

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Úprava chapadla robota

Editing the Robot Gripper

Student:

Marek Svoboda

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Svoboda**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Úprava chapadla robota**
Editing the Robot Gripper
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Zařazení robotů v obráběcích linkách.
3. Vlastní návrh chapadla.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

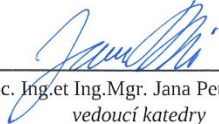
KOCMAN, Karel a PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
FOREJT, Milan a PÍŠKA Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
BRYCHTA, J.; CZÁN, A.; ČEP, R.; KRATOCHVÍL, J.; PETRŮ, J.; SADÍLEK, M.; STANČEKOVÁ, D.; ZLÁMAL, T. *Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů*.
VŠB - TU Ostrava, Žilinská Univerzita v Žilině, 173 s., 2014, ISBN 978-80-248-3522-8.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentální metody v tryskovom obrábění*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**


Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech automatizační linky od firmy N-ROTE MECHANICAL, s. r. o. , firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne: 2018-05-21




.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užit tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vlastní potřebě (§ 35 odst. 3 autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- užit toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 2018-05-21



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Svoboda

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Herrmannova 2, Olomouc, 77900

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SVOBODA, M. *Úprava chapadla robota: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 49 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací chapadla robota, které je součástí montážně-obráběcí linky, která kompletuje a kontroluje zhotovená vřetena. V úvodu této práce je zmíněna obecná charakteristika automatizace výroby, začlenění robotů do obráběcích linek, rozdělení a charakteristika průmyslových robotů a manipulátorů. Poté je zde popsán chod konkrétní montážně-obráběcí linky, ve které je autorem navrženo chapadlo robota, které přemísťuje vřetena mezi jednotlivými stroji do daných pozic. Vytvořené chapadlo robota je dokumentováno v příloze bakalářské práce. V závěru této práce jsou shrnuty výhody racionalizace celé linky a kalkulace návratnosti vynaložených finančních prostředků.

ANNOTATION OF BACHLEOR THESIS

SVOBODA, M. *Editing the Robot Gripper: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2018, 49 p. Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The bachelor thesis deals with the design and realization of the robot gripper, which is part of the assembly-machining line, which completes and checks the produced spindles. At the beginning of this work is mentioned general characteristics of automation of production, integration of robots into machining lines, distribution and characteristics of industrial robots and manipulators. Then it describes the operation of a particular assembly-machining line in which the author proposes a robot gripper that moves spindles between machines into given positions. The created robot gripper is documented in an attached bachelor thesis. At the end of this thesis are summarized the advantages of rationalization of the entire line and calculation of the return of the expended funds.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod a cíl bakalářské práce	8
1 Obecná charakteristika	9
1.1 Význam automatizace	9
1.2 Představení linky a problému	10
2 Začlenění robotů do obráběcích linek	11
2.1 Obráběcí linky	11
2.2 Roboty a manipulátory	13
2.3 Rozdělení robotů a manipulátorů	15
2.4 Parametry průmyslových robotů	17
2.4.1 Tuhost konstrukcí PRaM	17
2.4.2 Pracovní prostor PRaM	18
2.4.3 Kinematické charakteristiky PRaM	18
2.4.4 Výkonové charakteristiky PRaM	18
2.4.5 Provozní charakteristiky PRaM	18
2.4.6 Spolehlivost PRaM	18
2.5 Pohony PRaM	19
2.5.1 Elektrické pohony	19
2.5.2 Tekutinové pohony	20
2.6 Pracovní hlavice	21
2.6.1 Úchopné hlavice	21
3 Vlastní návrh chapadla	23
3.1 Montážně-obráběcí linka OT	23
3.1.1 Pracovní cyklus linky OT	28
3.2 Manipulační robot UR5	28
3.3 Chapadlo robota	30
4 Diskuse experimentů	35
5 Technicko-ekonomické zhodnocení	36
Seznam použité literatury	40
6 Seznam příloh	42
Vyjádření firmy Novibra s. r. o. k montážně-obráběcí lince	49

Seznam použitých značek a symbolů

CAD – Computer Aided Design = počítačem podporovaný návrh

CAE – Computer Aided Engineering = počítačem podporované inženýrství

CAM – Computer Aided Manufacturing = počítačem podporovaná výroba

CIM – Computer Integrated Manufacturing = výroba integrovaná počítačem

PLC – Programmable Logic Controlle neboli "Programovatelný logický automat"

PLM – Product Lifecycle Management = řízení životního cyklu výrobku

PRaM – Průmyslové roboty a manipulátory

RTK – robotizovaný technologický komplex

RTP – robotizované technologické pracoviště

SRI – Stanfordský výzkumný institut (Stanford Research Institute)

Úvod a cíl bakalářské práce

Bakalářská práce je zaměřena na velice zajímavé a v poslední době velmi diskutované téma, a to je automatizace výroby při obrábění. V dnešní moderní době se spíše hovoří o pojmu Průmysl 4.0. Automatizace výroby, v mém případě robotizace výroby v obrábění, spadá pod Průmysl 4.0, ale nejvíce se hovoří o digitalizaci.

Nahrazování zejména fyzicky namáhavé a opakující se práce člověka za automatické systémy je základním rysem moderního technického pokroku. Hlavním cílem realizace RTP a RTK je zvyšování produktivity práce při současném snižování výrobních nákladů, redukce personálu, zvyšování kvality a spolehlivosti výrobků, rychlejší inovace a v neposlední řadě zvyšování kultury lidské práce.

V teoretické části bakalářské práce je shrnuta obecná problematika automatizace, začlenění robotů do obráběcích linek, rozdělení a charakteristika průmyslových robotů a manipulátorů včetně uchopovacích hlavic.

V praktické části bakalářské práce je popsána realizace montážně-obráběcí linky, která přinesla zákazníkovi mnoho finančních úspor, zefektivnění a zkvalitnění výroby, což byl i cíl celé linky. Konkrétně bylo autorem navrženo a realizováno chapadlo robota.

Toto téma bakalářské práce je velmi aktuální, protože automatizace a digitalizace je budoucnost nejen pro naši generaci, ale hlavně pro generace budoucí a je jen na nás na lidech, jak k této problematice přistoupíme.

„Pro Česko s jeho vysokou závislostí na zpracovatelském průmyslu asi není nic důležitějšího než si nenechat ujet vlak v tom co Němci nazvali Průmysl 4.0. Potřebujeme rozvíjet tuto komparativní výhodu, jak se dá.... Ve skutečnosti nám peníze na rozvoj nechybějí. Musíme je ale dávat do oblastí, které nás živí, kde už něco umíme, a budeme je dávat za prokazatelný výsledek.“ (Miroslav Zámečník, Euro 47, 2015)

1 Obecná charakteristika

Automatizace, která je z pohledu industrializace nástupcem mechanizace, znamená, že lidskou řídicí činnost nahrazujeme technickými zařízeními, tedy stroji a automaty. Zatímco mechanizace poskytuje lidem k práci zařízení, které jim usnadňuje práci, automatizace snižuje potřebu přítomnosti člověka při vykonávání určité činnosti¹.

Automatizace patří k rychle rozvíjejícímu se oboru, který nachází uplatnění v mnoha odvětví průmyslu – např. v automobilovém, potravinářském, chemickém, farmaceutickém, těžkém a dalších.

Automatizaci technologických procesů je nutno vnímat komplexně. Nelze ji zúžit jen na vlastní stroj. Zahrnujeme zde i automatizovanou dopravu, manipulace s materiálem, kontrola a měření, výměna nástrojů apod. Automatizaci technologického procesu lze řešit za pomoci univerzálních či jednoúčelových zařízení nebo jejich prvků, případně jejich vhodnou kombinací. Při řešení každé konkrétní automatizace je třeba zabývat se optimalizací řešení, a to po stránce nejen technické, ale i ekonomické. Samozřejmě je třeba každé navržené řešení posoudit i z jiných hledisek jako např. rychlost dodávky určitého systému, přesnost výroby, prostorové možnosti, energetická náročnost apod.

Obráběcí stroje by měly vyrábět stále produktivněji, přesněji a rychleji. Protože se snižují počty kusů ve výrobě a tím se zvyšují nároky na úpravy strojů a také náklady na vyrobený jednotlivý kus, podniky často hledaly země, kde nejsou tak vysoké mzdové náklady. Zákazníci ovšem dnes velmi často požadují v široké míře individualizované výrobky s co nejkratším dodacím termínem. Řešením je automatizace založená na průmyslových robotech, která může výrazně a dlouhodobě zvýšit produktivitu obráběcích strojů a zkrátit dodací lhůty. Co se týká stupně automatizace, tak odvětví obráběcích strojů v porovnání s ostatními obory, má co dohánět, protože je zde výrazně rozšířená manuální činnost.

1.1 Význam automatizace

Automatizaci lze rozdělit na vynucenou a ekonomickou.

Vynucená automatizace:

- odstranění fyzické námahy a zdravotně škodlivých vlivů,
- zabránění ohrožení člověka nebo zhoršení jeho pracovních podmínek,
- práce v extrémních podmínkách, práce ve zdravotně závadných podmínkách,
- nahrazení člověka z důvodu vyloučení jeho chyb,
- náhrada člověka z hlediska rychlosti, přesnosti a množství jeho reakcí,

- sledování a řízení velkého počtu operací – elektrárny, chemičky,
- lepší jakost výroby,
- není možná přítomnost člověka.

Ekonomická automatizace:

- snížení výrobních nákladů (mzdy, materiál),
- snížení režijních nákladů,
- zvýšení produktivity práce a objemu výroby,
- zkrácení průběžné doby výroby a vývoje,
- pružná reakce na přání zákazníka,
- nadstandardní jakost.

Jiné důvody automatizace:

- zvyšování pohodlí člověka,
- poskytování informací (sledování zařízení, technologie),
- ekologie,
- zábavní průmysl, hračky².

1.2 Představení firmy a problému

Autor spolupracuje s firmou N-ROTE MECHANICAL, s. r. o. v Prostějově, která vznikla v roce 2011 jako sesterská společnost firmy Cutter Systems spol. s r. o. Společnost N-ROTE je menší firmou s 15 kmenovými zaměstnanci, zahrnující všechny profese nezbytné pro zakázkovou výrobu strojů, přístrojů, řídicích systémů, jemné mechaniky a robotiky. Tato firma je zatím sice mladá, má ovšem předpoklady dosáhnout velkých cílů, které si stanovila.

V nedávné době se na firmu N-ROTE obrátila firma Novibra s. r. o., která měla požadavek na automatizaci montážně-obráběcí linky. Tato montážně-obráběcí linka má za úkol kompletaci, frézování a následnou kontrolu vřeten. Celá nová linka se skládá z několika manipulátorů, dvou robotů UR5, dopravníků, lisů, tříbodové frézky, měřicí stanice, řídicí jednotky a dalších součástí. Na této zakázce spolupracovala celá firma, tak i firma Cutter, která dodala hardware a software. Autorem v této lince bylo navrženo chapadlo robota UR5, které uchopuje vřetena a přemísťuje je z jedné pozice na pozici druhou (kompletní linka je popsána v kapitole 3.1). Cílem celé realizace linky byla redukce zaměstnanců, kteří přemísťovali vřetena mezi jednotlivými operacemi ručně, zkvalitnění a zpřesnění výroby, vyšší počet zhotovených vřeten za směnu, úspora financí atd.

2 Začlenění robotů do obráběcích linek

2.1 Obráběcí linky

Tvoří je soustava obráběcích strojů, které jsou propojeny navzájem zařízením pro dopravu obrobků mezi jednotlivými stroji. Linky jsou doplněny zařízeními pro automatické upínání a uvolňování obrobků, pro odvod třísek, chlazení, mazání, signalizaci poruchy apod. Automatizované obráběcí linky dle funkčních prvků můžeme rozdělit na:

- Obráběcí stroje různého typu a konstrukce – jsou to stroje speciálně konstruované pro danou linku. Nejčastěji je tvoří jednoúčelové a stavebnicové stroje – tzv. pracovní stanice, dále poloautomaty a automaty, automatizované obráběcí stroje a obráběcí centra.
- Dopravní systémy – slouží k přemísťování hmot. Nejvýznamnější jsou zařízení pro dopravu materiálu, polotovarů, hotových výrobků a nástrojů. Tvoří je různé zásobníky, nakládací zařízení, otočné ústrojí, stanice apod.
- Řídicí systém – využívá se pro kontrolu, synchronizaci, regulaci, blokování, seřizování, řízení a signalizaci. Dále musí zabezpečit vyjmutí obrobku ze stroje, předat obrobek na dopravník, přemísťovat všechny součásti do tzv. dopravního proudu a založit součást do stroje.

Obráběcí linky mohou být:

- linky s tuhou mezistrojovou vazbou – jsou většinou určené pro obrábění skříňových součástí, tuhá vazba mezi stroji je řešena krokovým dopravníkem,
- víceproudé linky,
- linky rozdělené na úseky,
- linky s pružnou mezistrojovou vazbou – obrobek obrobený jedním strojem se podává do zásobníku jiného stroje, případná porucha jednoho stroje neovlivňuje činnost dalších strojů.

