5 a F6 pro výrobu vícero typů klimatizačních jednotek. Paletizační pracoviště se nachází na konci těchto linek, kde jsou klimatizační jednotky baleny do krabic. Každou krabici je nutné na poloautomatickém páskovacím stroji zapáskovat. Na konci linky se krabice ručně krabice z dopravníku skládají na paletové vozíky, které odvázejí klimatizační jednotky do skladu.



Obr. 16 Ukázka krabic uložených na odkládacím místě

4.2.1 Linka F5

Na výrobní lince F5 je vyráběno 8 druhů klimatizačních jednotek s rozdílnými rozměry a váhou. Váha u stejných rozměrů balení se liší podle různých výkonových parametrů (rozdíl v hmotnostech tepelných výměníků). Jejich výpis je uveden v Tab. 2.

Tab. 2 Typovost výrobků na lince F5

Číslo klimatizační jednotky	Název	Rozměry [cm]	Váha [kg]
1	Slim Duct (R32)	92,2 x 76,8 x 26	24
2	Radiation FVX	103 x 31,4 x 76,1	27
3	Vertical duct	112,5 x 88,5 x 26,5	32
4	Slim Duct (R32)	132 x 76,8 x 26	31
5	Vertical duct	132,5 x 88,5 x 26,5	34
6	Vertical duct	132,5 x 88,5 x 26,5	37
7	Vertical duct	92,5 x 88,5 x 26,5	27,5
8	Vertical duct	92,5 x 88,5 x 26,5	27

Materiálem obalu je kartonová krabice, kterou skládá obsluha výrobní linky. Manipulace s krabicí probíhá za pokojové teploty. Ukázka zapáskovaných krabic, čekajících na paletizaci je na Obr. 16 Ukázka krabic uložených na odkládacím místě [40].

Na konci procesu jsou zabalené klimatizační jednotky naskládány na vozík. Klimatizační jednotky musí být, než dorazí do skladu, přetříděné podle druhu na celkem tři palety. Takto naskládány klimatizační jednotky jsou následně odbaveny pracovníkem do skladu hotových výrobků.

4.2.2 Linka F6

Na výrobní lince F6 jsou vyráběny 4 druhy klimatizačních jednotek také o rozdílné velikosti a váze. Různá váha je zapříčiněná stejně jako u výrobků na výrobní lince F5 rozdílem ve výkonových parametrech. Výpis jednotlivých výrobků je uveden níže v *Tab. 3 Typovost výrobků na lince F6*.

Tab. 3 Typovost výrobků na lince F6

Číslo klimatizační jednotky	Název	Rozměry [cm]	Váha [kg]
1	Sensing Cassette 2x2	68,6 x 59,7 x 28	17-22
2	Sensing Cassette 3x3	88,2 x 88,2 x 22	21-24
3	Sensing Cassette 3x3	88,2 x 88,2 x 26	26-27
4	Sensing Cassette 3x3	88,2 x 88,2 x 30	28-29

Materiálem obalu je kartonová krabice, kterou skládá obsluha výrobní linky. Manipulace s krabicí probíhá za pokojové teploty.

Na konci procesu jsou krabice na lince F6 poskládány na paletu vozíku AGV. Klimatizační jednotka č. 1 musí výt na samostatné paletě, jednotky 2 a 3 lze stohovat současně na jednu paletu. Palety jsou automaticky odváženy díky AGV.

4.2.3 Pracovní úkony na současném pracovišti

V současné době obsluhují konečný úsek výrobní linky tři pracovníci. Pracovníci pracují ve výrobním cyklu:

- přebrání hotové vyrobené klimatizační jednotky,
- sestrojení krabice pro zabalení klimatizační jednotky,
- zabalení klimatizační jednotky,
- nalepení štítků s informacemi o klimatizační jednotce na krabici,
- posun krabice po dopravníku k poloautomatickému páskovacímu stroji,
- zapáskování krabice,
- manipulace s krabicí na páskovacím stroji (některé klimatizační jednotky je nutné zapáskovat z více stran),
- posun krabice po dopravníku na odkládací místo,
- návrat zpět na začátek procesu k přebírání klimatizačních jednotek z výroby. [40]

Každých několik cyklů je nutné krabice ze zásobníku přeskládat na vozík/AGV pomocí pomocného ramene s přísavkami, které je obsluhováno jedním z pracovníků. Následně jsou jednotky odvezeny do skladu.

Současné komponenty linek F5 a F6

- poloautomatický páskovací stroj,
- dopravníky bez motorového pohonu,
- odkládací místo sestavené z dopravníků,
- rameno s přísavkami,
- vozík /AGV.

4.2.4 Časový snímek pracoviště

Takt linky F5 ve sledovaném úseku je 72 s. Takt linky F6 ve sledovaném úseku je 53 s. Časy pro jednotlivé operace byly změřeny 53krát a zaneseny do *Tab. 4*.

Tab. 4 Průměrně naměřené časy jednotlivých úkonů [40]

Úkony	Linka F5	Linka F6
Balení klimatizačních jednotek	35 s	20 s
Polepení krabice štítky a odbavení páskovacího stroje	12 s	12 s
Zapáskování na poloautomatickém páskovacím stroji	9 s	14 s
Odbavení zabalené krabice podle typu klimatizační jednotky	15 s	11 s
	$\sum F5 = 71 s$	$\sum F6 = 57 s$

Směna na obou linkách trvá celkem 430 minut = 25 800 s (počítáno bylo s 8hodinovou směnou s 30 minut pauzy na oběd a 2x10min přestávky). Z toho plyne maximální výrobní dávka pro linku F5 330 ks a na lince F6 450 ks.

4.3 Robotizace pracovišť na linkách F5 a F6

Pro řešenou problematiku byly v projektu sestaveny varianty řešení tak aby došlo k nahrazení pracovníků co nejefektivnějším způsobem. Projekt se věnoval pouze robotům kolaborativním, po zhodnocení všech aspektů a odborné konzultaci byla aplikace kobota shledána za nevhodnou. Důvod byl příliš velká hmotnost přepravovaného břemene (37 kg), ke které je nutné připočítat hmotnost přísavkového systému PIAB, který by byl osazen na robota jako efektor a zajišťoval tak „uchopení“ krabice. Pro takovou aplikaci by bylo nutné vyhledat specializovanou společnost zabývající se „heavy duty koboty“. Celé řešení by se prodražilo díky vyšší ceně samotného robota a také díky dalším extra výdajům v podobě programování robota od nestandardního výrobce a nutného odladění takto nestandardního řešení.

Z tohoto důvodu byl pro tuto aplikaci navrhnout robot M710iC/45M od společnosti FANUC. Oproti kobotu sčítá řadu výhod jako např: snadnější programování, schopnost přepravit těžší břemeno aj. mezi nevýhody patří nutné kompletní zabezpečení pracovního prostoru robota proti přítomnosti člověka.

4.3.1 Popis řešení

Varianta je řešena jako plně automatizované pracoviště s lineárním tokem materiálu a bez přístupu člověka do pracovního prostoru. Hlavním prvkem řešení je „víceúčelový robot se širokou obálkou“ M710iC/45M, ten umožňuje manipulaci těžší břemen na delší vzdálenost. Robot zajišťuje přesun krabic z dopravníku na palety tedy paletizační proces. Pro uchopení beden je použito efektoru PIAB s přísavkami.

Páskovačka je v tomto řešení automatická bez otáčení, to je realizováno na lince F6 na následujícím dopravníku, který je opatřen otočným mechanismem. Na doporučení odborného konzultanta byla na pracoviště přidána štítkovačka, která zabalenou krabici opatří příslušným štítkem.

Pracovní prostor robota je nutné zabezpečit, taky aby nemohlo dojít ke kolizi během pracovního cyklu. Řešením tedy je oplocení doplněné o optické brány v prostoru výměny palet a na vstupu krabic pojíždějících na válečkovém dopravníku.

Odbavení plných a přistavení prázdných palet je na lince F5 realizováno obsluhou a na lince F6 za pomoci AGV.

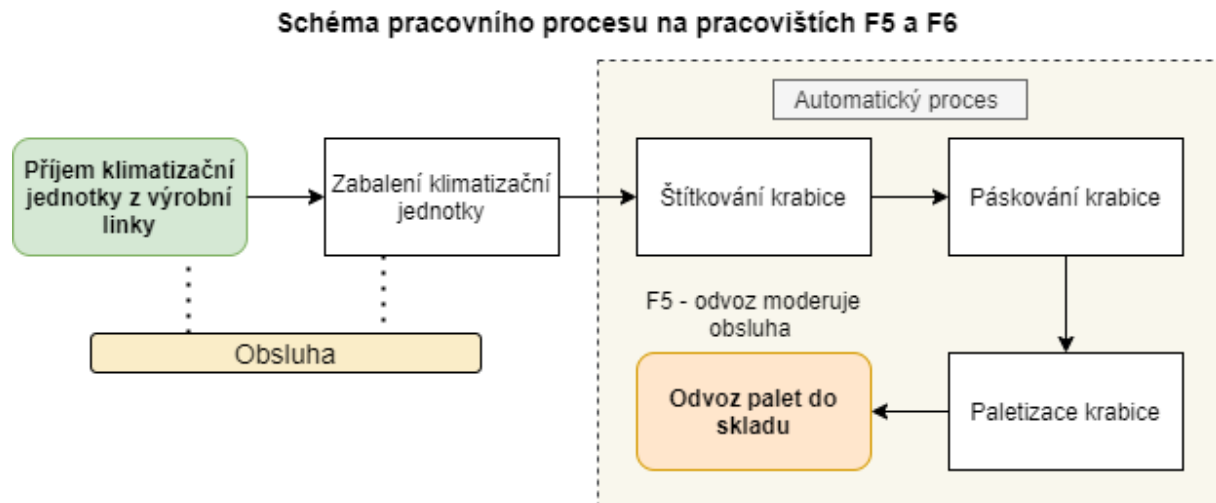
4.3.2 Popis pracovního procesu po robotizaci

Obsluha sestaví krabici, následně do ní vloží klimatizační jednotku a zabalí ji. Zabalená jednotka klimatizace je odeslána obsluhou na válečkový dopravník, zde je krabice označena příslušným štítkem (kód klimatizace určuje její páskování). Následně krabice putuje do páskovacího stroje. Pokud klimatizační jednotka vyžaduje oboustranné zapáskování (pouze linka F6), je krabice posunuta na následující válečkový dopravník. Zde se dojde k otočení o 90° a krabice je opět vrácena do páskovačky. Po zapáskování krabice pokračuje po dopravníku k robotu. Robot má na starost proces paletizace na přistavené vozíky (AGV pro F6 a paletový vozík pro F5). Na pracovišti F5 je parkování paletových vozíků v režii obsluhy, jejich poloha je tedy značně proměnlivá. Pro správnou funkci paletování je tedy třeba buďto zajistit aretaci vozíků před začátkem paletizace nebo opatřit robota kamerou, která by umožnila rozpoznání pozice palety.

