



Návrh automatizovaného pracoviště pro hromadné měření elektrod pro elektrojiskrové stroje

Diplomová práce

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Výrobní systémy a procesy

Autor práce:

Bc. Jan Koníček

Vedoucí práce:

Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Katedra výrobních systémů a automatizace





Zadání diplomové práce

Návrh automatizovaného pracoviště pro hromadné měření elektrod pro elektrojiskrové stroje

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Koníček**
Osobní číslo: S18000233
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní systémy a procesy
Zadávací katedra: Katedra výrobních systémů a automatizace
Akademický rok: 2020/2021

Zásady pro vypracování:

Hlavním cílem této práce je analýza technického řešení zautomatizovaného měření elektrod pro elektrojiskrové stroje. Pro dosažení nejvyšší přesnosti jiskření se vyfrézované elektrody budou měřit na motorizovaném souřadnicovém stroji Wenzel. Pro snížení nároků na lidskou sílu a zmenšení chybovosti je úkolem systém automatizovat. Elektrody se frézují hromadně po 20ks a tuto dávku je úkolem bez zásahu člověka měřit. Výstupem je elektronický soubor dat reprezentující tabulku korekcí, tedy seřizovací data elektrod. Preferovaným řešením je zakládat elektrody do souřadnicového stroje robotem. Práci je vhodné rozdělit takto:

1. Přehledný popis celkového procesu s vysvětlením dílčích kroků.
2. Analýza vstupních informací a dat.
3. Definování formátu a obsahu výstupních dat.
4. Návrh robotické manipulace se zohledněním aspektu technické proveditelnosti na pracovišti, bezpečnosti práce a ekonomické rozvaze.
5. Nastín způsobu programování robotu a motorizovaného souřadnicového stroje, koncept nadřazeného řídicího systému, rozvaha softwarového a hardwarového řešení.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby
60 stran textu včetně příloh
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] SHIGLEY, J. E., Ch. R. MISCHKE, R. G. BUDYNAS, M. HARTL a M. VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Praha: Albra, 2011. 927s. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [3] STASTO Automation s.r.o., OnLineKatalog [online], Dostupný z: <https://www.stasto.cz/katalog.aspx>.
- [4] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [5] *Technické podklady výrobců zapojených strojů a zařízení.*

Vedoucí práce:

Ing. Petr Zelený, Ph.D.
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání práce:

19. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

19. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 19. listopadu 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

19. května 2022

Bc. Jan Koníček

Poděkování

Nejprve bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Petru Zelenému, PhD., a panu Pavlu Rachovi za ochotu při konzultacích, za podávání užitečných rad a připomínek k práci. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za pomoc a podporu při tvorbě této práce a v průběhu celého studia.

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou technického řešení možného zautomatizování procesu měření elektrod pro elektrojiskrové stroje. Díky této analýze by mělo být docíleno vyšší měřicí přesnosti a rychlosti, díky možnému hromadnému měření elektrod. Zautomatizováním by mělo být docíleno i menší chybovosti v této části výrobního procesu. V práci je nejdříve proveden popis celého výrobního procesu s podrobnějším popisem jednotlivých dílčích kroků. Dále je provedena analýza stávajícího řešení s možností automatizace, kde je podrobněji rozebrána každá část procesu. Hlavní část se týká rozboru automatizace, možnosti využití motorizovaného souřadnicového stroje a robota. Po určení těchto prvků byl proveden rozbor výstupních dat, kde došlo k definování obsahu a formátu, jak budou tyto data ukládány. Dalším krokem této práce bylo navrhnout konstrukční řešení tak, aby bylo technicky proveditelné na pracovišti. Návrh robotického pracoviště byl proveden s ohledem na bezpečnost na daném pracovišti. Spolu s návrhem konstrukčního řešení byla provedena ekonomická rozvaha měřicího stanoviště. Na samotném konci je proveden návrh konceptu programování robota, souřadnicového měřicího stroje a jejich možné komunikace.

Klíčová slova

elektroda, elektrojiskrové obrábění, souřadnicový motorizovaný měřicí stroj ,robot, konstrukce, programování

Abstrakt

This work deals with the analysis of the technical solution of the possible automation of the electrode measurement process for electric spark machines. Thanks to this analysis, higher measuring accuracy and speed should be achieved, thanks to the possible mass measurement of electrodes. By automation, a smaller error rate in this part of the production process should be achieved. The work first describes the overall production process with a more detailed description of the individual partial steps. Furthermore, an analysis of the existing solution with the possibility of automation, where each part of the process is analyzed in more detail, is performed. The main part concerns the analysis of automation, the possibility of using a motorized coordinate machine and a robot. After determination of these elements, an analysis of the output data, where the content and format of how this data will be stored was defined, was performed. The next step of this work was to design a constructive solution so that it would be technically feasible at the workplace. The design of the robotic workplace was carried out regarding safety at the workplace. Together with the design of the constructive solution, an economic balance sheet of the measuring station was performed. At the very end, a design concept of robot programming, coordinate measuring machine and their possible communication is made.

Key words

Electrode, electric discharge machining, coordinate motorized measuring machine, robot, construction, programming

Obsah

1. Úvod.....	13
2. Průběh celého procesu	14
2.1. Technologie elektrojiskrového obrábění	14
2.2. Návrh elektrod	18
2.3. Výroba elektrod.....	19
2.4. Proměření elektrod	21
2.5. Elektrojiskrové obrábění	22
3. Analýza vstupních dat a informací	22
3.1. Práce konstruktéra a obráběče	22
3.2. Vstupní informace po vyrobení elektrod	24
3.3. Měřicí souřadnicový stroj Wenzel LH 54.....	25
3.4. Rozvaha automatizace	28
3.4.1. Obsluha člověkem	29
3.4.2. Obsluha robotem.....	30
3.5. Výběr robota	33
3.6. Čtečka QR kódu	43
4. Definování formátu a obsahu výstupních dat	43
4.1. Určení formátu informací v seřizovacím listu	43
4.2. Výstupní formát naměřených hodnot.....	44
5. Návrh robotické manipulace se zohledněním aspektu technické proveditelnosti na pracovišti, bezpečnost práce a ekonomické rozvaze	44
5.1. Technická proveditelnost zautomatizování procesu měření.....	45
5.2. Konstrukční návrh	45
5.2.1. Volba chapadla	45

5.2.2. Volba odkládací palety	47
5.2.3. Návrh podstavců pro robota a odkládací pozice	48
5.3. Bezpečnost práce na pracovišti.....	51
5.4. Ekonomická rozvaha	53
6. Nástin způsobu programování robotu a motorizovaného souřadnicového stroje, koncept nadřazeného řídicího systému, rozvaha softwarového a hardwarového řešení	54
6.1. Koncept nadřazeného systému.....	54
6.2. Způsob programování SMS	57
6.3. Způsob programování robota	58
6.4. Rozvaha hardwarového a softwarového řešení	59
7. Zhodnocení výsledků	60
Závěr	62
Literatura	64
Seznam příloh	66

Seznam použitých symbolů a zkratk

H [mm]	Výška elektrody
v [ms ⁻¹]	rychlost
a [ms ⁻²]	zrychlení
MPEe [μm]	Single-stylus probing uncertainty, nejistota měření objemové délky
MPEp [μm]	Volumetric length measuring uncertainty, nejistota snímání jedním dotekem
M [Nm]	Kroutící moment
m [kg]	hmotnost
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, dohledová kontrola a sběr dat
PLC	Programmable Logic Controller, programovatelný logický automat
SMS	Souřadnicový měřicí stroj
EDM	Electric Discharge Machinin, elektrojiskrové obrábění
ASCII	American Standard Code for Information Interchange, standardizovaná tabulka znaků
CAD	Computer-Aided Design, počítačem podporované projektování
CAM	Computer-Aided Manufacturing, počítačová podpora obrábění

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma elektrojiskrového obrábění [7]	15
Obrázek 2: Různé tvary elektrod	16
Obrázek 3: Výroba povrchů kombinací tvaru a pohybů nástrojové elektrody a) průchozí nekruhová díra, b) uzavřená drážka, c) drážka ve šroubovici, d) díra ve tvaru části kruhového oblouku, e) ozubený hřeben - (1- nástrojová elektroda , 2 - obrobek) [7]	17
Obrázek 4: Stávající seřizovací list palety[15]	18
Obrázek 5: Frézovací centrum +GF+ MIKRON MILL S 400 [12]	19
Obrázek 6: Pracovní paleta pro hromadné frézování elektrod	20
Obrázek 7: Elektroerozivní hloubička Exeron EDM 312	21
Obrázek 8: Příklad výrobního štítku elektrody	23
Obrázek 9: Motorizovaný souřadnicový měřicí stroj Wenzel LH 54.....	26
Obrázek 10: Souřadnicový systém měřicího stroje, dle [11]	27
Obrázek 11 : Mechanické doteky měřících sond, dle [5].....	28
Obrázek 12: Příklad palety pro hromadné měření elektrod při ručním zakládání obsluhou	30
Obrázek 13: Dvoupolohový stůl TC120G-CB [3]	32
Obrázek 16: Lakovací robot IRB 52 [17].....	34
Obrázek 14: Delta robot - ABB IRB 360 [8]	34
Obrázek 15: Víceúčelový robot ABB IRB 1200 [8].....	34
Obrázek 18: Kartézský robot [10]	35
Obrázek 19: Spolupracující robot ABB CRB 15000 GoFa [8].....	35
Obrázek 17: Scara robot - ABB IRB 910SC [8]	35
Obrázek 20: Orientační srovnání různých typů robotu v několika parametrech	36
Obrázek 21: Porovnání různých robotů v přesnosti a dosahu	37
Obrázek 22: Příklady bezpečnostního oplocení.....	39
Obrázek 23: Srovnání spolupracujících robotů vzhledem k přesnosti zakládání	40
Obrázek 24: Srovnání užitečného zatížení spolupracujících robotů.....	41

Obrázek 25: Srovnání operačního dosahu spolupracujících robotů.....	41
Obrázek 26: Srovnání pořizovacích cen spolupracujících robotů.....	41
Obrázek 27: Srovnání rychlostí jednotlivých spolupracujících robotů	42
Obrázek 28: Čtečka QR kódu [16]	43
Obrázek 29: Sestava elektrody s držákem	46
Obrázek 30: Elektroda s dvoupřstým pneumatickým chapadlem.....	47
Obrázek 31: Odkládací paleta elektrod	48
Obrázek 32: Svařovaný podstavec s robotem a paletami	49
Obrázek 33: Různé uspořádání měřícího pracoviště	50
Obrázek 34: Výsledné pracoviště hromadného měření elektrod	51
Obrázek 35: Příklad vizualizace monitorování systémem Scada - čerpání vody [14].....	55
Obrázek 36: Příklad síťového rozhraní.....	56
Obrázek 37: Pracovní prostředí měřícího softwaru Metrosoft Quartis [18]	58
Obrázek 38: Pracovní prostředí programování robota v robot studiu [17].....	59
Obrázek 39: Analýza rizik naražení robotem	66
Obrázek 40: Příklad vyhodnocení analýzy rizik sevření chapadlem	67

Seznam tabulek

Tabulka 1: Fyzikální vlastnosti materiálu pro nástrojové elektrody [7]	15
--	----

1. Úvod

Cílem této práce je prozkoumání možnosti technického řešení zautomatizování hromadného měření elektrod pro elektrojiskrové stroje. K měření by mělo být využito souřadnicového měřicího stroje a robotického pracoviště pro snížení nároků na obsluhu a zamezení vzniku chyb.

Na samotném začátku práce je popsána technologie elektrojiskrového obrábění s plusy a mínusy tohoto způsobu opracování materiálu. Po vysvětlení dané technologie je podrobně popsán celý stávající výrobní proces výroby elektrod pro elektrojiskrové stroje, a to po jednotlivých dílčích krocích. Na základě takto sepsaného popisu, získaných vstupních informací a dat byla provedena celková analýza stávajícího výrobního procesu. V této analýze je zkoumáno, jaké jsou možnosti a způsoby využití souřadnicového měřicího stroje. Dále byl proveden rozbor využití robota a jeho analýza s ohledem na technickou proveditelnost a bezpečnost na pracovišti. Na základě těchto informací byl vytipován typ robota.

Po analýze vstupních dat a informací následuje definování formátu a obsahu vstupních dat tak, aby bylo možné celkový průběh zautomatizovat. Cílem tohoto definování obsahu je snaha o co nejjednodušší propojení více řízených strojů zapojených do výrobního procesu tak, aby přenos jednotlivých dat z dílčích operací probíhal plynule a zamezil vzniku nechtěných chyb, které způsobuje lidský faktor.

Na tuto část navazuje návrh robotické manipulace s elektrodami tak, aby se snížil požadavek na obsluhu a tím došlo ke snížení chybovosti. Robotické pracoviště navrhnout s ohledem na technickou proveditelnost, bezpečnost práce a cenové náklady. Po tomto návrhu následuje konstrukční práce na 3D projekci měřicího stanoviště a robotického manipulátoru. Zde je řešen zástavbový prostor, bezpečnost kolem robota a co nejplynulejší provoz.

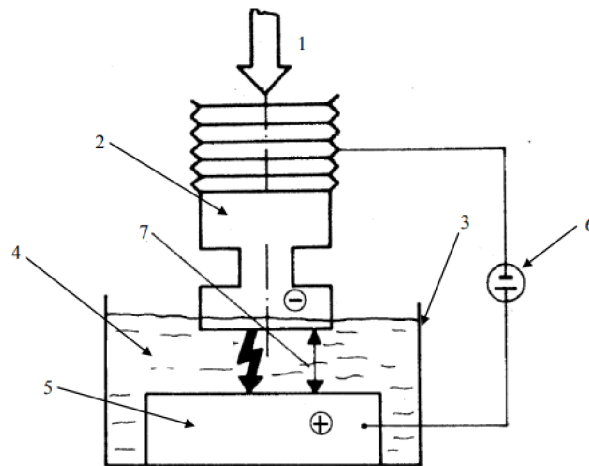
V poslední řadě je cílem nastínit způsob programování robota a motorizovaného souřadnicového stroje, rozvaha softwarového a hardwarového řešení pro tyto stroje a nadřazeného řídicího systému pro sladění strojů.

2. Průběh celého procesu

V samotném začátku této práce je popsán základní princip technologie elektrojiskrového obrábění. Jedná se o nekonvenční způsob obrábění, při němž se materiál odebírá drobnými elektrickými výboji (jiskrami), které vznikají mezi obrobkem a elektrodou v kapalném dielektriku. Pro technologii elektrojiskrového obrábění se používá zkratka EDM (Elektro Discharge Maschining). V dalších částech této kapitoly jsou popsány jednotlivé procesy dosavadního výrobního procesu elektrod, od samotného návrhu tvaru elektrod, jejich výroby, až po jejich samotné použití při elektrojiskrovém obrábění na hloubičkách.

2.1. Technologie elektrojiskrového obrábění

Elektrojiskrové obrábění nebo-li elektroerozivní obrábění spočívá v odebírání materiálu sérií výbojů (jisker), které řízeně vznikají mezi vodivým obrobkem a elektrodou jako nástrojem. Elektroda je obvykle připojená na záporný pól a obrobku se nedotýká. Mezi elektrodou a obrobkem je vždy malá mezera kapalného dielektrika. Kapalina dielektrika je má většinou vysoký elektrický odpor a je nejčastěji na bázi oleje nebo petroleje pro technologii elektrojiskrového hloubení. Pro elektrojiskrové řezání drátem je dielektrikum nejčastěji na bázi vody. V obou případech se však jedná o dielektrikum. Při obrábění dochází k pomalému přibližování elektrody k obrobku. K odebírání materiálu dochází v určité vzdálenosti od obrobku, kdy je v mezeře mezi elektrodou a obrobkem nahromaděná velká koncentrace energie (10^5 až 10^7 W.mm⁻²). Obrábění se provádí použitím elektrického výboje, který na povrchu obrobku vytvoří malý kráter a odebíraný materiál se z části odtaví a z části odpaří. K elektrickému výboji dochází ve vzdálenosti od 0,001 - 0,1 mm. Výboj se uskutečňuje pomocí rychlých impulzů, které se periodicky opakují. Dielektrikum v mezeře se musí stále vyměňovat, aby došlo k odplavení mikroskopických spalin a větších částic vzniklých při elektrojiskrovém obrábění. Na následujícím obrázku je popsáno schéma elektrojiskrového obrábění.



Obr. 2.1 - Schéma elektroerozivního obrábění [1]

1 - směr posuvu nástrojové elektrody, 2 - nástrojová elektroda, 3 - pracovní vana, 4 - dielektrikum, 5 - obrobek, 6 - generátor, 7 - pracovní mezera

Obrázek 1: Schéma elektroerozivního obrábění [7]

U moderních strojů jsou všechny jednotlivé osy, rychlosti pohybů a ostatní činnosti řízeny CNC řídicím systémem. Mezi ostatní činnosti řízení patří pracovní parametry generátoru, přívod dielektrika či automatické výměny nástrojů. Moderní stroje pracují s pulzním proudem určité frekvence, přičemž každý pulz je charakterizován napětím, tvarem a proudem[7]. Nastavením těchto parametrů lze regulovat rychlost odběru materiálu, ale i kvalitu a přesnost povrchu. Generátor má zpětnou vazbu, takže může automaticky korigovat nepravidelnosti, například nahodilý kontakt elektrody s obrobkem, a podle průběhu proudu řídí pohyby elektrody.

Elektroda se vyrábí nejčastěji z grafitu a z mědi, dále se využívá mosazného a wolframového polotovaru, případně jejich kombinací. Všechny materiály mají své výhody i nevýhody. Volba materiálu elektrody by měla probíhat na základě obráběného materiálu a použitého stroje. Níže jsou uvedeny fyzikální vlastnosti používaných materiálů na výrobu elektrod.

Tabulka 1: Fyzikální vlastnosti materiálu pro nástrojové elektrody [7]

Materiál	Bod tavení [°C]	Bod varu [°C]	Tep. vodivost (Ag=100%)	El. vodivost (Ag=100%)	Pevnost [N.mm ⁻²]	Modul pružnosti [N.mm ⁻¹ x 10 ²]
Grafit	3527	4027	30,3	0,1	34	5,9
Měď	1084,62	2562	94,3	96,5	241	124
Wolfram	3422	5555	29,6	48,1	41,3	351
Železo	1539	2861	16,2	16,2	275	186

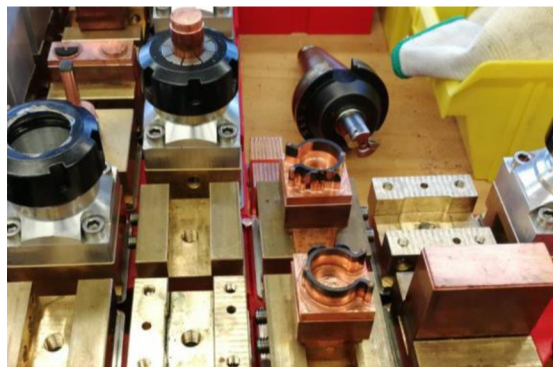
Grafitové elektrody se dobře obrábí, mají nízkou míru opotřebení a používají se k obrábění oceli. Značnou nevýhodou při jejich výrobě je velká prašnost. Při elektroerozivním obrábění s těmito elektrodami vznikají zplodiny, které zanáší a znečišťují zařízení.

