



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO TVAROVÁNÍ HADIČEK

DESIGN OF A STENT SHAPING UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Václavek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Marek Václavek
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2021/22

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

Návrh zařízení pro tvarování hadiček

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem diplomové práce je navrhnout zařízení pro tvarování hadiček pro využití ve zdravotnictví. Zařízení má vykonávat technologický cyklus stanovený zákazníkem. Hadičky uložené v paletkách budou do zařízení ručně vkládány operátorem. Zařízení má za úkol hadičky v paletce nejprve zahřát na požadovanou teplotu a posléze zchladit a vložit do mrazícího boxu. Po provedení technologického cyklu manipulátor paletku vrátí do základací stanice a operátor provede výměnu paletek. Zařízení musí splňovat podmínky pro funkci v čistých prostorách pro výrobu zdravotnických prostředků. Návrh zařízení musí obsahovat všechny hlavní konstrukční uzly, jmenovitě manipulační a základací zařízení, technologická stanoviště pro ohřev, ochlazení a podchlazení, rám zařízení a ostatní příslušenství potřebné pro funkci zařízení.

Cíle diplomové práce:

Zpracování rešerše v oblasti průmyslových robotů a manipulátorů.
Výběr vhodného robotu nebo manipulátoru v závislosti na požadovaných parametrech procesu.
Provedení systémového rozboru procesu tvarování hadiček a navrhnutí nového řešení.
Vytvoření konstrukčního návrhu zařízení podloženého potřebnými výpočty.
Provedení simulace pracovního cyklu zařízení.
Vypracování výkresové dokumentace vybraných dílů.
Provedení analýzy rizik zařízení.
Zhodnocení výsledků diplomové práce a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů VI. Čtvrté vydání. Praha: MM publishing, s. r. o., 2018. ISBN- 978-80-606310-8-3.

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této práce je provést konstrukční návrh jednoúčelového strojního zařízení určeného k tvarování plastových hadiček použitím tepla. Práce se nejprve zabývá rešerší průmyslových robotů, na základě jejíž výsledků je zvolen manipulační prostředek, který bude plnit stěžejní funkci ve stroji. Dle výsledků multikriteriální metody výběru byl zvolen robot Epson VT6L.

Na základě systémové analýzy zadání byly navrženy tyto výrobní procesy: ohřev topnými patronami, ochlazení vodně chlazenými čelistmi a dochlazování v chladicí komoře s dopravníky. Navržené metody byly zformulovány do podrobného konstrukčního řešení. Byla vypracována simulace pohybu robotu za účelem ověření tras robotu a zjištění přibližného taktu stroje. Stroj byl posouzen z hlediska bezpečnosti práce a na vybrané zdroje nebezpečí byla navržena opatření.

ABSTRACT

The goal of this thesis is to create a design of a single-purpose machine used to shape thin plastic tubes with the use of thermal processes. The thesis first focuses on research of industrial robots, which will be used as a basis for the selection of handling equipment performing key tasks within the machine. Based on the results of a multicriteria selection method, the selected industrial robot model is Epson VT6L.

The following manufacturing processes were proposed according to the analysis of the requirements: heating with the use of heating cartridges, cooling with water-cooled clamps and chilling in a refrigeration chamber with conveyors. The proposed techniques were formulated into a detailed design solution. A simulation of the robotic tasks was conducted in order to verify the trajectories of the robot and to estimate the cycle time of machine. The machine was assessed from the aspect of work safety and measures were proposed for selected sources of hazards.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jednoúčelový stroj, průmyslový robot, robotická manipulace

KEYWORDS

Single-purpose machine, industrial robot, robotic manipulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁCLAVEK, Marek. *Návrh zařízení pro tvarování hadiček*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139780>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Těmito slovy vzdávám vděk panu docentovi Radku Knoflíčkovi za cenné rady poskytnuté při řešení práce, ochotu a vstřícné jednání.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 19.05.2022

.....
Bc. Marek Václavek

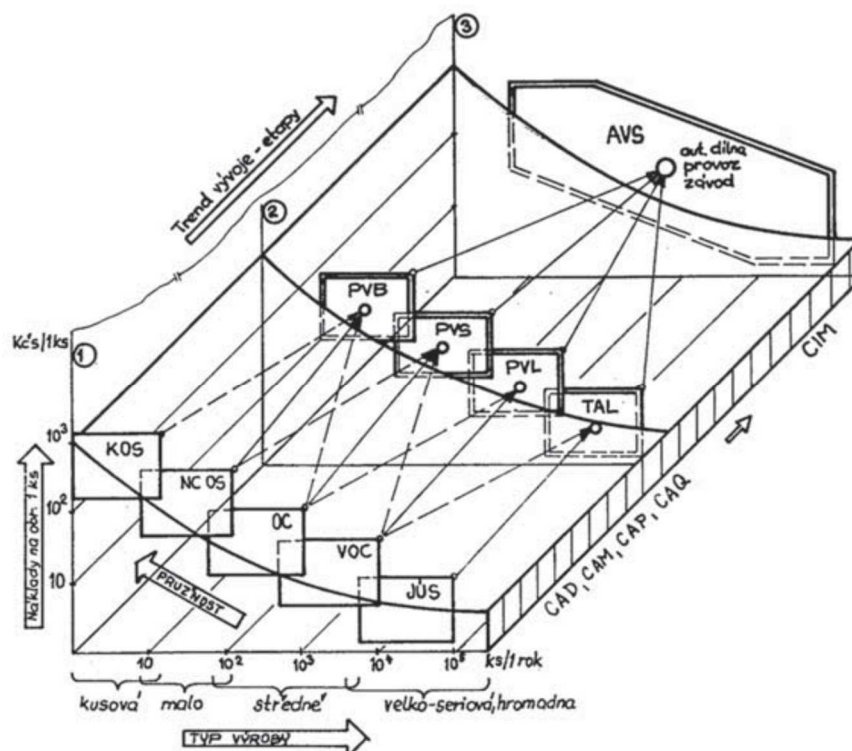
OBSAH

Úvod	15
ČÁST I. – Současný stav poznání.....	17
1. Základní atributy PRaM	17
1.1. Morfologie (stavba) robotu	17
1.2. Počet stupňů volnosti.....	19
1.3. Velikost a hmotnost robotu	19
1.4. Tvar a velikost obsluhovaného prostoru	19
1.5. Nosnost.....	20
2. Základní rozdělení PRaM	21
2.1. Rozdělení podle stupňů volnosti	21
2.2. Rozdělení průmyslových robotů dle kinematické struktury.....	22
2.3. Rozdělení podle určení	29
3. Základní součásti průmyslových robotů a manipulátorů	34
3.1. Pohony PRaM.....	34
3.2. Senzorika	35
3.3. Periferie	37
4. Koncové efekty	38
4.1. Manipulační koncové efekty	39
4.2. Technologické koncové efekty	42
4.3. Kombinované koncové efekty.....	42
5. Robotizace výrobních systémů	43
ČÁST II. – Konstrukční návrh zařízení	45
6. Systémový rozbor procesu	45
6.1. Popis produktu.....	46
6.2. Vývojový diagram procesu	48
6.3. Návrh technologických procesů	50
7. Návrh konstrukčního řešení	54
7.1. Strategie manipulace	54
7.2. Multikriteriální metoda výběru robotu	54
7.3. Návrh stroje	59
8. Detailní popis konstrukčního návrhu	61
8.1. Robot	61
8.2. Koncový efektor	63
8.3. Rám stroje.....	64
8.4. Technologická stanice ohřevu	65
8.5. Technologická stanice chlazení.....	67
8.6. Chladicí komora	68
8.7. Zakládací stanice	72
8.8. Rozvod elektrické energie	73
8.9. Rozvod stlačeného vzduchu	74

8.10.	Krytování pracovního prostoru	75
8.11.	HMI.....	77
9.	Odhad nákladů.....	78
ČÁST III. – Doprovodné výpočty		79
10.	Kontrola rámu.....	79
10.1.	Kontrola nosnosti závitů stavitelné nohy	79
10.2.	Kontrola svarů závěsných čepů	80
11.	Návrh koncového efektoru	81
11.1.	Kontrola uchopovací síly	81
11.2.	Optimalizace tvaru montážní desky efektoru	83
11.3.	Kontrola nosnosti robotu	90
12.	Návrh vyklápecí stanice	92
13.	Návrh topné patrony	93
14.	Návrh chladicí komory	98
14.1.	Návrh dopravníku	98
14.2.	Kontrola nosné konstrukce komory	106
ČÁST IV. – Simulace manipulačních operací.....		109
15.	Tvorba studie	109
15.1.	Robotický program	110
16.	Takt stroje.....	111
ČÁST V. – Posouzení rizik a návrh opatření		113
17.	Blokový diagram zařízení.....	113
18.	Identifikace zdrojů nebezpečí.....	120
18.1.	Analýza relevantních nebezpečných situací	123
19.	Posouzení rizik	132
19.1.	Metodika posouzení rizika.....	132
19.2.	Posouzení rizik nebezpečných událostí spojených s identifikovanými zdroji.....	133
20.	Opatření snižující riziko	138
Zhodnocení výsledků a doporučení pro praxi.....		141
Závěr		143
Seznam použitých zdrojů		145
Seznam použitých zkratk		149
Seznam použitých symbolů		150
Seznam použitých obrázků		153
Seznam použitých tabulek.....		155
Seznam příloh.....		156
Příloha č. 1		157
Příloha č. 2		163

ÚVOD

Jednoučelové stroje (JÚS) zastupují významnou skupinu výrobních strojů používaných v moderních výrobních procesech. Právě jejich uzpůsobitelnost jednomu typu nebo skupině zadaných výrobků je činí nenahraditelnými zvláště ve velkosériové výrobě, kde JÚS zastupují ty nejproduktivnější typy strojů ve výrobním procesu. Následující diagram reprezentuje typy obráběcích strojů, dá se však aplikovat i na jiné výrobní procesy a odvětví.



Legenda:

KOS – konvenční obráběcí stroje,
NCOS – číslicově řízené stroje jednopřesní,
OC – obráběcí centra,
VOC – víceřetenová obráběcí centra,
JÚS – jednoučelové stroje,
PVB – pružná výrobní buňka,
PVS – pružná výrobní soustava,
PVL – pružná výrobní linka,
TAL – tvrdá automatická linka,
AVS – automatizovaná výrobní soustava

Obr. 1-1 – Etapy automatizace ve výrobě [1]

Konstrukční proces JÚS je však náročný, a to jak z hledisek ekonomických, časových, i lidských. Po konstruktérovi jsou kladeny nároky na znalosti z mnoha různých odvětví, které často nemusí vůbec souviset se strojírenstvím. Tato práce se pokusí nastínit některé problematické aspekty procesu konstruování jednoučelového stroje.

ČÁST I. – SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Rešeršní část této práce se zabývá problematikou průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM) s důrazem na vlastnosti a rozdělení PRaM. Cílem rešerše je vytvořit přehledné shrnutí atributů PRaM a jejich periferií a poskytnout informace, na nichž bude zakládat volba vhodného robotu pro realizaci operací ve stroji.

1. Základní atributy PRaM

Při volbě nebo posuzování průmyslových robotů nebo manipulátorů je nutné zvažovat několik technických hledisek. Mezi nejvýznamnější aspekty se řadí [2; 3]:

- morfologie (stavba) robotu,
- počet stupňů volnosti,
- velikost a hmotnost robotu,
- tvar a velikost obsluhovaného prostoru,
- nosnost,
- dosažitelná přesnost a opakovatelnost,
- rychlost pohybů a zrychlení,
- způsob pohonu,
- odměřování polohy,
- vnímací schopnosti robotu,
- autonomnost,
- způsob řízení a možnosti komunikace,
- požadavky na připojení k elektrické síti,
- nároky na prostředí.

1.1. Morfologie (stavba) robotu

Stavba robotu vychází z jeho kinematické struktury. Tím je myšleno, jak má robot uspořádané jeho jednotlivé členy a jaké jsou mezi nimi kinematické vazby. Z nejzákladnějšího hlediska – typu jejich stupňů volnosti – je možno tyto vazby rozdělit na rotační (R) a translační (T). [2]

Tab. 1-1 – Schématické značky kinematické struktury dle VDI 2681 [4]

Prvek	Translační osa		Rotační osa	
	Teleskopická	Posuvná	Čep	Kloub
Schéma- tická značka				
Prvek	Koncový efektor		Konstrukční uzel robotu	
	Manipulační	Technologický		
Schéma- tická značka				

Mechanismus popsáný kinematickou strukturou je tzv. akční systém PRaM. Z konstrukčního hlediska jej lze rozdělit na [2]:

- pojezdové ústrojí,
- polohovací ústrojí,
- orientační ústrojí,
- koncové efektor.

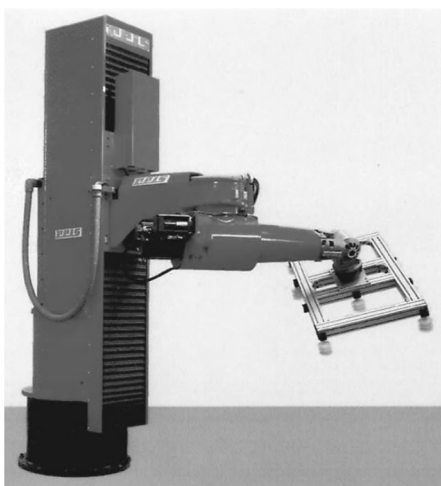
Kinematická struktura robotu, která udává jeho stavbu a je popsána kinematickým řetězcem, obsahuje pouze polohovací a orientační ústrojí robotu, pokud je jím vybaven. Nezahrnuje pojezdové ústrojí a koncový efektor, jelikož jsou tyto konstrukční uzly mezi různými koncovými zákazníky a aplikacemi vysoce variabilní. Místo toho jsou koncipovány jako přídatné periferie, které si může zákazník dokoupit, případně vyrobit dle jeho požadavků. [2]

1.1.1. Polohovací ústrojí robotu se sériovou kinematikou

Jak napovídá název, polohovací ústrojí robotu má za úkol polohovat a ustavit koncový bod kinematického řetězce robotu do zadané polohy. Konfigurace polohovacího ústrojí má zásadní dopad na stavbu robotu a tvar jeho pracovního prostoru. Požadavky na možnosti polohování udávají potřebný počet a typ kinematických dvojic, přičemž je doporučeno použití těchto základních spojení kinematických vazeb v závislosti na nejsložitějším požadovaném pohybu [2]:

- Pohyb přímočarý – T
- Pohyb po kružnici – R
- Pohyb po ploše – TT, RT, RR
- Prostorový pohyb – TTT, RTT, RRT, RRR

Uvedený seznam není vyčerpávající, ve vzácných případech je možno setkat se s roboty, s tzv. odvozeným spojením, které ve svém kinematickém řetězci nestaví translační vazby na konec řetězce, ale na jeho začátek nebo uprostřed (kinematický řetězec TR). [2]



Obr. 1-1 – Průmyslový robot s odvozeným spojením kinematického řetězce polohovacího ústrojí (RTR) [4]

1.1.2. Orientační ústrojí robotu se sériovou kinematikou

Robot opatřený pouze polohovacím ústrojím není schopen měnit orientaci manipulovaného předmětu vzhledem ke svému koncovému článku. Z tohoto důvodu bývají roboty doplněny orientačním ústrojím, které navazuje na polohovací ústrojí a je zakončeno rozhraním pro koncový efektor. [2]

Orientační ústrojí je, mimo opodstatněné výjimky vycházející ze speciálních potřeb konstrukce robotu nebo jeho aplikace, tvořeno výhradně rotačními kinematickými dvojicemi. Těchto dvojic může mít libovolný počet, v nejčastějších případech je však opatřen třemi. [2]

Orientační ústrojí může být řešeno jako integrované, tzn. vestavěné do struktury robotu nebo přídavné, které může být řešeno buď jako jeden celek s více stupni volnosti nebo jako stavebnice složená z několika jednoosých modulů. Vyžaduje-li to aplikace, moduly lze přidat i na robot s integrovaným orientačním ústrojím za účelem zvýšení jeho flexibility. [2]

1.2. Počet stupňů volnosti

Počet stupňů volnosti je opět daný kinematickou strukturou robotu. Tento parametr při zvážení charakteru a uspořádání kinematických dvojic robotu lze použít jako indikaci jeho flexibility. Běžně používané průmyslové roboty, které mají využitelné univerzálně jsou opatřeny obvykle 5 až 6 stupni volnosti, existují však roboty jak s počtem vyšším, tak i nižším. Počet stupňů volnosti není indikativní úrovní pokročilosti robotu. Roboty a manipulátory s nižším počtem stupňů volnosti nachází stále hojně využití v moderních průmyslových aplikacích. [2; 5]

Počet stupňů volnosti bývá také používán k základnímu rozčlenění PRAm. Další informace k tomuto viz. kapitola 2.1.

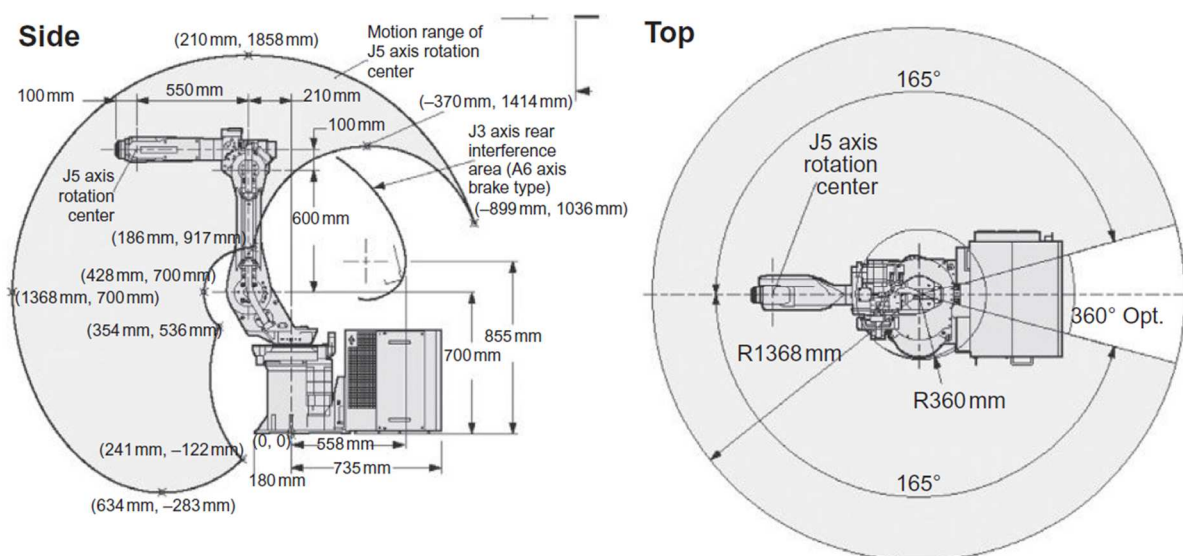
1.3. Velikost a hmotnost robotu

Velikost a hmotnost robotu úzce souvisí s jeho stavbou. Tyto parametry mají v kombinaci s pohony robotu rozhodující dopad na jeho dynamické vlastnosti. Obecně platí během konstrukčního procesu snaha minimalizovat vlastní hmotnost robotu, avšak jen do takové míry, aby nebyly příliš velké ztráty na tuhosti jeho konstrukce. Požadovaná tuhost vychází z požadavků aplikace, pro kterou je robot zamýšlen. Při manipulaci s lehkými břemeny není robot tolik zatěžován, konstruktér si tedy může dovolit větší snížení hmotnosti na úkor tuhosti. Robot má poté díky menší hmotnosti lepší dynamické vlastnosti a může tím pádem vykonávat rychlejší pohyby. Na druhou stranu, pro aplikace, kde na robota působí větší síly, je jeho konstrukce samozřejmě masivnější. Vyšší hmotnost robotu klade také vyšší nároky na jeho pohonné ústrojí, aby bylo vůbec schopné robot uřídít. [5; 6]

1.4. Tvar a velikost obsluhovaného prostoru

Tvar a velikost obsluhovaného prostoru je definována velikostí průmyslového robotu společně s jeho kinematickou strukturou. Výrobci používají k popisu tvaru pracovního prostoru jeho obálku (viz. Obr. 1-2); v podstatě se jedná o mračno bodů složeného z okrajových pozic, které je robot schopen obsloužit s minimálně jednou platnou konfigurací kinematické struktury. Konfigurací se rozumí póza, kterou je robot s ohledem na jeho kinematickou strukturu schopen dosáhnout. Typicky se tyto body volí na koncové přírubě polohovacího ústrojí nebo na ose

zápěstí orientačního ústrojí, je-li jím robot opatřen. Jako příkladem mohou být šestiosé kloubové roboty, kde se bod volí na ose rotace páte osy. [2; 3]

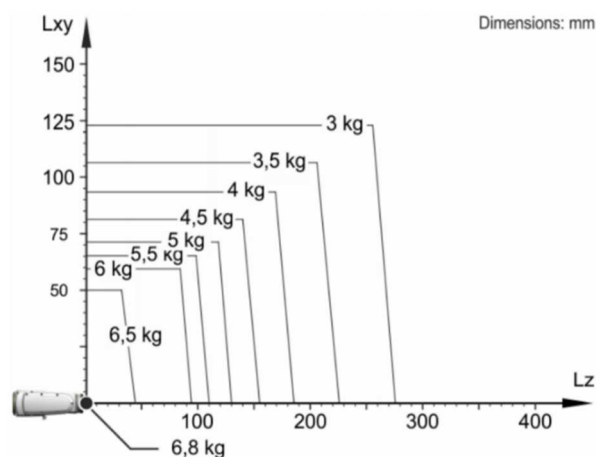


Obr. 1-2 – Typická reprezentace pracovního prostoru robotu [3]

1.5. Nosnost

Nosnost robotu typicky udává maximální hmotnost koncového efektoru na přírubě robotu a dalších periférií připevněných na polohovacím nebo orientačním ústrojí. Nosnost a dosah robotu jsou klíčové parametry potřebné pro předběžnou volbu robotu. Z tohoto důvodu tyto parametry mnozí výrobci uvádějí v názvech typových řad robotů. Někteří výrobci udávají dvě nosnosti: jmenovitou, což je hmotnost, kterou může robot nést bez nutného omezení dynamických vlastností a nosnost maximální. [2; 3]

Nosnost na přírubě pro koncový efektor je závislá na rozměrech, a hlavně na těžišti samotného koncového efektoru. Tato závislost je reprezentována diagramem nosnosti (payload diagram) a ve většině případů dohledatelná v datovém listu robotu poskytnutého výrobcem. Vzdálenost těžiště může být myšlena buď od příruby robotu nebo od jeho zápěstí a liší se od výrobce k výrobcu. Způsob měření by však měl být opět dohledatelný v datovém listu nebo přímo naznačený v diagramu nosnosti (viz. Obr. 1-3). [3]



Obr. 1-3 – Diagram nosnosti robotu (KUKA AGILUS KR 6 R700-2) [7]

2. Základní rozdělení PRaM

Pojem PRaM zaštiťuje širokou škálu manipulačních prostředků, do jejichž hlavních kategorií spadají [2]:

- průmyslové roboty,
- mobilní servisní roboty,
- teleoperátory, balancery a podobná manipulační zařízení.

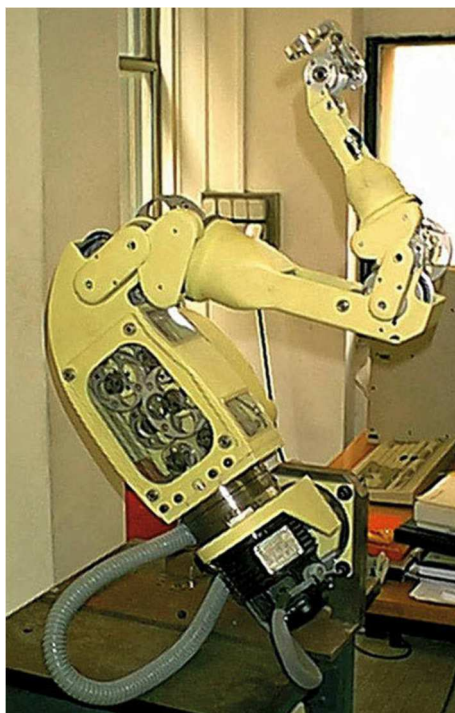
Jelikož se jeden z cílů této práce zabývá volbou vhodného průmyslového robotu, rešerše charakteristických rysů, podle kterých jsou PRaM členěny bude soustředěna právě průmyslové roboty.

2.1. Rozdělení podle stupňů volnosti

Základní způsob rozdělení robotů je podle jejich počtu stupňů volnosti. To udává, jaké pohyby dokáže robot vykonávat. Počet stupňů volnosti vychází z kinematické struktury robotu – z typů použitých kinematických vazeb, jejich počtu a zařazení v kinematickém řetězci. [2; 5]

Z hlediska univerzality průmyslového robotu je vhodné, aby byl schopen pohybu podél všech translačních a rotačních os. Z hlediska konstrukce robotu to znamená, že je potřeba, aby měl kinematický řetězec robotu šest stupňů volnosti. [5]

Mohou nastat situace, kdy je po robotu požadována vyšší úroveň flexibility. V takovém případě se naskýtá možnost použití robotů s vyšším počtem stupňů volnosti, než je potřebné k provedení úkonu. I přes to, že pro volný pohyb ve 3D teoreticky dostačuje 6 stupňů volnosti, přídavné stupně zvyšují schopnosti robotu v navigaci těsnými prostory a obecně v realizaci složitějších pohybů. Takovéto roboty se poté nazývají redundantní roboty. Příklad takového robotu viz. Obr. 2-1. [2; 5; 8]



Obr. 2-1 – Redundantní robot DEXTER s 8 stupni volnosti [8]

Na druhou stranu existují případy, kdy robot při své činnosti nevyužije všechny stupně volnosti a tím pádem je nepotřebuje. Je samozřejmě nutné zohlednit možné rozšíření robotického programu, ale v případech, kdy je robot nebo manipulátor nasazen pro jednoúčelové použití, je vhodné zvažovat použití řešení s méně stupni volnosti. Příkladem mohou být manipulátory pro výměnu nástrojů v CNC obráběcích centrech, které vykonávají neměnné pohyby a obvykle vyžadují jen dva stupně volnosti. [5; 1]

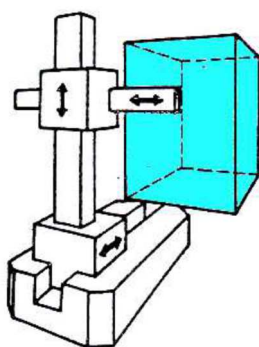
2.2. Rozdělení průmyslových robotů dle kinematické struktury

Typicky, kinematická struktura robotu sestává ze sériového či paralelního řetězce rotačních a translačních kinematických vazeb. Roboty lze na základě tohoto uspořádání rozčlenit do několika skupin. V moderních průmyslových odvětvích mají dominantní zastoupení tyto skupiny [3; 9]:

- kartézské roboty,
- kloubové roboty,
- sférické roboty,
- cylindrické roboty,
- roboty SCARA,
- paralelní (Delta) roboty.

2.2.1. Kartézské roboty

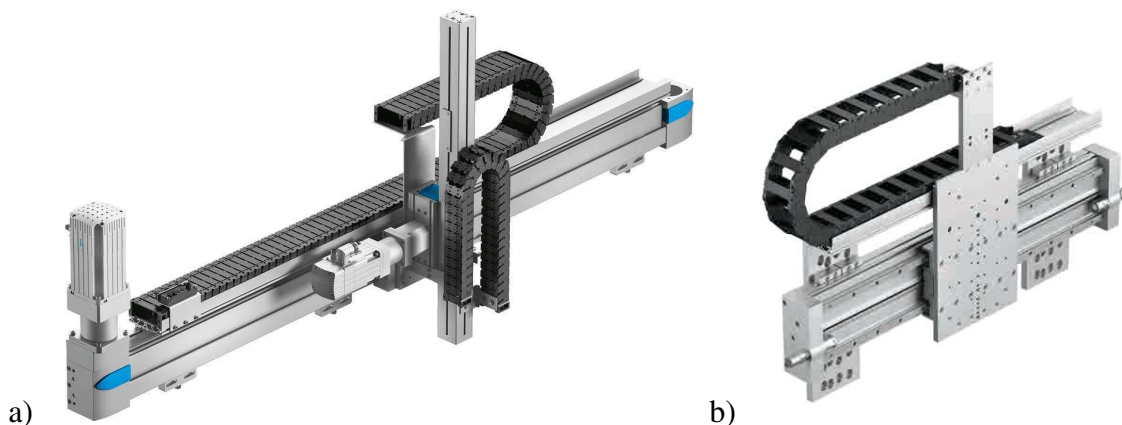
Roboty s kartézskou kinematickou strukturou jsou z hlediska tvaru pracovního prostoru a řízení nejjednodušší variantou průmyslových robotů s trojrozměrným pracovním prostorem. Jak napovídá název, polohovací ústrojí robotu s kartézskou kinematickou strukturou je složeno ze tří vzájemně kolmých lineárně vedených os, realizujících translační pohyb v souřadnicích XYZ. Jedná se tedy o kinematickou strukturu složenou z polohovacího ústrojí TTT, z čehož vyplývá, že tomuto typu robotů přísluší pracovní prostor výhradně krychlového nebo kvádrového tvaru. [2; 3]



Obr. 2-2 – Pracovní prostor kartézského robotu [10]

V případě potřeby je možno koncovou přírubu manipulátoru doplnit o orientační ústrojí realizované trojicí rotačních os. Přídavné rotační osy robotu dodávají flexibilitu, nutnou pro realizaci složitějších manipulačních či technologických operací, robot je však nadále limitován charakterem vlastní nosné konstrukce, kvůli čemuž stále nebude schopen konkurovat flexibilnějším typům robotů jako jsou například roboty kloubové. [3; 4]

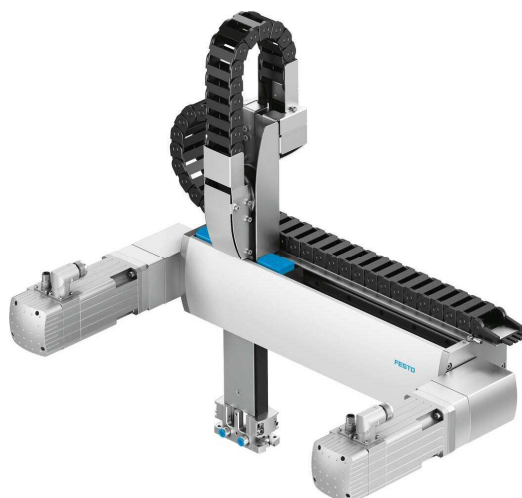
Jelikož je jejich kinematická struktura složená čistě z lineárních os, tyto roboty vykazují vysokou nosnost, kde největší zástupci této kategorie mohou manipulovat s břemeny o hmotnosti až několika tun. Stejně tak tyto roboty ve srovnání s ostatními typy mohou disponovat výrazně větším pracovním prostorem, kde nejdelší osa manipulátoru může dosahovat až několik desítek metrů. Ve srovnání s ostatními typy robotů také mají daleko větší rozměrovou flexibilitu. Existují výrobci, kteří dodávají tyto typy robotů buď s rozměry na míru, nebo v modulárním stavebnicovém provedení, které umožňuje sestavení robotu s požadovanými délkami os. [3; 8; 4]



Obr. 2-3 – Stavebnicové provedení kartézských robotů
a) Stavebnicový robot Festo YXCL, b) Modulární osa kartézského robotu [11]

Vzhledem k jejich modularitě a rozmanitosti parametrů, roboty s kartézskou kinematickou strukturou nachází uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. Jsou rozsáhle používány pro manipulační operace, a obzvláště pro paletizaci, kde není nutná složitější reorientace skládaných předmětů. Používají se také jako roboty pro realizaci technologických operací jako lehké obrábění či 3D tisk. [4]

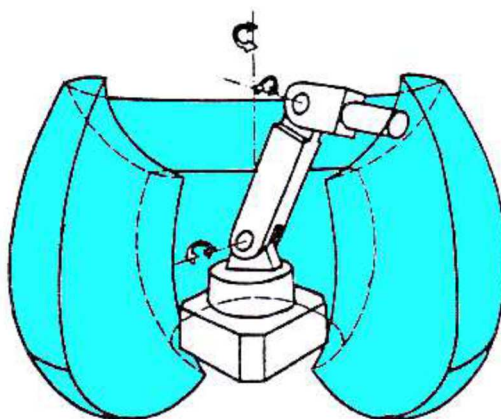
Odnoží kartézských robotů se schopností trojrozměrného pohybu jsou roboty s dvěma kolmými lineárními osami, jak je například na Obr. 2-4. Díky své jednoduchosti jsou zvláště vhodné jako jednoúčelové manipulátory pro jednoduché 2D Pick-and-Place úlohy. [4]



Obr. 2-4 – Dvouosý kartézský robot Festo EXCT [12]

2.2.2. Kloubové roboty

Kloubové roboty, někdy nazývané také kloubová robotická ramena, antropomorfní roboty nebo artikulované roboty, představují nejběžnější konfiguraci kinematické struktury. Tato konfigurace vychází z anatomie lidské paže a jedním z jejích charakteristických vlastností je její značná flexibilita. Pracovní prostor typického kloubového robotu připomíná sférický či toroidní tvar. [3]



Obr. 2-5 – Pracovní prostor kloubového robotu (bez orientačního ústrojí) [10]

Kinematická struktura kloubových robotů se vykazuje typicky šesti sériově řazenými rotačními vazbami, kde první tři tvořící ústrojí polohovací a zbylé ústrojí orientační. Použití kinematického řetězce s vyšším počtem rotačních vazeb robotu umožňuje dosažení zvoleného bodu v pracovní obálce několika různými konfiguracemi. Díky této vlastnosti jsou roboty vhodné nejen pro složité manipulační operace, ale i technologické operace jako svařování, lepení nebo lakování. [2; 3]

Mimo nejběžnější šestiosé kloubové roboty existují i modely s redundantní sedmou i další osou, která působí jako přídatná osa orientačního ústrojí. Ta robotu umožňuje vyšší flexibilitu, která je zvláště vhodná při pohybu v těsných místech nebo k dosažení složitých poloh. [5; 3]

Taktéž je možno setkat se s rozšířenou variantou kloubových robotů s nižším počtem os, jmenovitě se čtyřmi, kde tři osy tvoří polohovací ústrojí robotu a poslední čtvrtá zastupuje orientační ústrojí umožňující rotaci příruby robotu okolo její osy Z. Snížením počtu os se na úkor flexibility zvyšuje tuhost robotu, což umožňuje manipulaci s těžšími břemeny při vyšších rychlostech. Z tohoto důvodu jsou tyto roboty využívány obzvláště při paletizaci, kde není nutná složitá reorientace skládaného produktu (viz. Obr. 2-6). [3]

Kloubové roboty jsou dostupné s maximálním dosahem v rozpětí 0,5 až 3,5 metrů a maximální nosností typicky od 3 do 1 000 kg, vlivem rozmanitosti tohoto typu kinematické struktury však existují modely, které tyto parametry dalece překračují. Například FANUC nabízí roboty v řadě M-2000iA s modely s maximální nosností až 2 300 kg (viz. Obr. 2-7) nebo maximálním dosahem 4,7 metru. [3; 13]



Obr. 2-6 – Paletizační robot ABB IRB 460 [14]

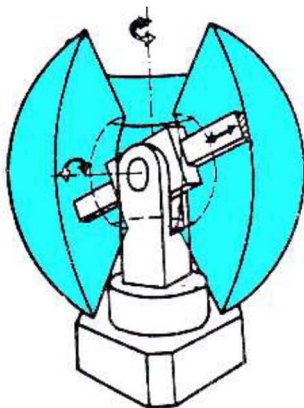


Obr. 2-7 – FANUC M-2000iA/2300 [13]

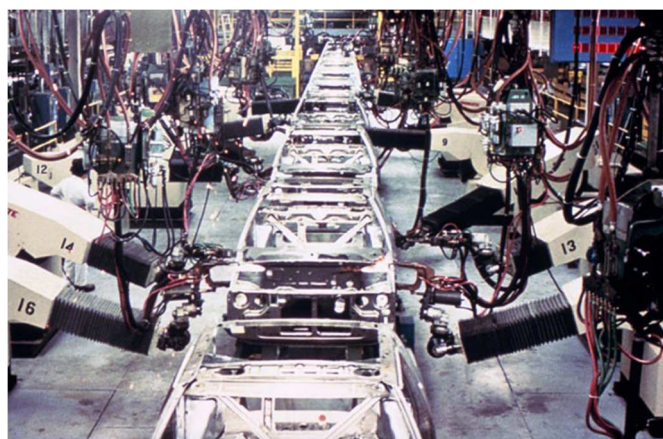
2.2.3. Sfěrické roboty

Sfěrické roboty, jak vyplývá z názvu, jsou charakteristické svou vnější obálkou pracovního prostoru ve tvaru koule (viz. Obr. 2-8). K dosažení tohoto tvaru pracovního prostoru mají uspořádání kinematické struktury ve tvaru RRT.

V současnosti roboty tohoto typu hrají omezené množství rolí, ze kterých jsou postupně vytlačovány pokročilejšími kloubovými roboty. Využití nachází hlavně v aplikacích, kde využívají dosahu svého štíhlého, lineárně výsuvného ramene. Typický příklad takovéto aplikace je manipulace s obrobky v obráběcích strojích. Před širším nástupem kloubových robotů byly také hojně využívány v automobilním průmyslu (viz. Obr. 2-9). [2; 4]



Obr. 2-8 – Pracovní prostor sférického robotu [10]

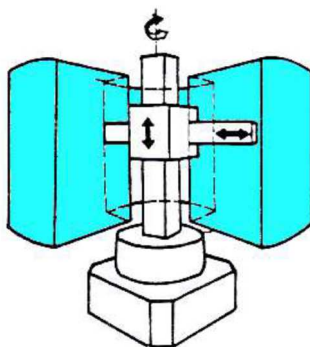


Obr. 2-9 – Svařovací linka se sférickými roboty [3]

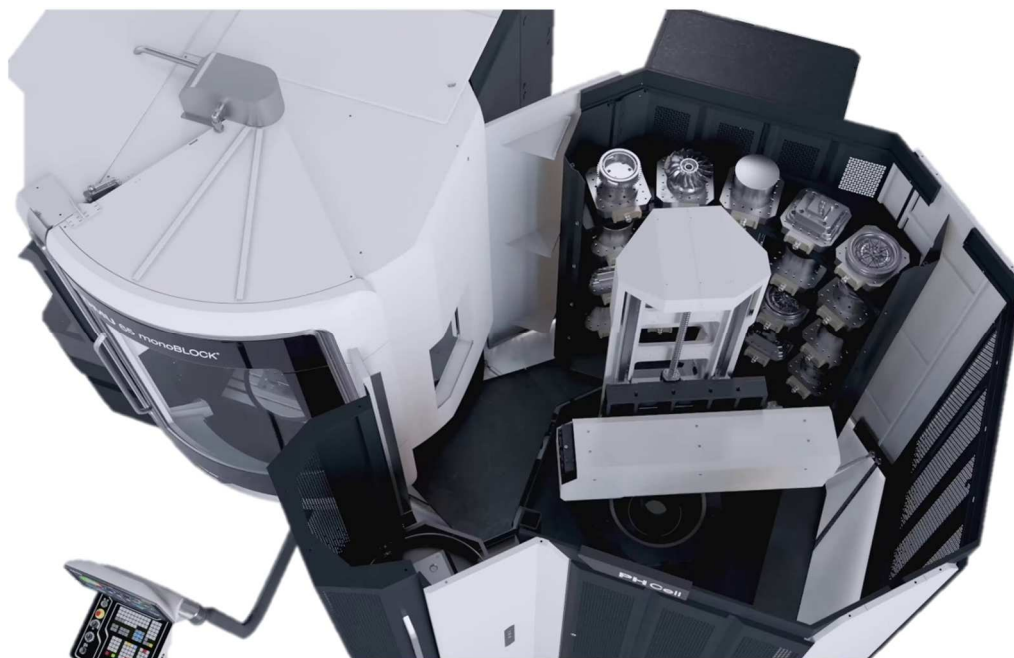
2.2.4. Cylindrické roboty

Roboty této konfigurace kombinují rotační a translační kinematické vazby, tak aby měl pracovní prostor robotu válcový tvar (viz. Obr. 2-10). Typicky takovéto roboty mají uspořádání kinematických členů typu RTT, kde na rotační osu v patě robotu navazuje svislá lineární osa, která následně unáší lineární osu horizontální. [3]

Takováto struktura se vykazuje dobrou tuhostí, a díky výsuvnému rameni je vhodná pro manipulaci v omezených prostorech. Tyto typy robotů nachází uplatnění při obsluze strojů, kde využívají štíhlého profilu výsuvného ramene ke vstupu do často omezeného pracovního prostoru stroje. Příklad takovéto aplikace může být systém pro automatickou výměnu obrobků (AVO) viz. Obr. 2-11. [3]



Obr. 2-10 – Pracovní prostor cylindrického robotu [10]

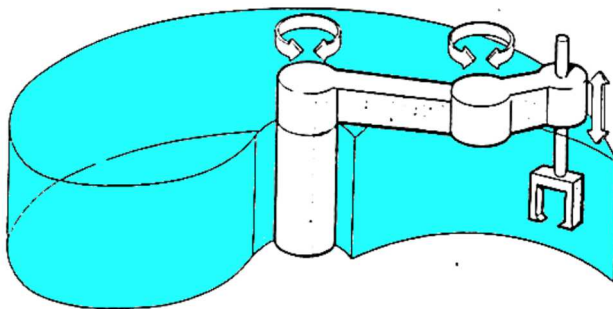


Obr. 2-11 – Systém AVO DMG MORI PH Cell s cylindrickým robotem [15]

2.2.5. Roboty SCARA

Roboty typu SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) jsou, jak napovídá název, určeny obzvláště pro montážní operace. Základem tohoto typu robotů je polohovací ústrojí typu RRT, jehož rotačních osy jsou paralelní jak mezi sebou, tak se směrem pohybu svislé translační osy. Typicky mají tyto roboty jednu další rotační osu, opět paralelní s předchozími, která figuruje jako osa orientačního ústrojí. [8; 3]

Roboty SCARA spadají mezi menší roboty, s typickou maximální nosností do 6 kg a maximálním dosahem do 1 m. Jejich kinematické uspořádání jim dává dobrou tuhost ve svislém směru, což umožňuje polohování s vysokou přesností a opakovatelností i za vysokých rychlostí a zrychlení. Díky štíhlé translační ose jsou tyto roboty vhodné i pro montáž v těsných prostorech. Tyto vlastnosti v kombinaci s pohyby, které dovoluje jejich kinematická struktura, činí tyto roboty zvláště vhodné pro montáž malých komponent. Příkladem těchto operací je osazování desek s tištěnými spoji a podobné činnosti v elektronickém odvětví, kterému tento typ robotu dominuje (viz. Obr. 2-13). [3; 4]



Obr. 2-12 – Pracovní prostor robotu SCARA [10]

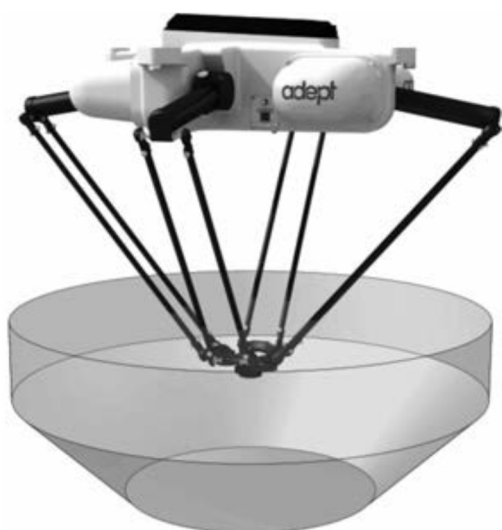


Obr. 2-13 – Montážní linka elektronických součástí opatřená SCARA roboty [4]

2.2.6. Paralelní (Delta) roboty

Tato relativně nová skupina robotů se výrazně odlišuje od těch předem vyjmenovaných. Na rozdíl od tradičních robotů, které používají sériové řazení kinematického řetězce, kde jsou kinematické dvojice řazeny jedna za druhou, paralelní kinematika spočívá v tom, že všechny kinematické dvojice jsou na společné základně a jsou táhly přímo spojeny s koncovou plošinou nesoucí přírubu robotu. [2; 3]

Toto netradiční uspořádání s sebou nese jisté výhody. Na rozdíl od mechanismů se sériovou kinematikou nedochází ke sčítání polohovacích nepřesností jednotlivých os. To Delta robotům dovoluje polohování s vyšší přesností a opakovatelností. Další výhoda spočívá v tom, že pohyblivá konstrukce delta robotu je výrazně lehčí oproti robotům se sériovou kinematikou, které musí nést přídatnou hmotnost jednotlivých kinematických členů. Lehká a tužší konstrukce znamená pro Delta robot lepší dynamické vlastnosti, což dovoluje velké rychlosti a zrychlení při polohování. [2; 3; 4]



Obr. 2-14 – Pracovní prostor robotu s paralelní kinematikou [6]



Obr. 2-15 – Manipulace s drobnými předměty Delta robotem [3]

Roboty s paralelní kinematikou mají typicky 3 nebo 6 translačních os. Tříosé Delta roboty (někdy nazývané tripody) jsou schopny polohovat koncový bod pouze v translačních souřadnicích XYZ, zatímco šestiosý Delta robot (hexapod) dokáže polohovat i v rotačních souřadnicích ABC. Tripody mohou být přídatně opatřeny sériovým orientačním ústrojím. V takovémto případě se však nejedná o roboty s ryze paralelní kinematickou strukturou; jsou namísto toho někdy nazývány jako roboty s hybridní kinematickou strukturou. Mimo již zmíněné existují i varianty se čtyřmi osami, které dovolují translaci ve všech třech osách, a navíc umožňují natočení plošiny s koncovým efektozem okolo jedné osy. [2; 8; 4]

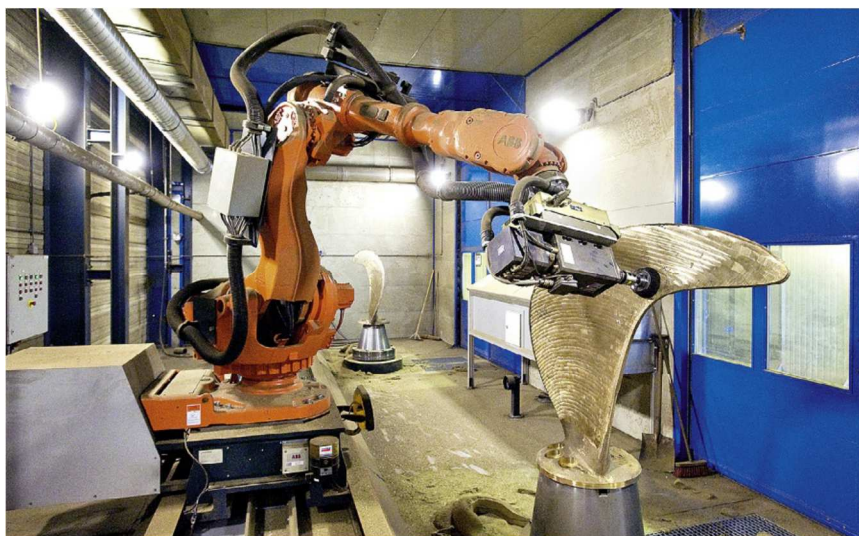
Delta roboty však trpí na jejich omezený pracovní prostor. V kombinaci s jejich omezenou nosností, typicky do 8 kg, je zřejmé jejich uplatnění při manipulaci s malými předměty. Delta roboty mají mnohé vlastnosti podobné robotům typu SCARA, sdílí tedy spolu odvětví, kde jsou nejvíce uplatnitelné. Nejčastěji bývají používány k manipulaci s drobnými díly v elektrotechnice, nebo k manipulaci v medicínském či potravinářském průmyslu. [3]

2.3. Rozdělení podle určení

Kromě univerzálních robotů je možno setkat se s roboty, které byly navrženy nebo upraveny tak, aby byly vhodnější k realizaci určitých úkolů nebo technologických procesů. Obecně je možné procesy, které vykonávají roboty, rozdělit do následujících skupin [2; 8]:

- manipulace,
- montáž,
- měření,
- opracovávání materiálu,
- svařování a lepení,
- lakování,
- speciální operace.

Pro první čtyři skupiny vyjmenované v seznamu se ve většině situací používají standartní modely robotů. Mohou se však mezi nimi vyskytovat odlišnosti, které vychází z požadavků prostředí nebo průmyslu, pro které jsou roboty požadovány. Příkladem mohou být roboty určené pro potravinářský nebo medicínský průmysl, kde jsou vyžadovány lepší hygienické podmínky spojené s prací v čistých prostorách, nebo roboty pro slévárenský průmysl, na které jsou kladeny vyšší nároky na krytování robotu, aby nedošlo k vniknutí nepřiměřeného množství nečistot. [3; 4]



Obr. 2-16 – Standartní kloubový robot s obráběcím vřetenem [3]

2.3.1. Svařovací roboty

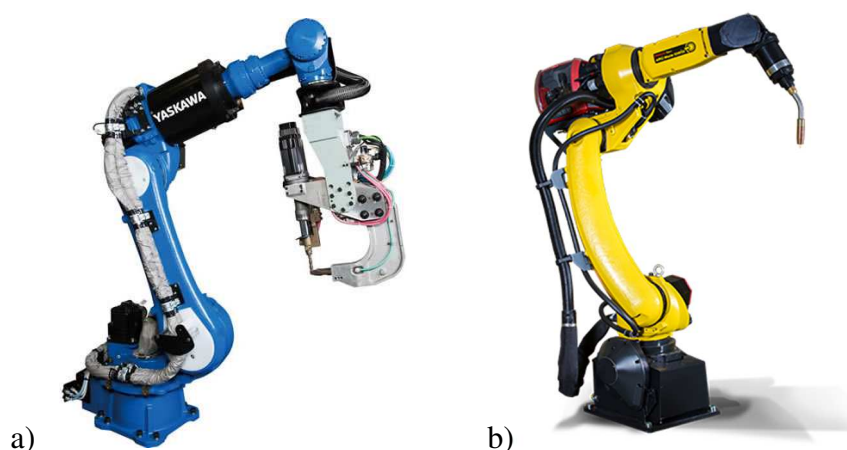
Roboty provádí typicky obloukové svařování technologií MAG nebo bodové svařování. Tyto technologie nepožadují výrazné změny v konstrukci robotu oproti standartním modelům, kladou však nároky na jeho vlastnosti [3; 8]:

- Vhodný dosah a flexibilita robota – roboty určené ke svařování bývají typicky kloubové s nejméně šesti stupni volnosti. Svařovací buňka může být také opatřena přídatnými polohovacími zařízeními (viz. Obr. 2-17, a) nebo lineární pojezdovou jednotkou pro robot (viz. Obr. 2-17, b).



Obr. 2-17 – Periferie pro robotické svařovací buňky
a) Polohovadlo ABB IRBP A [16], b) Lineární jednotka Güdel TrackMotion Floor TMF [17]

- Zvýšená nosnost robota – robot musí být schopen unést samotnou svařovací hlavici, která může, zvláště u technologie bodového svařování (viz. Obr. 2-18, a), dosahovat velkých rozměrů a hmotností (až několika desítek kilogramů). V častých případech také bývá robot osazen i přídatnými zařízeními jako svařovací invertor nebo kabelový paket (viz. Obr. 2-18, b).