Pro provoz automatizované linky je potřebná spolehlivost a bezporuchovost strojů, tolerance předepsané na výkrese, rozměry, jakost povrchu, kontrola rozměrů dílů, opotřebení nástrojů apod.

Podle způsobu upínání a dopravy obrobků mezi pracovními stanicemi rozlišujeme:

- Průběžné automatizované obráběcí linky – bez upínacích palet, kde je obrobek dopravován bez upnutí v určené poloze. Zda je vhodný tento typ linky záleží na obrobku a jeho tvaru. Výhodou u těchto linek je, že nepotřebují zpětný dopravník k dopravě palet z vykládací do zakládací stanice. Bývají i ekonomicky výhodnější než linky s paletou. V praxi se používají na obrábění bloků automobilových motorů

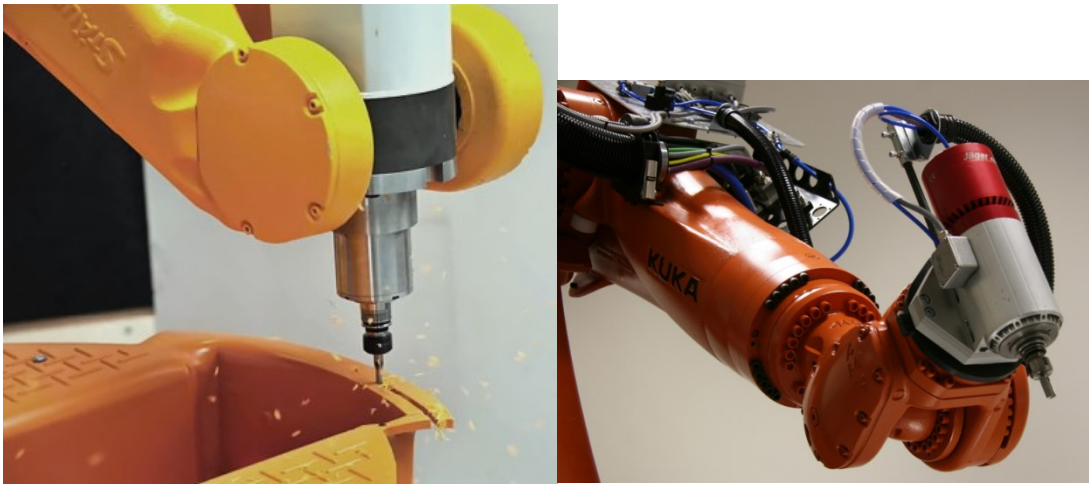
a na obrábění těžkých součástí, kde by použitím palety došlo k nadměrnému zvýšení hmotnosti přesouvaných hmot.

- Vratné automatizované obráběcí linky – s nosnými upínacími paletami, mají obrobek upnut v upínači v přesné poloze na tuhé desce – paletě. Palety mají prvky pro upnutí ve stroji. Obrobek prochází linkou upnut na paletě. Používají se k obrábění menších obrobků, které nemůžeme dopravovat bez upínacího přípravku. Nevýhodou je, že linka musí mít zpětný dopravník pro dopravu palet z vykládací do zakládací stanice¹¹.

Roboty v obráběcích linkách pracují velmi přesně a dlouhodobě spolehlivě, nevznikají ani u složitých nebo těžkých obrobků skoro žádné opravy či vadné díly. Roboty mohou pracovat i nepřetržitě a jejich výkon je i po celém dnu práce stejný jako v prvních minutách. Tím také aktivně přispívají k minimalizaci nákladů na prostoje, kratším dodacím lhůtám a k příznivějším cenám výrobků. V souhrnu se dá říci, že robot zvyšuje produktivitu i celkovou hodnotu obráběcího stroje.

Roboty a obráběcí stroje si společně pomáhají a i rozvíjí. Roboty v dnešních moderních obráběcích linkách rychle a precizně zakládají do obráběcích strojů neopracované obrobky a po jejich opracování je odebírají. Rovněž zkracují pracovní cykly a flexibilně reagují na modifikace výrobků a na změny ve výrobě obrobků. Dále roboty efektivně využívají dobu, kdy obráběcí stroj pracuje a provádí jinou činnost, jako je například vrtání, odstraňování otřepů a další. Roboty mohou také převzít některé činnosti obráběcího stroje, jako je hrubování a obráběcí stroj pak provede už jen finální opracování. Roboty lze také použít pro spolehlivou kontrolu kvality. Tudiž roboty významnou měrou optimalizují obráběcí linky a s největší pravděpodobností bude robotů v těchto linkách přibývat a dále se propojovat a rozvíjet¹³.

Východiskem pro řešení těchto poměrně složitých situací je použití integrované výroby počítačem (CIM) a řízení životního cyklu výrobku (PLM). CIM systém zahrnuje řízení celého výrobního podniku. Využívá ve všech fázích výroby počítačovou podporu. Spolupracuje se všemi moduly CAD, CAM, CAE a další a koordinuje tok informací od myšlenky po vlastní realizaci. Jedná se o nasazení informační technologie do všech činností výrobní a inženýrské praxe, od návrhu a tvorby výrobku, až po jeho expedici¹².



Obrázek 2.1 – Robotické obrábění

Zdroj: <http://www.plasticportal.cz/cs/obrabeni-plastu-a-kompozitnich-materialu-robotem-staubli/c/2114/>

2.2 Roboty a manipulátory

.....

DOMIN: Počkejte. Které jsou [...] Výroba má být co nejjednodušší a výrobek prakticky nejlepší. Co myslíte, jaký dělník je prakticky nejlepší?

HELENA: Nejlepší? Snad ten, který – který – Když je poctivý – a oddaný.

DOMIN: Ne, ale ten nejlacinější. Ten, který má nejmíň potřeb. Mladý Rossum vynalezl dělníka s nejmenším počtem potřeb. Musel ho zjednodušit. Vyhodil všechno, co neslouží přímo práci. Tím vlastně vyhodil člověka a udělal robota. Drahá slečno Gloryová, Roboti nejsou lidé. Jsou mechanicky dokonalejší než my, mají úžasnou rozumovou inteligenci, ale nemají duši. Ó slečno Gloryová, výrobek inženýra je technicky vytríbenější než výrobek přírody.

HELENA: Říká se, že člověk je výrobek zboží.

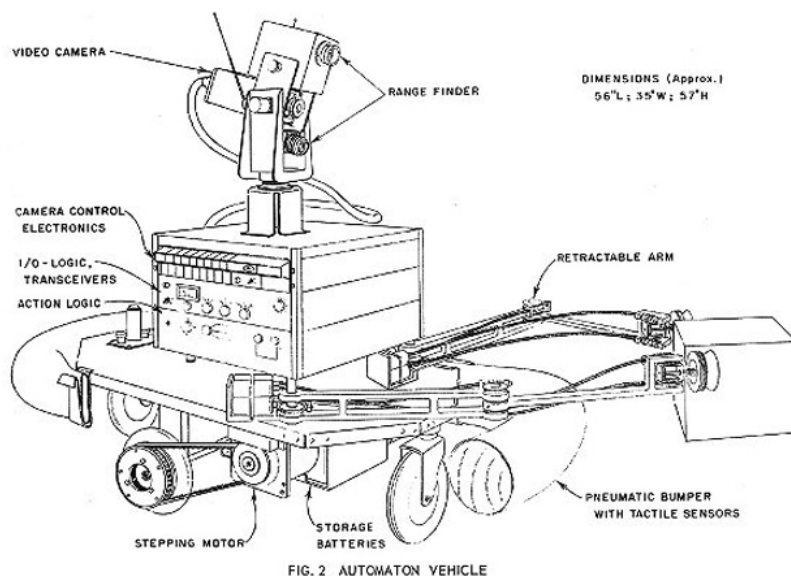
DOMIN: Tím hůř. Bůh neměl ani ponětí o moderní technice. Věřila byste, že si nebožtík mladý Rossum zahrál na boha?

.....

(Karel Čapek, R.U.R., 1920)

Při vyslovení slova robot asi každého Čecha zahřeje u srdce. Slovo robot totiž bylo vymyšleno v Čechách spisovatelem Karlem Čapkem. Velký rozmach robotů se pozoruje

v 60. letech převážně v USA. V roce 1968 vytvořil SRI robota Shakeyho (viz obr. 2.2), který byl schopen alespoň do určité míry orientace v prostoru. Roboty se dále zdokonalovaly a v 70. letech se masově vyráběly. Nejdříve se začaly používat v automobilovém průmyslu, kde nahrazovaly ne moc bezpečnou práci při svařování a lakování. V 80. letech Japonsko přebírá první místo v uplatnění robotů³.



Obrázek 2.2 – Robot Shakey

Zdroj: <https://www.wired.com/2013/09/tech-time-warp-shakey-robot/>

Roboty nacházejí uplatnění především u hromadné výroby a představují velký prostředek pro zvýšení produktivity a kvality výroby. V současné době jsou automatizované linky vybaveny především roboty, které jsou navrženy na jednotlivé úkony v rámci výrobního procesu. Nejsou většinou univerzální, nemají žádnou či velmi omezenou inteligenci. Díky pokrokům v tomto odvětví se začínají objevovat univerzálnější roboty. Velké firmy, především automobilky se na robotizaci zaměřují a investují nemalé finanční prostředky do robotů kvůli zrychlení a zkvalitnění výroby.

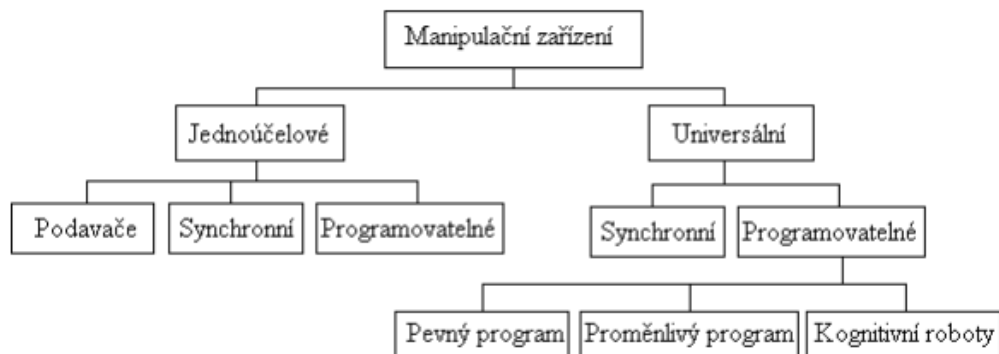
Pro většinu firem je těžké odhadnout návratnost investice. Zejména pro ty menší firmy se obtížně odhaduje, jestli investovat do robotizace nebo zaměstnávat dělníky, což bývá velmi často hlavní faktor při rozhodování⁴.

Robotika se zabývá studiem a konstrukcí robotů a podobných zařízení. Čerpá z umělé inteligence, ale i mechaniky, elektrotechniky, teorie řízení, měřicí techniky a dalších.

Robot je automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, určený k použití v průmyslové automatizaci⁶.

2.3 Rozdělení robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty a manipulátory (dále též v označení PRaM) můžeme rozdělit podle aplikačních možností, funkce, provedení, míry autonomnosti, úrovně řízení atd. dle následující tabulky:



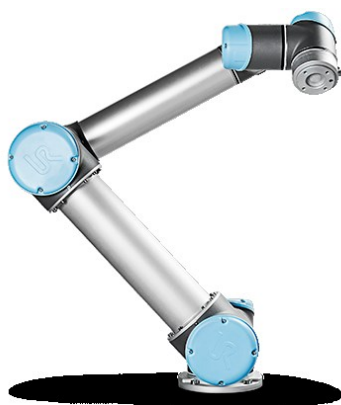
Jednouúčelové se vyznačují:

- omezenými pohybovými možnostmi (přizpůsobenými dané aplikaci),
- úrovní řízení vyhovující dané aplikaci,
- konstrukčním provedením a pohony korespondujícími s obsluhovanými zařízeními a používanou technologií.

Univerzální:

- sestava pohybových závislých jednotek, konstrukčně provázané tak, že nejsou odděleně funkční, tyto roboty jsou konstrukčně složité a tudíž poměrně drahé (viz obr. 2.3).

Volba mezi jednouúčelovými a univerzálními PRaM vychází z celkového hodnocení technologie, pracoviště atd., a musí respektovat jak technická tak i ekonomická hlediska.



Obrázek 2.3 – Univerzální robot UR5

Zdroj: <https://www.universal-robots.com/cs/výrobky/robot-ur5>

Podavače:

- jsou nejjednoduššími jednoúčelovými manipulátory,
- tvoří s ovládaným strojem jeden celek, jsou jím řízeny, mají od něj odvozen pohon.

Synchronní:

- řízení provádí pracovník,
- představují zesilovací ústrojí pro zesílení silové a pohybové veličiny na základě popudů vyvolaných pracovníkem,
- tato zařízení přenáší na dálku příkazy člověka,
- můžeme rovněž díky těmto zařízením manipulovat s nebezpečnými látkami.