Měděné elektrody jsou odolné vůči erozivnímu opotřebení, mají dobrou elektrickou vodivost a materiál se dobře obrábí. Používá se pro obrábění oceli, nerezavějících ocelí a wolframových karbidů. Dosahuje se nízké drsnosti obráběných ploch.

Wolframové elektrody jsou využívány na speciálních strojích s pulzy o malé energii. Obrábí se jimi slinutý karbid. Používají se pro výrobu malých děr.

Aby náklady na výrobu elektrod pro složité tvarové zápustky byly co nejnižší, je výhodné celkový tvar obráběné dutiny rozdělit do více elektrod. Volí se jednoduché tvary, které jsou snadněji a přesněji vyrobitelné, např. kruhy, čtverce a obdélníky.

Firma A.Raymond využívá pro výrobu elektrod měděný materiál. Přednosti popsané metody plynou hlavně z toho, že nástroj a obrobek se vzájemně nedotýkají a nepůsobí na sebe žádnými mechanickými silami, jak je to běžné u třískového obrábění. Proto lze obrábět i velmi jemné a složité tvary i z velmi tvrdých materiálů, například kalené oceli, slitin titanu atd. Tím se radikálně změnila kupříkladu technologie výroby nástrojů, které se dříve musely kalit až po obrobení. S elektroerozivním obráběním se tvary vyrábějí až po zakalení, takže žádná deformace nehrozí. Elektrojiskrové obrábění se využívá pro výrobu forem pro lití, na nástroje pro lisování plastů nebo na střížné nástroje. Elektrojiskrovým obráběním lze dosáhnout vysoké přesnosti a kvality povrchu, které se vyrovnají broušení. Na obrázku 2 jsou příklady tvarů elektrod.



Obrázek 2: Různé tvary elektrod

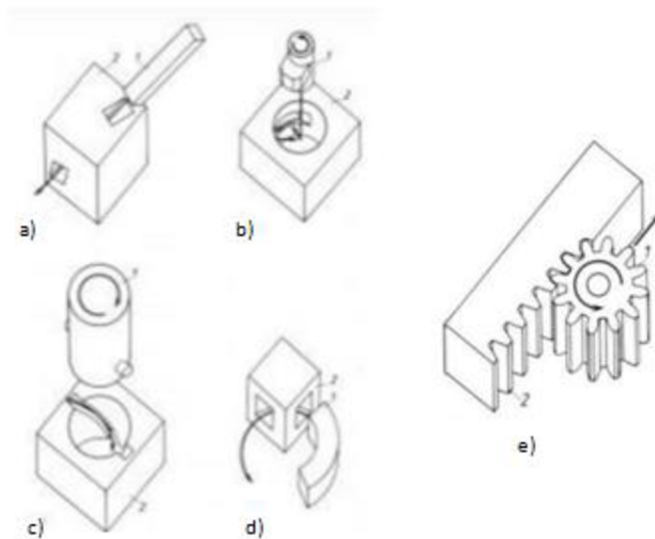
Výhody této technologie tedy jsou:

- obrábění těžko obrobitelných materiálů
- obrábění složitých tvarů, výroba čtvercových zakřivených děr
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické síly
- oproti třískovému obrábění mnohem menší odpad
- hrany obrobků bez otřepů
- velký rozsah drsností výsledného povrchu

Mezi nevýhody metody patří:

- pomalý odběr materiálu
- velká spotřeba energie
- pracnost s výrobou elektrod
- lze obrábět pouze elektricky vodivé materiály

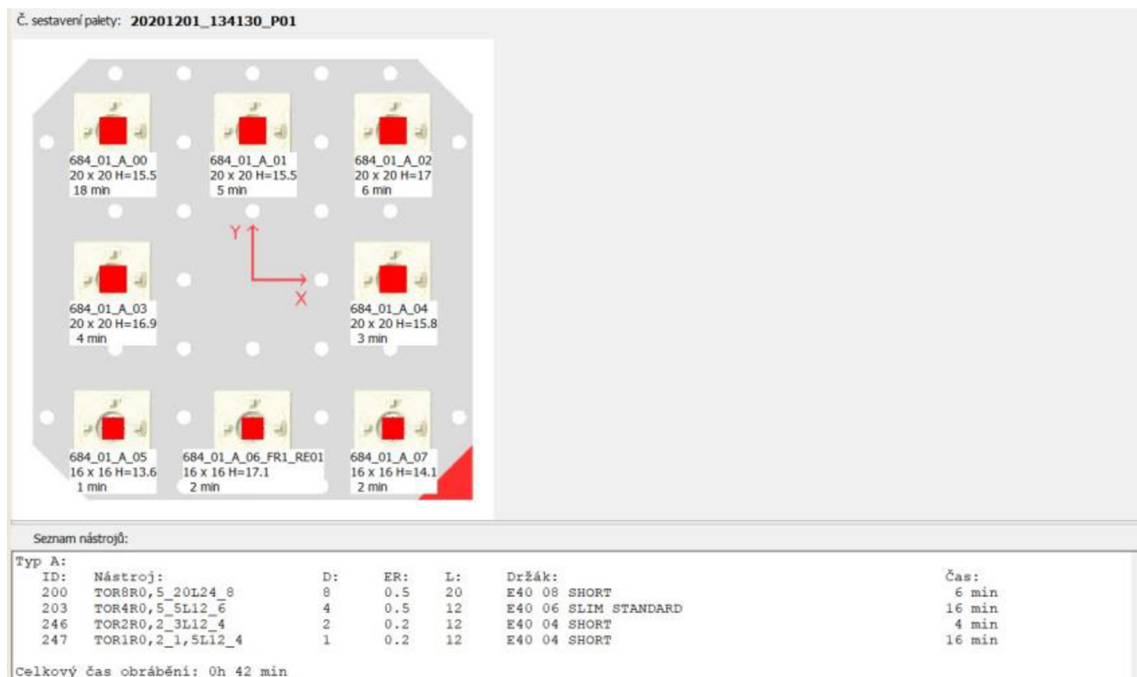
Možnosti výroby složitých tvarových částí nekonvenční metodou obrábění jsou zobrazeny na obrázku 3.



Obrázek 3: Výroba povrchů kombinací tvaru a pohybů nástrojové elektrody a) průchozí nekuhová díra, b) uzavřená dřážka, c) drážka ve šroubovici, d) díra ve tvaru části kruhového oblouku, e) ozubený hřeben - (1- nástrojová elektroda, 2 - obrobek) [7]

2.2. Návrh elektrod

Na samotném začátku vzniká zakázka na výrobu nějakého nástroje nebo formy. Aby se forma mohla vyrobit, je třeba navrhnout správné tvary elektrod. Na každou tvarově odlišnou drážku, kapsu nebo tvarovou zápustku je většinou potřeba pokaždé jiná elektroda a ty se liší výsledným tvarem a velikostí pro obrábění. Z tohoto důvodu se používá více druhů polotovarů. Konstruktor si v CAD programu modelu formy označí plochy dané tvarové drážky, vytvoří negativ této drážky a pak jej doplní o podstavec elektrody a rámeček sloužící pro její snadné proměření. Tvar elektrody se zmenší o podrozměr, tedy o kolik je menší než skutečný tvar drážky ve formě. Dále se zde pracuje s jiskrovou mezerou, která se v závislosti na pracovních podmínkách mění. Pro elektrojiskrové obrábění se většinou vyrábí elektrody hrubovací a na čisto. Hrubovací elektroda je trochu menší a používá se pro prvotní odebrání co největšího množství materiálu za co nejkratší čas. Nechává se zde přídavek na dokončovací obrábění na čisto.



Obrázek 4: Stávající seřizovací list palety[15]

Konstruktor dále určí, z jakého materiálu bude elektroda vyráběna a jak velký polotovar na to bude potřeba. Navržené elektrodě přiřadí jedinečný název. V CAD/CAM softwaru vznikne výrobní program pro frézování polotovaru elektrody.

Stejným principem se pokračuje u dalších děr a drážek ve formě. Když jsou navrhnuty všechny potřebné elektrody, vyhotoví seřizovací list palety pro následné obrábění všech navržených elektrod, viz výše obrázek 4. Všechny tyto podklady jsou ukládány do složky na přístupném serveru. Seřizovacím listem rozumíme daný požadavek na výrobu požadovaných elektrod.

2.3. Výroba elektrod

Elektrody pro elektrojiskrové stroje se vyrábějí z měděného nebo grafitového polotovaru, záleží, pro co se pak přesně elektroda používá a jak velkého rozměru bude. Využívanou technologií pro výrobu elektrod je technologie třískového obrábění, zde je nejvíce zastoupeno frézování polotovaru. Polotovar na jejich výrobu může být různého tvaru a velikosti, avšak nejčastěji se používají měděné hranoly a válcové tyče. Pro výrobu elektrod se využívá frézovacího centra MIKRON MILL S 400 od firmy +GF+ znázorněného na následujícím obrázku.



Obrázek 5: Frézovací centrum +GF+ MIKRON MILL S 400 [12]

Seřizovacím listem od konstruktéra na výrobu elektrod dostává obsluha obráběcích strojů veškeré potřebné informace. Tou první, kterou obsluha hledá, je stav o zaplněnosti palety a rozměrech polotovarů, ze kterých se budou elektrody frézovat.

Ze seřizovacího listu označeného výrobním kódem například 20201201_134130_P01 je na první pozici elektroda z polotovaru hranol 20x20 mm a s výškou založení $H=15,5$ mm. Tato výška určuje, jak má být polotovar minimálně vysunut z držáku elektrod, aby nedošlo při následném frézování ke kolizi frézy s držákem elektrod. Po založení polotovaru do držáku a dodržení správné výšky vysunutí se polotovar v držáku dotáhne pomocí šroubů. Od této chvíle je polotovar s daným držákem pevně spojen, až do okamžiku jejího vyřazení po použití jako nástroje pro elektrojiskrové obrábění. Důvodem je co nejmenší prostor pro nepřesnost při elektrojiskrovém obrábění. Tato sestava se rozdělí až po použití při elektrojiskrovém hloubení. Sestava držáku elektrod s polotovarem se následně vloží do odkládacího plastového rámečku. Dle seřizovacího listu jsou složeny další sestavy polotovarů, které se následně stejným způsobem připraví a vloží do odkládacích rámečků.

Když jsou všechny požadované elektrody připravené, umístí se podle seřizovacího listu do správných upínačů na paletě ve frézovacím stroji. Příklad prázdné palety pro hromadné obrábění elektrod je vidět na obrázku 6. Na paletě jsou umístěny mechanické upínače držáku elektrod.



Obrázek 6: Pracovní paleta pro hromadné frézování elektrod

Když je paleta osazena polotovary dle seřizovacího listu, dojde ke zjištění přesných pozic založení na paletě. Pro tuto činnost se používá kontaktní sonda k proměření všech osazených pozic, dále k proměření skutečných rozměrů vsazených polotovarů a jejich výšky založení. V seřizovacím listu je seznam potřebných nástrojů a jejich držáků pro vyrobení požadovaných elektrod. Je zde i informace o čase obrábění, například pro polotovar na pozici jedna je čas obrábění 18 minut.

Po načtení všech frézovacích programů je stroj připraven k ofrézování elektrod, po něm se na elektrody nalepí výrobní štítek, pro každou elektrodu jedinečný. Po nalepení těchto štítků se elektrody přendají na odkládací paletu nebo se odloží do plastových odkládacích misek, kde tyto obrobene elektrody zůstanou do dalšího procesu.

2.4. Proměření elektrod

Před samotným použitím vyrobených elektrod při elektrojiskrovém obrábění musí dojít k jejich proměření. Měření se provádí z důvodu zmenšení nepřesnosti při elektroerozivním obrábění. Proměření vyrobených elektrod probíhá na hloubicím stroji Exeron EDM 312, který je vidět na obrázku 7. Zde na stroji probíhá i samotné elektrojiskrové obrábění. Vyrobená elektroda se vloží do upínacího podstavce pracovního stolu stroje. Do vřetena se upne kontaktní měřící sonda a provede se oťukání stran ofrézovaného rámečku, ze kterého se určí přesná pozice elektrody a její případné natočení, dále se změří výšková pozice ofrézovaného rámečku. Z proměření vyrobených elektrod jsou zjištěny jejich skutečné rozměry. Ke stávajícím parametrům se vytvoří tabulka korekcí, která upraví nastavené parametry daných elektrod ve výrobním programu. Změřená elektroda se založí do zásobníku hloubičky. Tímto způsobem proběhne měření všech elektrod potřebných pro výrobu všech tvarových kapes a drážek na daném vyráběném dílu.



Obrázek 7: Elektroerozivní hloubička Exeron EDM 312

2.5. Elektrojiskrové obrábění

Po proměření elektrod se založí polotovar obráběného dílu, následně u něj dojde k proměření a určení pozice a rozměrů. Obsluha stroje napíše program pro elektrojiskrové obrábění. Se spuštěním programu se přes pracovní stůl vysune vana s dielektrickou kapalinou, sjeďte vřeteno s elektrodou dle vytvořeného programu začne elektrojiskrové obrábění. K výměně nástrojů dochází automaticky. Vana s dielektrikem se zasune, dojde k automatické výměně nástroje ze zásobníku a poté se vana opět vysune a obrábění probíhá dál. Když je opracovávaný polotovar hotov, dojde k jeho uvolnění a vyjmutí z pracovního stolu. Hotová forma nebo nástroj je připraven ke svému využití ve výrobě.

3. Analýza vstupních dat a informací

Tato kapitola je věnována analýze všech vstupních dat a informací, která mají nějaký význam pro průběh procesu. Hlavně se tato část věnuje analýze procesu okolo měření elektrod. Analyzovaný proces nastává po vyrobení elektrod, kdy dochází k jejich proměření až po jejich použití jako nástrojů při elektrojiskrovém obrábění. Požadavkem je automatické proměření 20 kusů elektrod, a to nejlépe bez zásahu člověka. V tuto chvíli se hromadně frézuje maximálně 8 kusů elektrod, paleta pro založení 8 kusů elektrod je zobrazena na obrázku č. 5. Pro zautomatizování procesu by zde byla možnost využití souřadnicového měřicího stroje Wenzel, který je prozatím využit v jiné laboratoři firmy. Do budoucna je plán stroj přesunout do obráběcí dílny k frézce a hloubičce.

3.1. Práce konstruktéra a obráběče

Konstruktér dostane zakázku a dle požadavků na obrábění nakreslí potřebné elektrody a vytvoří seřizovací list palety na výrobu daných elektrod. Na tomto seřizovacím listu jsou důležité informace pro následující operace, jsou zde podklady o každém polotovaru elektrody, jeho velikosti, pozici, výšce vysunutí v držáku. Je zde informace o počtu obráběných elektrod a jejich umístění na dané paletě. V neposlední

řadě samotné označení elektrody pomocí výrobního štítku. V CAD/CAM programu vytvoří program pro obrábění polotovarů elektrod. Dále je provedena kontrola kolizí mezi všemi elektrodami a v neposlední řadě je vytvořen ještě měřicí program pro danou elektrodu. Toto celé je uloženo na serveru do vytvořené složky pojmenované po dané paletě a konkrétní elektrodě. Každá složka představuje výrobní zakázku. Nachází se v ní seřizovací list jedné či více palet, najížděcí list všech elektrod, dále frézovací program pro jejich výrobu, seznam štítků pro dané elektrody a měřicí programy pro souřadnicový měřicí stroj. Podle pro sebe potřebných informací obráběč sestaví polotovar elektrod do držáku, nalepí výrobní štítek na správnou stranu sestavy a založí do pracovní palety frézovacího centra. Z výrobního štítku musí být daná elektroda kdykoliv identifikovatelná. Štítek musí být čitelný a jasně definovatelný, kteroukoliv zaškolenou obsluhou nebo později i případným strojem pomocí čtečky. Jelikož se jedná o citlivou interní informaci je tento štítek pro polo a plně automatickou výrobu pouze jednoduše nastíněn.



Obrázek 8: Příklad výrobního štítku elektrody

Na výrobním štítku horní řádek obsahuje několik dalších informací pro všechny operace výroby. První část kódu je složena z čísla zakázky, zakázkového listu, tvaru elektrody a revize elektrody. Dále číslo **0879_01_00A** představuje samotný název dané elektrody. Druhá část kódu obsahuje technologické informace pro hloubení a měření.

První ze tří spodních okének uvádí již dříve zmíněné informace o názvu výrobní palety, do které daná elektroda patří. Dále je zde označena velikost polotovaru a nejmenší výška jeho vysunutí. Prostřední okno je QR kód obsahující již zde zmíněnou informaci pro hloubení, obsahuje tedy název elektrody pro hloubení a měření, například **0879_01_00A_2D010**. Okno vpravo obsahuje vizuální oblast založení elektrody do pracovní palety. Z tohoto znázornění je snadné určit pozici v paletě.

Aktualizovaný štítek by měl umožnit bezproblémové předávání informací mezi stroji a ulehčit tak budoucí přechod na poloautomatickou výrobu.

Po nalepení výrobního štítku na elektrody nahraje obráběč měřící program pro určení přesných frézovacích pozic v paletě. Posléze nahraje frézovací program a spustí proces frézování. Po ofrézování dojde k odložení všech frézovaných elektrod do odkládací palety, pozice jsou určeny výrobním štítkem. Správně navržený štítek by, i přes obsažení všech potřebných informací, měl umožnit rychlou orientaci a jednoduché podání dané informace. Tímto by se měla tendence pro vznik chyby snížit.

S náhledem do budoucnosti by bylo možné pár operací předat stejnému robotovi, který by prováděl měření elektrod. Jednalo by se o vkládání již složených elektrod s držáky do frézovacího centra a jejich následné odebírání a přendávání na odkládací paletu. Zde by musel být robot umístěn na koleje, tedy další řízenou osu. Záleží na budoucím umístění těchto využívaných strojů, ale tato problematika již není cílem práce.