Obr. 2-18 – Roboty pro bodové a obloukové svařování
a) Robot pro bodové svařování Yaskawa SP100 [18],
b) Robot pro obloukové svařování FANUC ARC Mate 100iD opatřený invertorem a svařovacím dress paketem [19]

- Zvýšená opakovatelnost a přesnost polohování, typicky polohování s přesností ± 1 mm a opakovatelností $\pm 0,05$ mm a lepší.
- Možnost použití softwarových balíčků pro svařovací technologie a schopnost komunikace se svařovacím nástrojem a jeho periferiemi.

Vzhledem k tomu, že svařovací roboty musí v četných případech provádět svařování i zevnitř součástí, mají mnohé typy svařovacích robotů duté zápěstí polohovacího ústrojí, které umožňuje vést svařovací kabeláž uvnitř. To zmenšuje profil robotu v okolí orientačního ústrojí a umožňuje mu navigaci ve stísněných prostorech, aniž by hrozilo zachycení volných kabelů. [2]

2.3.2. Roboty pro lakování

Další typ procesu, kde jsou zřejmé výhody použití robotů ve srovnání s lidskou pracovní silou je lakování. Výpary vzniklé během lakování při špatných podmínkách mohou mít na lidské tělo dlouhodobé zdravotní následky. Zároveň je však náročné udržet prostory pro lakování čisté a dobře větrané. Z tohoto důvodu je v posledních letech snaha kompletně eliminovat nutnost lidské přítomnosti v lakovacích procesech a nahradit je lakovacími roboty. [8; 6]

Při nedostatečném odvětrání může v lakovacích prostorech vzniknout výbušné prostředí. Z tohoto důvodu byly první lakovací roboty vyvinuty s výhradně pneumatickými pohony. Moderní lakovací však díky technologickým pokrokům v oblasti elektrických pohonů a vhodněji navrženému krytování využívají dominantně elektrické servopohony. [8]

Lakovací roboty jsou typicky konstruovány s dutým zápěstím, které jim umožňuje vhodné vedení hadic s lakovací směsí a plynem bez nutnosti kompromisů na rychlosti nebo obratnosti robotu. Moderní lakovací roboty jsou obvykle opatřeny polohovacím i orientačním ústrojím a mají minimálně šest stupňů volnosti. Díky jejich flexibilitě jsou nejčastěji užívány roboty kloubové. [8; 4]



Obr. 2-19 – RTP s lakovacími roboty [3]

Starší typy lakovacích robotů byly programovány pomocí přímého učení, kde programátor robot vedl podél jeho určených lakovacích drah, které poté robot kopíroval. Modernější lakovací roboty využívají čistě offline přístupu. Mnozí výrobci softwaru pro offline programování nabízí softwarové balíčky přímo pro lakovací procesy, které mimo samotné programování umožňují provádění simulací procesu za účelem optimalizace nanášení laku, tloušťky jeho vrstvy a pokrytí lakovaného předmětu. [8]

2.3.3. Kolaborativní roboty

Kolaborativní roboty, někdy nazývané taky koboty, jsou speciální typy průmyslových robotů, které jsou uzpůsobeny ke spolupráci s lidskými pracovníky. Jelikož jsou během práce v bezprostřední blízkosti s člověkem, jsou na ně kladeny mnohem vyšší bezpečnostní požadavky. Z tohoto důvodu jsou oproti standartním robotům vybaveny přídatnými senzory a vyšší úrovní inteligence, což jim dovoluje identifikovat nebezpečné situace a vhodně reagovat. [6; 8]



Obr. 2-20 – Příklad pracoviště s kolaborativním robotem [20]

Kolaborativní roboty jsou na trhu stále relativně nové, první model kolaborativního robotu byl vydán teprve v roce 2008. První generace kolaborativních robotů se z bezpečnostních důvodů pohybovaly velmi pomalu, což mělo velký dopad na jejich produktivitu. S jejich evolucí však došlo k jejich zrychlování a mnohé moderní koboty fungují ve dvou rychlostních režimech – jeden se sníženými rychlostmi, do kterého robot automaticky přepne, když zaznamená přítomnost člověka a druhý režim s plnou rychlostí, při které je schopen konkurovat produktivitě standartních robotů, avšak bez nutnosti použití ochranného oplocení nebo jiné formy zakrytí pracovního prostoru. [6; 8]

Aby bylo možné autonomně přepínat mezi zmíněnými rychlostními režimy, kobot musí být schopen identifikovat přítomnost člověka. Z tohoto důvodu mohou být koboty opatřeny kamerovými systémy nebo senzory pro detekci pohybu. Mimo to mají typicky osy opatřené o měření momentu, na základě čehož může robot předvídat, jestli došlo k jeho kolizi s operátorem nebo svým okolím. [6; 8]

Koboty jsou často distinktivní také svým vzhledem, který opět vychází hlavně z jejich požadavků na bezpečnost. Namísto ostrých hran používají zaoblené tvary a jejich struktura je navržena tak, aby nemohlo dojít k zachycení operátora. Namísto typické kovové konstrukce jsou vnější díly kobotů vyrobeny z měkčích plastů nebo krytovány polstrováním. Pohony i osy jsou kompletně krytovány, aby nemohlo dojít ke skřípnutí končetin. Další nestandartní rys některých kobotů je, že mohou být opatřeny dvěma robotickými rameny. [6; 8]



Obr. 2-21 - Dvouramenný kobot Yaskawa MOTOMAN CSDA10F [21]

2.3.4. Roboty pro speciální aplikace

Roboty pro speciální aplikace bývají jednomyslně uzpůsobeny činností, které mají za úkol vykonávat. Roboty této kategorie nachází velké využití ve vykonávání prací v prostředích, které jsou nehostinné pro lidské operátory. Lze mezi ně řadit například [2; 8]:

- podmořské roboty,
- roboty pro práci s výbušninami,
- létající roboty (drony),
- mikro a nanoroboty,
- vesmírné roboty,
- biomimetické roboty.

3. Základní součásti průmyslových robotů a manipulátorů

Robot jakožto systém je složen ze čtyř základních částí, které mají zásadní dopad na funkčnost robotu [22]:

- machineware,
- hardware,
- software,
- brainware.

Pojmem machineware (MW) se rozumí mechanické části robotu. Patří zde samotná mechanická konstrukce robotu, včetně jejích akčních členů – pohonů, které mohou být podle svého principu rozděleny na elektromechanické nebo hydromechanické. [22]

Hardwarem (HW) robotu je fyzická část řídicího a vnímacího systému robotu. HW komponentami robotu jsou například jeho senzory, komunikační rozhraní a sběrnice a řídicí systém ve formě kontroléru. [22]

Softwarovou (SW) část robotu tvoří počítačové instrukce, které slouží k řízení funkcí robotu. Patří k nim i samotný robotický program popisující dané operace, které má robot za úkol vykonávat. [22]

Brainware (BW) je v podstatě částečně dílčí komponentou SW části robotu. Na rozdíl od předchozích tří BW není k zajištění funkčnosti robotu nezbytně nutný. BW tvoří tzv. znalostní systémy, které jsou buď do robotu vloženy výrobcem, nebo se vyvíjí souběžně s funkcí robotu sběrem a vyhodnocováním dat získaných při práci. Příkladem takového znalostního systému může být algoritmus pro rozpoznávání předmětů nebo značení, podle kterého může vykonat rozhodnutí kam daný předmět patří apod. [22]

3.1. Pohony PRaM

U PRaM je možné setkat se s pohony pneumatickými, hydraulickými nebo častěji s elektromagnetickými, které představují dominantní zastoupení typů pohonů. Z ekonomických důvodů, pohony PRaM (někdy také aktuátory) bývají nejčastěji voleny z těch již komerčně dostupných. [8]

Předností pneumatických pohonů je velká dostupnost různých pneumatických komponent. Využitím stlačeného vzduchu se robot stává vhodným pro práci v prostředí s těkavými látky, kde by elektromagneticky poháněné roboty mohly působit jako iniciátory. Díky stlačitelnosti vzduchu jsou roboty poddajné, což může být pro některé aplikace přínosem. Na druhou stranu to pro robot znamená nízkou tuhost a špatnou polohovací odezvu. Hlavní nevýhodou tohoto druhu pohonu je, že má ze všech tří způsobů pohonu nejhorší poměr mezi výkonem a hmotností. [8; 6]

Hydraulické pohony naopak od pneumatických pohonů disponují nejlepším poměrem výkonu ke hmotnosti, což roboty dělá zvláště vhodné pro práce s velkými břemeny. Nestlačitelnost média dává robotu značnou tuhost, dovolující přesné polohování ve všech pozicích a při správně navržených motorech robot pracuje bez jakýchkoliv převodů, jejichž vůle bývají častou příčinnou polohovacích chyb. Nevýhodou hydraulických pohonů je netěsnost v hydromotorech, což tyto roboty dělá nevhodné pro práci v čistých prostorech, a naopak i v prašných a špinavých prostředích kvůli citlivosti hydraulických systémů na drobné nečistoty. Hydraulické pohony jsou také nejnáročnější na údržbu a nejdražší na provoz. [8; 6]

Vzhledem k velkým nákladům spojených s provozováním hydraulických systémů jsou hydraulické pohony neustále více vytlačovány. V současné době se pohony tohoto typu v robotech vyskytují minimálně. Uplatnění pak nachází hlavně v jednoúčelových robotech koncipovaných pro zvláště velká břemena. [6]

Elektrické pohony dominují díky jejich snadné řiditelnosti, což je dělá optimální pro aplikace vyžadující vysokou přesnost. Obrovské množství komerčně dostupných elektromotorů je dělá vhodné pro roboty všech velikostí primárně z ekonomických, ale i ostatních hledisek. Jiskry vzniklé v motorech mohou působit jako iniciátory v těkavých prostředích, pokroky v technologii však daly za vznik motorům, které jsou vhodné i pro tyto prostředí. Další značnou výhodou těchto pohonů je jejich velká životnost a spolehlivost. Mezi pohon a člen robotu musí být často vložen převod, který redukuje setrvačnost a tím pádem zvyšuje dynamiku, na druhou stranu však vůle v převodovce způsobují nepřesnosti v polohování. Elektromotory také vyžadují brzdy, které samočinně sepnou, když motor není v záběru, jinak by došlo k pádu jeho ramene. [8; 6]

Z dominantních pohonů pracujících na elektromagnetickém principu bývají v drtivé většině modelů robotů nasazeny elektrické servomotory. Servomotory plní funkci pohonů PRAm jsou typu DC, BLDC nebo AC. U menších robotů a periferních částech robotu často bývají namísto servomotorů aplikovány krokové motory. [8]

3.2. Senzorika

Roboty a robotické systémy mohou být opatřeny širokou řadou typů senzorů sloužících k měření veličin spojených buď s vnitřními jevy samotného robotu – proprioceptivní senzory (dále PC) nebo s procesy a činnostmi, které se odehrávají v rámci jeho pracoviště nebo jeho okolí – exteroceptivní senzory (dále EC). Kvůli velké různorodosti senzorů je žádoucí, aby byly vhodně klasifikovány. [8; 23]

Nejzákladnější rozdělení senzorů je podle dané veličiny, kterou má měřit – rychlost, zrychlení, vzdálenost apod. Další kritérium, podle kterého je vhodné senzory rozlišovat je způsob jejich sběru informací na aktivní a pasivní senzory. Aktivní senzory (dále AS) vysílají v nějaké formě signál (optický, elektromagnetický) a měření vyhodnocují na základě jeho odezvy. Příkladem aktivního senzoru může být světelná závora, jež vysílá signál ve formě světelného paprsku a snímá jeho přítomnost. Na druhou stranu pasivní senzory (dále PS) k měření nevyužívají vysílané signály, namísto nich měří interakci přímo z okolí. Příkladem PS mohou být CMOS senzory nebo koncové spínače. [8; 23]

V Tab. 3-1 je uveden seznam typů senzorů, které se typicky vyskytují v robotických aplikacích.

Tab. 3-1 – Senzory typicky používané v robotických aplikacích [8]

Klasifikace	Typ senzoru	Snímaný objekt	Metoda snímání
Taktilní senzory	Koncové spínače	EC	PS
	Optické závory	EC	AS
	Přibližovací snímače	EC	PS/AS
Haptické senzory	VLSI	EC	PS
	Silové, momentové snímače	PC/EC	PS
	Piezorezistivní snímače	EC	PS
Senzory os	Potenciometry	PC	PS
	Resolvery	PC	AS
	Optické enkodéry	PC	AS
	Magnetické enkodéry	PC	AS
	Indukční enkodéry	PC	AS
	Kapacitní enkodéry	EC	AS
Směrové senzory	Kompasy	EC	PS
	Gyroskopy	PC	PS
	Sklonoměry	EC	AS/PS
Senzory polohy na bázi vysílačů	GPS	EC	AS
	RF vysílače	EC	AS
	Ultrazvukový vysílač	EC	AS
	Reflektivní vysílač	EC	AS
Senzory vzdálenosti	Kapacitní snímače	EC	PS
	Magnetické snímače	EC	PS/AS
	Kamerové systémy	EC	PS/AS
	Sonar	EC	AS
	Laserové dálkoměry	EC	AS
	Strukturované světelné	EC	AS
Senzory pohybu a rychlosti	Dopplerův radar	EC	AS
	Snímač Dopplerova efektu	EC	AS
	Kamerové systémy	EC	PS
	Akcelerometry	EC	PS
Senzory k identifikaci a detekci přítomnosti	Kamerové systémy	EC	PS
	RFID	EC	AS
	Laserové snímače	EC	AS
	Radary	EC	AS
	Ultrazvukové snímače	EC	AS

3.3. Periferie

Periferie robotu slouží k rozšíření jeho schopnosti plnit požadované operace. Vlastnosti robotu, které lze periferiemi rozšiřovat jsou různorodé. Mohou sloužit k rozšíření pracovního prostoru robotu například pomocí lineárních pojezdových drah. Dalším způsobem, jak rozšířit schopnosti dosahu robotu můžou být modulární systémy redundantních os ke zvýšení flexibility robotu nebo externí polohovací zařízení, které bývají často zužitkovány při nasazení robotů ve svařovacích operacích. [3; 8]

Periferiemi lze také rozšířit vnímací schopnosti robotu. Kamerové systémy a podobné senzory mohou robotu umožnit sledování nejen procesu za účelem kontroly, ale také svého okolí. Díky tomu může registrovat okolní události, jako například přítomnost člověka a vhodně na ně reagovat. [3; 8]

Klíčovým doplňkem robotu, který zajišťuje jeho schopnost plnit požadované úkoly je jeho koncový efektor. O koncových efektorech bude hlubší pojednání v kapitole 4.

3.3.1. Periferie RTP

Pokud je robot součástí RTP, stávají se všechny prvky pracoviště jeho periferiemi. Mimo samotné výrobní stroje a členy, které se přímo podílejí na výrobním procesu může být pracoviště doplněno o periferie, které robot využívá ke zjednodušení práce nebo realizaci činností, které by sám o sobě nebyl schopen vykonávat. Mezi takovéto periferie mohou patřit například [3]:

- procesní vybavení,
- přípravky,
- dopravníky,
- mobilní roboty (ADV),
- podávací a dávkovací zařízení:
 - zásobníky,
 - lineární podavače,
 - vibrační dopravníky,
 - bandalírové pásy,
- inspekční zařízení:
 - kamerové systémy,
 - měřicí stanice
- automatizační prvky.

4. Koncové efekторы

Většina víceúčelových robotů není sama o sobě vybavena k realizaci požadovaných činností. Z tohoto důvodu je nejprve nutno robot osadit vhodným koncovým efektem. Zpravidla se umísťují na koncový článek kinematického řetězce robotu, který je typicky opatřen přírubou právě pro montáž koncového efektoru. [24]

V případě, že robot často vykonává různé práce, pro které jsou potřebné odlišné efekторы je možné ho opatřit o systém automatické výměny koncových efektorů. Systém automatické výměny je v podstatě mezičlánek mezi nástrojovou přírubou robotu a koncovým efektem. Skládá se obvykle ze dvou protikusů, kde první je spojena s nástrojovou přírubou a druhá s koncovým efektem. Soudržnost těchto protikusů zajišťuje spojovací mechanismus, kterým je systém výměny opatřen. [24]



Obr. 4-1 – Systém automatické výměny efektorů SCHUNK SWK [25]

Koncové efekторы mohou sloužit k nepřehlednému množství funkcí. Mezi činnostmi, ke kterým jsou efekторы využívány během operací nejvíce zastoupených PRaM, patří [2]:

- vkládání předmětů do a jejich vyjímání z pracovního prostoru stroje nebo zařízení,
- realizace technologických operací,
- mezioperační manipulace,
- kontrolní operace,
- speciální operace.

Operace, ke kterým je efektor určen se promítají do jeho konstrukčního řešení. Z konstrukčního hlediska je tedy možno koncové efekторы rozdělit na [2]:

- manipulační,
- technologické,
- kombinované,
- speciální.

Při návrhu koncového efektoru je, mimo rozbor samotné funkce, pro kterou je efektor určen, nutno důkladně analyzovat atributy a chování předmětu, se kterým má být zacházeno. Tab. 4-1 obsahuje seznam vybraných vlastností, na které je vhodné se zaměřit, jelikož mohou mít dopad na funkci efektoru. [24]

Tab. 4-1 – Zkoumané vlastnosti manipulovaného předmětu [24]

Atributy předmětu			Chování předmětu	
Geometrie	Geometrické prvky	Fyzikální vlastnosti	V klidu	Za pohybu
• Tvar, • rozměry, • symetrie, ...	• Otvory, • drážky, • sražení hran, • osazení, ...	• Materiál, • hmotnost, • těžiště, • tuhost, • plocha, • teplota...	• Stabilita, • stabilní poloha, • stohovatelnost, ...	• Stabilita za pohybu, • změny tvaru, • klouzavost, ...

4.1. Manipulační koncové efekторы

Manipulační koncové efekторы (někdy také manipulační hlavice), jak napovídá název, umožňují robotu uchopovat a následně manipulovat s různými předměty. Manipulační efekторы jsou převážně koncipovány jako jednoúčelové. Jejich tvar a uspořádání úzce souvisí s typem manipulovaného předmětu. Existují však i manipulační efekторы univerzální či stavebnicové, které jsou často bez jakýchkoliv úprav schopny pojmout široké spektrum typů objektů. [2; 24]

Manipulační koncový efektor se obvykle skládá z připojovacího rozhraní, které umožňuje spojení s robotem, nosné konstrukce efektoru a úchopných prvků, které přichází do styku s manipulovaným předmětem a vyvozuje na něj síly potřebné k jednoznačnému uchopení. Podle způsobu vyvození upínací síly, který úchopné prvky využívají, se klasifikují do tří hlavních skupin [2]:

- mechanické,
- vakuové,
- magnetické.

Další hledisko, ze kterého lze úchopné prvky klasifikovat, je schopnost ovládnutí upínací síly. Uchopovací prvky, které nejsou schopny upínací sílu ovládat se nazývají pasivní. Takovéto prvky provádí upnutí součásti buď samočinně nebo působením vnější síly. Výhodou těchto prvků je, že nepotřebují pro svou funkci žádný zdroj energie, ať už se jedná o elektrickou nebo tlakovou. Jejich nevýhoda spočívá právě v tom, že jejich upínací síla nejde ovládat. Z tohoto důvodu potřebují efekторы s pasivními prvky na odepnutí uchopeného předmětu buď nějaký mechanismus, nebo musí odepnutí řešit vnějším zásahem. [2; 26]

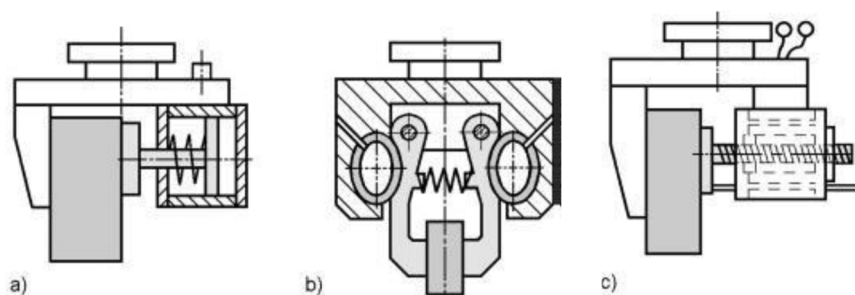
Úchopné prvky aktivní naopak potřebují k napájení vyvození, a ve většině případů i k udržení upínací síly. Druh napájení závisí na charakteru úchopného prvku. Jelikož je upínací síla ovladatelná, uchopování a pouštění předmětů je oproti efektorům s pasivními uchopovacími prvky výrazně jednodušší. Zřejmou nevýhodou je riziko upuštění manipulovaného objektu při ztrátě napájecí energie. To některé efekторы řeší záchytnými systémy, které mohou být buď integrované přímo do úchopného prvku nebo jsou řešeny jako přídatný systém efektoru. [2; 26]

Je již patrné, že klíčovým identifikátorem pro určení typu manipulačního efektoru je právě typ úchopných prvků, které využívá. Kombinací obou zmíněných hledisek lze tedy manipulační efektor rozdělit následovně [2; 26]:

- mechanické:
 - pasivní:
 - podpěry (pevné nebo stavitelné),
 - pružné čelisti,
 - aktivní:
 - mechanicky ovládané,
 - hydraulicky ovládané,
 - pneumaticky ovládané,
 - elektromagneticky ovládané,
 - ovládané elektromotorem,
- magnetické:
 - pasivní – s permanentními magnety,
 - aktivní – s elektromagnety,
- vakuové
 - pasivní – s deformačními přísavkami,
 - aktivní – ovládané vývěvou nebo ejektorem,
- speciální.

4.1.1. Mechanické úchopné prvky

Z trojice typů uchopovacích prvků dokáží mechanické prvky obecně vyvodit největší uchopovací síly. Pasivní prvky jsou kvůli jejich obtížné ovladatelnosti nevhodné pro většinu případů nasazení v kombinaci s průmyslovými roboty. Vlastnosti aktivních prvků se velmi liší dle způsobu ovládání (viz. Tab. 4-2). [26]



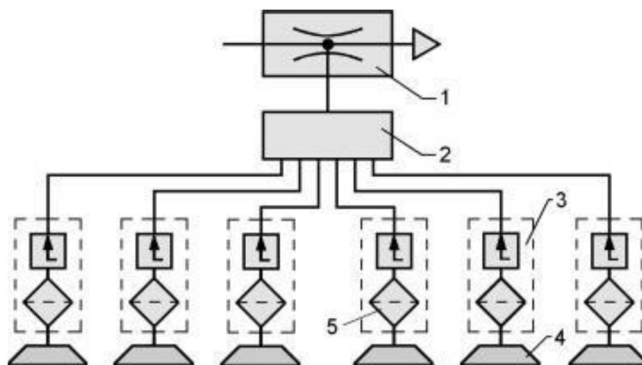
Obr. 4-2 – Příklad řešení mechanických aktivních úchopných prvků [26]
 a) ovládaný hydraulickým válcem, b) ovládaný pneumatickými membránami,
 c) ovládaný elektromotorem a šroubovým mechanismem

Tab. 4-2 – Vlastnosti způsobů ovládání [26]
++ nejlepší, + dobré, – nejhorší

Kritérium	Způsob ovládání				
	Mechanické	Pneumatické	Hydraulické	Magnetické / elektromagnetické	Ovládané elektromotorem
Uchopovací síla	+	–	++	+	–
Ovladatelnost	–	–	+	++	++
Přenos energie	++	+	–	++	++
Citlivost na nečistoty	++	+	++	–	+
Údržba	++	+	++	–	+
Chování při ztrátě napájení	++	+	+	–	–
Poměr síly k rozměrům	–	–	++	+	+
Čistota provozu	++	+	–	++	++
Cena	++	++	+	+	–

4.1.2. Vakuové úchopné prvky

Vakuové úchopné prvky mohou být používány na velké i malé předměty. Aktivní prvky jsou ovládány buď ejektory nebo vývěvami, což ovlivňuje jejich funkci. Použitím vývěvy je možné dosáhnout vyšší úrovně vakua při nižších provozních nákladech a hluku. Jejich nevýhodou je jejich značná cena na pořízení a zavedení, což je dělá vhodné spíše při širším nasazení vakuových prvků. Ekonomičtější variantou jsou ejektory, je u nich však nutno řešit generovaný hluk. Při uchopování porézních materiálů a jiných situací, kde dochází k velkým ztrátám vakua lze ještě použít vakuová dmychadla. Nejsou sice oproti jiným variantám schopny generovat vysokou úroveň vakua, ale jejich velký průtokem lze kompenzovat jeho ztráty. [26]



Obr. 4-3 – Příklad zapojení vakuových úchopných prvků [26]

1) vakuový generátor, 2) rozvod vakua, 3) jednocestný vakuový ventil, 4) přísavka, 5) filtr

4.1.3. Magnetické úchopné prvky

Magnetické úchopné prvky jsou konstrukčně jednoduché a kompaktní díky absenci pohyblivých součástí. Variabilita magnetických prvků umožňuje uchopování široké škály předmětů různých tvarů a velikostí. Hlavní nevýhodou tohoto typu úchopných prvků je omezený výběr materiálů, na které je lze použít. Jejich působení může manipulované předměty zmagnetizovat. V případě aktivních prvků znamená ztráta napájení zaniknutí přídržné síly. [26]

4.2. Technologické koncové efekторы

Technologické koncové efekторы (technologické hlavice) mohou plnit širokou škálu různorodých technologických operací. Nejčastěji se dělí podle technologie, kterou mají realizovat, konkrétně na [2]:

- svařovací:
 - bodové,
 - obloukové,
- obráběcí,
- lakovací,
- montážní,
- kontrolní,
- lepící,
- speciální.

4.3. Kombinované koncové efekторы

Kombinované efekторы jsou schopny zároveň konat operace jak manipulační, tak i technologické. Nejčastěji jsou využívány ve výrobních linkách s vysokým taktům, kde schopnost vykonávat technologickou operaci během manipulace výrazně šetří čas. Příkladem může být efektor s předehřevem manipulované součásti používaný pro zakládání do lisů. Další hojně zastoupený příklad jsou lakovací hlavice používané v automobilovém průmyslu, které jsou opatřeny pasivním mechanickým úchopným prvkem – hákem, který slouží k otevírání dveří a kapoty při lakovacím procesu. [2; 3]

5. Robotizace výrobních systémů

Průmyslové roboty a manipulátory díky své obrovské variabilitě nachází uplatnění prakticky ve všech technologických operacích. Zavedením robotizace do výrobního systému vznikají tzv. robotizovaná technologická pracoviště – RTP. Robot je v RTP považován za základní prvek, všechno ostatní vybavení pracoviště jsou jeho periferie. [2]

Prvním krokem vývoje a implementace RTP je získání detailního přehledu o procesu, který má být vykonáván. Je vhodné, aby byl proces zkoumán do co největší hloubky, jelikož se mohou přehlédnutá nebo nějak nezohledněná klíčová kritéria projevit až ve finálním kroku implementace řešení – zprovoznění. V tomto stádiu jsou pak úpravy nákladné jak finančně, tak i časově. [3]

K vytvoření funkčního návrhu je tedy potřeba zaměřit se minimálně na tyto aspekty [3]:

- stávající řešení (pokud existuje),
- údaje o výrobku:
 - tvar,
 - rozměry,
 - hmotnost,
 - variabilita tvaru a rozměrů,
 - tolerance,
 - jakost povrchu a povrchová úprava,
 - materiál(y),
- výrobní proces:
 - technologie,
 - stroje,
 - nástroje,
 - jiné prostředky,
 - úroveň automatizace, přítomnost operátorů,
- charakter výroby:
 - takt výroby,
 - počet a délka směn, počet pracovních dnů,
 - počet výrobků,
 - prostředí výroby, nároky na čistotu.

Na základě zkoumání informací o RTP je poté vytvořen počáteční návrh, který je iterativně upravován za účelem dosažení vhodnějšího řešení, ať už z hlediska výrobního, finančního či jiného. Při tvorbě optimálního řešení je nutné zohlednit nejen jeho kritéria, ale i jejich vzájemnou významnost. Pokud by byla některému kritériu přiřazena špatná priorita, RTP pravděpodobně bude stále schopné provádět svou funkci, jeho řešení se však může stát z nějakého hlediska nadměrně komplexním a tím pádem nákladnějším. [3]

ČÁST II. – KONSTRUKČNÍ NÁVRH ZAŘÍZENÍ

6. Systémový rozbor procesu

Účelem tohoto strojního zařízení je tvarovat pryžové hadičky do požadovaného tvaru. Výsledný tvar je udáván šablonovými drážkami v technologické paletce, do které jsou hadičky ručně vkládány. Každá paletka má kapacitu pro několik hadiček, určenou velikostí a tvarem šablony. Po vložení hadiček zajištění vrchním krytem je paletka připravena k vložení do stroje. Jelikož jsou paletky součástí již zaběhnutého výrobního procesu nelze na nich dělat úpravy; stroj musí být navržen tak, aby s nimi byl schopen pracovat.

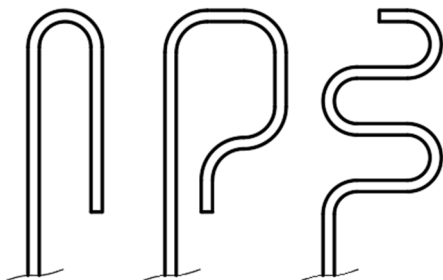
Proces tvarování spočívá v nahřátí paletky s hadičkami na zadanou teplotu a udržení této teploty v požadovaném intervalu. Po uplynutí doby ohřevu je paletka nuceně ochlazená na přibližnou okolní teplotu. Následně je paletka po stanovenou, neměnnou dobu dochlazována na přibližnou teplotu 0 °C. Podle specifikací tohoto procesu bude stroj navrhován tak, aby splňoval tyto parametry:

- Ohřev:
 - teplota: variabilní dle typu hadičky, požadovaná teplota ohříváče 200 °C,
 - čas: variabilní dle typu hadičky, maximální čas ohřevu 2 minuty.
- Ochlazení
 - teplota: ochlazení na pokojovou teplotu (cca. 25 °C)
 - čas: cca. 1 minuta.
- Dochlazení
 - teplota: 0 °C
 - čas: cca. 15 minut.

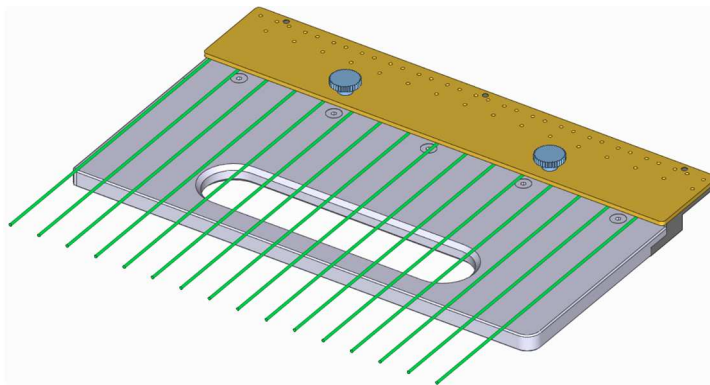
Navrhovaný stroj je navrhován do haly s čistými prostory. To se projeví hlavně na volbě materiálů, po kterých je požadována odolnost vůči korozi a dobrá chemická stálost. Zvýšené nároky na čistotu provozu se taktéž projeví v návrhu technologických procesů, při kterých nesmí dojít ke kontaminaci produktu nebo technologické paletky. Další aspekt, ve kterém budou tyto nároky zohledňovány je volba robotu, kde budou preferovány roboty s úpravou pro práci v čistých prostorech.

6.1. Popis produktu

Produktem jsou štíhlé pryžové hadičky pro použití pro různé účely. Hadičky mají variabilní délku, průměr, tvar konců (viz. Obr. 6-1) a materiál. Délka hadiček má vliv na volné konce, které visí z paletky (viz. Obr. 6-2). Tyto volné konce je nutno zohlednit při návrhu koncového efektoru a manipulační strategie, jelikož při ní nesmí být poškozeny. Tvar konců a materiál hadiček se projeví v nastavení časů a teplot jednotlivých výrobních procesů.

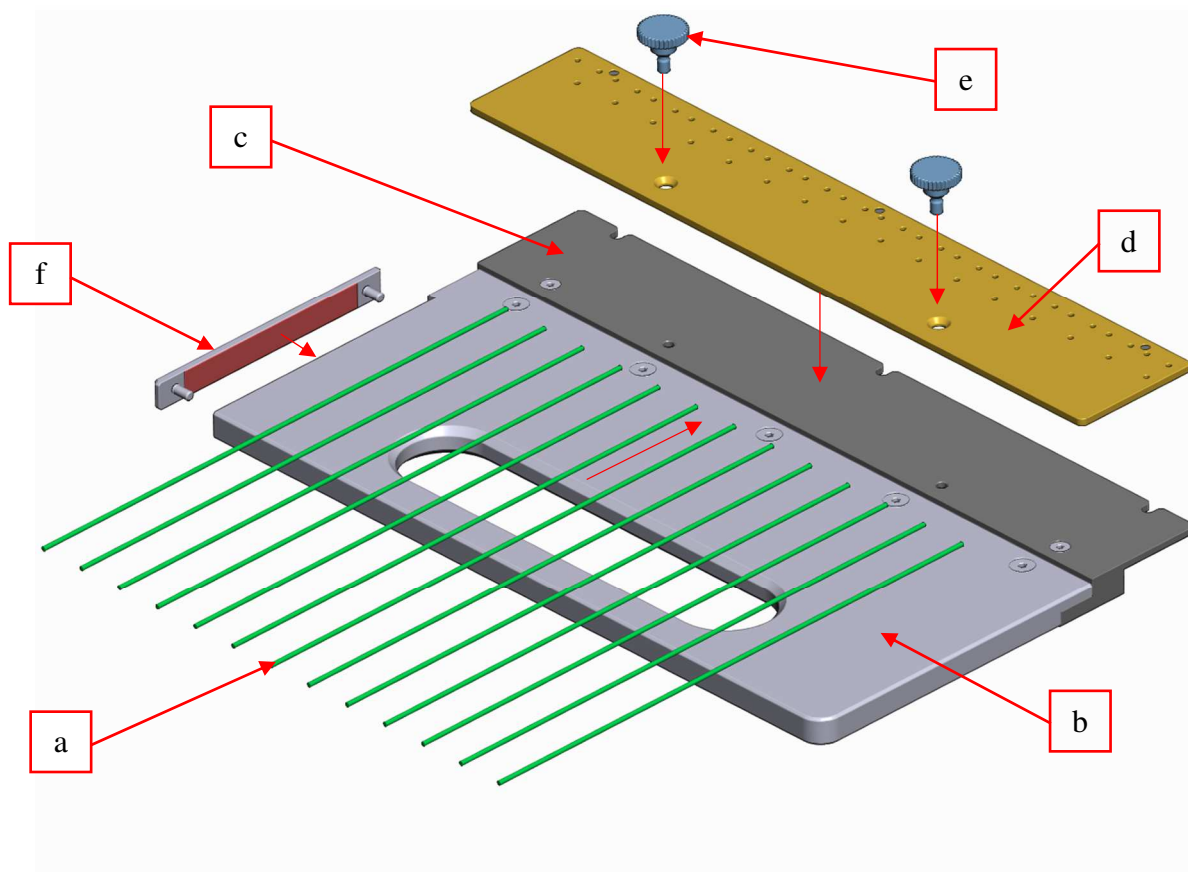


Obr. 6-1 – Příklad konců hadiček

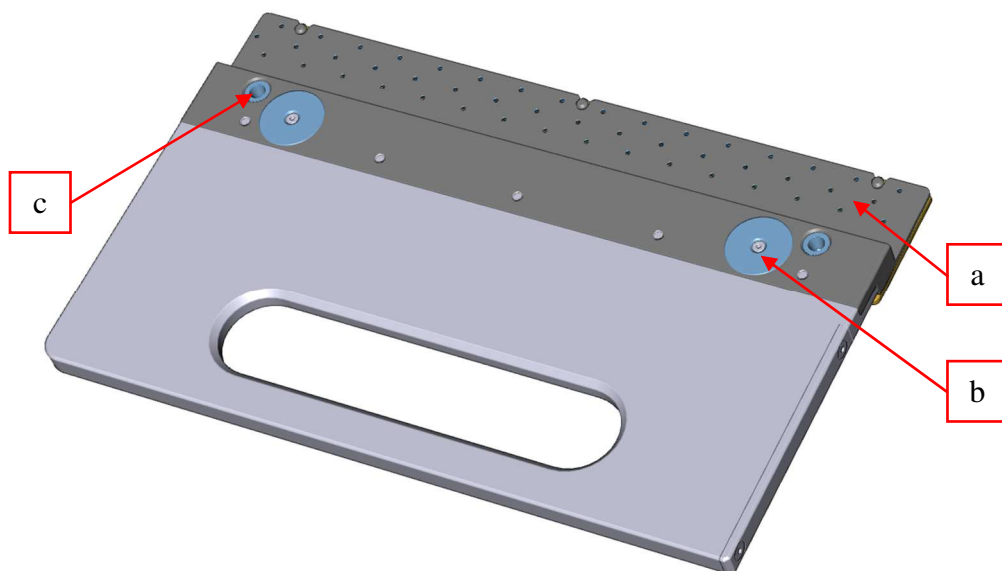


Obr. 6-2 – Volné konce hadiček

Technologická paletka, ve které má být produkt vložen je složena ze tří základních částí. Její tělo je vyrobeno z POM. Je tvarově jednoduché a během procesu není přímo ohříváno nebo chlazeno, což jej dělá ideální pro volbu uchopovací plochy při manipulaci. Z jedné strany je připevněn RFID čip, který slouží jako nosič informací o typu paletky a o hadičkách, které má pojmout. Těleso s šablonovými drážkami je vyrobeno z hliníkové slitiny. Ze spodní části paletky jsou k tělesu šrouby připojeny páry středících kuželových pouzder a feritických vložek sloužících k přidržení paletky pomocí magnetismu v jiných výrobních procesech. Hadičky jsou v paletce zajištěny plechovým krytem z nerezové oceli. Kryt je s tělesem paletky spojen dvojicí rychloupínacích šroubů.



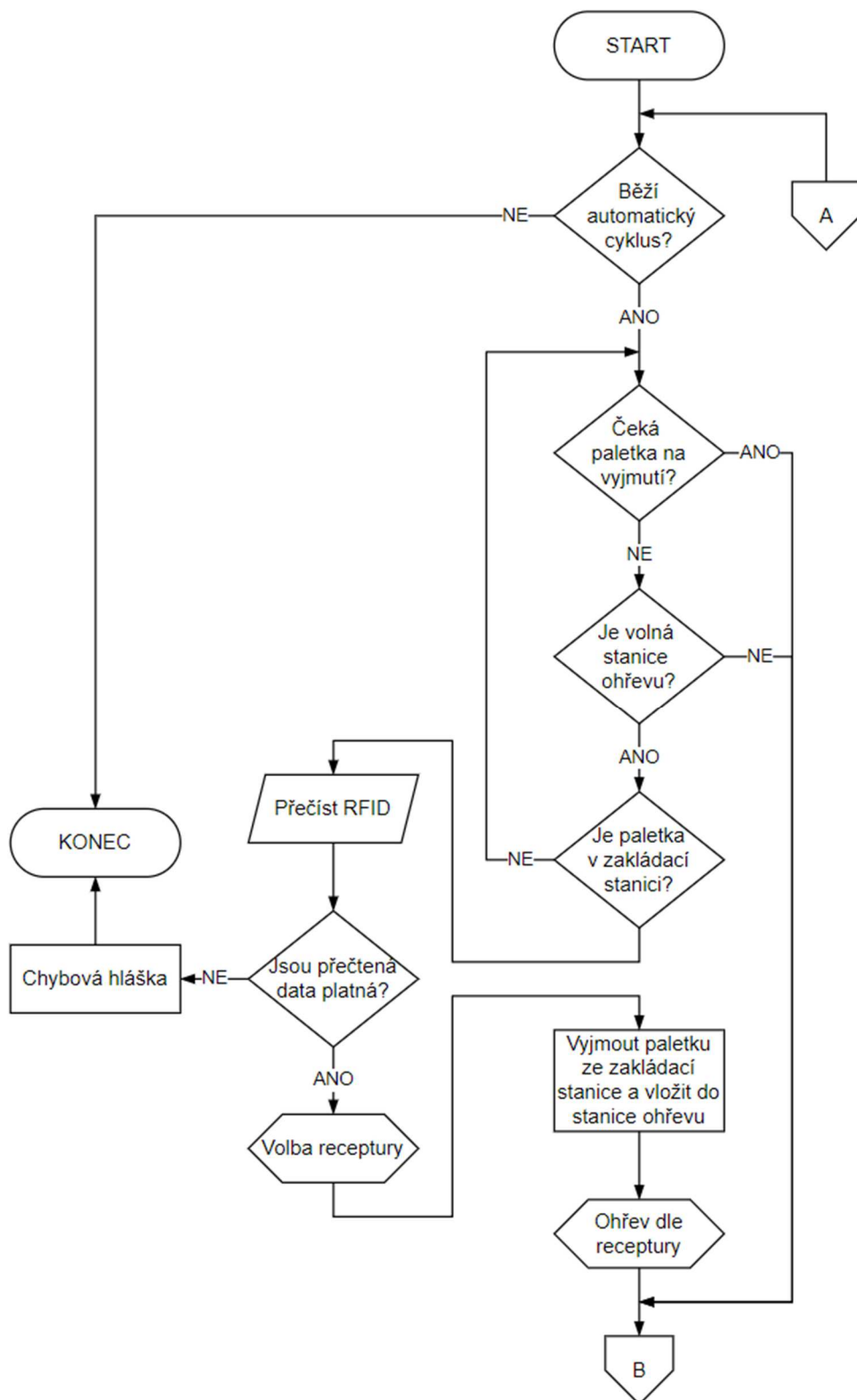
Obr. 6-3 – Paletka v částečně rozloženém stavu
 a) hadička ve výchozím tvaru, b) tělo paletky, c) díl pro vyfrézování šablonových drážek,
 d) krycí plech (horní ohříváná/ochlazovaná strana), e) zajišťovací šroub, f) RFID čip



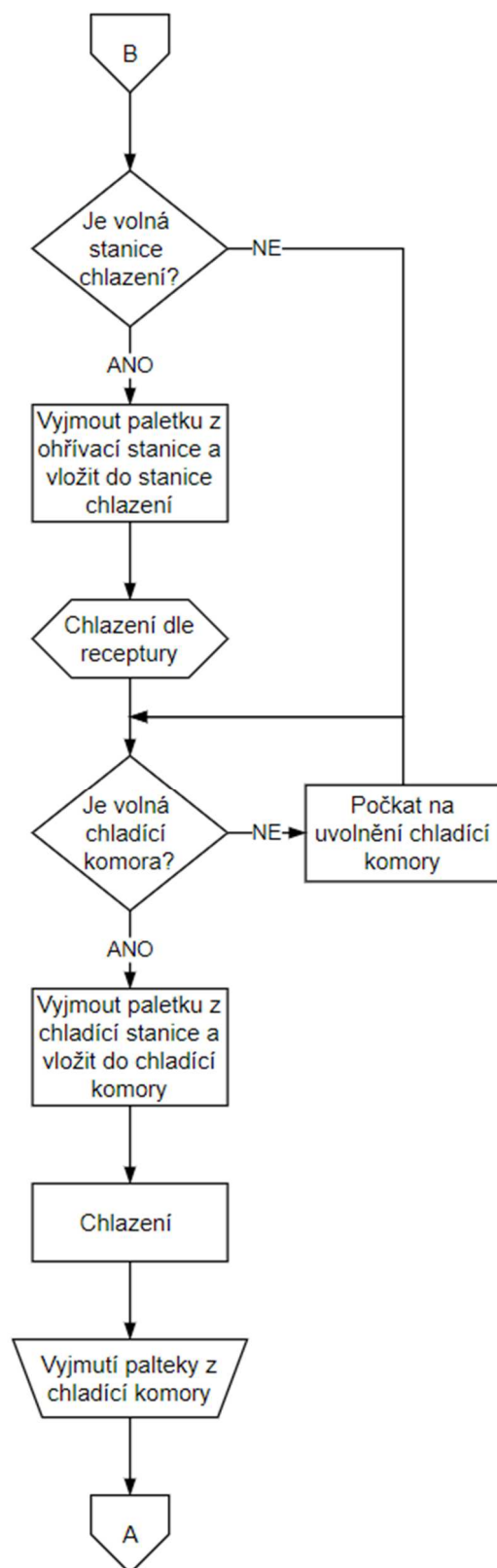
Obr. 6-4 – Spodní strana paletky
 a) spodní ohříváná/ochlazovaná strana, b) feritická vložka, c) středící kuželové pouzdro

6.2. Vývojový diagram procesu

Na základě stávajícího procesu byl navržen sled operací během automatického cyklu stroje. Sled a průběh jednotlivých operací zůstává oproti původnímu řešení zůstává identický. Hlavní změna spočívá v minimalizaci přítomnosti lidské pracovní síly použitím průmyslového robota. Po aplikaci nového řešení operátor bude pouze vkládat a vyjímat paletky ze stroje.



Obr. 6-5 – Vývojový diagram navrženého procesu



Obr. 6-6 – Vývojový diagram navrženého procesu [pokračování]

6.3. Návrh technologických procesů

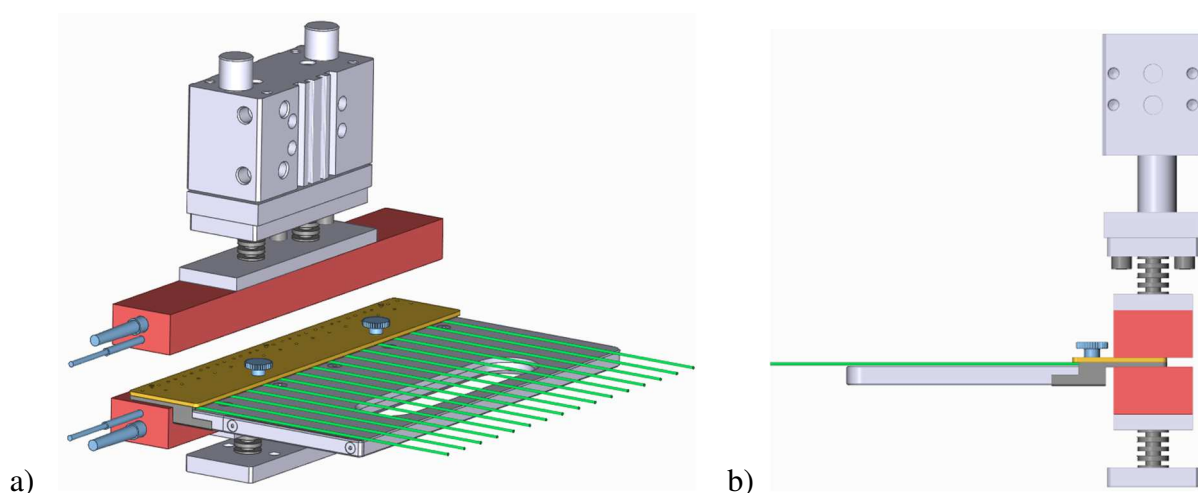
6.3.1. Ohřev

Ohřívání paletky je částečně tvořeno plastovými díly, které mohou být poškozeny při kontaktu s vysokou teplotou. Stejně tak není vhodné, aby zdroj tepla působil na části hadiček, které nejsou zaryty vrchním plechovým krytem. Je tedy potřeba navrhnout takovou metodu, která paletku ohřívá lokálně a neprodukuje příliš velké sálavé teplo, které by mohlo působit na hadičky nebo plastové díly paletek. Dle tohoto kritéria se jeví kontaktní ohřev pomocí elektrických topných prvků jako nejvhodnější metoda.

Elektrických topných prvků je dostupná široká řada. Existují topné prvky v provedení topných desek, kabelů či spirál, z nichž mají být všechny přímo v dotyku nebo v bezprostřední blízkosti ohřívajícího tělesa. Dalším vhodným prostředkem jsou topné patrony, které nacházejí uplatnění v ohřevu forem do vstřikovacích lisů. Nejsou tedy určeny pro přímý dotyk s ohřívajícím tělesem, namísto toho se vkládají do topících těles, které přenášejí teplo na ohřívající materiál. V poslední řadě se naskytá metoda ohřevu infrazářičem jakožto jediná zvažovaná metoda s bezkontaktním principem ohřevu. I přes to, že je teplo předáváno pouze radiací jsou schopny výkonnější infrazářiče rychle ohřívát na vysoké teploty.

Po zvážení uvedených metod ohřevu byl zvolen ohřev pomocí topných patron. Jelikož, jak bylo uvedeno, patrony nejsou určeny k přímému styku s ohřívajícím tělesem a větším zatížením by mohlo při dojetí k poškození patrony. Patrona tedy musí být zasunuta do ohřívacího tělesa, na které paletka dosedne.

Při návrhu ohřívacího tělesa musí být dbáno na volbu vhodného materiálu, který by měl k dosažení dobrého ohřevu sloužit jako dobrý vodič tepla. Aby byl ohřev paletky co nejrovnoměrnější a nejrychlejší, bude nahřívána z obou stran. Paletka bude tedy po vložení do ohřívací stanice sevřena dvojicí ohřívacích čelistí. K tomu bude potřeba mechanismu, který bude sevření ovládat. Výhodou takového řešení je, že bude paletka bezpečně zajištěna proti vypadnutí, aniž by ji musel neustále přidržovat robot nebo další přidržovací mechanismus.



Obr. 6-7 – Návrh způsobu ohřevu
a) pohled na ohřívací stanici, b) paletka sevřená mezi ohřívacími čelistmi

Všechny technologické stanice tvoří v taktu stroje úzká místa, čímž se takt prodlužuje. Z důvodu minimalizace taktu stroje tedy budou všechny technologické stanoviště v párech, což stroji dovolí pracovat s několika paletkami naráz.

Detailní návrh ohřívací stanice je probrán v kapitole 8.4.

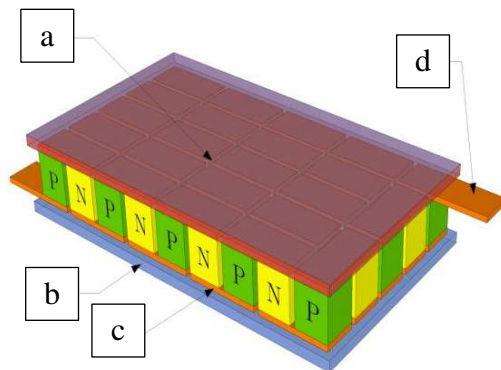
6.3.2. Chlazení

K ochlazení paletky byly zvažovány 3 metody:

- chlazení vzduchem,
- chlazení Peltierovými články,
- chlazení oběhem vody.

Nejjednodušším způsobem se jeví metoda chlazení vzduchem. Na zahřátou oblast paletky bude nasměrováno několik ventilátorů, které vytvoří průtok studeného vzduchu. Problémem tohoto řešení je obtížné zajištění dostatečného ochlazení okolního vzduchu; v uzavřeném pracovním prostoru stroje nachází ohřívací stanice která svým vysálaným teplem ohřívá vzduch v okolí byla by potřeba vzduch přivádět z okolí stroje a nejlépe dochlazovat klimatizační jednotkou, aby bylo možné dosáhnout spolehlivého ochlazovacího procesu.