Programovatelné:

- jsou řízeny programovým ústrojím.

S pevným programem:

- program se nemění během činnosti.

S proměnlivými programy:

- mají možnost přepínání nebo volby programu.

Kognitivní roboty:

Tomuto robotu je obvykle zadán pouze cíl a plán cesty k dosažení cíle si robot musí vytvořit sám:

- vnímají a rozpoznávají prostředí,
- vytváří a průběžně rozpoznávají vnitřní model prostředí,
- v souladu se zadanými cíli rozhodují o vlastní činnosti,
- ovlivňují prostředí – pohybují se v něm a manipulují s předměty,
- komunikují s člověkem⁵.

Modulární roboty:

- takové konstrukční řešení, kde každá polohovací jednotka je samostatně zcela funkční a pomocí sad lze složit strukturu pro danou úlohu, zde jsou pořizovací náklady levnější (viz obr. 2.4)⁶.



Obrázek 2.4 – Modulární robot

Zdroj: <http://robot.vsb.cz/zaverecne-prace/625/>

Roboty a manipulátory můžeme dále členit dle různých kritérií.

1. Dle stupňů volnosti:

- univerzální robot – se 6 stupni volnosti, objekt je určen v kartézském souřadném systému orientací a polohou,
- redundantní robot – více než 6 stupňů volnosti, využívají více volnosti k obcházení překážek a k pohybu ve stísněném prostoru,
- deficitní robot – s méně než 6 stupni volnosti.

2. Dle kinematické struktury:

- sériové roboty – s otevřeným kinematickým řetězcem manipulátoru,
- paralelní roboty – s uzavřeným kinematickým řetězcem manipulátoru,
- hybridní roboty – kombinují oba předešlé typy.

3. Dle druhu pohonu:

- s elektrickými pohony,
- s tekutinovými pohony,
- s kombinovanými pohony.

4. Dle geometrie pracovního prostoru:

- kartézské,
- cylindrické,
- sférické,
- angulární,
- scara⁶.

2.4 Parametry průmyslových robotů

2.4.1 Tuhost konstrukcí PRaM

Tuhost je vlastnost mechanických částí a konstrukcí. Malá tuhost u průmyslového robota zapříčiňuje zejména nižší přesnost v polohování. Také zvyšuje tření a opotřebení v pohybových spojeních. Následek nižší tuhosti je zvyšování potřebného příkonu. Na konstrukci působí tíhové síly dané hmotnosti zátěže a také vlastní konstrukce, dynamické síly při rozběhu brzdění pohybových součástí a vnější síly vyvolané technologickými operacemi.

Tuhost konstrukce robota závisí na:

- druhu použitého materiálu,
- konfiguraci robota,

- tuhosti spojů a kloubů,
- geometrických charakteristikách deformovaného tělesa,
- druhu ztížení a typu podpěr, atd⁵.

2.4.2 Pracovní prostor PRaM

Prostor určený tvarem a objemem [m³], který opíše referenční bod pracovní hlavice využitím všech možností pohybového systému⁶.

2.4.3 Kinematické charakteristiky PRaM

Soubor parametrů, určujících kinematické vlastnosti jednotlivých pohybových jednotek:

- počet stupňů volnosti,
- souřadnicový systém,
- rychlost a zrychlení⁶.

2.4.4 Výkonové charakteristiky PRaM

Soubor parametrů, které určují výkon a energetickou náročnost robotů:

- jmenovitá nosnost,
- účinnost,
- nosnost při 50% rychlosti,
- nosnost při 30% rychlosti⁶.

2.4.5 Provozní charakteristiky PRaM

Soubor parametrů, které určují vlastnosti robotů s ohledem na parametry pracovního prostředí a charakter aplikace:

- hmotnost konstrukce,
- montážní poloha,
- celkový výkon – součet výkonů všech motorů konstrukce,
- příkon,
- spotřeba energie – celková spotřebovaná energie za jednu hodinu pracovního cyklu⁶.

2.4.6 Spolehlivost PRaM

Parametry, které vyjadřují spolehlivost robotů:

- fyzická životnost – čas [hod.], po který jsou roboty schopny dodržovat předepsané parametry provozu nad stanovenou mezní hodnotu,
- morální životnost – čas [hod.], po jehož uplynutí roboty zaostávají ve všech sledovaných parametrech za nově vyráběnými srovnatelnými typy,

- střední doba bezporuchové činnosti – čas [hod.], určený aritmetickým průměrem z jednotlivých časových úseků [hod.] bezporuchové činnosti během celkové doby efektivního provozu⁶.

2.5 Pohony PRaM

Funkcí pohonu u průmyslových robotů je přeměna vstupní energie na mechanický pohyb. Pohon potřebuje každá řízená osa a měl by vyhovovat těmto požadavkům:

- plynulý rozběh a brzdění – zabezpečuje držení přenášeného předmětu, zabraňuje kmitání pracovní hlavičky, zvyšuje životnost zařízení,
- vysoká přesnost polohování,
- dostatečná polohová tuhost – schopnost pohonu udržet potřebnou polohu,
- minimální hmotnost a rozměry – vyšší hmotnost ovlivňuje negativně celkovou hmotnost pohybové jednotky a také energetickou náročnost pohonu,
- vhodné pracovní uspořádání – ovlivňuje celkové uspořádání konstrukce robota⁵.

2.5.1 Elektrické pohony

V současné době je to nejpoužívanější druh pohonu, který má mnoho výhod (dostupný a jednoduchý přívod zdroje k motoru, snadné spojení s řídicími prvky, levná údržba, nízká hlučnost, zaujímají menší prostor, nižší pořizovací cena i provozní náklady).

Elektrické motory se vyrábí na stejnosměrný i střídavý proud. Součástí každého elektrického pohonu jsou jistící a ovládací prvky a prvky pro automatické řízení výstupních parametrů pohybových jednotek.

- krokové motory

Pracují s využitím nespojitě změny složek elektromagnetického pole. Buzením vinutí motoru dosahujeme diskrétní změny. Díky proudovým impulsům do prostorově rozložených cívek se vytváří nespojitě se otáčející pole, které unáší působením synchronizačního momentu rotor. Poloha hřídele motoru je úměrná počtu přivedených impulsů, rychlost otáčení je závislá na frekvenci impulsu. Výhodou těchto motorů je jednoduché řízení rychlosti pohybu. Naopak nevýhodou je malý krouticí moment, proto se dají použít k pohonu pohybových jednotek nižších výkonů.



Obrázek 2.5 – Krokový 2-fázový motor
Zdroj: http://www.cncshop.cz/krokove-motory_c

- otočné elektromagnety

Používají se pro natáčení o určité stupně, k realizaci přímočarých vratných pohybů, popřípadě ve spojení s rohatkovým mechanismem i kratších přímočarých pohybů. Výhodou těchto motorů je možnost ovládní kroučícího momentu změnou proudu. Otočné elektromagnety se uplatňují pro pohon ústrojí přidavných pohybů pracovních hlavic a k ovládní úchopných čelistí.

- lineární pohony

Principem je přímá transformace elektrické energie na mechanickou energii translačních pohybů postupných nebo kmitavých. Lineární krokový motor nahrazuje rotační krokový motor s převodem rotačního pohybu na translační. Při stejných požadavcích na parametry výstupu bude u lineární verze jemnější krokování a nižší pracovní frekvence. Výhodou je jednodušší přenosový systém, protože odpadají převody. Naopak nevýhodou je menší polohová tuhost. Používají se zejména pro pohon hlavních pohybových jednotek robotů.

- přímočaré elektromagnety

Nejčastěji se používají v konstrukcích ovládacích mechanismů úchopných hlavic, v pohonech pohybových jednotek, jako ovládací prvky rozvaděčů, brzd a spojek⁵.

2.5.2 Tekutinové pohony

Tekutinovým pohonem rozumíme hydraulický a pneumatický pohon.

- hydraulický pohon

Pracovní médium u hydraulického pohonu je minerální olej. Používají se především při zařízeních s vyšším výkonem. Výhody oproti pneumatickým pohonům jsou velká tuhost, velká účinnost a plynulý chod. Nevýhody jsou nižší pohybové rychlosti, závislost viskozity kapaliny na teplotě a hořlavost některých kapalin.

- pneumatický pohon (viz obr. 2.6)

Pracovním médiem je stlačený plyn. Používají se v konstrukcích s menší nosností. Výhody oproti hydraulickým pohonům jsou dosažení vyšších přímočarých pohybů, činnost ve velkém tepelném rozsahu a v prostorech s nebezpečím vzniku požáru. Nevýhody jsou problematické udržování rovnoměrného pohybu, komplikovanější mazání pohybových částí a dražší provoz⁵.



Obrázek 2.6 – Pneumatický pohon Festo
Zdroj: https://www.festo.com/cms/cs_cz/19647.htm

2.6 Pracovní hlavice

Pracovní hlavice je funkční část, která je umístěna na výstupu pohybového systému robotu. Jejich úkolem je vlastní realizace úkolů, pro které je robot předurčen. Hlavice může provádět různé úkony např.: manipulace různými předměty se zadanými parametry polohy, orientace, vzdálenosti, rychlosti, zrychlení, nebo mohou přímo zprostředkovávat manipulaci technologickými nástroji nebo přípravky, které zajišťují svařování, obrábění, stříkání a jiné⁵.

2.6.1 Úchopné hlavice

Úchopné hlavice jsou nejčastější typy hlavic. Jakmile úchopná hlavice zachytí objekt, dochází k rovnováze vnějších sil, které působí na objekt. Tyto síly, které objekt drží, nazýváme úchopné síly.

Objekt uchopujeme dvěma způsoby:

- s oboustranným mechanickým stykem – úchopné síly působí proti sobě v protilehlých částech povrchu tělesa, je to vlastně mechanické uchopení, které využívá lidská ruka,
- s jednostranným mechanickým stykem – zde se využívá působení gravitačních, magnetických a podtlakových sil.

Úchopná hlavice realizuje funkci, která se projevuje dvěma stavy: "uchopení - uvolnění", které zajišťuje vlastní hlavice. Tato funkce je řízena systémem robotu. Hlavními

částmi úchopné hlavice robota jsou tzv. úchopné prvky, které jsou umístěny na nosné části hlavice a přicházejí do styku s povrchem objektu.

Úchopné prvky, které jsou ovládány řídicím systémem, se nazývají aktivní úchopné prvky. Naopak pasivní úchopné prvky umožňují uchopení objektů, ale úchopnou sílu nelze přímo ovládat řídicím systémem. Dle možnosti ovládání úchopné síly rozdělujeme úchopné prvky na:

- mechanické,
 - aktivní (pohyblivé čelisti s pohonem, viz obr. 2.7),
 - pasivní (odpružené čelisti, pevné opěry),
- podtlakové,
 - aktivní (řízené podtlakové komory),
 - pasivní (deformační přísavky),
- magnetické,
 - aktivní (elektromagnety),
 - pasivní (permanentní magnety).



Obrázek 2.7 – Třibodové mechanické chapadlo Festo
Zdroj: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DHD

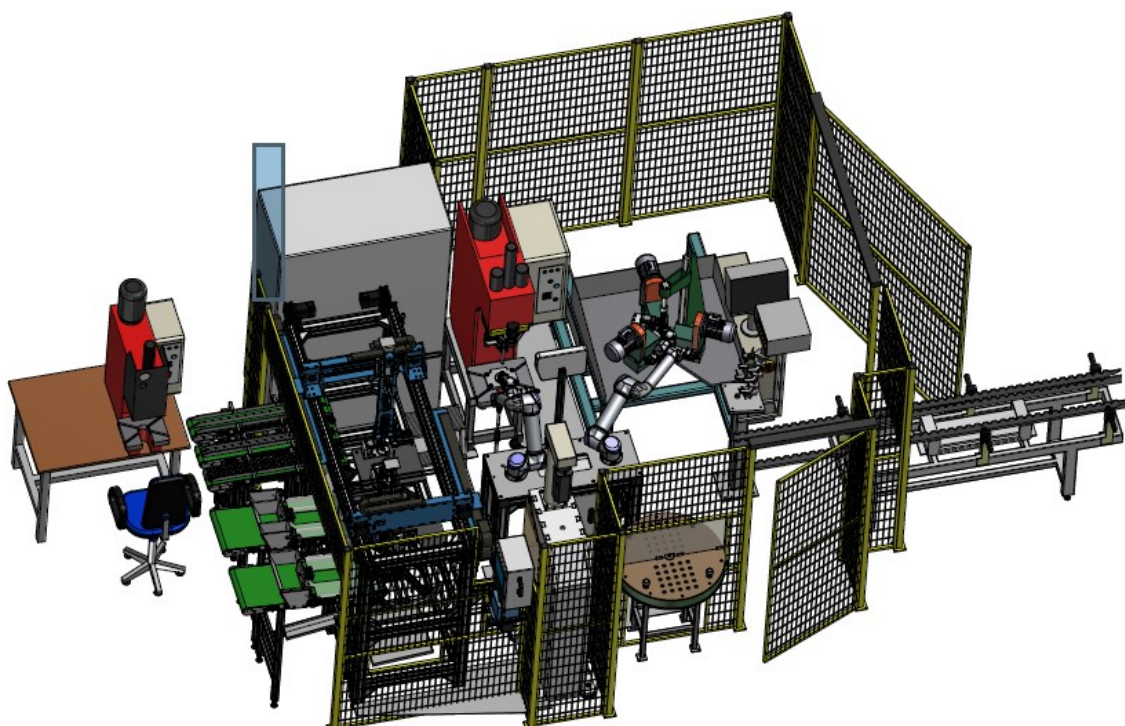
Úchopné hlavice mohou být složeny z různých vhodných kombinací aktivních i pasivních prvků. Vždy záleží na konkrétních požadavcích úchopné hlavice. Pasivní úchopné mechanické hlavice jsou jednodušší a používají se při manipulaci s objekty jednoduššího tvaru, jako jsou kroužky, hřídele apod. Nejčastěji jsou tvořeny dvěma odpruženými úchopnými prvky, nebo jedním odpruženým a jedním pevným prvkem. Odpružené čelisti pasivních hlavic se řeší pomocí vetknuté pružiny, kde pohyblivost čelistí je dána rozsahem pružné deformace lamely, anebo pomocí oddělené pružiny. Aktivní úchopné mechanické hlavice se skládají alespoň z jednoho pohyblivého prvku s vlastním pohonem. Tyto hlavice uchopují objekt jako lidská ruka a proto jsou nazývány jako mechanická chapadla. Jelikož máme velké množství typů a tvarů objektů, je i velký počet