3.2. Vstupní informace po vyrobení elektrod

Základní vstupní informace pro následnou operaci měření je založená paleta s vloženými elektrodami čekající na proměření. Paleta může obsahovat až 20 elektrod pro následné změření. Vstupní informací je tedy paleta s elektrodami a měla by být bez zásahu člověka změřena. Z toho vyplývá, že bude nutné tuto paletu, respektive založené elektrody ověřit, zda jsou na správných místech. Když by robot nepřčetl elektrodu a vzal by ze správné pozice špatně založenou elektrodu, mohlo by dojít buď ke kolizi při měření mezi sondou a elektrodou nebo k nahrání špatných korekcí k vybrané elektrodě, a tedy i vyrobení špatného dílu. Z tohoto důvodu bude nutné usadit na koncové rameno robota čtečku štítku, čímž by se ověřila identita skutečné elektrody založené na dané pozici. Určení, že je dané místo na paletě zaplněno vyrobenou elektrodou, je možné několika způsoby. Buď ke každé pozici přiřadit snímač, který by detekoval obsazenost, přičemž tento způsob by vyžadoval velké množství sensorů, například indukčních snímačů. Další variantou je mít snímač na rameni robota. Robot si nejdříve najede k elektrodě snímačem, po zjištění, že je skutečně na odebíracím místě

vložena elektroda, by na koncovém rameni otočil hlavu, čtečkou přečetl elektrodu a odebral ji. Tato možnost je též komplikovaná, časově náročnější a s velkou pravděpodobností by snímač překážel při odebírání ze zaplněné palety. Třetí jednoduchou možností je využití samotné čtečky, která bude umístěna též na hlavě robota, jelikož je potřeba k ověření správné elektrody. Pokud by robot čtečkou štítek na dané pozici nenašel, znamenalo by to, že tam buď elektroda není nebo štítek nebyl nalepen. V takovém případě by musela pomoci obsluha. Bez správně přečtené elektrody není možné provést měření. Čtečku lze umístit i na pevný držák mezi podstavec robota a měřicí stroj. Robot by po odebrání elektrody následně s uchopenou elektrodou zamířil k této čtečce. Zde by se ušetřilo zatížení robota o váhu čtecího zařízení. Hmotnost čtečky činí 98 g a je teoreticky zanedbatelná, je ale nutné k tomu připočítat ještě váhu držáku na její pevné přichycení k robotu. Místo uchycení nesmí nijak překážet uchopeným elektrodám různých tvarů a velikostí. Umístění čtečky je tedy nakonec zvoleno pevném držáku na podstavci robota.

Jako základní informace pro správné založení a čtení elektrod se jeví názvy založených elektrod pro hloubení a pozice v paletě. Další informace jako je počet elektrod a název založené zakládací palety určí obsluha při výběru měřicího programu.

Na měřicím stroji to bude jiné. Na upínači pro měření elektrod by bylo vhodné využít snímače, který by signalizoval skutečný stav předání elektrody mezi robotem a upínačem měření a správnost jejího upnutí. Díky této signalizaci by bylo předání elektrod plynulejší a mnohem bezpečnější. Navíc v případě vzniku nějaké chyby by bylo mnohem jednodušší zjistit, kde je případný problém.

3.3. Měřicí souřadnicový stroj Wenzel LH 54

Proměřování elektrod je velmi důležité pro správné nastavení korekcí elektrod před elektrojiskrovým obráběním. Z časového hlediska je proměřování nevýrobní činnost, po kterou elektrojiskrový stroj neobrábí a tedy nevydělává.

Měření elektrod je zde navíc pomalé. Celé měření na stroji ovládá člověk, který zároveň do stroje zadává i případné korekce hodnot měřených elektrod. Je zde hodně

možností, kde lze snadno udělat chybu. Například se jedná o přehlednutí a zapsání špatných korekčních hodnot. Dále je zde zapotřebí obsluhy, která by mohla tento čas využít pro jinou část výrobního procesu. Z těchto důvodů je požadavkem měření elektrod zautomatizovat. Pro měření vyrobených elektrod by proto měl být využit motorizovaný souřadnicový měřicí stroj značky Wenzel typu LH 54. Jedná se o tříosý měřicí stroj, tedy stroj měřicí ve 3D prostoru. Tento byl firmou zakoupen v květnu roku 2005 pro přesné proměření nástrojů, forem a dalších různých dílů. Na následujícím obrázku je vyfocen daný stroj Wenzel LH 54. Zobrazený SMS využívá mostové konstrukce.



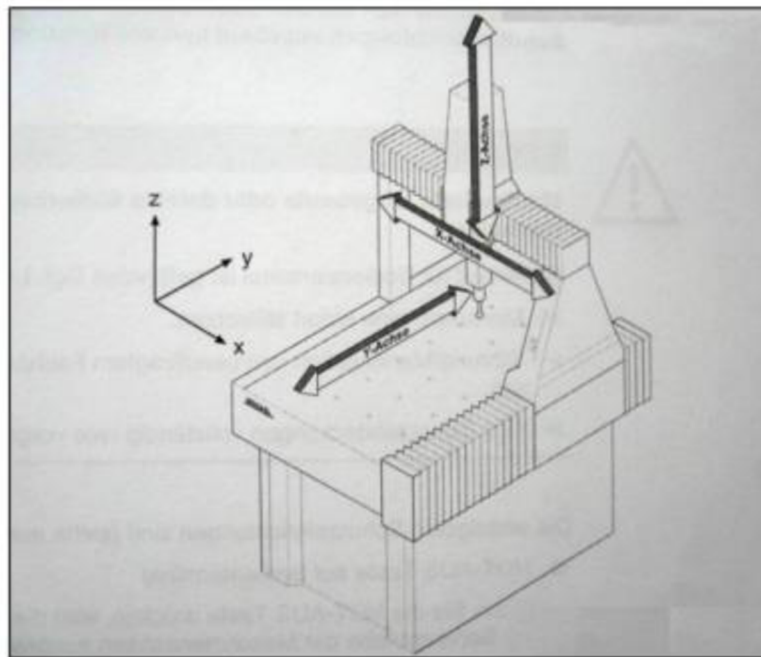
Obrázek 9: Motorizovaný souřadnicový měřicí stroj Wenzel LH 54

Hlavními technickými parametry souřadnicového měřicího stroje je jeho velikost a přesnost měření. Velikost stroje je určena třemi hodnotami, každá z nich definuje rozměr v dané ose, ve které je stroj schopen měřit. Pro stroj LH 54 jsou rozsahy os následující: pro osu X je to 500 mm, pro osu Y je to 1000 mm a pro osu Z činí tato hodnota 400 mm. Tyto hodnoty definují maximální velikost měřeného prostoru. Velikost desky měřicího stolu je větší, lze tedy založit i větší díly a proměřit jen části daného dílu. Celkové rozměry souřadnicového stroje jsou: šířka stroje je 1050 mm, délka stroje je 1720 mm a výška dosahuje 2280 mm. Na pracovní granitovou desku lze umístit díly o maximální hmotnosti 200 kg.

V pracovní desce jsou otvory se závity pro zjednodušení uchycení různých dílů pomocí šroubů a upínek. Stroj je schopen měřit s přesností 0,001 mm. Dalším důležitým parametrem je nejistota měření MPE_e [μm] činí $2,5 + L/300$ a u MPE_p [μm] činí 2,5.

Dalším parametrem je maximální rychlost pro najetí do měřících bodů. Posuvná rychlost ve 3D prostoru činí 0,7m/s, zrychlení ve 3D prostoru je 2m/s^2 . Proměrování elektrod na tomto měřícím stroji by mělo být mnohem rychlejší a s podobnou přesností jako na stroji pro elektrojiskrové obrábění.

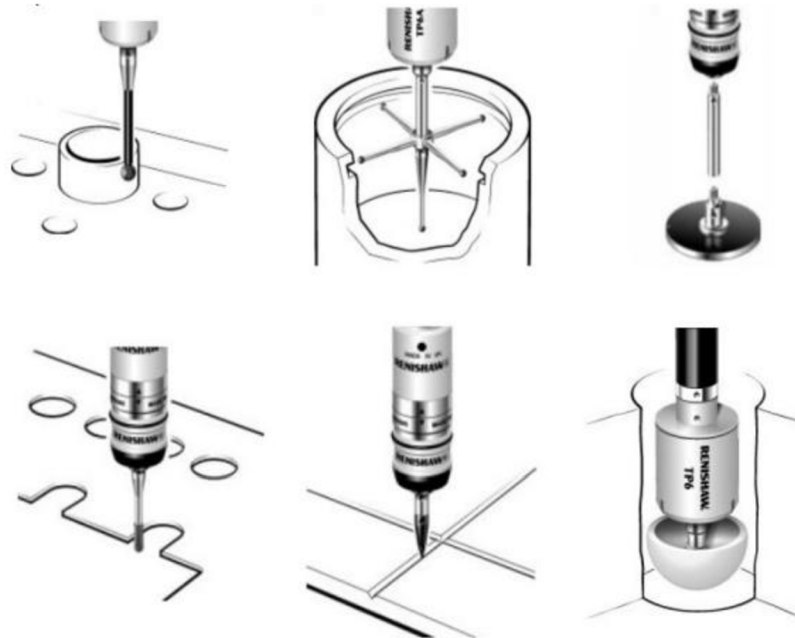
Souřadnicový měřící stroj je možné ovládat v několika režimech. V ručním režimu se stroj ovládá buď pomocí joysticku nebo povely v ovládacím programu, v automatickém pak stroj najíždí do pozic a měří dle vytvořeného CNC programu. Na obrázku 10 je souřadnicový systém stroje.



Obrázek 10: Souřadnicový systém měřícího stroje, dle [11]

Do nepostradatelného vybavení těchto strojů patří snímací hlavice. Stroj je vybaven spínací sondou TP200. Tato hlavice může být vybavena různými doteky, které mohou být mechanické, optické nebo elektronické. Mechanické snímací hlavy jsou v podstatě pevné měřící doteky. Nejvíce využívaný mechanický dotek je kulovitého tvaru. Pomocí kulového doteku se dá proměřit nejvíce různých proměřovaných tvarů.

Dotekem se měří jak v jeho ose tak i ve směrech kolmo na tuto osu. Různé doteky jsou využívány pro měření odlišných tvarů, děr a dutin různých dílů. Jejich příklady jsou zobrazeny na obrázku č. 11.



Obrázek 11 : Mechanické doteky měřících sond, dle [5]

Pro námi potřebnou aplikaci bude nejvhodnější měřící sonda s pevným kulovitým dotekem, která je zobrazena na předchozím obrázku vlevo nahoře. Měřící stroj dále obsahuje počítač, řídicí systém a manuální ovládání.

Řídicí systém u tohoto stroje je WPC2040/3 HT 400. Využívaný stroj je vybaven softwarem Metrosoft Quartis X3 R16. Tento systém bude dále v této práci ještě probrán v souvislosti se zautomatizováním procesu měření a komunikace s robotem.

3.4. Rozvaha automatizace

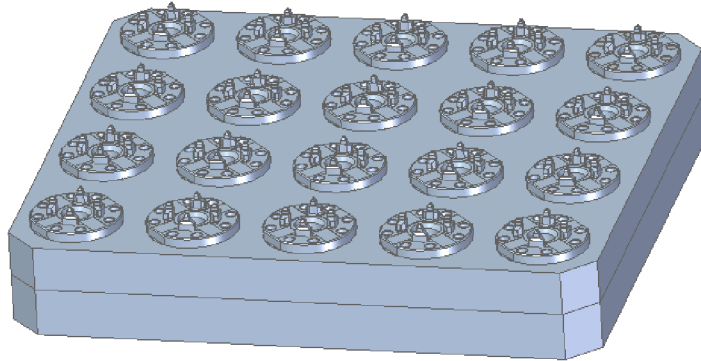
Zde se práce věnuje rozvaze o možnostech zautomatizování měření a správném využití měřícího stroje při proměřování elektrod. Možností, jak využít daný souřadnicový stroj, je více. Ovládání či obsluhování měřícího stroje je zkoumáno jak s využitím obsluhy, tak i při použití robota. Na základě provedené analýzy by měl být vybrán jeden princip implementace souřadnicového měřícího stroje.

3.4.1. Obsluha člověkem

První možností, jak by mohlo měření probíhat, je ten, kdy by obsluha založila ofrézovanou elektrodu do upínače pevně umístěného na desce souřadnicového měřicího stroje. Dále by do universálního programu zadala rozměry elektrody, natočení elektrody a samozřejmě její výrobní číslo napsané na výrobním štítku. Poté by spustila proces měření. Ten by již byl automatický, kde by se samočinně přizpůsobil podle velikosti založené elektrody. Souřadnicový stroj by provedl proměření a výpis korekcí rozměrů elektrod. Vyšší pojezdové rychlosti souřadnicového stroje by proces měření, oproti stávajícímu použití hloubičky pro měření, zrychlilo, ovšem bylo by zde zapotřebí nějaké obsluhy, která by postupně odebírala a zakládala vyrobené elektrody dle seřizovacího listu palety. V tomto případě by využití obsluhy bylo chvilkové a s přestávkami. Nepředpokládá se, že by obsluha stihla o těchto přestávkách jinou práci. Bylo by dosaženo zrychlení procesu měření, ale bohužel s neekonomickým využitím člověka. Z tohoto důvodu tato varianta postrádá smysl.

V další variantě by se na desku měřicího stroje umístila paleta podobná paletě ve frézovacím stroji, na které by bylo dvacet pozic pro měřené elektrody. Zde by obsluha postupně založila vyrobené elektrody do prázdných pozic palety, přičemž pozice elektrod by byly dány seřizovacím listem palety. Po založení všech požadovaných elektrod by se spustil automatický měřicí program, který by se upravoval v závislosti na počtu založených elektrod, využitých pozic a velikostí daných elektrod. Na konci měření by vznikl výpis korekcí pro jednotlivé elektrody. I zde by bylo zapotřebí obsluhy, avšak s rozdílem jejího využití. V tomto případě by obsluha byla potřeba jen na začátku před samotným měřením a po jeho ukončení. Při samotném měření by zde byla možnost využít obsluhu jinde. Bohužel by zde bylo zapotřebí 20 pracovních měřících pozic na usazené měřící paletě. Měřící paleta by navíc zmenšovala využitelný prostor na měřící desce pro případně ruční měření různých dílů. Využití ať už dvaceti kusů mechanických nebo pneumatických upínačů na měřící pozice je z finančního pohledu neekonomické. Při orientační ceně 20000/ 30000,- za kus to za celou měřící sadu znamená investici v řádu až půl milionu. Další nevýhodou by mohla být špatná ergonomie zakládání elektrod do této palety a pravděpodobná chybovost lidského faktoru. Byl by zde velký počet přesazování vyrobených elektrod mezi

paletami. Snížením tohoto rizika by byl velký posun. Níže je příklad palety pro hromadné měření elektrod v paletě na SMS. Paleta obsahuje pneumatické upínače, z důvodu menšího zástavbového prostoru.



Obrázek 12: Příklad palety pro hromadné měření elektrod při ručním zakládání obsluhou

3.4.2. Obsluha robotem

Zapojením robota do tohoto procesu by se výrobní proces zautomatizoval a zmenšil by se počet pracovních úkonů, ve kterých by mohlo dojít k chybě, což je nespornou výhodou. Dále se měřicí proces může pustit kdykoliv, například i po pracovní době, jelikož robot může pracovat neomezeně. Náklady na pořízení robota a potřebných dílů jsou sice značné, ale v dnešní době se do automatizace převádí postupně v podstatě vše, co jednoduše jde. Z dlouhodobého hlediska se předpokládá návrat investic v různých formách. Především v nezabírání člověka a hloubičky při pomalém měření na tomto stroji. Snížením prostoru pro vznik chyby a tím pádem předcházením nežádoucím opravám nebo opakovaným výrobním příkazům.

Následuje orientační výpočet nákladů firmy na daného zaměstnance, kterého by při zautomatizování části výrobního procesu mohlo buď ušetřit nebo využít jinde. Do výpočtu je brán zaměstnanec jednosměnného provozu s orientačním průměrným platem.

Průměrná mzda zaměstnance činí 35 000 Kč.

Zdravotní pojištění placené zaměstnavatelem $35\,000 \times 9\% = 3150$ Kč

Sociální pojištění placené zaměstnavatelem $35\,000 \times 24,8\% = 8680$ Kč

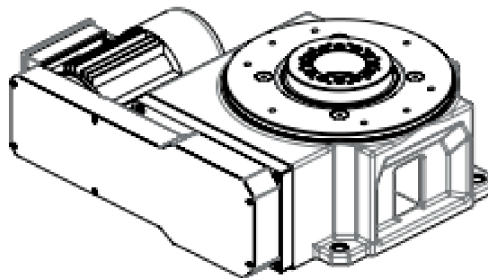
Mzdové náklady zaměstnavatele na daného zaměstnance jsou $35\ 000 + 3150 + 8680 = 46\ 830$ Kč měsíčně. Určený zaměstnanec samozřejmě není využit jen pro pracoviště měření. Je využit jen částečně, a to poměrem $1/8$. Představuje to, že z osmihodinové směny měří elektrody 1 hodinu. Což odpovídá 5854 Kč. Dále je nutné vzít v potaz, že proměřování elektrod na elektrojiskrovém stroji zdržuje stroj od dřívější výroby.

U zautomatizování procesu měření elektrod je též více možností, jak využít spolupráce robota a souřadnicového měřicího stroje. První možností je využívat robota pro postupné zakládání elektrod. Robot by odebral jednu elektrodu z palety s vyrobenými elektrodami, po uchopení by ji založil do upínače uchyceného na měřicím stroji. Po změření elektrody by ji odebral a založil zpět do palety. Z palety by odebral druhou elektrodu a přemístil ji k proměření. Tímto způsobem by se to opakovalo, než by došlo k proměření všech ostatních elektrod.

Druhou možností je postupné odebírání všech elektrod a založení je do upínačů na měřicím stroji, kde by následně došlo k jejich proměření. Po něm by je robot zpět přendal do palety. Časové využití robota u těchto způsobů je sice rozdílné, avšak z hlediska nákladů na robota nebo jeho použití je stejné. Robotu je jedno, zda má prostoje rozkouskované nebo sloučené v jeden větší prostoj. Největší rozdíl je tedy v nákladech na pořízení upínačů elektrod pro hromadné měření vyrobených elektrod na měřicím stroji.

Další možností by bylo využití dvoupolohového otočného stolu na pracovní desku měřicího stroje. Otočný stůl neboli karusel by obsahoval 2 upínače pro založení elektrod. Díky tomuto otočnému stolu by robot založil první elektrodu do prvního upínače otočného stolu. Stůl by se otočil o 180° a došlo by k proměření vložené elektrody. Mezitím, co by měřicí stroj prováděl měření, by robot odebral z palety další elektrodu a vložil ji do druhé pozice karuselu. Po změření by se stůl opět otočil o 180° . Stroj by začal proměřovat druhou elektrodu a robot by odebral proměřenou elektrodu z první pozice, založil ji do palety, uchopil jinou a založil ji do první pozice na otočném stolu. Díky využití otočného stolu by odpadlo vzájemné čekání obou zapojených strojů. Snížily by se doby měření a zvýšila by se produktivita, jelikož by na sebe stroj a robot nemusely navzájem čekat. Zároveň by si vzájemně nepřekážely, jelikož by měl každý

stroj svou vlastní pracovní pozici. Na obrázku č.13 je zobrazen otočný stůl. Elektrody je potřeba měřit s přesností na tisíce milimetru a u této varianty je měření citlivější na otáčení stolu či při zakládání a odebírání elektrody. Po každém otočení musí být ve stejné pozici, drobná odchylka otočení stolu se přenesou do přesnosti měření a dále do vyráběného dílu. Při zakládání elektrody robotem do prázdné pozice měření by mohly vzniknout drobné vibrace, což by mohlo ovlivnit probíhající měření na druhé pozici. Měřicí pozice musí být tuhá a přesná, jakákoliv vibrace či nepřesnost otočení má vliv na měření. Dále jsou zde náklady na otočný stůl a druhý upínač pro druhou pozici měření. Pořizovací cena zmiňovaného karuselu je 68000,- v tuto chvíli není opodstatněná.



Obrázek 13: Dvoupolohový stůl TC120G-CB [3]

Porovnáním výše uvedených způsobů využití souřadnicového měřicího stroje se dosáhne nejvhodnějšího principu jak implementovat a využít měřicí souřadnicový stroj.