Peltierovy články využívají stejnojmenného jevu, kdy průchodem elektrického proudu mezi dvěma rozhraními rozdílných materiálů mezi nimi vznikne rozdíl teploty. Vhodným uspořádáním těchto rozhraní vznikne článek, který z jedné strany odebírá teplo a předává jej na opačnou stranu.

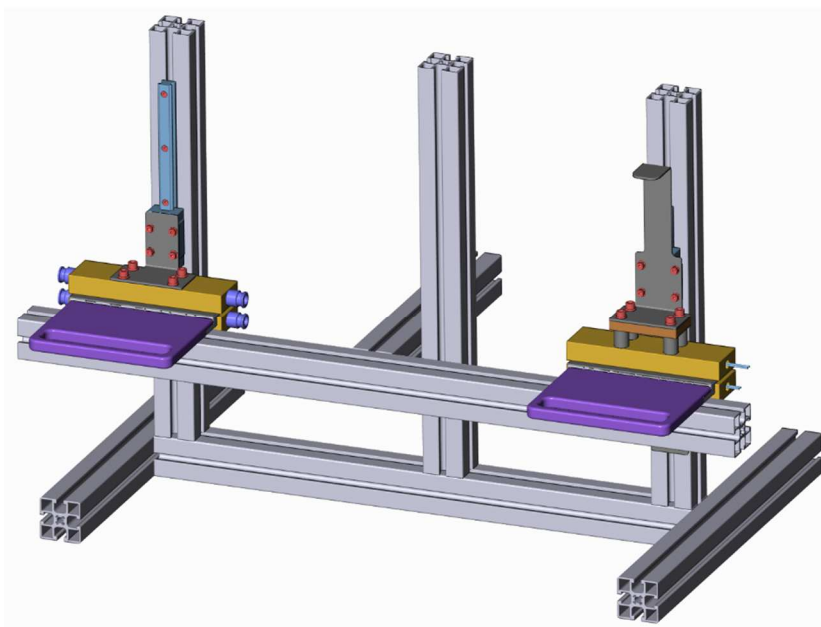


Obr. 6-8 – Peltierův článek [27]

a) teplá strana, b) studená strana, c) rozhraní mezi polovodiči a spojovacím vodičem, d) připojovací vodič

Značnou výhodou Peltierových článků oproti ostatním řešením je kompletní absence pohyblivých částí, což dává článkům obrovskou životnost. Regulací velikosti procházejícího proudu lze jednoduše ovládat teplotu článku, což umožňuje rychlé a energeticky úsporné ochlazování. Články však na své teplé straně generují značné teplo, které je pro zajištění správné funkce nutno aktivně odvádět. Články je tedy na teplé straně nutné opatřit chladičem a ochlazovat buď vzduchem nebo průtokem vody. Aby bylo chlazení efektivní, měly by být články v kontaktu s chlazenými plochami paletky, což vyžaduje podobný svírací mechanismus, jako ve stanici ohřevu. Při opakovaném zatěžování článků však hrozí, že dojde k jejich mechanickému poškození.

Zřejmě nejvhodnější variantou se jeví chlazení oběhem vody. Použitím vodně chlazených čelistí je možné převzít většinu komponent ze stanice ohřevu, což výrazně zjednoduší konstrukční proces. Dle zkoušek na testovacím zařízení je dostačující, když jsou čelisti chlazeny průtokem destilované vody o teplotě 10 až 15 °C. K tomuto lze použít relativně nenákladné průtokové chladiče, které jsou i v mnohých případech opatřeny více výstupy, což výrazně zjednodušuje problematiku distribuce chladicí vody při použití dvou chladících stanic.



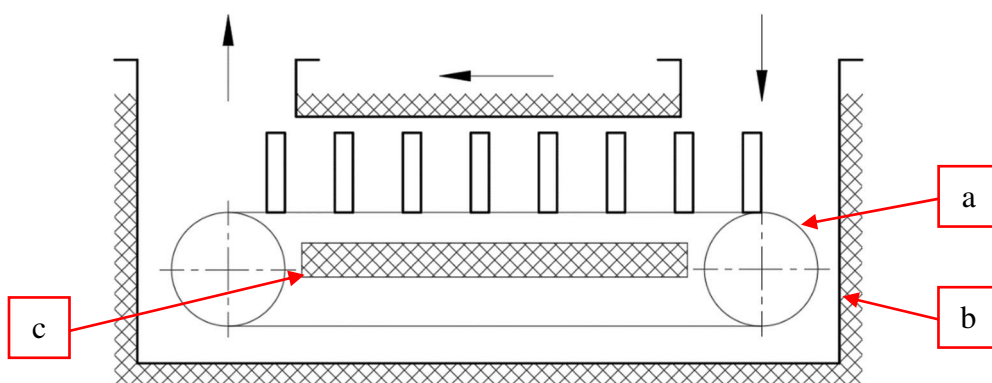
Obr. 6-9 – Přípravek pro testování metody ohřevu a chlazení

Na základě parametru teploty vody byl zvolen průtokový chladič SINOP DELTON H 70 EVO s dvěma výstupy. Chladič je primárně určen pro gastronomické provozy, nicméně pro tento účel je z technického hlediska zcela vyhovující.

Detailní návrh ochlazovací stanice je probrán v kapitole 8.5.

6.3.3. Dochlazování

Dochlazování je konečná fáze zpracování produktu, při kterém je ochlazovaná část paletky vložena do prostředí o teplotě okolo 0 °C, kde setrvá minimálně 15 minut. Kvůli hygienickým požadavkům odpadá možnost použití chladících lázní, u kterých by mohlo dojít ke kontaminaci. V původním konceptu bylo uvažováno ochlazování v mrazáku s několika pozicemi, do kterého robot paletku vloží a po uplynutí chladicího intervalu opět vyjme a odloží do pozice pro odebrání obsluhou. Na požadavek zadavatele bylo však od tohoto návrhu odstoupeno a zvolen nový způsob průběžné chladicí komory, do které z jedné strany robot paletku vloží na dopravník v komoře, který ji pomalu přepraví na opačný konec komory, kde paletku vyjme operátor stroje. Podobně jako mají technologické stanice dvě pozice bude mít komora dva paralelní dopravníky, aby nevznikaly při dopravě úzká místa.



Obr. 6-10 – Schématické znázornění chladicí komory
a) dopravník s paletkami, b) plášť komory s tepelnou izolací, c) zdroj chladu

Jako zdroj chladu byl zvolen radiátor ochlazovaný proudem teplotnosného média. Jelikož bude médium pod nebo blízko teploty bodu mrazu, namísto destilované vody bude použito teplotnosné médium na bázi glykolu. Jelikož průtokový chladič zvolený pro proces ochlazování nebude schopen ochlazovat médium na požadovanou teplotu, bude namísto něj použit dražší, však mnohem výkonnější laboratorní chiller.

Detailní návrh chladicí komory je probrán v kapitole 8.6.

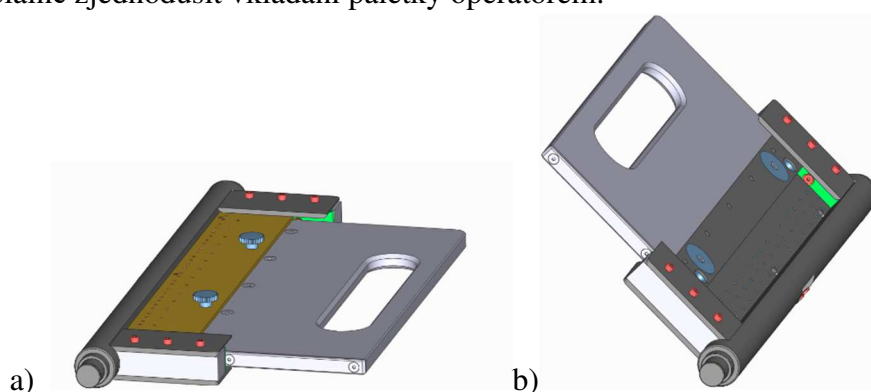
7. Návrh konstrukčního řešení

7.1. Strategie manipulace

K manipulaci s paletkami se naskýtají dvě možné varianty způsobu uchopení: mechanickými aktivními úchopnými prvky – pneumaticky ovládanými čelistmi, nebo aktivními vakuovými úchopnými prvky.

Mechanické aktivní prvky dokážou při stejných rozměrech vyvolat vyšší přídržnou sílu, ale pohyblivé prvky by mohly skřípnout volné hadičky a poškodit je. Při předběžném návrhu mechanického efektoru bylo zjištěno, že pneumatická ovládací jednotka příliš posouvá těžiště efektoru, vlivem čehož jeho hmotnost nevyhovuje hmotnosti v závislosti na souřadnicích těžiště specifikovaných v diagramu nosnosti robotu. Zohledněním všech těchto faktů se jeví vakuové úchopné prvky jako vhodnější varianta.

Jak bylo již zmíněno, během manipulace se nesmí volné délky hadiček zachytit pod koncový efektor nebo do pohybujících se částí robotu. Řešením tohoto problému se naskytá přidáním mechanismu, který po vložení paletky do stroje paletku natočí tak, že bude strana paletky s volnými konci směřovat dolů, takže budou vlivem vlastní váhy viset. Polohovací mechanismus může taktéž paletku uvést do polohy, ze které ji bude robot snadněji odebírat, což může potenciálně zjednodušit vkládání paletky operátorem.

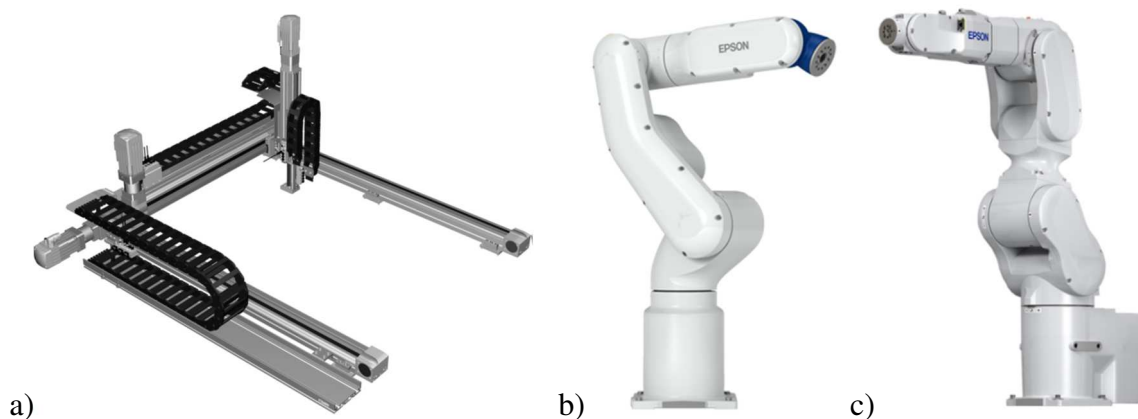


Obr. 7-1 – Orientace paletky
a) výchozí poloha, b) poloha po vyklopení

7.2. Multikriteriální metoda výběru robotu

Na základě zkoumání parametrů a kategorií průmyslových robotů pospaných v rešerši byly zvoleni tři kandidáti průmyslových robotů vhodných k realizaci manipulačních operací stroje:

- kartézský portálový systém Festo YXCR s přidavným orientačním ústrojím,
- 6ti-osý kloubový robot Epson VT6L,
- 6ti-osý kloubový robot Epson C8L.



Obr. 7-2 – Zvažované modely robotů [28; 29; 30]

7.2.1. Definice kritérií

V multikriteriální metodě byly zvažovány následující kritéria:

- K1 – nosnost robotu,
- K2 – dosah robotu,
- K3 – cena robotu,
- K4 – složitost implementace a montáže,
- K5 – nároky na konstrukci stroje,
- K6 – zabraný pracovní prostor,
- K7 – opakovatelnost polohování,
- K8 – rychlost a dynamika.

Popis variant z hlediska kritérií

Kartézský robot Festo YXCR je modulární robotický systém, v němž spočívá jeho největší výhoda. Modulární přístup konstrukce robotu dovoluje přesně přizpůsobit nosnost a velikost pracovního prostoru požadavkům stroje. Samotný kartézský robot však není schopen dosáhnout všech požadovaných poloh stanovených v kapitole 7.1, bude tak nutno jej doplnit o přídavné orientační ústrojí. Vysoká pořizovací cena robotu s přídavným orientačním ústrojím tuto variantu dělá jednoznačně nejdražší. Dalším problémem, který vychází z přidání orientačního ústrojí je jeho komplikovaná implementace do řídicího systému. Použitím této varianty budou na stroj kladeny vyšší nároky z hlediska přídavné nosné konstrukce robotu. Na druhou stranu díky vrchnímu umístění robot v pracovním prostoru nezabírá žádné místo, což se může projevit na celkové velikosti stroje. Výrobce specifikuje opakovatelnost polohování $\pm 0,12$ mm, což je pro tuto aplikaci dostačující. Vlivem vyššího zatížení koncové příruby robotu od přídavného orientačního ústrojí je mírně snížena dynamika robotu. [28]

Druhý navržený robot Epson VT6L je s přehledem nejekonomičtější variantou. Omezená maximální nosnost 6 kg je z hledisek kritérií největší slabinou této varianty. Při volbě této varianty bude nutno brát větší ohled na hmotnost koncového efektoru. S dosahem osy J5 920 mm a charakteristickou flexibilitou 6ti-osého kloubového robotu by měly být s minimálními úpravami dosažitelné všechny potřebné pozice. S kontrolérem integrovaným v patě představuje robot kompaktní řešení s minimálními požadavky na konstrukci robotu. Opakovatelnost $\pm 0,1$ mm je pro vykonávání manipulačních operací ve stroji zcela vyhovující. Jelikož se jedná o robot určený pro menší zatížení, jeho pohony mají oproti jiným variantám mírně horší dynamické vlastnosti. Výrobce udává trvání zkušebního cyklu 0,6 vteřin s maximální jmenovitou zátěží 3 kg. [29]

Kloubový robot Epson C8L s nosností 8 kg lze považovat za dražší, ale výkonnější alternativu varianty b. Dosahem osy J5 901 mm je této variantě velmi podobný. Oproti menšímu robotu VT6L nedisponuje integrovaným kontrolérem, takže bude nutné stroj opatřit skříní pro jeho vložení. Největší rozdíly oproti předchozí variantě jsou v opakovatelnosti polohování a dynamice robotu, jež jsou obě výrazně vyšší. S opakovatelností $\pm 0,03$ mm robot vysoce převyšuje minimální vhodnou hodnotu. Dle stejného zkušebního testu, jako výrobce používá na roboty VT6L je doba trvání cyklu 0,38 vteřin – téměř polovina oproti předchozímu robotu. [30]

7.2.2. Posouzení kritérií

Navržená kritéria byla posuzována metodou porovnání v trojúhelníku párů. Metoda spočívá v postupném srovnávání důležitosti mezi páry kritérií. Páry kritérií jsou sestaveny tak, aby byl vyčerpán počet možných kombinací. Dosažení správného počtu kombinací lze ověřit následujícím vzorcem:

$$C = \frac{n_K!}{(n_K - 2)! \cdot 2} = \frac{8!}{(8 - 2)! \cdot 2} = 28 \quad (1)$$

Po zvolení důležitějšího kritéria je zvolené kritérium označeno (například zakroužkováním) a proces se opakuje pro všechny dvojice. Nastane-li případ, že posuzovatel považuje dvojici kritérií za stejně důležitou jsou označeny obě. Po provedení selekce jsou počítány četnosti označení jednotlivých kritérií v . V případě, že byla v páru zvolena obě kritéria, zvýší se hodnota četnosti pouze 0,5 pro obě kritéria. Výsledné pořadí kritérií je pak získáno seřazením podle hodnoty v od nejvyššího po nejnižší.

Z počtu označení v vychází i váha významnosti kritéria q , která slouží k volbě finální varianty. Váha významnosti byla stanovena přímou metodou normovaných vah. Touto metodou se jednotlivé váhy vypočítají z následujícího vzorce:

$$q_i = \frac{v_i}{C} \quad (2)$$

Tab. 7-1 – Tabulka řešení metody porovnání v trojúhelníku párů

Porovnávané páry kritérií <i>K</i>							Počet <i>v</i>	Pořadí	Váha <i>q</i>
① 2	① 3	① 4	① 5	① 6	① 7	① 8	7	1.	0,25
	② 3	② 4	② 5	② 6	② 7	② 8	6	2.	0,21
		③ 4	③ 5	③ 6	③ 7	3 ⑧	3,5	4.	0,13
			4 ⑤	④ 6	④ 7	4 ⑧	2	6.	0,07
				⑤ 6	5 ⑦	⑤ 8	3	5.	0,11
					⑥ 7	6 ⑧	1,5	7.	0,05
						7 ⑧	1	8.	0,04
						⑧	4	3.	0,14
						C	28		

7.2.3. Volba varianty

Z určených hodnot váhy jednotlivých kritérií je nyní možno metodicky zvolit kompromisní variantu robotu. K řešení byla aplikována metoda PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evolution of Relevance Number).

Metoda spočívá v počítání tzv. indexů změny I_{ij} , které vyjadřují poměr dané hodnoty parametru kritéria každé varianty vůči hodnotě nejhorší varianty vzhledem ke konkrétnímu kritériu. Matematickou formulací vypadají vzorce pro výpočet indexu změny následovně:

- pro kritéria, kde je požadováno, aby byla hodnota parametru co nejvyšší (maximalizační trend):

$$I_{ij} = \frac{H_{ij}}{H_{j0}} \quad (3)$$

kde: H_{ij} – hodnota parametru varianty i pro kritérium j ,
 H_{j0} – nejnižší hodnota dosažená jakoukoliv variantou pro kritérium j ,

- pro kritéria, kde je požadováno, aby byla hodnota parametru co nejnižší (minimalizační trend) pak platí:

$$I_{ij} = \frac{H_{j0}}{H_{ij}} \quad (4)$$

kde: H_{ij} – hodnota parametru varianty i pro kritérium j ,
 H_{j0} – nejvyšší hodnota dosažená jakoukoliv variantou pro kritérium j .

Nejnižší hodnota, kterou tedy může index změny dosáhnout je $I_{ij} = 1$.

Po vypočtení indexů změny jsou vynásobeny příslušející vahou kritéria, čímž se získá vážený index kritéria S_{ij} :

$$S_{ij} = I_{ij} \cdot q_i \quad (5)$$

Pro každou variantu se provede součet všech jejích vážených indexů, podle nějž se poté určí pořadí variant. Nejvhodnější je ta varianta, která má sumu vážených indexů S_j nejvyšší.

$$S_j = \sum_{i=1}^n S_{ij} \quad (6)$$

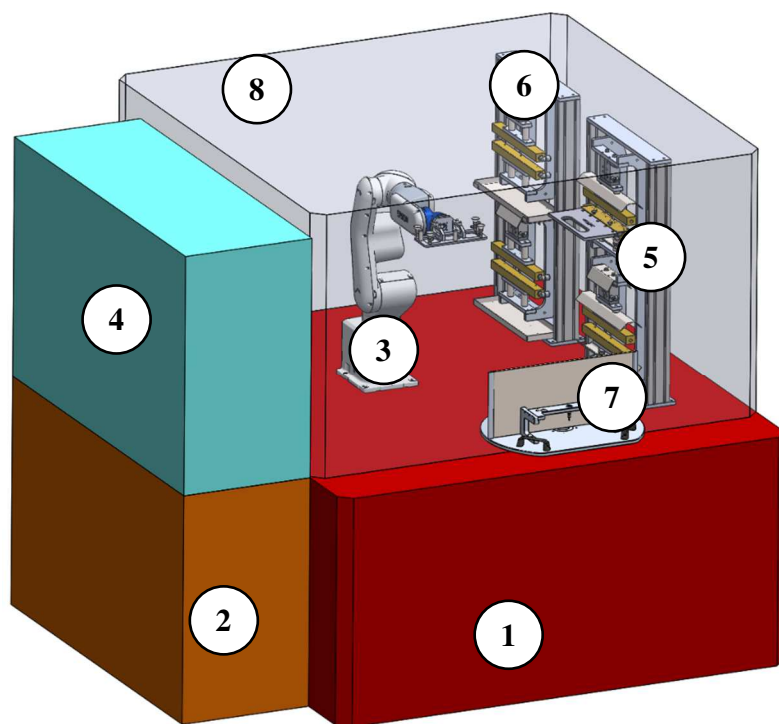
Aby bylo možné zpracovat jednotlivá kritéria pomocí zvolené metody, je nejprve nutné převést jejich hodnoty na kvalitativní stupnici hodnot od 1 do 5 reprezentující relativní hodnotu daného kritéria. Dle typu kritéria je odlišné, zda je vhodnější hodnota vyšší, tedy maximalizační trend nebo nižší, tedy trend minimalizační.

Tab. 7-2 – Vyhodnocení variant dle metody PATTERN

Kritérium		Váha <i>q</i>	a) Festo YXCR		b) Epson VT6L		c) Epson C8L		Trend
K1	Nosnost robotu	0,25	5	0,42	3	0,25	5	0,42	MAX
			1,66		1,00		1,66		
K2	Dosah robotu	0,21	5	0,28	4	0,21	4	0,21	MAX
			1,33		1,00		1,00		
K3	Cena robotu	0,13	5	0,13	1	0,65	3	0,17	MIN
			1,00		5,00		1,66		
K4	Složitost implementace a montáže	0,07	5	0,07	1	0,35	2	0,18	MIN
			1,00		5,00		2,50		
K5	Nároky na konstrukci stroje	0,11	3	0,11	1	0,33	1	0,33	MIN
			1,00		3,00		3,00		
K6	Zabraný pracovní prostor	0,05	1	0,2	3	0,07	4	0,05	MIN
			4,00		1,33		1,00		
K7	Opakovatelnost polohování	0,04	0,12	0,04	0,1	0,05	0,03	0,16	MIN
			1,00		1,20		4,00		
K8	Rychlost a dynamika	0,14	4	0,19	3	0,14	5	0,23	MAX
			1,33		1,00		1,66		
Celkem		1,00	1,46		2,05		1,75		
Pořadí			3.		1.		2.		

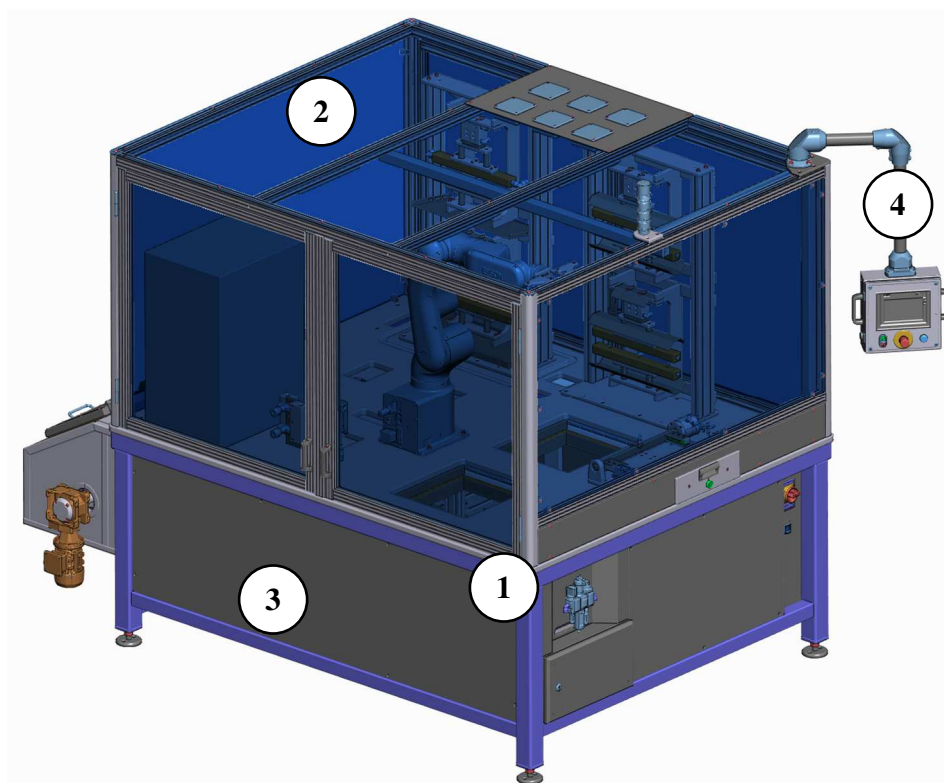
Vítěznou variantou je robot Epson VT6L.

7.3. Návrh stroje



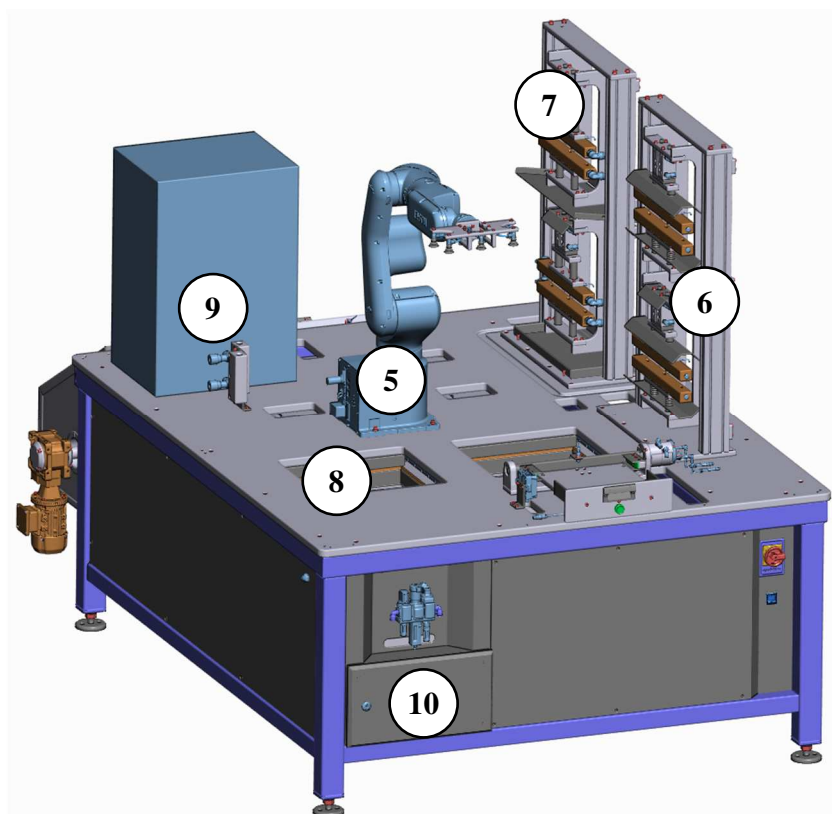
Obr. 7-3 – První iterace návrhu stroje

1 – rám stroje, 2 – rám dopravníku, 3 – robot, 4 – mrazák, 5 – technologická stanice ohřevu, 6 – technologická stanice ochlazování, 7 – základací stanice, 8 – kryt pracovního prostoru



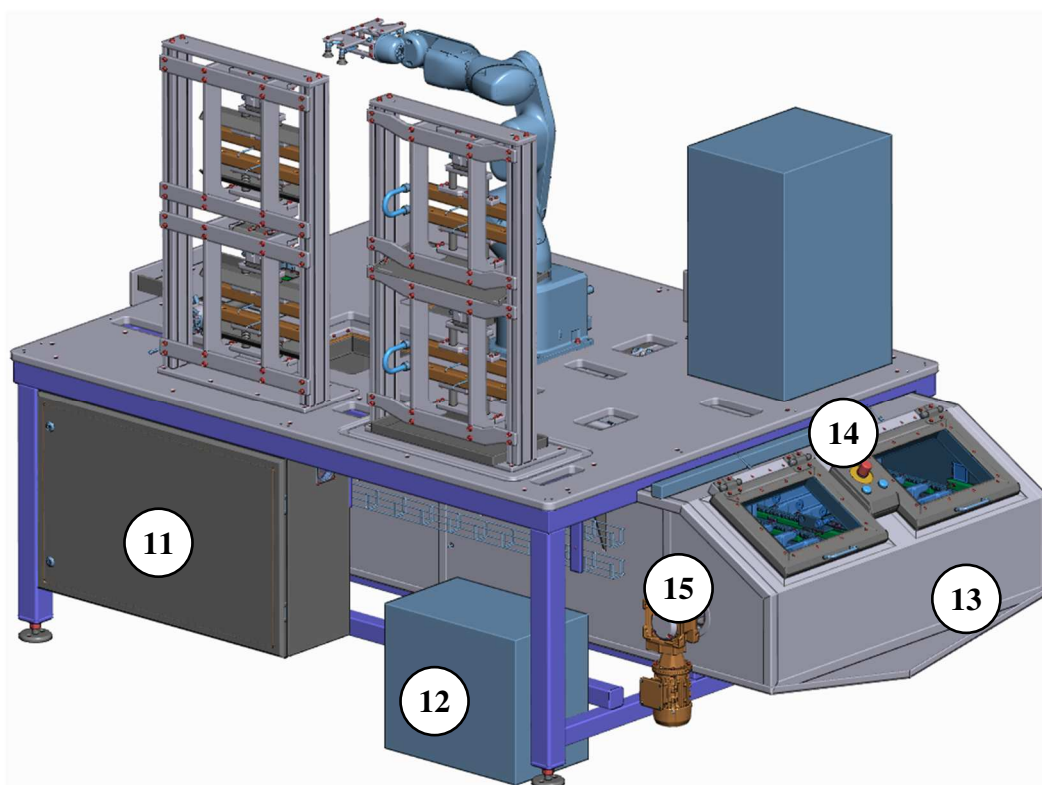
Obr. 7-4 – Finální návrh stroje

1 – rám stroje, 2 – horní kryt, 3 – spodní kryt, 4 – HMI panel



Obr. 7-5 – Stroj je sejmutým horním krytem (pohled 1)

5 – robot s koncovým efektořem, 6 – stanice ohřevu, 7 – stanice ochlazování, 8 – vstup do chladicí komory, 9 – chiller s děličem průtoku, 10 – rozvod stlačeného vzduchu



Obr. 7-6 – Stroj je sejmutým horním krytem (pohled 2)

11 – elektro rozváděč, 12 – průtokový chladič ochlazovací stanice, 13 – chladicí komora, 14 – ovládací panel chladicí komory, 15 – pohon dopravníku v chladicí komoře

8. Detailní popis konstrukčního návrhu

8.1. Robot

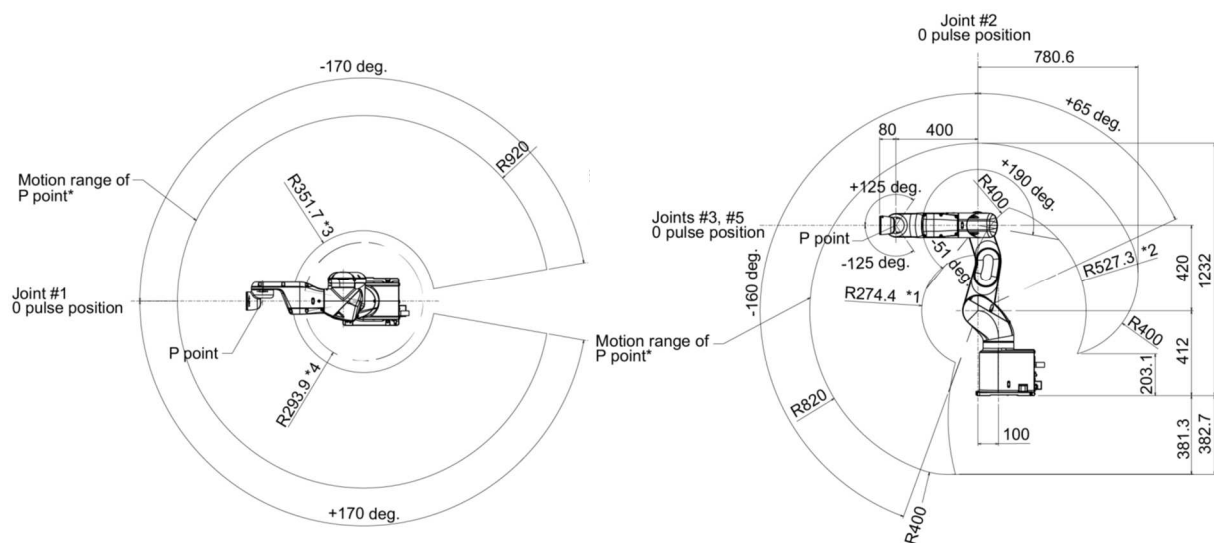
Zvolený robot, Epson VT6L v konfiguraci VT6-A901C je šestiosý robot kloubové kinematické struktury. Dle požadavků stroje byl robot zvolen v provedení pro čisté prostory. Specifikace robotu jsou následující:

Tab. 8-1 – Specifikace robotu [31]

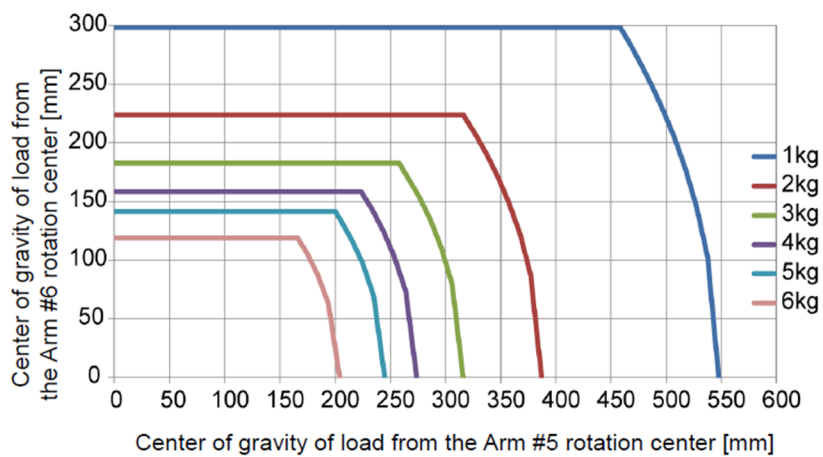
Položka		Specifikace
Způsob montáže		Montáž na stůl
Hmotnost		40 kg
Maximální rychlosti os	J #1	166,2 °/s
	J #2	122,5 °/s
	J #3	141,2 °/s
	J #4	268,7 °/s
	J #5	296,8 °/s
	J #6	293,2 °/s
Rozsah pohybu os	J #1	±170°
	J #2	−160° až +65°
	J #3	−51° až +190°
	J #4	±200°
	J #5	±125°
	J #6	±360°
Teoretická maximální rychlost		4563 mm/s
Opakovatelnost		± 0,1 mm
Nosnost	Jmenovitá	3 kg
	Maximální	6 kg
Dovolený moment	J #4	12 N · m
	J #5	12 N · m
	J #6	7 N · m
Dovolený moment setrvačnosti	J #4	0,3 kg · m ²
	J #5	0,3 kg · m ²
	J #6	0,1 kg · m ²
Napájecí napětí		100 až 240 V AC
Napájecí frekvence		50 / 60 Hz

Kontrolér robotu je integrovaný v jeho patě, což ušetří místo ve stroji a zjednoduší zapojování robotu. Robot může být programován buď v online režimu za pomoci teach-pendantu, nebo v offline režimu v programovacím softwaru Epson RC+. V tomto případě bude robot programován pomocí offline metody a teach-pendant bude za běžného provozu odpojen.

Robot má pracovní prostor charakteristický pro kloubové roboty (viz. Obr. 8-1). Tvar a rozměry jeho pracovního prostoru je nutno zohlednit při návrhu rozložení jednotlivých stanovišť stroje. Maximální nosnost robotu 6 kg je dosažitelná pouze pokud je těžiště zátěže blízko přírubě robotu. Pro větší vzdálenosti platí hmotnosti vyčtené z diagramu nosnosti (viz. Obr. 8-2).



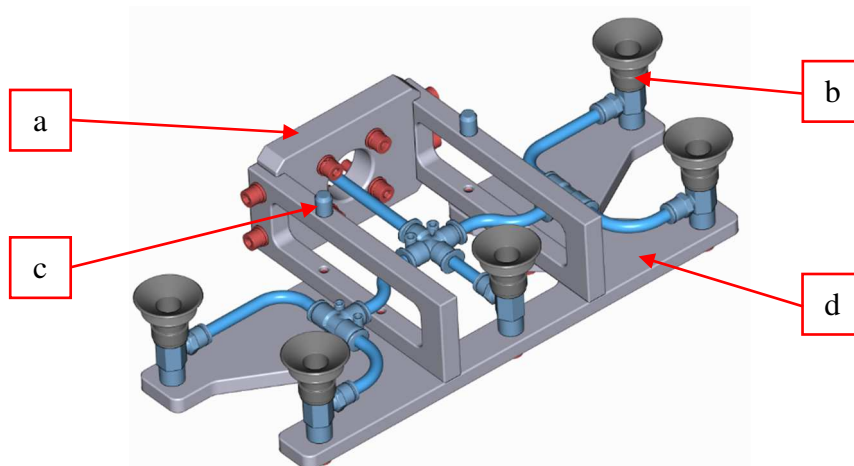
Obr. 8-1 – Pracovní prostor robotu [31]



Obr. 8-2 – Diagram nosnosti robotu [31]

8.2. Koncový efektor

Dle zvolené manipulační strategie popsané v kapitole 7.1 bude paletka uchopována za spodní stranu plastového těla za pomoci vakuových přísavek. Těleso není zvlášť drsné nebo porézní, nebudou tedy potřeba žádná opatření.



Obr. 8-3 – Koncový efektor

a) montážní příruba, b) vakuová přísavka, c) závěsný čep, d) montážní deska

Manipulační koncový efektor je opatřen pěticí aktivních vakuových úchopných prvků, které jsou uspořádány tak, aby byla kompenzována excentricita těžiště paletky a nevznikal tak moment, který by mohl paletku uvolnit. Jedná se o kruhové přísavky FESO ESG o průměru 30 mm. Přísavky jsou měchovitěho tvaru, což jim umožňuje malou výškovou kompenzaci. Jelikož mohou být přísavky vystaveny jak vysokým, tak nízkým teplotám, jejich zvolený materiál je silikon, jež se vykazuje dobrou tepelnou odolností.

Konstrukce efektoru je navržena tak, aby měla kvůli nižší nosnosti robotu co nejmenší hmotnost. Na efektoru je dvojice čepů, které mají za úkol asistovat s přidržováním paletky při manipulaci se svislé poloze. Kvůli minimalizaci hmotnosti byla montážní deska efektoru tvarově optimalizována za pomoci metody konečných prvků (viz. kapitola 11.2). Efektor je vyroben z hliníkové slitiny EN AW 6082 ve stavu T6 s následujícími parametry:

Tab. 8-2 – Parametry hliníkové slitiny EN AW 6082 – T6 dle ČSN EN 485-2+A1:2019 [32; 33]

Parametr	Značka	Hodnota
Mez pevnosti	R_m	295 MPa
Mez kluzu	$R_{p0.2}$, R_e	240 MPa
Youngův modul	E	71,7 GPa
Tvrdość dle Brinella		HBW 89
Hustota	ρ	2 710 kg/m ³

Přísavky jsou napájeny ze stejné přívodní hadice. Stav uchopení je kontrolován hodnotou vakua, kterou měří generátor s vakuovým ejektorem popsaný v kapitole 8.9.

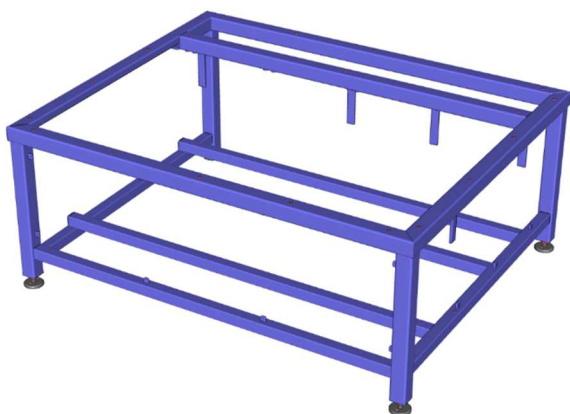
8.3. Rám stroje

Rám stroje tvoří konstrukce svařená ze svařovaných dutých profilů čtvercového tvaru dle ČSN EN 10219-2:2020. Hlavní nosné profily jsou o velikosti 80x5. Konstrukce je doplněna o výztužné profily o velikosti 60x3. Vrchní profily, na které přijde pracovní deska, mají zespod dvanáct matic připojených svarovým spojem. Tyto matice mají za úkol nést chladicí komoru, která je zavěšena pod pracovní deskou stroje. Celý rám je vyroben z nerezové oceli 1.4301 (AISI 304), TDP dle ČSN EN 10088-3:2015. Relevantní parametry zvolené oceli jsou:

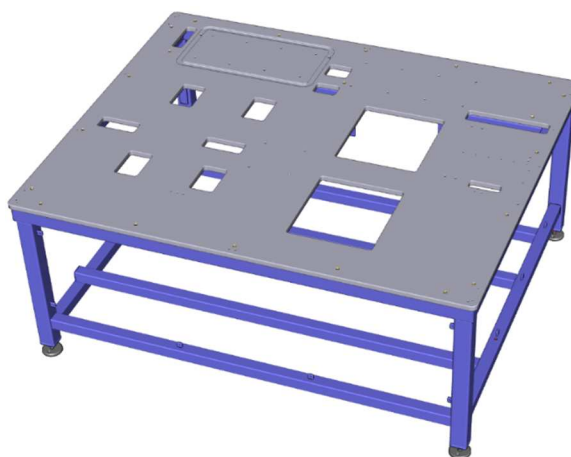
Tab. 8-3 – Parametry oceli 1.4301 dle ČSN EN 10088-3:2015 [34; 33]

Parametr	Značka	Hodnota
Mez pevnosti	R_m	500 ÷ 700 MPa
Mez kluzu	$R_{p0.2}$, R_e	190 MPa
Youngův modul	E	190 GPa
Tvrdost dle Brinella		max. HBW 215
Hustota	ρ	7 750 kg/m ³

Zmíněná pracovní deska stroje má dle požadavků stanovených v manuálu zvoleného robotu tloušťku 25 mm. Je vyrobena z hliníkové slitiny EN AW 6082 ve stavu T6.



Obr. 8-4 – Rám stroje



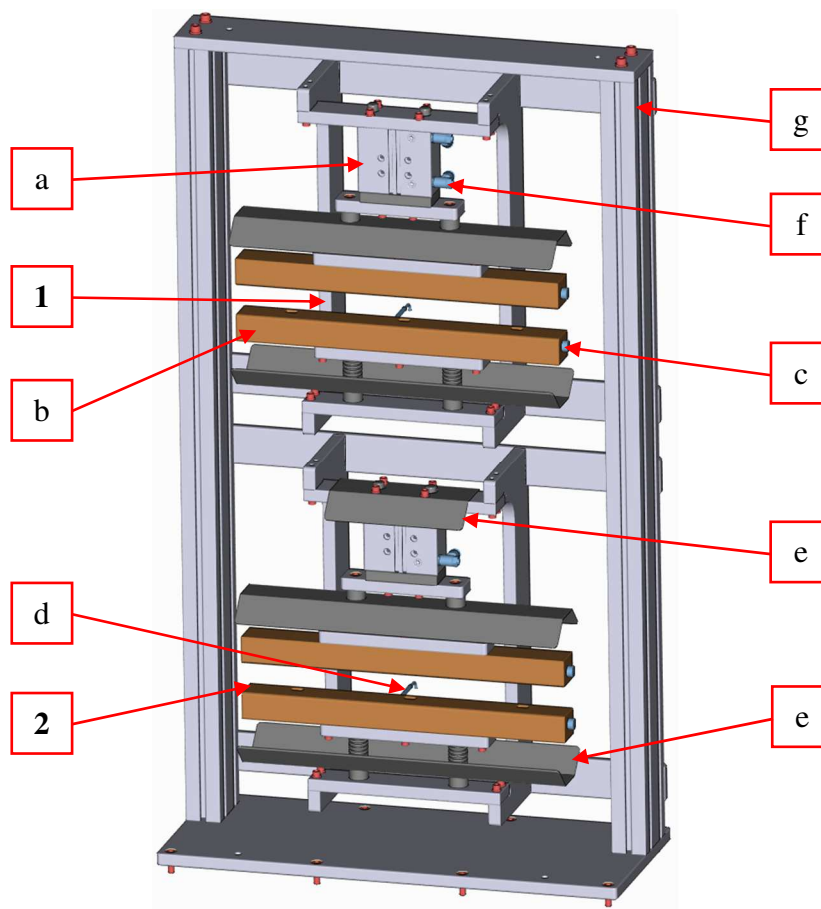
Obr. 8-5 – Rám s pracovní deskou

S nosnou konstrukcí je rozebíratelně spojena několika šrouby, které jsou zašroubovány do nýtovacích matic v profilech konstrukce. V pracovní desce je řada otvorů, které jsou určeny pro vedení kabeláže a pneumatických hadic ze žlabů skrytých pod deskou. V pracovní desce jsou také dva větší otvory, pod kterými se nachází dvojice automatických posuvných dveří chladicí komory.

Celý stroj stojí na čtveřici výškově stavitelných noh. Nastavení výšky je prováděno vyšroubováním nohy z matice svařené s rámem stroje. Proti nežádoucímu protočení závitu je noha zajištěna kontramaticí.

Ke konstrukci je z vnitřní strany přivařena řada montážních lišt, ke kterým je přimontována skříň elektrického rozváděče. Taktéž slouží jako závěsy skrytých kabelových žlabů.

8.4. Technologická stanice ohřevu



Obr. 8-6 – Ohřívací stanice

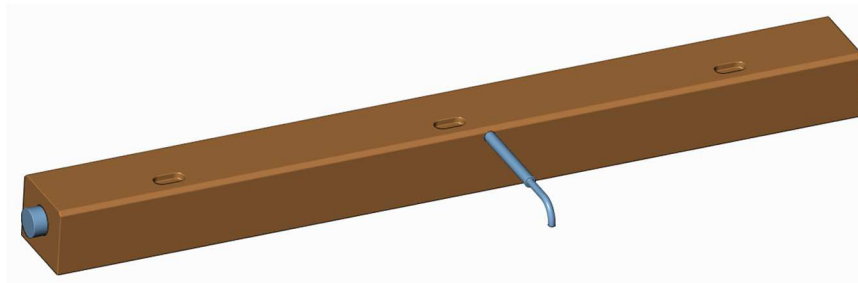
1 – ohřívací hnízdo 1, 2 – ohřívací hnízdo 2,

a) lineární pneumatický motor, b) mosazná čelist, c) topná patrona, d) teplotní snímač, e) tepelný štít, f) škrťací ventil, g) rám stanice

Dle technologie zvolené v kapitole 6.3.1, stanice ohřevu je opatřena dvěma páry čelistí s topnými patronami. Po vložení paletky mezi čelisti jsou sevřeny pomocí lineárního pneumatického motoru s lineárním vedením Festo DFM. Lineární kuličkové vedení pohonu zabraňuje možné deflekcii pístu při sevření paletky. Pneumotor je opatřen dvojicí škrťacích ventilů Festo GRLA, které umožňují regulaci jeho posuvové rychlosti. Pozice čelisti je kontrolována dvojicí bezkontaktních čidel Festo SMT-8M umístěných v horní a dolní úvratí pneumotoru.

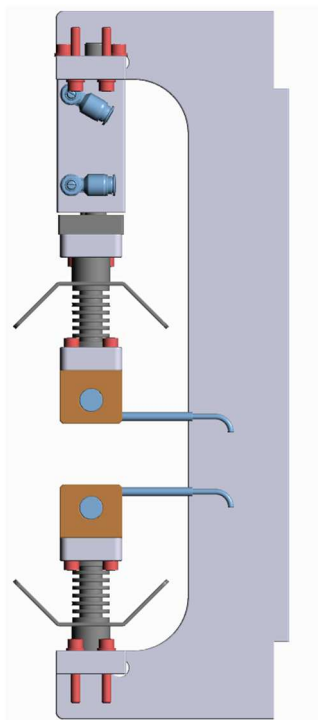
Topné patrony mají opletené vývody bránící mechanickému poškození. Jsou připojeny na spínací moduly ve skříni elektrického rozváděče. Nezávislé spínání všech patron dovoluje přesnou regulaci teploty na každé čelisti nezávisle. Patrona čelisti ohřívá do dosažení požadované teploty, poté ji řídící PLC vypne a spustí až po ochlazení o nastavenou hodnotu teplotní hystereze. Při nastavování spínacích cyklu je nutné dbát na spínací periodu, kterou specifikoval výrobce. Při opakovaném sepnutí v rozsahu spínací periody dochází vlivem teplotní roztažnosti k úplnému smrštění a roztáhnutí topného drátu, přičemž je značně mechanicky namáhán a hrozí jeho poškození. Každá čelist má k realizovatelnosti regulace teploty zabudovaný tepelný snímač typu Pt1000. Návrh topných patron je rozebrán v kapitole 13.

Mosazné čelisti, do kterých jsou patrony vloženy pro ně mají vyvrtanou dutinu v celé své délce. Jelikož má otvor velký poměr hloubky k průměru, bude muset být zhotoven hlubokým vrtáním, což je náročná technologická operace. Na kontaktní ploše čelistí je vyfrézována trojice drážek, do kterých zapadají středící čepy krycího lechu paletky (viz. Obr. 6-4). Mezi kontaktní plochou čelisti je ze zadní stany vyvrtán otvor pro zmíněný snímač teploty.



Obr. 8-7 – Čelist s patronou a teplotním čidlem

Topné čelisti jsou montovány do rámu ve tvaru C. Aby bylo minimalizováno vedení tepla do okolní konstrukce, mezi ohřívací čelisti a zbytek konstrukce jsou vloženy žebrované sloupky. Sloupky jsou duté, čímž se maximalizuje průchod tepla žebrovanou oblastí. Proti ohřívání okolních součástí radiací částečně chrání plechové tepelné štíty.

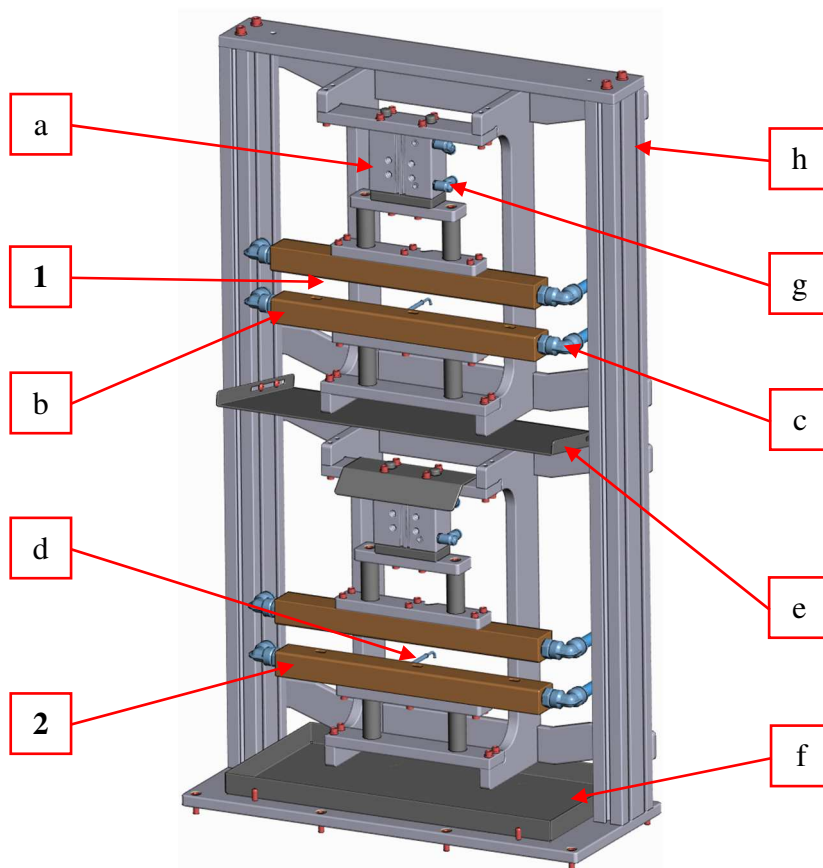


Obr. 8-8 – Boční pohled na C rám se součástmi ohřívacího hnízda

Páry čelistí jsou připevněny na společném rámu složeném z hliníkových desek a profilů. Pro usnadnění manipulace je horní drska rámu opatřena otvory pro závitová oka.