Odvoz plných paletových vozíků je na lince F5 prováděn obsluhou balení. V momentě poslání poslední krabice obsluhou (poslední krabice, která se vejde na paletu) je obsluha vyzvána signálem k přesunu k paletizačnímu vozíku (obsluha má na přesun 72 s – aktuální takt linky). Po založení poslední krabice obsluha vyveze plnou paletu z pracovního prostoru robota a přistaví paletu novou. Následně odveze plnou paletu do skladu.

Na pracovišti F6 je odvoz realizován za pomoci AGV, klimatizační jednotky jsou skládány na dvě palety, každá paleta slouží pro uložení jednoho typu klimatizační jednotky. Po zaplnění vozíku je automaticky poslán signál AGV, který zajistí odvezení do skladu a návrat s prázdnou paletou.

Pracovní proces je znázorněn na *Obr. 17*.



Obr. 17 Schéma pracovního procesu na pracovištích F5 a F6 [vlastní zpracování]

4.3.3 Potřebné komponenty

V kapitole jsou vypsány jednotlivé komponenty potřebné pro realizaci pracoviště, včetně klíčových požadavků jako např. nosnost aj.

F5 – Potřebné komponenty [40]:

- Dopravník válečkový s pohonem – 2x
Požadavky: nosnost 37 kg +; šířka 850 mm +
- Robot pro paletizaci krabic
Požadavky: nosnost 37 kg +
- Automatický páskovací stroj
Požadavky: nosnost 37 kg+; šířka 850 mm+
- Štítkovačka
- Vozík s paletou – 5x
(AGV + 3x vozík; plocha na odkládání)

F6 – Potřebné komponenty [40]:

- Dopravník válečkový s pohonem – 2x, z toho jeden obsahující rotor
Požadavky: nosnost 29 kg+; šíře 882 mm+
- Robot pro paletizaci krabic
Požadavky: nosnost 29 kg+
- Automatický páskovací stroj
Požadavky: nosnost 29 kg+; šíře 882 mm+
- Štítkovačka
- AGV + 2x vozík

4.3.4 Navrhované komponenty

V projektu byly navrženy i hlavní komponenty pracoviště, ty jsou níže rozepsány. Změna oproti původní verzi je v typu robota, ostatní komponenty zůstávají stejné.

Páskovací stroj

MOSCA EVOLUTION SONIXS TR-6 PRO

- Plně automatická
- 35 úvazků/minuta
- Spotřeba el. energie: 0,3 kW
- Std. velikost 850x600 mm [41]



Obr. 18 Páskovací stroj MOSCA [41]

Dopravník válečkový

HABERKORN – přímo poháněný dopravník

- Délka 300–13 000 mm
- Šířka 200–1 000 mm
- Zatížení až 35 kg/m
- Rychlost 3–31 m/min
- Výkon motoru 0,12 – 0,37 kW
- Průměr válečků 50 mm [42]

Robot pro paletizaci

FANUC M-710iC/45M

- Počet os: 6
- Nosnost: 45 kg
- Dosah: 2606 mm
- Opakovatelnost: 0,06 mm
- Spotřeba el. energie: 2,5 kW [43]

Štítkovačka

WEBER Legi-air 6000

- Rozměr štítku v milimetrech:
50x40 – 120x200
- Rychlost tisku: 400 mm/s
- Rychlost polepu: max 40 etiket/min
- Spotřeba el. energie²: 0,2 kW [44]



Obr. 19 Válečkový dopravní Haberkorn [42]

² Odhad spotřeby elektrické energie podle obdobných zařízení.



Obr. 21 Štítkovačka Legi – air 6000 [44]



Obr. 20 Robot FANUC M-710iC/45M [43]

4.4 Ekonomická stránka robotizace

Robotizace pracoviště je finančně velmi náročný projekt proto je nutné před zadáním projektu ke zhotovení zvážit ekonomické hledisko. Důležitým údajem je, doba setrvání výroby tedy jak dlouho bude pokračovat současná výroba.

V této kapitole bude řešena často pouze problematika jedné z linek, protože jsou obě v mnoha směrech téměř identické. Zjednodušení plynoucí z použití pouze jedné z linek k výpočtu je zejména pro zachování přehlednosti a čitelnosti. Pojednáváno bude primárně o lince F5.

4.4.1 Velikost investice

Kapitola se zabývá velikostí investice při robotizaci pro jednotlivé pracoviště.

Ceník robotizace pracoviště

Díky odborné konzultaci s Ing. Michaelem Froňkem ze společnosti FANUC, která je lídrem ve výrobě robotů, byl sestaven následující orientační ceník robotizace pracoviště (tabulky *Tab. 5* a *Tab. 6*).

Náklady na materiál

Tab. 5 Materiálové a pořizovací náklady [55]

	Cena bez DPH v EUR	Cena bez DPH v Kč ³
Robot Fanuc M710iC/45M	43 500 €	1 140 570 Kč
Robot opce (Ethernet/IP, DCS)	2 105 €	55 193 Kč
Páskovačka	20 000 €	524 400 Kč
Aplikátor štítků		650 000 Kč
Válečkový dopravník s otočným mechanismem		200 000 Kč
Řízení pracoviště PLC Omron + HMI Omron + světelné závory		300 000 Kč
Další součásti (15% z ceny materiálu) čidla, senzory, bezp. kliky, apod.		430 524 Kč

Náklady na práci a zprovoznění

Tab. 6 Náklady na práci spojenou se zprovozněním [55]

	Počet hodin	Hodinová sazba	Celkem
Konstrukce	120	800	96 000 Kč
Elektro projekce	160	800	128 000 Kč
Mechanická práce včetně montáže na místě	280	600	168 000 Kč
Elektroinstalace	120	600	72 000 Kč
Programování robot + PLC	200	800	160 000 Kč

Pracoviště na lince F5

Linka F5 se oproti odhadnutému ceníku liší pouze v tom, že není nutné použít rotor na dopravníku. Varianta bude tedy levnější, místo částky 200 000 Kč za variantu dopravníku s rotorem, bude cena 150 000 Kč za válečkový dopravník.

Celková suma investice do robotizace pracoviště F5 je pro podnik 3 874 688 Kč.

Pracoviště na lince F6

Pracoviště F6 odpovídá odhadnutému schématu. Systém AGV je v případě této linky součástí již v současném řešení.

Celková investice pro robotizaci pracoviště F6 podnik činí 3 924 688 Kč.

³ Výpočet proveden pro měnový kurz € = 26,22 Kč

4.4.2 Náklady na údržbu

Náklady na údržbu strojů jsou odhadnuty z celkové pořizovací ceny pracoviště. V tomto případě byla na základě konzultace se zástupcem společnosti FANUC zvolena výše 1 % ročně z pořizovací ceny celého pracoviště (použita hodnota pro linku F6 - 3 924 688 Kč) tedy 39 246 Kč ročně (pro obě pracoviště je stejná z důvodu minimální odchylky v pořizovací ceně). Do této částky spadají nutné úkony sloužící k zajištění spolehlivého chodu výrobního pracoviště. Pro příklad lze zmínit promazání pístů, pojezdových drah aj.

Mimo údržbu samotného zařízení je třeba počítat i s nutnou údržbou řídicího systému pracoviště, pokud se bude jednat o externího pracovníka lze odhadem stanovit nákladnost takové údržby z hodinové sazby programátora. Z důvodu nepřetržité výroby a velkého množství vyrobených kusů je dobré provádět údržbu v kratších intervalech tedy každý roční kvartál. Údržbu softwaru je možné provádět za chodu linky bez nutnosti odstávky, nevzniknou tak výrobní ztráty.

Cena jedné softwarové údržby (8 hodin práce) je 10 000 Kč, cena je převzata z výsledků průzkumu uzavřených smluv [52]. Bude-li údržba probíhat standardně 4krát za rok vzniknou náklady ve výši 40 000 Kč (4krát osm hodin práce).

Tab. 7 Roční náklady na údržbu linky

Roční náklady na údržbu	Výše [Kč]
údržba strojů	39 246
údržba softwaru	40 000
\sum nákladů na údržbu	79 246 Kč

4.4.3 Náklady na provoz

Náklady na provoz lze vypočítat ze spotřeby elektrické energie, vycházející hodnotou je délka časového úseku, kdy daný stroj vykonává práci. Hodnota je však pouze orientační, protože se jedná o odhad. Jednotlivé stroje mohou v průběhu pracovního cyklu pracoviště vyčkávat (čekání na další operaci) a tím také dochází k spotřebě el. energie. Kromě samotných strojů je neustále v provozu řídicí systém pracoviště, kde také dochází ke spotřebě el. energie. Započtení těchto nenormovaných stavů bude provedeno procentuálním zvětšením celkové spotřeby o 30 %. Práce strojů je přímo závislá na pracovním čase obsluhy, proto je automatická část nečinná v době přestávek obsluhy.