V prvním principu je měřicí stroj obsluhován člověkem. Obsluha založí elektrody do upínačů na měřicím stroji, maximálně však 20 kusů, poté dojde k hromadnému automatickému proměření. Následně je obsluha zpět přendána do palety.

Ve druhém principu robot zakládá elektrody vždy po jedné do jednoho určeného upínače umístěného na měřicím stroji. Zde spolu úzce komunikuje řídicí software měřicího stroje s robotem. Největším zásadním rozdílem mezi těmito dvěma variantami využití měřicího stroje jsou počáteční a průběžné náklady. U první varianty jsou počáteční náklady na pořízení 20 kusů upínačů a do průběžných nákladů patří mzdové náklady na zaměstnance.

Ve druhé variantě do počátečních nákladů patří hlavně cena za pořízení robota a programové práce na komunikaci mezi robotem a souřadnicovým strojem. Do průběžných nákladů lze zařadit servisní náklady na údržbu robota. Na desku

souřadnicového stroje je třeba umístit zkušební etalon pro budoucí automatickou kalibraci. Při automatizaci by se mohl zautomatizovat i proces kalibrace souřadnicového stroje.

3.5. Výběr robota

Na trhu existuje velké množství robotů, které se dají rozdělit podle různých kritérií do několika skupin. Mezi roboty lze zařadit například i kuchyňského robota, robotický vysavač nebo leteckého autopilota. V této práci se však bude řešit jen oblast průmyslových robotů. Pod pojmem průmyslový robot se dá najít mnoho různých konstrukcí a způsobů využití. Výběr správného robota je vždy důležitý, nejedná se o levný produkt nebo jednoduchou strojní součást, která se dá lehce vyrobit. Pokud se vytipuje špatný robot, může být výsledek neuspokojivý a jiné řešení pak mnohem nákladnější. Z tohoto důvodu je níže pro začátek uveden stručný rozbor různých druhů robotů.

Rozdělení průmyslových robotů dle konstrukce a využití:

- Delta roboty
- Šestiosé roboty
- Lakovací a Svařovací roboty
- Paletizační roboty
- Scara roboty
- Kartézské roboty
- Spolupracující roboty

V následujících řádcích jsou krátce popsány jejich základní parametry, určení, jaká je jejich výhoda, či nevýhoda a případně další doplňující informace.

Delta roboty jsou určeny pro malé a lehké předměty, jejich konstrukce se skládá ze tří paralelních ramen s pojených s universálními klouby. Vypadají jako pavouk robot. Vynikají vysokou rychlostí a přesností. Využívají se v potravinářství, například při balení. Roboti typu delta jsou zpravidla podvěšeny a nejčastěji umístěny ve výšce okolo 2 metrů.



Obrázek 14: Delta robot - ABB IRB 360 [8]

Víceúčelové roboty jsou nejvíce rozšířeným typem robotů, mají široké spektrum využití a vysokou výrobní kapacitu. Využívají čtyři až šest os. Využívají se jak pro drobnou manipulaci, tak pro manipulaci s břemeny o váze až 1 tuny.



Obrázek 15: Víceúčelový robot ABB IRB 1200 [8]

Lakovací a svařovací roboty se využívají v lakovnách a svařovnách pro velké výrobní série. Eliminují zdravotní rizika. Vyrábějí se v různých velikost. Kvůli různým krycím návlekům a speciálnímu vybavení mají omezený pracovní pohybový prostor. Prakticky to je víceúčelový robot s návleky či svářečkou.



Obrázek 16: Lakovací robot IRB 52 [17]

Scara roboty jsou využívány pro snadnou manipulaci a precizní montáž. Disponují vysokou rychlostí, zrychlením a přesností zakládání. Většinou se používají pro drobnější díly. Scara roboty disponují zpravidla třemi osami rotace a jednou výškovou osou.



Obrázek 17: Scara robot - ABB IRB 910SC [8]

Kartézské roboty umožňují lineární pohyb po osách x,y,z . Kovová konstrukce slouží jako rám, který definuje jednotlivé osy. Pracovní prostor je uvnitř konstrukce. Typ konstrukce podobný měřicímu souřadnicovému stroji. Disponuje třemi lineárními osami a jednou rotační na vřetenu. Díky této konstrukci je robot velmi flexibilní ohledně rozměru lineárních os. Využívá se pro manipulaci s malými předměty. Na druhé straně může být zautomatizovaný mostový jeřáb.



Obrázek 18: Kartézský robot [10]

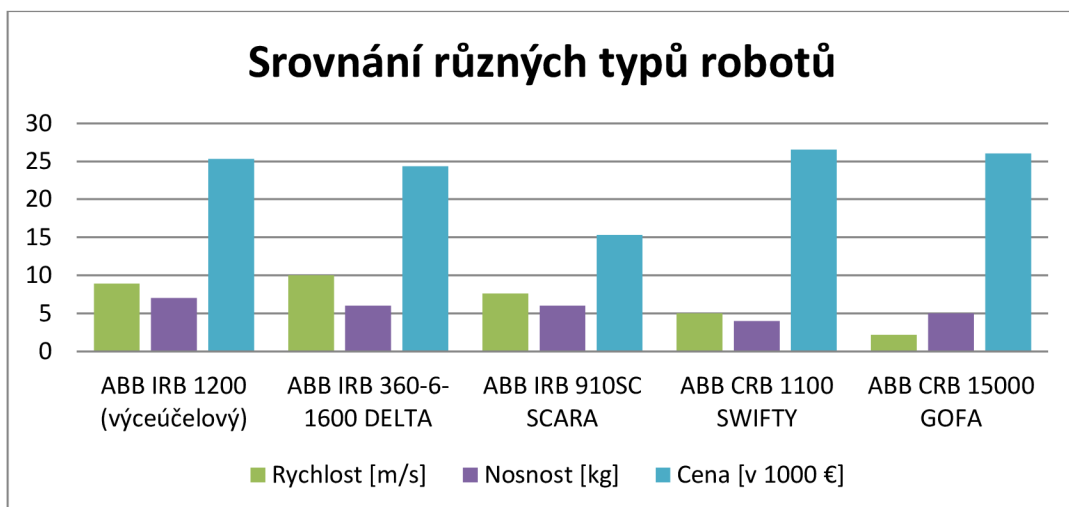
Spolupracující roboty (Cobot) se využívají pro spolupráci s člověkem nebo tam, kde není prostor pro ochranu klec či oplocení. Využívají se k manipulaci a kompletaci dílů nebo k obsluze CNC strojů pro zakládání dílů. Pohybují se pomalejší rychlostí a s menší přesností, ale jsou jednodušší na ovládání.



Obrázek 19: Spolupracující robot ABB CRB 15000 GoFa [8]

Pro požadovanou aplikaci nejsou vhodné některé typy z výše uvedených robotů. U delta robotů a kartézských robotů není možná implementace kvůli jejich konstrukci. U robota kartézského typu je konstrukce podobná s měřicím strojem a vzájemně by si překážely. Delta robot by musel být pověšen přímo nad měřicím strojem a s nedostatečným zdvihem by překážel měřicímu stroji při měření. U lakovacích a svařovacích robotů je to rozdílný účel zaměření robota pro vykonávanou práci. Užší výběr se bude týkat víceúčelových robotů, Scara robotů a spolupracujících robotů. Na následujících dvou obrázcích jsou porovnány základní parametry různých typů robotů. Pro zřetelnější představu o rozdílných vlastnostech a schopnostech jednotlivých robotů byly zařazeny roboty pouze jediné firmy. Porovnání robotů jediné firmy výrazněji ukáže rozdíly v pořizovacích nákladech. Pro porovnání byli vytipováni roboty s podobnou nosností a velikostí. Skupinu spolupracujících robotů zastupují roboti CRB 1100 SWIFTY a CRB 15000 GoFa.

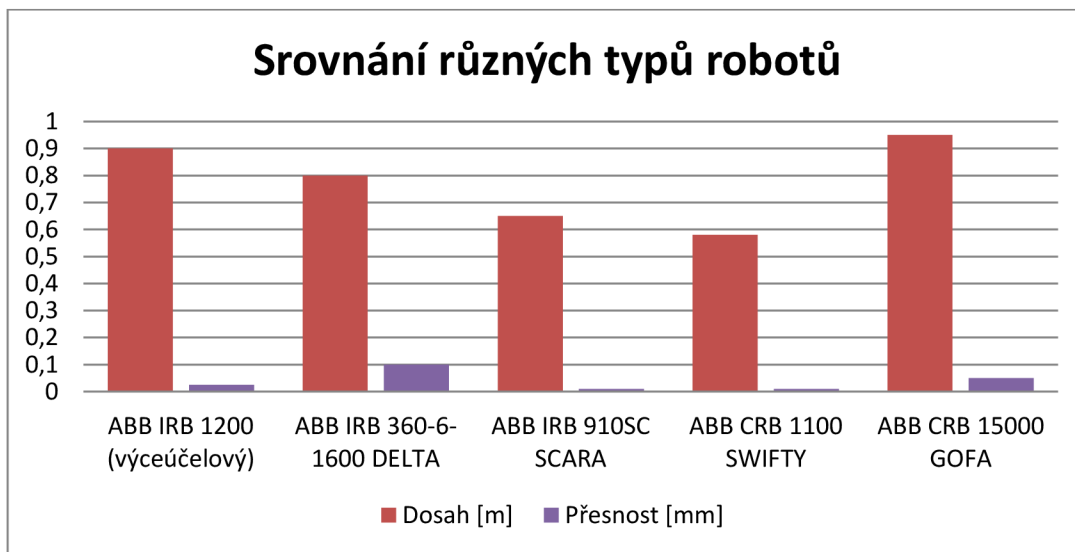
Srovnání typů robotů



Obrázek 20: Orientační srovnání různých typů robotu v několika parametrech

Na obrázku výše jsou vidět rozdíly mezi jednotlivými skupinami robotů. Ze srovnání rychlostí vychází, že víceúčelový robot spolu s delta a scara robotem mají znatelně navrch. Pořizovací náklady jsou u všech dost podobné až na jednu výjimku, a to u robota typu scara. Rozdíl je dán jednodušší konstrukcí. Na následujícím obrázku jsou porovnány parametry dosahu a přesnosti. Nejméně přesný je v tomto výběru

robot typu delta, a to s přesností 0,1 mm. Dosahy se pohybují v rozmezí od 0,6 m až po téměř 1 metr.



Obrázek 21: Porovnání různých robotů v přesnosti a dosahu

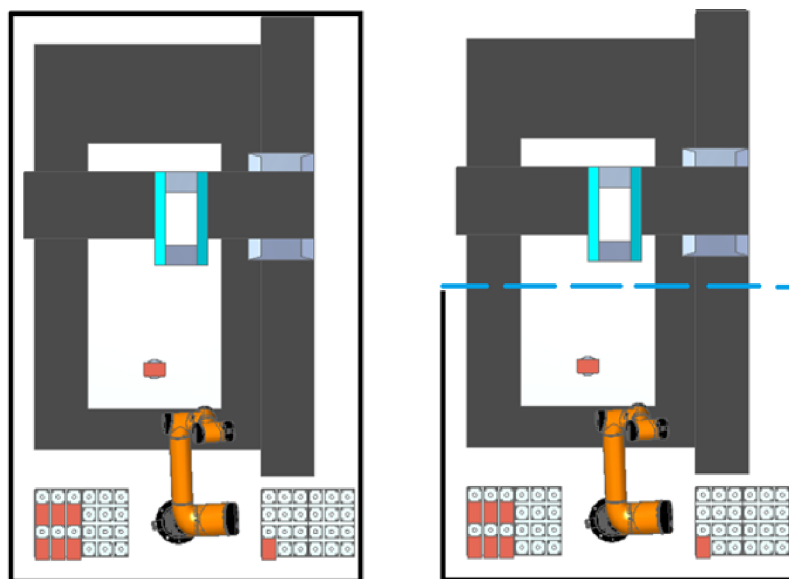
Vstupní parametry pro určení robota

Před další snahou o vytipování správného typu robotického pracoviště je třeba určit vstupní podmínky. Robot bude pracovat s měděnými elektrodami o maximální váze 4 kg, kde naprostá většina bude o hmotnosti do 1 kg. Maximálním jedním rozměrem je 200 mm. Velikost zakládající palety pro 20 kusů elektrod určuje minimální vzdálenost dosahu robotického pracoviště. Potřebný dosah je tedy určen na 750 mm. Přesnost zakládání je určena na $\pm 0,2$ mm. Vyšší přesnosti zde nebude potřeba. Na desce měřicího stolu bude ukotven upínací držák se svými tvarovými plochami pro přesné navedení a pevné uchycení. Využitelnost zástavbového a pracovního prostoru není zatím určena, ale samozřejmě platí, že čím bude potřeba méně prostoru, tím lépe. Umožňuje to případnou variabilitu s umístěním stroje. Více volného prostoru se dá využít například pro jinou výrobní technologii. Zautomatizované měření bude umístěno v prostorech, kde bude současně probíhat celá výroba elektrod a jejich následné použití při elektrojiskrovém obrábění. Bude zde volný pohyb pracovníků z řad obráběčů. Z tohoto důvodu musí být pracovní prostor za jakékoliv situace bezpečný pro člověka. Dále zde hraje roli i velikost budoucí investice pro zautomatizování měřicího procesu, tedy cena robota, chapadla, vyráběných dílů a dalších potřebných částí pro hardwarové a softwarové řešení, aby bylo možné smysluplně využít

navrhované automatické pracoviště. V této aplikaci na jinak důležitém čase, a tedy rychlosti robota, tolik nezáleží. Předpokládá se, že měření bude vždy provedeno v kratším čase než samotná výroba elektrod nebo následné elektrojiskrové obrábění.

Po úvaze se vstupními parametry jsou dále vyřazeny roboty typu Scara, kteří disponují vysokými rychlostmi a zrychlením až 60m/s^2 . Mezi nejlepší patří i v přesnosti zakládání. Dosahované parametry jsou zobrazeny na předešlém grafu. Kvůli vysokým rychlostem musí být okolo robota umístěno bezpečnostní oplocení zabraňující nechtěnému kontaktu s člověkem. Jako velice okrajový se zdá být potřebný dosah. Vysoké zrychlení má pak značný vliv na tuhost, velikost navrhovaného podstavce a jeho způsob ukotvení. Při vysokých akceleracích a deceleracích má robot velký moment setrvačnosti a musí být ukotven k pevnému a těžkému rámu. To zabezpečuje dodržení opakovatelné přesnosti zakládání. Rychlosti a zrychlení se mohou samozřejmě upravit a snížit, tím se ale snižuje výhoda této skupiny robotů.

U víceúčelových robotů díky široké nabídce velikostí nebude problém vytipovat správnou velikost robota, která by splňovala požadavky ohledně dosahu ramene a užitečného zatížení. Přesnosti víceúčelových robotů se pohybují $\pm 0,025$ mm, což je pro tuto aplikaci naprosto dostačující. Rychlosti jsou podobné jako u typu Scara, avšak zrychlení je na půlce. Jako největší problém se zdá být již dříve zmíněná bezpečnost stroje a nutnost oplocení kolem pracoviště robota. Oplocení by muselo být okolo robota a celého měřicího stroje. To znamená minimálně jedny vstupní dveře do prostoru, k tomu navíc bezpečnostní zámek. Druhou možností by mohlo být oplocení jen z vnější strany robota a nad měřicím strojem použití bezpečnostních světelných závěsů. Tyto dva případy jsou zobrazené na následujícím obrázku. Bohužel světelná závora nepozná rozdíl mezi mostovou konstrukcí měřicího stroje a případně nějakou částí člověka. Měřicí stanoviště s oplocením by zabralo více místa, ztížilo by přístup pro ruční měření různých dílů. Oplocení, bezpečnostní zámky či bezpečnostní světelné závěsy jsou náklady navíc. Tato varianta tedy není přípustná. Z provedené úvahy je nakonec vytipován spolupracující robot.



Obrázek 22: Příklady bezpečnostního oplocení

U cobotů je na výběr též několik velikostí, které se odlišují dvěma hlavními parametry. Určujícími parametry jsou nosnost cobota a jeho dosah. Tedy zatížení, které jsou roboty schopné na určitou vzdálenost přemístit. Nosnost se pohybuje od 1 kg až po 25 kg zátěže. Vzdálenost, na kterou je spolupracující robot schopný něco přemístit, je mezi 300 mm až 1800 mm. Na výběr je z mnoha značek a velikostí. Spolupracující roboty mají nejčastěji šest os. Rychlost tohoto typu robota se pohybuje mezi 1m/s až 3m/s. Velkou výhodou je, že tento druh robota nepotřebuje mít kolem sebe žádnou pevnou ochranu, kryt nebo rám, který by odděloval jeho pracovní prostor a prostor bezpečný pro člověka tak, aby nedošlo k úrazu nebo k nehodě. Aby byl spolupracující robot bezpečný, je vybaven různými senzory a citlivými měřiči sil a kroutících momentů na jedné nebo všech osách. Podle toho se spolupracující roboty dělí do dvou skupin, a to na kooperativní a kolaborativní. Je však potřeba hledět na to, že spolupracující robot je bezpečný jen do okamžiku než má na konci ramene připevněné chapadlo, ve kterém drží jakýkoliv díl, jež obsahuje ostré hrany. Jako bezpečný se dá brát pouze samostatný robot. Proto jsou kolaborativní roboty navrhovány se zaoblenými částmi bez nebezpečných hran.

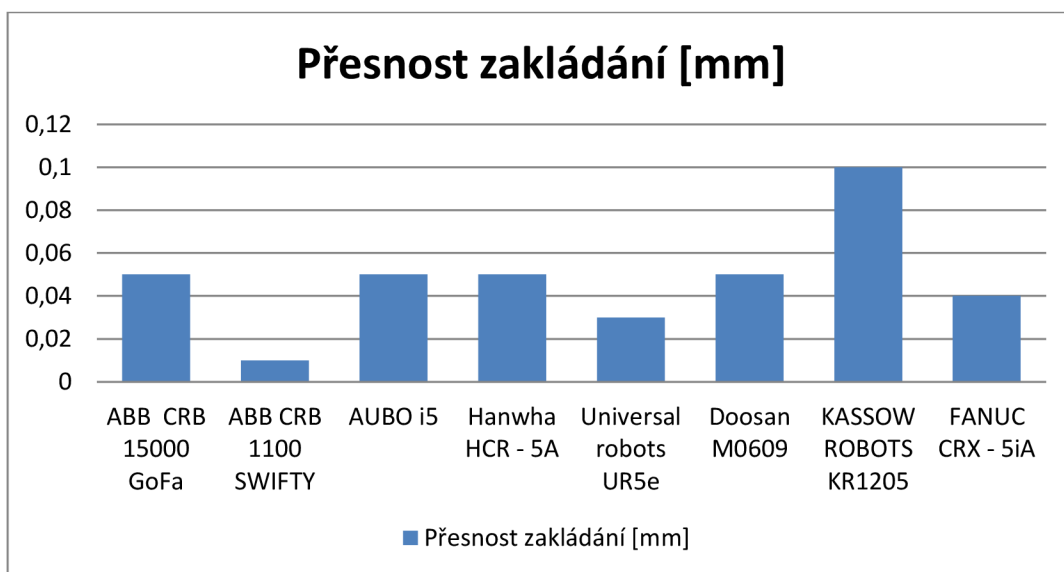
Kooperativní roboty jsou vybaveny senzorem snímajícím okolí pracoviště, pokud se v prostoru vyskytne člověk, dojde ke zpomalení robota nebo úplnému zastavení. Když člověk opustí pracovní prostor, robot se opět rozjede. Kolaborativní

roboty jsou vybaveny citlivými měřiči sil a momentů. Když detekují vnější kolizi, robot se okamžitě zastaví. Mohou pracovat s člověkem a například si něco předávat.