Většina součástí je vyrobena z hliníku EN AW 6082. Výjimkou jsou mosazné čelisti a dále žebrované sloupky společně s tepelnými štíty, které jsou vyrobeny z nerezové oceli 1.4301.

8.5. Technologická stanice chlazení



Obr. 8-9 – Ochlazovací stanice

1 – ochlazovací hnízdo 1, 2 – ochlazovací hnízdo 2,

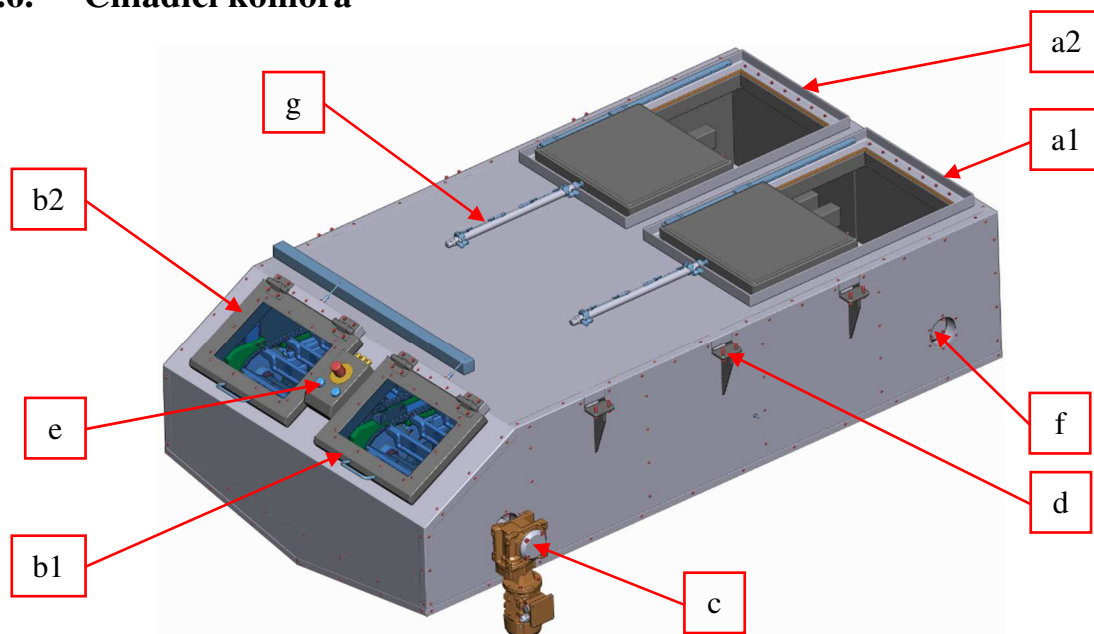
a) lineární pneumatický motor, b) mosazná čelist, c) prvky obvodu s chladicím médiem, d) teplotní snímač, e) svodový plech, f) vanička na kondenzát, g) škrťací ventil, h) rám stanice

Využitím metody ochlazování vodně chlazených čelistí výrazně zjednodušuje proces návrhu ochlazovací stanice, protože je z velké části identická stanicí ohřívací. Jelikož není třeba tepelné ochrany jako u předchozí stanice, byly odstraněny tepelné štíty a zjednodušeny distanční sloupky. Namísto toho byly do stanice přidány plechové žlaby a kryty, které mají za úkol svádět kondenzovanou vodu do vaničky na spodu stanice. Pro svod vody byly také upraveny tvary příčnic, na které jsou připevněny C rámy. Vanička na kondenzát musí být pravidelně vyprazdňována, aby nedošlo k jejímu přetečení. V případě, že by došlo k úniku chladicí vody nebo kondenzátu, na pracovní desce stroje je po obvodu ochlazovací stanice vyfrézována drážka pro odvedení vody.

Tvar i rozměry čelistí zůstává z větší části stejný až na to, že byly z obou stran průchozího otvoru dodatečně vyrobeny otvory s trubkovým závitem pro montáž hadicových adaptérů. V čelistech zůstávají snímače teploty Pt1000 pro ověřování jejich správné teploty.

Pro tuto stanicí byly použity stejné materiály, jako pro tu předchozí.

8.6. Chladicí komora



Obr. 8-10 – Chladicí komora

a1, a2) vstupní dveře komory, b1, b2) výstupní dveře komory, c) pohon dopravníku, d) závěsná patka, e) ovládací panel dopravníků, f) víko ložiska, g) pohon automatických dveří

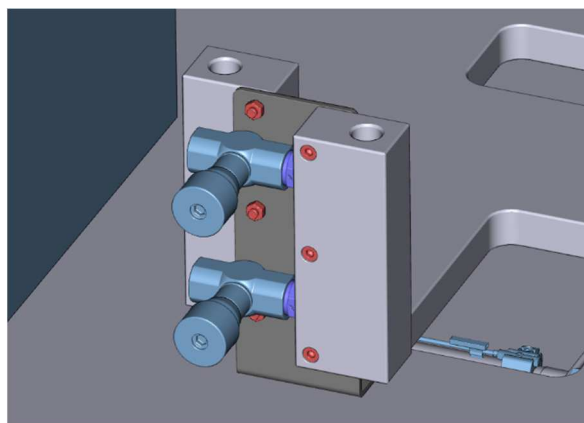
Chladicí komora vychází z návrhu popsaném v kapitole 6.3.3. Komora je tvořena třemi základními konstrukčními uzly:

- dopravník paletek s ochlazovacím radiátorem,
- rám komory,
- plášť komory s tepelnou izolací.

Teplonosné médium na bázi glykolu, které má za úkol chladit radiátory je ochlazováno laboratorním chillerem Grant Instruments LTC4 umístěným v pracovním prostoru stroje. Oba radiátory jsou chlazený společným chillerem, je tedy nutné zajistit jejich distribuci v poměru 50:50. To obstarává dělicí jednotka s dvěma škrťacími ventily, které škrcením průtoku zajišťují rozdělení průtoku ve správném poměru. Aby mělo médium dostatečný tlak na průchod radiátorem, je chiller je opatřen přídavných čerpadlem, který výrobce prodává jako opcí.



Obr. 8-11 – Laboratorní chiller LTC4 [35]

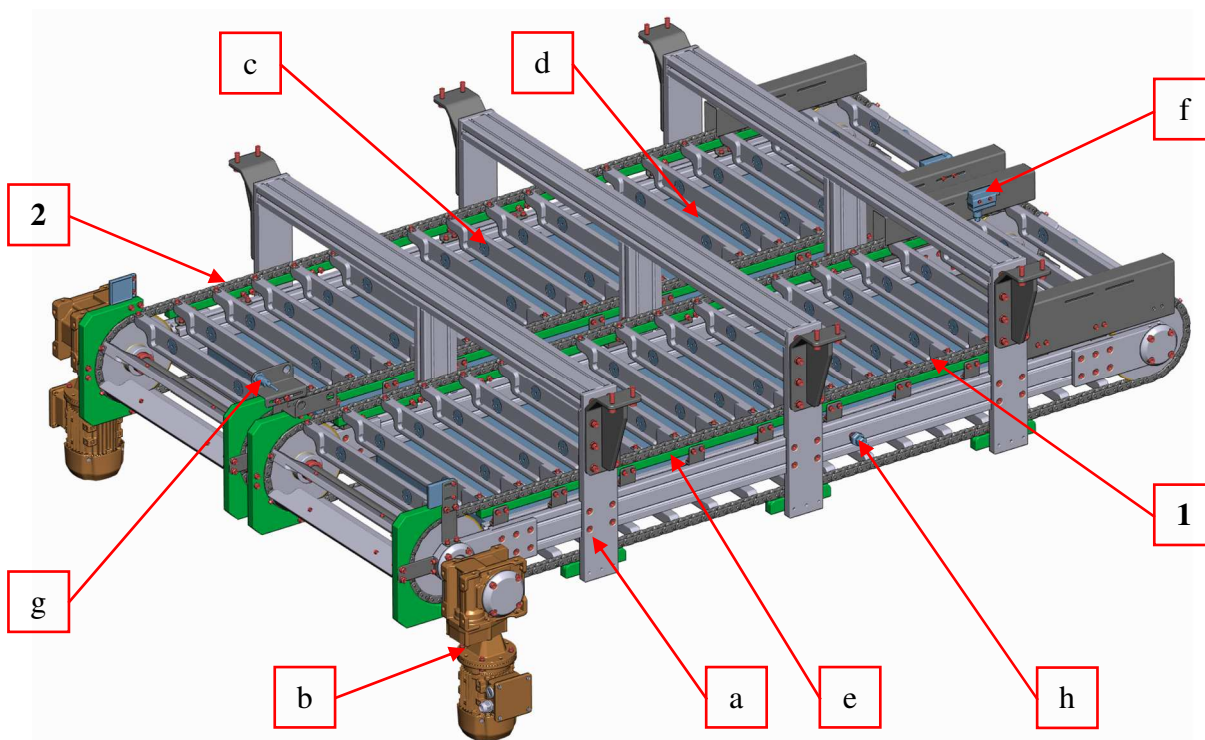


Obr. 8-12 – Dělič průtoku

Tab. 8-4 – Specifikace chilleru Grant Instruments LTC4 [35]

Položka		Hodnota
Rozsah teplot		-30 až 100 °C
Teplotní stabilita		±0,1 °C
Objem lázně		20 l
Chladivo		R134a
Chladicí výkon	Při 0 °C	500 W
	Při -10 °C	300 W
	Při -20 °C	180 W
	Při -30 °C	40 W
Maximální příkon (pro 230 V, 50 Hz)		2850 W

8.6.1. Dopravník

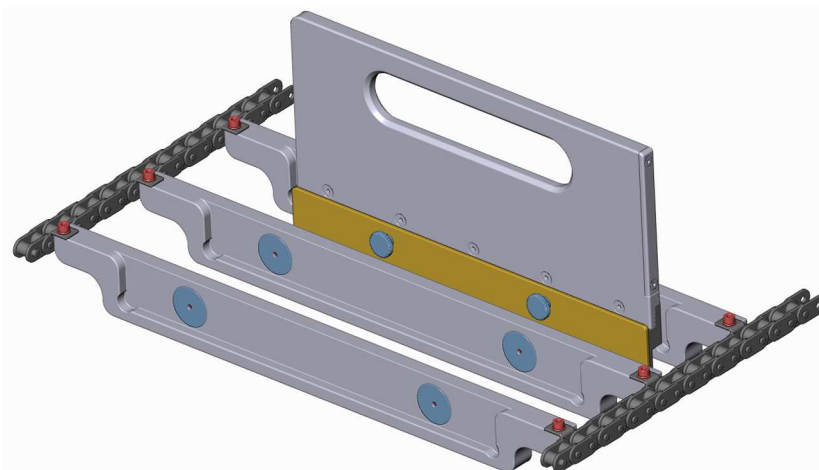


Obr. 8-13 – Dopravník s rámem mrazáku

1 – dopravník 1, 2 – dopravník 2,

a) rám, b) pohon dopravníku, c) lůžko pro paletky, d) chladicí radiátor, e) vedení řetězu, f) snímání polohy lůžka na vstupu, g) snímání přítomnosti paletky na výstupu, h) měření teploty

Dvojice řetězových dopravníků komory je složena z řetězů 10B-1 dle ISO R606, přičemž je každý šestý článek opatřen unašečem, ke kterému je připevněno lůžko pro paletku. Zajištění paletky v lůžku pro jejímu vypadnutí realizuje dvojice magnetů v lůžku, které přitahují vložky v paletce (viz. Obr. 6-4).



Obr. 8-14 – Lůžka dopravníku

Aby nedocházelo k vyvracení lůžek s paletkami, celá horní větev je podepřena vodícími kolejnicemi z PE-UHWM. Ze strany výstupu je řetěz přidržován vedením ze stejného materiálu, které brání vysmeknutí řetězu, když operátor vyjímá magneticky přidržanou paletku. Dolní větev dopravníku je plastovým vedením podepřena ve třech místech.

Každý dopravník je ovládán nezávisle třífázovým asynchronním motorem se šnekovou převodovkou. Aby nedocházelo k nerovnoměrnému napínání řetězu a přičení lůžek, nejen hnací, ale i hnaná kola mají každé společnou hřídel uloženou v kuličkových ložiskách. Ložiska z vnitřní strany dopravníku jsou v rámu vložena letmo, aby měly volný posuv z důvodu tepelné dilatace.

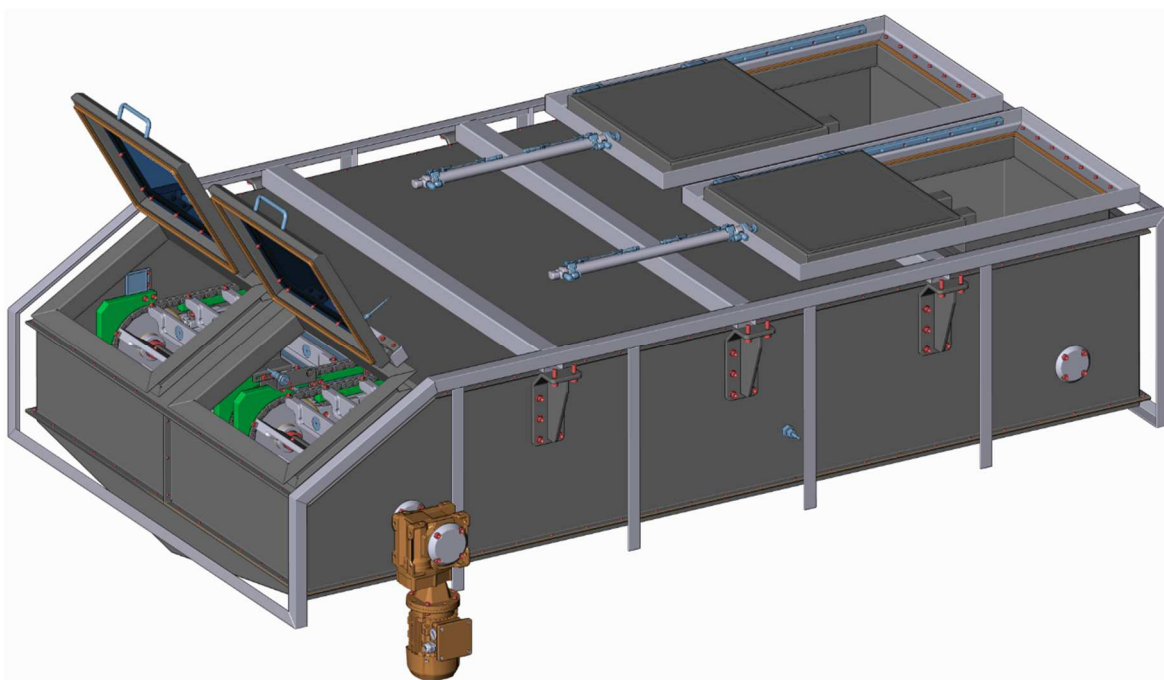
Pod horní větví je skryt velký radiátor, který je ochlazován průtokem média. Návrh radiátoru byl zadán do kooperace. Vstupní parametry pro ně byly parametry chilleru, vnitřní objem komory a okolní podmínky. Teplota v komoře je měřena dvojicí teplotních snímačů Pt1000 umístěných ze stran přibližně uprostřed dopravníků.

Každý dopravník je řízen pomocí signálů ze senzorů uvnitř komory. Koncový spínač OMRON ZC-N2255 (viz. Obr. 8-13, f) má za úkol snímat, zda je lůžko pro paletku v poloze pro odložení paletky robotem. Optoelektronický snímač SICK GRL18S (viz. Obr. 8-13, g) má za úkol zastavit dopravník, když paletka v lůžku dorazí na konec dopravníku, kde ji má vyjmout obsluha. Jelikož je uvnitř komory velký chlad a vlhkost, byly voleny snímače se zvýšeným stupněm krytí a nerezovým tělem.

8.6.2. Rám komory

Chladicí komora (viz. Obr. 8-13, a) má vlastní nosnou konstrukci složenou z hliníkových desek a konstrukčních profilů. Komora je zavěšena na rámu stroje pomocí šesti nerezových závěsných patek. Patky jsou spojeny šroubovými spoji s maticemi svařenými s rámem stroje.

8.6.3. Plášť komory



Obr. 8-15 – Plášť chladicí komory

Plášť komory má za úkol udržovat chlad v komoře a chránit obsluhu před zachycením do řetězového dopravníku. Hlavní části pláště jsou jeho dno, dvě bočnice a horní kryt doplněný o odnímatelná čtvercová hrdla pro vstupní a výstupní dveře chladicí komory. Dno pláště je doplněno o závitové hrdlo s kulovým ventilem, které umožňuje vypouštění nahromaděné zkondenzované vody v komoře.

Vstupní posuvné dveře jsou otvírána automaticky. Ovládání dveří obstarávají dvojčinné lineární pneumatiky Festo DSNU. Dveře jsou vedeny pomocí lineárního kuličkového vedení s dvěma vozíky HIWIN HGH 15 CA. Poloha dveří je sledována dvojicí bezkontaktních snímačů polohy Festo SMT-8M umístěných v horní a dolní úvratí pneumatiky. Pohony jsou opatřeny škrticími ventily pro regulaci rychlosti otevírání a zavírání dveří.

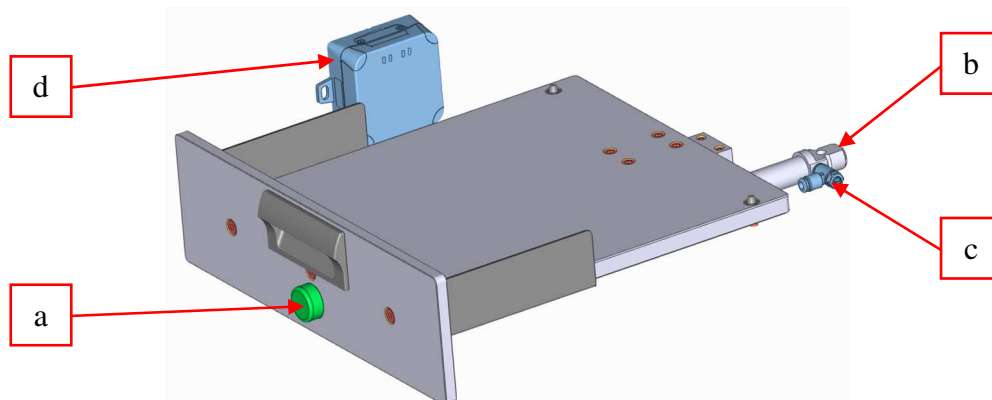
Výstupní dveře jsou otvírány ručně operátorem. Dveře jsou opatřeny pozičními panty Southco E6-10, které je pomocí třecí spojky udržují v otevřené poloze. Panty díky volnoběžce v opačném směru nevyvozují žádný třecí moment, takže obsluze nebrání při jejich otevírání. Uzavření dveří je kontrolováno bezpečnostními indukčními snímači SICK IME2S, které mají zajistit zastavení dopravníku v momentě kdy obsluha dveře otevře.

Plášť komory je kvůli zmenšení tepelných ztrát izolován vrstvou minerální vaty. Izolace je skryta pod druhou vrstvou pláště, který je připevněn šrouby ke kostře izolace, která je posazena na vnitřním plášti komory. Oběma vrstvami pláště prochází hadice s teplotním médiem a kabely od snímačů uvnitř komory. Aby byly minimalizovány ztráty a omezena možnost úniku kondenzované vody budou uloženy v průchodkách. Jejich umístění se určí při montáži.

8.7. Zakládací stanice

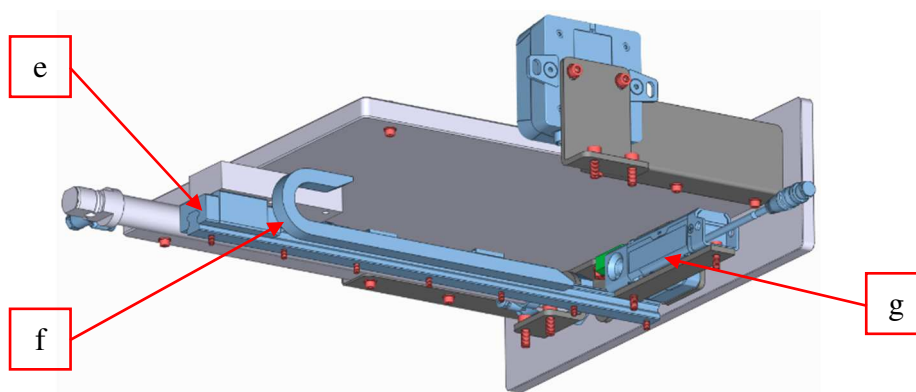
Zakládací stanice je tvořena dvěma hlavními konstrukčními skupinami – zakládací šuplík a vyklápěcí stanice.

8.7.1. Zakládací šuplík



Obr. 8-16 – Zakládací šuplík – pohled shora

a) tlačítko pro otevírání/zavírání, b) lineární pneumotor (výsuv šuplíku), c) škrťací ventil, d) snímač RFID



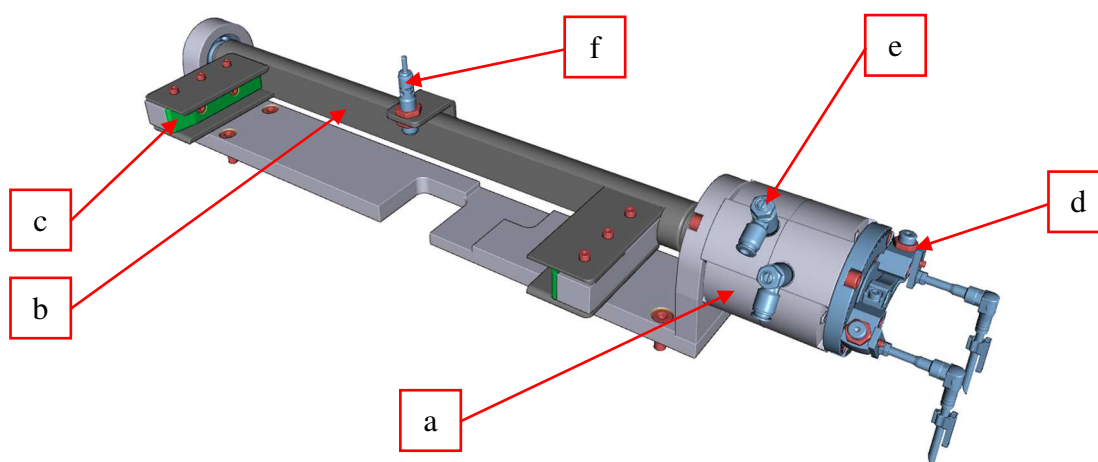
Obr. 8-17 – Zakládací šuplík – pohled zespodu

e) lineární vedení šuplíku, f) energetický řetěz, g) zamykací bezpečnostní snímač

Obsluha do zakládacího šuplíku vkládá paletky ke zpracování. Pro zvýšení komfortu obsluhy je šuplík otevírán pneumaticky stiskem tlačítka. Pohon, který obstarává otevírání šuplíku je FESTO DSNU. Kabel tlačítka otevírání šuplíku je vedený ve flexibilním energetickém řetězu HENNLICH Easy Chain E04. Vedení šuplíku je realizováno lineárním vedením HIWIN HGH 15 CA. V uzavřené poloze je šuplík zajištěn pomocí zamykacího bezpečnostního snímače Keyence GS. Použitím bezpečnostního snímače je obsluha nejen chráněna, PLC také dostává informace o uzavření šuplíku. Úplné otevření šuplíku je zjišťováno bezkontaktním snímačem polohy pístu FESTO SMT-8M.

Při vkládání paletky ji obsluha musí vložit na dvojici středících čepů, které jsou protikusy pro středící otvory na Obr. 6-4. Volné konce hadiček musí být vloženy mezi plechovými bočnicemi šuplíku, jinak hrozí jejich skřípnutí při zavírání šuplíku. Po vložení paletky a stisknutí tlačítka pro zavření šuplík paletku zasune mezi dvojici unášecích paciček vyklápěcího mechanismu. Po oskenování RFID čtečkou SICK RFU na bodu šuplíku může být paletka překllopena.

8.7.2. Vyklápěcí stanice



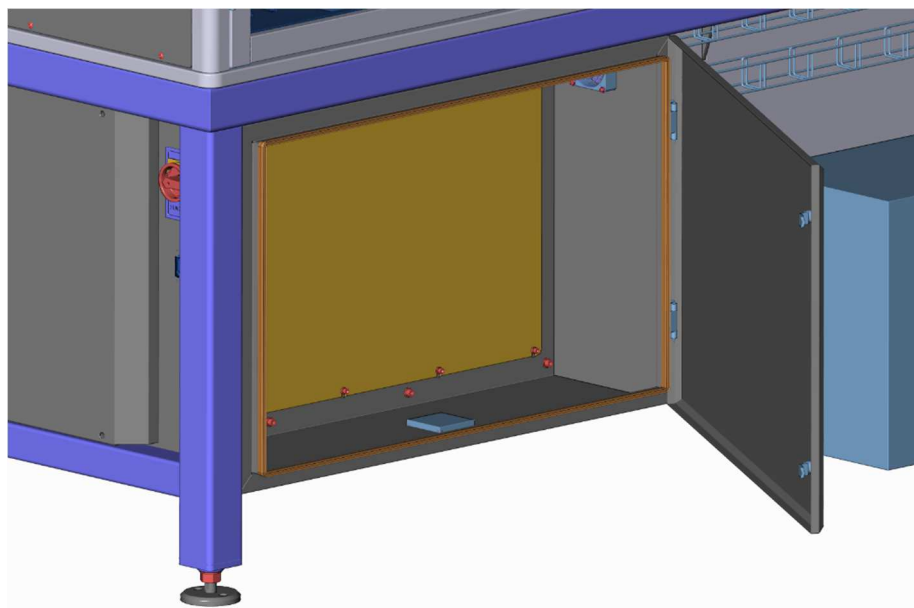
Obr. 8-18 – Vyklápěcí stanice

a) kyvný pohon, b) vyklápěcí hřídel, c) unášecí pacičky, d) stavitelné dorazy s přibližovacími čidly, e) škrťací ventil, f) senzor přítomnosti paletky

Vyklápěcí stanice je tvořena kyvným pneumatickým pohonem Festo DRVS. Aby byla paletka vyklopena do správné polohy, pohon je doplněn sadou nastavitelných dorazů Festo DADP-ES s přibližovacími čidly Festo SIEM-M5B v jeho koncových polohách. Hřídel kyvného pohonu je přes pero spojena s hnací hřídelí vyklápěcího mechanismu. Sepnutím pohonu je paletka vyklopena o 150°, což dává robotu dostatečný prostor pro snadné uchopení paletky.

Paletka je mezi unášecími pacičkami vložena letmo, při vyklápění je přidržována vlastní tíhovou silou. Přítomnost paletky je hlídána indukčním snímačem SICK IMS. Jelikož se pacičky mohou během dlouhodobého provozu opotřebovat, jsou navrženy tak, aby byly jejich dílčí části snadno vyměnitelné.

8.8. Rozvod elektrické energie



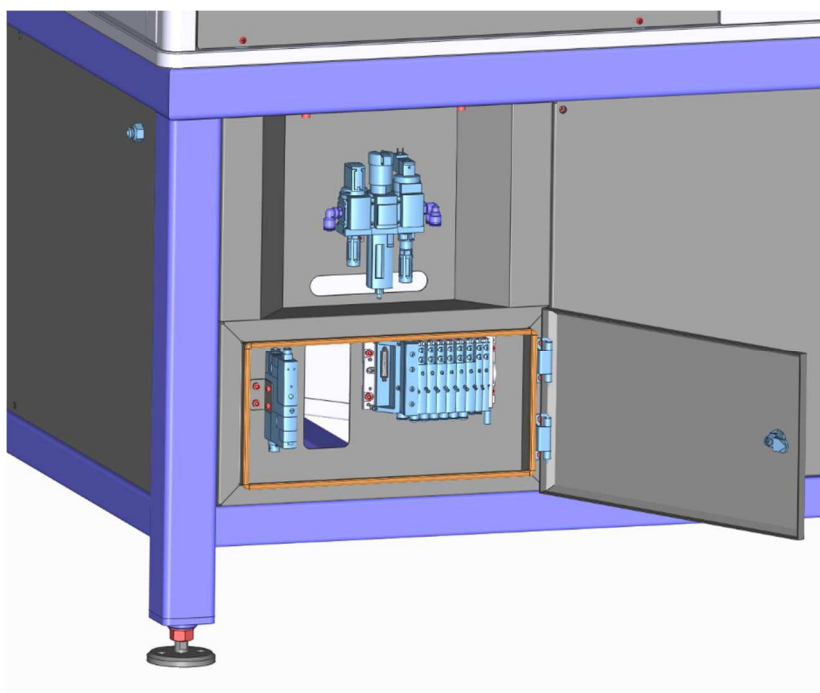
Obr. 8-19 – Skříň rozvaděče

Rozváděč elektrické energie se nachází pod pracovním stolem stroje. Jelikož se jedná o rozváděčovou skříň s atypickými rozměry, bude vyráběna společně se strojem. Při výrobě rozváděčové skříně je nutno ji nechat certifikovat dle požadavků stanovených v ČSN EN 61439-1 ed. 2.

Rozváděčová skříň je zamykatelná, aby bylo zamezeno přístupu neoprávněným osobám. Uvnitř skříně bude zabudována veškerá elektrická výzbroj potřebná k provozu stroje včetně jeho řídicího PLC. V rámci této práce nebyla volba PLC řešena, ale vzhledem k použitým prvkům, jako například dotykový panel SIEMENS SINAMIC bude nejvhodnější zvolit PLC značky SIEMENS doplněné průmyslovými sběrnicemi a rozšiřovacími kartami pro komunikaci s prvky stroje.

Přístroje lze montovat na vyjímatelnou montážní desku uvnitř skříně. Montážní deska má rozměry 915×540 mm. Aby nedocházelo k přehřívání přístrojů uvnitř skříně, je opatřena několika ventilátory. Z vnější strany skříně je přístupný hlavní vypínač stroje a snímač pneumatického tlaku s displejem. Vstup kabelů do skříně bude realizován kabelovými průchodkami. Jejich počet a rozmístění bude stanoven při montáži.

8.9. Rozvod stlačeného vzduchu



Obr. 8-20 – Rozvod stlačeného vzduchu

Stroj je opatřen vlastní jednotkou úpravy vzduchu (JÚV), která napájí přístroje v pneumatickém rozváděči. Pro JÚV byl zvolen stavebnicový systém Festo MSB4. Navržená JÚV je složena ze tří základních částí. Stlačený vzduch je přiváděn do prvního modulu s ručním spínacím ventilem. Od spínacího ventilu stlačený vzduch pokračuje do modulu s redukčním ventilem. Kromě ventilu je modul opatřen filtrem o jemnosti 40 μm a vaničkou na kondenzát s manuálním vypouštěním kondenzátu. Poslední komponentou JÚV je elektricky ovládaný spínací ventil. Tento ventil dovoluje stroji automaticky odpojit pneumatiku stroje signálem z PLC v případě poruchy. Oba spínací ventily v JÚV jsou opatřeny tlumiči hluku.

JÚV má dva výstupy vedené do skříně pneumatického rozváděče. První přístroj, který je z JÚV napájen je ventilový terminál Festo MPAL-VI složený z řady elektromagneticky ovládaných šoupátkových ventilů. Výhodou použití ventilového terminálu oproti jednotlivým ventilům je jeho kompaktnost; ventil v této konfiguraci je napájen jedním přívodem pneumatického vstupu a všechny ventily jsou ovládány z jedné sběrnice vyvedené z PLC. Jednotlivé výstupy ventilů jsou vedeny kabelovým žlabem k jejich příslušným pneumatickým prvkům.

Druhý výstup z JÚV napájí vakuový ejektor Festo OVEM, který slouží jako zdroj vakua pro pětici přísavek, které jsou součástí navrženého koncového efektoru. Ejektor je ovládaný z PLC pomocí sběrnice IO-link, která mimo standardní funkce zprostředkovává spínání ejektoru včetně možnosti použití vyfukovacího impulsu. Přítomnost vakua a tím pádem správnost uchopení paletky je ověřována měřením velikosti vakua.

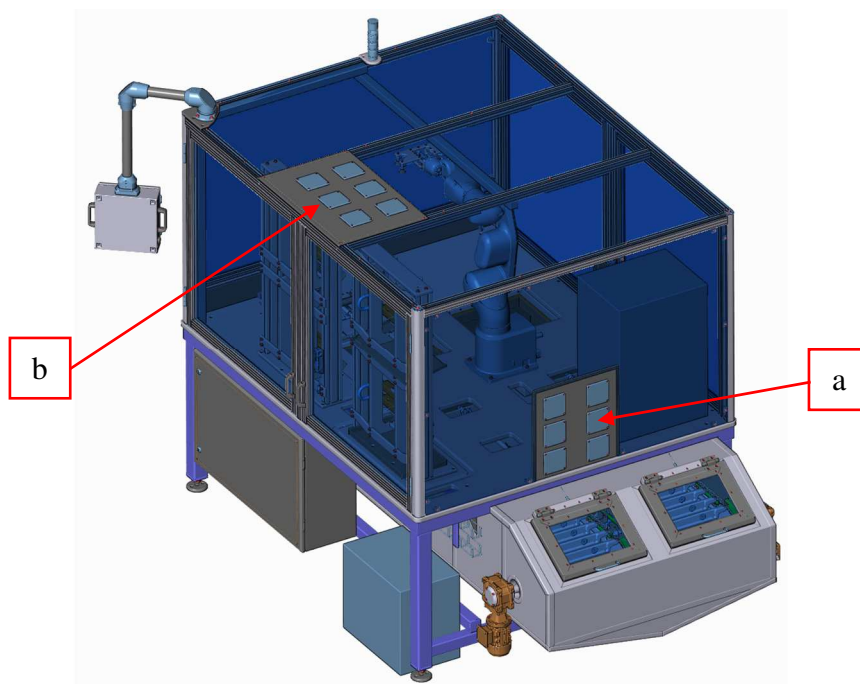
Propojení pneumatických prvků bylo zpracováno ve formě pneumatického schématu stroje (viz. Seznam příloh).

8.10. Krytování pracovního prostoru

Pracovní prostor, ve kterém se pohybuje robot je krytován konstrukcí z hliníkových profilů s okny z akrylového plastu. Na profilech stropního krytování jsou připevněny čtyři LED světla, které mají za úkol zajistit dobrou viditelnost v pracovním prostoru stroje.

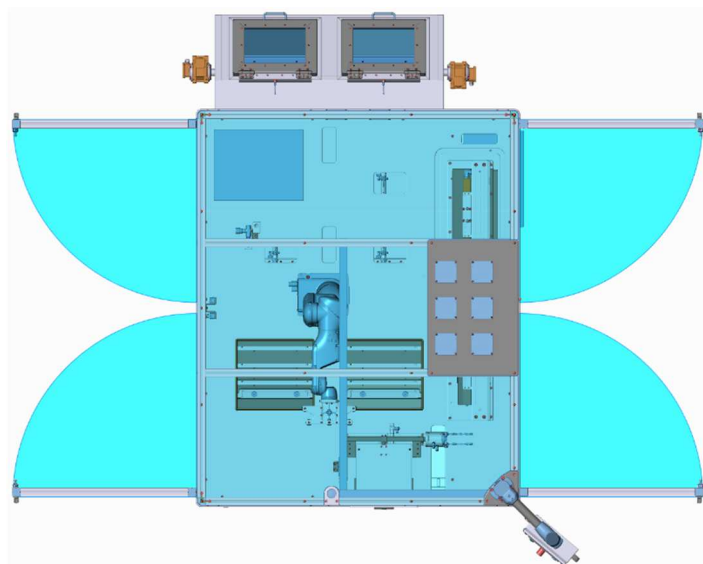
Prostor pod pracovní deskou stroje, kde není požadovaný přístup pro obsluhu stroje je zakryt krycími plechovými díly. Stroj není krytován okolo místa, kde je umístěn průtokový chladič vody, jelikož by krytování blokovalo proudění vzduchu potřebné k uchlazení výměníku chladiče. V tomto místě však nejsou zdroje nebezpečí, které by nutnost krytování opodstatňovaly.

V uzavřeném pracovním prostoru se vyskytuje několik zdrojů tepla, které mohou ovlivňovat funkci chilleru. Aby se uvnitř pracovního prostoru nehromadilo teplo, na krytu je přimontována dvojice desek, každá opatřená šesti 120 mm ventilátory. Pro zabránění vniknutí končetin i nečistot jsou ventilátory kryty mřížkou s filtrem.



Obr. 8-21 – Větrání pracovního prostoru
a) sání studeného vzduchu, b) výtlak teplého vzduchu

Aby byl pracovní prostor v případě potřeby údržby dobře přístupný, vrchní kryt je opatřen čtyřmi dveřmi, které zajišťují přístup do všech míst pracovního prostoru. Jelikož tyto dveře nesmí jít otevřít za běžného provozu, jsou zamykány pomocí stejných zamykacích bezpečnostních snímačů Keyence GS, kterým je opatřen základací šuplík.



Obr. 8-22 – Dveře pracovního prostoru

8.11. HMI



Obr. 8-23 – Ovládací panel stroje

Ovládání stroje je prováděno pomocí panelu, který se nachází u základací stanice. Panel je opatřen tlačítky pro ovládání stroje, tlačítkem nouzového zastavení a dotykového panelu SIEMENS SIMATIC, který dovoluje detailnější ovládání stroje. přídatná signalizace je realizována tříbarevným sloupovým signalizačním majákem BANNER TL50 s funkcí sirény.

Další ovládací zařízení se nachází na straně výstupu dopravníku. Jedná se o jednoduchý panel opatřený dvěma tlačítky pro ovládání pohonu dopravníku v ručním režimu a tlačítkem nouzového zastavení.

9. Odhad nákladů

Dle informací získaných při volbě komponent a odhadu nákupních a výrobních cen byl vypracován hrubý cenový odhad. Odhad obsahuje pouze nákupní a výrobní ceny komponent stroje, nebyly zohledněny mzdy pracovníků a ceny poskytovaných přídatných služeb jako je zaškolení obsluhy atd.

Tab. 9-1 – Odhad nákladů na díly stroje

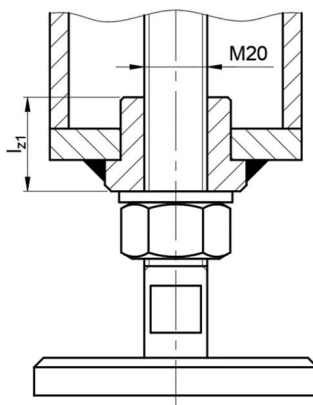
Položka	Cena bez DPH [CZK]
Robot a příslušenství – nakupované díly	350 000
Koncový efektor a příslušenství – nakupované díly:	8 000
Zakládací stanice – nakupované díly: - pneumatické prvky, - senzory a příslušenství, - lineární vedení atd.	38 000
Technologická stanice ohřevu – nakupované díly: - topné patrony, - pneumatické prvky, - senzory a příslušenství atd.	42 000
Technologická stanice ochlazování – nakupované díly: - oběhový chladič, - pneumatické prvky, - senzory a příslušenství atd.	55 000
Chladicí komora – nakupované díly: - chiller, - řetězové dopravníky a jejich pohony, - pneumatické prvky atd.	330 000
Elektrická část stroje – nakupované díly: - elektrická výzbroj, - PLC, - kabeláž atd.	180 000
Pneumatický rozvaděč – nakupované díly: - jednotka úpravy vzduchu, - ventilový terminál, - vakuový generátor atd.	72 000
HMI – nakupované díly	80 000
Bezpečnostní prvky – nakupované díly	78 000
Ostatní nakupované díly	25 000
Vyráběné díly	320 000
Celková přibližná cena za díly	1 228 000

ČÁST III. – DOPROVODNÉ VÝPOČTY

10. Kontrola rámu

10.1. Kontrola nosnosti závitů stavitelné nohy

Celá konstrukce stroje o přibližné hmotnosti $m_{str} = 2\,400\text{ kg}$ stojí na čtveřici výškově stavitelných noh opatřených závitem M20 (viz. Obr. 10-1). Stavitelná noha zabírá s maticí z nerezové oceli svařené s rámem stroje. Noha může být vyšroubována maximálně tak, aby matice neustále zabírala v celé své délce $l_{z1} = 30\text{ mm}$. Proti pootočení závitu je noha zajištěna kontramaticí s podložkou.



Obr. 10-1 – Detail stavitelné nohy

Závit je kontrolován na otláčení. Rozměry metrického závitu použité ve výpočtu viz. Tab. 10-1. Parametry oceli 1.4301, z níž je vyrobena viz. Tab. 8-3. Dovolené napětí bylo stanoveno z meze kluzu materiálu $p_{dov} = R_e = 190\text{ MPa}$.

Tab. 10-1 – Rozměry metrického závitu M20 [36]

Parametr	Značka	Hodnota
Jmenovitý průměr	d, D	20 mm
Rozteč	P	2,5 mm
Střední průměr závitu	d ₂ , D ₂	18,376 mm
Malý průměr závitu	d ₁ , D ₁	17,294 mm
Malý průměr šroubu	d ₃	16,933 mm

Je předpokládáno rovnoměrné rozložení tíhové síly mezi všemi čtyřmi nohami. Posunutí těžiště a vzniklé nerovnosti v rozložení sil jsou kompenzovány návrhovým součinitelem $k_n = 3$.

$$F_{z1} = \frac{m_{str} \cdot g}{i_n} = \frac{2400 \cdot 9,81}{4} = 5\,884\text{ N} \quad (7)$$

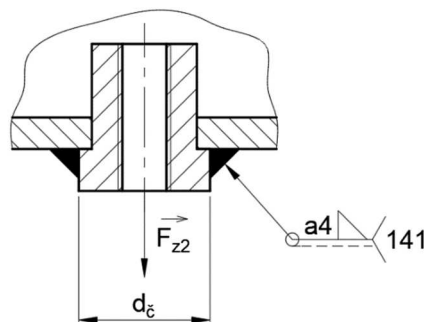
$$p_{z1} = \frac{2 \cdot P \cdot F_{z1} \cdot k_n}{\pi \cdot d_2 \cdot (d - D_1) \cdot l_{z1}} = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 5884 \cdot 3}{\pi \cdot 18,376 \cdot (20 - 17,294) \cdot 30} = 18,83\text{ MPa} \quad (8)$$

$$p_{z1} < p_{dov}$$

Kontrola závitů stavitelných noh na otláčení vyhovuje.

10.2. Kontrola svaru závěsných čepů

Závěsné čepy přivařené k nosnému rámu mají za účel nést hmotnost chladicí komory. Svar je proveden metodou obloukového svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu – TIG (ISO 4063 – 141). Svar velikosti $a = 4 \text{ mm}$ je po celém obvodu velkého průměru závěsného čepu $d_{\xi} = 25 \text{ mm}$ (viz. Obr. 10-2). Dopravník je zavěšen celkem na dvanácti těchto čepech.



Obr. 10-2 – Detail svarového spoje závěsného čepu

$$z = \sqrt{2} \cdot a = \sqrt{2} \cdot 4 = 5,657 \text{ mm} \quad (9)$$

Celková hmotnost chladicí komory činí přibližně $m_{chl} = 600 \text{ kg}$. Je předpokládáno rovnoměrné rozložení tíhové síly mezi všemi čepy. Posunutí těžiště a vzniklé nerovnosti v rozložení sil jsou kompenzovány návrhovým součinitelem $k_n = 3$.

$$F_{z2} = \frac{m_{chl} \cdot g}{i_{\xi}} = \frac{600 \cdot 9,81}{12} = 490,3 \text{ N} \quad (10)$$

Svar čepu je namáhán ta prostý tah. Plocha účinného průřezu svaru figurující ve výpočtu tahového napětí je spočítána podle následujícího vzorce [33]:

$$S_{up} = 1,414 \cdot \pi \cdot \frac{d_{\xi}}{2} \cdot z = 1,414 \cdot \pi \cdot \frac{25}{2} \cdot 5,675 = 314,11 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Dovolené napětí vychází z meze kluzu svařovaného materiálu R_e a převodního součinitele závislého na typu svarového spoje a jeho namáhání α_{τ} . Pro tento případ platí $R_e = 190 \text{ MPa}$ (viz. Tab. 8-3) a $\alpha_{\tau} = 0,65$.

$$\tau_{dov} = \alpha_{\tau} \cdot R_e = 0,65 \cdot 190 = 123,5 \text{ MPa} \quad (12)$$

$$\tau_s = \frac{F_{z2} \cdot k_n}{S_{up}} = \frac{490,3 \cdot 3}{314,11} = 4,68 \text{ MPa} \quad (13)$$

$$\tau_s < \tau_{dov}$$

Kontrola svaru vyhovuje.

11. Návrh koncového efektoru

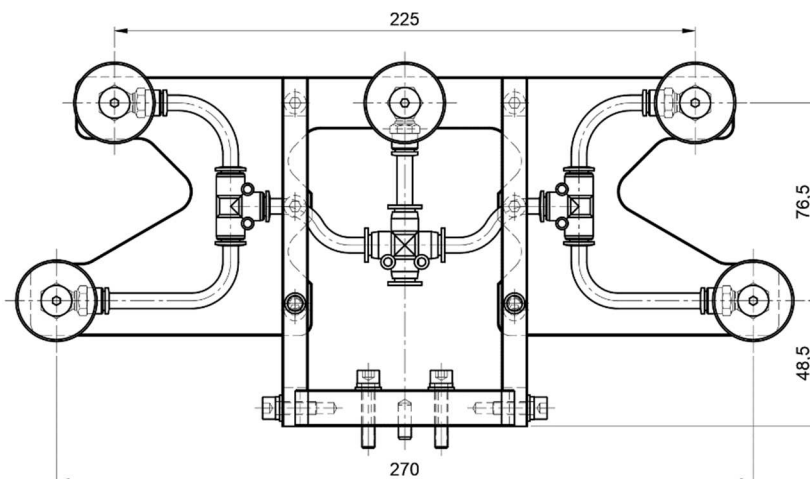
11.1. Kontrola uchopovací síly

Koncový efektor je opatřen aktivními vakuovými úchopnými prvky Festo ESG. Jejich parametry jsou následující:

Tab. 11-1 – Parametry vakuových přísavek Festo ESG [37]

Parametr	Značka	Hodnota
Typ přísavky	-	ESG-30-BS-HB-QS
Průměr přísavky		30 mm
Jmenovitá přídržná síla	$F_{př}$	26,2 N
Jmenovitý provozní tlak	p_{pr} (g)*	-0,7 bar
Tvar přísavky	-	1,5x skládaný měch
Materiál přísavky	-	silikon
Dovolená teplota okolí přísavky	T_{ok}	-30 ÷ 180 °C

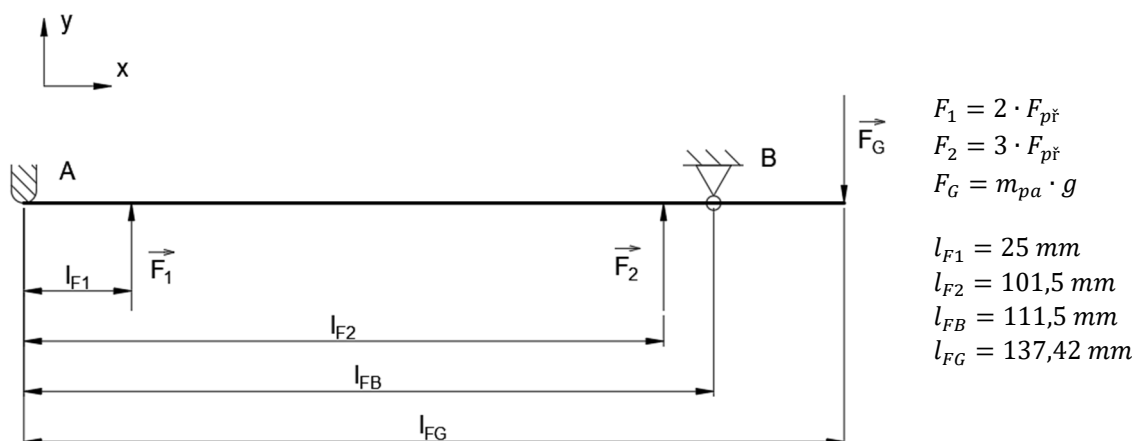
*Pozn.: p_{pr} (g) udává tlak relativní vůči atmosférickému.



Obr. 11-1 – Uspořádání přísavek koncového efektoru

Kontrola správného kontaktu s efektozem

Navržené uspořádání přísavek nesmí umožnit, že se bude paletka při manipulaci vlivem vlastní hmotnosti vyklápět. Musí být tedy po přísátí v kontaktu s podpěrnou lištou efektoru v celé její kontaktní délce. Kdyby k tomu tak nedošlo, hrozilo by při manipulaci k odchlípnutí přísavek a tím pádem k zaniknutí přídržné síly efektoru.



Obr. 11-2 – Schématické znázornění kontaktu paletky s podpěrnou lištou

$$\Sigma F_x = 0 \quad (14)$$

$$\Sigma F_y = 0: 2 \cdot F_{př} + 3 \cdot F_{př} - F_A - F_B - m_{pa} \cdot g = 0 \quad (15)$$

$$\Sigma M_A = 0: 2 \cdot F_{př} \cdot l_{F1} + 3 \cdot F_{př} \cdot l_{F2} - F_B \cdot l_{FB} - m_{pa} \cdot g \cdot l_{FG} = 0 \quad (16)$$

Vyjádřením ze získaných rovnic rovnováhy je možno získat velikosti reakčních sil v rozích podpěrných lišt.

$$F_B = \frac{F_{př} \cdot (2 \cdot l_{F1} + 3 \cdot l_{F2}) - m_{pa} \cdot g \cdot l_{FG}}{l_{FB}} \quad (17)$$

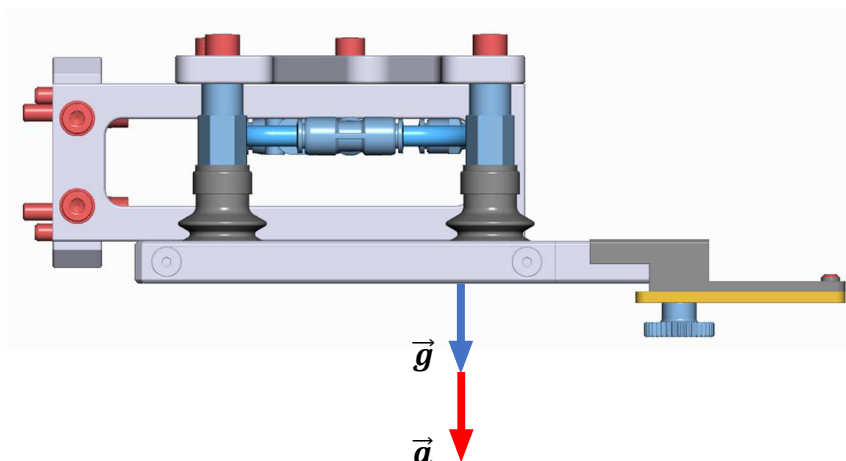
$$F_B = \frac{26,2 \cdot (2 \cdot 25 + 3 \cdot 101,5) - 2,5 \cdot 9,81 \cdot 137,42}{111,5} = 53,07 \text{ N}$$

$$F_A = 5 \cdot F_{př} - F_B - m_{pa} \cdot g = 5 \cdot 26,2 - 53,07 - 2,5 \cdot 9,81 = 53,4 \text{ N} \quad (18)$$

To, že nedochází k naklápění paletky při přísátí, naznačuje, že obě reakční síly směřují proti přídržným silám přísavek ($\vec{F}_1, \vec{F}_2$ viz. Obr. 11-2). V tomto případě to znamená, že jsou jejich hodnoty kladné. Znamená to tedy, že je paletka v kontaktu s podpěrnou lištou v celé její kontaktní délce. Dle výsledků toto uspořádání přísavek vyhovuje.