Kromě automatizované části pracoviště je stále potřeba obsluhy pro sestavení krabic a zabalení klimatizací. Náklady na jejich plat je také nutné započítat do celkových nákladů na provoz.

Průměrná cena za 1 kWh el. energie včetně poplatků byla v roce 2020: 4,76 Kč [45].

Určení časového fondu výrobního zařízení [49]:

$$K_T = [(t_{dk} - t_{dn}) \cdot s \cdot t_h] - [(t_{do} + t_{dpr}) \cdot s \cdot t_h]; \quad (8)$$

t_{dk} – počet kalendářních dnů v roce,

t_{dn} – počet nepracovních dnů v roce,

t_{do} – počet pracovních dnů, ve kterých budou prováděny opravy,

t_{dpr} – počet dnů ostatních nezbytných přestávek,

s – průměrný počet směn v jednom pracovním dnu,

t_h - průměrný počet hodin v jedné směně.

Aplikace pro sledovanou společnost a rok 2021[48]:

$$t_{dk} = 365 \text{ dnů}$$

$$t_{dn} = 113 \text{ dnů}$$

$$t_{do} = 2 \text{ dny}$$

$$t_{dpr} = 2 + 10 = 12 \text{ dnů (2 dny neplánované odstávky, 10 dnů celozávodní dovolená)}$$

$$s = 3 \text{ směny}$$

$$t_h = 7,5 - 2 \cdot \frac{1}{6} = 7,1667 \text{ h (7,5 pracovní směna, 2 x 10 minut přestávka).}$$

$$K_T = [(365 - 113) \cdot 3 \cdot 7,1667] - [(2 + 12) \cdot 3 \cdot 7,1667] = 5117,0238 \cong 5117 \text{ h}$$

a) Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F5

Výpočet se skládá z ročních nákladů na obsluhu linky, ročních nákladů na elektrickou energii a nákladů na údržbu.

Celkový elektrický výkon pracoviště na lince F5

Tab. 8 Celkový elektrický výkon pracoviště F5

Stroj	Elektrický výkon [kW]	Doba činnosti v pracovním cyklu [s]	Doba činnost za 1 pracovní hodinu (při taktu 45 s) [h]	Elektrická práce za 1 pracovní hodinu (při taktu 45 s) [kWh]
Páskovací stroj	0,3	3	0,066	0,0198
Válečkový dopravník	0,12 – 0,37 (zvoleno 0,2)	4	0,088	0,0176
Paletizační robot	2,5	5	0,111	0,2775
Štítkovačka	0,2	2	0,044	0,0088
			$\sum W_h$	0,3237 kWh

Elektrická práce spotřebovaná za jedním strojem za hodinu [50]:

$$W_h = U \cdot t; \quad (9)$$

W_h [kW/h] - elektrická práce vykonaná za hodinu pracovního cyklu,

U [kW] - elektrický výkon,

$$t = \frac{t_c}{60 \cdot 60} \cdot \frac{60 \cdot 60}{t_v} \text{ [h]} - \text{čas práce stroje v hodině pracovního cyklu,}$$

t_c [s] – pracovní čas stroje v pracovním cyklu,

t_v [s] – takt výrobního cyklu na pracovišti.

Příklad výpočtu (páskovací stroj):

$$W_h = 0,3 \cdot \frac{3}{60 \cdot 60} \cdot \frac{60 \cdot 60}{45} = 0,3 \cdot 0,66 = 0,198 \text{ kWh}$$

Elektrická práce spotřebovaná na pracovišti za rok [50]:

$$W_r = W_h \cdot t_{rp}; \quad (10)$$

W_r [kWh] - elektrická práce vykonaná za rok

W_h [kWh] - elektrická práce vykonaná za hodinu

t_{rp} [h] - počet pracovních hodin v roce

Aplikace vzorce pro pracoviště F5:

$$W_h = 0,3237 \text{ kWh}$$

$$t_{rp} = 5117 \text{ h (viz. odstavec: Určení časového fondu výrobního zařízení)}$$

$$W_r = 0,3237 \cdot 5117 = 1656,373 \text{ kWh}$$

Započtení nenormované spotřeby:

Nenormovanou spotřebou se rozumí odhad spotřeby řídicího systému a spotřeba zařízení v režimu *standby*. Spotřeba je odhadnuta procentuálním podílem z celkové spotřeby.

$$W_{rc} = W_r \cdot k_{ns} \quad (11)$$

W_{rc} [kWh] - celková elektrická práce vykonaná za rok

$k_{ns} = 1,3$ - procentuální index nenormované spotřeby ve výši 130 %

$$W_{rc} = 1656,373 \cdot 1,3 = 2153,285 \text{ kWh}$$

Cena spotřebované elektrické energie za rok [50]:

$$N_e = W_{rc} \cdot c_e; \quad (12)$$

N_e [Kč] - náklady na spotřebovanou el. energii

W_{rc} [kWh] - Celková elektrická práce vykonaná za rok

c_e [Kč] - Cena za 1 kWh el. energie

$$N_e = 2153,285 \cdot 4,76 \cong 10\,250 \text{ Kč}$$

Náklady na obsluhu pracoviště na lince F5

Linka je i po robotizaci obsluhována vždy dvěma zaměstnanci, ti se střídají v třisměnném provozu. Celkem je tedy pro chod linky potřeba zaměstnávat 6 pracovníků obsluhy.

Průměrný hrubý plat zaměstnance obsluhy výrobní linky je dle agentury Indeed 25 264 Kč za měsíc [46], zaměstnavatel ale kvůli sociálnímu a zdravotnímu pojištění musí zaplatit 34 205 Kč.

Roční náklady na plat zaměstnance:

$$N_{rp} = 12 \cdot N_m = 12 \cdot 34\,205 = 410\,460 \text{ Kč} \quad (13)$$

N_{rp} roční náklady na pracovníka [Kč]

N_m měsíční náklady na pracovníka [Kč]

Roční náklady na provoz pracoviště střídavě obsluhovaného 6 zaměstnanci tedy jsou:

$$N = 6 \cdot 410\,460 = 2\,462\,760 \text{ Kč}$$

Personální náklady (ošacení, zaučení, odchod aj. - 1,7 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{1,7}{100} \cdot 2\,462\,760 \cong 41\,866 \text{ Kč} \quad (14)$$

Náhrady za neodpracovanou dobu (proplacení dovolené, proplacení nemocenské péče aj. - 6,2 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{6,2}{100} \cdot 2\,462\,760 = 152\,691 \text{ Kč} \quad (15)$$

Celkově jsou náklady na obsluhu vyčísleny na 2 657 318 Kč

Celkové náklady na provoz robotizovaného pracoviště F5

V souhrnu lze tedy stanovit tabulku (Tab. 9), která shrnuje náklady na roční provoz pracoviště F5. Do tabulky jsou započítány také náklady na údržbu linky viz. kapitola 4.4.2 *Náklady na údržbu*.

Tab. 9 Roční náklady na provoz linky F5

Roční náklady	Velikost [Kč]
Elektrická energie	10 250
Náklady na obsluhu linky	2 657 318
Náklady na údržbu	79 246
\sum nákladů	2 746 814 Kč

b) Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F6

Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště F6, jsou stejně jako v případě pracoviště na lince F5 tvořeny třemi základními náklady: na obsluhu pracoviště, elektrickou energii a údržbu.

Celkový elektrický výkon robotizovaného pracoviště na lince F6

Tab. 10 Celkový elektrický výkon pracoviště F6

Stroj	Elektrický výkon [kW]	Doba činnosti v pracovním cyklu [s]	Doba činnost za 1 pracovní hodinu (při taktu 25 s) [h]	Elektrická práce za 1 pracovní hodinu (při taktu 25 s) [kWh]
Páskovací stroj	0,3	9	0,360	0,108
Válečkový dopravník	0,12 – 0,37 (zvoleno 0,2)	4	0,160	0,032
Paletizační robot	2,5	5	0,200	0,500
Štítkovačka	0,2	2	0,080	0,016
			$\sum W_h$	0,656 kWh

Elektrická práce spotřebovaná za jedním strojem za hodinu:

Výpočet je shodný jako v případě linky F5 – vzorec č. (9).

Elektrická práce spotřebovaná na pracovišti za rok:

Vzorec je použit z výpočtu pro linku F5, číslo vzorce: (10)

Aplikace vzorce pro pracoviště F6:

$$W_h = 0,656 \text{ kWh}$$

$$t_{rp} = 5117 \text{ h (viz. odstavec: Určení časového fondu výrobního zařízení)}$$

$$W_r = 0,656 \cdot 5117 = 3356,752 \text{ kWh}$$

Započtení nenormované spotřeby:

Použit vzorec č. (11), se stejným koeficientem 130 %.

$$W_{rc} = 3356,752 \cdot 1,3 = 4363,778 \text{ kWh}$$

Cena spotřebované elektrické energie za rok dle vzorce (12):

$$N_e = 4363,778 \cdot 4,76 \cong 20\,772 \text{ Kč}$$

Náklady na obsluhu pracoviště

Linka je i po robotizaci obsluhována vždy dvěma zaměstnanci, ti se střídají v třisměnném provozu. Celkem je tedy pro chod linky potřeba zaměstnávat 6 pracovníků obsluhy.

Roční náklady na obsluhu pracoviště výrobní linky F6 budou stejné jako v případě linky F5 tedy 2 657 318 Kč (viz. kapitola a))

V souhrnu lze tedy stanovit tabulku (Tab. 11 Roční náklady na provoz linky F6), která symbolizuje náklady na roční provoz pracoviště F6. Do tabulky jsou započítány také náklady na údržbu linky viz. kapitola 4.4.2 Náklady na údržbu.

