



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**AUTOMATIZACE VÝROBY KOMPONENT
TRANSFORMÁTORŮ PRŮMYSLOVÝM ROBOTEM**

PRODUCTION AUTOMATION OF TRANSFORMER COMPONENTS BASED ON INDUSTRIAL ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Procházka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Petr Procházka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**
Akademický rok: 2016/17

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

Automatizace výroby komponent transformátorů průmyslovým robotem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh koncepce pracoviště s průmyslovým robotem zaměřenou na výrobu komponent transformátorů.

Cíle bakalářské práce:

1. Návrh koncepce pracoviště pro daný typ aplikace.
2. Návrh vhodných přípravků.
3. Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti.

Seznam doporučené literatury:

- SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4
- PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
- NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0
- MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá automatizováním výroby pájení primárních svorek u transformátoru. Budu zde posuzovat postupy, které zaručí co nejpřesnější tolerance zadané od firmy, která tento projekt řídí. Konečná verze úpravy přípravku je upravená tak, aby splňovala nejen rozměrová, ale také pevnostní, korozivzdorná, prostorová, cenová kritéria. Finální verze přípravku je testována v procesu robotem. Hlavní bude ověření rozměrové stálosti za provozu. Jedním z bodů této práce bude vypracovaný popis návrhu automatizovaného pracoviště. Důvod návrhu automatizovaného pracoviště je ulehčení zaměstnancům od náročných pracovních úkonů v procesu pájení primárních cívek.

ABSTRACT

The bachelor's thesis focuses on the automate process of primary transformer's soldering. My work is to assess proceedings that guarantee that tolerances given by the controlling company shall be as accurate as possible. Final version of the product is modified in such a way to meet a size criterion as well as strength, anti-corrosion, space and price standards. The final version of the product is tested by the robot during the process. The main task is the verification of the size stability during the operation. One of the point of my bachelor's thesis is to describe a plan of automate workplace. The main reason for designing a plan of automate workplace is to help employees and facilitate from demanding work in the process of primary coil soldering.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přístrojový transformátor – Netočivý elektrický stroj.

Primární vinutí – Vinutí, které se připojuje ke zdroji.

Sekundární vinutí – Vinutí, které tvoří vývod transformátoru.

Indukční pájení – Vytvoření nerozebíratelného spojení.

Pájecí voda – Slouží pro aktivaci povrchu u pájení.

Koroze – Samovolné rozrušení struktury materiálu.

Robotizované pracoviště – Pracoviště, ve kterém se pro jednotlivé úkony používají roboti.

Rozsah ramene – Jsou to maximální vzdálenosti, do kterých je schopen robot pracovat.

Vzlínání cínu – Je jev, který probíhá po jeho roztavení. Tekutý cín kapilárně teče směrem nahoru po jiném materiálu.

KEYWORDS

Instrument transformer – Non-rotating electric machine.

Primary winding – Winding, which connect to the source.

Secondary winding – Winding, which is the transformer outlet.

Induction soldering – It creates unbreakable joint.

Solder water – Used to activate the surface of soldering.

Corrosion – Self-excitement of the structure materiál

Robotic workplace – A workplace where robots are used for each operation.

Robotic range - These are the maximum distances the robot is capable of working on.

Rising tin - It is a phenomenon that occurs after its melting. Liquid tin capillary flows upward through another material.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROCHÁZKA, P. *Automatizace výroby komponent transformátorů průmyslovým robotem*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 48 s., Vedoucí diplomové/bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji výrobní společnosti za spolupráci a možnost podílet se na tomto projektu. Hlavně vedoucí projektu paní Ing. Barboře Scheibové, která mi poskytla cenné rady a připomínky. Poděkování také patří mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Aleši Pochylému, za perfektní domluvu, trpělivost a cenné rady.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.5. 2017