Kontrola přídržné síly

Kontrola přídržné síly je počítána vůči kritické síle, čímž se rozumí největší síla, která může působit na manipulovaný objekt. V tomto případě se jedná o sílu, kdy je předmět přidržován z vrchu a působí na něj zrychlení směrem od efektoru (viz. Obr. 11-3). Působící zrychlení má dvě složky: tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a zrychlení od pohybu efektoru. Zrychlení efektoru bylo zvoleno $a = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



Obr. 11-3 – Zrychlení při působení kritické síly

$$F_{přK} = m_{pa} \cdot (g + a) = 2,5 \cdot (9,81 + 10) = 37,02 \text{ N} \quad (19)$$

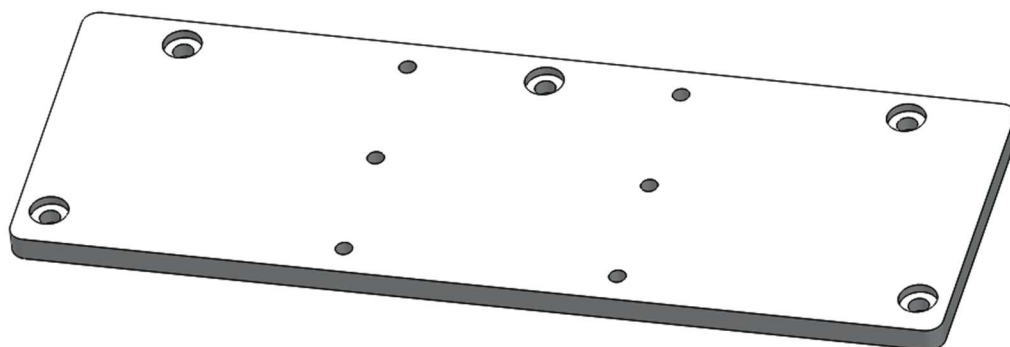
Z nyní známé kritické přídržné síly je dále možno spočítat součinitel bezpečnosti upnutí objektu. Dle výpočtů v předchozí kapitole lze předpokládat, že je rozložení sil mezi všemi pěti přísavkami přibližně rovnoměrný. Aby bylo uchopení spolehlivé, měla by být součinitel bezpečnosti uchopení větší než 2.

$$k_{up} = \frac{F_{př} \cdot n_{př}}{F_{přK}} = \frac{26,2 \cdot 5}{37,02} = 3,54 \quad (20)$$

Přídržná síly efektoru vyhovuje.

11.2. Optimalizace tvaru montážní desky efektoru

Limitujícím faktorem zvoleného robotu EPSON VT6 je jeho maximální nosnost. Je tedy vhodné na koncovém efektoru vyhledat místa, kde ubrání materiálu za účelem snížení hmotnosti nebude mít značný dopad na jeho výslednou tuhost. Ideálním kandidátem je montážní deska efektoru, která má za úkol nést vakuové přísavky.



Obr. 11-4 – Výchozí tvar montážní desky

Redukce hmotnosti desky bude provedena dle výsledků analýz v softwaru ANSYS. K dosažení výsledků budou použity analýzy typu „Static Structural“ a „Structural Optimization“.

11.2.1. Předběžná statická analýza

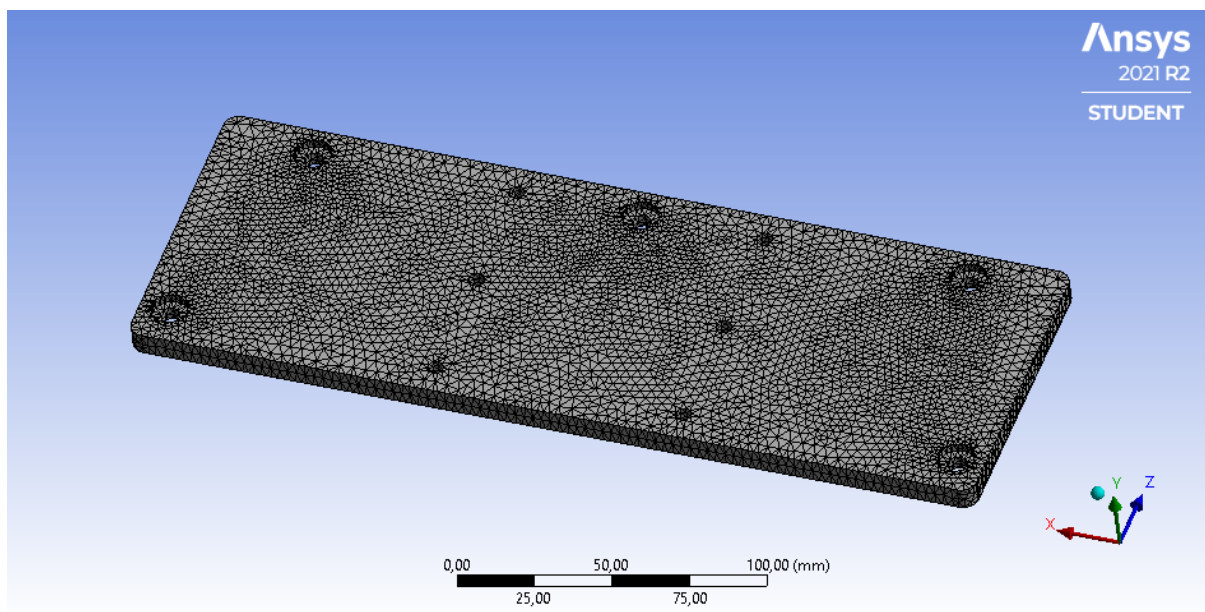
V první řadě je nutné provést statickou analýzu desky v jejím výchozím stavu. Na základě výsledků této analýzy bude rozhodnuto, zda bude optimalizace tvaru proveditelná. Předběžná analýza je typu „Static Structural“.

Geometrie tělesa, materiál

Geometrie tělesa byla importována z vytvořeného CAD modelu. Deska má být vyrobena z hliníkové slitiny EN AW 6082, tělesu tedy byl přiřazen materiál „Aluminium Alloy“ s ekvivalentními materiálovými vlastnostmi.

Vytvoření sítě prvků

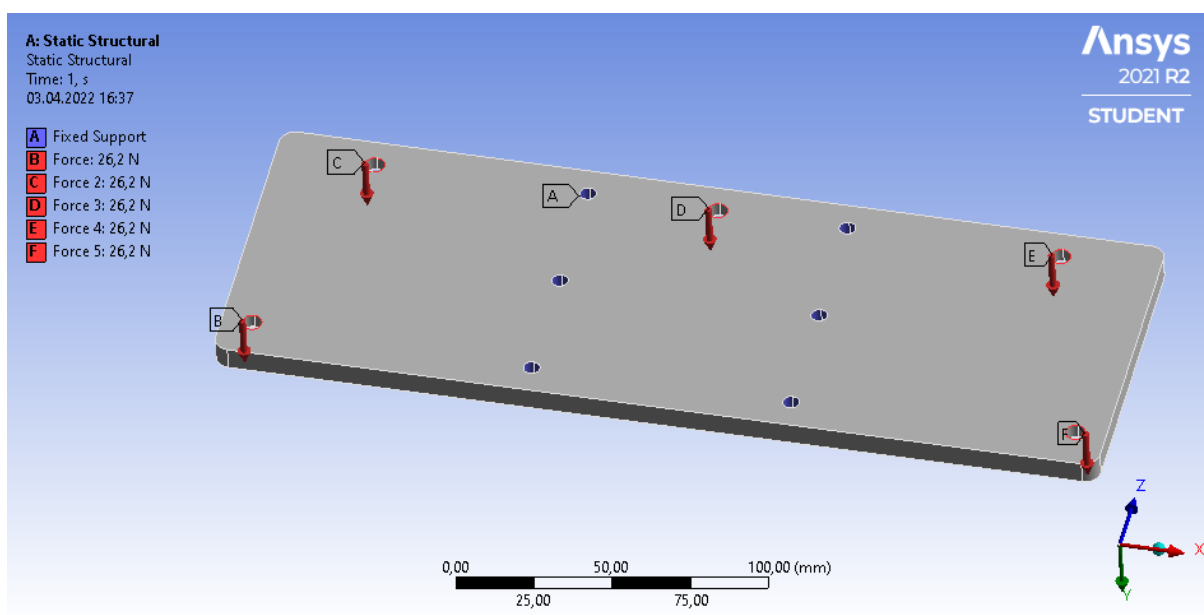
Před provedením analýzy je v první řadě nutno vytvořit síť prvků, na které bude analýza provedena. Jelikož bude stejná síť později použita i při optimalizaci topologie, je vhodné zvolit menší velikost prvku sítě, aby byly výsledky optimalizace co nejpřesnější. Velikost prvku tedy byla zvolena 2 mm. V okolí děr pro šrouby vakuových přísavek bylo aplikováno přidavné lokální zjemnění sítě pomocí funkce „Sizing“, s velikostí prvku 1 mm.



Obr. 11-5 – Vygenerovaná síť tělesa

Definice okrajových podmínek

Deska je v simulačním modelu zavazbena pomocí vazby „Fixed“ umístěné v šesti otvorech pro přimontování desky (viz. Obr. 11-6, položka A). V otvorech pro šrouby přísavek působí síla 26,2 N (viz. Obr. 11-6, položky B÷F) – maximální přídržná síla, kterou jsou přísavky schopny vyvinout.

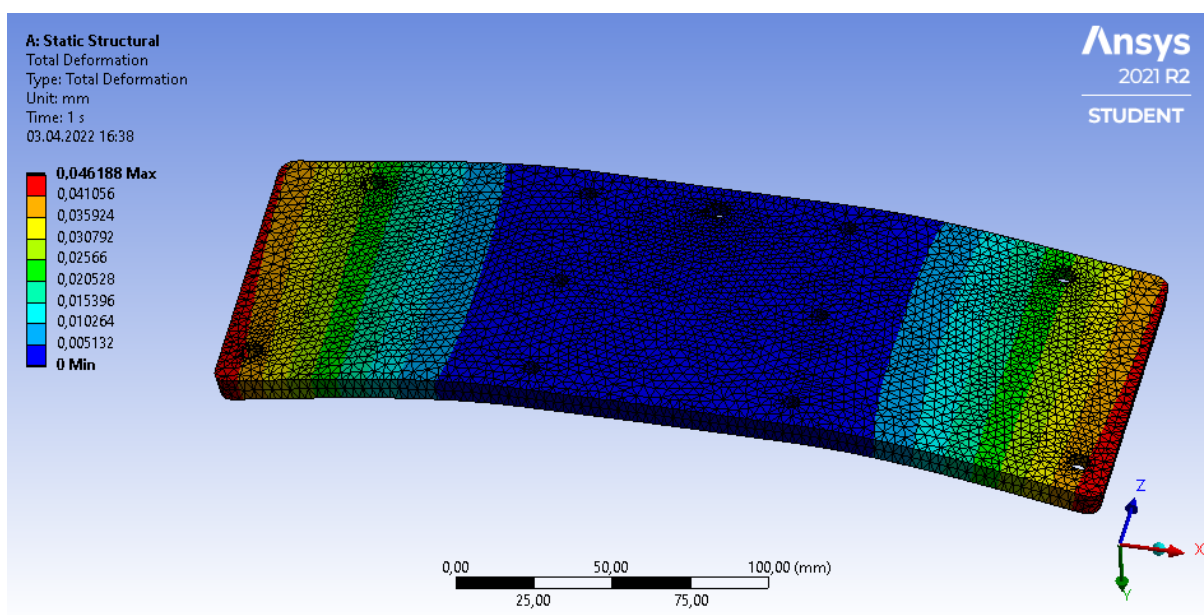


Obr. 11-6 – Síly a vazby v analýze

Výsledky analýzy

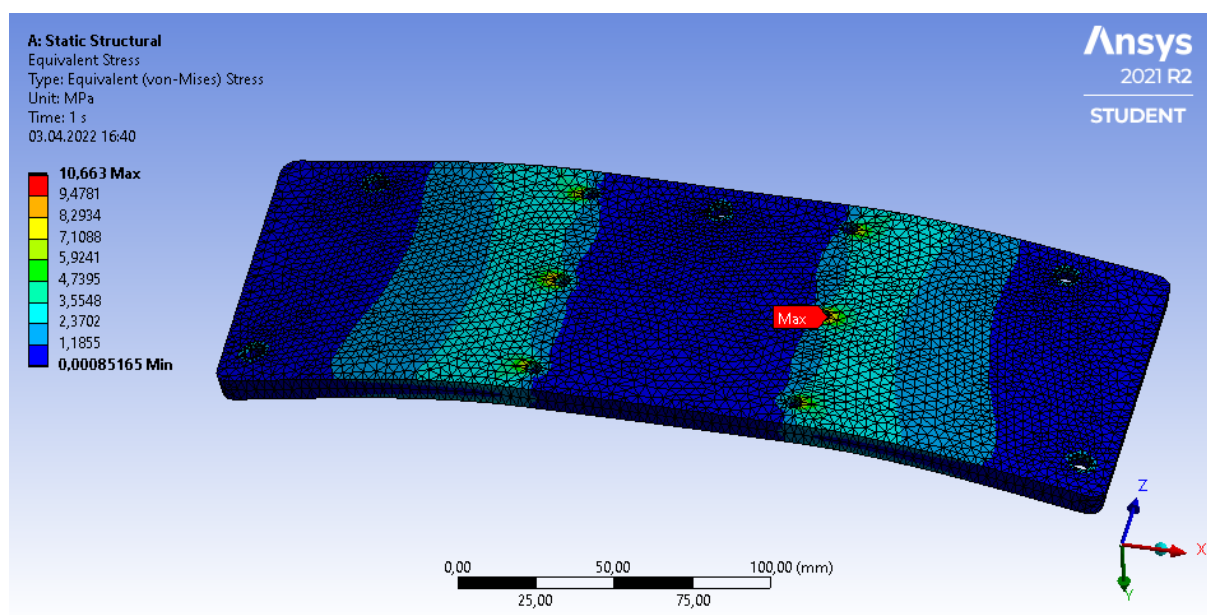
Model byl analyzován ze dvou hledisek:

- celková deformace – evaluace typu „Total Deformation“ (viz. Obr. 11-7),
- ekvivalentní napětí – evaluace typu „Equivalent (von-Mises) Stress“ (viz. Obr. 11-8).



Obr. 11-7 – Celková deformace tělesa

Zadané zatížení vyvoluje minimální deformace desky; největší deformace se vyskytují na volných hranách desky, kde dosahují maxima okolo 0,05 mm.

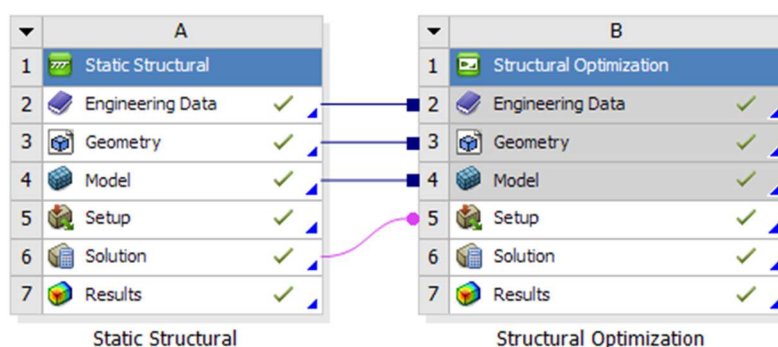


Obr. 11-8 – Ekvivalentní napětí (von-Mises)

Z výsledků analýzy vyplývá, že je deska dostatečně předimenzována, což dovoluje optimalizaci topologie za účelem zredukování hmoty desky. Výsledky obou analýz ukazují, že uprostřed desky se vyskytuje minimální napětí a tím pádem i deformace. Na základě toho lze předpokládat, že v této oblasti dojde k největšímu úběru materiálu.

11.2.2. Optimalizace topologie tělesa

Optimalizace tvaru desky vychází z tvaru získaného analýzou „Structural Optimization“. Tato analýza v rámci softwaru ANSYS přímo navazuje na výsledky předběžné statické analýzy, což výrazně zjednodušuje její přípravu. Z propojené statické analýzy přebírá geometrii a její síť prvků, definici materiálu a okrajové podmínky.



Obr. 11-9 – Návaznost analýz

Kritéria analýzy

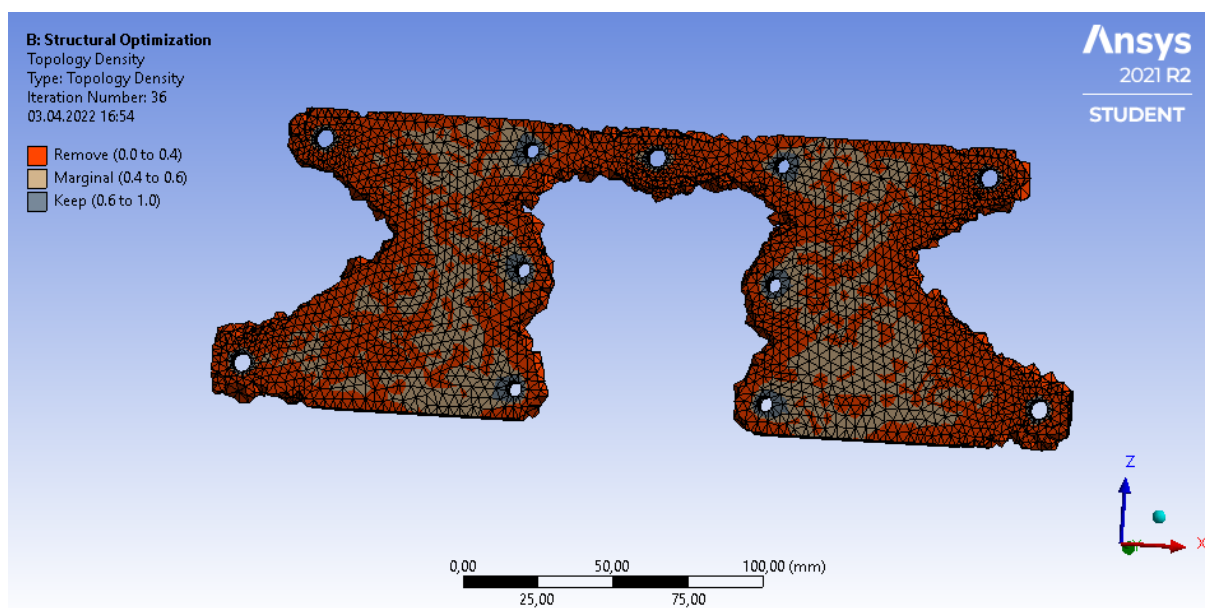
Cílem analýzy je zjistit vhodné oblasti, ze kterých lze odebrat přebytečný materiál, aniž by vzniklá geometrie neztratila požadovanou tuhost. Analýzu řídí tři zvolená kritéria, která byla zvolena na základě výsledků předchozí analýzy:

- odebrat 50 až 80 % materiálu,
- deformace ve směru Y nesmí přesáhnout 0,2 mm,
- ekvivalentní napětí nesmí přesáhnout 60 MPa.

Tyto kritéria byla zvolena experimentálně. Na základě výsledků této optimalizace budou rozhodnuty případné úpravy za účelem získání lepšího výsledku. Z geometrie, která bude optimalizována byly vyloučeny všechny otvory, jelikož jsou nutné k tomu, aby montážní deska mohla plnit svou funkci.

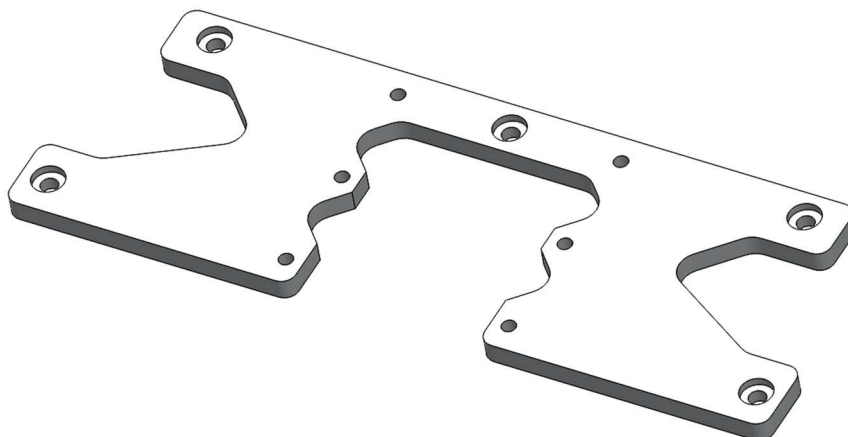
Výsledky analýzy

Při řešení analýzy program z vytvořené geometrické sítě odebírá objemové prvky a zkoumá, jaký má nově dosažený tvar vliv na kritéria definovaná v předchozí kapitole. Takto se analýza iteračně opakuje v automatickém cyklu, dokud není nalezen optimální tvar. V případě této studie byl finální tvar byl získán ve 36. iteraci.

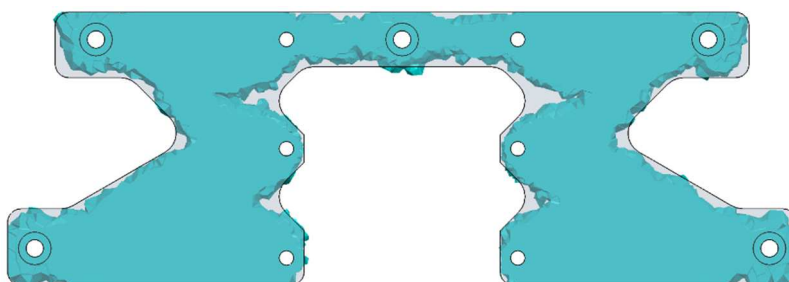


Obr. 11-10 – Optimalizovaný tvar desky

Tvar vzniklý při analýze má hmotnost 0,3 kg, což ve srovnání s původním tvarem desky o hmotnosti 0,63 kg znamená téměř 53% redukci hmotnosti. Ze vzniklého tvaru uvedeného na Obr. 11-10 je však evidentní, že součást takového tvaru není vyrobitelná konvenčními metodami. Vzniklý tvar je tedy nutné zrekonstruovat v CAD softwaru při zohlednění dostupných technologických prostředků. Po úpravě činí hmotnost součásti 0,37 kg, což je pro snížení celkové hmotnosti koncového efektoru dostačující.



Obr. 11-11 – Optimalizovaný tvar desky upravený v CAD softwaru

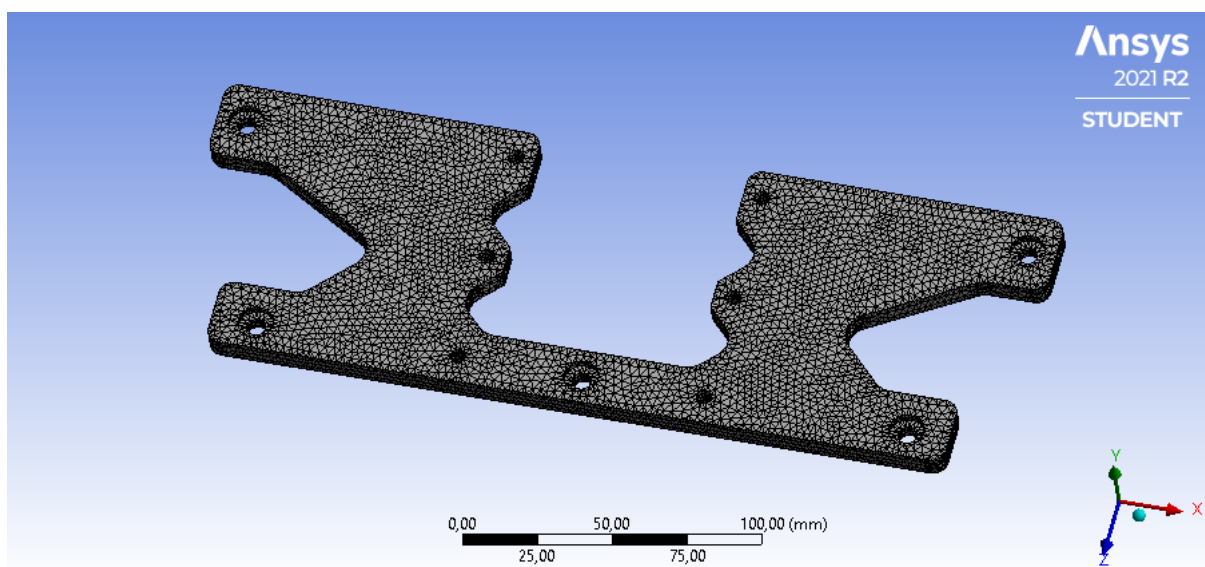


Obr. 11-12 – Porovnání hrubého a upraveného tvaru

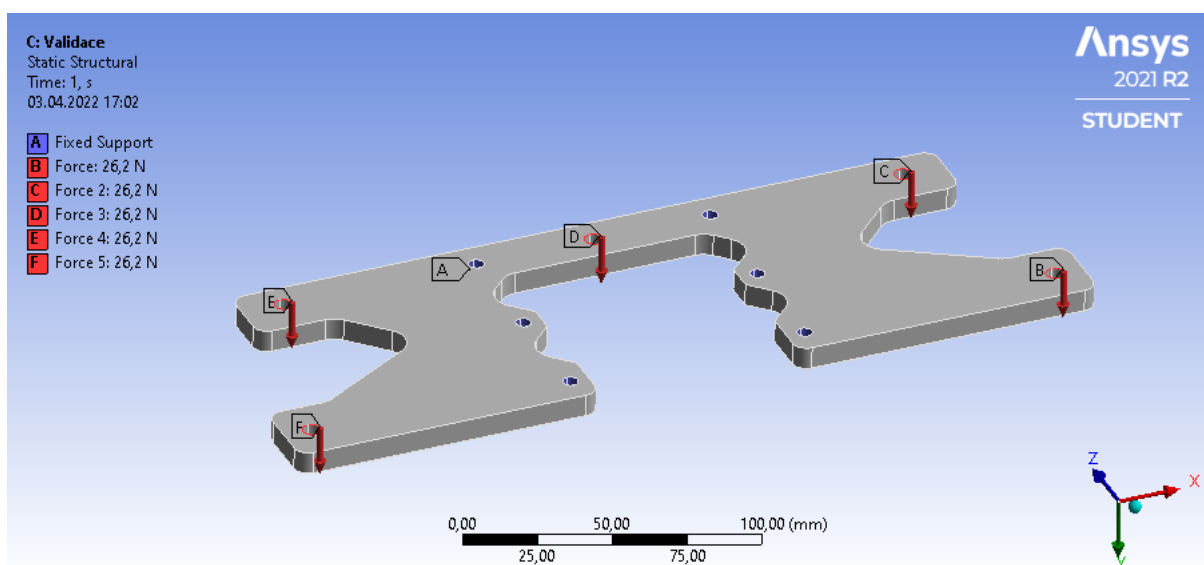
11.2.3. Verifikace výsledného tvaru

I přes to že technologické úpravy tvaru naznačené na Obr. 11-12 jsou velice konzervativní, je vhodné provést kontrolní statickou analýzu. Ověří se tak nejen vhodnost úprav v CAD softwaru, ale i výsledek získaný samotnou topologickou optimalizací.

Nastavení pro tvorbu sítě a okrajové podmínky analýzy byly použity stejné, jako ty v prvotní statické analýze provedené v kapitole 11.2.1.



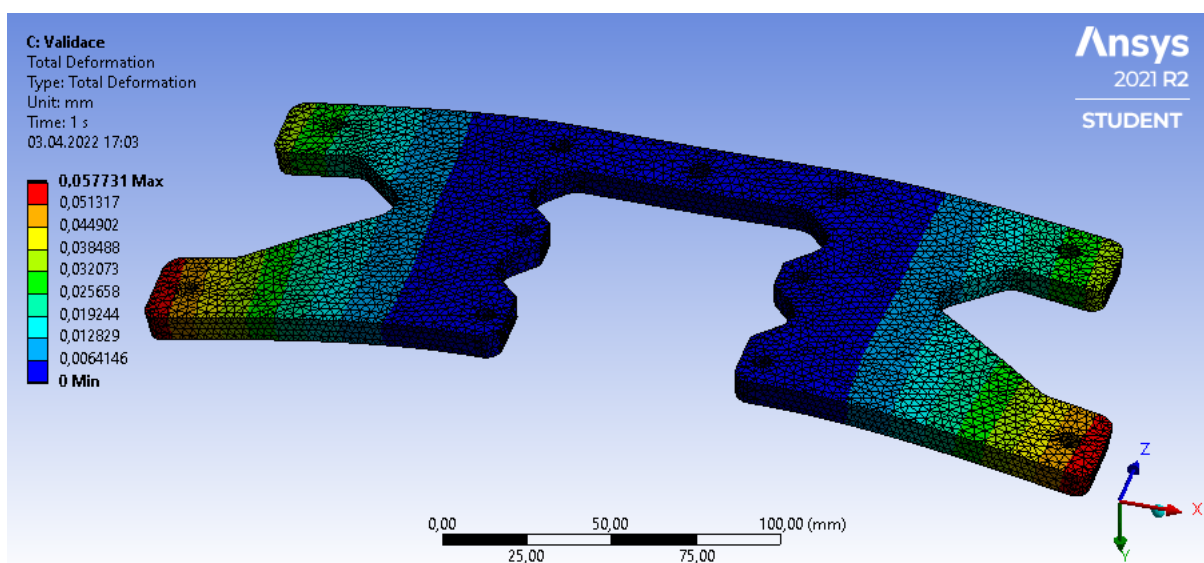
Obr. 11-13 – Sít' desky s optimalizovaným tvarem



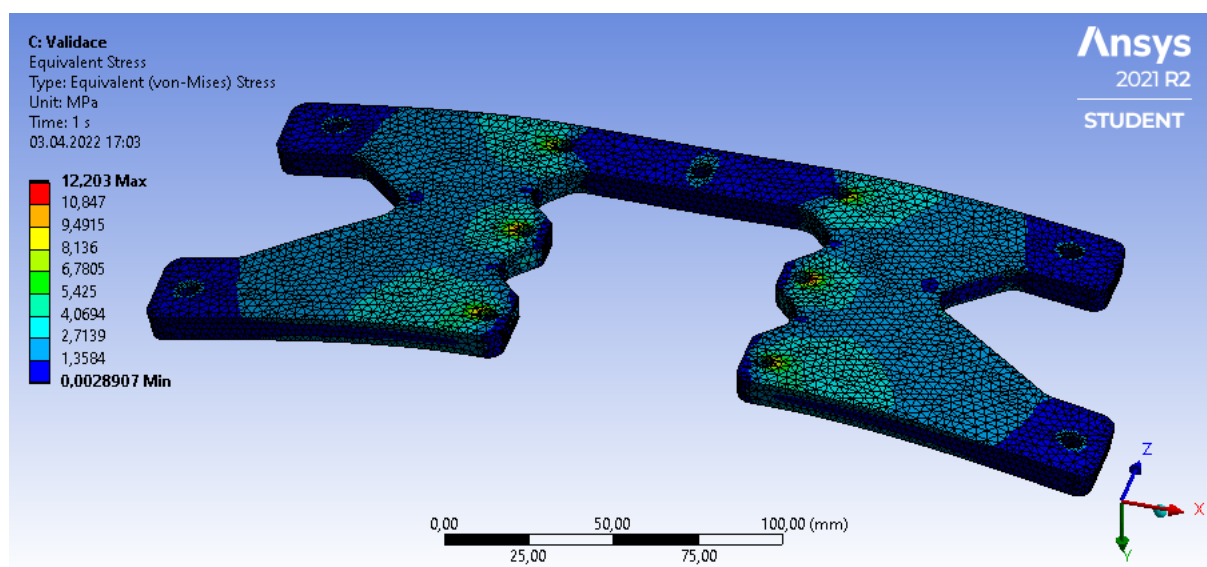
Obr. 11-14 – Síly a vazby v analýze

Výsledky analýzy

Optimalizovaná deska byla opět analyzována na celkovou deformaci a ekvivalentní napětí.



Obr. 11-15 – Celková deformace tělesa



Obr. 11-16 – Ekvivalentní napětí (von-Mises)

Srovnáním s původním tvarem desky při identickém namáhání:

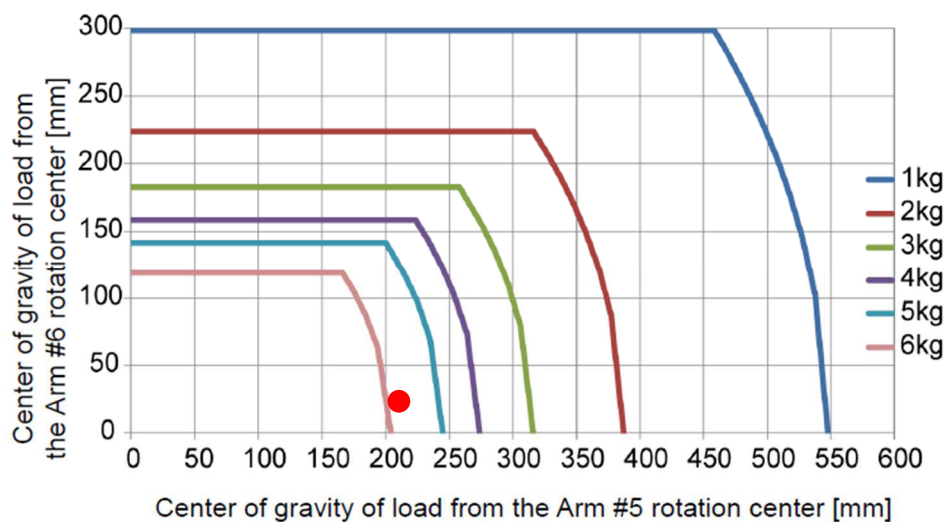
- celková deformace:
 - původní tvar: maximum 0,046 mm,
 - hmotnostně optimalizovaný tvar: maximum 0,058 mm,
- ekvivalentní napětí:
 - původní tvar: maximum 10,66 MPa
 - hmotnostně optimalizovaný tvar: maximum 12,2 MPa.

Hodnoty namáhání desky s optimalizovaným tvarem jsou zcela vyhovující. Ve srovnání s původní hmotností 0,63 kg, optimalizovaný tvar desky s hmotností 0,37 kg znamená 41,3 % redukci hmotnosti, přičemž změny její únosnosti jsou minimální. V případě nutnosti dalšího snížení hmotnosti za účelem dodržení nosnosti robotu lze provést druhou iteraci topologické optimalizace

11.3. Kontrola nosnosti robotu

Dle CAD modelu koncového efektoru robotu osazeného paletkou byly zjištěny tyto relevantní parametry:

- Hmotnost: 3,52 kg
- Souřadnice těžiště pro diagram nosnosti:
 - vzdálenost od středu rotace osy J#5: 213,58 mm
 - vzdálenost od středu rotace osy J#6: 19,23 mm

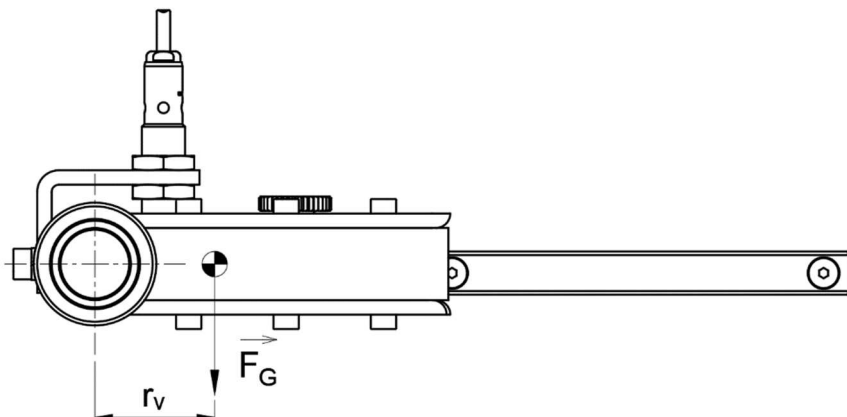


Obr. 11-17 – Poloha těžiště na diagramu nosnosti

Dle diagramu nosnosti se těžiště plně naloženého efektoru pohybuje v oblasti maximální nosnosti 5 kg. Navržené úpravy efektoru tedy vyhovují.

12. Návrh vyklápěcí stanice

Pohyb hřídele, která unáší vloženou paletku zprostředkovává kyvný pneumatický pohon řady DRVS od značky Festo. Aby byl pohon schopen hnát hřídel s paletkou musí být schopen vyvodit dostatečný moment.



Obr. 12-1 – Těžiště paletky ve vyklápěcí stanici

Minimální potřebný moment lze spočítat ze známé hmotnosti výklopné hřídele obsazené paletkou $m_v = 4,75 \text{ kg}$ a vzdálenosti jejího těžiště od osy rotace $r_v = 33,2 \text{ mm}$ (viz. Obr. 12-1). K dosažení vyšší spolehlivosti pohonu je potřebný moment násoben návrhovým součinitelem $k_n = 2$.

$$M_v = m_v \cdot g \cdot r_v \cdot k_n = 4,75 \cdot 9,81 \cdot \frac{33,2}{1000} \cdot 2 = 3,09 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (21)$$

Na základě tohoto výsledku je vhodný pneumatický pohon DRVS-25-270-P. Při zpětné kontrole bylo však zjištěno že tento kyvný motor nevyhovuje z hlediska přípustného setrvačného momentu. Setrvačný moment zátěže činí $0,018 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (měřeno pomocí CAD softwaru), přípustný setrvačný moment dle katalogu výrobce je $0,012 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Z tohoto důvodu byl zvolen silnější kyvný pneumatický pohon DRVS-32-270-P, který vyhovuje i z hlediska setrvačného momentu.

13. Návrh topné patrony

Cílem studie je zjistit vhodné měrné zatížení patron – hustotu tepelného toku, se kterou bude možno spolehlivě ohřát čelisti na teplotu dosahující minimálně 200 °C. Hustota tepelného toku je jeden ze základních parametrů pro volbu topné patrony, na jejímž základě může výrobce navrhnout vhodné řešení. Zvolený dodavatel ELEKTRON-ETTO dodává patrony ve několika typových a výkonových řadách [38]:

- nízc zatížené topné patrony – měrné zatížení do 5 W/cm²,
- středně zatížené topné patrony – měrné zatížení do 12 W/cm²,
- vysoce zatížené topné patrony – měrné zatížení až do 60 W/cm²,
- speciální topné patrony.

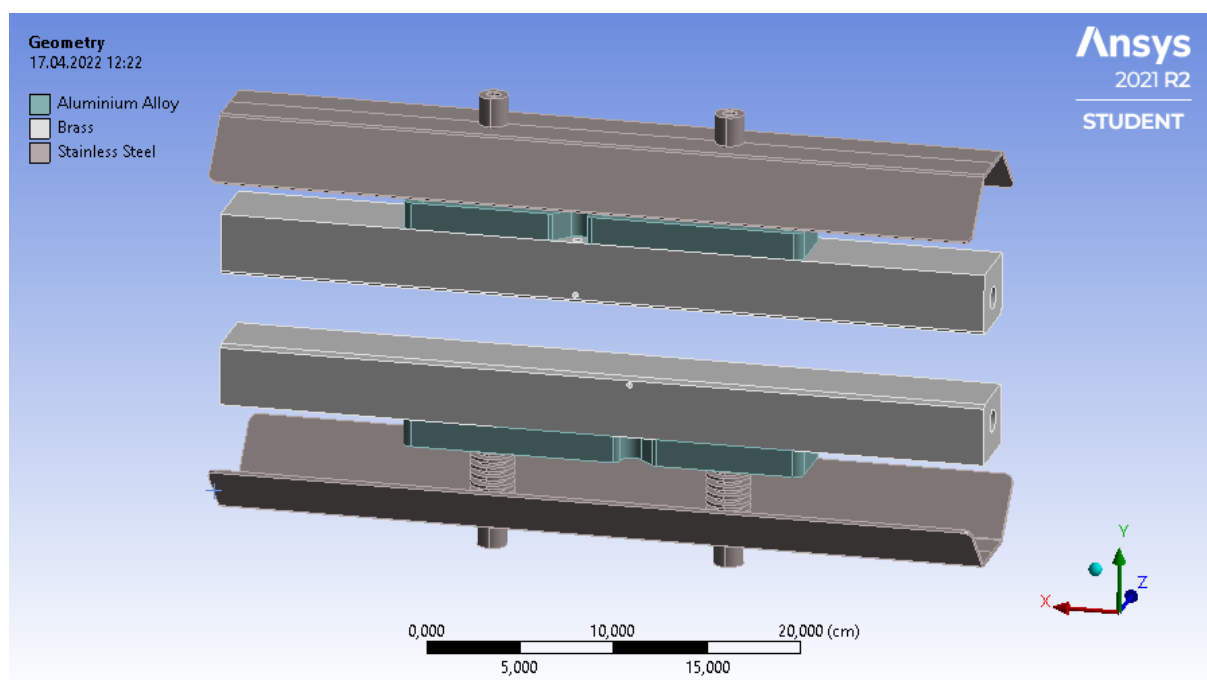
Geometrie těles, materiál

Geometrie pro analýzu byla importována z CAD modelu. Před exportování souboru Z CAD softwaru bylo provedeno zjednodušení těles za účelem zjednodušení sítě a urychlení tvorby simulace a konečného výpočtu. Z těles byly odstraněny prvky, které by měly na výsledek minimální vliv. Patří mezi ně např. zkosení a zaoblení či drobné drážky. Do modelu byly přidány dva válce o rozměru Ø12,5×360 mm, které reprezentují topné části patron.

K provedení analýzy je nutné znát materiálové vlastnosti jednotlivých těles, jmenovitě jejich tepelnou vodivost. Součásti v modelu jsou vyrobeny z převážně z nerezové oceli, kromě připojovacího mezikusu, který je vyroben z hliníkové slitiny a samotných čelistí, které jsou vyrobeny z mosazi. Jejich příslušná tepelná vodivost je uvedena v následující tabulce:

Tab. 13-1 – Tepelná vodivost použitých materiálů [39]

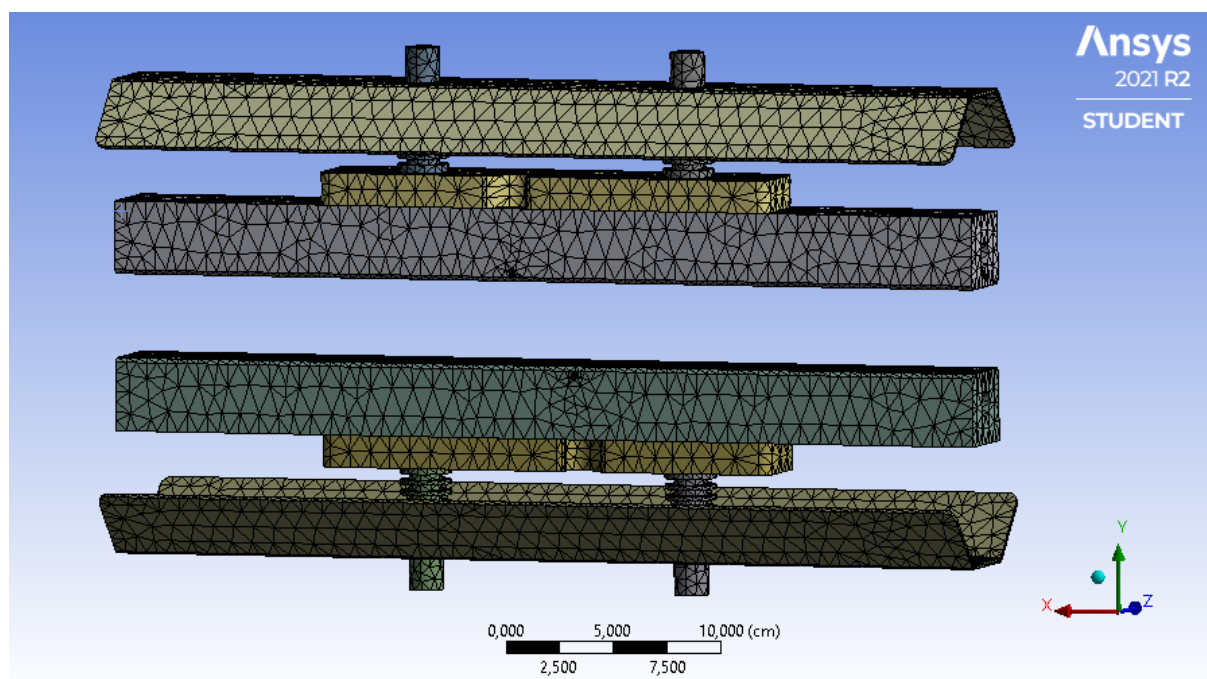
Materiál	Tepelná vodivost (při 20 °C)
Nerezová ocel	14,4 W/m · K
Hliníková slitina	164 W/m · K
Mosaz	111 W/m · K



Obr. 13-1 – Přiřazení materiálů

Vytvoření sítě prvků

Sít' byla vytvořena s velikostí prvků 5 mm. Jelikož je tato sít' dostatečně jemná, není potřeba aplikovat lokální zjemnění. Pokud by tomu tak nebylo, je možno použít zjemnění sítě na ohřívacích plochách čelisti, kde je potřebné získat vyšší rozlišení teploty povrchu.



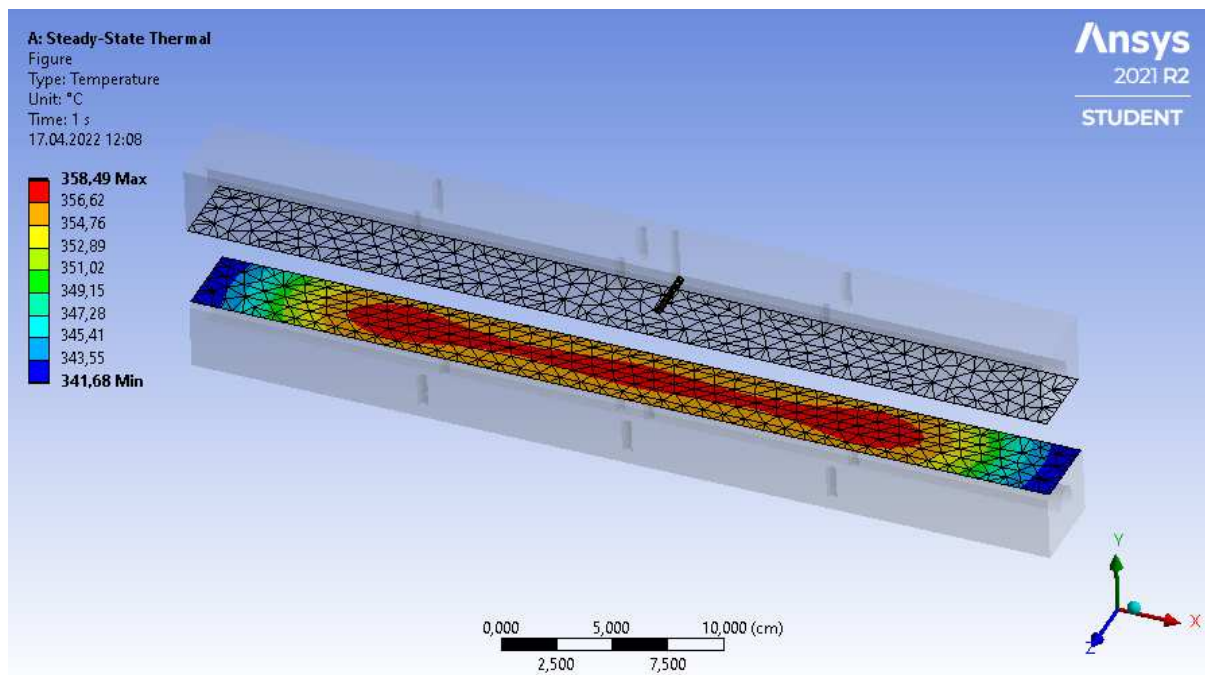
Obr. 13-2 – Vygenerovaná sít'

Okrajové podmínky

Na veškerou nezakrytou geometrii byla aplikována funkce „Radiation“, která udává schopnost plochy přenosu tepla do okolí pomocí radiace. Okolní teplota byla zvolena 25 °C.

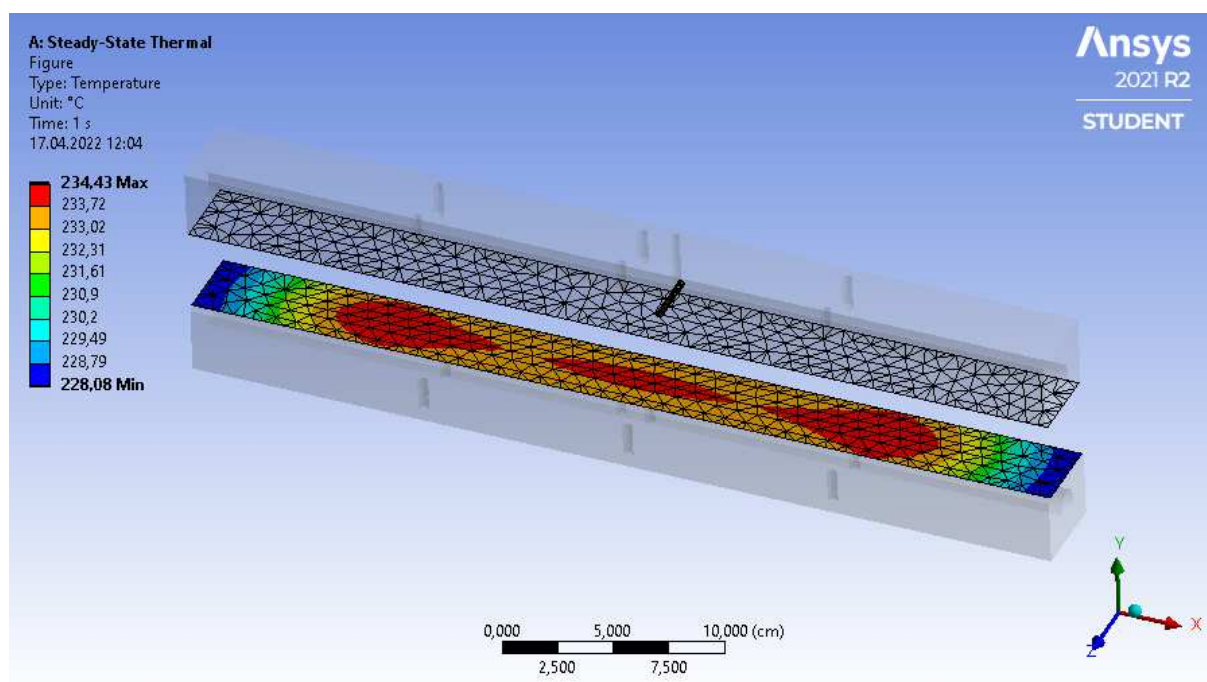
Na povrch válcových dílů, které reprezentují topné části patron působí tepelný tok „Heat Flow“. Výchozí hodnota tepelného toku byla zvolena 5 W/cm^2 , což je maximální hodnota nízcetážených topných patron dodávaných firmou ELEKTRON-ETTO. Na základě výsledků první iterace bude hodnota tepelného toku upravována, dokud nebude získána vyhovující hodnota k dosažení požadované teploty na ohřívacích plochách čelistí. Podle potřeby je možno zvolit vyšší výkonovou řadu topných patron, které firma dodává.