úchopných hlavíc. Často se roboty prodávají jako univerzální a mechanické chapadlo je třeba vyrobit na konkrétní tvar uchopovaného objektu. Obecně se aktivní mechanická hlavice skládá z pohonu, transformačního bloku, který zajišťuje mechanický převod a aktivních úchopných prvků⁵.

3 Vlastní návrh chapadla

3.1 Montážně-obráběcí linka OT

Autor spolupracuje s firmou N-ROTE MECHANICAL, s. r. o., která se zabývá racionalizací výroby. Nyní pracovala na lince sloužící ke kompletaci vřeten. Montážně-obráběcí linka OT, viz obr. 3.1, se skládá z kompletačního stolu se čtyřmi pozicemi, pěti dopravníků jednotlivých dílů, dvou manipulačních robotů UR5, přesného lisu Promess, hydraulického lisu CUPS, tříosé frézky a měřicí stanice Intronix. Dále na linku navazuje výstupní dopravník OK vřeten a odkládací stůl NOK pro neshodná vřetena.



*Obrázek 3.1 – Montážní linka OT
Zdroj: vlastní zdroj*

- Dopravníky AL a SCH

Dopravník AL je určený pro zakládání hliníků a dopravník SCH pro šafty. Oba dopravníky mají na konci otočné chapadlo, které po detekci dílu v pozici úchopu díl sevře a otočí, aby jej manipulátor mohl odebrat ve správné poloze.

- Dopravníky 1 až 3

Na dopravníky 1 až 3 se pokládají díly nasazované na slisovaný komplet AL-SCH, viz obr. 3.2 a to v tom pořadí jak jsou nasazovány. Pokud se daný díl u výrobku nenasazuje, dopravník se nevyužívá a v parametrech příslušný dopravník není navolen. Každý dopravník má zásobník, do kterého je možné díly nasazovat. Před koncem každého zásobníku je optické čidlo (průjezdová závora), která detekuje přítomnost dílu. Od hrany začátku dílu při průjezdu se počítá vzdálenost k zastavení na místo, odkud potom díl odebírá manipulátor 1.



Obrázek 3.2 – Dopravník linky OT s virtly
Zdroj: vlastní zdroj

- Manipulátor 2

Manipulátor slouží k sestavení dílu AL a dílu SCH. Obsluhuje pozice 3 a 4 pracovního stolu. Jedná se o tříosý manipulátor se sdílenou osou Y-Z. Manipulátor obsahuje tenzometr pro snímání lisovací síly a provádí předlisování dílu SCH do dílu AL silou nastavenou v parametrech.

- Manipulátor 1

Manipulátor slouží k nasazení dílů z dopravníků 1 až 3 na slisovaný komplet AL-SCH v pozicích 1 a 2 pracovního stolu. Jedná se o tříosý manipulátor se sdílenou osou Y-Z.

Manipulátor obsahuje tenzometr pro snímání lisovací síly a provádí předlisování dílů 1 až 3 silou nastavitelnou v parametrech pro každý díl zvlášť.

- Pracovní stůl, pozice 3 a 4

Pracovní pozice 3 a 4 jsou určeny ke kompletaci dílu AL a dílu SCH.

- Pracovní stůl, pozice 1 a 2

Pracovní pozice 1 a 2 jsou určeny k přidržení kompletu pro nasazení dílu 1 až 3 (virtlu).

- Lis Promess

Lis Promess slouží k přesnému lisování kompletu AL-SCH, viz obr. 3.3, na celkovou délku vřetene. Lis obsahuje optické odměřování (optickou závoru) pro přesné odměření výšky vřetene po lisování. Je řízen ze svého řídicího počítače (PC), ve kterém je uložen lisovací program. Parametry programu (lisovací výška včetně korekce) je posílána z řídicího systému linky. Po slisování odjíždí lis pomalu, aby bylo možné přesně odměřit výšku vřetene pomocí optické závory řídicím systémem linky.

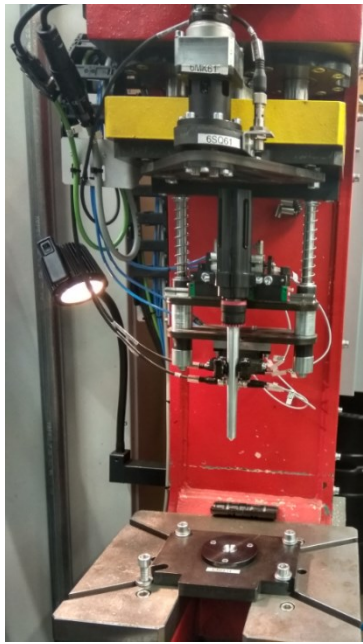


Obrázek 3.3 – Lis Promess při lisování kompletu AL-SCH

Zdroj: vlastní zdroj

- Hydraulický lis

Hydraulický lis CUPS slouží ke konečnému slisování celého vřetene, viz obr 3.4. Tento lis pracuje autonomně. Jeho cyklus je spouštěn řídicím systémem linky. Řídicí systém linky obsluhuje také úchopy přidržování AL, přidržování kompletu a výběr a nastavení korekce lisování.



Obrázek 3.4 – Lis CUPS při konečném lisování vřetene
Zdroj: vlastní zdroj

- Manipulační robot 1 UR5

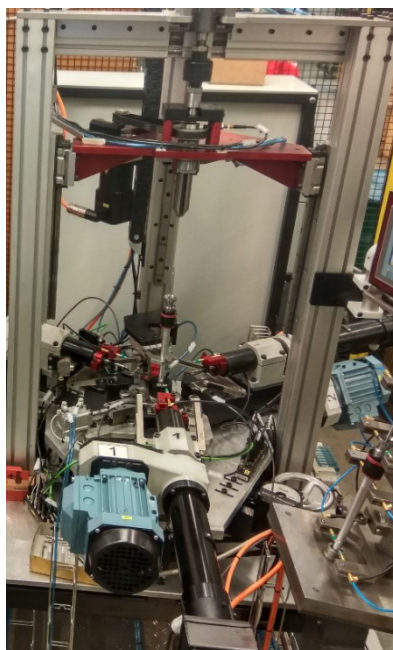
Robot číslo 1 (blíže pracovnímu stolu s manipulátory) je určen k přenosu kompletu AL-SCH z pracovní pozice stolu 3 a 4 do pozice lisu Promess, dále slisovaného kompletu z lisu Promess na pozici pracovního stolu 1 a 2 a po složení manipulátorem z pozic 1 a 2 do hydraulického lisu CUPS. Program robota pracuje autonomně a je synchronizován v automatickém cyklu pouze signály a datovou komunikací s řídicím systémem linky.

- Manipulační robot 2 UR5

Robot číslo 2 (dále od pracovního stolu s manipulátory) je určen k přenosu hotového vřetene z hydraulického lisu CUPS do frézky, z frézky pak do měřicí stanice Intronix a po vyhodnocení měření buď na výstupní dopravník OK vřeten, nebo na odkládací otočný stůl pro NOK vřetena. Program robota pracuje autonomně a je synchronizován v automatickém cyklu pouze signály a datovou komunikací s řídicím systémem linky.

- 3-osá frézka

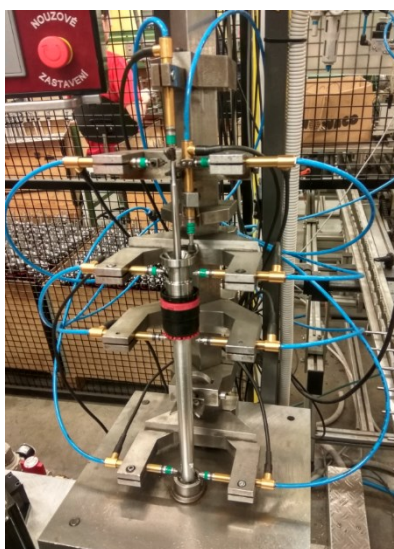
Frézovací pracoviště pracuje autonomně, pouze úchop přidržování kompletu vřetene je ovládán řídicím systémem linky a je možné spustit cyklus frézování, viz obr 3.5. Moderní frézka dokáže v jednom kroku frézovat díry a zároveň je odjehlit.



Obrázek 3.5 – 3-osá frézka obrábějící vřeteno
Zdroj: vlastní zdroj

- Měřicí stanice Intronix

Měření Intronix je autonomní kontrolní pracoviště pro měření správnosti rozměrů hotového vřetene, viz obr. 3.6. Řídicí systém linky ovládá oddálení měřících sond pro možnost vložení vřetene robotem a umožňuje spustit vlastní cyklus měření. Měřicí stanice pak odesílá jak výsledek měření vřetene, tak po datové komunikaci i změřená data, která jsou zobrazena a archivována v řídicím systému.



Obrázek 3.6 – Měřicí stanice kontrolující zalisované vřeteno
Zdroj: vlastní zdroj

- Výstupní dopravník OK vřeten

Výstupní dopravník linky je součástí navazující technologie. Krok dopravníku je řízen čidly umístěnými na začátku dopravníku. Po vložení OK vřetene robotem udělá dopravník automaticky jeden krok.

- Odkládací stůl pro NOK vřetena

Výstupní otočný stůl pro zmetky (NOK vřetena) je ručně otočný. Zajištění v pozici je indikováno čidlem.

3.1.1 Pracovní cyklus linky OT

Manipulátor 2 začíná odebráním dílu AL z dopravníku AL a přenesením na jednu z volných pozic 3 nebo 4 na pracovním stole. Potom odebere díl SCH z dopravníku SCH a přenesse jej na předchozí pozici, přičemž cestou konec tohoto dílu namočí do lisovacího oleje. Manipulátor 2 provede tlakem předlisování dílu SCH do dílu AL. Po dokončení operace převezme sestavu ze stolu manipulační robot 1 a přenesse jej do lisu Promess, kde proběhne slisování na celkovou zadanou délku kompletu včetně zpětné kontroly výšky zalisování odměřováním. Dále manipulační robot 1 přenesse slisovaný díl z lisu Promess zpět na pracovní stůl buď do volné pozice 1, 2, nebo výměnou za již hotový komplet v pozici 1 nebo 2 z předchozího cyklu. Manipulátor 1 potom postupně nasadí a předlisuje díly z dopravníku 1 až 3. Při předlisování jednotlivých dílů je odměřována výška předlisování manipulátorem tak, aby manipulační robot mohl založit komplet do hydraulického lisu ve správné výšce. V dalším kroku opět manipulační robot 1 přenesse tento komplet z pracovního stolu do hydraulického lisu CUPS, kde proběhne konečné slisování kompletu. Před lisováním je nastavena potřebná korekce výšky podle měření tohoto kompletu z lisu Promess. Druhý manipulační robot odebírá slisované komplety z hydraulického lisu CUPS a dává je postupně do frézky, na měření do stanice Intronix a potom na výstupní dopravník OK vřeten nebo na odkládací stůl pro NOK vřetena.

Důležitým bodem linky je jeho variabilita, kde lze zhotovovat vícero druhů vřeten rychlým přenastavením řídicího systému. Stačí pouze ukončit pracovní cyklus výroby a v řídicím systému zvolit jiný přednastavený program a linka kompletuje jiný druh vřeten.

3.2 Manipulační robot UR5

Montážní linka obsahuje dva manipulační roboty UR5, na které autor práce navrhl chapadla.