Velikost spolupracujícího robota je vytipována na nosnost 5 kg a s dosahem ramene cca 850 mm. Opakovaná přesnost těchto robotů se pohybuje mezi 0,03 až 0,1 mm.

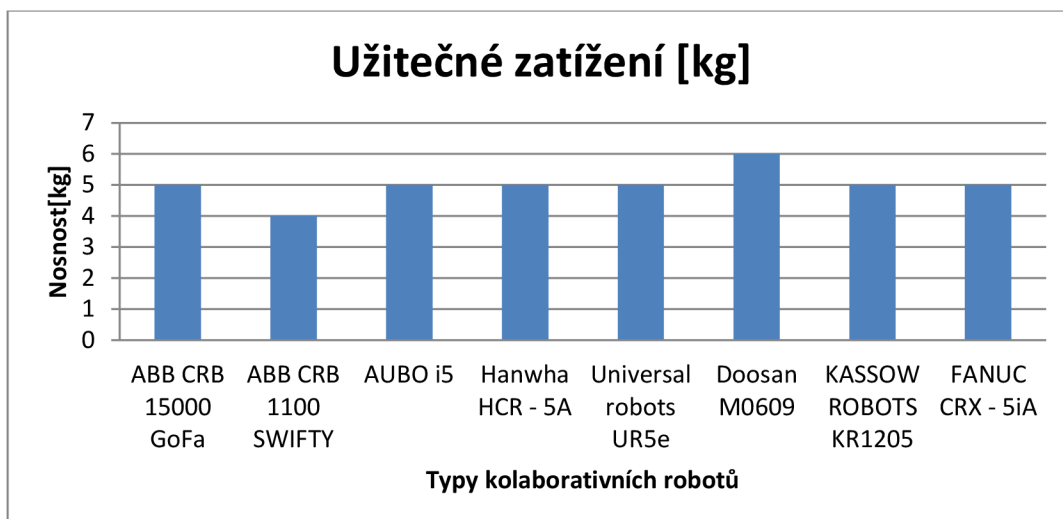
Srovnání spolupracujících robotů

Roboty splňující požadované parametry nabízí na trhu hodně výrobců. Na následujících obrázcích je vyobrazeno srovnání vytipovaných cobotů. Roboty byly porovnány v následujících parametrech: přesnost zakládání, jejich nosnost, dosah, rychlost a cena. Do výběru kolaborativních robotů byly zařazeny typy od těchto výrobců: ABB, FANUC, KASSOW ROBOTS, AUBO, HANWHA, UNIVERSAL ROBOTS a robot značky DOOSAN.

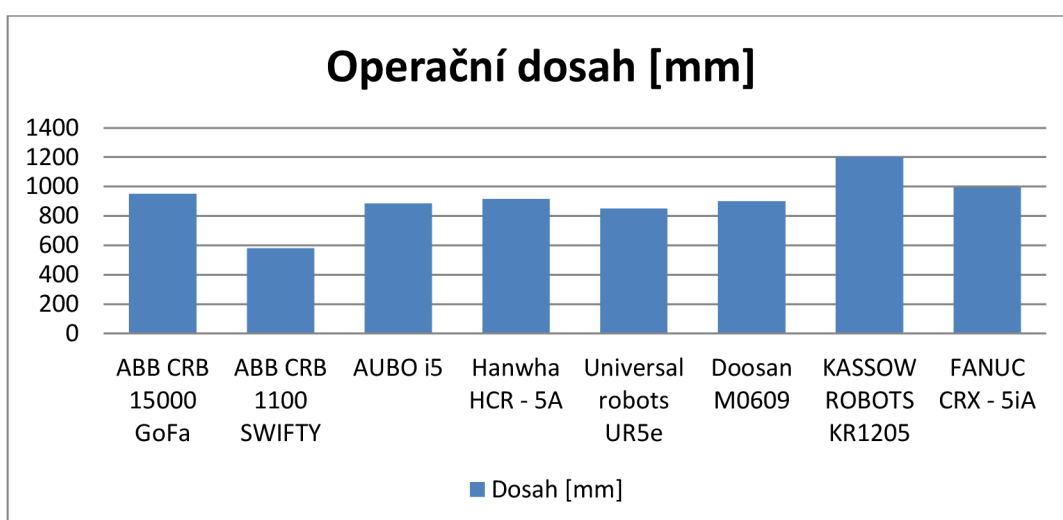


Obrázek 23: Srovnání spolupracujících robotů vzhledem k přesnosti zakládání

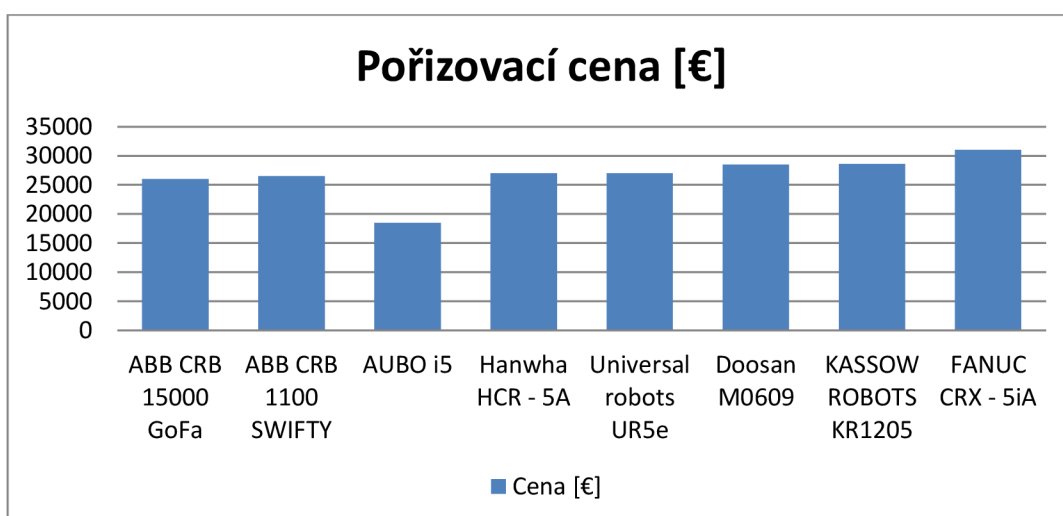
Z porovnání zakládací přesnosti je vidět, že většina cobotů dosahuje opakovatelné přesnosti 0,01-0,05 mm, avšak u KR1205 je přesnost 0,1 mm. V nosnosti robotů jsou rozdíly minimální.



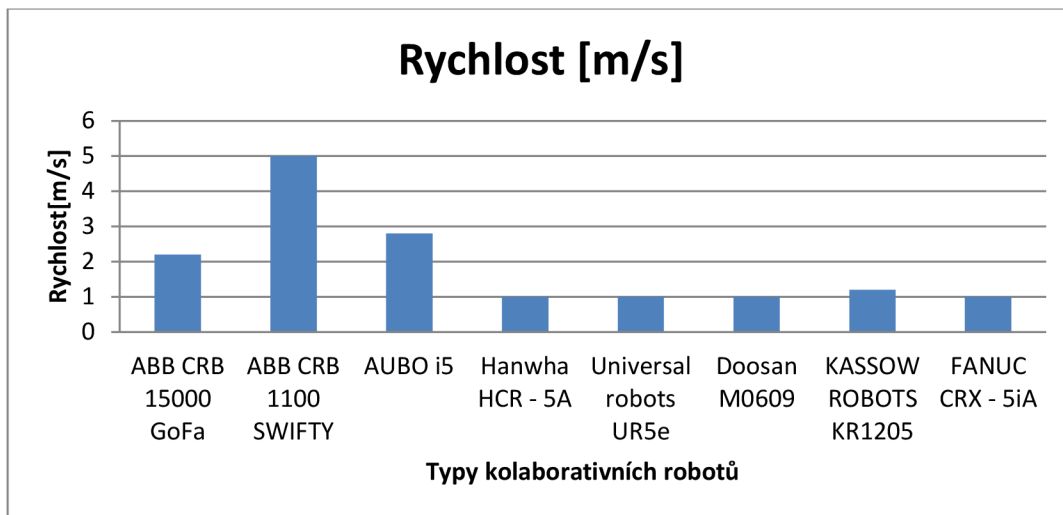
Obrázek 24: Srovnání užitečného zatížení spolupracujících robotů



Obrázek 25: Srovnání operačního dosahu spolupracujících robotů



Obrázek 26: Srovnání pořizovacích cen spolupracujících robotů



Obrázek 27: Srovnání rychlostí jednotlivých spolupracujících robotů

Na přiložených grafech je dobře patrné, že ve většině porovnávaných parametrů jsou vytipované roboty vyrovnané. Největší rozdíly jsou v přesnosti zakládání a rychlosti pohybu. Velké rozdíly v ceně jsou dány značkou a výbavou robota, například počtem citlivých snímačů momentu, hardwarovým a softwarovým vybavením případně dalšími doplňky.

Z analýzy těchto robotů a jejich následného porovnání je možné si vybrat jiné roboty v závislosti na upřednostňujícím parametru. Z důvodů prověřené kvality, dlouhé doby na trhu a širokého zastoupení se jeví jako nejvýhodnější volba kolaborativní robot od ABB, a to CRB 15000 GoFa. Cobot nosností 5 kg, dosahem 950 mm a přesností zakládání na 0,05 mm, splňuje určené vstupní požadavky. Tento kolaborativní robot disponuje širokým nastavením bezpečných funkcí pomocí softwaru SafeMove collaborative. Jeho nevýhodou je pořizovací cena, která je 26015 €. Cena je podobná i u ostatních porovnávaných cobotů, tedy až na jednu výjimku a tou je robot AUBO i5, který se nabízí za 18500 €. Jedná se o čínského robota a při modelovém porovnání s cobotem CRB 15000 GoFa, není na pohled tak silný a tuhý. Další variantou je snížením ustoupením v požadavcích na hmotnost přenášené elektrody. Pokud by stačil spolupracující robot s nosností 3 kg cena by šla dolů orientačně na 21000 € za spolupracujícího robota Hanwha HCR 3A. S menší nosností je spojen i menší dosah a to 630 mm. V této kategorii je menší výběr spolupracujících robotů.

3.6. Čtečka QR kódu

Pro správné identifikování odebrané elektrody bude nutné využití čtečky QR kódu. Na každé sestavě držáku s elektrodou je umístěn výrobní štítek, který je podrobně rozepsán v kapitole č. 3.1. Štítek přesně určuje, o jakou elektrodu se jedná. Po jejím odebrání robotem ze základací palety je robotem přemístěna ke čtečce, která naskenuje QR kód a přečte jej. Název elektrody si s sebou nese najížděcí pozice pro následné změření dané elektrody. Je vytipována například čtečka DATAMAN 60S od společnosti Cognex, která podporuje komunikaci přes RS232, ethernet, případně i USB. Její rozměry jsou malé, přesněji délka je 54 mm, šířka činí 41 mm a tloušťka je 24 mm. Hmotnost této čtečky je 98 g.



Obrázek 28: Čtečka QR kódu [16]

4. Definování formátu a obsahu výstupních dat

Pro plynulý průběh od výrobního procesu přes měření až po samotné elektrojiskrové obrábění je nutné definovat správné jednotlivé formáty pro hladké předávání podstatných informací mezi jednotlivými procesy. V následujících odstavcích se proto práce věnuje jejich určení.

4.1. Určení formátu informací v seřizovacím listu

Počáteční soubor, tedy seřizovací list palety by měl obsahovat informace o obsazenosti palety, jaké elektrody jsou v paletě založeny a ve kterých pozicích jsou založeny. Dále

by se tu měla vyskytnout informace o natočení elektrody, pokud se jedná například o obdelník tvar elektrody. Dále by na tomto listu měla být informace tykající se daného názvu měřícího programu a umístění tohoto programu. Jako dodatečné informace by se zde mohl objevit čas celkového měření elektrod na dané paletě. Seřizovací list je

4.2. Výstupní formát naměřených hodnot

Po změření vyrobené elektrody dojde k porovnání naměřených výsledků s původními požadovanými hodnotami. Podle velikosti případné rozměrové odlišnosti se automaticky vytvoří tabulka korekcí nástroje. Tyto hodnoty se uloží pod názvem měřené elektrody, například s indexem _K jako korekce, označení by bylo tedy takové 0879_01_00A_2D010_K. Stejná operace se provede i u ostatních založených elektrod. Vhodný formát souboru s tabulkou korekcí jednotlivých elektrod musí být k jednoduchému přečtení řídicím systémem elektrojiskrového stroje. Pracovník na hloubičce založí vyrobené a změřené elektrody do zásobníku hloubičky. Zadá pozice jednotlivých elektrod a vytáhne si tabulku korekcí z provedeného měření, které by se měly nejlépe automaticky přepsat do pracovníkem vytvářeného obráběcího programu. Pracovník ve vytvářeném programu zadá klasicky vyvolávací funkci pro danou elektrodu a mělo by dojít k přiřazení případné korekce. Výsledným formátem mohou být soubory s příponou .xlt nebo csv. Data by mohla být také předána souboru typu ASCII. Samotný soubor seřizovacího listu je umístěn i databázi dané složky na serveru.

5. Návrh robotické manipulace se zohledněním aspektu technické proveditelnosti na pracovišti, bezpečnost práce a ekonomické rozvaze

V návaznosti na předešlé kapitoly je dalším pokračováním práce konstrukční návrh robotické manipulace. V konstrukčním návrhu se řeší umístění robota pro jeho co nejkratší a nejplynulejší dráhy s ohledem na bezproblémové odebrání a co nejmenší rizika bezpečnosti práce pro ostatní pracovníky. Brán v úvahu je také přístup k ručnímu ovládání a měření na souřadnicovém stroji. V neposlední řadě je zde rozebrána ekonomická náročnost zautomatizování tohoto procesu.

5.1. Technická proveditelnost zautomatizování procesu měření

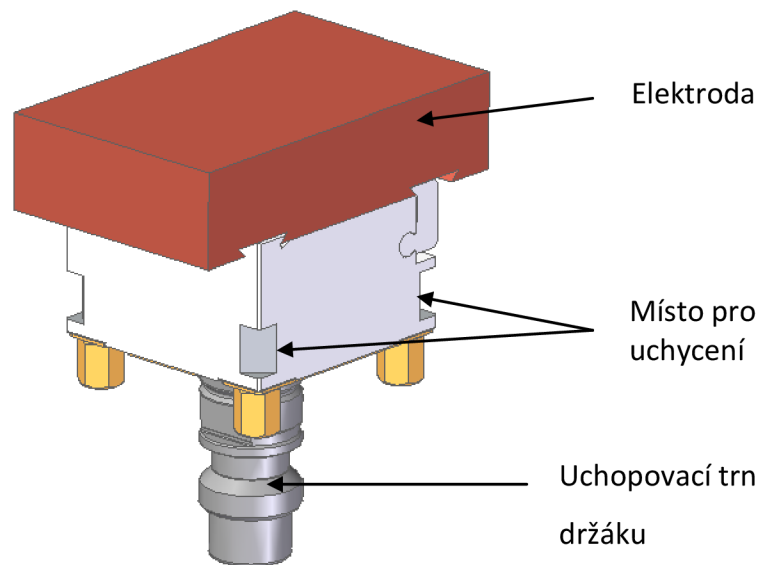
Na konstrukční návrh řešení zautomatizování procesu měření má vždy zásadní vliv technická proveditelnost. Bez této proveditelnosti je konstrukční návrh komplikovaný, a nejistým výsledkem, zda bude daná aplikace funkční. Jedná se především o řešení odkládací palety a chapadla tak, aby bylo možné elektrodu robotem odebrat a založit ji do upínacího pouzdra na měřicí desce stolu. Vytipovat správný upínací držák pro pozici měření. Dále správně umístit a uložit robota tak, aby nepřekážel měřicímu stroji při měření a zároveň dokázal odebrat a založit elektrodu do kterékoliv odkládací pozice v daných paletách. Dále určit nejlepší pozici pro umístění stolu s počítačem pro ovládání měřicího stroje.

5.2. Konstrukční návrh

V konstrukčním návrhu se práce zabývá výběrem pneumatického chapadla pro uchopení elektrod a jeho následným konstrukčním spojením k přírubě robota. K tomu se zde řeší návrh prstů pro dané chapadlo, pro pevné a bezpečné uchopení elektrody, ať už je v odkládací paletě nebo v upínači na desce měřicího stroje. Dále se práce věnuje podstavcům pro samotného robota a pro odkládací palety. Konstrukční návrh pracoviště byl kreslen v 3D CAD programu Solid Edge.

5.2.1. Volba chapadla

Při volbě chapadla byl kladen důraz na bezproblémové uchopení sestavy elektrody s jejím držákem. Chapadlo nesmí překážet při žádném důležitém pohybu jak při odebírání, tak při zakládání. Dále muselo být vytipováno dostatečně silné chapadlo, aby dokázalo unést požadované zatížení. Dále musí umožnit odebrání i větších elektrod až do rozměru 200 na 200 mm. To znamená, že střed elektrody bude muset být ve vzdálenosti alespoň 100 mm od nejbližší části robota. Kvůli různým rozměrům vložených elektrod je jediná možnost odebrání z boku. Pro odebírání elektrod by se využilo sražených rohových hran v držáku elektrod. Toto uchopení je znázorněno na obrázku 29. Do zakládací palety nesmí být vložen žádný jiný držák elektrod, k odebrání robotem by nejspíše došlo, ale není zajištěné správné a bezpečné uchopení.



Obrázek 29: Sestava elektrody s držákem

Nejvhodnějším typem pro zvolené odebrání elektrod bude pneumatické dvouprsté chapadlo. Chapadlo musí splňovat tyto požadavky, za prvé se jedná o maximální vzdálenost vyložení, přesněji maximální délku použitých prstů pro uchopení elektrody. Zde tedy musí být vzdálenost aspoň 125 mm a k tomu odpovídající parametry přenášených momentů působících na chapadlo. Chapadlo musí mít taky odpovídající zdvih čelistí, jelikož na správné sevření držáku potřebujeme 4 mm, je třeba připočítst nějakou mezeru pro volné najetí do elektrody. Je třeba zde hledět i na samotnou hmotnost chapadla. Čím těžší chapadlo bude, tím se nám zmenšuje prostor pro hmotnost samotné elektrody.