Výsledek analýzy



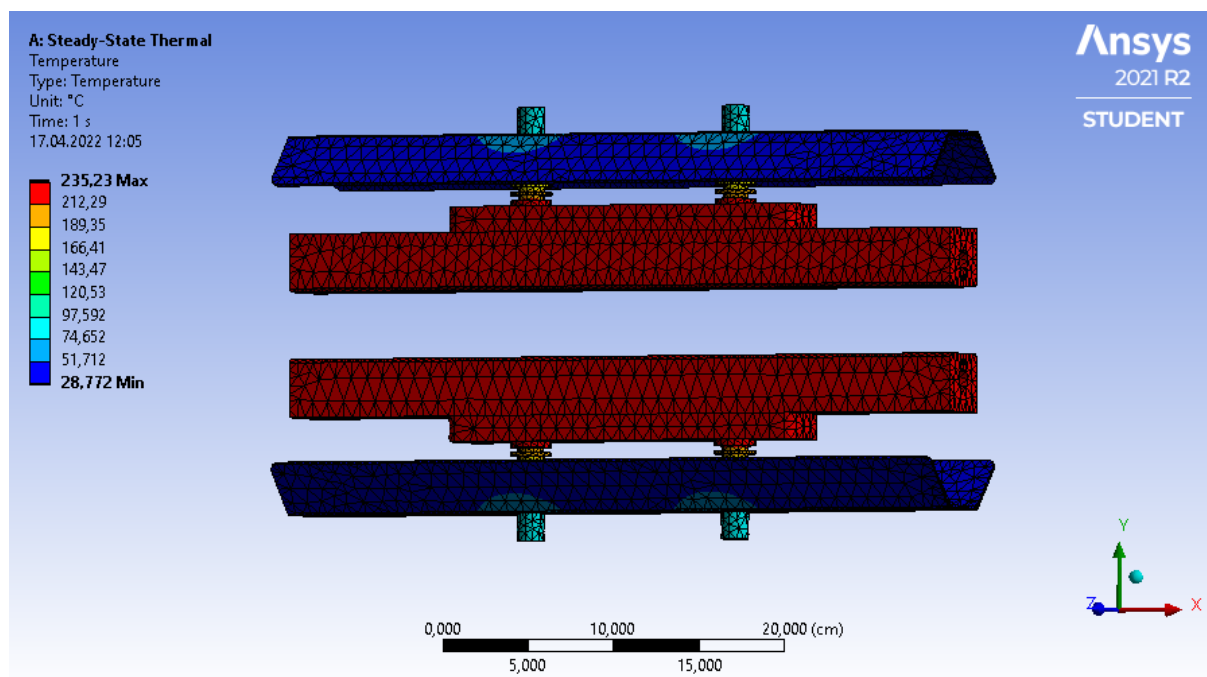
Obr. 13-3 – Výsledek 1. iterace (tepelný tok 5 W/cm^2)

S teplotou čelistí dosahující 358 °C tyto patrony dalece převyšují požadovanou minimální teplotu 200 °C . Patrony s tímto tepelným zatížením je možno požadovat za vyhovující, avšak za účelem minimalizace příkonu je vhodné najít patrony s nižšími parametry. Z tohoto důvodu budou provedeny další iterace analýzy, kde bude postupně snižován tepelný tok, dokud nebude nalezena jeho optimální hodnota. Jelikož se jedná o malý počet iterací je možno hledání optimální hodnoty udělat ručně. Pokud by bylo potřeba vyššího počtu iterací, bylo by vhodnější provést automatickou optimalizaci v rámci softwaru ANSYS za pomoci parametrizace výsledků.



Obr. 13-4 – Výsledek konečné iterace (2 W/cm^2)

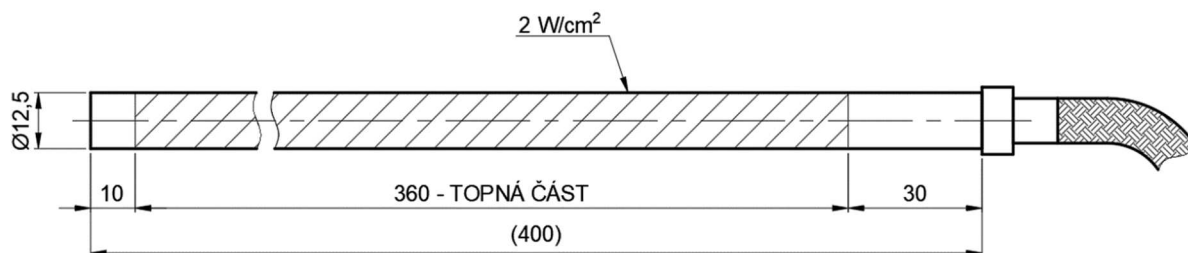
Optimální výsledek byl získán s patronami o tepelném toku 2 W/cm^2 . Podle výsledků analýzy dosahuje průměrná teplota na kontaktních plochách $232,78 \text{ °C}$, s maximy 234 °C právě v oblasti styku s ohřívanou paletkou. Povrchy otvorů pro tepelné senzory dosahují teploty okolo 233 °C , lze je tedy použít pro přesné měření teploty bez nutnosti úprav polohy. Pro získání lepšího přehledu o šíření teploty byla provedena druhá analýza teploty na celém simulovaném modelu.



Obr. 13-5 – Analýza teploty na celém modelu

Na základě těchto výsledků byla zvolena topná patrona s tepelným tokem 2 W/cm^2 . Tepelný tok je po celé topné délce konstantní. Na základě kombinace výsledku analýzy a datového listu výrobce je možno zadat objednávku na topnou patronu s následujícími parametry [40]:

- rozměry patrony: $\text{Ø}12 \times 400 \text{ mm}$,
- délka topné zóny: 360 mm ,
- charakteristika topné zóny: konstantní, 2 W/cm^2 ,
- materiál pláště: nerezová ocel AISI 314,
- vývod: třížilový kabel s kovovým opletem a sklotextilní izolací, s niklovým jádrem,
- napájecí napětí: 230 V AC .



Obr. 13-6 – Rozměry topné patrony

Ze známých parametrů topné charakteristiky $q_T = 2 \text{ W/cm}^2$ a rozměrů topné zóny $\text{Ø}12 \times 360 \text{ mm}$ spočítat její teoretický výkon. Usouzením, že topná patrona přeměňuje veškerou dodanou elektrickou energii a pracuje tedy se 100 % účinností, její příkon je pak shodný s jejím elektrickým topným výkonem.

$$P_{tp} = q_T \cdot l_{tp} \cdot \pi \cdot d_{tp} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 360 \cdot \pi \cdot 12 = 271,4 \text{ W} \quad (22)$$

14. Návrh chladicí komory

14.1. Návrh dopravníku

Návrh kapacity dopravníku

V první řadě je nutné spočítat minimální potřebnou kapacitu horní, nosné, větve dopravníku. Kapacita vychází z požadované délky ochlazovacího cyklu $t_{chl} = 20 \text{ min}$ a předpokládaného taktu stroje $t = 1 \text{ min}$. Do výpočtu byl zaveden součinitel navýšení kapacity $k_{kap} = 1,8$, který slouží ke kompenzaci úzkého místa dopravníku, kde hrozí časových prodlevy odběru paletků a tím pádem zahlcení stroje. Místo jednoho dlouhého dopravníku budou v komoře dva souběžně pracující dopravníky, tudíž počet dopravníků $n_d = 2$. Tím bude výrazně zmenšen rozměr chladicí komory při zachování její kapacity.

$$n_{p1v} = \frac{1}{n_d} \cdot \frac{t_{chl}}{t} \cdot k_{kap} = \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{1} \cdot 1,8 = 18 \quad (23)$$

Výpočet osové vzdálenosti dopravníku

Byl zvolen jednořadý válečkový řetěz ISO R606 – 10B-1. Vzhledem k podmínkám v chladicí komoře a požadavkům pro provoz v čistých prostorách jsou zvolené řetězy z nerezové oceli.

Tab. 14-1 – Parametry řetězu ISO R606 – 10B-1 [41]

Parametr	Značka	Hodnota
Rozteč	p	15,875 mm
Maximální dovolené zatížení (bezpečnostní koeficient 7)	F _{Ař}	3,2 kN
Pevnost při přetržení	F _{Bř}	22,4 kN
Plocha kloubu řetězu	f	67 mm ²
Hmotnost 1 metru	Q	0,93 kg/m

Rozteč mezi lůžky byla zvolena o velikosti šesti roztečí řetězu. Platí tedy:

$$n_{rozt} = 6$$

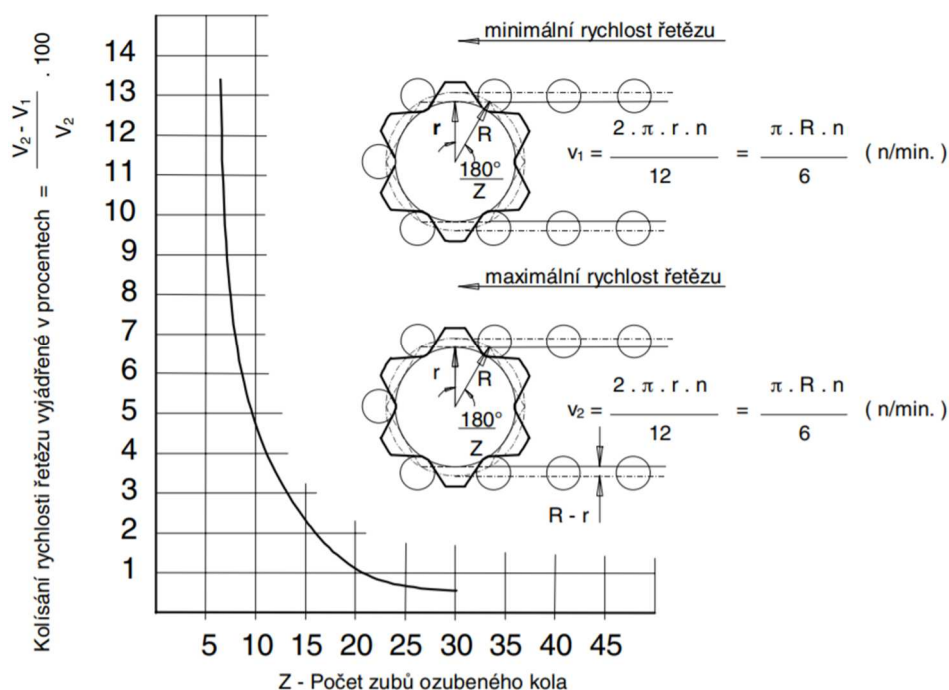
Při takovéto vzdálenosti nebude osová vzdálenost dopravníku nepřiměřeně dlouhá, a zároveň je i zaručen dostatečný rozestup mezi paletkami pro komfortní zakládání a vyjímání z chladicí komory. Každý šestý článek řetězu bude tedy s unašečem, který umožní přimontování magnetického lůžka pro paletku.

Při návrhu velikosti řetězových kol je nutno respektovat rozměry lůžek, aby z důvodu příliš malého průměru kola nedošlo ke kolizi mezi lůžky, které na kolu obíhají. Z tabulky výrobce se jeví optimální řetězové kolo s počtem zubů $z = 36$. Rozměry řetězového kola pro řetěz 10B pak jsou:

Tab. 14-2 – Charakteristické parametry řetězového kola

Parametr	Značka	Hodnota
Typ řetězu	-	10B-1
Počet zubů	z	36
Roztečný průměr	d_p	182,15 mm
Hlavový průměr	d_e	189,1 mm
Šířka zubu	B_1	9,1 mm

Velikost hnacího i hnaného řetězového kola je stejná. Díky většímu počtu zubů je kolísavost rychlosti řetězu vlivem velikosti řetězového kola menší než 1 % (viz. Obr. 14-1).



Obr. 14-1 – Graf kolísavosti rychlosti řetězu [42]

Ze známého počtu článků v přímých částech a počtu článků, které zabírají s hnacím i s hnaným kolem je nyní možné spočítat celkový potřebný počet článků X :

$$X = 2 \cdot n_{p1v} \cdot n_{rozt} + 2 \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} = 2 \cdot 18 \cdot 6 + 36 = 252 \quad (24)$$

Počet článků vychází sudý, nebude potřeba speciálního spojovacího článku.

Ze známých parametrů lze dále spočítat osovou vzdálenost řetězových kol a . Vzhledem k tomu, že počet zubů hnacího i hnaného řetězového kola je stejný, odpadá nutnost výpočtu koeficientu F . [43]

$$a = \frac{p}{8} \cdot \left[2 \cdot X - z_1 - z_2 + \sqrt{(2 \cdot X - z_1 - z_2)^2 - F \cdot (z_2 - z_1)^2} \right] \quad (25)$$

$$a = \frac{15,875}{8} \cdot \left[2 \cdot 252 - 36 - 36 + \sqrt{(2 \cdot 252 - 36 - 36)^2 - F \cdot 0} \right]$$

$$a = 1\,714,5 \text{ mm}$$

Návrh rychlosti dopravníku

Aby dopravník stíhal plnit předpokládaný takt jedné minuty musí mít dostatečnou rychlost. Na základě minimální požadované rychlosti bude navržena rychlost, která bude dále rozhodující pro volbu pohonu. Minimální rychlost je taková, za kterou urazí paletka v lůžku jednu rozteč lůžek.

$$v_{dmin} = n_{rozt} \cdot p = 6 \cdot 15,875 = 95,25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} = 0,002 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (26)$$

Aby měl dopravník vyšší časovou rezervu, návrhová rychlost byla zvolena vyšší. Konečná rychlost bude stanovena po zvolení vhodného pohonu.

$$v_{rozt} = 0,015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

14.1.1. Kontrola řetězu

Výpočet tažné síly

Řetěz dopravníku je zatěžován tažnou silou od pasivních odporů při jeho pohybu. Ve výpočtu síly figuruje hmotnost dopravovaných palet P a vlastní hmotnost řetězu $P_{\text{ř}}$. Hmotnost dopravovaných palet P je uvažována při plně naloženém dopravníku. K vlastní hmotnosti řetězu $P_{\text{ř}}$ je přičtena i hmotnost lůžek pro paletky. Hmotnost jednoho lůžka $m_l = 1 \text{ kg}$.

$$P = n_{p1v} \cdot m_{pa} = 18 \cdot 2,5 = 45 \text{ kg} \quad (27)$$

$$P_{\text{ř}} = X \cdot p \cdot Q + \frac{X}{n_{rozt}} \cdot m_l = 252 \cdot 15,875 \cdot 0,93 + \frac{252}{6} \cdot 1 = 45,72 \text{ kg} \quad (28)$$

Ve výpočtu tažné síly je nutno zohlednit provozní podmínky řetězu, které jsou reprezentovány součinitelem provozu. Hodnota součinitele provozu je získána součinem několika parametrů popisujících provozní podmínky dopravníku. [42] Provozní podmínky jsou popsány v následujícím seznamu, jejich příslušné hodnoty pro výpočet součinitele viz. Tab. 14-3.

- Lůžka pro paletky byla navržena tak, aby bylo těžiště v jejich středu.
- Hmotnost dopravovaných paletok P je maximální hmotnost, kterou je dopravník s ohledem na svou kapacitu schopen pojmout. Z tohoto důvodu není přetížení materiálem možné.
- Dopravník při provozu krokuje s velikostí kroku rovné rozteči lůžek; je předpokládáno, že frekvence rozběhu a zastavení může dosáhnout až 60 za hodinu.
- Uvnitř komory bude velká vlhkost způsobená kondenzací vody v chladném prostředí.
- Je předpokládáno, že zařízení bude fungovat v nepřetržitém, vícesměnném provozu.

Tab. 14-3 – Parametry součinitele provozu

Parametr	Popis	Hodnota
Poloha nákladu	vystředěná	1
Charakteristiky zatížení materiálem	stejnomořné (přetížení méně než 5 %)	1
Frekvence rozběhu – zastavování pod zatížením	častěji než 2krát za hodinu	1,5
Pracovní prostředí	vlhké	1,3
Počet provozních hodin za den	do 24 hodin	1,2

Výsledná hodnota součinitele provozu je následující:

$$Fs = 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 2,34 \quad (29)$$

Aby nedocházelo k prověšení řetězu v horní větvi, je v celé délce podložen kluzným vodíci profily z plastu PE-UHMW. Statický součinitel tření plastu s ocelí za sucha byl dle rozsahu zvolen $f_r = 0,2$. [44]

Pro výpočet tažné síly je ještě nutno stanovit korekční součinitel rychlosti. Navržené hodnoty rychlosti a počtu zubů řetězových kol jsou mimo rozsah v poskytnuté tabulce. [42] Vzhledem k malým změnám hodnoty součinitele rychlosti v oblasti hodnot parametrů blízkých hodnotám navrženým, byla zvolena hodnota $Fv = 0,7$, příslušící nejbližším podobným hodnotám rychlosti a počtu zubů. Byla zvolena za předpokladu, že nedojde ke zvýšení hodnoty součinitele.

$$T = \frac{(P + P_{\check{r}}) \cdot f_r \cdot Fs \cdot Fv}{n_{\check{r}}} = \frac{(45 + 45,72) \cdot 0,2 \cdot 2,34 \cdot 0,7}{2} = 145,73 \text{ N} < F_{A\check{r}} \quad (30)$$

Tažná síla vyhovuje maximálnímu dovolenému zatížení řetězu.

Kontrola řetězu

Řetěz dopravníku je kontrolován na otláčení otočných čepů. Maximální měrný tlak pro kontakt otočného čepu s pouzdrem je 12 MPa.

$$p_t = \frac{T}{f} = \frac{145,73}{67} = 2,18 \text{ MPa} < 12 \text{ MPa} \quad (31)$$

Kontrola otočných čepů na otláčení vyhovuje.

14.1.2. Návrh motoru a převodovky

Vstupní parametry pro volbu pohonu

Návrh hnacího ústrojí dopravníku vychází z požadovaných výchozích otáček a momentu.

$$n_m = \frac{v_d}{p \cdot z_1} = \frac{0,02}{15,875 \cdot 10^{-3} \cdot 36} = 0,035 \text{ s}^{-1} = 2,1 \text{ min}^{-1} \quad (32)$$

$$M_{\check{\gamma}} = T \cdot \frac{d_p}{2} = 145,73 \cdot \frac{182,15}{2} = 13\,272 \text{ N} \cdot \text{mm} = 13,272 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (33)$$

$$M_m = 2 \cdot M_{\check{\gamma}} = 2 \cdot 13,272 = 26,54 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (34)$$

Parametry doporučeného pohonu

Na základě výsledků byla firmě MOTOR-GEAR a.s. předložena poptávka na třífázový asynchronní pohon s převodovkou, který má podobné parametry. Byl doporučen elektromotor AC-Motoren ACA 56 A-4 a šneková převodovka TRAMEC HF 50 400/1 H25 56/B5 V6 s následujícími parametry:

Tab. 14-4 – Parametry pohonu dopravníku [45; 46]

	Parametr	Značka	Hodnota
Motor	Jmenovitý výkon	P _N	0,06 kW
	Jmenovité otáčky	n _N	1 340 min ⁻¹
	Jmenovitý moment	M _N	0,43 N · m
	Počet pólů	2p	4
	Synchronní otáčky	n _s	1 500 min ⁻¹
	Napájecí napětí	U	400 V / 50 Hz
	Jmenovitý proud	I _N	0,2 A
	Účinnost	η	56 %
	Účinník	cos φ	0,69
	Moment setrvačnosti	J	0,00023 kg · m ²
Převodovka	Převodový poměr	i _n	400
	Jmenovité vstupní otáčky	n ₁	1 400 min ⁻¹
	Jmenovité výstupní otáčky	n ₂	3 min ⁻¹
	Jmenovitý výstupní moment	T ₂	64 N · m
	Provozní faktor	FS'	0,5
	Maximální výstupní moment	T _{2M}	32 N · m (T ₂ · FS')
	Doporučený výkon motoru	P ₁	0,06 kW

Musí být proveden výpočet skutečné rychlosti dopravníku a provedena zpětná kontrola předešlých výpočtů, kde by změna rychlosti mohla změnit výsledky.

$$v_d = n_m \cdot p \cdot z_1 = 3 \cdot 15,875 \cdot 10^{-3} \cdot 36 = 1,71 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} = 0,029 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (35)$$

Skutečná rychlost dopravníku není natolik rozdílná, aby byly nutné zpětné zásahy do výpočtu.

14.1.3. Návrh a kontrola hnací hřídele

Minimální průměr hřídele

Hřídel je vyrobena z nerezové oceli 1.4301, TDP dle EN 10088-2:2005. Parametry oceli s těmito TDP jsou ekvivalentní s parametry popsány v Tab. 8-3. Hřídel je dimenzována na jmenovitý výstupní kroutící moment zvolené převodovky, $T_2 = 64 \text{ N} \cdot \text{m}$.

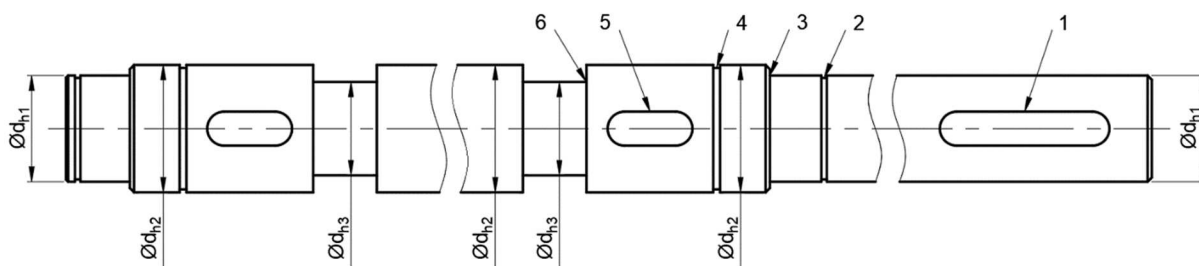
$$\tau_k = \frac{T_2}{W_{k_{min}}} \leq R_e \rightarrow d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_2}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 64000}{\pi \cdot 190}} = 11,97 \text{ mm} \quad (36)$$

Návrh rozměrů hřídele

Z konstrukčních důvodů byl zvolen vstupní průměr $d_{h1} = 25 \text{ mm}$. Tento průměr přísluší výstupu převodovky. Na stejném průměru bude hřídel uložena v ložiscích z obou stran. Ložisko blíž k převodovce je obousměrně axiálně zajištěné, druhému ložisku je kvůli teplotním dilatacím umožněn axiální posuv.

Na velkém průměru $d_{h2} = 30 \text{ mm}$ jsou uloženy řetězová kola. Z vnitřní strany jsou obě kola axiálně zajištěna dvoudílnými svěrnými kroužky, které na hřídeli vyžadují zápichy o průměru $d_{h3} = 22 \text{ mm}$. Z opačné strany jsou řetězová kola zajištěna hřídelovými pojistnými kroužky.

Kritická místa na hřídeli

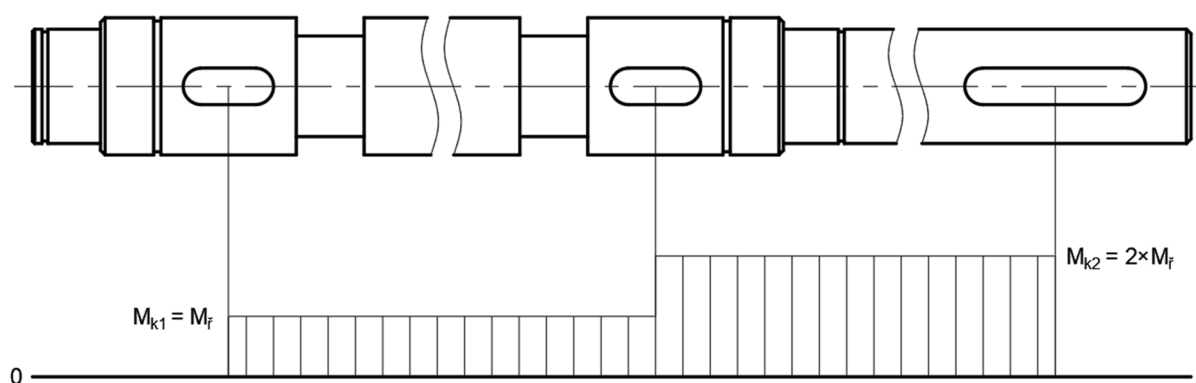


Obr. 14-2 – Kritická místa na hnací hřídeli

Na hřídeli jsou vyšetřována kritická místa vyznačená na Obr. 14-2. V následující tabulce jsou jednotlivá kritická místa popsána a je jim přiřazen součinitel vrubu potřebný pro výpočet (viz. Tab. 14-5). Vzhledem k tomu, že většinu sil vyvozených hmotností řetězu a dopravovaných palet přenáší vodící lišty dopravníku, radiální síly na působící na hřídel jsou zanedbatelné a nebudou figurovat ve výpočtu. Namáhající moment bude namísto toho vynásoben návrhovým součinitelem, který kromě radiálních sil kompenzuje i potenciální špičky momentu z důvodu kolísavého pohybu řetězu.

Tab. 14-5 – Kritická místa na hnací hřídeli

Index	Kritické místo	Charakter namáhání	Značka	Součinitel vrubu [47]
1	Drážka pro pero	Krut	α_1	3,4
2	Zápich pro pojistný kroužek	Krut	α_2	3,5
3	Osazení	Krut	α_3	1,25
4	Zápich pro pojistný kroužek	Krut	α_4	3,6
5	Drážka pro pero	Krut	α_5	3,5
6	Zápich pro svěrný kroužek	Krut	α_6	3,85



Obr. 14-3 – Průběh momentu na hřídeli

Z hodnot uvedených v Tab. 14-5 a průběhu momentu popsaném na Obr. 14-3 vyplývají místa, ve kterých je možno předpokládat kritické napětí. Konkrétně se jedná o místa označené indexem 1, 2, 4, 5 a 6.

Kontrola zvolených kritických míst vůči MSP

Kritická místa jsou kontrolována na bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti (MSP). Aby byl výsledek vyhovující, musí být výsledná hodnota bezpečnosti $k_{MSP} > 1$. Jak bylo uvedeno v předchozí podkapitole, je uvažováno, že je hřídel namáhána čistě na krut. Možný výskyt malého ohybového napětí a pulzace kroutícího momentu je kompenzována návrhovým součinitelem $k_n = 1,6$.

$$\tau_{k1} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{k_n \cdot \alpha_1 \cdot M_{k1}}{\frac{\pi \cdot (d_{h1} - t)^3}{16}} = \frac{1,6 \cdot 3,4 \cdot 26,54}{\frac{\pi \cdot (25 - 4,1)^3}{16}} = 75,52 \text{ MPa} \quad (37)$$

$$k_{MSP1} = \frac{R_e}{\tau_{k1}} = \frac{190}{75,52} = 2,359 \quad (38)$$

Výpočet bezpečnosti vůči MSP je pro ostatní kritická místa analogický.

$$\tau_{k2} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{k_n \cdot \alpha_2 \cdot M_{k1}}{\frac{\pi \cdot d_{h1}^3}{16}} = \frac{1,6 \cdot 3,5 \cdot 26,54}{\frac{\pi \cdot 25^3}{16}} = 48,45 \text{ MPa} \quad (39)$$

$$k_{MSP2} = \frac{R_e}{\tau_{k2}} = \frac{190}{48,45} = 3,921 \quad (40)$$

$$\tau_{k4} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{k_n \cdot \alpha_4 \cdot M_{k1}}{\frac{\pi \cdot d_{h2}^3}{16}} = \frac{1,6 \cdot 3,6 \cdot 26,54}{\frac{\pi \cdot 30^3}{16}} = 28,84 \text{ MPa} \quad (41)$$

$$k_{MSP4} = \frac{R_e}{\tau_{k4}} = \frac{190}{28,84} = 6,588 \quad (42)$$

$$\tau_{k5} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{k_n \cdot \alpha_1 \cdot M_{k1}}{\frac{\pi \cdot (d_{h1} - t)^3}{16}} = \frac{1,6 \cdot 3,5 \cdot 26,54}{\frac{\pi \cdot (30 - 4,1)^3}{16}} = 43,57 \text{ MPa} \quad (43)$$

$$k_{MSP5} = \frac{R_e}{\tau_{k5}} = \frac{190}{43,57} = 4,36 \quad (44)$$

$$\tau_{k6} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{k_n \cdot \alpha_6 \cdot M_{k1}}{\frac{\pi \cdot d_{h3}^3}{16}} = \frac{1,6 \cdot 3,6 \cdot 13,272}{\frac{\pi \cdot 22^3}{16}} = 39,1 \text{ MPa} \quad (45)$$

$$k_{MSP6} = \frac{R_e}{\tau_{k6}} = \frac{190}{39,1} = 4,859 \quad (46)$$

Bezpečnost vůči MSP ve všech kritických místech vyhovuje.

Návrh pera pro výstup z převodovky

Pro hřídel průměru $d_{h1} = 25 \text{ mm}$ platí následující rozměry pera dle ČSN 02 2562:

Tab. 14-6 – Rozměry pera těsného dle ČSN 02 2562 pro průměr 22 až 30 [48]

Parametr	Značka	Hodnota
Šířka	b	8
Výška	h	7
Hloubka v hřídeli	t	4,1
Hloubka v náboji	t ₁	2,9
Délka	l	20 až 90

Šnekové kolo převodovky je vyrobeno z litiny. [46] Pro litinový náboj platí základní hodnota tlaku $p_0 = 90 \text{ MPa}$. Dopravník bude provozován v jednom směru, při provozu jsou předpokládány malé rázy vzniklé při rozběhu a zastavení. Pro zatížení tohoto charakteru je součinitel maximálního napětí 0,7. [33]

$$p_D = 0,7 \cdot p_0 = 0,7 \cdot 90 = 63 \text{ MPa} \quad (47)$$

Pero je dimenzováno na maximální moment, který může převodovka přenášet.

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot T_2}{d_{h1}} = \frac{2 \cdot 64000}{25} = 5120 \text{ N} \quad (48)$$

$$l = \frac{F_{t1}}{t_1 \cdot p_D} = \frac{5120}{2,9 \cdot 63} = 28,02 \text{ mm} \quad (49)$$

Na základě výsledku bylo zvoleno PERO TĚSNÉ $8e7 \times 7 \times 40$ – ČSN 02 2562.

Návrh per pro řetězová kola

Hřídel má pod řetězovými koly průměr $d_{h2} = 30 \text{ mm}$. Pro tento průměr platí stejné rozměry pera, jako uvádí Tab. 14-6. Náboj je vyroben z nerezové oceli, pro kterou platí základní hodnota tlaku $p_0 = 150 \text{ MPa}$. Součinitel zatížení je stejný jako v předchozím výpočtu. [33]

$$p_D = 0,7 \cdot p_0 = 0,7 \cdot 150 = 90 \text{ MPa} \quad (50)$$

Pera jsou dimenzována na moment vyvozený tažnou silou řetězu vynásobený návrhovým součinitelem $k_n = 3$.

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot M_{\tilde{r}}}{d_{h2}} = \frac{2 \cdot 13272}{30} = 884,81 \text{ N} \quad (51)$$

$$l = \frac{k_n \cdot F_{t2}}{t_1 \cdot p_D} = \frac{3 \cdot 884,81}{2,9 \cdot 90} = 8,72 \text{ mm} \quad (52)$$

Na základě výsledku bylo zvoleno PERO TĚSNÉ $8e7 \times 7 \times 20$ – ČSN 02 2562.

14.2. Kontrola nosné konstrukce komory

14.2.1. Návrh pevnostní třídy závěsných šroubů

Chladicí komora je na čepech přivařených rámu zavěšena pomocí dvanácti šroubů $M10 \times 30$ – ČSN EN ISO 4762. Dle výpočtů v kapitole 10.2 je každý šroub zatěžován silou $F_{z2} = 490,3 \text{ N}$ s návrhovým součinitelem $k_n = 3$. Zatěžující síla je pak:

$$F_{z2\tilde{s}} = F_{z2} \cdot k_n = 490,3 \cdot 3 = 1490,9 \text{ N} \quad (53)$$

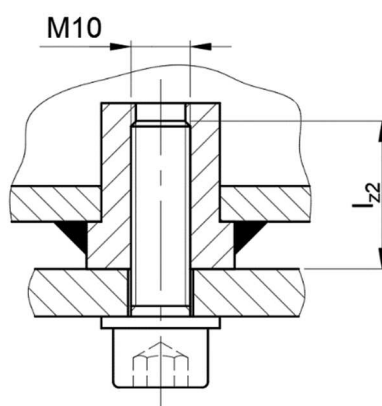
Dle ČSN EN ISO 3506-1 je pro šroub dané velikosti minimální zkušební zatížení při dosažení meze kluzu pro materiálovou třídu A2-50 $F_{pf} = 12180 \text{ N}$. [49] Tato materiálová třída je nejnižší z běžně dostupných. I přes to je však únosnost šroubu této třídy zcela vyhovující.

14.2.2. Kontrola nosnosti závitu závěsného čepu

Závit matice je kontrolován na otláčení vyvozený zatěžovací silou $F_{z2š} = 1\,490,9\text{ N}$. Rozměry metrického závitu použité ve výpočtu viz. Tab. 14-7. Parametry oceli 1.4301, z níž je čep vyroben viz. Tab. 8-3. Délka zašroubování závěsného šroubu $l_{z2} = 19,8\text{ mm}$ (viz. Obr. 14-4).

Tab. 14-7 – Rozměry metrického závitu M10 [36]

Parametr	Značka	Hodnota
Jmenovitý průměr	d, D	10 mm
Rozteč	P	1,5 mm
Střední průměr závitu	d ₂ , D ₂	9,026 mm
Malý průměr závitu	d ₁ , D ₁	8,376 mm
Malý průměr šroubu	d ₃	8,16 mm



Obr. 14-4 – Detail šroubového spoje

$$p_{z2} = \frac{2 \cdot P \cdot F_{z2š}}{\pi \cdot d_2 \cdot (d - D_1) \cdot l_{z2}} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 1490,9}{\pi \cdot 9,026 \cdot (10 - 8,376) \cdot 19,8} = 4,84\text{ MPa} \quad (54)$$

$$p_{z2} < p_{dov}$$

Kontrola závitů matic závěsných čepů na otláčení vyhovuje.

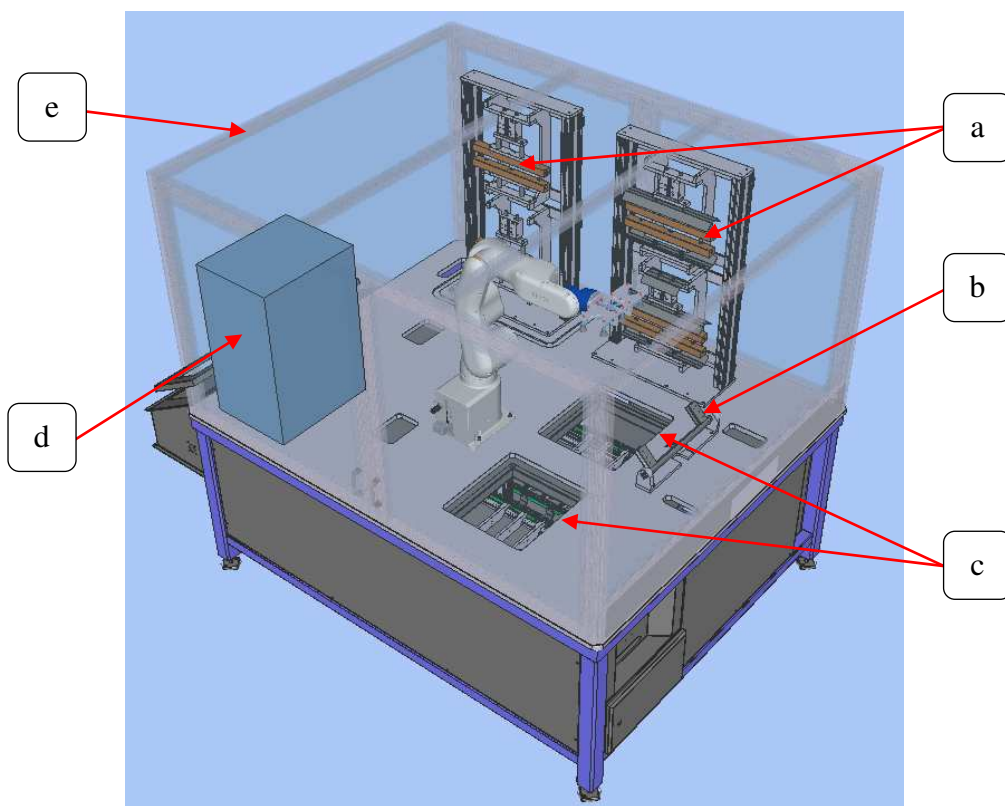
ČÁST IV. – SIMULACE MANIPULAČNÍCH OPERACÍ

15. Tvorba studie

Simulace manipulačních operací prováděných zvoleným robotem byla provedena pomocí softwaru Epson RC+ 7.0, který je určen k programování robotů této značky. Robot je programován v proprietárním jazyce SPEL+. Simulace je provedena za účelem zjištění možných kolizí, ověření dosažitelnosti všech potřebných pozic a získání časů operací pro stanovení taktu stroje.

V první řadě byl zvolen typ robotu, který bude simulován. Na základě zvoleného robotu program automaticky vytvořil virtuální kontrolér pro robot, takže se fyzický robot bude chovat stejně jako simulovaný. Pro přesné programování pozic a zjištění míst možných kolizí byly do studie importován zjednodušený CAD model obsahující všechny relevantní součásti stroje (viz. Obr. 15-1). Podle oblastí, kde se má robot pohybovat jsou místa nejpravděpodobnějšího vzniku kolizí:

- a) v oblasti čelistí technologických stanic,
- b) vyklápečí stanice s vloženou paletkou,
- c) otvory pro vstupní dveře chladicí komory,
- d) chiller v pracovním prostoru stroje,
- e) kryt stroje.



Obr. 15-1 – Importovaný model se zvýrazněnými místy možného vzniku kolizí

Získané časy operací

Na základě výsledků simulace jednotlivých robotických operací byly získány následující časy:

- PNP ze zakládací stanice do ohřívacích čelistí 1: 10,839 vteřin,
- PNP ze zakládací stanice do ohřívacích čelistí 2: 10,677 vteřin,
- PNP z ohřívacích čelistí 1 do ochlazovacích čelistí 1: 12,277 vteřin,
- PNP z ohřívacích čelistí 2 do ochlazovacích čelistí 2: 11,71 vteřin,
- PNP z ochlazovacích čelistí 1 do chladicí komory 1: 18,913 vteřin,
- PNP z ochlazovacích čelistí 2 do chladicí komory 2: 10,836 vteřin.

Jako výstup simulace byl vytvořen videozáznam, který je k nahlédnutí v příloze.

15.1. Robotický program

Hlavní funkce *main* obstarává inicializaci robotu a vyvolávání jednotlivých operací. Funkce neobsahuje žádnou logiku, která by reagovala na signály z PLC. Prozatím tato funkce slouží pouze k dosažení cílů stanovených v kapitole 15. Logika by byla přidána až ve fázi virtuálního zprovoznění stroje, pro kterou může vytvořený kód sloužit jako základ.

Function main

Call Init	' inicializační funkce
Wait 5	
TOP:	' pozice pro návrat v programu
TmReset 0	' reset časovače
Call PNP_INtoOHR_1	' PNP ze zakládací stanice do ohřívací čelisti 1
Call PNP_OHR_1toOCHL_1	' PNP z ohřívací čelisti 1 do ochlazovací čelisti 1
Call PNP_OCHL_1toMRAZ_1	' PNP z ochlazovací čelisti 1 do chladicí komory 1
Call PNP_INtoOHR_2	' PNP ze zakládací stanice do ohřívací čelisti 1
Call PNP_OHR_2toOCHL_2	' PNP z ohřívací čelisti 1 do ochlazovací čelisti 1
Call PNP_OCHL_2toMRAZ_2	' PNP z ochlazovací čelisti 1 do chladicí komory 1
GoTo TOP	' skok v programu zpět na pozici TOP

Fend

Úplný kód s komentáři je k nahlédnutí v příloze.

16. Takt stroje

Nyní když jsou známy časy robotických operací stroje je možno stanovit takt stroje. Časy operací, které nejsou vykonávány robotem, byly určeny buď ze zadaných časů v případě jednotlivých technologických operací nebo odhadem. Časy úkonů vykonávané člověkem byly stanoveny tak, aby na obsluhu nekladly přílišné nároky a nesnižovaly tak její komfort při práci. Všechny časy byly zaokrouhleny na nejbližší vyšší hodnotu pro zjednodušení a zpřehlednění časového diagramu.

Tab. 16-1 – Časy jednotlivých úkonů

Úkon	Čas [s]
Otevření šuplíku	5
Vložení paletky	8
Zavření šuplíku	5
Vyklopení paletky	2
PNP ze základací stanice do ohřívacích čelistí 1	11
PNP ze základací stanice do ohřívacích čelistí 2	11
Ohřev	120
PNP z ohřívacích čelistí 1 do ochlazovacích čelistí 1	13
PNP z ohřívacích čelistí 2 do ochlazovacích čelistí 2	12
Ochlazení	120
PNP z ochlazovacích čelistí 1 do chladicí komory 1	19
PNP z ochlazovacích čelistí 2 do chladicí komory 2	20
Posunutí o jednu pozici v chladicí komoře	4
Vyjmutí paletky z mrazáku	10

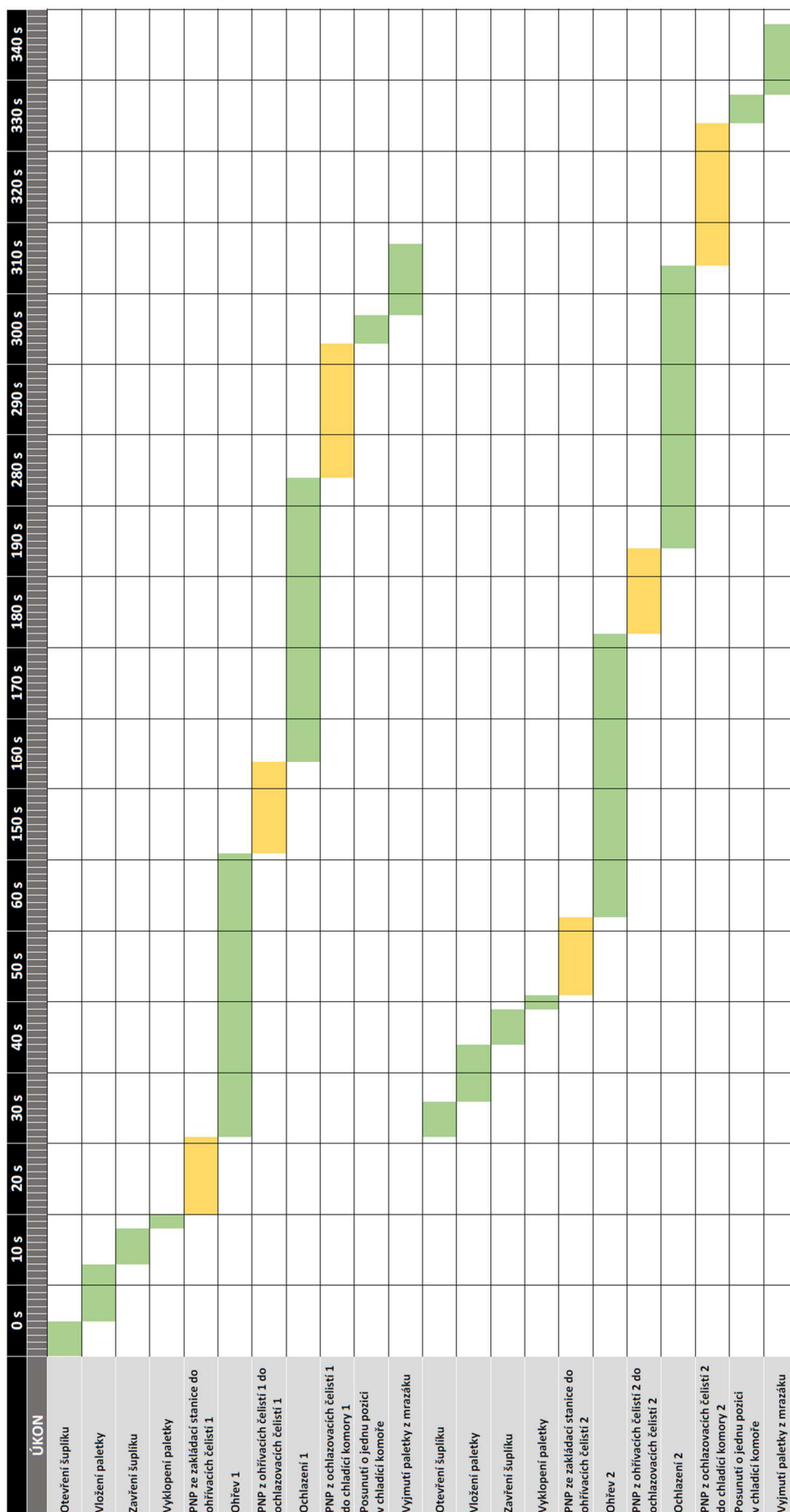
Z diagramu na Obr. 16-1 vyplývá, že čas zpracování jedné paletky je 317 vteřin. Při zpracování dvou paletek naráz bude druhá paletka vyjmuta v 348. vteřině. Oba časy předpokládají, že jsou oba dopravníky chladicí komory již zaplněné a může tedy obsluha ihned předchozí paletky odebrat. Teoretický maximální takt při zpracování více paletek najednou tedy činí:

$$t_{max} = \frac{348}{2} = 174 \text{ s} \quad (55)$$

Při 11-ti hodinové směně je pak výrobnost za směnu (v počtu paletek):

$$n_{1s} = \frac{t_s \cdot 60 \cdot 60}{t_{max}} = \frac{11 \cdot 60 \cdot 60}{174} = 227 \text{ ks} \quad (56)$$

Vypracovaný časový diagram a spočítaný takt platí pouze při vkládání obou paletek až po dokončení celého předchozího cyklu. Ve skutečnosti se budou jednotlivé operace vzájemně proplétat. Nicméně takovouto sekvenci lze stěží popsat, jelikož existuje velké množství úseků, kde se může sled operací nebo prodleva mezi nimi změnit oproti uspořádané sekvenci popsané ve vytvořeném diagramu. Získaný takt lze však stále použít jako indicii skutečného taktu, jelikož popisuje takt stroje při minimálním konstantním vytížení.



Obr. 16-1 – Časový diagram stroje

ČÁST V. – POSOUZENÍ RIZIK A NÁVRH OPATŘENÍ

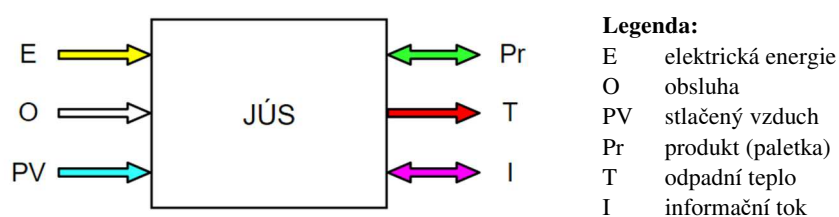
Aby bylo možné stroj provozovat, musí splňovat podmínky kladené normami:

- ČSN EN ISO 12100,
- ČSN EN ISO 10218-1,
- ČSN EN ISO 10218-2,
- ČSN EN ISO 13849-1.

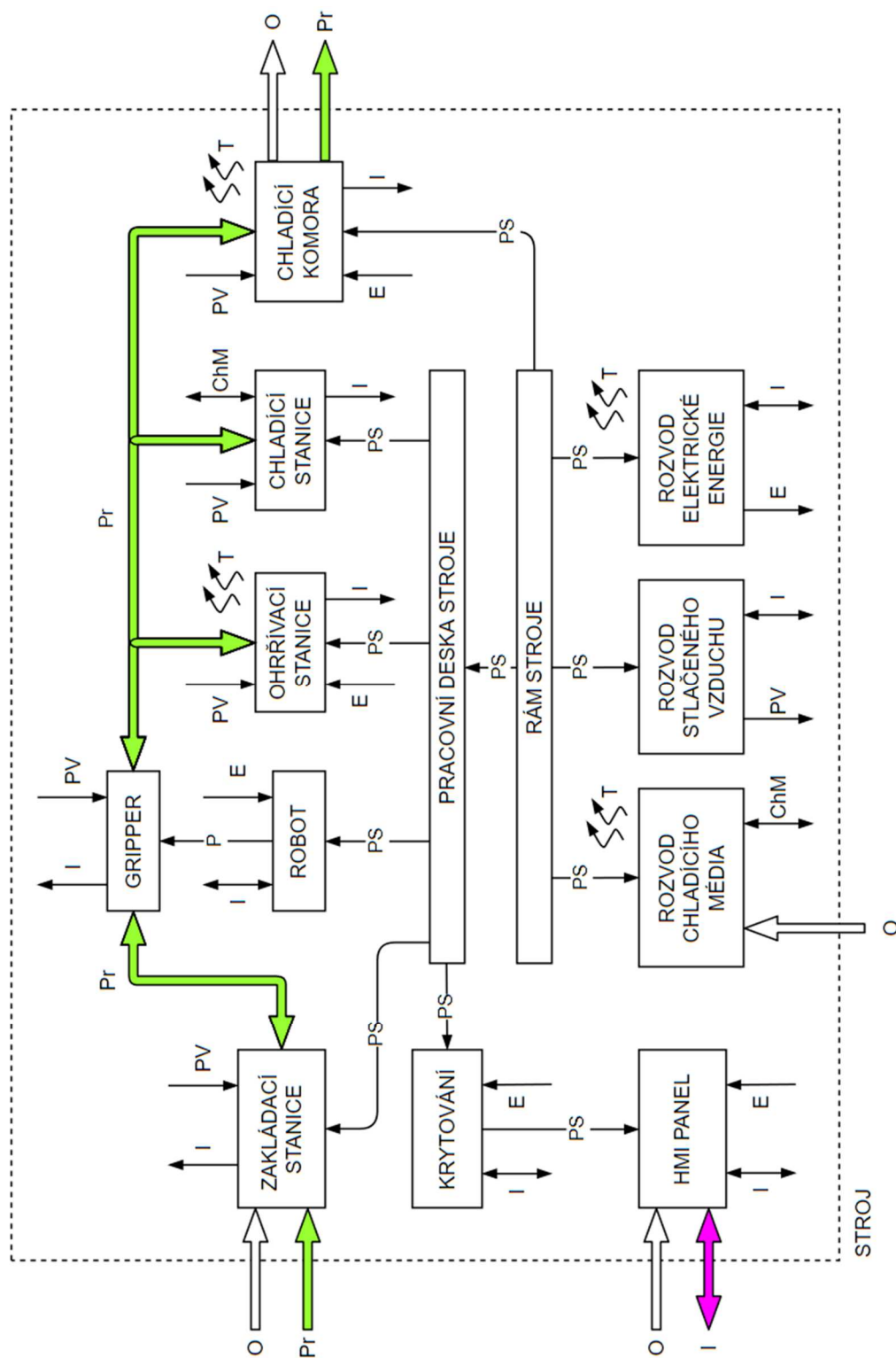
Stroj je tedy nutné analyzovat na možná nebezpečí, které normy popisují a v případě, že jsou jejich příslušné hodnoty rizik nepřijatelné, navrhnout opatření za účelem jejich snížení.