Robot UR5 a jeho parametry viz obr. 3.7

UR5

Výkon

Opakovatelnost	±0,1 mm / ±0,0039 in (4 mils)
Povolená okolní teplota	0-50°
Příkon	Min. 90 W, typicky 150 W, max. 325 W
Kolaborativní fungování	15 vyspělých nastavitelných bezpečnostních funkcí. TUV NORD schválená bezpečnostní funkce Zkoušeno v souladu s: EN ISO 13849-2:2008 PL d

Specifikace

Užitečné zatížení	5 kg / 11 lbs
Dosah	850 mm / 33,5 in
Stupně volnosti	6 otočných kloubů
Programování	Grafické uživatelské rozhraní Polyscope na panelu s 12" dotykovým displejem

Pohyb

Pohyb os robotického ramena	Pracovní rozsah	Maximální rychlost
Podstavec	±360°	±180°/s
Rameno	±360°	±180°/s
Loket	±360°	±180°/s
Zápěstí 1	±360°	±180°/s
Zápěstí 2	±360°	±180°/s
Zápěstí 3	±360°	±180°/s
Běžný nástroj		1 m/s / 39,4 in/s

Vlastnosti

Klasifikace IP	IP54
ISO Class Cleanroom	5
Hluk	72dB
Montáž roboty	Libovolná
I/O porty	Digitální vstupy 2 Digitální výstupy 2 Analogové vstupy 2 Analogové výstupy 0

I/O elektrické napájení nástroje 12 V / 24 V 600 mA v nástroj

Fyzické

Rozměry	Ø 149 mm
Materiály	Hliník, plast PP
Typ konektoru nástroje	M8
Délka kabelu robotického ramena	6 m / 236 in
Hmotnost s kabelem	18,4 kg / 40,6 lbs

KONTROLÉR

Vlastnosti

Klasifikace IP	IP20
ISO Class Cleanroom	6
Hluk	<65 dB(A)
I/O porty	Digitální vstupy 16 Digitální výstupy 16 Analogové vstupy 2 Analogové výstupy 2

I/O elektrické napájení 24 V 2 A

Komunikace TCP/IP 100Mbit, Modbus TCP, Profinet, EthernetIP

Napájecí zdroj 100-240 VAC, 50-60 Hz
Povolená okolní teplota 0-50°

Fyzické

Velikost kontroléru (ŠxVxH) 475 mm x 423 mm x 268 mm / 18,7 x 16,7 x 10,6 in

Hmotnost 15 kg / 33,1 lbs

Materiály Ocel

Ovládací panel

(TEACH PENDANT)

Vlastnosti

Klasifikace IP	IP20
----------------	------

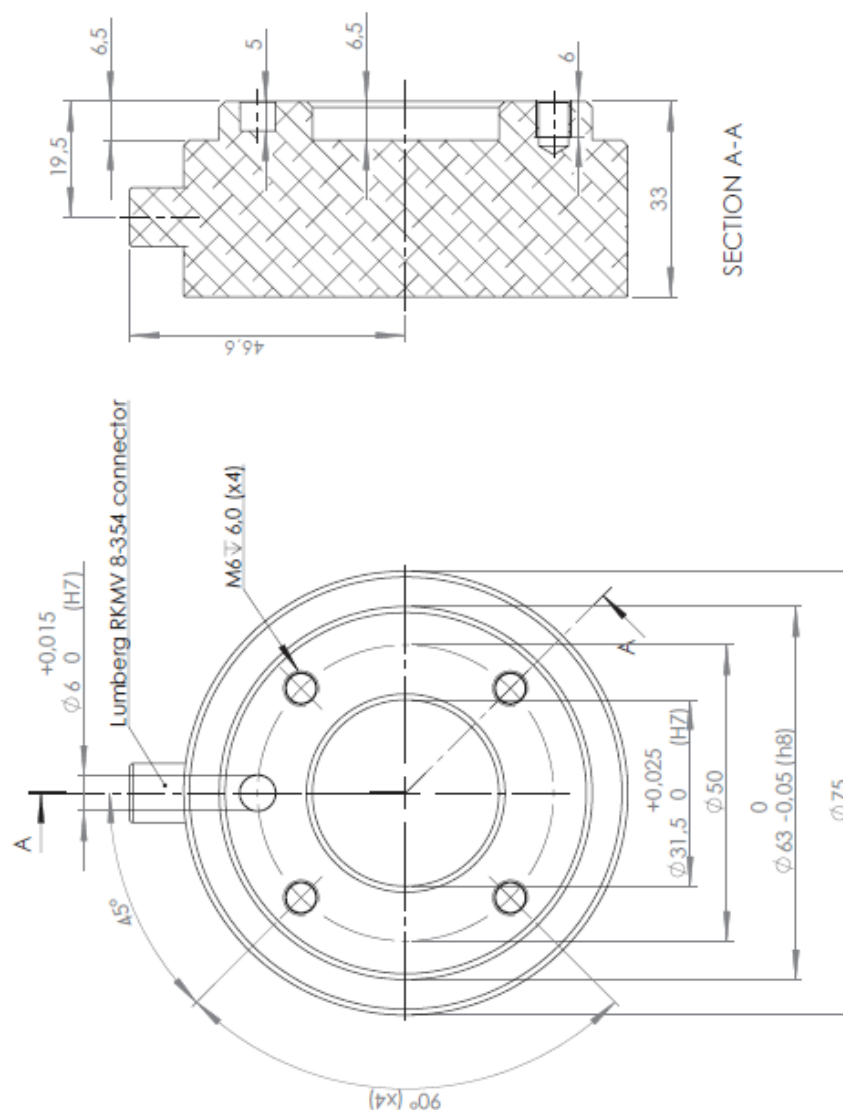
Fyzické

Materiály	Hliník, PP
Hmotnost	1,5 kg
Délka kabelu	4,5 m / 177 in



Obrázek 3.7 – Parametry manipulačního robota UR5
Zdroj: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur5/>

Autorem bylo zaměřeno především na pracovní hlavici robota, viz obr 3.8, kde se připevňuje chapadlo.



Obrázek 3.8 – Pracovní hlavice robota UR5
 Zdroj: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur5/>

3.3 Chapadlo robota

Autorem práce byla uvažována zejména místa vřetene za, které jej budou chapadla uchopovat a hmotnost vřetene. Maximální hmotnost vřetene je 390 gramů. Robot číslo 1 uchopuje vřeteno za díl AL v místě o průměru 14 [mm] a robot číslo 2 uchopuje vřeteno za díl AL v místě o průměru 17 [mm]. Výkres vřetene viz příloha G.

Firma N-ROTE MECHANICAL, s. r. o. dlouhodobě spolupracuje s firmou Festo, od které odebírá většinu výrobků tohoto rázu. Navíc se Festo vyznačuje kvalitou a rychlostí dodání, tudíž i zde vedly první kroky autora práce k nákupu komponentů na chapadlo robota. Dle těchto základních informací autorem bylo navrženo pneumatické upínání. Konkrétně pneumatický upínač Festo, paralelní chapadlo DHPS-20-A-NC (viz obr. 3.9).



Obrázek 3.9 – Paralelní chapadlo DHPS-20-A-NC
Zdroj: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DHPS

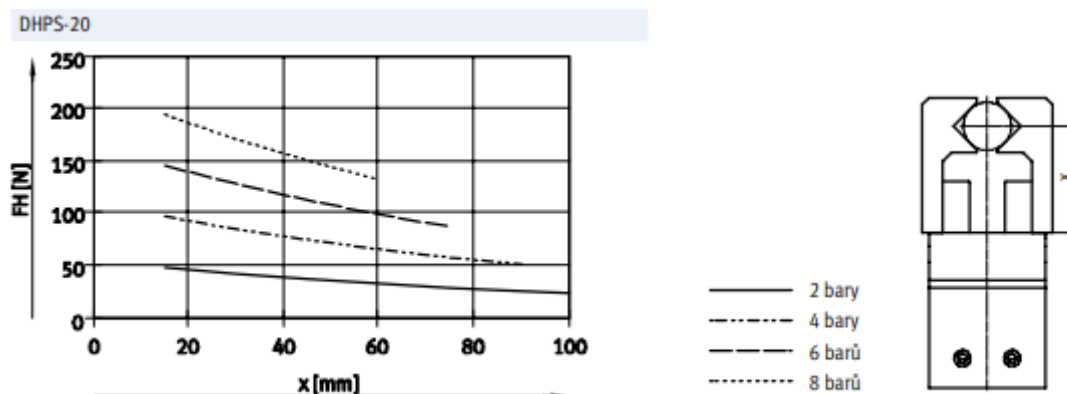
Paralelní chapadlo DHPS-20-A-NC je dvojčinné chapadlo poháněné stlačeným vzduchem o velikosti 20 a pojištění úchopu při sevření. Má v sobě T drážky pro zabudování čidel pro snímání polohy.

Tab. 3.1 – Základní parametry chapadla DHPS-20-A-NC⁹

počet čelistí	2
hmotnost chapadla [g]	387
max. hmotnost každého palce chapadla [g]	250
zdvih každé čelisti [mm]	6,5
připojení pneumatiky	M5
opakovatelná přesnost [mm]	≤ 0,02
max. provozní tlak [bar]	8
min. provozní tlak [bar]	4
rotační symetrie [mm]	< Ø 0,2
montážní poloha	libovolná
síla úchopu každé čelisti při 6 barech při rozevření [N]	162
síla úchopu každé čelisti při 6 barech při sevření [N]	147
čas rozevření při 6 barech [ms]	72
čas sevření při 6 barech [ms]	62

Síla úchopu F čelistí chapadla v závislosti na provozním tlaku a na ramenu páky x můžeme určit z grafu (viz graf 3.2), které je cca 110 [N]. Chapadlo bude nastaveno na provozní tlak 6 barů. Rameno páky x odečteme z výkresu čelistí (viz příloha B – výkres čelistí chapadla Z17-026-07-02-03), které je 45,05 mm. Rozměry chapadla jsou uvedeny v příloze E na konci bakalářské práce.

Graf 3.2 – Určení síly úchopu v závislosti na provozním tlaku a na ramenu páky x



Dle těchto všech technických parametrů chapadlo DHPS-20-A-NC vyhovuje k sevření a přenosu vřeten mezi jednotlivými pozicemi.

Dále byly autorem práce navrženy čidla pro snímání polohy chapadla SMAT-8M-U-E-0,3-M8D (viz obr. 3.10) od firmy Festo. Čidla slouží k bezdotykovému zjišťování polohy pístu u pohonů s magnetem na pístu. V rozsahu odměřování vydává analogový výstupní signál, který je proporcionální k dráze pístu. Připojují se bez příslušenství přímo k analogovým výstupům PLC.



Obrázek 3.10 – Snímač polohy SMAT-8M-U-E-0,3-M8D
Zdroj: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_SMAT

Čidla SMAT-8M-U-E-0,3-M8D jsou polovodičové čidla polohy, které se nasazují do T drážky, vhodné do paralelních chapadel. Rozměry snímače jsou uvedeny v příloze F na konci bakalářské práce.

Tab. 3.3 – Základní parametry snímače polohy SMAT-8M-U-E-0,3-M8D¹⁰

princip snímání	magnetický
rozsah odměřování [mm]	≤ 40
maximální rychlost pohybu [m/s]	3
opakovatelná přesnost [mm]	±0,025
typický interval snímání [ms]	2,8
elektrické připojení	kabel s konektorem, M8x1, otočný závit, 4 vodiče
délka kabelu [m]	0,3
upevnění	upnutím, nasazuje se shora do drážky
hmotnost výrobku [g]	10
teplota okolí [°C]	-25 ... +75

Rovněž čelisti, které se připevňují na paralelní chapadlo DHPS-20-A-NC, byly autorem práce navrženy. Čelisti, dle parametrů rozevření paralelního chapadla a dle průměrů míst uchycení vřeten, byly navrženy tak, aby se paralelní chapadlo dostatečně rozevřelo k bezproblémovému najetí na místo úchopu vřeten a rovněž sevřelo v místech k tomu určených (viz příloha B – výkres čelistí chapadla Z17-026-07-02-03). Materiál byl autorem práce zvolen ČSN 19573. Tvrdost materiálu je 255 HB. Tento materiál byl autorem práce vybrán právě pro jeho tvrdost. Při malé tvrdosti materiálu čelistí by mohlo docházet k otlakům a k brzkému opotřebení čelistí. Výroba byla zvolena elektroerozivním řezáním a následně frézování přesných děr.

Tab. 3.4 – Chemické složení oceli 19 573 (hm. %) ¹⁴

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
1,40- 1,60	0,10- 0,60	0,20- 0,60	11,00- 13,00	0,70- 1,00	0,70- 1,00	max. 0,03%	max. 0,03%

Tato sestava pneumatického upínání je potřeba ještě spojit s pracovní hlavicí robota. Jako materiál byla autorem zvolena slitina hliníku dle EN AW-6060 AlMgSi0,5.