Výpočet momentového zatížení od elektrody

Vstupní podmínky:

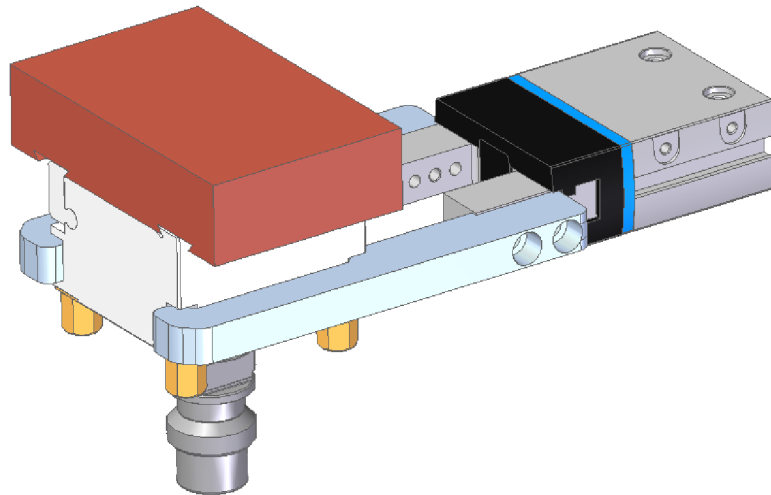
Hmotnost elektrody: $m = 4 \text{ kg}$

Délka prstů chapadla: $l = 120 \text{ mm}$

$$M = F * l = m * g * l = 4 * 9,81 * 0,12 = 4,7 \text{ Nm}$$

Na základě maximální délky vyložení elektrody a momentového zatížení bylo zvoleno pneumaticky ovládané chapadlo DHPS 25 od společnosti FESTO. Zdvih chapadla je dostačujících 8 mm, hmotnost chapadla činí 700 g. Navržené uchopovací prsty váží

každý 110 g, to dává v součtu s chapadlem a přírubou na spojení daného chapadla k robotu celkem 1050 g. Tímto výsledkem nám na samotnou sestavu elektrody s držákem tedy zbývá 3950 g. A jelikož naprostá většina elektrod se pohybuje do hmotnosti 1 kilogramu, je zde dostatečná rezerva pro ojediněle těžší elektrody. Na obrázku č. 30 je zobrazen návrh uchopení elektrody.



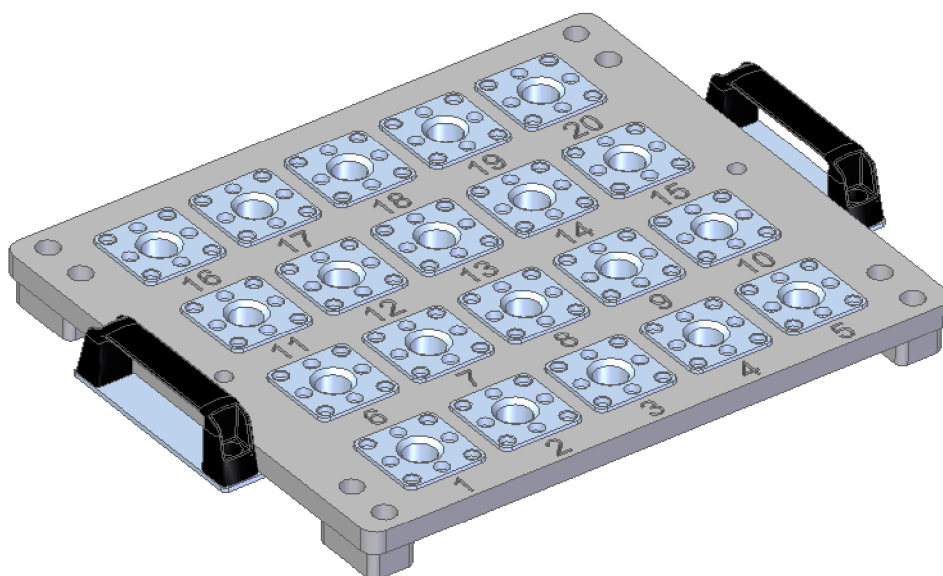
Obrázek 30: Elektroda s dvourstým pneumatickým chapadlem

U navržených prstů k chapadlu jsou z bezpečnostních důvodů zaobleny nefunkční ostré hrany. Síla sevření chapadla činí po snížení tlaku vzduchu na 2 bary, dostačujících 50 N.

5.2.2. Volba odkládací palety

Při volbě odkládací palety je hlavním požadavkem počet míst k založení elektrod, který je určen na 20 kusů. Tomuto požadavku musíme přizpůsobit typ palety a případně si odkládací paletu navrhnout a vyrobit, záleží na navrhnutém způsobu odebírání jednotlivých elektrod. Ke každé vyrobené elektrodě musí být přístup jak ručně, tak robotem. U robota je jediným způsobem odebírání z boku elektrody, takže je třeba vymyslet i správný postup odebírání jednotlivých elektrod. Tomu musí být přizpůsobena velikost odkládací palety. Paleta by byla umístěna na základové desce. Elektrody by se tedy odebíraly z palety po jedné nebo by se mohla odebrat celá paleta najednou. Z důvodu opakovatelné přesnosti založení celé palety by byla použita dvojice vrtacích pouzder a středících trnů. Do základové desky by se doplnily vrtací pouzdra a na spodní straně palety by se umístily středící trny. Pro lepší manipulaci s

paletou jsou palety doplněny o madla. Rozměry palety určuje počet elektrod a velikost mezer mezi jednotlivými zakládacími poli. Výška palety je určena výškou uchycovacího trnu na držáku elektrod. Aby zůstala elektroda v paletě stabilní, musí zůstat mezi trnem držáku a spodní deskou mezera. Není nutné, aby byly v paletě pneumatické upínače elektrod, stačí, aby byla elektroda vždy na stejném místě, odkud má odebírat robot. Aby nedocházelo k poškození naváděcího trnu držáku elektrod, budou do zakládacích pozic v paletě vložena tvarová pouzdra vyrobená z plastového kluzného materiálu, například z murtfeldtu nebo PE1000. Navržené palety pro automatické odebírání elektrod robotem jsou zobrazeny na obrázku níže.



Obrázek 31: Odkládací paleta elektrod

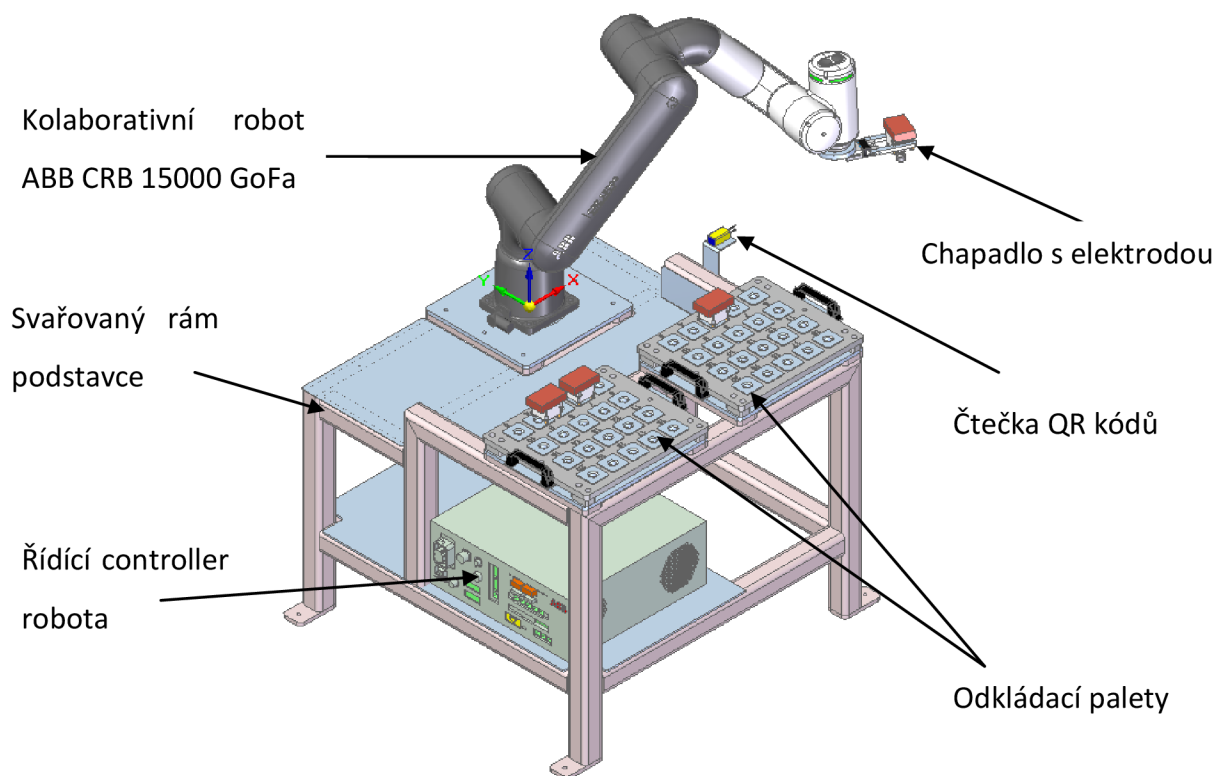
Pro snadnější a jednodušší zakládání elektrod obsluhou jsou všechny pozice číselně označeny. Číslo pozice je těsně před výrobním štítkem elektrody, kde je též jasně definovaná pozice elektrody, a to jak číselně, tak i graficky. To sníží riziko založení elektrody do špatné pozice. Celková hmotnost složené prázdné palety činí dle CAD programu 4 kg.

5.2.3. Návrh podstavců pro robota a odkládací pozice

Konstrukčních návrhů podstavců může být několik a zásadně se liší v použitém materiálu na výrobu rámu a způsobu ukotvení. Rám podstavce může být svařovaný z ocelových profilů nebo smontovaný například z hliníkových alutec profilů. Kolaborativní robot sice nedosahuje vysokých rychlostí, je však nutné, aby byl rám

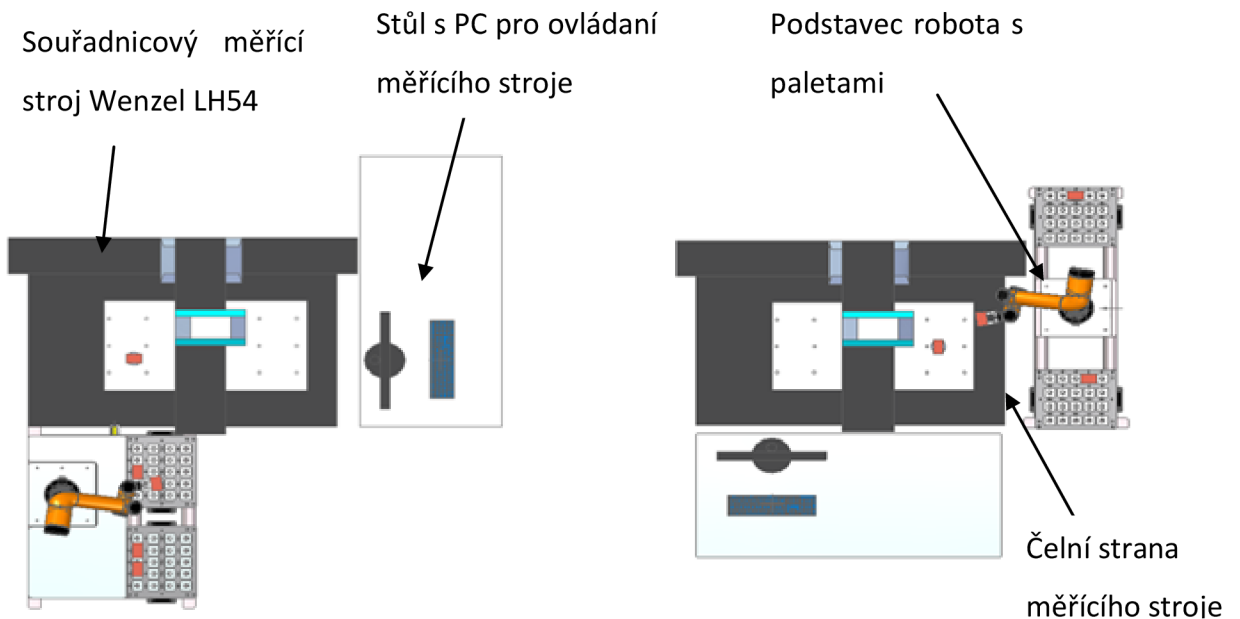
dostatečně tuhý a při pohybech robota nedocházelo ke kroucení podstavce. Horní hrana granitové desky měřicího stolu je ve výšce 850 mm. Z pohledu ergonomie pracovníka při zakládání nebo odebírání elektrod či plných palet je tato výška vyhovující. Z důvodu dlouhodobé tuhosti podstavce je navržen svařovaný rám z ocelových profilů o rozměrech 60x60x5mm. Horní výška rámu činí 820 mm. K ukotvení rámu by se využily mechanické nebo chemické kotvy.

Aby bylo možné vytipovaným robotem odebrat elektrody ze všech pozic, musí být robot uložen o cca 100 mm níž než jsou uloženy odkládací palety s elektrodami. Z tohoto důvodu je horní část rámu navržena ve dvou výškových úrovních, kde v nejvyšší části jsou umístěny palety. Níže je místo pro ukotvení robota a pod robotem je patro pro uložení controlleru od robota. K rámu jsou přišroubovány tři základové desky. K první je přišroubován robot, jeho pozice je pak zajištěna pomocí kolíků. Zbylé dvě desky jsou doplněny o vrtací pouzdra, díky kterým bude vždy zajištěna přesná pozice. Na tyto dvě základové desky se založí zakládací a odkládací paleta a do jedné z nich se mohou vkládat elektrody pro proměření. Podstavec s robotem a paletami s elektrodami je zobrazen na obrázku č. 32.



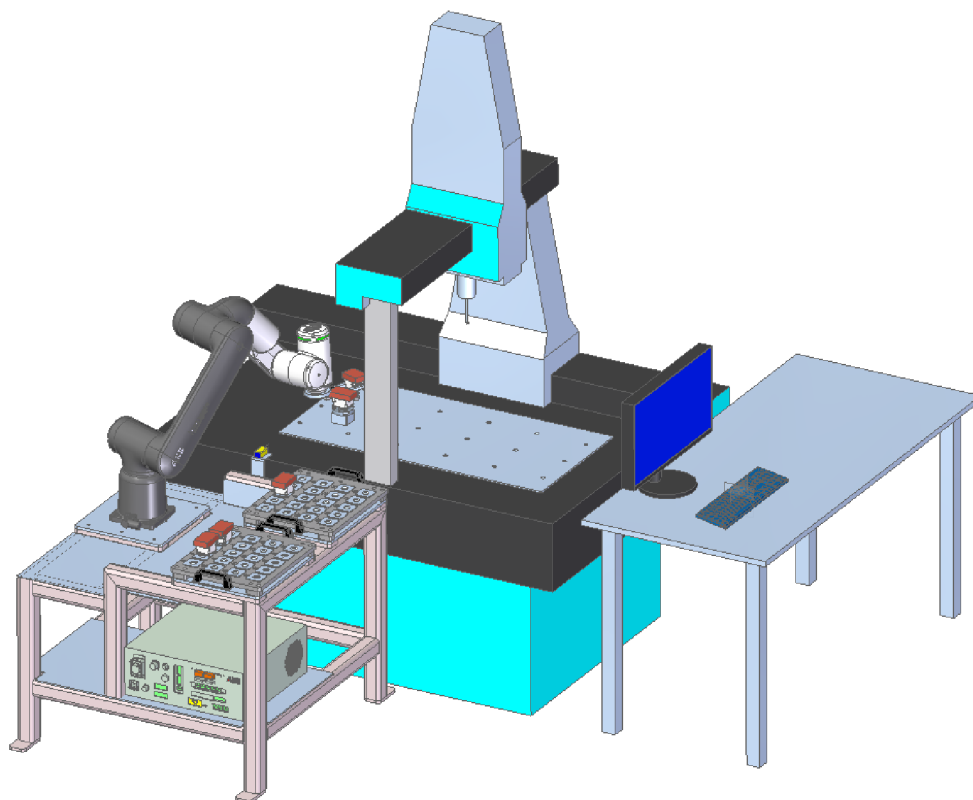
Obrázek 32: Svařovaný podstavec s robotem a paletami

Tím že jsou navrženy totožné palety, odpadá nutnost hlídání správné palety. Na svařovaném rámu je dále připevněna ještě čtečka QR kódu pro přečtení výrobního štítku a definování správné elektrody. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny dva koncepty možného uspořádání měřícího pracoviště.



Obrázek 33: Různé uspořádání měřícího pracoviště

Z předchozího obrázku je patrné, že se návrh měřícího stanoviště bude dále rozvíjet z konceptu, který je na levé straně obrázku. Hlavním rozdílem v těchto konceptech je přístup k souřadnicovému stroji. U vytvořeného návrhu na levé části obrázku je volný přístup k části souřadnicového měřícího stroje, u návrhu vpravo přístup není. Výsledný konstrukční návrh měřícího pracoviště pro automatické měření elektrod je ukázáno na obrázku 34.



Obrázek 34: Výsledné pracoviště hromadného měření elektrod

5.3. Bezpečnost práce na pracovišti

Velkým a velmi důležitým hlediskem při analýze zautomatizování celého procesu a následného návrhu je bezpečnost na pracovišti. Při zařazení robota do procesu jsou vytvořeny naprogramované pohyby nějakého stroje, které se konají v prostoru, kde se může vyskytovat člověk. Z tohoto pohledu musí být pracoviště pro člověka bezpečné. Při konstrukčním návrhu je na tento fakt brán zřetel. Začalo to při volbě robota, jeho umístění s odkládacími paletami. Bezpečnost byla dále aplikována při volbě chapadla a návrhu čelistí. Následně se bezpečnost řešena i po programové stránce návrhu zautomatizování procesu měření.

Byl vybrán spolupracující robot, který nemá žádné ostré rohy nebo hrany a sám při pohybu nevytváří žádné riziko. Robot jako takový splňuje požadavky bezpečnosti úrovně PL d Cat 3. Tato bezpečnost platí jen po přírubu robota, na chapadlo a přemísťovanou elektrodou už se bezpečnost nevztahuje.

Aby nemuselo být použito bezpečnostní oplocení, které by jinak bylo naprosto nezbytné při použití jakéhokoli jiného robota, bylo chapadlo a čelisti navrženy takovým způsobem, aby byly plně funkční a přitom nebyly nějakým způsobem nebezpečné pro člověka.

V této oblasti se dále řešily úkony, které bude zatím nadále vykonávat obsluha. U těchto operací byla uvažována co nejlepší ergonomie pohybu jednotlivých úkonů při manipulaci. Dalším bodem, jež může souviset s bezpečností, je snížení možných špatných nebo zbytečných pohybů při zakládání. Tato část se řešila ať už různými díly, které znemožní chybné založení, nebo označením jednotlivých pozic elektrod na paletě pro jednodušší a správné založení.

Pracoviště by mělo být vybaveno trojicí tlačítek, kde první tlačítko má význam spuštění hromadného měření, druhé má v případě potřeby zastavit aktuální operaci a poslední tlačítko plní funkci emergency stop.