17. Blokový diagram zařízení

Pro hlubší porozumění, jaké zdroje nebezpečí mohou ve stroji figurovat, je vhodné nejprve provést rozbor jednotlivých konstrukčních uzlů – které prvky mohou mít vliv na bezpečnost stroje a jak mezi sebou interagují. Pro přehlednost jsou tyto části stroje reprezentovány v blokových diagramech stroje a v případě nutnosti hlubšího rozboru i některých jeho uzlů.



Obr. 17-1 – Diagram vstupů a výstupů zařízení



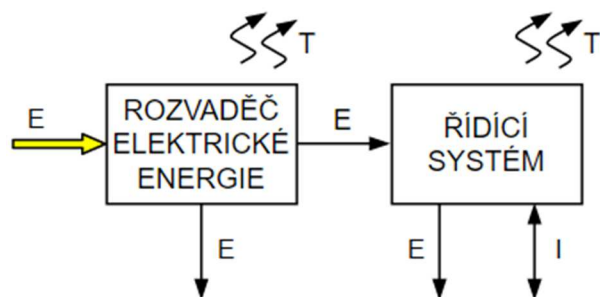
Legenda:

E elektrická energie
O obsluha
PV stlačený vzduch

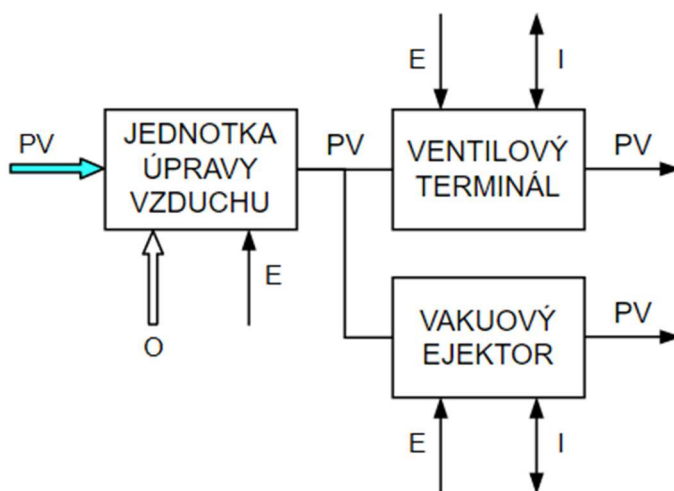
Pr produkt (paletka)
T odpadní teplo
I informační tok

ChM chladicí médium
PS pasivní polohová vazba
P polohová vazba

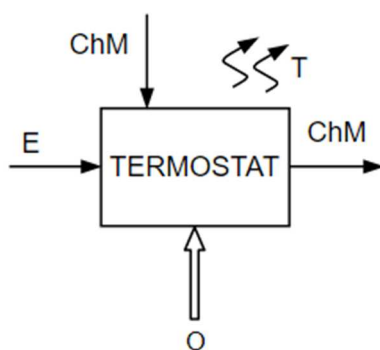
Obr. 17-2 – Blokový diagram stroje



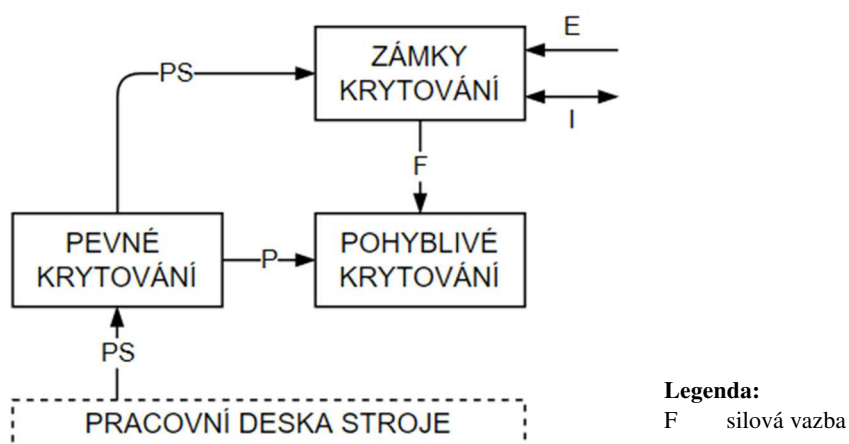
Obr. 17-3 – Detailní blokový diagram rozvodu elektrické energie



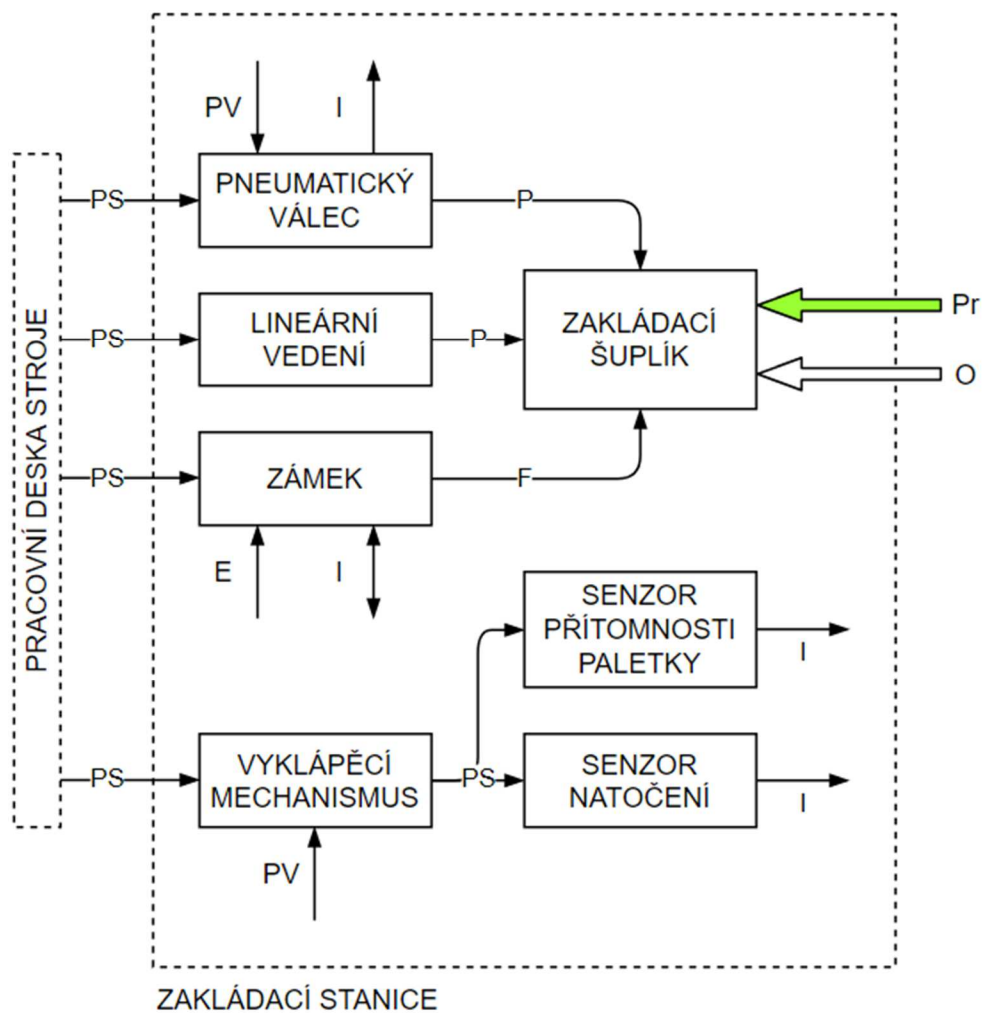
Obr. 17-4 – Detailní blokový diagram rozvodu stlačeného vzduchu



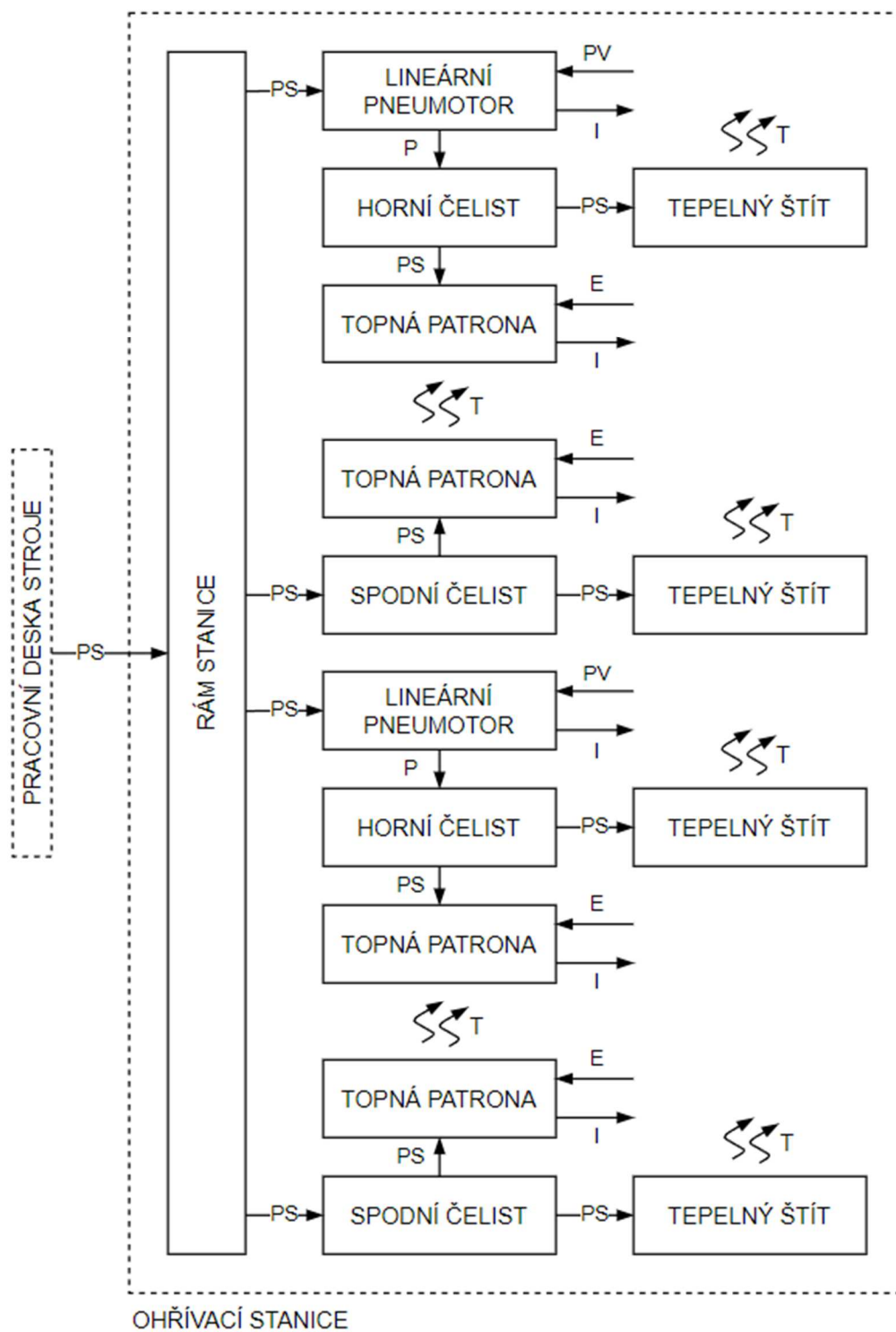
Obr. 17-5 – Detailní blokový diagram rozvodu chladicího média



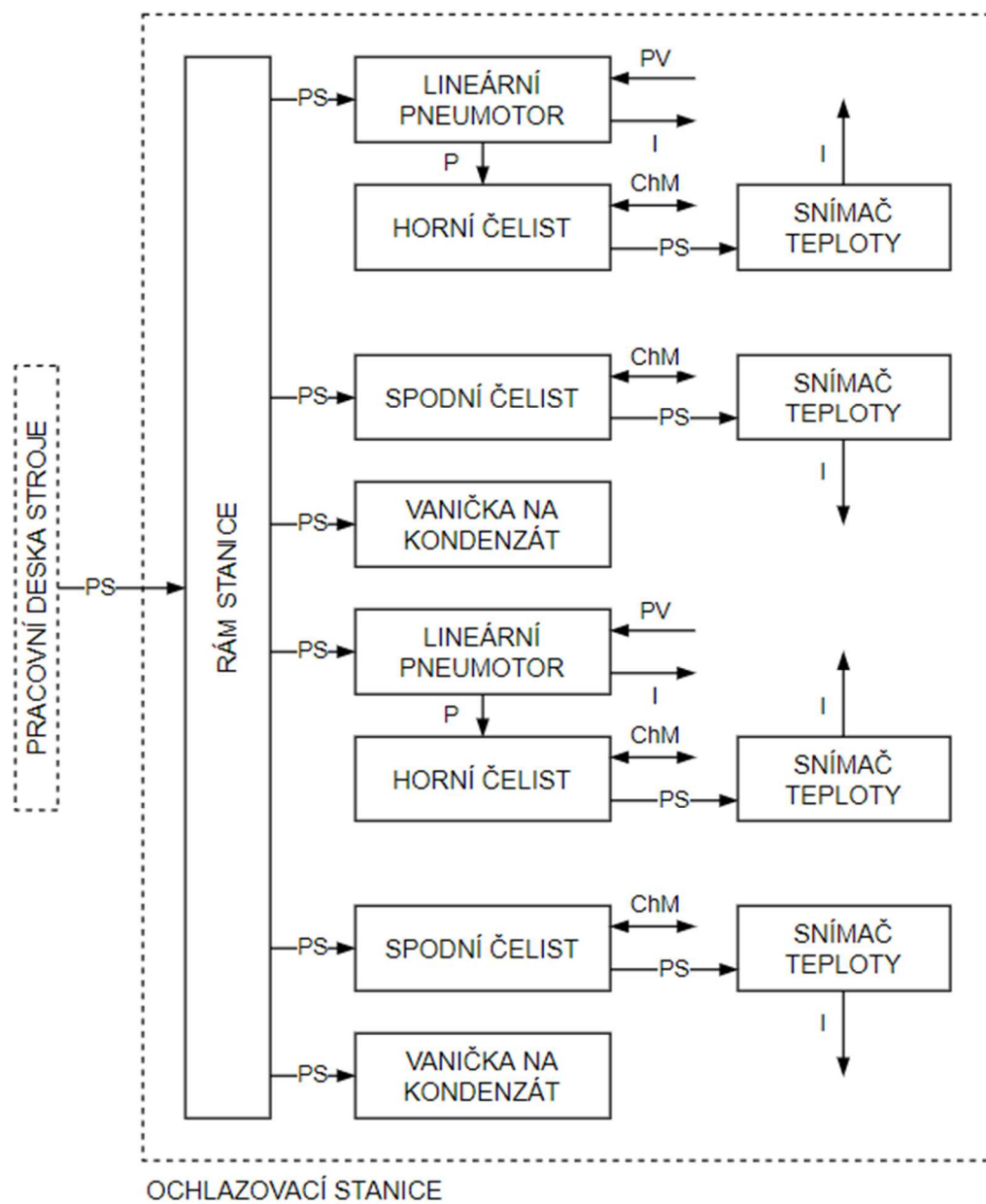
Obr. 17-6 – Detailní blokový diagram krytování stroje



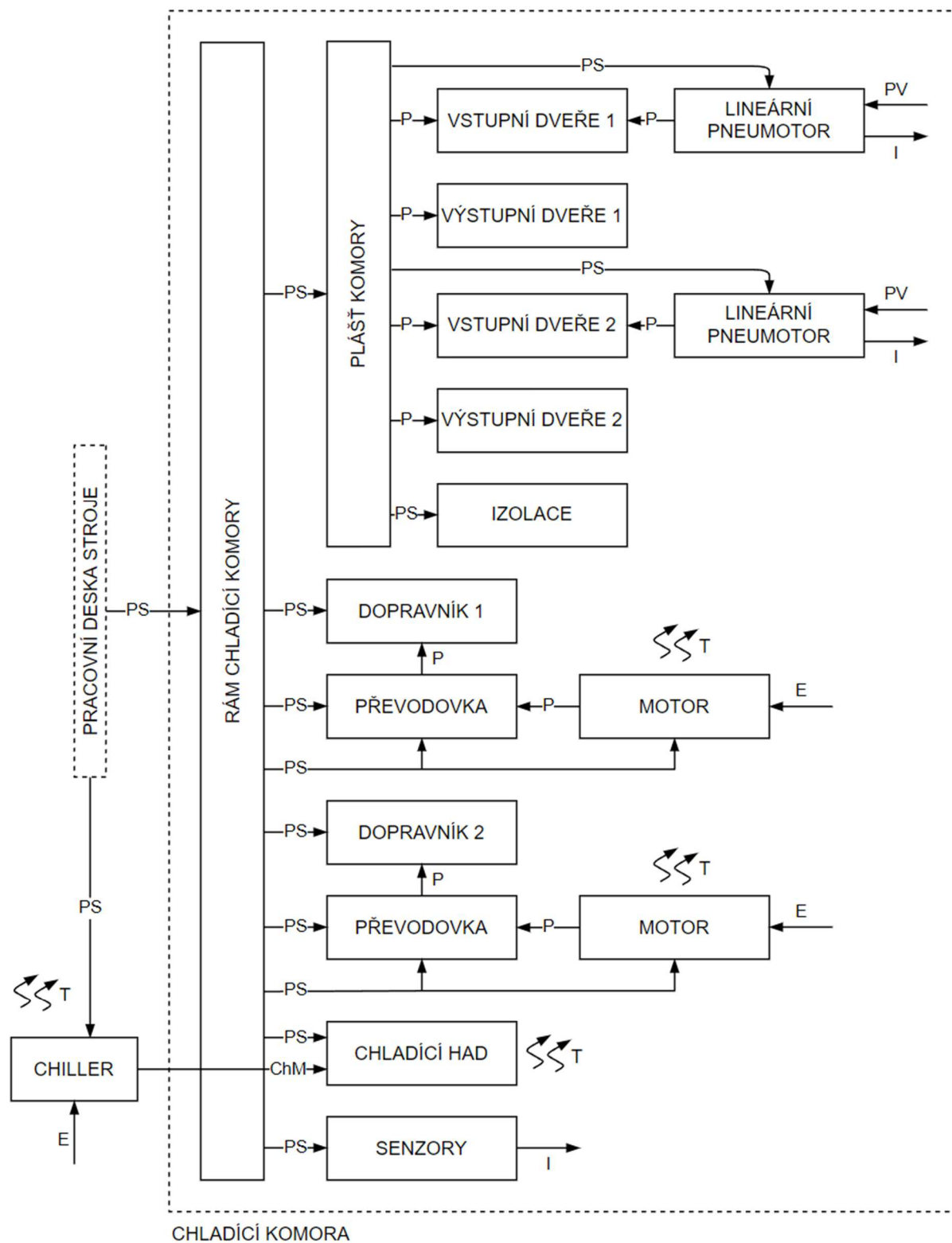
Obr. 17-7 – Detailní blokový diagram základací stanice



Obr. 17-8 – Detailní blokový diagram ohřívací stanice



Obr. 17-9 – Detailní blokový diagram ochlazovací stanice



Obr. 17-10 – Detailní blokový diagram chladicí komory

18. Identifikace zdrojů nebezpečí

Z blokových diagramů stroje lze předpokládat několik zdrojů nebezpečí. V této kapitole bude provedena jejich analýza a analýza nebezpečných situací s nimi spjatými.

Tab. 18-1 – Identifikované zdroje nebezpečí a typy nebezpečí s nimi spjaté

Název komponenty systému	Poloha komponenty v systému	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100:2011, ČSN EN ISO 10218-1:2011 ČSN EN ISO 10218-2:2011
Šuplík zakládací stanice	Pracovní prostor stroje, zakládací stanice, prostor pro obsluhu	Stlačení (1.1-10), pořezání (1.2-1), zachycení (1.3-5), naražení (1.5-10), píchnutí (1.9-1), nezdravý postoj (8.1-5), únava (8.2-2)
Vyklápěcí jednotka	Pracovní prostor stroje	Stlačení (1.1-11), vtažení (1.3-3), naražení (1.5-11)
Robot včetně jeho koncového efektoru	Pracovní prostor stroje	Stlačení (1.1-5, 1.1-14), vtažení (1.3-1), naražení (1.5-5, 1.5-6), popálení (2.1-1), zasažení el. proudem (2.5-3), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2), únava (8.2-1), svalově kosterní poškození (8.3-1, 8.3-2)
Rámy ohřívací a chladicí stanice	Pracovní prostor stroje	Stlačení (1.1-4), naražení (1.5-4), stříh (1.7-4), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2)
Lineární pneumotor horní ohřívací a chladicí čelisti	Pracovní prostor stroje, ohřívací a chladicí stanice	Stlačení (1.1-9)
Ohřívací čelisti a jejich blízké součásti	Pracovní prostor stroje, ohřívací stanice	Stlačení (1.1-8), popálení (3.1-1, 3.1-2, 3.3-1, 6.1-1)
Ochlazovací čelisti	Pracovní prostor stroje, ochlazovací stanice	Stlačení (1.1-8)
Tepelný štít	Pracovní prostor stroje, ohřívací stanice	Popálení (3.1-1, 3.3-1, 6.1-1)
Topná patrona	Pracovní prostor stroje, ohřívací stanice	Popálení el. proudem (2.1-1), požár (2.3-1), popálení (3.1-1)
Napájecí kabel topné patrony	Pracovní prostor stroje, ohřívací stanice	Píchnutí (1.9-2), smrt el. proudem (2.2-1), zasažení el. proudem (2.5-1)

Cirkulační obvod ochlazovací stanice	Pracovní prostor stroje, ochlazovací stanice	Vystříknutí (1.6-1), uklouznutí (1.8-1), otrava (7.1-1)
Průtokový chladič ochlazovací stanice	Rám stroje, blízké okolí stroje, prostor pro obsluhu	Stlačení (1.1-7), vystříknutí (1.6-1), popálení (2.1-1), smrt el. proudem (2.2-2), požár (2.3-1), zasažení el. proudem (2.5-3), nepohodlí (4.1-2), , nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2), únava (8.2-1), svalově kosterní poškození (8.3-1, 8.3-2)
Vanička na kondenzát	Pracovní prostor stroje, ochlazovací stanice	Uklouznutí (1.8-2)
Dopravník chladicí komory	Chladicí komora	Stlačení (1.1-13), vtažení (1.3-2), stříh (1.7-8)
Pohon dopravníku	Blízké okolí stroje, prostor pro obsluhu, chladicí komora	Zachycení (1.3-4), popálení (2.1-1), smrt el. proudem (2.2-2), zasažení el. proudem (2.5-3), požár (2.3-1), popálení (3.1-3)
Napájecí kabel pohonu dopravníku	Rám stroje, prostor pro obsluhu	Píchnutí (1.9-2), popálení (2.1-1), smrt el. proudem (2.2-1), zasažení el. proudem (2.5-1)
Vstupní dveře chladicí komory	Pracovní prostor stroje, chladicí komora	Stlačení (1.1-12), stříh (1.7-7)
Výstupní dveře chladicí komory	Prostor pro obsluhu, chladicí komora	Stlačení (1.1-15), pořezání (1.2-1), naražení (1.5-12), píchnutí (1.9-1), nezdravý postoj (8.1-6), únava (8.2-3)
Cirkulační obvod chladicí komory	Pracovní prostor stroje, chladicí komora	Vystříknutí (1.6-1), uklouznutí (1.8-1), otrava (7.1-1), podráždění (7.2-1)
Chiller chladicího média	Pracovní prostor stroje	Stlačení (1.1-7), vystříknutí (1.6-1), popálení (2.1-1), smrt el. proudem (2.2-2), požár (2.3-1), zasažení el. proudem (2.5-3), nepohodlí (4.1-2), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2), únava (8.2-1), svalově kosterní poškození (8.3-1, 8.3-2)

Ventil na vypuštění kondenzátu z chladicí komory	Pracovní prostor stroje, chladicí komora	Uklouznutí (1.8-2)
Rám chladicí komory	Chladicí komora	Stlačení (1.1-3), naražení (1.5-3), střih (1.7-3), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2), únava (8.2-1), svalově kosterní poškození (8.3-1, 8.3-2)
Rám stroje	Strojní celek, blízké okolí stroje	Stlačení (1.1-2), naražení (1.5-2), střih (1.7-2), zakopnutí (1.8-3), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2), únava (8.2-1), svalově kosterní poškození (8.3-1, 8.3-2)
HMI panel	Prostor pro obsluhu	Naražení (1.5-8), zasažení el. proudem (2.5-4), nezdravý postoj (8.1-4)
Rozváděč elektrické energie	Rám stroje, blízké okolí, prostor pro obsluhu	Stlačení (1.1-16), píchnutí (1.9-2), popálení (2.1-1, 2.4-1), smrt el. proudem (2.2-1, 2.2-2), požár (2.3-1), zasažení el. proudem (2.5-1, 2.5-2, 2.5-3, 2.5-4), vdechnutí toxického kouře (2.6-1), poškození zraku jiskrou (2.7-1), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2), únava (8.2-1), svalově kosterní poškození (8.3-1, 8.3-2)
Pneumatický rozváděč	Rám stroje, blízké okolí, prostor pro obsluhu	Nepohodlí (4.1-1), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2)
Ostatní komponenty pneumatického obvodu	Rám stroje, pracovní prostor stroje	Nepohodlí (4.1-1), nezdravý postoj (8.1-3)
Celý stroj	Blízké okolí	Stlačení (1.1-1), pořezání (1.2-1), odření (1.4-1), naražení (1.5-1), střih (1.7-1), zakopnutí (1.8-3), píchnutí (1.9-1), smrt el. proudem (2.2-1, 2.2-2), zasažení el. proudem (2.5-3, 2.5-4), nezdravý postoj (8.1-1, 8.1-2), únava (8.2-1), svalově kosterní poškození (8.3-1, 8.3-2)

Okolí stroje	Prostor pro obsluhu, blízké okolí	Odření (1.4-1), naražení (1.5-10), zakopnutí (1.8-3), vdechnutí toxického kouře (2.6-1), poškození zraku jiskrou (2.7-1), dehydratace (3.2-1), nepohodlí (4.1-1), stres (4.2-1), hučení v uších (4.3-1)
--------------	-----------------------------------	---

18.1. Analýza relevantních nebezpečných situací

Tab. 18-2 – Nebezpečné situace podle fáze životního cyklu zařízení

	Fáze životního cyklu, nebezpečná situace	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100:2011, ČSN EN ISO 10218-1:2011, ČSN EN ISO 10218-2:2011	Číslo nebezpečí (viz. Tab. 19-1)	Popis nebezpečné události
1	Doprava			
1.1	Balení a rozbalení	Stlačení, pořezání, odření, naražení, stříh, propíchnutí nebo píchnutí, nezdravý postoj, únava, svalově kosterní poškození	1.1-2 až 1.1-7, 1.1-16, 1.2-1, 1.4-1, 1.5-2 až 1.5-7, 1.7-2 až 1.7-6, 1.9-1, 8.1-1, 8.2-1, 8.3-1	Při balení a rozbalování hrozí stlačení, naražení či ztráta končetin vlivem převržení nebo pádu části stroje. Může také dojít k odření, propíchnutí nebo pořezání o ostré hrany stroje či součásti jeho balení. Během manipulace hrozí úraz vlivem špatných ergonomických podmínek.
1.2	Nakládání a vykládání zabaleného stroje	Stlačení, odření, naražení, stříh, nezdravý postoj, únava, svalově kosterní poškození	1.1-1, 1.4-1, 1.5-1, 1.7-1, 8.1-1, 8.2-1, 8.3-1	Při nakládání a vykládání zabaleného stroje hrozí jeho pádu nebo převržení, což může mít za následky stlačení, naražení nebo ztrátu končetin. Taktéž hrozí úraz z ergonomického hlediska při manipulaci se strojem.

1.3	Přemísťování stroje	Stlačení, odření, naražení, stříh, nezdravý postoj, únava, svalově kosterní poškození	1.1-1, 1.4-1, 1.5-1, 1.7-1, 8.1-1, 8.2-1, 8.3-1	Při přemísťování hrozí pád nebo převržení stroje či jeho dílce, což může mít za následky stlačení, naražení nebo ztrátu končetin. Taktéž hrozí úraz z ergonomického hlediska při manipulaci se strojem a jeho částmi.
2	Montáž a instalace			
2.1	Montáž stroje včetně elektroinstalace, pneumatiky a chladícího okruhu	Stlačení, pořezání, odření, naražení, stříh, propíchnutí nebo píchnutí, nezdravý postoj, únava, svalově kosterní poškození	1.1-2 až 1.1-7, 1.1-16, 1.2-1, 1.4-1, 1.5-2 až 1.5-9, 1.7-2 až 1.7-6, 1.9-1, 1.9-2, 8.1-2, 8.2-1, 8.3-2	Během montáže může dojít ke zdravotní újmě při pádu či převrácení stroje či jeho části. Manipulací s částmi stroje může dojít k odření, pořezání o ostrou hranu nebo píchnutí o otřep. Taktéž hrozí úraz z ergonomického hlediska při manipulaci se strojem a jeho částmi.
3	Uvedení do provozu			
3.1	Zapojení do elektrické sítě	Popálení elektrickým proudem, smrt el. proudem, požár, vystříknutí roztavených částic, zasažení el. proudem, vdechnutí toxického kouře, poškození zraku elektrickou jiskrou	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2, 2.3-1, 2.4-1, 2.5-1 až 2.5-4, 2.6-1, 2.7-1	Zapojením do elektrické sítě se stávají všechny živé části stroje potenciálně nebezpečnými. Nesprávným provedením elektroinstalace může při zapojení stroje dojít k elektrickému výboji, což může mít za následek požár, poranění či usmrcení obsluhy. Ke zdravotní újmě může také dojít při dotyku neživých částí pod proudem vlivem chyby v zapojení.

3.2	Plnění teplonosného média do nádrže průtokového chladíče a chilleru	Vystříknutí, uklouznutí, otrava, senzibilita	1.6-1, 1.8-1, 7.1-1, 7.2-1	Rozlitím teplonosného média může vzniknout nebezpečí uklouznutí a pádu. Jako chladicí medium je použita destilovaná voda a medium na bázi glykolu. Teplonosné medium může způsobit otravu při požití nebo podráždění v kontaktu s očima nebo pokožkou v případě média na bázi glykolu.
4	Seřizování			
4.1	Odvzdušnění chladicího obvodu	Vystříknutí, uklouznutí, otrava, senzibilita	1.6-1, 1.8-1, 7.1-1, 7.2-1	Při odvzdušnění obvodu chladicí stanice může dojít k úniku teplonosného média.
4.2	Seřízení pneumatických komponent	Stlačení, naražení, stříh, nepohodlí, nezdravý postoj	1.1-8 až 1.1-12, 1.5-10, 1.5-11, 1.7-7, 8.1-3	Během seřizování hrozí úraz pneumaticky ovládanými čelistmi, víky chladicí komory a jinými pneumatickými akčními členy vlivem nečekaného sepnutí pneumatických prvků. Hluk pneumatických prvků může způsobovat nepohodlí. Některé pneumatické prvky jsou hůře dosažitelné, a při jejich seřizování může dojít k nezdravým pohybům.
4.3	Seřízení snímačů teplot	Popálení, zranění vyzařováním zdrojů tepla	3.1-1, 3.3-1, 6.1-1	Při neopatrném zacházení se snímači na ohřívacích čelistech může dojít k popálení.
5	Učení, programování a/nebo změna procesu			
5.1	Učení a programování trajektorie robotu	Stlačení, zachycení, naražení	1.1-14, 1.3-1, 1.5-6	Během programování robotu může dojít ke stlačení, zachycení nebo naražení vlivem srážky s robotem při nepozornosti obsluhy nebo nečekaném spuštění.

5.2	Programování a ladění cyklu stroje	Stlačení, zachycení, naražení, střih, popálení, zranění vyzařováním zdrojů tepla	1.1-8 až 1.1-14, 1.3-1 až 1.3-3, 1.5-6, 1.5-10, 1.5-11, 1.7-7, 1.7-8, 3.1-1, 3.1-2, 3.3-1, 6.1-1	Během programování stroje může dojít k úrazu vlivem srážky s robotem nebo jinými samočinně pohybujícími se komponentami. Mimo to také hrozí stlačení pneumaticky ovládanými prvky nebo popálení o ohřívací čelisti.
6	Provoz			
6.1	Vložení paletky	Stlačení, pořezání, odření, naražení, nezdravý postoj, únava	1.1-10, 1.2-1, 1.4-1, 1.5-10, 8.1-5, 8.2-2	Na lůžku šuplíku se mohou vyskytnout ostré hrany nebo otřepy, o které se může obsluha poranit. Další nebezpečné události hrozí při nedodržení požadavků na ergonomii.
6.2	Ovládání stroje	Naražení, zasažení elektrickým proudem, nezdravý postoj	1.5-8, 2.5-4, 8.1-4	Stroj je ovládán HMI panelem, o který se může při nepozornosti obsluha narazit. Při ovládání hrozí nebezpečí z hlediska ergonomie panelu nebo nebezpečí úrazu elektrickým proudem při dotyku odhalené živé části nebo neživé části při závadě.

6.3	Automatický cyklus stroje	Stlačení, vtažení nebo zachycení, odřetí, naražení, stříh, popálení, zranění vyzařováním zdrojů tepla	1.1-8 až 1.1-14, 1.3-1 až 1.3-3, 1.7-7, 1.7-8, 3.1-1, 3.1-2, 3.3-1, 4.1-1, 4.1-2, 4.2-1, 4.3-1, 6.1-1	Po zvolení programu a spuštění stroj pracuje v automatickém režimu. V automatickém běhu hrozí při neopatrnosti úraz pohyblivými komponenty nebo popálení o ohřívací čelisti.
6.4	Pohyb či práce v okolí stroje	Naražení, zakopnutí a pád, popálení, dehydratace, nepohodlí	1.5-9, 1.8-1 až 1.8-3, 3.1-3, 3.2-1, 4.1-1, 4.1-2, 4.2-1, 4.3-1	V okolí stroje je nebezpečí zakopnutí nebo naražení do rámu stroje. Hlučnost stroje může způsobit nepohodlí. Vysoká teplota v okolí zdrojů tepla může způsobit dehydrataci osob v jejich blízkosti.
6.5	Vyjmutí paletky	Stlačení, pořezání, zachycení, odřetí, naražení, stříh, nezdravý postoj, únava	1.1-15, 1.2-1, 1.3-2, 1.3-4, 1.4-1, 1.5-12, 1.7-8, 8.1-6, 8.2-3	Při vyjmutí paletky se dostávají končetiny operátora do blízkosti s řetězovým dopravníkem. Při nečekaném spuštění dopravníku může dojít k zachycení či stlačení končetin. Mimo to hrozí naražení nebo stlačení výstupními dveřmi chladicí komory a poranění z ergonomického hlediska.

7	Čištění a údržba			
7.1	Čištění stroje	Stlačení, pořezání, vtažení nebo zachycení, odření, naražení, zakopnutí a pádu, píchnutí, popálení	1.1-8 až 1.1-14, 1.2-1, 1.3-1, 1.4-1, 1.5-1, 1.5-6, 1.5-11, 1.5-12, 1.8-3, 1.9-1, 3.1-1	Při čištění stroje hrozí naražení nebo zakopnutí o rám stroje. Obsluha se může během čištění poranit o ostré hrany nebo otřepy. Může nastat úraz při nečekaném spuštění stroje. Při nedostatečném ochlazení čelistí může dojít k popálení obsluhy.
7.2	Vyprázdnění vaniček kondenzátu	Rozlití vaničky	1.8-2, 10.1	Při vyprazdňování vaniček hrozí rozlití kondenzované vody v pracovním prostoru a potenciální úraz vzniklý zkratováním elektrické části stroje.
7.3	Výměna teplonosného média	Vystříknutí, uklouznutí, otrava, senzibilita	1.8-1, 7.1-1, 7.2-1	Při výměně platí stejné nebezpečné události jako pro položku 3.2.
7.4	Vypouštění nashromážděného kondenzátu z chladicí komory	Naražení, uklouznutí	1.5-13, 1.8-2	Při otevírání ventilu se může obsluha narazit o rám nebo izolaci chladicí komory. Neúplným dovřením ventilu dojde k rozlití zkondenzované vlhkosti.

8 Vyhledávání závady / odstraňování závady				
8.1	Vyhledávání a odstraňování závady mechanické části stroje	Stlačení, pořezání, odření, naražení, střih, propíchnutí nebo píchnutí, nezdravý postoj, únava, svalově kosterní poškození	1.1-2 až 1.1-7, 1.1-16, 1.2-1, 1.3-1 až 1.3-4, 1.4-1, 1.5-2 až 1.5-13, 1.7-2 až 1.7-8, 1.9-1, 8.1-2, 8.2-1, 8.3-2	Během vyhledávání a opravování mechanických částí stroje hrozí úrazy vzniklé uvolnění a pádem částí stroje. Může také dojít k prořezání ostrými hranami.
8.2	Vyhledávání a odstraňování závady elektrické části stroje	Pořezání, píchnutí, popálení elektrickým proudem, smrt el. proudem, požár, vystříknutí roztavených částic, zasažení el. proudem, vdechnutí toxického kouře, poškození zraku elektrickou jiskrou, nezdravý postoj	1.2-1, 1.9-2, 2.1-1, 2.2-1, 2.2-2, 2.3-1, 2.4-1, 2.5-1 až 2.5-4, 2.6-1, 2.7-1, 8.1-2	Pokud během opravy závady elektrické části stroje nedošlo k odpojení stroje, může dojít k úrazu nebo usmrcení elektrickým proudem.
8.3	Vyhledávání a odstraňování závady pneumatické části stroje	Stlačení, zachycení, střih, nezdravý postoj	1.1-8 až 1.1-12, 1.3-3, 1.3-5, 1.7-7, 8.1-2	Při vyhledávání nebo opravování závady na pneumatické části stroje může dojít ke stlačení nebo podobnému úrazu danou pneumatickou komponentou.

8.4	Vyhledávání a odstraňování závady na chladicím okruhu	Vystříknutí, uklouznutí a pád, otrava, senzibilita	1.6-1, 1.8-1, 7.1-1, 7.2-1	Pokud došlo k úniku teplotosného média hrozí k uklouznutí, otravě nebo podráždění médiem v případě glykolového média.
9	Ukončení provozu a demontáž			
9.1	Odpojení od elektrické sítě	Popálení elektrickým proudem, smrt el. proudem, požár, vystříknutí roztavených částic, zasažení el. proudem, vdechnutí toxického kouře, poškození zraku elektrickou jiskrou	2.1-1, 2.2-1, 2.2-2, 2.3-1, 2.4-1, 2.5-1 až 2.5-4, 2.6-1, 2.7-1	Neopatrným zacházením, nebo pokud se na stroji vyskytuje neošetřená závada může dojít k úrazu nebo usmrcení elektrickým proudem.
9.2	Demontáž	Stlačení, pořezání, odření, naražení, střih, propíchnutí nebo píchnutí, nezdravý postoj, únava, svalově kosterní poškození	1.1-2 až 1.1-7, 1.1-16, 1.2-1, 1.4-1, 1.5-2 až 1.5-9, 1.7-2 až 1.7-6, 1.9-1, 1.9-2, 8.1-2, 8.2-1, 8.3-2	Během demontáže hrozí zborcení nebo k pádu jedné z částí stroje a poranění obsluhy. Mimo to zde také figuruje nebezpečí úrazu z ergonomického hlediska.

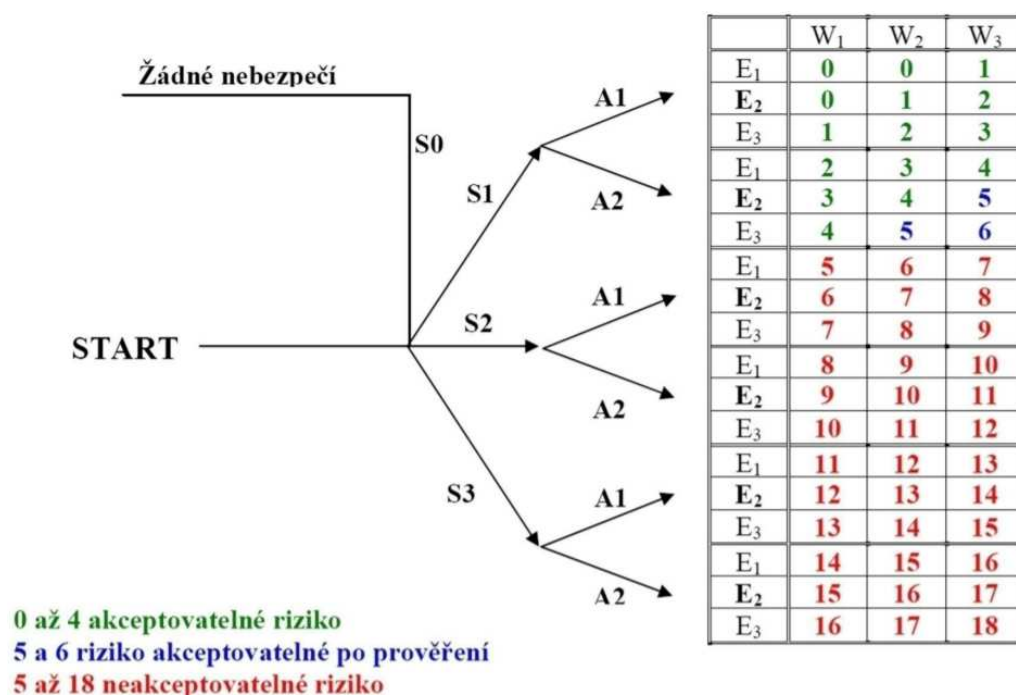
9.3	Přemístění částí stroje	Stlačení, odření, naražení, stříh, nezdravý postoj, únava, svalově kosterní poškození	1.1-2 až 1.1-7, 1.1-16, 1.4-1, 1.5-2 až 1.5-9, 1.7-2 až 1.7-6, 8.1-1, 8.2-1, 8.3-1	Přemísťováním nebo nakládáním částí stroje vzniká nebezpečí pádu nebo převrácení a následné poranění obsluhy. Během manipulace s částmi může pracovník vykonávat nezdravé pohyby.
9.4	Likvidace teplotnosného média	Otrava, senzibilita	7.1-1, 7.2-1	Nesprávnou likvidací teplotnosného média může dojít k otravě životního prostředí.

19. Posouzení rizik

19.1. Metodika posouzení rizika

Všechny zjištěné nebezpečné události jsou posuzovány dle grafu pro odhad velikosti rizika (viz. Obr. 19-1). Výsledná velikost rizika závisí na hodnotách čtyřech parametrů rizika:

- **S** – míra poškození:
 - **S0** – zanedbatelné (zranění s pracovní neschopností do 3 dnů),
 - **S1** – lehké (zranění s pracovní neschopností větší než 3 dny),
 - **S2** – s trvalými následky (ztráta končetin, zraku, ...),
 - **S3** – smrt,
- **A** – četnost vystavení nebezpečné události:
 - **A1** – zřídka (maximálně jedenkrát za den),
 - **A2** – často až trvale (častěji než jedenkrát denně),
- **E** – možnost odvrácení nebo snížení škody:
 - **E1** – možné (výskyt nebezpečné události je možno očekávat),
 - **E2** – možné za určitých okolností (jsou k dispozici funkční ochranná opatření),
 - **E3** – sotva možné (výskyt nebezpečné situace je neočekávaný a rychlý),
- **W** – pravděpodobnost výskytu nebezpečné události:
 - **W1** – malá (maximálně jedenkrát za den),
 - **W2** – střední (častěji než jedenkrát denně),
 - **W3** – velká (častěji než jedenkrát za směnu).



Obr. 19-1 – Graf pro odhad rizika

19.2. Posouzení rizik nebezpečných událostí spojených s identifikovanými zdroji

Tab. 19-1 – Posouzení rizik nebezpečných událostí

Číslo nebezpečí	Nebezpečná událost	Hodnoty kategorií rizika				Velikost rizika
		S	A	E	W	
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačení					
1.1-1	Nebezpečí stlačení při manipulaci se strojem	3	1	2	1	12
1.1-2	Nebezpečí stlačení při manipulaci s rámem stroje	3	1	2	1	12
1.1-3	Nebezpečí stlačení při manipulaci s rámem chladicí komory	3	1	2	1	12
1.1-4	Nebezpečí stlačení při manipulaci s rámem ohřívací nebo chladicí stanice	2	1	2	1	6
1.1-5	Nebezpečí stlačení při manipulaci s robotem	2	1	2	1	6
1.1-6	Nebezpečí stlačení při manipulaci s chladicí komorou	3	1	2	1	12
1.1-7	Nebezpečí stlačení při manipulaci s průtokovým chladičem nebo chillerem	1	1	3	1	1
1.1-8	Nebezpečí stlačení v ohřívacích či chladicích čelistech stroje	1	2	3	3	6
1.1-9	Nebezpečí stlačení mezi tělesem válce a přírubou pístu ohřívací či chladicí stanice	1	2	3	3	6
1.1-10	Nebezpečí stlačení pneumaticky ovládaným šuplíkem	1	2	3	3	6
1.1-11	Nebezpečí stlačení dorazem vyklápěcího mechanismu	1	2	3	3	6
1.1-12	Nebezpečí stlačení automatickými vstupními dveřmi chladicí komory	1	2	3	3	6
1.1-13	Nebezpečí stlačení mezi řetězem a řetězovým kolem dopravníku	2	2	2	3	11
1.1-14	Nebezpečí stlačení při pohybu robotu	3	2	2	3	17
1.1-15	Nebezpečí stlačení při zavření výstupních dveří chladicí komory	0	2	3	3	0
1.1-16	Nebezpečí stlačení při manipulaci se skříní elektrického rozváděče	2	1	2	1	6
1.2	Nebezpečí pořezání					
1.2-1	Nebezpečí pořezání o ostré hrany nebo o otřepy vzniklé při výrobě	1	2	2	3	5
1.3	Nebezpečí vtažení nebo zachycení					
1.3-1	Nebezpečí vtažení při zachycení o pohyblivou část robota nebo jeho efektoru	2	2	3	3	12

1.3-2	Nebezpečí zachycení do řetězu dopravníku	2	2	2	3	11
1.3-3	Nebezpečí zachycení do vyklápěcího mechanismu zakládací stanice	1	2	3	3	6
1.3-4	Nebezpečí zachycení do výstupu motoru nebo převodovky dopravníku	2	2	3	3	12
1.3-5	Nebezpečí zachycení o pohybující se šuplík zakládací stanice	1	2	3	3	6
1.4	Nebezpečí odření					
1.4-1	Nebezpečí odření při manipulaci se strojem nebo jeho částmi	0	2	2	3	0
1.5	Nebezpečí naražení					
1.5-1	Nebezpečí naražení při manipulaci se strojem	1	1	3	1	1
1.5-2	Nebezpečí naražení při manipulaci s rámem stroje	1	1	3	1	1
1.5-3	Nebezpečí naražení při manipulaci s rámem chladicí komory	1	1	3	1	1
1.5-4	Nebezpečí naražení při manipulaci s rámem ohřívací nebo chladicí stanice	1	1	3	1	1
1.5-5	Nebezpečí naražení při manipulaci s robotem	1	1	3	1	1
1.5-6	Nebezpečí naražení při pohybu robotu	3	2	3	3	18
1.5-7	Nebezpečí naražení při manipulaci s chladicí komorou	1	1	3	1	1
1.5-8	Nebezpečí naražení o HMI panel	1	2	3	3	6
1.5-9	Nebezpečí naražení o rám stroje při pohybu nebo práci v blízkém okolí	0	2	3	3	0
1.5-10	Nebezpečí naražení o vysunutý šuplík zakládací stanice	0	2	3	3	0
1.5-11	Nebezpečí naražení při pohybu vyklápěcího mechanismu zakládací stanice	0	2	3	3	0
1.5-12	Nebezpečí naražení o otevřené výstupní dveře chladicí komory	1	2	3	3	6
1.5-13	Nebezpečí naražení při otevírání ventilu pro vypuštění kondenzátu z chladicí komory	0	1	3	1	0
1.6	Nebezpečí vystříknutí					
1.6-1	Nebezpečí vystříknutí teplotosného média vlivem netěsnosti v obvodu nebo porušení hadice	0	2	3	3	0
1.7	Nebezpečí stříhu					
1.7-1	Nebezpečí stříhu při manipulaci se strojem	2	1	2	1	6
1.7-2	Nebezpečí stříhu při manipulaci s rámem stroje	2	1	2	1	6
1.7-3	Nebezpečí stříhu při manipulaci s rámem chladicí komory	2	1	2	1	6
1.7-4	Nebezpečí stříhu při manipulaci s rámem ohřívací nebo chladicí stanice	2	1	2	1	6
1.7-5	Nebezpečí stříhu při manipulaci s robotem	2	1	2	1	6

1.7-6	Nebezpečí stříhu při manipulaci s chladicí komorou	2	1	2	1	6
1.7-7	Nebezpečí stříhu při zavírání automatických vstupních dveří chladicí komory	1	2	3	3	6
1.7-8	Nebezpečí stříhu při zachycení mezi řetězové kolo a řetěz dopravníku	2	2	2	3	11
1.8	Nebezpečí uklouznutí, zakopnutí a pádu					
1.8-1	Nebezpečí uklouznutí při vylití teplotnosného média	1	1	3	1	1
1.8-2	Nebezpečí uklouznutí při vylití kondenzátu	1	1	3	1	1
1.8-3	Nebezpečí zakopnutí o nohu stroje	1	2	3	3	6
1.9	Nebezpečí propíchnutí nebo píchnutí					
1.9-1	Nebezpečí píchnutí o otřepy vzniklé při výrobě	0	2	3	3	0
1.9-2	Nebezpečí píchnutí při instalaci vodičů	0	2	3	3	0
2	Elektrická nebezpečí					
2.1	Nebezpečí popálení					
2.1-1	Nebezpečí popálení při zasažení proudem	1	1	3	2	2
2.2	Nebezpečí usmrcení elektrickým proudem					
2.2-1	Nebezpečí usmrcení elektrickým proudem při dotyku živé části	3	2	3	3	18
2.2-2	Nebezpečí usmrcení elektrickým proudem při dotyku neživé části při závadě	3	2	3	1	16
2.3	Nebezpečí požáru					
2.3-1	Nebezpečí požáru způsobeného zkratem	3	2	1	1	14
2.4	Nebezpečí vystříknutí roztavených částic					
2.4-1	Nebezpečí popálení o vystříknuté roztavené částice vlivem zkratu nebo výbuchu elektrické komponenty	2	1	3	1	7
2.5	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem					
2.5-1	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem při dotyku živé části	3	2	3	3	18
2.5-2	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem s malým napětím (do 50 V) při dotyku živé části	0	2	3	3	0
2.5-3	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem při dotyku neživé části při závadě	3	2	2	1	15
2.5-4	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem s malým napětím (do 50 V) při dotyku neživé části při závadě	0	2	2	1	0
2.6	Nebezpečí vdechnutí toxického kouře					
2.6-1	Nebezpečí vdechnutí toxického kouře vzniklého při závadě elektrické komponenty	3	1	2	1	12
2.7	Nebezpečí poškození zraku elektrickou jiskrou					
2.7-1	Nebezpečí poškození zraku elektrickou jiskrou vyvolanou elektrickým výbojem	2	2	2	1	9

3	Tepelná nebezpečí					
3.1	Nebezpečí popálení					
3.1-1	Nebezpečí popálení při dotyku ohřívací čelisti nebo tepelného štítu	1	2	1	3	4
3.1-2	Nebezpečí popálení o ohřívanou paletku	1	2	1	3	4
3.1-3	Nebezpečí popálení o zahřátou kostru pohonu dopravníku	0	2	3	3	0
3.2	Nebezpečí dehydratace					
3.2-1	Nebezpečí dehydratace při práci v blízkosti zdrojů tepla	0	2	1	3	0
3.3	Nebezpečí zranění vyzařováním zdrojů tepla					
3.3-1	Nebezpečí popálení vlivem tepla vyzařovaného ohřívacími čelistmi nebo tepelným štítem	0	2	1	3	0
4	Nebezpečí hluku					
4.1	Nebezpečí nepohodlí					
4.1-1	Nebezpečí nepohodlí způsobené hlukem pneumatických prvků	0	2	2	3	0
4.1-2	Nebezpečí nepohodlí způsobené hlukem běhu průtokového chladiče nebo chilleru	0	2	2	3	0
4.2	Nebezpečí stresu					
4.2-1	Nebezpečí stresu způsobené hlukem	0	2	2	3	0
4.3	Nebezpečí hučení v uších					
4.3-1	Nebezpečí hučení v uších způsobeným hlukem pneumatických prvků	2	2	1	3	10
5	Nebezpečí vibrací					
6	Nebezpečí záření					
6.1	Nebezpečí popálení					
6.1-1	Nebezpečí popálení způsobené teplem sálajícím z ohřívací čelisti nebo tepelného štítu	0	2	1	3	0
7	Nebezpečí materiálů/látek					
7.1	Nebezpečí otravy					
7.1-1	Nebezpečí otravy teplonosným médiem	1	1	1	1	0
7.2	Nebezpečí senzibility					
7.2-1	Nebezpečí podráždění pokožky nebo očí teplonosným médiem na bázi glykolu	1	1	2	1	0
8	Ergonomická nebezpečí					
8.1	Nebezpečí nezdravého postroje					
8.1-1	Nebezpečí nezdravého postoje vlivem špatné ergonomie při přepravě stroje	1	1	2	3	2
8.1-2	Nebezpečí nezdravého postoje vlivem špatné ergonomie při montáži stroje	1	1	2	3	2
8.1-3	Nebezpečí nezdravého postoje vlivem špatné ergonomie při seřizování pneumatických prvků	1	1	2	3	2

8.1-4	Nebezpečí nezdravého postoje vlivem špatné ergonomie ovládacího panelu stroje	1	2	1	3	4
8.1-5	Nebezpečí nezdravého postoje vlivem špatné ergonomie při vkládání paletky	1	2	1	3	4
8.1-6	Nebezpečí nezdravého postoje vlivem špatné ergonomie při otevírání výstupních dveří chladicí komory a vyjímání paletky	1	2	2	3	5
8.2	Nebezpečí únavy					
8.2-1	Nebezpečí únavy vlivem námahy při přemísťování stroje nebo jeho části	0	2	1	1	0
8.2-2	Nebezpečí únavy vlivem opakovaných pohybů při vkládání paletky	0	2	3	3	0
8.2-3	Nebezpečí únavy vlivem opakovaných pohybů při vyjímání paletky	0	2	3	3	0
8.3	Nebezpečí svalově kosterního poškození					
8.3-1	Nebezpečí svalově kosterního poškození vlivem špatné ergonomie při přemísťování stroje nebo jeho části	2	1	3	2	2
8.3-2	Nebezpečí svalově kosterního poškození vlivem špatné ergonomie při montáži stroje nebo jeho části	2	1	3	2	2
9	Nebezpečí spojená s prostředím, ve kterém je stroj používán					
10	Kombinace nebezpečí					
10.1	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem při vylití kondenzátu na elektrickou část stroje	S3	A1	E3	W1	13

20. Opatření snižující riziko

Tato kapitola se zabývá návrhem vhodných opatření pro snížení rizika nebezpečných událostí. Proces snižování rizika probíhá ve třech krocích:

- Krok 1 – Opatření zabudovaná v konstrukci
 - V tomto kroku je evaluován dopad konstrukčních prvků stroje na velikost rizika.
 - Jsou zvažovány možné úpravy konstrukce stroje.
- Krok 2 – Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná zařízení
 - Do tohoto kroku spadají bezpečnostní prvky jako ovládání či krytování stroje.
- Krok 3 – Informace pro používání
 - Poslední krok se zabývá poučením obsluhy o bezpečných praktikách a signalizaci možné nebezpečné události.