Tab. 11 Roční náklady na provoz linky F6

Roční náklady	Velikost [Kč]
Elektrická energie	20 772
Plat obsluhy linky	2 657 318
Náklady na údržbu	79 246
\sum nákladů	2 757 336 Kč

4.4.4 Návratnost investice

Robotizace pracoviště umožňuje snížit počet pracovníků na daném výrobním úseku o 1 člověka. Jelikož je pracoviště obsluhováno v třísměnném provozu lze ušetřit v součtu za plat 3 zaměstnanců. Pro noční směnu je navíc stanoven zákonný příplatek 10 %.

Po konzultaci se společností Daikin bylo stanoveno, že je možné mzdy ušouřených zaměstnanců v rámci pracoviště lze uvažovat jako ušouřené náklady.

Průměrný hrubý plat zaměstnance obsluhy výrobní linky dle agentury Indeed je 25 264 Kč za měsíc [46], zaměstnavatel ale kvůli sociálnímu a zdravotnímu pojištění musí zaplatit 34 205 Kč.

Pro výpočet návratnosti byl použit vzorec prosté doby návratnosti, který nezapočítává proměnu hodnoty investovaných peněz v čase (diskontní míra). Vzorec rovněž neuvažuje s inflací ani s proměnou platu zaměstnanců v čase. Vzorec byl použit z důvodu neznáme diskontní míry podniku a také z důvodu jednoduchosti a názornosti.

$$I = \sum_{n=1}^a CF \quad (16)$$

I [Kč] – investice,

CF [Kč] – roční úspory („cash flow“),

a [roky] - doba návratnosti.

Upravením vzorce pro tento případ:

$$a = \frac{I}{CF} \quad (17)$$

Stanovení roční hodnoty CF na pracovišti F5:

+ mzdová roční úspora:

$$12 \cdot (3 \cdot 34\,205 \cdot 12 + 0,1 \cdot 34\,205) = 1\,272\,426 \text{ Kč}$$

– nárůst nákladů na údržbu (rozdíl po robotizaci viz. 4.4.2 *Náklady na údržbu* a nákladů před robotizací – odhad v závislosti k technologické jednoduchosti pracoviště je 10 000 Kč ročně):

$$79\,246 - 10\,000 = 69\,246 \text{ Kč}$$

+ úspora na personálních nákladech (ošacení, zaučení, odchod aj. - 1,7 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{1,7}{100} \cdot 1\,272\,426 = 21\,639,9 \text{ Kč}$$

+ úspora na náhradě za neodpracovanou dobu (proplacení dovolené, proplacení nemocenské péče aj. - 6,2 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{6,2}{100} \cdot 1\,272\,426 = 78\,890,4 \text{ Kč}$$

– náklady na el. energii (viz. a) *Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F5*):

10 250 Kč

$$\sum CF = 1\,272\,426 - 69\,246 + 21\,639,9 + 78\,890,4 - 10\,250 \cong +1\,293\,460 \text{ Kč}$$

Dosažením do vzorce (50) dostaneme prostou dobu návratnosti.

$$a = \frac{I}{CF} = \frac{3\,924\,688}{1\,293\,460} = 3,03 \cong \mathbf{3 \text{ roky}}$$

4.5 Technické hledisko robotizace pracoviště

Obě linky jsou si z technického hlediska velmi podobné, liší se pouze hmotností jednotlivých krabic, jejich rozměry a také nutnost křížového páskování na lince F6. Rozdílnost také nastává v případě expedice palet do skladu, v případě linky F5 je odvoz realizován obsluhou, kdežto u linky F6 je odvoz automatický vozíky AGV.

Pokud bude dílčí technická stránka robotizace pro obě linky stejná bude detailně popsána pouze jedna z nich. V této kapitole bude popsáno technické hledisko pracovišť, jejich technické vlastnosti a parametry.

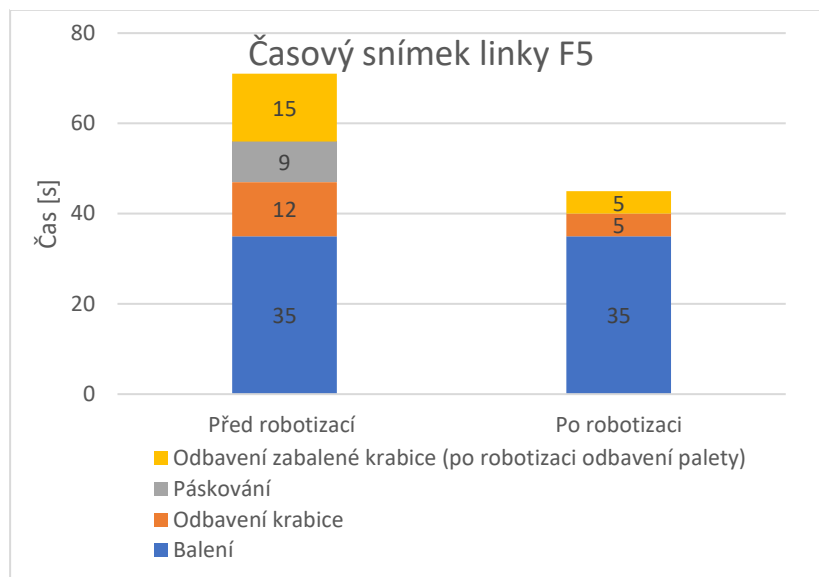
4.5.1 Výrobní takt pracovišť

Po zavedení robotizace dojde ke změně časového snímku obou linek, velká část procesů bude nahrazena stroji a díky tomu bude možné zrychlení výroby, zrychlení je však omezeno ostatními úzkými místy výroby.

a) Časový snímek linky F5

Časový snímek pracoviště zobrazený na *Grafu 1* ukazuje rozdíl mezi časovou náročností práce obsluhy před a po robotizaci. Rozdíl v časové náročnosti je 27 s. Celkový časový snímek pracoviště na lince F5 je v *Tab. 2* Typovost výrobků na lince F5.

Graf 1 Časový snímek pracovníků obsluhy na lince F5



Tab. 12 Časový snímek pracoviště F5 po robotizaci

Moderátor	Činnost	Délka trvání [s]
Obsluha	Balení	35
Obsluha	Odbavení krabice	5
Obsluha	Odbavení palet	5
Automatický proces	Štítkování	2
Automatický proces	Páskování	3
Automatický proces	Pojezd po dopravníku	4
Automatický proces	Paletizace robotem	5

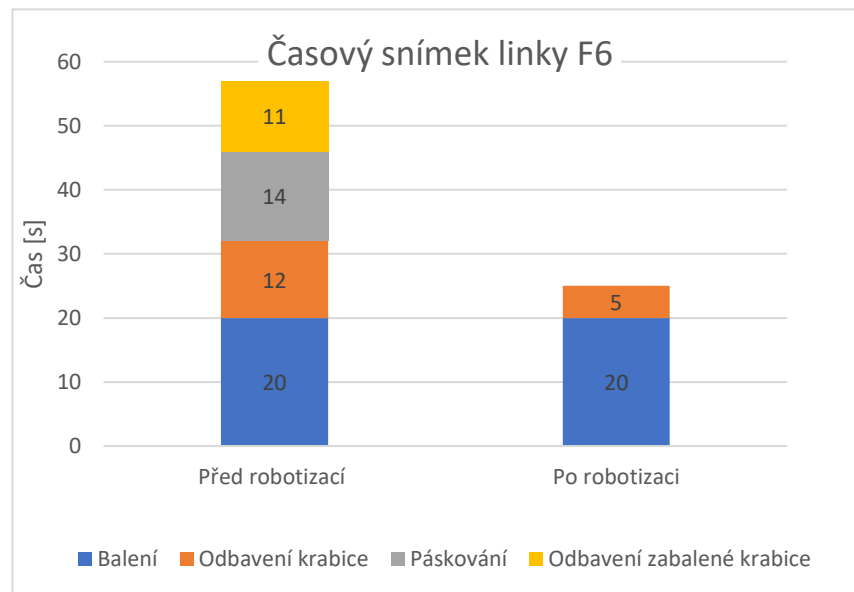
Z Graf 1 Časový snímek pracovníků obsluhy na lince F5 je patrný prostor vzniklý pro zrychlení výroby při popisovaném zrychlení o 27 s. Pokud dojde k maximálnímu navýšení počtu zabalených kusů (v závislosti na zbylých úzkých místech linky) lze zvýšit produktivitu ze současných 50 kusů za hodinu až na 80 zabalených kusů za hodinu.

b) Časový snímek linky F6

Obdobně jako u linky F5 i zde dojde ke snížení časové náročnosti práce vykonávané obsluhou linky. Časový prostor pro zrychlení taktu je vidět na Graf 2. Celkový časový snímek po robotizaci pracoviště je v Tab. 13 Časový snímek pracoviště F6 po robotizaci, původní takt linky je 53 s.

Z porovnání časového snímku obsluhy před a po robotizaci je patrné, že prostor pro zrychlení taktu na lince F6 je 28 s. Nový takt je tedy možné stanovit až na 25 s. Snížením taktu lze zabalit až o 76 kusů za hodinu více (v závislosti na dalších úzkých místech výroby).

Graf 2 Časový snímek pracovníků obsluhy na lince F6



Tab. 13 Časový snímek pracoviště F6 po robotizaci

Moderátor	Činnost	Délka trvání [s]
Operátor	Balení	20
Operátor	Odbavení krabice	5
Automatický proces	Štítkování	2
Automatický proces	Páskování křížem	9
Automatický proces	Pojezd po dopravníku	4
Automatický proces	Paletizace robotem	5

4.5.2 Nutné technologické přestávky

Na obou pracovištích bude realizována výroba několika typů výrobků, všechny jsou si však typově podobné. Vždy se jedná o kartonovou krabici s variabilními rozměry a proměnlivou hmotností.

Rozměry krabice na lince F5 jsou délka 92–132 cm a šířka 76,1–88,5 cm. Váha se pohybuje od 24 do 37 kg. Proměnlivost rozměrů je v rozmezí 30 % největšího rozměru a díky tomu je možné použít efektor, který zvládne uchopit všechny druhy krabic a nebude nutné jej vyměňovat.