Při konstrukčním návrhu byla orientačně provedena stručná analýza rizik, která je k práci vložena jako příloha. Touto analýzou jsou zkoumány možné nebezpečné prostory nebo pohyby jednotlivých částí strojů. Při prováděné analýze jsou dále optimalizovány jednotlivé nebezpečné části tak, aby se vytvořená rizika co nejvíce eliminovala a snížila na vyhovující bezpečnou mez. Při vyhovující analýze je toto zautomatizování procesu měření elektrod bezpečné.

Nedílnou součástí každého strojního zařízení je průvodní dokumentace neboli návod na obsluhu daného stroje. V tomto návodu bývá seznámení s užívaným strojem, jeho stavem, návod na obsluhu a třeba jeho údržbu. Bývají v něm uvedeny informace, co se smí a co ne, a jak se k danému zařízení chovat. Tato průvodní dokumentace k zařízení v této práci vytvořena není, jelikož celá práce se dá lehce považovat za možný návod na obsluhu.

5.4. Ekonomická rozvaha

Při konstrukčním návrhu měřicího pracoviště byl brán též aspekt na ekonomickou rozvahu, která je probrána v této kapitole. Rám podstavce může být vyroben buď ze svařovaných ocelových profilů nebo může být složen z hliníkových alutec profilů. Na výrobu podstavce je potřeba cca 10,5 m profilu. Cena výroby svařovaného podstavce je cca 130 Kč/kg. Měrná hmotnost profilu je 8,39 kg/m.

Celková hmotnost podstavce je tedy $10,5 * 8,39 = 88,1$ kg

Výrobní cena svařovaného podstavce je $88,1 * 130 = 11500$ Kč.

V této ceně je už započítaná cena na svařování a povrchovou úpravu svařence.

U složeného rámu z hliníkového profilu je cena určena za metr profilu, ten se pak již jen nařeže a složí. Cena hliníkového profilu 60x60 je cca 800 Kč/m

Výrobní cena složeného rámu z hliníkových profilů je $10,5 * 800 = 8400$ Kč.

Ve výrobní ceně rámu tedy není takový rozdíl, jako je naopak v tuhosti rámu. Z tohoto důvodu byl zvolen svařovaný rám. Obráběné odkládací desky a vkládaná plastová pouzdra se navrhovala s pokusem o co nejjednodušší tvary, při jejich výrobě je to pak levnější. Při výběru správného chapadla byl kladen důraz na jeho funkčnost a na to aby nebylo chapadlo přetěžováno na momentové zatížení od elektrody. Cenové porovnání dvou vyhovujících chapadel vychází takto: chapadlo Festo DHPS 25 je za 16000 Kč, chapadlo CGS32-80 od společnosti Stasto vychází na 15360 Kč. Cenový rozdíl je mezi těmito chapadly zanedbatelný.

Největším rozdílovým prvkem ohledně ceny je rozhodně kolaborativní robot. Mezi porovnávanými coboty je cenový rozdíl až 12500 €, po přepočítání rozdíl tedy až 305000 Kč. Nejlevnějším cobotem je AUBO i5 s cenou 18500 €, kdežto nejdražším je FANUC CRX 5iA, který je za 31000 €. Do návrhu měřicího pracoviště byl vybrán robot CRB 15000 GoFa od výrobce ABB s cenou 26015 €.

6. Nástin způsobu programování robotu a motorizovaného souřadnicového stroje, koncept nadřazeného řídicího systému, rozvaha softwarového a hardwarového řešení

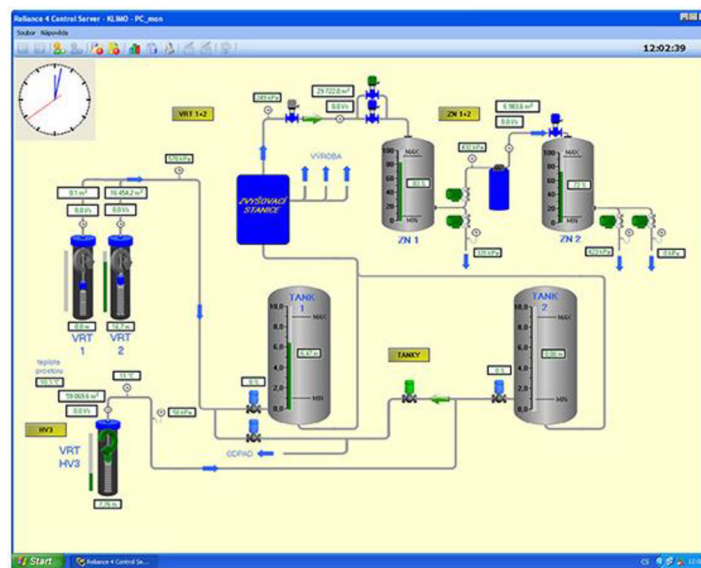
V poslední kapitole se práce zabývá způsobem možné komunikace mezi jednotlivými stroji, které se využívají pro výrobu elektrod a jejich použití. Dále je tu nastíněno základní programování souřadnicového měřicího stroje a kolaborativního robota. V poslední kapitole je probráno softwarové a hardwarové řešení.

6.1. Koncept nadřazeného systému

Pro plynulý, bezproblémový a zároveň bezpečný provoz těchto strojů na pracovišti je důležité najít nejvhodnější způsob řízení strojů. Možností řízení a ovládání implementovaných strojů je více. Jako základ pro řízení více strojů a jejich bezpečný provoz by bylo využito programovatelného logického automatu (PLC). Jedná se o malý průmyslový počítač vybavený potřebným hardwarem a softwarem, který je navržen tak, aby byl schopný převzít a vykonávat řídicí funkce. PLC řídicí systémy vyrábějí společnosti jako například Siemens, Omron a B&R. První možnost, jak ovládat souřadnicový měřicí stroj a robota, je přes PLC například od Siemens. K tomuto PLC systému připojit i HMI ovládací panel, kde by se vytvořený řídicí program mohl ovládat.

Druhou možností je pracoviště se stroji ovládat pomocí systému SCADA. Systém Scada se zaměřuje na úroveň dispečera, je to zpravidla software fungující nad skutečným řídicím systémem a jeho prací je monitorovat, shromažďovat data a řídit proces, přičemž získaná data ukládá do databází. Tento systém může pracovat na operačním systému Windows, a tedy by mohl být nainstalovaný na počítači využívaném pro řízení souřadnicového stroje. Z tohoto počítače by se přes Scada ovládalo PLC. Tím by se ovládaly všechny potřebné úkony, ať už se jedná o povely pohybu robota na dané souřadnice nebo informace o sevření chapadla. Do tohoto systému by proudily informace o všech stavech jednotlivých snímačů a pozicích. V systému Scada by byl vytvořen řídicí program na ovládání robota a souřadnicového měřicího stroje, pneumatického chapadla a upínače. Dále by řídicí systém dostával

informace od čtečky QR kódu. Pomocí softwaru Scada by se mohlo ovládat měřící pracoviště, nicméně tento systém má hlavně ovládat, monitorovat a vizuálně na monitoru zobrazovat různé stavy probíhajících technologických procesů [14]. Tento systém se využívá pro monitorování a řízení například v distribuci vody, plynu, ropy, správy železniční dopravní sítě. Dále například v úpravně pitné vody, v uhelných a vodních elektrárnách a vizualizaci nejrůznějších výrobních linek nebo i v řízení a vizualizaci inteligentních budov. Na obrázku č.34 je zobrazena vizualizace monitorování pomocí systému Scada.

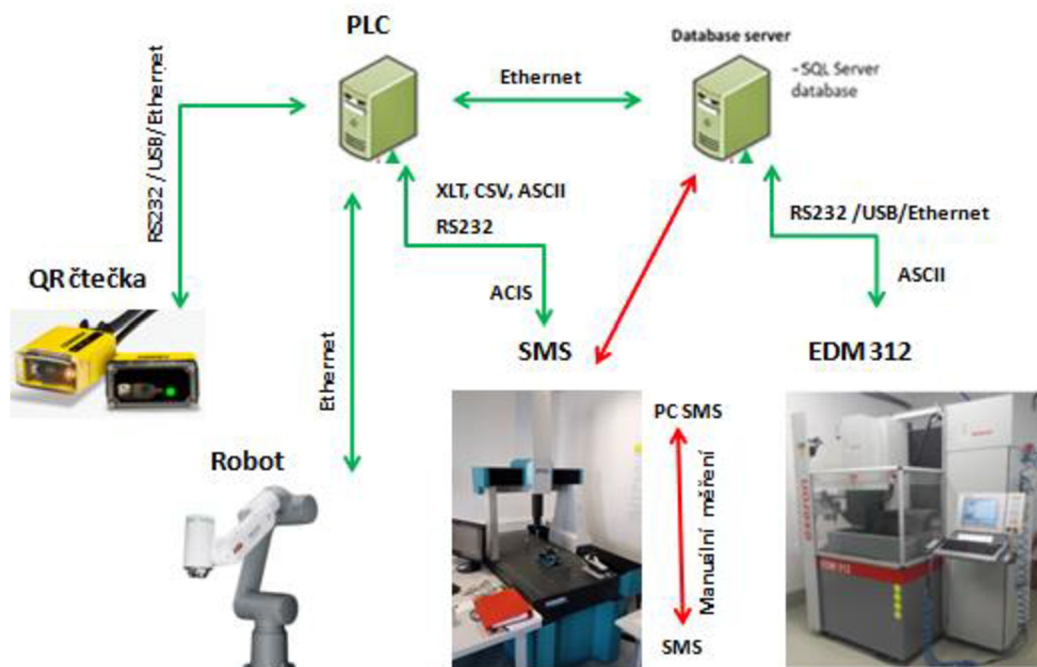


Obrázek 35: Příklad vizualizace monitorování systémem Scada - čerpání vody [14]

Průběh procesu by vypadal následovně, obsluha z přiloženého seřizovacího listu palety založí vyrobené elektrody do určených pozic v základní paletě pro nezměřené elektrody, následným zkontrolováním, že je založena paleta pro odkládání proměřených elektrod a že je prázdná. Z načtené databáze zakázek vybere měřící program odpovídající požadované paletě. Po jeho vybrání by se spustil proces automatického měření. PLC dá příkaz robotovi dojet na požadovanou pozici. S otevřeným chapadlem vsune prsty k držáku elektrod, uchopí požadovanou elektrodu, kterou zvedne a přemístí ji k pozici před čtečkou QR kódu. Čtečka QR kódu přečte kód a do PLC pošle název dané elektrody, která se bude skutečně měřit. Robot mezitím založí uchopenou elektrodu do pneumatického upínače na měřícím stroji. Po zjetí do upínače a předání informace, že je elektroda vložena do upínače, podá snímač informaci o založení. Chapadlo na robotovi se otevře a robot se odpoutá od upínače.

Upínač se sevře a pevně zajistí měřenou elektrodu a robot se přesune do home pozice. Přes PLC se předá signál, že je elektroda založená v upínači a že je robot v základní pozici. PLC z databáze vybere požadovaný měřicí program a spustí automatické měření. Z provedeného měření vytvoří soubor s korekcemi pro danou elektrodu a uloží ho zpět do databáze ve formátu .xlt pod názvem elektrody, například 0879_01_00A_2D010_K. Po provedeném měření se měřicí hlava souřadnicového stroje přesune do své výchozí pozice a robot se přesune k měřicí pozici. Dojde v obráceném pořadí k předání již proměřené elektrody. Kolaborativní robot založí elektrodu do prázdné odkládací pozice na paletě č.2 pro proměřené elektrody na přesně stanovenou pozici. Z této pozice se přesune na další pozici v základní paletě pro další elektrodu čekající na změření. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud nejsou proměřeny všechny elektrody, které byly na začátku založeny.

Komunikace mezi řídicím PLC a ostatními stroji může probíhat prostřednictvím ethernetu nebo profinetu. Na obrázku 36 je vyobrazeno schéma možného síťového rozhraní k propojení všech strojních zařízení.

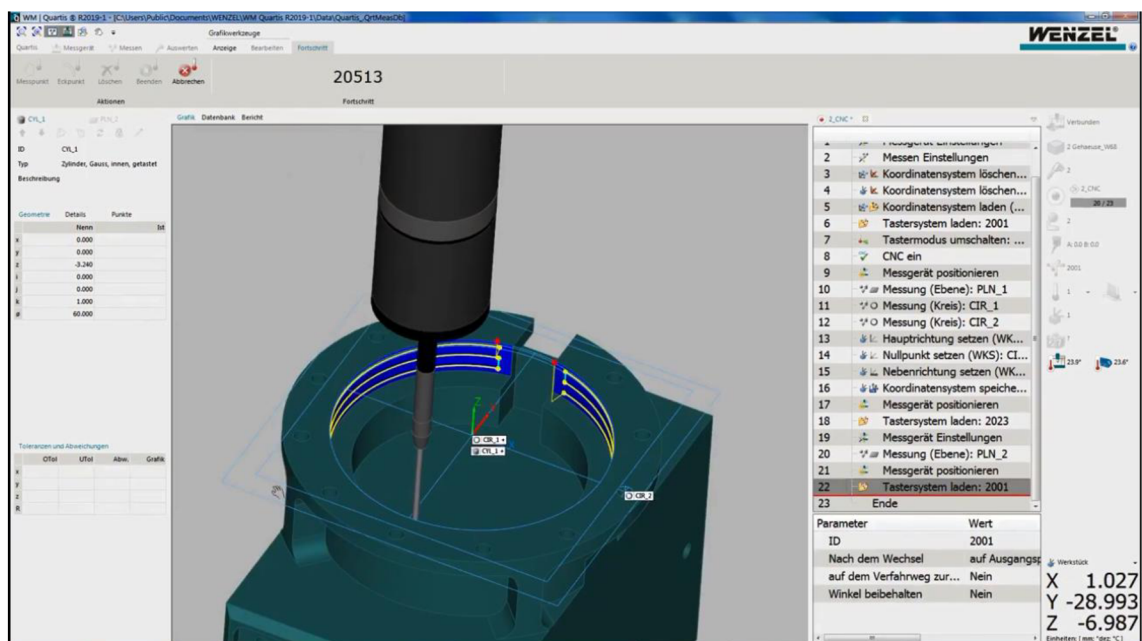


Obrázek 36: Příklad síťového rozhraní

6.2. Způsob programování SMS

Programování motorizovaného souřadnicového stroje Wenzel se může provést dvěma způsoby. Tvorba měřícího programu by se v prvním způsobu by se ještě uskutečnila v konstrukci, a to pomocí CAD/CAM programu, ve kterém by konstruktér vytvořil měřící body dané elektrody a tato data uložil pod názvem elektrody_M s příponou měřícího programu. Po výzvě od PLC systému by si je pak měřící stroj importoval a provedl měření založené elektrody. Výsledné hodnoty změřené elektrody by pak exportoval a uložil do zvolené složky. Programování by zde bylo jen na určení měřícího bodu, ke kterému by pokaždé najel. Jedná se tedy o zanesení do souřadnicového systému. U tohoto způsobu by měřící program vytvořil konstruktér, odhadovaná doba tvorby programu je 2-4 minuty v závislosti na počtu měřících bodu na elektrodě. Případně by se tento proces tvorby měřícího programu mohl vytvořit i na měřícím stroji, zde by to bylo časově o něco náročnější, jelikož by se to v softwaru stroje muselo nejdříve otevřít, přeložit a teprve pak by se zde mohl vytvořit měřící program. Software měřícího stroje by měl umožnit překládat z naprosté většiny CAD programů jako jsou například Solidworks, Catia, Invertor, SolidEdge, Proingenier a další.

Druhou možností je vytvoření universálního programu pro všechny elektrody. Tento program by se pak na základě tvaru a rozměru aktuální měřené elektrody přizpůsobil. Bohužel to zatím není úplně tak jednoduché. Musela by se například vytvořit série kódů pro definování měřené tvaru elektrody a pak importovat rozměry dané elektrody. Zde by se musel programově vytvořit složitější měřící program, do kterého by se pouze aktuálně nahrály rozměry a název aktuální měřené elektrody. Tato data je systém schopný stáhnout z databáze na serveru.



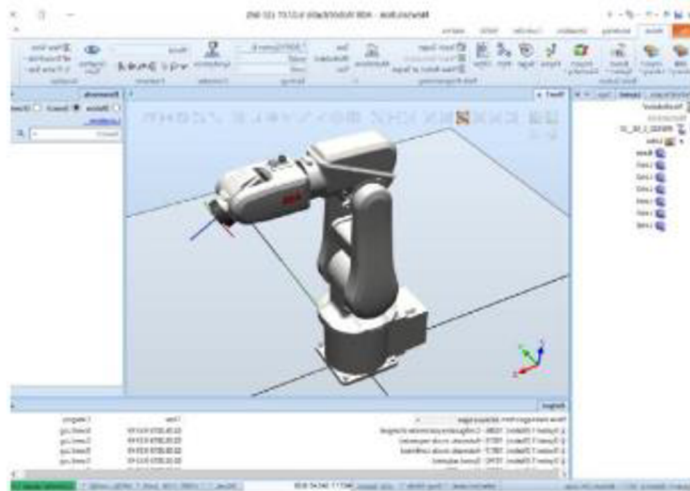
Obrázek 37: Pracovní prostředí měřícího softwaru Metrosoft Quartis [18]

Samotné měření by probíhalo tak, že by nejdříve došlo k proměření ofrézovaného rámečku v podobě čtyř bodů pro čtvercový rámeček. Z něho se získá přesná pozice a stranový rozměr. Dále najede stroj na určený bod na elektrodě, který určí výšku samotné elektrody. Ze změřených dat v souřadnicovém stroji uloží tabulku s korekcemi k dané elektrodě. Data by se ukládala do souboru ve formátu .csv nebo .xlt a to pod názvem samotné elektrody_K jako korekce. Tato data by se pak vložila do hloubičky.

6.3. Způsob programování robota

Kolaborativní roboty je jednoduché naprogramovat pomocí ručního navádění uchopením kterékoliv části robota a určit mu cesty a pozice požadované pozice, tato aplikace bude však složitější a bude potřeba trochu pokročilejšího programování. Programování robota by postupovalo přes naučení potřebných pozic, které slouží pro odebírání či zakládání elektrod. a následné trasy mezi pozicemi. Jedná se tedy především o celkem 40 pozic na dvou odkládacích paletách a jedné měřící pozici, kde je umístěn pneumatický upínač pro pevné uchopení elektrody. Další pozicí kterou je třeba cobota naučit je čtecí pozice čtečky QR kódů. Po naučení těchto pozic by se určily

předávací signály mezi robotem, SMS a řídicím systémem. Robot se může ovládat přes ruční ovladač „Flexpendant“, což je při naučení požadovaných přesných pozic výhodné. Kolaborativnímu robotu by se ještě určily bezpečné prostory a prostory, kam nesmí. Nastavily by se mu parametry rychlosti a zrychlení tak, aby se zamezilo možnému riziku vzniku nebezpečí. Samotné řízení by probíhalo přes PLC. Robot by byl s PLC propojen přes ethernetový kabel nebo přes profinet. PLC by například řeklo „jeď na pozici 4 v základací paletě a robot provede naprogramovanou sérii pohybů. Mezi tyto cykly patří dojeď před tuto pozici, otevři chapadlo, najed na požadovanou pozici, sevři prsty na chapadle, uchop elektrodu, vysuň uchopenou elektrodu cca 80 mm do výšky a přesuň ji na pozici čtení pro přečtení QR kódu. Po správném ověření odebrané elektrody ji založ do upínače na měřícím stole. Robot disponuje řídicím systémem OmniCore a komunikace by probíhala přes komunikační sběrnici ethernet. Součástí robota je řídicí controler OmniCore C30.