AlMgSi0,5 je jedna z nejběžnějších slitin na českém trhu. Souhrnně se dá říct, že má celkem horší mechanické vlastnosti, ale vynikající technologické vlastnosti – svařitelnost, leštitelnost, korozní odolnost a především tvárnost. I přes někdy problematickou obrobitelnost se dá docílit velmi hladkého a lesklého povrchu. Důvodem použití těchto slitin velmi často bývá, že některé polotovary se z jiné slitiny prostě nevyrábí. Pokud jde o obrobitelnost této slitiny, tak soustružení je poněkud obtížnější. Vzniká dlouhá špona, která

se vůbec neláme, motá se na nůž, na obrobek i na stopku vřetene. Naopak tato slitina se dá poměrně dobře obrábět frézováním. I zde jsou některá úskalí, především tento materiál je náchylný na zalepení nástroje třískami. Tento problém lze vyřešit mazáním.

Tab. 3.5 – Chemické složení slitiny hliníku AlMgSi0,5 (hm. %)⁷

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Jiné	Al
0,30- 0,60	0,10- 0,30	≤ 0,10	≤ 0,10	0,35- 0,60	≤ 0,05	≤ 0,15	≤ 0,10	0,15	zbytek

Jelikož firma disponuje frézovacím strojem, bylo autorem práce navrženo obrábění materiálu frézováním. Frézování je vhodné, protože deska obsahuje přesné díry a materiál je vyhovující. Dále byl tento materiál vybrán pro svou nízkou specifickou hmotnost a dostupnost. Autorem práce byla navržena tyč plochá, obchodní označení AW-6060 AlMgSi0,5. Rozměry tyče jsou 200 x 10 [mm]. Jelikož se jedná o ohybově namáhaný díl, bylo zapotřebí provést pevnostní výpočet (viz rovnice 3.1). Pro efektivní práci robotů bude každé chapadlo mít dvě ramena. Kompletní deska viz příloha C – výkres Z17-026-07-02-02.

Pevnostní výpočet desky:

Výpočtová (pevnostní) rovnice pro ohyb⁹: (3.1)

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma D_o$$

kde σ – napětí v ohybu [MPa],

M_o – maximální ohybový moment [Nmm],

W_o – průřezový modul v ohybu [mm³],

σD_o – dovolené napětí v ohybu [170 MPa]⁷.

$$M_o = F \times l$$

kde F – zatěžující síla [N],

l – rameno zatěžující síly [mm].

$$W_o = W_x = \frac{J_x}{\frac{h}{2}} = \frac{\frac{1}{12} b \times h^3}{\frac{h}{2}} = \frac{1}{6} b \times h^2$$

kde J_x – kvadratický moment pro obdélníkový průřez [mm⁴],

h – výška materiálu [mm],

b – šířka materiálu [mm].

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \times l}{\frac{1}{6}b \times h^2} = \frac{m \times g \times l}{\frac{1}{6}b \times h^2} = \frac{1,02 \times 9,81 \times 150,00}{\frac{1}{6}45 \times 7^2} = \frac{1500,93}{367,50} = 4,08 \text{MPa}$$

kde m – celková hmotnost zatížení [kg],

g – tíhové zrychlení [9,81m/s²].

$\sigma_o < \sigma_{Do} \rightarrow$ **vyhovuje**

Jako poslední věc byly autorem práce navrženy držáky chapadla (viz příloha A – výkres Z17-026-07-02-04), které slouží k těsnému uchycení k desce celé sestavy. Držáky chapadla se zasunují do T drážky paralelního chapadla DHPS-20-A-NC. Materiál byl autorem práce zvolen ČSN 11 373. Jedná se o nelegovanou ocel obvyklých jakostí vhodnou pro konstrukce, která je pro naše účely dostačující (viz Tab. 3.6 – Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli ČSN 11 373). Výroba byla zvolena vypalováním laserem a následné vrtání děr.

Tab. 3.6 – Chemické složení (hm. %) a mechanické vlastnosti oceli ČSN 11 373¹⁵

C	P	S	N	R_m	R_e	A_{10}
max. 0,170	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007	min. 370 [MPa]	min. 250 [MPa]	min. 7 [%]

kde R_m je pevnost v tahu [MPa],

R_e je mez kluzu [MPa],

A_{10} je tažnost materiálu [%].

4 Diskuse experimentů

Chapadlo robota bylo autorem práce navrženo tak, aby splňovalo veškeré požadavky kladené zadávající firmou Novibra s. r. o.

Pneumatický upínač byl vybrán u firmy Festo z důvodu jeho dostupnosti a kvality, kterou firma N-ROTE MECHANICAL, s. r. o. má už z jejich výrobků osobně vyzkoušenou. Toto chapadlo má velmi malou hmotnost a dostatečnou sílu při úchopu (viz Tab. 3.1). Dále byla potřeba, aby chapadlo uchopovalo předmět oboustranně (viz kapitola 2.6.1). K tomuto upínači bylo zapotřebí opatřit čidla pro snímání polohy. Logicky byly autorem práce vybrány čidla rovněž od firmy Festo, které jsou určeny přesně do vybraného pneumatického upínače.

Čelisti chapadla, které se připevňují na pneumatický upínač, byly autorem práce navrženy tak, aby se bezproblémově rozevřely a uchopily vřeten v dané pozici. Autorem práce byl nejprve zkoušen materiál ČSN 11373. Ve zkušebním chodu bylo zjištěno, že na čelistech zůstávají otlaky od vřeten. Z tohoto důvodu byl autorem práce zvolen tvrdší materiál ČSN 19573.

Nároky na spojovací desku chapadla s pracovní hlavicí robota jsou zejména malá hmotnost a dobrá obrobitelnost, z důvodu složitosti výroby. Z tohoto důvodu byl autorem práce navržen materiál EN AW-6060 AlMgSi0,5. Jelikož firma N-ROTE MECHANICAL, s. r. o. disponuje frézovacím strojem, tak opracování desky bylo zvoleno frézováním. Materiál i náročnost opracování je pro tento druh obrábění vhodný (viz Tab. 3.5 a kapitola 3.3).

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Před zprovozněním této montážně-obráběcí linky na stanovišti pracovali tři lidé na jedné směně. Firma Novibra s. r. o. má zaběhlý pracovní systém na tři směny. Pracoviště prakticky nebylo vůbec automatizované a veškerý pohyb dílců mezi jednotlivými operacemi zprostředkovávala obsluha. Po zprovoznění linky stačí na veškerou obsluhu jeden zaměstnanec na směnu. Jeho hlavní pracovní náplní je doplňování zásobníků jednotlivých komponentů a skládání virtlů. V případě poruchy nebo zastavení linky z nějakého důvodu volá ihned kompetentní osobu pro nápravu chodu linky.

Návratnost financí po zavedení plného provozu:

Měsíční produkce zhotovených vřeten před a po zavedení: 127 000 kusů.

Celkové náklady na realizaci montážně-obráběcí linky: 3 400 000 Kč.

Tab. 5.1 – Mzdové náklady na jednoho pracovníka u montážně-obráběcí linky

Kč/hodina	140 Kč
hodin/měsíc	163 hodin
Kč/měsíc	22 820 Kč
odvody za zaměstnance [34%]	7 759 Kč
celkový mzdový náklad	30 579 Kč

Tab. 5.2 – Mzdové náklady pracovních sil před a po zavedení linky

	před zavedením	po zavedení
počet zaměstnanců na směnu	3	1
počet zaměstnanců na tři směny	9	3
měsíční náklady na tři směny	275 211 Kč	91 737 Kč
měsíční mzdová úspora		183 474 Kč

Návratnost investice v měsících: (5.1)

$$M = \frac{C}{m} = \frac{3400000}{183474} = 18,53 \text{ měsíců}$$

kde M – počet měsíců návratnosti,

C – celkové náklady na realizaci montážně-obráběcí linky [Kč],

m – měsíční mzdová úspora [Kč].

Návratnost celkové investice na realizaci montážně-obráběcí linky činí **18,53** měsíců (viz tabulky 5.1, 5.2 a rovnice 5.1).

Montážně-obráběcí linka přinesla firmě Novibra s. r. o. nemalé množství technických vylepšení. Především se jedná o zlepšení jakosti výrobků, kde moderní technologie produkuje daleko méně vadných výrobků. Velkou výhodou linky je její variabilita. Můžeme zde jednoduchým přenastavením řídicího systému zhotovovat vícero druhů vřeten. Důležitým technologickým vylepšení je rovněž frézovací část. Zde 3-osá frézka na jeden krok vyfrézuje díry a rovnou je odjehlí, což před zavedením automatizace dělalo firmě časté problémy. Dále se výrazným způsobem zvýšila produktivita výroby. Kapacita vyhotovení vřeten dává do budoucna možnost přijímat objemově větší zakázky. Nesmíme opomenout ani zlepšení bezpečnosti práce při jednotlivých operacích a pracovní prostředí pro zaměstnance.

Závěrem lze říci, že se montážně-obráběcí linka zrealizovala bez problémů a splnil se cíl, který byl zadán.

- Došlo k výraznému zvýšení kapacity výroby vřeten,
- k zlepšení jakosti výrobku,
- k výrobě s minimálním procentem vadných výrobků,
- k variabilitě linky, kde lze zhotovovat vícero druhů vřeten,
- k redukci zaměstnanců,
- k zvýšení konkurenceschopnosti firmy,
- ke zlepšení pracovního prostředí,

- k výrazné úspoře financí.

Rád bych poděkoval doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

Seznam použité literatury

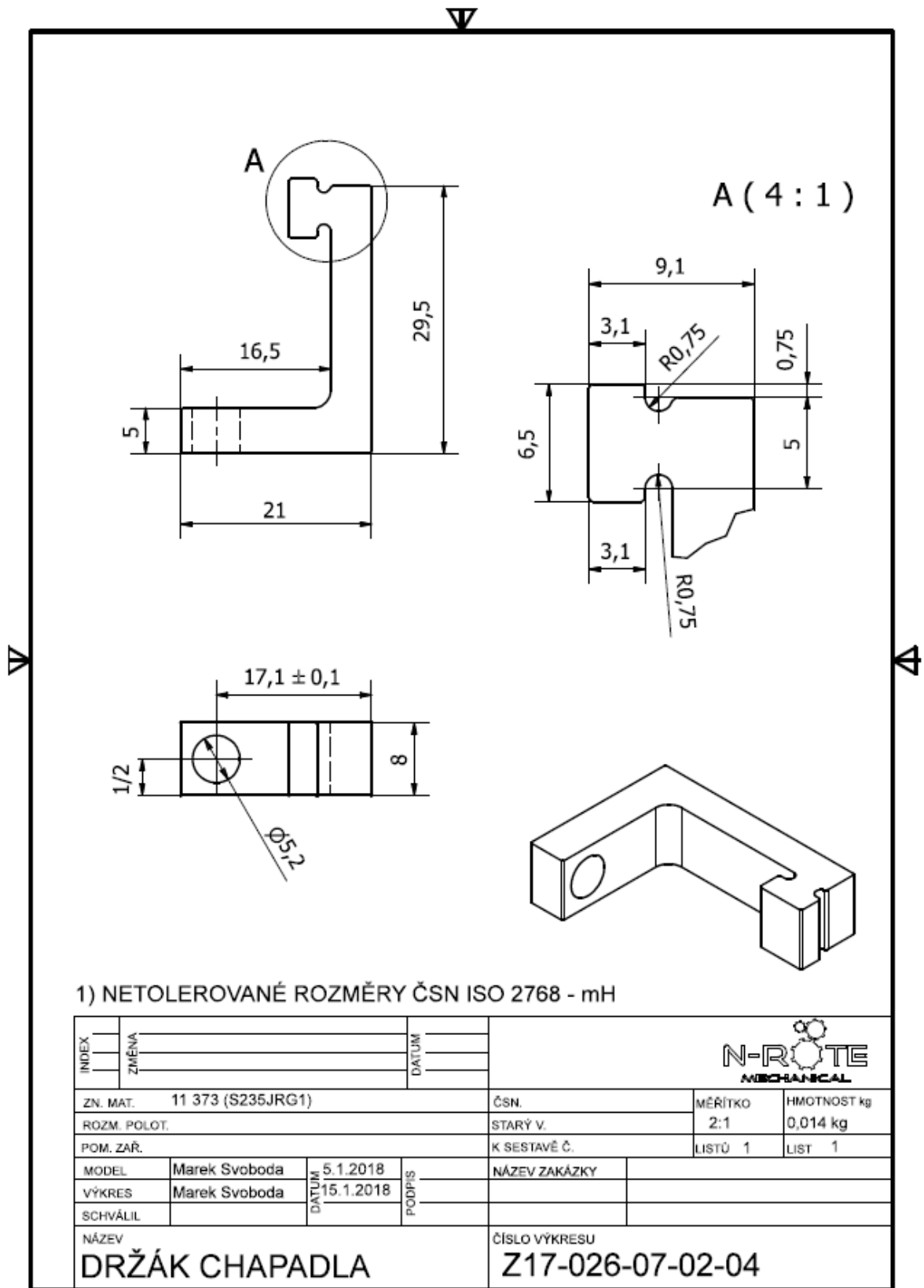
1. Automatizace. *Wikipedia.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Automatizace>
2. LACKO Branislav, MAIXNER Ladislav, BENEŠ Pavel a ŠMEJKAL Ladislav. *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace 1.*, vydání Praha: Computer Press, 2000. 1. vydání, 97 s. ISBN 80-7226-246-7
3. Automatizace 2. Střední průmyslová a Vyšší odborná škola Chomutov. *Spsc.v.cz* [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://web.spsc.v.cz/~madaj/skra4.pdf>
4. Iniciativa průmysl 4.0. *Mpo.cz*. [online]. 2017 [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
5. Automatizace (roboty a manipulátory). Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství. *Ust.fme.vutbr.cz*. [online]. 2003 [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf
6. SKAŘUPA Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. *Elearn.vsb.cz*. [online]. 2007 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
7. Chemické a mechanické vlastnosti hliníkových slitin. *www.alunet.cz*. [online]. 2018 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/pouzito>
8. LEINVEBER Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. vyd. Úvaly: Albra, 2011. 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
9. Paralelní chapadla DHPS Festo. *www.festo.com*. [online]. 2017 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DHPS_CZ.PDF
10. Čidla polohy SMAT do T drážky Festo. *www.festo.com*. [online]. 2017 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SMAT-8M_CZ.PDF
11. ŘASA Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3 – 2. díl*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005, 221 s. ISBN 80-718-3336-3
12. BRYCHTA J., CZÁN A., ČEP R., KRATOCHVÍL J., PETRU J., SADÍLEK M., STANČEKOVÁ D. a ZLÁMAL T. *Progresivní technologie v obrábění a NC*

programování obráběcích strojů. VŠB – TUO Ostrava, Žilinská Univerzita v Žilině, 173 s., 2014, ISBN 978-80-248-3522-8