Rozměry krabic na lince F6 jsou délka 68,6–88,2 cm a šířka 59,7–88,2 cm. Váha krabic se pohybuje v rozmezí 17–29 kg. I v tomto případě se od sebe krajní rozměry příliš neliší a nebude tak problém použít univerzální efektor pro všechny typy krabic.

Štítkovací přístroj tiskne etiketu dle daného typu krabice a není nutné žádné průběžné přetypování.

Celkově tedy není nutné ani jednu z linek přetypovávat při přechodu výroby mezi jednotlivými typy klimatizačních jednotek.

4.5.3 Pracovní úkony po robotizaci pracoviště

Po robotizaci dojde ke změně objektů vykonávajících proces. Část procesů je po robotizaci zautomatizována. Pracovní proces je popsán v kapitole 4.3.2 *Popis pracovního procesu po robotizaci*, ilustrace je na *Obr. 17 Schéma pracovního procesu na pracovištích F5 a F6 [vlastní zpracování]*.

Obsluha

- přebrání hotové vyrobené klimatizační jednotky,
- sestrojení krabice pro zabalení klimatizační jednotky,
- zabalení klimatizační jednotky,
- odeslání krabice, volba typu štítku.

Automatický proces

- štítkování krabice,
- páskování krabice (v případě linky F6 obrácení a křížové páskování),
- pojezd krabice k robotu,
- paletizace robotem,
- odvoz plných palet do skladu (u linky F5 není automatické, vyžaduje obsluhu).

4.5.4 Bezpečnost pracoviště

Současný stav, kde většina činností je prováděna obsluhou bez strojové obsluhy je fyzicky náročný a může způsobovat přetížení pracovníků. Ruční skládání krabic na palety může skýtat bezpečnostní problém v možnosti pádu klimatizační jednotky na obsluhu. Tento aspekt ohrožuje jednak obsluhu ale i samotné klimatizační jednotky, které mohou být nevhodným zacházením poškozeny.

Robotizované pracoviště musí být kvůli použití konvenčního robotu oplocené a zabezpečené proti přítomnosti člověka v pracovním prostoru robota. Dalšími nebezpečnými prvky pracoviště je páskovačka a štítkovačka, bylo by vhodné je také umístit ochranného prostoru.

Dalším nebezpečím pro obsluhu je výměna plných palet za prázdné, obsluha musí zasáhnout do pracovního prostoru robota, takový zásah musí být řídicí systém zaznamenat a zastavit robota, aby nemohl zranit obsluhu nebo nabourat. Pro tento účel jsou využívány optické bezpečnostní brány (nebo jinak závory) snímající narušení prostoru robota a zároveň umožňující výměnu palet.

Kromě výstupu materiálu je také nutné zabezpečit vstup krabice do bezpečnostního prostoru pracoviště. Stejně jako u výstupu i zde je ideální použití optických bran pro snímání narušení pracovního prostoru ukázka možného provedení je na *Obr. 22*.

5 Technickoekonomické zhodnocení

Technickoekonomické hodnocení porovnává mezi sebou variantu před robotizací a po robotizaci. Do srovnání byla zařazena i varianta s kolaborativním robotem, aby mohla být zobrazena rozdílnost mezi jednotlivým řešením. Řada parametrů je shodná s variantou, kde je použit robot konvenční, rozdílné parametry jsou doplněny. Hodnocení se bude věnovat pouze jedné z linek, protože obě linky mají velmi podobné technickoekonomické parametry (rozdíly jsou zanedbatelné). V následujících kapitolách bude hodnocena **linka F5**.

5.1 Určení váhy pro sledované parametry

Pro hodnocení byli použity parametry, které jsou pro robotizaci pracoviště důležité a lze je mezi sebou srovnat. Jednotlivé parametry jsou podrobně popsány v kapitolách 4.4 *Ekonomická stránka robotizace* a 4.5 *Technické hledisko robotizace pracoviště*. Jednotlivé parametry jsou dle bodové stupnice, ta je v Tab. 14.

Tab. 14 Bodová stupnice pro hodnocení důležitosti parametrů

Bodové ohodnocení	Důležitost bodovaného parametru
3	málo důležité
5	důležité
7	velmi důležité
9	klíčové

Konzultací se společností Daikin byly stanoveny jednotlivé parametry pracoviště a jejich bodové ohodnocení.

Tab. 15 Váhy jednotlivých parametrů pracoviště

Pořadí	Parametr	Body	Koeficient váhy
1	Velikost investice	7	0,1591
2	Doba návratnosti investice	9	0,2046
3	Proveditelnost	5	0,1136
4	Bezpečnost	9	0,2046
5	Roční náklady na provoz	9	0,2046
6	Takt pracoviště	5	0,1136
	\sum bodů	44	$\sum p_i \cong 1$

5.2 Bodové hodnocení jednotlivých parametrů variant

Jednotlivé parametry jsou hodnoceny dle jejich hodnoty, pokud jsou číselné, je jejich hodnocení přímo úměrné jejich hodnotě, nejvhodnější z variant získá 100 bodů, zbylé varianty jsou hodnoceny v poměru vůči nejlepší variantě. Při hodnocení nečíselných hodnot je jejich hodnota určena odhadem [51]

5.2.1 Velikost investice

Společnost Daikin stanovila přijatelnou výši investice na 4 miliony korun. Vyšší částka je pro společnost nepřijatelná a varianta převyšující tento limit je ohodnocena 0 body. Jelikož je pro společnost primární dodržení hranice dodržáním limitu je přiděleno 75 bodů, další body se odvíjejí od velikosti investice.

a) Původní pracoviště s obsluhou

Původní podoba pracoviště neobnáší žádnou investici, je proto nejlepší možnou variantou z tohoto pohledu.

b) Robotizované pracoviště s konvenčním robotem

Robotizované pracoviště konvenčním robotem vyžaduje investici ve výši 3 924 688 Kč, viz kapitola 4.4.1 *Velikost investice*.

c) Robotizované pracoviště s kolaborativním robotem

Kolaborativní robot je velmi často dražší než konvenční, nejvýkonnější robot od firmy FANUC CR 35IA s nosností 35 kg stojí 87 000 \$ (kurz 1\$ = 21,87 Kč). Cena robota je v přepočtu 1 902 690 Kč, tento robot však nesplňuje požadovanou nosnost a bylo by nutné použít robota speciálního, kde by cena byla ještě vyšší odhadem bude o 30 % vyšší tedy 2 473 497 Kč. Ostatní části pracoviště jsou stejné, celková cena pracoviště je tedy odhadem: 5 257 615 Kč.

Bodové hodnocení

Tab. 16 Bodové hodnocení velikosti investice

Varianta	Velikost investice	Body
Původní	0 Kč	100 bodů
S konvenčním robotem	3 924 688 Kč	$m_{12} = \frac{x_{1limit} - x_{12}}{x_{1limit}} + 50$ $= \frac{4\,000\,000 - 3\,924\,688}{4\,000\,000} \cdot 25 + 75$ $\cong 75 \text{ bodů}$
S kolaborativním robotem	5 257 615 Kč.	0 bodů

5.2.2 Doba návratnosti investice

Maximální doba návratnosti byla společností Daikin stanovena na 4 roky. Varianta, jejíž doba návratnosti je delší než 4 není přijatelná a získá 0 bodů. Varianta, která splňuje limit, je ohodnocena 75 body (pro společnost je nejdůležitější dodržení limitu), dalších 25 je rozděleno podle doby návratnosti.

a) Původní pracoviště s obsluhou

Nedochází k žádné investici, návratnost je tedy 0 roků.

b) Robotizované pracoviště s konvenčním robotem

Prostá doba návratnosti pro robotizaci konvenčním robotem byla vypočtena v kapitole 4.4.4 *Návratnost investice*, návratnost je: 3 roky

c) Robotizované pracoviště s kolaborativním robotem

Pro pracoviště s kolaborativním robotem není vypočtena CF viz. kapitola 4.4.4 *Návratnost investice*. Část rozvahy je z důvodu očekávané stejné možnosti snížení stavu obsluhy stejná s variantou s konvenčním robotem. Shoda se týká položek: roční mzdová úspora, úspora na personálních nákladech, úspora na náhradě za nadpracovanou dobu a náklady na el. energii.

Stanovení CF pro variantu s kolaborativním robotem

+ mzdová roční úspora:

$$12 \cdot (3 \cdot 34\,205 \cdot 12 + 0,1 \cdot 34\,205) = 1\,272\,426 \text{ Kč}$$

– nárůst nákladů na údržbu (rozdíl po robotizaci dle kapitoly 4.4.2 *Náklady na údržbu* a nákladů před robotizací – odhad v závislosti k technologické jednoduchosti pracoviště je 10 000 Kč ročně):

Zachováním stejné procentuální míry 1 % z pořizovací ceny (kapitola 5.2.1) jsou náklady na údržbu strojů 52 576 Kč ročně. Údržba softwaru lze očekávat nákladnější nežli u robota konvenčního. Odhadem, bude o 25 % finančně náročnější, z toho vyplývá suma 50 000 Kč ročně.