Během tvorby opatření je pro každý krok individuálně provedena analýza rizika, na jejímž základě je stanoveno hodnocení rizika, tzn. zda bylo dosaženo dostatečného snížení rizika.

Pro přehlednost je proces návrhu opatření popsán tzv. formulářem pro odhad rizika. V této kapitole je pro názornost uveden jeden tento formulář. Kompletní soubor formulářů pro vybraná rizika viz. Seznam příloh.

Tab. 20-1 – Příklad vypracování formuláře pro odhad rizika

Formulář pro odhad rizika			
Číslo nebezpečí (viz. Tab. 19-1)	Nebezpečná událost		
1.1-14	Nebezpečí stlačení při pohybu robotu		
Životní etapa stroje	Programování, provoz, údržba	Provozní stav stroje	Programování / práce v automatickém režimu
Nebezpečný prostor	Pracovní prostor stroje	Ohrožené osoby	Obsluha stroje
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika 17
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – sotva možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W3 – velká	

KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření	Robot je z pozice obsluhy hůře dosažitelný.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika 16
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – sotva možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – velká	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Krytování pracovního prostoru robotu. Všechny vstupy do pracovního prostoru jsou během automatického režimu zablokovány bezpečnostními zámky. Robot je proti nečekanému pohybu blokován řídicím systémem.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S0 – žádné nebezpečí	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	
KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění v návodu k použití: „Během práce v automatickém režimu je zakázáno vkládat do oblasti pracovního prostoru končetiny!“		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S0 – žádné nebezpečí	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	

ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Stroj byl navržen na základě zadaných parametrů pracovních cyklů. Při návrhu bylo dbáno, aby byl tvořen z materiálů vhodných pro použití v čistých prostorách. Dominantními materiály jsou: nerezová ocel 1.4301, slitina hliníku EN AW 6082 a plasty POM a PE-UHWM. Konstrukční návrh je podložený výpočty vybraných konstrukčních uzlů.

V rámci simulace pohybů robotu byl vytvořen robotický program popisující dráhu robotu. V kódu byly naznačeny úseky pro výstupy signálů, může tedy být po úpravě programátorem použit při virtuálním zprovoznění stroje. Do programu zbývá doplnit vstupy a výstupy pro ovládání periferií (stanice, koncový efektor, ...) a logiku, která bude umožňovat interpretaci povelů robotu z PLC. Při kontrole programu na fyzickém stroji je vhodné dbát na chování volných konců hadiček při manipulaci, aby nedošlo k jejich zachycení o část stroje.

Takt stroje stanovený z výsledků simulace je jen orientační. Vzhledem ke komplexní návaznosti robotických operací, které tkví z možnosti paralelního zpracování více paletek najednou, je jeho stanovení metodou Ganttova diagramu těžce realizovatelné. Vhodnějším způsobem stanovení přesného taktu stroje je pomocí statistiky počtu vyrobených kusů za jednotku času (hodinu, den, ...) získanou buď pomocí komplexní simulace celého stroje nebo testováním na hotovém stroji. Může být vytvořen PLC program, který bude tuto statistiku počítat automaticky a zobrazovat ji na displeji HMI panelu během výroby.

Dle posouzení rizik byla pro relevantní nebezpečí navržena opatření snižující riziko. Pro úplné ohodnocení bezpečnosti stroje je dále nutné provést:

- měření úrovně hluku,
- zkoušky elektrických zařízení dle normy ČSN EN 60204-1,
- zkoušky průhledných krytů pracovního prostoru robotu,
- zkoušku osvětlení pracovního prostoru,
- zkoušku elektromagnetické kompatibility stroje.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout jednoúčelový stroj, provádějící technologické operace ohřevu, ochlazení a podchlazení na základě orientačních parametrů. V první části práce byla provedena rešerše v oblasti PRAm zaměřující se konkrétně na vlastnosti průmyslových robotů. Cílem rešerše bylo získat ucelené informace o parametrech různých typů robotů, které mají sloužit k výběru vhodného robotu pro plnění funkcí v rámci stroje.

Na základě rozboru zadání byly navrženy metody operace ohřevu, ochlazení a dochlazování. Ohřev je prováděn za pomoci čelistí ohříváných topnými patronami. Proces ochlazování používá konstrukčně velmi podobnou stanici s čelistmi chlazenými průtokem destilované vody. Dochlazování probíhá v uzavřené chladicí komoře s dopravníky pro transport palet s produktem. Zdrojem chladu je dvojice radiátorů pod dopravníky ochlazovanými průtokem teplonosného média na bázi glykolu. Manipulaci v rámci stroje provádí robot EPSON VT6-A901C zvolený na základě multikriteriální analýzy. Zhotovený konstrukční návrh stroje byl před exportováním do STEP formátu z důvodu kompatibility zjednodušen.

Stroj má vnější maximální rozměry 2,72 x 1,88 x 2,07 m (délka x šířka x výška) a zabírá plochu 4,7 m². Jeho hmotnost činí 2 370 kg. Dle cenových odhadů jsou jeho náklady na pořízení a výrobu součástí zhruba 1,3 mil. Kč. Do ceny nejsou započítány mzdy, doprava či ceny za poskytované přídatné služby, jako je zaškolení obsluha apod.

Byla provedena simulace pohybů, které má robot při práci vykonávat. Z výstupů simulace bylo provedeno ověření možných kolizí a stanoven čas robotických operací. Z něj byl poté navržením časů ostatních úkonů stanoven teoretický takt při minimálním konstantním vytížení stroje, který je v průměru 174 vteřin.

Stroj jako celek i jeho dílčí části byly analyzovány z hlediska bezpečnosti a na vybraná nebezpečí byla doporučena opatření. V doporučení pro praxi byly uvedeny další kroky, které by měly být při realizaci stroje provedeny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 1., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [3] WILSON, Mike. *Implementation of Robot Systems: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. 1st Edition. Butterworth-Heinemann, 2014. ISBN 978-0-124-04733-4.
- [4] NOF, Shimon, ed. *Handbook of Industrial Robotics*. Second Edition. New York: Wiley, 1999. ISBN 0-471-17783-0.
- [5] TSAI, Lung-Wen. *Robot analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators*. New York: Wiley, 1999. ISBN 0-471-32593-7.
- [6] NIKU, Saeed B. *Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications*. Third Edition. Hoboken: Wiley, 2020. ISBN 978-1-119-52762-6.
- [7] KR AGILUS. In: *KUKA AG* [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/industrial-robots/kr-agilus>
- [8] KHATIB, Oussama a Bruno SICILIANO. *Springer Handbook of Robotics*. 2nd ed. 2016. Imprint: Springer, 2016. ISBN 978-3-319-32552-1.
- [9] SPONG, Mark, Seth HUTCHINSON a Mathukumalli VIDYASAGAR. *Robot Modeling and Control*. Second edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2020. ISBN 978-1-119-52399-4.
- [10] ČERNÝ, Jiří. *Robotizované pracoviště pro plnění meziprojektu „Valve cartridge“ silikonem*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [11] Handling systems brochure. In: *Festo* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/685247/Festo_Handlingsystems_Brochure_EN135620_202107_V01.pdf
- [12] Přímocárý portál EXCT. In: *Festo* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/primocary-portal-id_EXCT_LP/
- [13] FANUC Robot M-2000iA/2300. In: *FANUC* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: [https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/RM-2000iA\(E\)-07b.pdf](https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/RM-2000iA(E)-07b.pdf)
- [14] IRB 460. In: *ABB* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/cs/3HAC036445-001/irb-460>

- [15] PH - Kotoučový zásobníkový automatizační systém od DMG MORI: PH Cell. In: *DMG MORI* [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/automatizace/manipulace-s-paletami/kotoucovy-zasobnikovy-system/ph>
- [16] IRBP A: Industrial robot positioner. In: *ABB* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-a>
- [17] TrackMotion Floor TMF. In: *Güdel* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.gudel.com/products/linear-tracks-for-robots/tmf>
- [18] SP100 Spot Welding Robot. In: *Yaskawa Motoman* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial/welding-cutting/sp-series/sp100>
- [19] FANUC Arc Mate 100iD Industrial Robot. In: *FANUC* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/be/en/robots/robot-filter-page/arc-welding/arcmate-100id>
- [20] Cobot Workstation for Fastening Assembly. In: *Visumatic* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: http://www.visumatic.com/fix/fix_cobot_workstation.html
- [21] CSDA10F. In: *Yaskawa* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.yaskawa.co.uk/products/robots/handling-assembly/productdetail/product/csda10f_712
- [22] WONG, Andrew a Alan PUGH, ed. *Machine Intelligence and Knowledge Engineering for Robotic Applications*. 1. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1987. ISBN 978-3-642-87389-8.
- [23] APPIN KNOWLEDGE SOLUTIONS. *Robotics*. 1st Edition. Hingham: Infinity Science Press, 2007. ISBN 978-1-934015-02-5.
- [24] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks*. 1st Edition. Berlin: Springer, 2005. ISBN 978-3-540-25657-1.
- [25] SWK-060-000-000. In: *SCHUNK* [online]. [cit. 2021-12-1]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/17986-0302362-swk-060-000-000/
- [26] MONKMAN, Gareth, Stefan HESSE, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Robot Grippers*. 1st Edition. Weinheim: Wiley, 2007. ISBN 978-3-527-40619-7.
- [27] KUTTARMARE, H. et al. Fabrication of Peltier Cooling System: Alternative for Refrigeration. *IJARIII*. 2016, (2), 260-264. ISSN 2395-4396.

- [28] Prostorové portály: technické údaje. In: *Festo* [online]. 2015 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/047/D15000100153047.PDF>
- [29] Epson VT6L All-in-One 6-Axis Robot. In: *Epson* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://epson.com/For-Work/Robots/6-Axis/Epson-VT6L-All-in-One-6-Axis-Robot/p/RVT6L-A901SS>
- [30] Epson C8L Long Reach 6-Axis Robots. In: *Epson* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://epson.com/For-Work/Robots/6-Axis/Epson-C8L-Long-Reach-6-Axis-Robots/p/RC8-A901ST75SS>
- [31] SEIKO EPSON CORPORATION. *6-Axis Robot VT Series Manipulator Manual*. Rev. 6. 2018.
- [32] ČSN EN 485-2+A1:2019. *Hliník a slitiny hliníku - Plechy, pásy a desky - Část 2: Mechanické vlastnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [33] SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS, Miloš VLK, ed. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [34] ČSN EN 10088-3:2015. *Korozivzdorné oceli - Část 3: Technické dodací podmínky pro polotovary, tyče, válcované dráty, profily a lesklé výrobky z ocelí odolných korozi pro obecné použití*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [35] LTC4 Refrigerated Circulating Bath. In: *Grant Instruments* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://grantinstruments.com/scientific/chillers-coolers/ltc4-refrigerated-circulating-bath>
- [36] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [37] Přisavka ESG-30. In: *Festo* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/189174/?q=189174>
- [38] Topné patrony. In: *ETTO* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.etto.cz/elektricka-topna-telesa/topne-patrony/>
- [39] Metals, Metallic Elements and Alloys - Thermal Conductivities. In: *Engineering ToolBox* [online]. 2005 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-metals-d_858.html
- [40] Nízcezatížené topné patrony. In: *ETTO* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.etto.cz/elektricka-topna-telesa/topne-patrony/nizcezatizene-topne-patrony/>
- [41] Katalog. In: *Řetězy Vamberk* [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.retezy-vam.com/images/PDF/Katalog.pdf>

- [42] Výpočet dopravního řetězu. In: *Řetězy Vamberk* [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.retezy-vam.com/cs/pro-konstruktery/vypocet-dopravniho-retezu>
- [43] Výpočet válečkového řetězu. In: *Řetězy Vamberk* [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.retezy-vam.com/cs/pro-konstruktery/vypocet-valeckoveho-retezu>
- [44] UHMW (Ultra High Molecular Weight Polyethylene). In: *Poly-Tech Industrial* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.polytechindustrial.com/products/plastic-stock-shapes/uhmw-polyethylene>
- [45] Motory řady ACA. In: *Motorgear* [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.motorgear.cz/elektromotory/c4-ac-motoren/a51-motory-rady-aca>
- [46] Převodovky TRAMEC - HA, HF. In: *Motorgear* [online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: <https://www.motorgear.cz/prevodovky/c7-tramec/a59-prevodovky-tramec-ha-hf>
- [47] PILKEY, Walter, Deborah PILKEY a Zhuming BI. *Peterson's Stress Concentration Factors*. Fourth Edition. Wiley, 2020. ISBN 978-1-119-53252-1.
- [48] ČSN 02 2562:2003. *Pera těsná s mezními úchylkami šířky e7 nebo h9*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [49] ČSN EN ISO 3506-1:2020. *Spojovací součásti - Mechanické vlastnosti korozně odolných spojovacích součástí z korozivzdorných ocelí - Část 1: Šrouby specifických tříd a pevnostních tříd*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

JÚS	Jednoúčelový stroj
PRaM	Průmyslové roboty a manipulátory
T	Translační kinematická vazba
R	Rotační kinematická vazba
CNC	Computer numerical control
SCARA	Selective compliance assembly robot arm, nebo Selective compliance articulated robot arm
AVO	Automatická výměna obrobků
RTP	Robotizované technologické stanoviště
PC	Proprioceptivní senzor
EC	Exteroceptivní senzor
AS	Aktivní senzor
PS	Pasivní senzor
ADV	Autonomní dopravní vozidlo
PATTERN	Planning Assistance Through Technical Evolution of Relevance Number
TDP	Technické dodací podmínky
MSP	Mezní stav pružnosti
PNP	Pick and place
PTP	Pohybová instrukce point-to-point

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Význam	Jednotky
C	počet kombinací	[-]
n_k	počet kritérií	[-]
v_i	počet označení i-tého kritéria	[-]
q_i	váha významnosti i-tého kritéria	[-]
I_{ij}	váha významnosti i-té varianty j-tého kritéria	[-]
H_{ij}	hodnota parametru i-té varianty j-tého kritéria	různé
H_{j0}	nejnižší hodnota dosažená jakoukoliv variantou pro kritérium j	[-]
S_{ij}	vážený index kritéria	[-]
S_j	součet vážených indexů j-tého kritéria	[-]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
$R_{p0,2}, R_e$	mez kluzu	[MPa]
E	Youngův modul	[GPa]
ρ	hustota	[kg/m ³]
d, D	jmenovitý průměr závitu	[mm]
P	rozteč	[mm]
d_2, D_2	stření průměr závitu	[mm]
d_1, D_1	malý průměr závitu	[mm]
d_3	malý průměr šroubu	[mm]
k_n	návrhový součinitel	[-]
F_z^*	síla působící na závit	[N]
m_{str}	hmotnost stroje	[kg]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
i_n	počet noh rámu	[-]
p_z^*	tlakové napětí v závitě	[MPa]
l_z^*	délka zašroubování závitu	[mm]
p_{dov}	dovolené napětí v tlaku	[MPa]
a	výška svaru	[mm]
z	délka strany svaru	[mm]
S_{up}	plocha účinného průřezu svaru	[mm ²]
α_τ	součinitel svaru	[-]
τ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
τ_s	napětí ve svaru	[MPa]
$F_{př}$	jmenovitá přídržná síla	[N]
p_{pr}	jmenovitý provozní tlak	[bar]
T_{ok}	dovolená okolní teplota přísavky	[°C]
F_1, F_2	síly přísavek	[N]
F_G	tíhová síla	[N]
l_F^*	délka ramena síly	[mm]
F_x	síla ve směru osy x	[N]
F_y	síla ve směru osy y	[N]
M_A	moment okolo bodu A	[N · mm]
F_A	reakční síla A	[N]

Symbol	Význam	Jednotky
F_B	reakční síla B	[N]
a	zrychlení efektoru	[m/s ²]
$F_{přK}$	kritická přídržná síla	[N]
m_{pa}	hmotnost paletky	[kg]
$n_{př}$	počet přísavek	[-]
k_{up}	součinitel bezpečnosti uchopení	[-]
M_v	výklopný moment	[N · mm]
m_v	hmotnost vyklápěných součástí	[kg]
r_v	vzdálenost těžiště vyklápěných součástí od osy rotace	[mm]
P_{tp}	teoretický výkon topné patrony	[W]
q_T	topná charakteristika patrony	[W/cm ²]
l_{tp}	délka topné zóny patrony	[mm]
d_{tp}	průměr topné patrony	[mm]
t_{chl}	délka ochlazovacího cyklu	[min]
t	takt stroje	[min]
k_{kap}	součinitel kapacity dopravníku	[-]
n_d	počet dopravníků	[-]
n_{p1v}	počet lůžek v rovné části horní větve	[-]
p	rozteč článku řetězu	[mm]
$F_{Ař}$	dovolené zatížení řetězu	[N]
$F_{Bř}$	pevnost při přetržení řetězu	[N]
f	plocha kloubu řetězu	[mm ²]
Q	hmotnost 1 metru řetězu	[kg/m]
n_{rozt}	rozteč článků řetězu mezi lůžky	[-]
Z^*	počet zubů řetězového kola	[-]
d_p	roztečný průměr řetězového kola	[mm]
d_e	hlavový průměr řetězového kola	[mm]
B_1	šířka zubu	[mm]
X	počet článků řetězu	[-]
a	osová vzdálenost řetězových kol	[mm]
F	koeficient bezpečnosti řetězu	[-]
v_{dmin}	minimální rychlost dopravníku	[m/s]
v_{rozt}	navržená rychlost k uražení jedné rozteče lůžek	[m/s]
P	hmotnost dopravovaných paletok	[kg]
$P_{ř}$	hmotnost řetězu	[kg]
F_s	součinitel provozu	[-]
f_r	součinitel statického tření	[-]
T	tažná síla řetězu	[N]
$n_{ř}$	počet řetězů	[-]
p_t	napětí na otláčení	[MPa]
n_m	otáčky motoru	[min ⁻¹]
$M_{ř}$	moment na řetězovém kole	[N · mm]
M_m	moment motoru	[N · mm]
P_N	jmenovitý výkon	[kW]

Symbol	Význam	Jednotky
n_N	jmenovité otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
M_N	jmenovitý moment	$[\text{N} \cdot \text{m}]$
$2p$	počet pólů	$[-]$
n_s	synchronní otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
U	napájecí napětí	$[\text{V}]$
I_N	jmenovitý proud	$[\text{A}]$
η	účinnost	$[\%]$
$\cos \varphi$	účinník	$[-]$
J	moment setrvačnosti motoru	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
i_n	převodový poměr	$[-]$
n_1	jmenovité vstupní otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
n_2	jmenovité výstupní otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
T_2	jmenovitý výstupní moment	$[\text{N} \cdot \text{m}]$
FS'	provozní faktor	$[-]$
T_{2M}	maximální výstupní moment	$[\text{N} \cdot \text{m}]$
P_1	doporučený výkon motoru	$[\text{kW}]$
v_d	rychlost dopravníku	$[\text{m/s}]$
τ_{k*}	napětí v krutu	$[\text{MPa}]$
W_{k*}	modul průřezu v krutu	$[\text{mm}^3]$
$d_{\min}$	minimální průměr	$[\text{mm}]$
d_{h*}	průměr hřídele	$[\text{mm}]$
α^*	součinitel vrubu	$[-]$
M_k	krouticí moment	$[\text{N} \cdot \text{m}]$
k_{MSP*}	bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti	$[-]$
b	šířka pera	$[\text{mm}]$
h	výška pera	$[\text{mm}]$
t	hloubka pera v hřídeli	$[\text{mm}]$
t_1	hloubka pera v náboji	$[\text{mm}]$
l	délka pera	$[\text{mm}]$
p_0	základní hodnota tlaku	$[\text{MPa}]$
p_D	dovolené napětí	$[\text{MPa}]$
F_t^*	tečná síla	$[\text{mm}]$
F_{pf}	zkušební zatížení šroubu	$[\text{N}]$
$t_{\max}$	teoretický maximální takt stroje	$[\text{s}]$
n_{1s}	počet kusů paletků zpracovaných za jednu směnu	$[\text{ks}]$

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 – Etapy automatizace ve výrobě [1].....	15
Obr. 1-1 – Průmyslový robot s odvozeným spojením kinematického řetězce polohovacího ústrojí (RTR) [4]	18
Obr. 1-2 – Typická reprezentace pracovního prostoru robotu [3].....	20
Obr. 1-3 – Diagram nosnosti robotu (KUKA AGILUS KR 6 R700-2) [7].....	20
Obr. 2-1 – Redundantní robot DEXTER s 8 stupni volnosti [8]	21
Obr. 2-2 – Pracovní prostor kartézského robotu [10]	22
Obr. 2-3 – Stavebnicové provedení kartézských robotů.....	23
Obr. 2-4 – Dvouosý kartézský robot Festo EXCT [12].....	23
Obr. 2-5 – Pracovní prostor kloubového robotu (bez orientačního ústrojí) [10].....	24
Obr. 2-6 – Paletizační robot ABB IRB 460 [14]	25
Obr. 2-7 – FANUC M-2000iA/2300 [13]	25
Obr. 2-8 – Pracovní prostor sférického robotu [10]	25
Obr. 2-9 – Svařovací linka se sférickými roboty [3]	25
Obr. 2-10 – Pracovní prostor cylindrického robotu [10]	26
Obr. 2-11 – Systém AVO DMG MORI PH Cell s cylindrickým robotem [15].....	26
Obr. 2-12 – Pracovní prostor robotu SCARA [10].....	27
Obr. 2-13 – Montážní linka elektronických součástí opatřená SCARA roboty [4]	27
Obr. 2-14 – Pracovní prostor robotu s paralelní kinematikou [6]	28
Obr. 2-15 – Manipulace s drobnými předměty Delta robotem [3]	28
Obr. 2-16 – Standartní kloubový robot s obráběcím vřetenem [3].....	29
Obr. 2-17 – Periferie pro robotické svařovací buňky	30
Obr. 2-18 – Roboty pro bodové a obloukové svařování.....	30
Obr. 2-19 – RTP s lakovacími roboty [3]	31
Obr. 2-20 – Příklad pracoviště s kolaborativním robotem [20].....	32
Obr. 2-21 - Dvouramenný kobot Yaskawa MOTOMAN CSDA10F [21]	33
Obr. 4-1 – Systém automatické výměny efektorů SCHUNK SWK [25]	38
Obr. 4-2 – Příklady řešení mechanických aktivních úchopných prvků [26]	40
Obr. 4-3 – Příklad zapojení vakuových úchopných prvků [26]	41
Obr. 6-1 – Příklad konců hadiček	46
Obr. 6-2 – Volné konce hadiček	46
Obr. 6-3 – Paletka v částečně rozloženém stavu	47
Obr. 6-4 – Spodní strana paletky	47
Obr. 6-5 – Vývojový diagram navrženého procesu.....	48
Obr. 6-6 – Vývojový diagram navrženého procesu [pokračování]	49
Obr. 6-7 – Návrh způsobu ohřevu	50
Obr. 6-8 – Peltierův článek [27]	51
Obr. 6-9 – Přípravek pro testování metody ohřevu a chlazení	52
Obr. 6-10 – Schématické znázornění chladicí komory	53
Obr. 7-1 – Orientace paletky	54
Obr. 7-2 – Zvažované modely robotů [28; 29; 30].....	55
Obr. 7-3 – První iterace návrhu stroje	59
Obr. 7-4 – Finální návrh stroje	59

Obr. 7-5 – Stroj je sejmutým horním krytem (pohled 1)	60
Obr. 7-6 – Stroj je sejmutým horním krytem (pohled 2)	60
Obr. 8-1 – Pracovní prostor robotu [31]	62
Obr. 8-2 – Diagram nosnosti robotu [31].....	62
Obr. 8-3 – Koncový efektor	63
Obr. 8-4 – Rám stroje.....	64
Obr. 8-5 – Rám s pracovní deskou.....	64
Obr. 8-6 – Ohřívací stanice	65
Obr. 8-7 – Čelist s patronou a teplotním čidlem	66
Obr. 8-8 – Boční pohled na C rám se součástmi ohřívacího hnízda.....	66
Obr. 8-9 – Ochlazovací stanice	67
Obr. 8-10 – Chladicí komora	68
Obr. 8-11 – Laboratorní chiller LTC4 [35].....	68
Obr. 8-12 – Dělič průtoku	68
Obr. 8-13 – Dopravník s rámem mrazáku	69
Obr. 8-14 – Lůžka dopravníku.....	70
Obr. 8-15 – Plášť chladicí komory.....	71
Obr. 8-16 – Zakládací šuplík – pohled shora	72
Obr. 8-17 – Zakládací šuplík – pohled zespodu	72
Obr. 8-18 – Vyklápěcí stanice	73
Obr. 8-19 – Skříň rozvaděče	73
Obr. 8-20 – Rozvod stlačeného vzduchu	74
Obr. 8-21 – Větrání pracovního prostoru.....	76
Obr. 8-22 – Dveře pracovního prostoru	76
Obr. 8-23 – Ovládací panel stroje	77
Obr. 10-1 – Detail stavitelné nohy	79
Obr. 10-2 – Detail svarového spoje závěsného čepu	80
Obr. 11-1 – Uspořádání přísavek koncového efektoru	81
Obr. 11-2 – Schématické znázornění kontaktu paletky s podpěrnou lištou.....	82
Obr. 11-3 – Zrychlení při působení kritické síly.....	83
Obr. 11-4 – Výchozí tvar montážní desky	83
Obr. 11-5 – Vygenerovaná síť tělesa	84
Obr. 11-6 – Síly a vazby v analýze	85
Obr. 11-7 – Celková deformace tělesa.....	85
Obr. 11-8 – Ekvivalentní napětí (von-Mises)	86
Obr. 11-9 – Návaznost analýz.....	86
Obr. 11-10 – Optimalizovaný tvar desky	87
Obr. 11-11 – Optimalizovaný tvar desky upravený v CAD softwaru	88
Obr. 11-12 – Porovnání hrubého a upraveného tvaru.....	88
Obr. 11-13 – Síť desky s optimalizovaným tvarem	88
Obr. 11-14 – Síly a vazby v analýze	89
Obr. 11-15 – Celková deformace tělesa.....	89
Obr. 11-16 – Ekvivalentní napětí (von-Mises)	90
Obr. 11-17 – Poloha těžiště na diagramu nosnosti	91
Obr. 12-1 – Těžiště paletky ve vyklápěcí stanici	92
Obr. 13-1 – Přřazení materiálů	94

Obr. 13-2 – Vygenerovaná síť	94
Obr. 13-3 – Výsledek 1. iterace (tepelný tok 5 W/cm ²)	95
Obr. 13-4 – Výsledek konečné iterace (2 W/cm ²)	96
Obr. 13-5 – Analýza teploty na celém modelu	96
Obr. 13-6 – Rozměry topné patrony	97
Obr. 14-1 – Graf kolísavosti rychlosti řetězu [42]	99
Obr. 14-2 – Kritická místa na hnací hřídeli	103
Obr. 14-3 – Průběh momentu na hřídeli	104
Obr. 14-4 – Detail šroubového spoje	107
Obr. 15-1 – Importovaný model se zvýrazněnými místy možného vzniku kolizí	109
Obr. 16-1 – Časový diagram stroje	112
Obr. 17-1 – Diagram vstupů a výstupů zařízení	113
Obr. 17-2 – Blokový diagram stroje	114
Obr. 17-3 – Detailní blokový diagram rozvodu elektrické energie	115
Obr. 17-4 – Detailní blokový diagram rozvodu stlačeného vzduchu	115
Obr. 17-5 – Detailní blokový diagram rozvodu chladicího média	115
Obr. 17-6 – Detailní blokový diagram krytování stroje	116
Obr. 17-7 – Detailní blokový diagram základací stanice	116
Obr. 17-8 – Detailní blokový diagram ohřívací stanice	117
Obr. 17-9 – Detailní blokový diagram ochlazovací stanice	118
Obr. 17-10 – Detailní blokový diagram chladicí komory	119
Obr. 19-1 – Graf pro odhad rizika	132

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 1-1 – Schématické značky kinematické struktury dle VDI 2681 [4]	17
Tab. 3-1 – Senzory typicky používané v robotických aplikacích [8]	36
Tab. 4-1 – Zkoumané vlastnosti manipulovaného předmětu [24]	39
Tab. 4-2 – Vlastnosti způsobů ovládání [26]	41
Tab. 7-1 – Tabulka řešení metody porovnání v trojúhelníku párů	57
Tab. 7-2 – Vyhodnocení variant dle metody PATTERN	58
Tab. 8-1 – Specifikace robotu [31]	61
Tab. 8-2 – Parametry hliníkové slitiny EN AW 6082 – T6 dle ČSN EN 485-2+A1:2019 [32; 33]	63
Tab. 8-3 – Parametry oceli 1.4301 dle ČSN EN 10088-3:2015 [34; 33]	64
Tab. 8-4 – Specifikace chilleru Grant Instruments LTC4 [35]	69
Tab. 9-1 – Odhad nákladů na díly stroje	78
Tab. 10-1 – Rozměry metrického závitu M20 [36]	79
Tab. 11-1 – Parametry vakuových přísavek Festo ESG [37]	81
Tab. 13-1 – Tepelná vodivost použitých materiálů [39]	93
Tab. 14-1 – Parametry řetězu ISO R606 – 10B-1 [41]	98
Tab. 14-2 – Charakteristické parametry řetězového kola	99
Tab. 14-3 – Parametry součinitele provozu	101
Tab. 14-4 – Parametry pohonu dopravníku [45; 46]	102
Tab. 14-5 – Kritická místa na hnací hřídeli	104

Tab. 14-6 – Rozměry pera těsného dle ČSN 02 2562 pro průměr 22 až 30 [48]	105
Tab. 14-7 – Rozměry metrického závitu M10 [36]	107
Tab. 16-1 – Časy jednotlivých úkonů	111
Tab. 18-1 – Identifikované zdroje nebezpečí a typy nebezpečí s nimi spjaté.....	120
Tab. 18-2 – Nebezpečné situace podle fáze životního cyklu zařízení	123
Tab. 19-1 – Posouzení rizik nebezpečných událostí.....	133
Tab. 20-1 – Příklad vypracování formuláře pro odhad rizika.....	138

SEZNAM PŘÍLOH

1. Kód programu robotu
2. Formuláře pro odhad rizika vybraných nebezpečí
3. Videozáznam simulace 2022_DP_200068_simulace.mkv
4. Výkresová dokumentace
 - Výkres sestavy stroje DP-200068-S01.pdf
 - Kusovník DP-200068-S01K.pdf
 - Výkres podsestavy koncového efektoru DP-200068-S11.pdf
 - Výkres montážní desky DP-200068-111.pdf
 - Výkres podsestavy vyklápěcí stanice DP-200068-S21.pdf
 - Výkres hřídele vyklápěče DP-200068-211.pdf
 - Pneumatické schéma DP-200068-P01.pdf

PŘÍLOHA Č. 1

Function main

Call Init	' inicializační funkce
Wait 5	
TOP:	' pozice pro návrat v programu
TmReset 0	' reset časovače
Call PNP_INtoOHR_1	' PNP ze základací stanice do ohřívací čelisti 1
Call PNP_OHR_1toOCHL_1	' PNP z ohřívací čelisti 1 do ochlazovací čelisti 1
Call PNP_OCHL_1toMRAZ_1	' PNP z ochlazovací čelisti 1 do chladicí komory 1
Call PNP_INtoOHR_2	' PNP ze základací stanice do ohřívací čelisti 1
Call PNP_OHR_2toOCHL_2	' PNP z ohřívací čelisti 1 do ochlazovací čelisti 1
Call PNP_OCHL_2toMRAZ_2	' PNP z ochlazovací čelisti 1 do chladicí komory 1
GoTo TOP	' skok v programu zpět na pozici TOP

Fend

Function Init

If ErrorOn Then Reset	' reset chybové hlášky
If Motor = Off Then Motor On	' spuštění pohonů
Weight 4	' nastavení hmotnosti koncového efektoru
Speed 100	' nastavení PTP pohybu, max. rychlost 100%
Accel 100, 60	' nastavení PTP pohybu, zrychl. 100 %, zpomal. 60 %
SpeedS 2000	' nastavení lineárního pohybu, max. rychlost 2 m/s
AccelS 4000	' nastavení lineárního pohybu, zrychlení 4 m/s ²
SpeedFactor 100	' nastavení součinitele rychlosti na 100 %
Home	' přejezd do Home pozice
Power High	' přepnutí do režimu vysokého výkonu
SpeedFactor 100	' nastavení součinitele rychlosti na 100 %

Fend

Function PNP_INtoOHR_1

SpeedFactor 100	' nastavení 100 % maximální rychlosti
Go PICKUP_apr_1	' PTP přiblížení k odebírací poloze
SpeedFactor 30	' nastavení 30 % maximální rychlosti
Move PICKUP	' najetí po přímce do odebírací polohy
' GRIP	
Wait 1	' prodleva reprezentující uchopení součásti
Move PICKUP_retr_1	' odjetí po přímce z odebírací polohy
SpeedFactor 75	' nastavení 75 % maximální rychlosti
Go OHR_1_apr_3	' PTP přiblížení k odkládací poloze
Go OHR_1_apr_2	' PTP přiblížení k odkládací poloze
SpeedFactor 50	' nastavení 50 % maximální rychlosti
Move OHR_1_apr_1	' přiblížení po přímce k odkládací poloze
SpeedFactor 30	' nastavení 30 % maximální rychlosti

```

Move OHR_1                ' najetí po přímce do odkládací polohy
' ZAVRIT CELIST
Wait 1                    ' prodleva reprezentující zavření čelisti
' UNGRIP
Wait 1                    ' prodleva reprezentující uvolnění součásti
Move OHR_1_retr_1          ' odjetí po přímce z odkládací polohy
SpeedFactor 100            ' nastavení 100 % maximální rychlosti
Move OHR_1_retr_2          ' odjetí po přímce z odkládací polohy
Go HOME_1                  ' PTP návrat do polohy Home
Print "PICKUPtoOHR_1 = ", Tmr(0), " sec" ' zapsání uplynulého času
TmReset 0                  ' reset časovače
Fend

Function PNP_OHR_1toOCHL_1 ' PNP z ohřívací čelisti 1 do ochlazovací čelisti 1
SpeedFactor 100
Go OHR_1_retr_2            ' přiblížení k odebírací poloze
Move OHR_1_retr_1
SpeedFactor 30
Move OHR_1                ' najetí do odebírací polohy
' GRIP
Wait 1                    ' prodleva reprezentující uchopení součásti
' OTEVRIT CELIST
Wait 1                    ' prodleva reprezentující otevření čelisti
Move OHR_1_retr_1          ' odjetí z odebírací polohy
SpeedFactor 75
Move OHR_1_retr_2
Move OCHL_1_apr_2          ' přiblížení k odkládací poloze
Move OCHL_1_apr_1
SpeedFactor 30
Move OCHL_1                ' najetí do odkládací polohy
' ZAVRIT CELIST
Wait 1                    ' prodleva reprezentující zavření čelisti
' UNGRIP
Wait 1                    ' prodleva reprezentující uvolnění součásti
Move OCHL_1_apr_1          ' odjetí z odkládací polohy
SpeedFactor 75
Move OCHL_1_apr_2
SpeedFactor 100
Go OCHL_1_retr_1 CP LJM    ' návrat do polohy Home s pohybem minimálního
                           ' počtu os a navázáním na další pohybovou instrukci

Go OCHL_1_retr_2 CP LJM
Go OCHL_1_retr_3 CP LJM
Go HOME_1                  ' návrat do polohy Home
Print "OHR_1toOCHL_1 = ", Tmr(0), " sec" ' zapsání uplynulého času
TmReset 0                  ' reset časovače
Fend

```

```

Function PNP_OCHL_1toMRAZ_1
    SpeedFactor 100
    Go OCHL_1_retr_3 CP LJM      ' přiblížení k odebírací poloze
    Go OCHL_1_retr_2 CP LJM
    Go OCHL_1_retr_1 CP LJM
    Move OCHL_1_apr_2
    SpeedFactor 75
    Move OCHL_1_apr_1
    SpeedFactor 30
    Move OCHL_1                ' najetí do odebírací polohy
'   GRIP
    Wait 1                    ' prodleva reprezentující uchopení součásti
'   OTEVRIT CELIST
    Wait 1                    ' prodleva reprezentující otevření čelisti
    Move OCHL_1_apr_1          ' odjetí z odebírací polohy
'   OTEVRIT CHLADICI KOMORU
    SpeedFactor 75
    Move OCHL_1_apr_2          ' přiblížení k chladicí komoře
    Go OCHL_1_retr_1 CP LJM
    Go OCHL_1_retr_2 CP LJM
    Go MRAZ_1_apr_5 CP LJM
    Go MRAZ_1_apr_4 CP LJM
    Go MRAZ_1_apr_3 CP LJM
    SpeedFactor 30            ' přiblížení k odkládací poloze
    Move MRAZ_1_apr_2
    Move MRAZ_1_apr_1
    Move MRAZ_1                ' najetí do odkládací polohy
'   UNGRIP
    Wait 1                    ' prodleva reprezentující uvolnění součásti
    Move MRAZ_1_retr_1         ' odjetí z odkládací polohy
    SpeedFactor 75
    Move MRAZ_1_retr_2         ' návrat do polohy Home
    Go MRAZ_1_retr_3 CP LJM
    SpeedFactor 100
    Go MRAZ_1_retr_4 CP LJM
    Go HOME_1
    Print "OCHL_1toMRAZ_1 = ", Tmr(0), " sec" ' zapsání uplynulého času
    TmReset 0                  ' reset časovače
Fend

```

Program pro druhé stanice je analogický.

```

Function PNP_INtoOHR_2
    SpeedFactor 100
    Go PICKUP_apr_1
    SpeedFactor 30
    Move PICKUP
'    GRIP
    Wait 1
    Move PICKUP_retr_1
    SpeedFactor 75
    Go OHR_2_apr_3
    Go OHR_2_apr_2
    SpeedFactor 50
    Move OHR_2_apr_1
    SpeedFactor 30
    Move OHR_2
'    ZAVRIT CELIST
    Wait 1
'    UNGRIP
    Wait 1
    Move OHR_2_retr_1
    SpeedFactor 100
    Move OHR_2_retr_2
    Go HOME_1
    Print "PICKUPtoOHR_2 = ", Tmr(0), " sec"
    TmReset 0
Fend

```

```

Function PNP_OHR_2toOCHL_2
    SpeedFactor 100
    Go OHR_2_retr_2
    Move OHR_2_retr_1
    SpeedFactor 30
    Move OHR_2
'    GRIP
    Wait 1
'    OTEVRIT CELIST
    Wait 1
    Move OHR_2_retr_1
    SpeedFactor 75
    Move OHR_2_retr_2
    Move OCHL_2_apr_2
    Move OCHL_2_apr_1
    SpeedFactor 30
    Move OCHL_2
'    ZAVRIT CELIST
    Wait 1

```

```

'   UNGRIP
    Wait 1
    Move OCHL_2_apr_1
    SpeedFactor 75
    Move OCHL_2_apr_2
    SpeedFactor 100
    Go OCHL_2_retr_1 CP LJM
    Go OCHL_2_retr_2 CP LJM
    Go OCHL_2_retr_3 CP LJM
    Go HOME_1
    Print "OHR_2toOCHL_2 = ", Tmr(0), " sec"
    TmReset 0
Fend

```

```

Function PNP_OCHL_2toMRAZ_2
    SpeedFactor 100
    Go OCHL_2_retr_3 CP LJM
    Go OCHL_2_retr_2 CP LJM
    Go OCHL_2_retr_1 CP LJM
    Move OCHL_2_apr_2
    SpeedFactor 75
    Move OCHL_2_apr_1
    SpeedFactor 30
    Move OCHL_2
'   GRIP
    Wait 1
'   OTEVRIT CELIST
    Wait 1
    Move OCHL_2_apr_1
'   OTEVRIT CHLADICI KOMORU
    SpeedFactor 75
    Move OCHL_2_apr_2
    Go OCHL_2_retr_1 CP LJM
    Go OCHL_2_retr_2 CP LJM
    Go MRAZ_2_apr_5 CP LJM
    Go MRAZ_2_apr_4 CP LJM
    Go MRAZ_2_apr_3 CP LJM
    SpeedFactor 30
    Move MRAZ_2_apr_2
    Move MRAZ_2_apr_1
    Move MRAZ_2
'   UNGRIP
    Wait 1
    Move MRAZ_2_retr_1
    SpeedFactor 75
    Move MRAZ_2_retr_2

```

```
Go MRAZ_2_retr_3 CP LJM
SpeedFactor 100
Go MRAZ_2_retr_4 CP LJM
Go HOME_1
Print "OCHL_2toMRAZ_2 = ", Tmr(0), " sec"
TmReset 0
Fend
```

PŘÍLOHA Č. 2

Formulář pro odhad rizika			
Číslo nebezpečí (viz. Tab. 19-1)	Nebezpečná událost		
1.1-2	Nebezpečí stlačení při manipulaci s rámem stroje		
Životní etapa stroje	Doprava / montáž a instalace / demontáž	Provozní stav stroje	Stroj v rozloženém stavu
Nebezpečný prostor	Místo výkonu práce	Ohrožené osoby	Montážní dělníci
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika 12
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření	Nýťovací matice lze použít jako montážní body pro čtveřici kotvicích prostředků.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika 11
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	

KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Předepsáno použití OOPP (přilba, pracovní obuv s vyztuženou špičkou). Předepsáno použití zdvihací techniky (jeřábu) pro přemísťování rámu. Předepsána nutnost kvalifikovaného personálu pro zajištění břemene a ovládání zdvihací techniky.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – s trvalými následky	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	
KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění v návodu k použití: „Při přemísťování strojního zařízení nebo jeho vyznačených částí je nutno používat prostředky OOPP (přilba, pracovní obuv s vyztuženou špičkou)!“ „Strojní zařízení nebo jeho vyznačené části lze přemísťovat pouze za pomoci zdvihací techniky!“ „Vazbu břemen a ovládání zdvihací techniky můžou provádět pouze kvalifikované osoby!“ „Během přemísťování se pod břemenem nesmí vyskytovat žádné osoby!“		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	

Formulář pro odhad rizika			
Číslo nebezpečí (viz. Tab. 19-1)	Nebezpečná událost		
1.1-10	Nebezpečí stlačení pneumaticky ovládaným šuplíkem		
Životní etapa stroje	Seřizování / provoz	Provozní stav stroje	Seřizování / práce v automatickém režimu
Nebezpečný prostor	Pracovní prostor stroje, prostor pro obsluhu	Ohrožené osoby	Obsluha stroje
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 6
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W3 – velká	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření	Zadní strana šuplíku je hůře neúmyslně dosažitelná.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 4
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – střední	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Nejsou přítomny žádné prvky ochrany.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 4
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – střední	

KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření	Opatření informační značkou „Nebezpečí stisku ruky“ v blízkosti šuplíku. Upozornění v návodu k použití: <i>„Při seřizování či práci se základacím šuplíkem dbejte na riziko stlačení končetin!“</i>		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 3
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – střední	

Formulář pro odhad rizika			
Číslo nebezpečí (viz. Tab. 19-1)	Nebezpečná událost		
1.1-11	Nebezpečí stlačení dorazem vyklápěcího mechanismu		
Životní etapa stroje	Seřizování / provoz	Provozní stav stroje	Seřizování / práce v automatickém režimu
Nebezpečný prostor	Pracovní prostor stroje	Ohrožené osoby	Obsluha stroje
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 6
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W3 – velká	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření	Dorazy jsou hůře dosažitelné.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 4
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – velká	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Krytování pracovního prostoru stroje. Všechny vstupy do pracovního prostoru jsou během automatického režimu zablokovány bezpečnostními zámkami.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S0 – žádné nebezpečí	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	

KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění v návodu k použití: <i>„Během práce v automatickém režimu je zakázáno vkládat do oblasti pracovního prostoru končetiny! “</i>		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S0 – žádné nebezpečí	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	

Formulář pro odhad rizika			
Číslo nebezpečí (viz. Tab. 19-1)	Nebezpečná událost		
1.1-13	Nebezpečí stlačení mezi řetězem a řetězovým kolem dopravníku		
Životní etapa stroje	Provoz / oprava	Provozní stav stroje	Práce v automatickém režimu / porucha
Nebezpečný prostor	Prostor pro obsluhu, chladicí komora	Ohrožené osoby	Obsluha stroje
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – s trvalými následky	Velikost rizika 11
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W3 – velká	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření	Komora je opatřena ručními výklopnými dveřmi.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S2 – s trvalými následky	Velikost rizika 10
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – velká	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Dveře komory jsou opatřené senzorem otevření, který dá povel zastavit dopravník po jejich otevření.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S0 – zanedbatelná	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – velká	

KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření	Opatření varovným štítkem „Nebezpečí stlačení“ v blízkosti dveří. Upozornění v návodu k použití: <i>„Při vyjímání paletky z chladicí komory dbejte na riziko stlačení končetin!“</i>		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S0 – zanedbatelná	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E1 – možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W2 – střední	

Formulář pro odhad rizika			
Číslo nebezpečí (viz. Tab. 19-1)	Nebezpečná událost		
	Nebezpečí usmrcení elektrickým proudem při dotyku živé části		
Životní etapa stroje	Od uvedení do provozu až po ukončení provozu	Provozní stav stroje	Provoz, údržba
Nebezpečný prostor	Elektrický rozváděč	Ohrožené osoby	Obsluha stroje, údržba
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika 18
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E3 – sotva možné	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W3 – velká	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření	Umístění rozváděče znemožňuje dotyk živé části při běžné práci.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S3 – smrt	Velikost rizika 17
	Četnost a doba trvání ohrožení	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W3 – velká	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Umístění rozváděče do zamykatelné skříně. Předepsání práce s elektrickou částí pouze při odpojeném stroji. Předepsání práce s elektrickou částí pouze kvalifikovanými osobami.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	

KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření	Upozornění v návodu k použití: „Práci s elektrickou částí provádět pouze po odpojení stroji ze sítě.“ „Práci s elektrickou částí můžou provádět pouze kvalifikované osoby.“		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví	S1 – lehké	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení	A1 – zřídka	
	Možnost vyvarování se nebezpečí	E2 – možné za určitých okolností	
	Pravděpodobnost výskytu nebezp. události	W1 – malá	