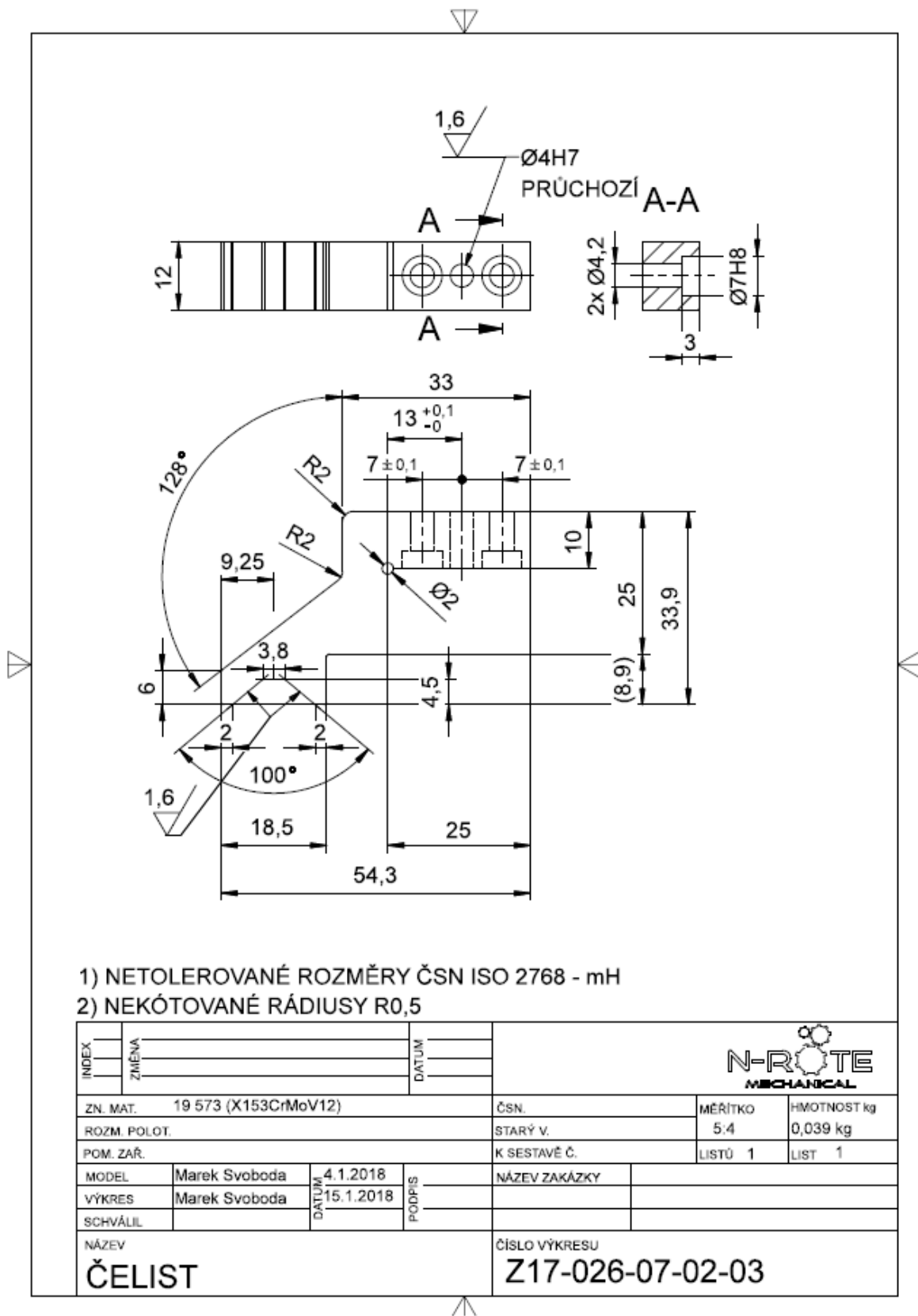
13. KOCMAN Karel a PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
14. Chemické složení materiálu ČSN 19573, *www.bogner.cz*, [online]. 2018 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: http://www.bogner.cz/files/files/Materialovy_list_1.2379.pdf
15. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli. *www.czferrosteel.cz*. [online]. 2018 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11373.pdf>

6 Seznam příloh

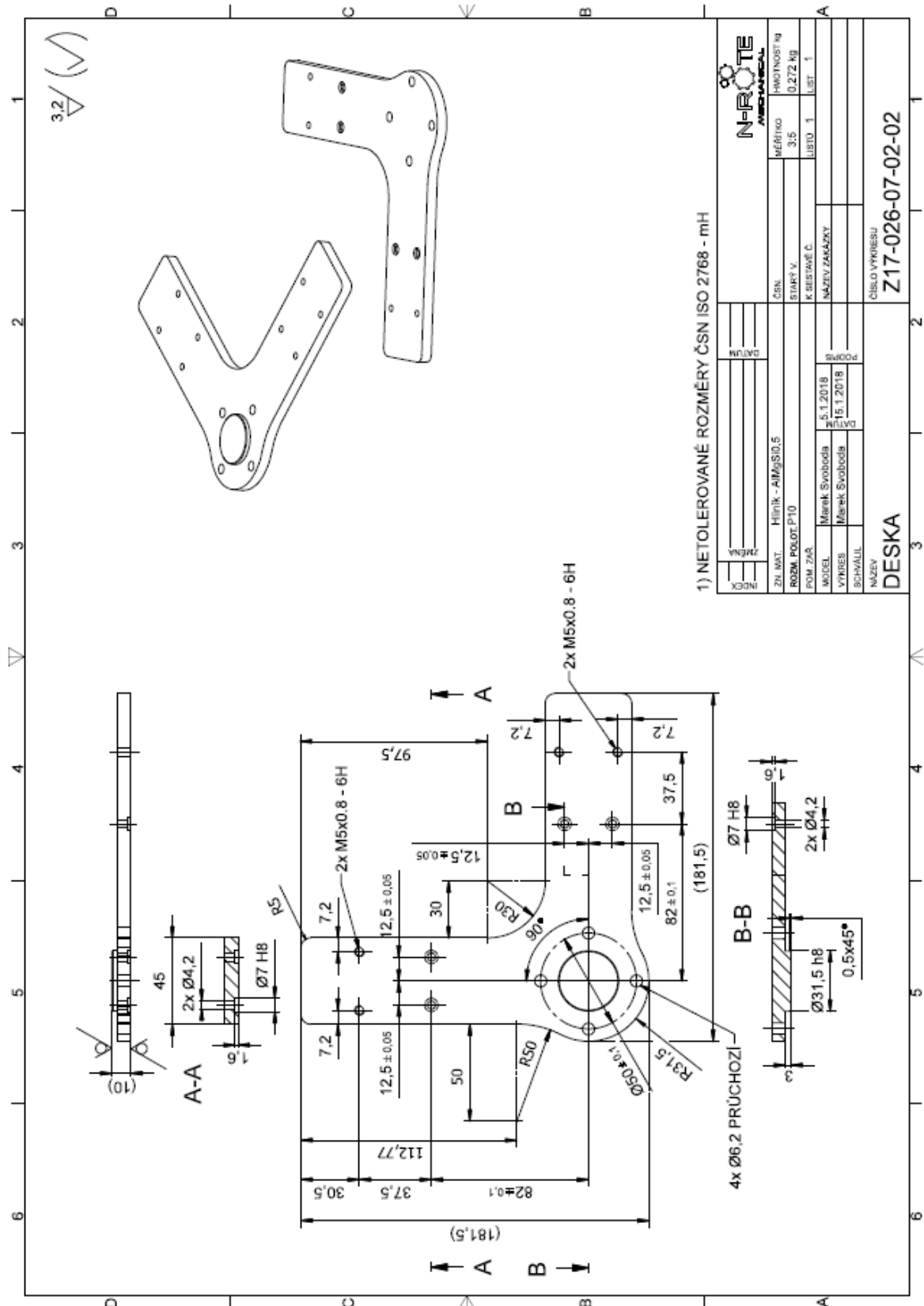
Příloha A – Výkres držáku chapadla Z17-026-07-02-04



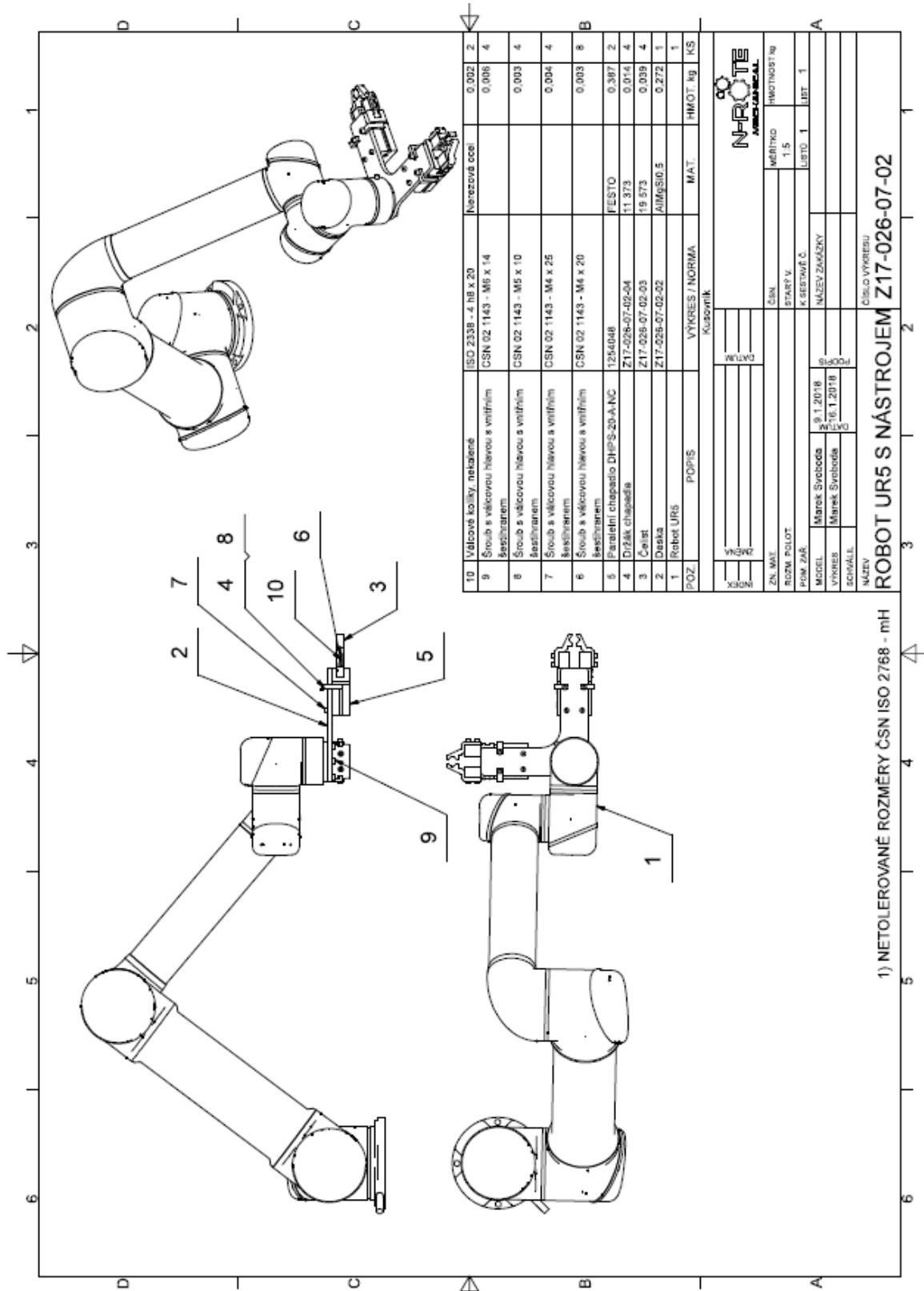
Příloha B – Výkres čelistí chapadla Z17-026-07-02-03