Souhrnné náklady na údržbu pracoviště po robotizaci kolaborativním robotem jsou: 102 576 Kč.

$$102\,576 - 10\,000 = 92\,576 \text{ Kč}$$

+ úspora na personálních nákladech (ošacení, zaučení, odchod aj. - 1,7 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{1,7}{100} \cdot 1\,272\,426 = 21\,639,9 \text{ Kč}$$

+ úspora na náhradě za neodpracovanou dobu (proplacení dovolené, proplacení nemocenské péče aj. - 6,2 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{6,2}{100} \cdot 1\,272\,426 = 78\,890,4 \text{ Kč}$$

– náklady na el. energii jsou z důvodu očekávané rámcově stejné spotřeby el. energie převzaty od varianty s konvenčním robotem (viz. a) *Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F5*): 10 250 Kč

$$\sum CF = 1\,272\,426 - 92\,576 + 21\,639,9 + 78\,890,4 - 10\,250 \cong +1\,280\,380 \text{ Kč}$$

Dosažením do vzorce (50) bude vypočtena prostá doba návratnosti.

$$a = \frac{I}{CF} = \frac{5\,257\,615}{1\,280\,380} = 4,106 \cong 4,1 \text{ roky}$$

Bodové hodnocení

Tab. 17 Bodové hodnocení návratnosti investice

Varianta	Návratnost investice	Body
Původní	0	100 bodů
S konvenčním robotem	3 roky	$m_{22} = \frac{x_{limit} - x_{22}}{x_{2\ limit}} = \frac{4 - 3}{4} \cdot 25 + 75 \cong 81 \text{ bodů}$
S kolaborativním robotem	4,1 roků	0 bodů

5.2.3 Zhotovitelnost pracoviště

V tomto parametru je hodnocena proveditelnost pracoviště spolu s plochou pracoviště. Plocha pracoviště je hodnocena jako změna velikosti oproti současné variantě, proveditelnost je hodnocena dle náročnosti případné realizace. Varianty jsou hodnoceny procenty, 100 % je nejlepší možnost v tomto pohledu – nedochází k žádným úpravám, 0 % - neproveditelné.

a) Původní pracoviště s obsluhou

V této verzi nejsou nutné žádné úpravy, ani zvětšení pracoviště.

Odhodnoceno 100 %.

b) Robotizované pracoviště s konvenčním robotem

Zhotovení varianty s konvenčním robotem je pro společnosti zabývající se automatizací „rutinní“ záležitost. Protože provedení neskýtá úskalí ale i přesto je nutná jeho výstavba. Pro robotizované pracoviště s konvenčním robotem je potřeba vytyčit pracovní prostor a ten ohradit, aby nedošlo ke kontaktu s člověkem. Jelikož bude robot umístěn do prostoru kde se v současnosti nachází překladiště krabic a díky ochrannému plotu nebude záběr prostoru velký. Odhadem lze stanovit, že plocha pracoviště se zvětší o 20 %.

V souhrnu lze odhadem udělit procentuální hodnocení: 80%

a) Robotizované pracoviště s kolaborativním robotem

Verze s kolaborativním robotem je neproveditelná bez speciálního kobota, která s sebou nese druhotní komplikace v podobě nestandardního programování atd.

Kolaborativní robot na rozdíl od robota konvenčního nepotřebuje oplocení avšak, stejně je nutné vymežit pracovní prostor robota a ten nejlépe ohraničit signalizačními prvky a prvky bezpečnostními, které umožní snímání přítomnosti člověka. Z toho plyne že záběr prostoru je větší než s var. s konvenčním robotem. Stejně tak bude nutné oplotit ostatní části pracoviště, jako v případě varianty s konvenčním robotem. Odhadem je možné stanovit zvětšení plochy o 30 %.

Kvůli závažným komplikacím v oblasti proveditelnosti a zvětšení plochy pracoviště je varianta hodnocena 10 %.

Bodové hodnocení

Tab. 18 Bodové hodnocení zhotovitelnosti

Varianta	Zhotovitelnost	Body
Původní	100 %	100 bodů
S konvenčním robotem	80 %	$m_{32} = \frac{x_{32}}{x_{3 \max}} = \frac{80}{100} \cdot 100 = 80 \text{ bodů}$
S kolaborativním robotem	10 %	$m_{63} = \frac{x_{33}}{x_{3 \max}} = \frac{100}{10} \cdot 100 = 10 \text{ bodů}$

5.2.4 Bezpečnost

Bezpečnost bude posuzována odhadem procentuálně dle možných bezpečnostních rizik vznikajících na pracovišti.

a) Původní pracoviště s obsluhou

Původní řešení obsahuje řadu oblastí, které jsou potenciálně nebezpečné jak pro obsluhu výrobní linky, tak pro vyráběné klimatizační jednotky. Manipulace se zabalenými jednotkami probíhá ručně, stejně tak i konečné paletizování s pomocným ramenem. Hrozí zde pád krabic z důvodu špatného vyskládání nebo při manipulaci. Pro obsluhu navíc při manipulaci s těžkými břemeny hrozí vznik tzv. nemoci z povolání.

Bodové hodnocení současného stavu je 50 %.

b) Robotizované pracoviště s konvenčním robotem

Detailní popis bezpečnosti je rozepsán v kapitole 5.2.4 *Bezpečnost*. Ve zkratce se jedná o uzavřené pracoviště, kde obsluha pouze odbavuje palety v prostoru, který je zabezpečen proti střetu s robotem. Na takovém to pracovišti nehrozí, pokud je správně užíváno žádné nebezpečí.

Bezpečnost je ohodnocena 100 %.

c) Robotizované pracoviště s kolaborativním robotem

Kolaborativní robot nemá kolem pracovního prostoru fyzickou překážku. Je tedy možné přijít s robotem do kontaktu, i když by robot měl být schopen zastavit, pořád je zde nepatrná možnost, že dojde k úderu obsluhy krabicí nebo pádu krabice (37 kg), která by mohla způsobit zranění obsluhy. Z tohoto důvodu lze považovat pracoviště za méně bezpečné.

Ohodnocení bezpečnosti pracoviště je 75 %.

Bodové hodnocení

Tab. 19 Bodové hodnocení bezpečnosti

Varianta	Bezpečnost	Body
Původní	50 %	$m_{41} = \frac{x_{41}}{x_{4 \max}} = \frac{50}{100} \cdot 100 = 50 \text{ bodů}$
S konvenčním robotem	100 %	100 bodů
S kolaborativním robotem	75 %	$m_{43} = \frac{x_{43}}{x_{4 \max}} = \frac{75}{100} \cdot 100 = 75 \text{ bodů}$

5.2.5 Roční náklady na provoz

Roční náklady na provoz znázorňují každoroční nákladnost daného řešení, jsou do nich započítány platy obsluhy a údržba pracoviště.

a) Původní pracoviště s obsluhou

Hodnota ročních nákladů na provoz pracoviště je ve výši platů obsluhy a nákladů na údržbu. Linku obsluhují 3 zaměstnanci na směnu tedy při 3 směnném provozu celkem 9 zaměstnanců.

Průměrné náklady na zaměstnance obsluhy výrobní linky jsou 34 205 Kč za měsíc (viz. kapitola a) *Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F5*).

Roční náklady na zaměstnance:

$$N_r = 12 \cdot N_m = 12 \cdot 34\,205 = 410\,460 \text{ Kč} \quad (18)$$

N_r roční náklady [Kč]

N_m měsíční náklady [Kč]

Roční náklady na provoz pracoviště střídavě obsluhovaného 9 zaměstnanci tedy jsou:

$$N = 9 \cdot 410\,460 = 3\,694\,140 \text{ Kč}$$

Započtení ostatních výdajů na zaměstnance jako v kapitole a) *Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F5*:

Personální náklady (ošacení, zaučení, odchod aj. - 1,7 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{1,7}{100} \cdot 3\,694\,140 \cong 62\,800 \text{ Kč} \quad (19)$$

Náhrada za neodpracovanou dobu (proplacení dovolené, proplacení nemocenské péče aj. - 6,2 % navýšení nákladů na zaměstnance [54]):

$$\frac{6,2}{100} \cdot 3\,694\,140 \cong 229\,037 \text{ Kč} \quad (20)$$

Náklady na údržbu byly stanoveny odhadem, dle technologické úrovně současného pracoviště na 10 000Kč ročně.

Suma nákladů na roční provoz současného pracoviště je: **3 985 997 Kč**

b) Robotizované pracoviště s konvenčním robotem

Náklady na roční provoz pracoviště jsou vypočteny v kapitole a) *Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F5*, jejich výše je: **2 746 814 Kč**.

c) Robotizované pracoviště s kolaborativním robotem

Pro pracoviště s kolaborativním robotem není vypočtena velikost ročních nákladů na provoz. Pracoviště by však bylo s výjimkou kobota stejné, z důvodu očekávané řádově stejné spotřeby el. energie budou použity náklady na elektrickou energii s konvenčním robotem. Očekávané náklady na el. energii jsou: 10 250 Kč.

Náklady na obsluhu výrobní linky jsou stejné jako v případě varianty s konvenčním robotem (viz. a) *Roční náklady na provoz robotizovaného pracoviště na lince F5*), tedy 2 657 318 Kč.

Náklady na údržbu byly vypočteny v kapitole 5.2.2, jejich výše je: 102 576 Kč.

Suma ročních nákladů na provoz linky s kobotem je: **2 770 144 Kč**

Bodové hodnocení

Tab. 20 Bodové hodnocení ročních nákladů na provoz

Varianta	Roční náklady na provoz	Body
Původní	3 985 997 Kč	$m_{51} = \frac{x_{5 \min}}{x_{51}} = \frac{2\,746\,814}{3\,985\,997} \cdot 100 \cong 69 \text{ bodů}$
S konvenčním robotem	2 746 814 Kč	100 bodů.
S kolaborativním robotem	2 770 144 Kč	$m_{53} = \frac{x_{1 \min}}{x_{53}} = \frac{2\,746\,814}{2\,770\,144} \cdot 100 \cong 99 \text{ bodů}$

5.2.6 Takt pracoviště

Takt pracoviště je důležitým parametrem pracoviště, avšak zrychlení taktu na pracovišti neznamená zrychlení celkové výroby. Přesto je důležité, aby na pracovišti byla možnost do budoucna díky časové rezervě možného zrychlení taktu. Společnost Daikin stanovila podmínku zachování taktu, lépe však jeho zrychlení. Z toho vyplývá, že 50 bodů je uděleno za splnění podmínky zachování taktu, dalších 50 je distribuováno v závislosti na rychlosti taktu. V případě taktu převyšujícího původní takt pracoviště je varianta ohodnocena 0 body.

a) Původní pracoviště s obsluhou

Původní pracoviště má takt 72 s.

b) Robotizované pracoviště s konvenčním robotem

Takt pracoviště po robotizaci konvenčním robotem je stanoven v kapitole 4.5.1 *Výrobní takt pracovišť*. Takt pracoviště po robotizaci konvenčním robotem je: 45 s.

c) Robotizované pracoviště s kolaborativním robotem

Při robotizaci kobotem je třeba počítat s pomalejší rychlostí pohybu (z důvodu bezpečnosti viz. 2.5.2 *Bezpečnost robotického pracoviště*). Z toho důvodu je možné odhadnout, že čas bude vyšší než u varianty s konvenčním robotem, konkrétně takt bude stanoven na 65 s.