Obrázek 38: Pracovní prostředí programování robota v robot studiu [17]

6.4. Rozvaha hardwarového a softwarového řešení

Důležitou součástí provedení automatizace je volba správného softwarového a hardwarového vybavení měřícího pracoviště. Zde je pouze návrh použitelných řešení. Měřící stroj je vybaven softwarem Metrosoft Quartis R16, který pracuje na operačním systému Windows 7 a vyšším. U softwaru Quartis bude potřeba mít k dispozici několik výbavových modulů. Mezi tyto moduly patří EDM (Export Measuring Data, dříve Q-DAS). Modul EDM umožňuje export výsledků měření v následujících formátech ASCII,

Excel, BMWlpp a csv. Do další výbavy modulů měřicího stroje by mohly patřit moduly DMIS, ED8 a případně AUTOM.

Co se týče vybavení u nadřazeného řídicího systému, jednalo by se například o PLC od Siemens s řídicím systémem Simatic S7. K tomu by se musel pořídit i HMI ovládací panel. Pořizovací ceny těchto hardwarových a softwarových částí měřicího pracoviště jsou znatelné, například za samotné PLC Siemens je to 16000 Kč, za HMI ovládací panel o velikosti 7" je to 19000 Kč. Dále je potřeba napájecí zdroj k PLC, analogové vstupní moduly a další vybavení na zprovoznění.

Orientační časová náročnost na vytvoření a oživení všech programových částí týkajících se nadřazeného systému, kolaborativního robota, čtečky QR kódů a případných bezpečnostních prvků, vypadá následovně. U programování robota je potřebný čas odhadnutý na 40 hodin. V tomto odhadu je zahrnuto jak programování drah, tak nastavení rychlostí a určení bezpečných a nebezpečných drah. U časové náročnosti na naprogramování nadřazeného je odhad okolo 50 hodin. Celkové naprogramování a oživení řešeného pracoviště je odhadnuto na 90 hodin. Při hodinové sazbě například 900 Kč / hod je výsledná cena 81000 Kč.

7. Zhodnocení výsledků

V této kapitole je postupné zhodnocení výsledků zjištěných při tvorbě této práce. Při stávajícím měření elektrod je měření pomalé, je zde potřeba obsluhy a navíc je zmenšován využitelný pracovní čas pro elektroerozivní hloubení. Měření probíhá manuálně a zápis změřených korekcí je též přepisován ručně, může tedy snadno dojít k chybě, kdy se omylem napíše špatná hodnota. Tato chyba pak může mít velký význam pro přesnost výsledného rozměru. Při využití nového způsobu by se soubor dat reprezentující tabulku korekcí automaticky nahrával přímo do hloubicího stroje.

V provedené analýze zautomatizování procesu měření je pár bodů vhodných pro opětovné krátké srovnání. Rychlost najíždění do měřících pozic je u hloubičky v závislosti na ose od 0,08 - 0,16 m/s, kdež to u souřadnicového měřicího stroje je rychlost až 0,7 m/s, to znamená že SMS je 4 - 8* při měření rychlejší než hloubička.

Při porovnání manuálního a automatického způsobu měření jsou kromě rychlosti měření rozdíly ve vstupních nákladech pořízení robota, chapadla, řídicího systému a programování zcela ve prospěch manuálního měření. V průběžných nákladech je to ale obráceně, u manuálního zakládání to jsou náklady na zaměstnance, pomalejší proces měření, nutnost ručního zapisování korekčních dat a tedy velký prostor pro vytvoření chyby. Nespornou výhodou zautomatizování měření elektrod je výrazné snížení lidského faktoru.

Při výběru vhodného robota se vycházelo ze vstupních podmínek týkajících se hmotnosti a velikosti měřených elektrod. Automatické měření je uzpůsobeno měření elektrod až do váhy 4 kg a maximální šířky elektrod, která činí 200 mm. Z porovnávaných robotů byl díky své přesnosti zakládání, velkému dosahu a rychlosti vybrán kolaborativní robot ABB CRB 15000 GoFa za 26015 €. Druhou možností je výběr robota AUBO i5, který je ze všech porovnávaných robotů nejlevnější a to s cenou 18500 €. Z jejich modelového porovnání je konstrukce robota AUBO i5 slabší. Hlavním rozdílem je nejspíše důraz na bezpečnost, kde u robota ABB jsou senzory kroutících momentů na všech osách s pokročilou technologií pro omezení výkonu. Kdež to AUBO i5 má pouze jeden silový senzor umístěný na koncovém rameni. Další možností jak snížit cenu robota je zmenšit maximální hmotnost zakládané elektrody například na 2 kg. Kolaborativní roboti s nosností 3 kg se pohybují okolo 20000 €. S menší nosností robota se zmenšuje i maximální dosah robota a není tedy jisté, že by cobot v tomto návrhu měřicího pracoviště dosáhl na všechny pracovní souřadnice. To by šlo řešit doplněním robota o 7. řízenou posuvnou osu, kde by robot díky této ose pokryl větší manipulační prostor. Další možností je použití otočného stolu se dvěma pozicemi, tím je zakládací pozice k robotu blíže. U otočného stolu by se ještě více zvýšila produktivita měření. Náklady na pořízení 7. řízené osy nebo otočného stolu se pomalu vyrovnají úspoře za výběr menšího robota. Z tohoto hlediska postrádají smysl.

Z těchto poznatků se volba kolaborativního robota CRB 15000 GoFa jeví jako správná.

Orientační celkové náklady na zprovoznění automatického pracoviště hromadného měření elektrod se pohybují okolo 700000 - 900000 Kč v závislosti na vybraném cobotu a nadřazeném řídicím systému.

Závěr

Cílem práce byla analýza technického řešení zautomatizovaného měření elektrod pro elektrojiskrové stroje. Nejdříve byl podrobněji popsán aktuální stav všech procesů při výrobě elektrod, jejich proměření a samotného elektrojiskrového obrábění.

V analýze technického řešení bylo probráno několik možných řešení jak zlepšit proces měření a zefektivnit výrobu na elektrojiskrovém stroji. Od možnosti zakládat elektrody po jedné a ručně do jednoho měřicího upínače na souřadnicovém měřicím stroji, přes možnost ručního založení až 20 ks elektrod do měřicí palety se tyto možnosti zakládání pracovníkem ukázali jako neefektivní a neekonomické. U těchto způsobů zakládání a měření je navíc velký prostor pro vznik nějaké chyby.

Následovala podobná analýza stejného procesu avšak s využitím robota. Z provedené analýzy vzešel koncept měřicího procesu, při kterém by se tento průběh zautomatizoval a tím by se snížilo riziko vzniku chyby. Zvýšila by se plynulost měření a výrobní stroj pro hloubení by nebyl omezován měřicí operací.

Po upřesnění, že bude pracoviště obsluhovat robot, vznikla krátká rešerše jednotlivých druhů robotů. Po určení vstupních informací ohledně velikosti elektrod, potřebného dosahu, rychlosti, přesnosti zakládání a bezpečnosti proběhlo porovnání několika typů robotů, které by se pro tuto aplikaci mohly využít. Z tohoto výběru byl zvolen typ spolupracujícího robota. Ze zjištěných podkladů a technických dat se nejvhodněji jevil kolaborativní robot CRB 15000 GoFa od společnosti ABB.

Poté přišla na řadu konstrukční část návrhu pracoviště pro hromadné měření elektrod. V konstrukčním návrhu se vycházelo ze zjištěných informací z provedených analýz. Návrh byl tvořen s ohledem na technickou proveditelnost na pracovišti, bezpečnost práce a ekonomickou rozvahu.

Práce pokračovala v návrhu možného řídicího systému a komunikace mezi jednotlivými zúčastněnými stroji. Zde se vycházelo z technických podkladů strojů. Proběhl i nástin způsobu programování souřadnicového měřicího stroje a robota. Výsledkem této práce je návrh zautomatizovaného pracoviště, kde byly probrány a řešeny všechny požadované body. Výsledky této práce mohou posloužit pro následnou

budoucí realizaci automatizace pro hromadné měření elektrod pro elektrojiskrové stroje.

Literatura

- [1] SHIGLAY, J. E., CH. R. MISCHKE, R. G. BUDYNAS, M. HARTEL a M. VLK. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80214-2629-0.
- [2] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. Praha: Albra, 2011. 927s. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [3] STASTO Automation s.r.o., OnLineKatalog [online], Dostupný z <https://www.stasto.cz/katalog.aspx>.
- [4] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM Publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3
- [5] NOVOTNÝ, R. *Problematika 3D měření* [online]. Zlín, 2017 [cit. 2022-05-18]. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati v Zlíně. Dostupné z: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/39489>
- [6] ČEPOVÁ, Lenka, PETŘKOVSKÁ Lenka. *Legislativa ve strojírenské technologii a přesné měření 3D ploch*. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 125 s. ISBN 978-80-248-2514-4
- [7] ŘASA, J a Z. KEREČANINOVÁ. *Nekonvenční metody obrábění. MM průmyslové spektrum* [online]. 2007, (7,8) [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni>
- [8] *ABB Robotika v ČR* [online]. PRAHA, 2012 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: www.roboti.cz/test/aktuality/Robotika-v-CR
- [9] SOBOTA, M. *Vyhodnocení opakovaných měření na 3D měřícím stroji Wenzel LH 54* [online]. 2011 [cit. 2022-05-18]. Bakalářská práce. Technická univerzita Liberec. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/148927>
- [10] DVOŘÁK, Josef. *Digitální dvojče robotického kloubu* [online]. 2020 [cit. 2022-05-18]. Bakalářská práce. Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích. Dostupné z: <https://is.vstecb.cz/th/sap53/>.
- [11] Návod k používání Wenzel LH 54, Technický popis stroje 2001, firma Wenzel.
- [12]+GF+ Machining Solutions. *GF Machining Solutions* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.gfms.com/com/en.html>

- [13] PRIMUS, T. *Systémy SCADA a nástroje pro sběr, vizualizaci a analýzu průmyslových dat* [online]. Liberec, 2011 [cit. 2022-05-18]. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/70825>.
- [14] *Reliance, system SCADA* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.reliance-scada.com/files-to-download/Reliance4_Leaflet_2013_CS.pdf
- [15] *Seřizovací list palety*. Jablonec nad Nisou. Interní materiál používaný ve firmě A.Raymond Jablonec s.r.o.
- [16] *Cognex- dataman čtení kódu* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://eola.cz/media/attachments/2020/04/10/dm60_manual_web.pdf
- [17] BŘEZINA, J., H. ŠPAČKOVÁ, R. FRISCHER, J. DAVID a P. ŠVEC. *ABB, Roboti ABB a jejich programování* [online]. Ostrava, 2020, 35 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/204334489-Studijni-prirucka-abb-roboti-abb-a-jejich-programovani-autori-jan-brezina-hana-spackova-robert-frischer-jiri-david-pavel-svec.html>
- [18] *Měřicí stroje Wenzel* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://en.wenzel-group.com/products/wm-quartis>

Seznam příloh

Analýza rizik

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny příklady hodnocení analýzy rizik.

Typ nebezpečí:	01 Mechanická nebezpečí
Zdroj nebezpečí:	Pohyblivost strojního zařízení
Možné následky:	Naražení
Nebezpečný prostor:	Prostor okolo robota a chapadla
Existuje v režimu:	Automatický režim
Popis nebezpečné situace:	Naražení chapadla od robota do lidské části

OPOR - Ochrana projektovým omezením	<input checked="" type="checkbox"/>	Datum vyhotovení hodnocení:	28.04.2022
OKTP - Ochrana konstrukčně-technickými prostředky	<input checked="" type="checkbox"/>	Výrobní číslo zařízení:	
OTPR - Ochrana technickými prostředky řízení	<input type="checkbox"/>	Název zařízení:	Měřicí pracoviště
QOPP - Osobní ochranné pracovní pomůcky	<input type="checkbox"/>	Opatření číslo:	2
BSNS - Bezpečnostní sdělení na stroji	<input checked="" type="checkbox"/>		
UVNP - Upozornění v návodu k použití	<input checked="" type="checkbox"/>		

Riziko před opatřením:	1	Lehké (s přechodnými následky) Řidká až málo častá a/nebo doba vystavení je krátká Sotva možné Možný
Požadovaná úroveň vlastností (PLr):	B	
Závažnost zranění:		
Četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí:		
Možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody:		
Pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace:		

Uvedená nebezpečí jsou minimalizována pomocí:

- snížení tlaku vzduchu
- zaoblení všech možných hran
- kolaborativní typ robota
- bezpečnostní prostorový senzor pohybu (definování pracovního prostoru)

Riziko po opatření:	0	Lehké (s přechodnými následky) Řidká až málo častá a/nebo doba vystavení je krátká Možné za určitých podmínek Nepravděpodobný
Závažnost zranění:		
Četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí:		
Možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody:		
Pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace:		

Obrázek 39: Analýza hodnocení rizika naražení robotem

Typ nebezpečí:	01 Mechanická nebezpečí
Zdroj nebezpečí:	Pohybující se prvky
Možné následky:	Stlačení
Nebezpečný prostor:	Prostor okolo chapadla
Existuje v režimu:	Automatický režim
Popis nebezpečné situace:	Sevření prstu nebo ruky

OPOR - Ochrana projektovým omezením	<input checked="" type="checkbox"/>	Datum vyhotovení hodnocení:	28.04.2022
OKTP - Ochrana konstrukčně-technickými prostředky	<input checked="" type="checkbox"/>	Výrobní číslo zařízení:	
OTPR - Ochrana technickými prostředky řízení	<input type="checkbox"/>	Název zařízení:	Měřicí pracoviště
QOPP - Osobní ochranné pracovní pomůcky	<input type="checkbox"/>	Opatření číslo:	1
BSNS - Bezpečnostní sdělení na stroji	<input checked="" type="checkbox"/>		
UVNP - Upozornění v návodu k použití	<input checked="" type="checkbox"/>		

Riziko před opatřením:	1	Lehké (s přechodnými následky) Častá až nepřetržitá a/nebo doba vystavení je dlouhá Sotva možné Možný
Požadovaná úroveň vlastností (PLr) :	C	
Závažnost zranění:		
Četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí:		
Možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody:		
Pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace:		

Uvedená nebezpečí jsou minimalizována pomocí:

- snížení tlaku vzduchu
- zaoblení všech možných hran
- kolaborativní typ robota
- bezpečnostní prostorový senzor pohybu (definování pracovního prostoru)

Riziko po opatření:	0	Lehké (s přechodnými následky) Řídká až málo častá a/nebo doba vystavení je krátká Možné za určitých podmínek Nepravděpodobný
Závažnost zranění:		
Četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí:		
Možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody:		
Pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace:		

Obrázek 40: Příklad hodnocení analýzy rizika sevření chapadlem

Popis metod přijatých k odstranění nebezpečí vytvářených strojním zařízením

Datum tisku:

20. 4. 2022

Návod na odhad rizika

za účelem výběru vhodných opatření a posouzení jejich účinnosti, grafickou metodou pomocí tabulky a čtyř pomocných parametrů ZP, VD, MV a PV (při volbě jednotlivých parametrů se vždy uvažuje nejhorší možnost)

Tabulka pro odhad rizika grafickou metodou (riziko s bodovou hodnotou 0 je nejnižší, riziko s bodovou hodnotou 10 je nejvyšší)

	Závažnost škody na zdraví	Četnost a doba trvání nebezpečných situací	Možnost vyvarování se nebo omezení škody	Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události		
smrt	často	sořva možné	8	9	10	
		za určitých podmínek možné	7	8	9	
	občas	sořva možné	6	7	8	
		za určitých podmínek možné	5	6	7	
	těžká	často	sořva možné	4	5	6
			za určitých podmínek možné	3	4	5
občas		sořva možné	2	3	4	
		za určitých podmínek možné	1	2	3	
lehká	sořva možné	0	1	2		
	za určitých podmínek možné	0	0	1		
			nepravdě- podobný	možný	pravdě- podobný	

Stupňování pomocných parametrů:

parametr ZP - závažnost možné škody (poškození zdraví)

lehká poškrábání, odření, pohmoždění, tržné rány a zlomeniny bez trvalých následků
těžká zlomeniny, amputace, ztráta zraku nebo sluchu s trvalými následky
smrt smrtelné zranění

parametr VD - četnost a doba trvání nebezpečné situace

občas vzácně, zřídka, málokdy, nepravidelně, krátce
často pravidelně, dlouhodobě, popřípadě trvale

parametr MV - možnost vyvarování se nebo omezení škody

pm za určitých podmínek je možné se škody (poškození zdraví) vyvarovat nebo lze omezit její rozsah
sm vyvarování se nebo omezení škody (poškození zdraví) je jen stěží (sořva) možné

parametr PV - pravděpodobnost výskytu nebezpečné události

n výskyt je nepravděpodobný
m výskyt je možný
p výskyt je pravděpodobný

Zkratky pro použitá bezpečnost-ní a/nebo ochranná opatření:

OPOR - ochrana projektovým omezením rizika
OKTP - ochrana konstrukčně- technickými prostředky
OTPR - ochrana technickými prostředky řízení
OOPP - osobní ochranné pracovní prostředky
BSNS - bezpečnostní sdělení na stroji
UVNP - upozornění v návodu k použití

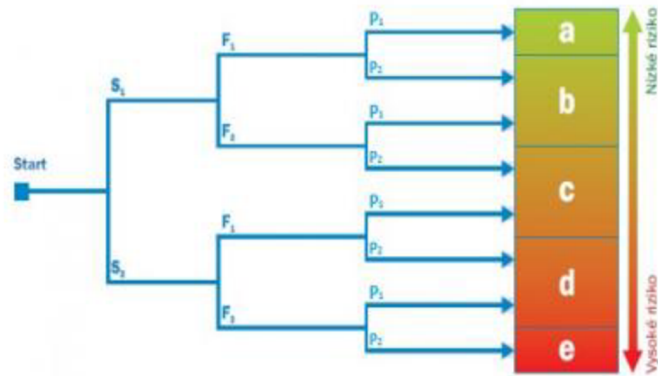
Popis metod přijatých k odstranění nebezpečí vytvářených strojním zařízením

Datum tisku:

20. 4. 2022

Návod na stanovení požadované úrovně vlastností za účelem hodnocení úrovně vlastností PL, grafickou metodou pomocí tabulky a tří pomocných parametrů S, F a P

Tabulka pro stanovení požadovaného PL-úrovně vlastností



Stupňování pomocných parametrů:

parametr S - závažnost zranění

S1 = Lehké (s přechodnými následky)

S2 = Závažné (s trvalými následky)

parametr F - četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí

F1 = Řídká až málo častá a/nebo doba vystavení je krátká

F2 = Častá až nepřetržitá a/nebo doba vystavení je dlouhá

parametr P - možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody

P1 = Možné za určitých podmínek

P2 = Sotva možné