Příloha C – Výkres desky Z17-026-07-02-02

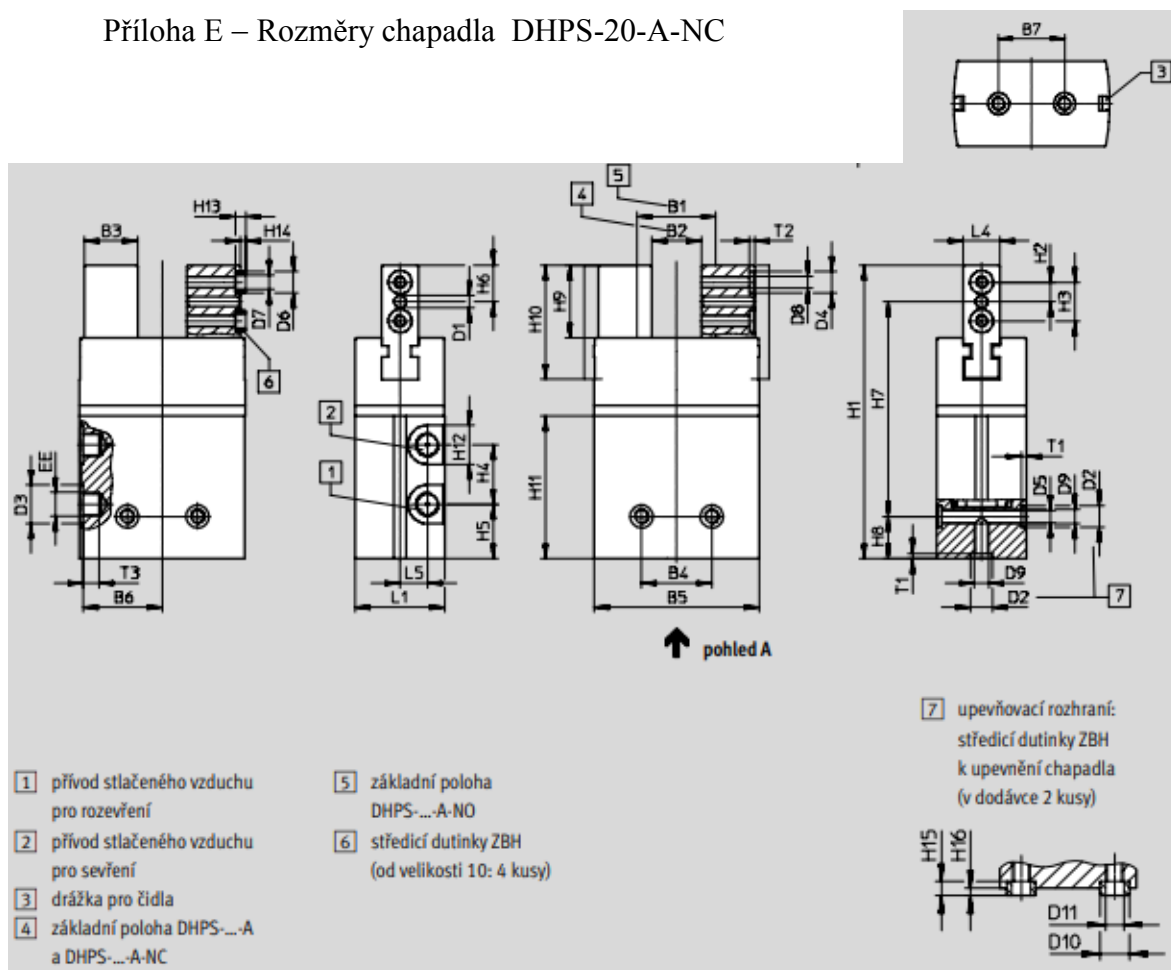


Příloha D – Výkres sestavy chapadla s ramenem robota UR5 Z17-026-07-02



1) NETOLEROVANÉ ROZMĚRY ČSN ISO 2768 - mH

Příloha E – Rozměry chapadla DHPS-20-A-NC



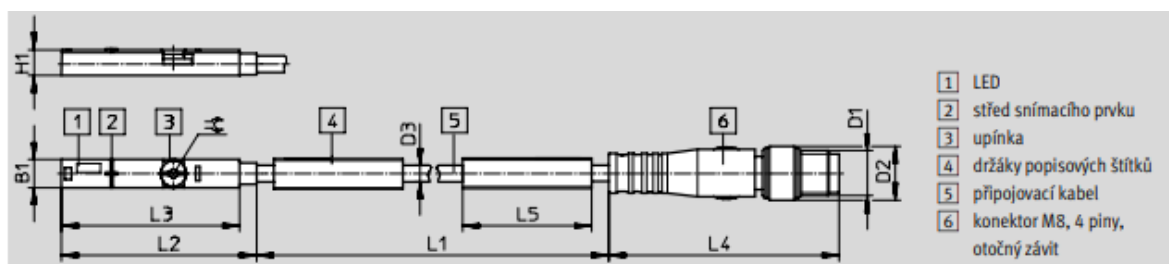
Obrázek A – Kompletní rozměry chapadla DHPS-20-A-NC

Zdroj: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DHPS_CZ.PDF

Tab. E – Rozměry chapadla DHPS-20-A-NC k obrázku A [mm]

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	D1	D2	D3
±0,5	±0,5	-0,03		±0,1			∅ H8	∅ H8	∅
30,00	17,00	17,50	25,00	55,60	26,65	25,00	4,00	8,00	10,00
D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	EE	H1
∅ H8	∅+0,1	∅ h7	∅			∅ h7	∅		
7,00	3,30	7,00	5,30	M4	M4	7,00	5,30	M5	101,00
H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11
					±0,2				
7,00	14,00	23,00	16,00	12,50	81,00	7,50	25,00	39,50	50,00
H12	H13	H14	H15	H16	L1	L4	L5	T1, T2	T3
	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	±0,1	-0,05		+0,1	+0,5
10,00	3,00	1,40	3,00	1,40	30,00	12,00	9,00	1,60	6,00

Příloha F – Rozměry snímače SMAT-8M-U-E-0,3-M8D



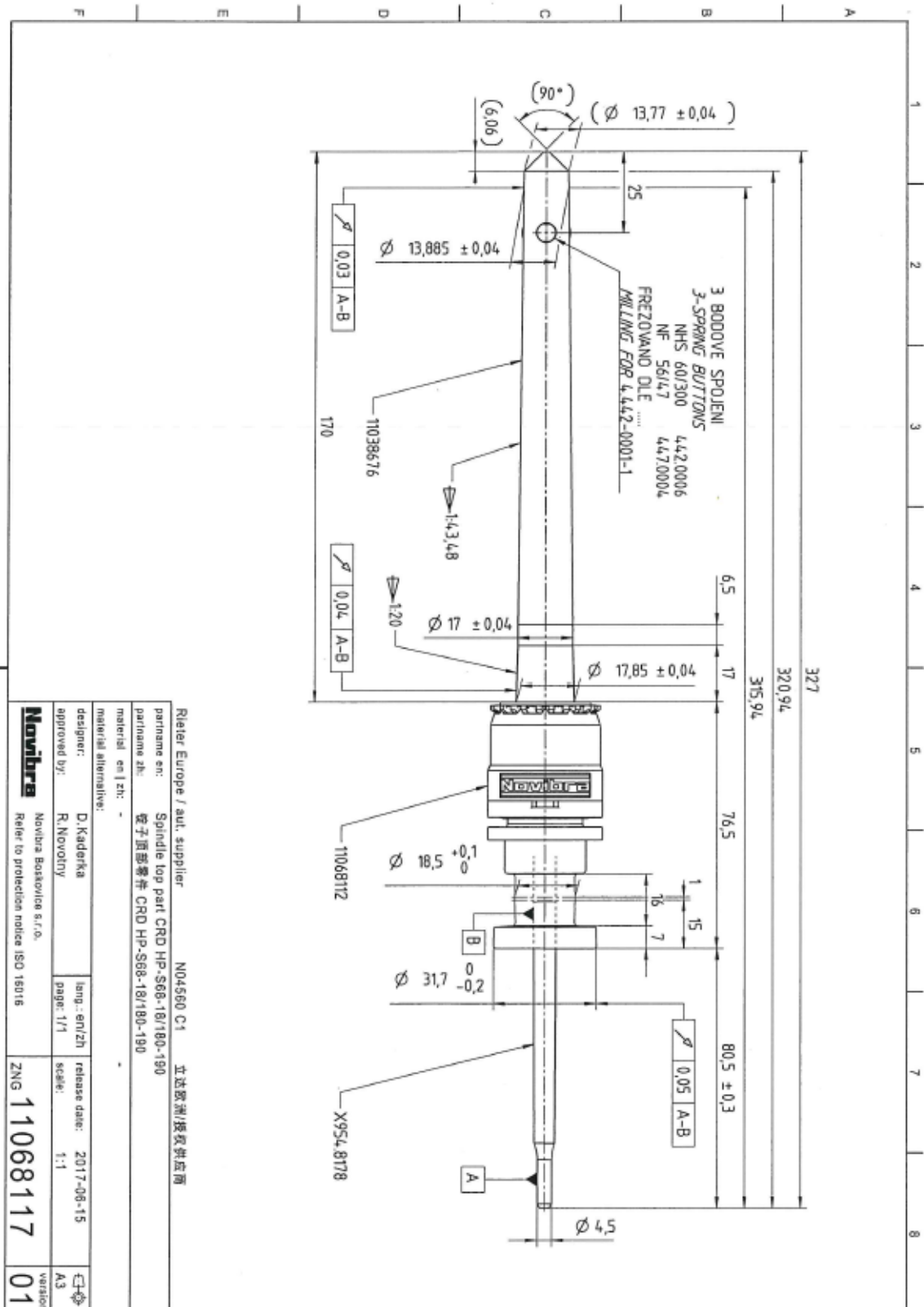
Obrázek B – Kompletní rozměry snímače SMAT-8M-U-E-0,3-M8D

Zdroj: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SMAT-8M_CZ.PDF

Tab. F – Rozměry snímače SMAT-8M-U-E-0,3-M8D k obrázku B [mm]

B1	D1	D2	D3	H1	L1	L2	L3	L4	L5
5,0	M8x1	9,6	2,9	4,6	300,0	34,8	31,8	41,1	23,0

Příloha G – Výkres vřetene



Vyjádření firmy Novibra s.r.o. k montážně-obráběcí lince OT

Firmě N-ROTE Mechanical s.r.o. byla zadána zakázka k zhotovení montážně-obráběcí linky. Firma se vyrovnala s požadavkem zvýšené bezpečnosti zařízení, zlepšení jakosti montovaných dílů a hlavně markantním způsobem se zvýšila produktivita výroby. Zvětšila se produkce za současného snížení pracnosti a došlo i k redukci pracovních sil. Celkem 6 zaměstnanců se mohlo adaptovat na jiná pracoviště v rámci firmy.

Firma Novibra s.r.o. oceňuje nové blokově diferencované koncepční pojetí celé montážně-obráběcí linky OT. Zařazením jednoduše seřiditelných (kolaborativních) robotů se zvětšil rozsah použitelnosti této linky na většinu stávajících provedení výrobků a hlavně dává možnost rozšíření vyráběných finálních výrobků i do budoucnosti.

Je nutno ocenit i inovativní přístup k řešení v oblasti frézování uložení pro tříbodovou spojku. Zařízení originálně vyřešilo dlouhodobě se vlekoucí problémy s otřepy, které náhodně vznikaly na obvodové části frézovaných výrobků. Tímto se snížilo procento náročně opravovaných výrobků a současně se snížilo procento neshodných výrobků. Chapadlo robota bezproblémově uchopuje, uvolňuje a přemísťuje vřetena do daných pozic. Na vřetenech nejsou patrné žádné stopy po čelistech chapadla robota.

Technická úroveň byla velice kladně hodnocena dozorcí radou koncernu RIETER což se projevilo v navýšení finančního rozpočtu pro investice v rámci programu podpory „ Průmysl 4,0“ na roky 2019 až 2022.


Ing. Horák
Manufacturing
Process Engineer

NOVIBRA BOSKOVICE s.r.o. Na Kamenici, 680 01 BOSKOVICE Telefon: 528 111 FAX: 516 528 137 DIČ: CZ46995030