Bodové hodnocení

Tab. 21 Bodové hodnocení taktu pracoviště

Varianta	Takt pracoviště	Body
Původní	72 s	50 bodů
S konvenčním robotem	45 s	$m_{62} = \frac{x_{5limit} - x_{52}}{x_{5limit}} = \frac{72 - 45}{72} \cdot 50 + 50 \cong \mathbf{69\ bodů}$
S kolaborativním robotem	65 s	$m_{62} = \frac{x_{5limit} - x_{53}}{x_{5limit}} = \frac{72 - 65}{72} \cdot 50 + 50 \cong \mathbf{55\ bodů}$

5.3 Hodnocení variant

Hodnocení probíhá za pomoci tabulky Tab. 22 *Hodnocení variant pracoviště*, ta hodnotí dané parametry variant řešení dle stanovených vah. Maximální počet vážených bodů, který lze získat je 100 bodů. Varianta jejíž bodové hodnocení se nejvíce blíží 100 bodům je tedy ta nejvhodnější.

Tab. 22 Hodnocení variant pracoviště

Parametry	Váha parametru	Původní varianta		Robotizace konvenčním robotem		Robotizace kobotem	
		Body	Vážené body	Body	Vážené body	Body	Vážené body
Velikost investice	0,1591	100	15,91	75	11,93	0	0
Doba návratnosti investice	0,2046	100	20,46	81	16,57	0	0
Proveditelnost	0,1136	100	11,36	80	9,09	10	1,13
Bezpečnost	0,2046	50	10,23	100	20,46	75	15,35
Roční náklady na provoz	0,2046	69	14,12	100	20,46	99	20,26
Takt pracoviště	0,1136	50	5,68	69	7,84	55	6,25
Body celkem			77,76		86,35		42,99

Z hodnotící tabulky vychází nejlépe řešení, kdy je pracoviště robotizováno za pomoci konvenčního robota (86,35 bodů). Z tabulky je patrné, že varianta s konvenčním robotem ztrácí zejména u položek velikost investice a doba návratnosti, to je z důvodu porovnání s variantou, kde nedochází k žádné investici, tento fakt výrazně zkresluje bodování u těchto položek.

Naopak varianta s kolaborativním robotem je hodnocena poměrně negativně (neobdržela ani polovinu bodů – 42,99 ze 100), to je způsobeno především faktem, že nesplňuje některá zadaná kritéria (velikost investice, doba návratnosti aj.).

Současné řešení je poměrně bodově blízko robotizaci konvenčním robotem, tento fakt je zapříčiněn absencí investice a změny podoby pracoviště (*oddíl 5.2.3 Zhotovitelnost pracoviště*). Varianta však oproti robotizované variantě konvenčním robotem neobstojí např. v kategorii *takt pracoviště* nebo *roční náklady na provoz*.

Závěr

Úkolem práce bylo vytvořit technickoekonomické hodnocení pracoviště, tento úkol v sobě skýtá výzvu, protože se jedná o kombinaci dvou relativně protichůdných pohledů. Jedním je hledisko ekonomické a tím druhým technické.

V první části práce (*1 Průmysl 4.0*) je věnován prostor zařazení robotizace do kontextu vize průmyslu 4.0. Lze zde najít např. popis chytré továrny anebo roli robotizace v průmyslu 4.0.

Plynule na tuto kapitolu navazuje část práce (*2 Robotika*), ve které jsou popsány základní technické parametry robotů a rozdělení robotů (kloubový, kolaborativní aj.). Důležitou část kapitoly tvoří podkapitola *2.5 Robotická pracoviště*, ta se věnuje robotickým pracovištím, jejich rozdělení a bezpečnosti.

Následně jsou v kapitole *3 Hodnocení robotizace pracoviště*, rozebrány technické a ekonomické parametry robotizace pracoviště. Společně s parametry se kapitola věnuje i metodě hodnocení, konkrétně *multikriteriální metodě*.

V průběhu práce začalo být zřejmé, že i když se jedná o dva rozdílné pohledy jsou obě problematiky navzájem propojené. Jednou z vazeb, která ovlivňuje obě hlediska je provedení pracoviště, v ekonomickém směru se od něj odvíjí velikost investice a provozní náklady, naopak v tom technickém ovlivňuje bezpečnost, možnou rychlost balení aj.

Po seznámení se s současným stavem (kapitola *4 Případová studie robotizace pracoviště ve společnosti DAIKIN*) byla sestavena podoba robotizace pracoviště a důkladně probrána v kapitole *4.3 Robotizace pracovišť na linkách F5 a F6*. Zde byl vytvořen rozpis hlavních potřebných komponent robotického pracoviště a popis nového pracovního postupu.

Když byla známá podoba robotického pracoviště a jeho komponenty bylo možné stanovit odhadní cenu robotizace konvenčním průmyslovým robotem na: 3 924 688 Kč – linka F6 a 3 874 688 Kč – linka F5. Po stanovení úspory (započtením snížení počtu obsluhy na pracovišti, spotřebou el. energie a nákladů na provoz) bylo možné stanovit prostou dobu návratnosti investice na 3 roky.

Kapitola *4.5 Technické hledisko robotizace pracoviště* popisuje technické aspekty robotizace, např. možnou změnu rychlosti balení na pracovištích, ta je však podmíněna zbylými úzkými místy na obou výrobních linkách. V kapitole je také řešena problematika bezpečnosti na robotickém pracovišti, v souhrnu lze stanovit, že návrh robotizace je bezpečný.

V závěru práce je celkové hledisko robotizace shrnuto v multikriteriálním hodnocení (kapitola *5 Technickoekonomické zhodnocení*), do kterého jsou vneseny navzájem porovnatelné parametry jednotlivých variant. Mezi hodnocené parametry jsou např. velikost počáteční investice, bezpečnost, proveditelnost aj. Z hodnocení nejlépe vyšla varianta s konvenčním robotem, mezi její přední parametry se řadili bezpečnost a roční náklady na provoz. Ostatními parametry varianty také splňují zadání např. velikost počáteční investice je v požadované výši (požadované maximum 4 mil. Kč), to platí i o návratnosti investice, ta je dokonce o 1 rok menší, než je požadavek společnosti (výpočet podle prosté doby návratnosti, požadavek společnosti byli maximálně 4 roky)

Výsledkem práce bylo sestavení matice multikriteriálního hodnocení a její vyhodnocení. Z multikriteriálního hodnocení vyšlo, že robotizace pracovišť F5 a F6 je pro společnost výhodnou, avšak je nutné použít variantu s konvenčním robotem. Variantu s kolaborativním robotem není možné použít z technického hlediska a z hlediska ekonomického je nevýhodná. V hodnocení (kapitola 5.3 *Hodnocení variant*) získala varianta s konvenčním robotem 86,35 bodů, kdežto varianta s kolaborativním robotem pouze 42,99 bodů ze 100 možných. Po robotizaci se stane pracoviště bezpečnějším jak pro obsluhu, tak pro balené výrobky. Robotizací vznikne časový prostor pro zrychlení taktu celé linky (v závislosti na úzkých místech linky viz. kapitola 4.5.1).

Seznam použité literatury

- [1] MAŘÍK, Vladimír. Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [2] How will automation impact jobs: PwC UK. PwC UK - Building relationships, creating value [online]. United Kingdom: PricewaterhouseCoopers LLP, 2018 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://www.pwc.co.uk/services/economics/insights/the-impact-of-automation-on-jobs.html>
- [3] Digital Transformation in Smart Manufacturing. 1. Croatia: BoD – Books on Demand, 2018. ISBN 9535138413.
- [4] IoT definition [online]. Paris and Singapore: Strate School Of Design, 2018 [cit. 2020-11-03]. Dostupné z: <https://www.strate.education/gallery/news/iot-definition>
- [5] Machine-to-Machine (M2M) communications: A survey, Journal of Network and Computer Applications. 66. USA: IBM, 2016. ISBN 1084-8045. Dostupné také z: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-m2m-technology/>
- [6] BIG DATA IN ECONOMIC ANALYSIS: ADVANTAGES AND CHALLENGES [online]. Casablanca, 2019 [cit. 2020-11-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/335234998_BIG_DATA_IN_ECONOMIC_ANALYSIS_ADVANTAGES_AND_CHALLENGES
- [7] What is the average wage around the world? [online]. Cologny/Genève: World Economic Forum, 2015 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2015/06/what-is-the-average-wage-around-the-world/>
- [8] Automotive Robots: 5 Common Applications [online]. Michigan, USA: RIA Blog, 2019 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/5-Common-Applications-of-Automotive-Robots/148>
- [9] Kdo vymyslel slovo robot? Karel Čapek to nebyl! [online]. Česká republika: FactoryAutomation.cz - Magazín o průmyslové automatizaci a robotice, 2014 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/kdo-vymyslel-slovo-robot-karel-capek-to-nebyl/>
- [10] 4 Types of Robots Every Manufacturer Should Know [online]. Gaithersburg: NIST. National Institute of Standards and Technology, 2019 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/4-types-robots-every-manufacturer-should-know>
- [11] Robotické řešení s kartézským souřadnicovým systémem [online]. Česká republika: Omron, 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/solutions/product-solutions/cartesian-robotic-solution>
- [12] What is a collaborative robot? [online]. Boston: Vanguard Robotics. System Integrator, 2019 [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: <https://vanguard-robotics.com/what-is-a-collaborative-robot/>

[13] Bezpečnost robotických pracovišť: Řízení a údržba průmyslového podniku [online]. Český Těšín, Czech Republic: Trade Media International, 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/prumyslove-roboty/bezpecnost-robotickych-pracovist.html>

[14] FANUC CZECH S.R.O. Demystifikace kolaborativních průmyslových robotů [online]. Czechia: Technický týdeník, Business Media CZ, 2019 [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/demystifikace-kolaborativnich-prumyslovych-robotu_47275.html

[15] A Guide to Collaborative Robot Safety [online]. Hoffman Estates: Tech Briefs Media Group, 2019 [cit. 2020-10-09]. Dostupné z: [Dostupné z: https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/features/articles/34385](https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/features/articles/34385)

[16] Demystifikace programování robotů [online]. Česká republika: Trade Media - Vše o průmyslu, 2019 [cit. 2020-10-29]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/roboty-software/demystifikace-programovani-robotu.html>

[17] návratnost robota? Při třisměnném provozu rok a půl: Rozhovor s Vítězslav Lukáš [online]. Česká republika: Orobotice, 2020 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://www.orobotice.cz/navratnost-robota-pri-trismennem-provozu-rok-a-pul/>

[18] návratnost investic do automatizace bývá kratší, než se firmy domnívají [online]. Česká republika: E15.cz, 2019 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/navratnost-investic-do-automatizace-byva-kratsi-nez-se-firmy-domnivaji-1364771>

[19] SCHOLLEOVÁ, Hana. Investiční controlling: jak hodnotit investiční záměry a řídit podnikové investice : investiční proces jako základ budoucí prosperity, nástroje a metody investičního controllingu, volba financování a technologie, monitoring průběhu investice a postaudit. Praha: Grada, 2009. Prosperita firmy. ISBN 978-80-247-2952-7.

[20] SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-1992-4.

[21] VALACH, Josef. Investiční rozhodování a dlouhodobé financování. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola ekonomická, 2000. ISBN 80-245-0036-1.

[22] KOLB, Burton A. Principles of financial management. 2nd ed. Homewood: Business Publications, 1988. ISBN 0-256-03699-3.

[23] FOTR, Jiří a Ivan SOUČEK. Podnikatelský záměr a investiční rozhodování. Praha: Grada Publishing, 2005. Expert (Grada). ISBN 80-247-0939-2.

[24] SMIC [online]. Danwon-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea: SMIC, 2018 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: https://www.demo-factory.kr/SMIC_ENG_index.php

[25] Global industrial robot sales doubled over the past five years [online]. Frankfurt/Main, Germany: IFR, 2018 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years>

[26] Automation, robotics, and the factory of the future. In: McKinsey & Company [online]. USA, 2017 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/Our%20Insights/Automation%20robotics%20and%20the%20factory%20of%20the%20future/SVGZ-Automation-robotics-and-the-factory-of-the-future-Ex1.svgz>

[27] Which Countries and Industries Use the Most Robots?. In: Federal Reserve Bank of St. Louis [online]. St. Louise, USA, 2019 [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: https://www.stlouisfed.org/~media/Blog/2019/November/BlogImage_RobotsByCountry_110419.png?la=en

[28] A Simulation of Automatic 3D Acquisition and Post-processing Pipeline. In: ResearchGate [online]. Bourgogne, 2008 [cit. 2020-10-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Arsalan_Malik/publication/200101486/figure/fig11/AS:305790217932815@1449917477937/Kuka-KR-16-Industrial-Robots-with-its-6-Axes-shown.png

[29] IXA High-speed SCARA. In: IAI America [online]. USA, 2020 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: Zdroj: <https://www.intelligentactuator.com/wp-content/uploads/ixa-scara-application-3.jpg>

[30] ABB releases ‘faster, higher payload’ delta robot. In: Robotic & Automation News [online]. USA, 2020 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: https://roboticsandautomationnews.com/wp-content/uploads/2020/05/abb-IRB_390_FlexPacker-rendering-copy.jpg

[31] Sepro introduces high-speed Cartesian, new guarding. In: Plastics Machinery Magazine [online]. USA, 2018 [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: https://img.plasticsmachinerymagazine.com/files/base/ebm/pmm/image/2018/11/pick_s5_25_speed.png?auto=format&w=720

[32] Průmysl 4.0 u společnosti KUKA. In: KUKA SmartProduction [online]. Augsburg, Německo, 2020 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: https://www.kuka.com/~media/kuka-corporate/images/products/robots/lbr-iiwa/kuka_lbr-iiwa_teachen.jpg?rev=1&w=767&hash=668B8F011400B8074F29D8DC13FF9E61

[33] Brenton brings affordable robotic palletizing to small- and medium-sized food and manufacturing operations. In: Provisioner [online]. USA, 2018 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: https://www.provisioneronline.com/ext/resources/Supplier_News/Supplier-News-Images-6/Brenton-RPX-Series.jpg?1539351355

[34] Kolaborativní robot ve Škodě pomáhá s výrobou převodovek. In: Hospodářské noviny [online]. Česká republika, 2017 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: https://img.ihned.cz/attachment.php/670/67616670/vqalP0gfU8b3Hy5iJGns1Fmkwe7SL9jd/LBR_20iwa_Skoda.jpg

[35] Používejte investiční trojúhelník a vaše peníze se neztratí v tom bermudském. In: ING. VÍT ŠAFÁŘ – INVESTIČNÍ PORADCE [online]. Česká republika, 2017 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://i1.wp.com/www.vitsafar.cz/wp-content/uploads/2017/03/investicni-trojuhelnik-500x500.png>

[36] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-448-5.

[37] ŠTĚDRŇ, Bohumír, Petr MOOS, Marcela PALÍŠKOVÁ, Otto PASTOR, Miroslav SVÍTEK a Libor SVOBODA. Manažerské rozhodování v praxi. Přeložil Jiří HANDLÍŘ. V Praze: C.H. Beck, 2015. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-587-9.

[38] SYNEK, Miloslav, Heřman KOPKÁNĚ a Markéta KUBÁLKOVÁ. Manažerské výpočty a ekonomická analýza. V Praze: C.H. Beck, 2009. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-154-3.

[39] Daikin Czech. Daikin [online]. Plzeň: Daikin, 2021 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: https://www.daikinczech.cz/cz_cz/index/o-dicz.html

[40] Modelování, vizualizace a robotizace pracoviště pro Daikin Industries Czech Republic s.r.o. [online]. Plzeň: ZČU, 2020 [cit. 2021-04-13].

[41] Plně automatický páskovací stroj MOSCA EVOLUTION SONIXS TR-6 PRO. In: Unipack [online]. Třinec, Czech republic: Unipack, 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.unipack.cz/plne-automaticky-paskovaci-stroj-mosca-evolution-sonixs-tr-6-pro/>

[42] Haberkorn Válečkové dopravníky přímé [online]. Mokrý Lazce Česká republika: HABERKORN, 2020 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/valeckove-dopravniky-prime/>

[43] FANUC průmyslový robot M-710iC/45M [online]. Česká republika: FANUC cz, 2021 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stranka-filtru-robotu/rada-m-710/m-710ic-45m>

[44] Weber Legi - air 6000 [online]. Rheinbreitbach: Weber, 2020 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: https://www.webermarketing.ie/gr_products/legi-air6000/

[45] Cena elektřiny za rok 2020 [online]. Česká republika: Elektrina.cz, 2020 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cena-elektriny-za-kwh-2020-cez-eon-pre-bohemia-centropol-a-dalsi>

[46] Průměrný plat: obsluha výrobní linky [online]. Česká republika: Indeed, 2021 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://cz.indeed.com/career/obsluha-vyrobní-linky/salaries>

[47] Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závory [online]. Česká republika: Automatizace.hw.cz, 2014 [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>

[48] Plánovací kalendář 2020: Počet pracovních dní v roce 2021 [online]. Česká republika: Daneprolidi.cz, 2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.daneprolidi.cz/kalendar/planovaci-kalendar-2020.htm>

[49] FRINTA, Jan. Kapacitní propočty. Educom TUL [online]. Liberec: TUL Education company, 2010 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: http://educom.tul.cz/educom/inovace/PVS/VY_03_62-kapacitni%20propocety_casove%20fondy_prikklady%20vypoctu%20pro%20projektovani_MZ_6.pdf

[50] BLAHOVEC, Antonín. Elektrotechnika I. Praha: Informatorium, 1995. ISBN 80-854-2772-9.

[51] SYNEK, Miloslav, Heřman KOPKÁNĚ a Markéta KUBÁLKOVÁ. Manažerské výpočty a ekonomická analýza. V Praze: C.H. Beck, 2009. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-154-3.

[52] Tomáš Bruckner, Libor Gála, Filip Vencovský, Tomáš Hronek, Jakub Kříha, Petr Dvorský, Jan Šrubař. Přehled obvyklých cen ICT prací [online]. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta informatiky a statistiky, 2018 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi-tu6Jv6XwAhU6wAIHHdAzDQMqFjACegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fvskp.vse.cz%2F72340_cenik_obvyklych_cen_ict_praci&usq=AOvVaw1UQ5D3S1LicfZMR51Y-AJZ

[53] KLEINOVÁ, Jana. *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-704-3364-7.

[54] MZDY A ÚPLNÉ NÁKLADY PRÁCE [online]. Česká republika: CZSO, 2008 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20568959/311109a4.pdf/1d782303-a746-4fd0-b1c9-7266bd8cb8ae?version=1.0>

[55] FRONĚK Michael, společnost FANUC

[56] HRDÝ, Milan. Strategické finanční řízení a investiční rozhodování: učebnice pro kombinované a distanční studium, Fakulta ekonomická, Západočeská univerzita Plzeň. Praha: Bilance, 2008. ISBN 80-863-7150-6.