.....
Procházka Petr

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE.....	17
2.1	Výrobní společnost	17
2.1.1	Celosvětové zastoupení firmy	17
2.1.2	Zastoupení firmy v České republice.....	17
2.1.3	Historie firmy v Brně.....	17
2.1.4	Výroba firmy v Brně.....	17
2.2	Transformátory	19
2.2.1	Přístrojový transformátor proudu	19
2.2.2	Přístrojové transformátory napětí	21
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	23
3.1	Popis výrobního procesu proudového transformátoru.....	23
3.1.1	Stříhání lepenky na ochranu jader	23
3.1.2	Bandáž ocelových pásků	23
3.1.3	Navíjení sekundárního vinutí.....	23
3.1.4	Testování sekundárního vinutí.....	23
3.1.5	Příprava vývodů sekundárního vinutí.....	23
3.1.6	Odlití spodní části transformátoru se sekundární svorkovnicí	23
3.1.7	Výroba primárních kabelů	23
3.1.8	Příprava a navíjení primárních kabelů.....	24
3.1.9	Pájecí pracoviště	25
3.1.10	Princip indukčního ohřevu.....	26
3.1.11	Zaformování a odlévání transformátoru	27
3.1.12	Finální sestavení	27
3.1.13	Finální testování	27
3.2	Současný stav pracoviště	28
3.3	Současný stav přípravků	29
3.3.1	Problém koroze přípravku	31
4	NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVISTĚ	33
4.1	Pracovní prostor robota a pájecí proces.....	33
4.2	Jednotlivé fáze automatizovaného pájení	34
4.3	Manipulační robot ABB IRB 6620-150/2,2	36
4.3.1	Technické parametry robota:	37
4.3.2	Standardizované rozsahy ramene	38
4.3.3	Osy a převodovky robota.....	39
4.4	Uchopovací čelisti robota	40
4.5	Pájecí pracoviště	41
4.5.1	Pájecí robot ABB IRB 4600-60.....	41
4.5.2	Indukční ohříváč MINAC 18/25 TWIN	42
4.5.3	Pracoviště pro chlazení svorky	43
4.6	Řídící centrum IRC 5	43
4.7	Úprava přípravků podle požadavků dodavatele.....	44
5	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	47
5.1	Časy zapájení svorek	47
5.2	Zapájený spoj.....	47

5.3	Zhodnocení investování.....	48
6	ZÁVĚR.....	49
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	51
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	53
8.1	Seznam tabulek.....	53
8.2	Seznam obrázků.....	53
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce popisuje návrh pracoviště pro automatizaci pájení primárních komponent u transformátoru. Pájení primárních cívek transformátoru je nedílnou součástí výroby napěťových transformátorů. Automatizace tohoto procesu může nejen zlepšit kvalitu, ale i zrychlit proces pájení.

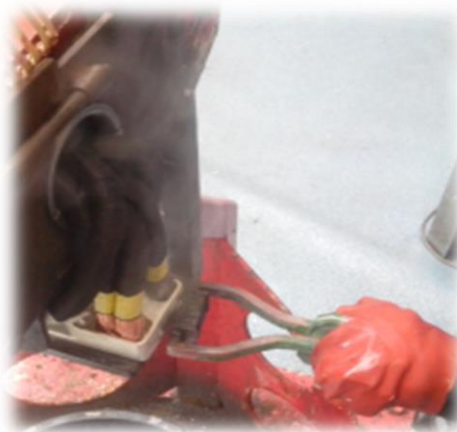
V první části popisují současný stav pracoviště i s procesem pájení. Tento způsob pájení děláme už více jak 10 let. Dále je zde popsán přípravek se všemi částmi a přehled k čemu jednotlivé části slouží. Uvádím zde největší problémy, které jsme museli na přípravech řešit.

Hlavní část práce spočívá v popisu návrhu pájecího pracoviště se všemi zařízeními, které obsahuje. Jednotlivé zařízení jsem popsal obecnými parametry. Celý proces automatizovaného pájení jsem rozdělil do jednotlivých fází.

Celý projekt řídí a navrhuje naše dodavatelská společnost, která měla pár připomínek ohledně přípravků. Jednotlivé problémy jsem se snažil vyřešit tak, aby vyhovovaly požadavkům na přesnost robota a zároveň, aby měl přípravek dlouhou životnost. Jedním z hlavních problémů byla koroze, která byla důsledkem odpařování kyseliny a leptáním povrchu obyčejné oceli.

Automatizace výroby nabízí velkou spoustu výhod. Doufáme, že automatizováním tohoto procesu zlepšíme kvalitu i rychlost pájení. Náš projekt automatizace pájení primárních svorek, má vyřešit tyto hlavní body.

- 1) Při pájení se odpařuje kyselina Pragokor R, která slouží k aktivaci povrchu pájené součásti. Tato kyselina je důležitou součástí procesu pájení. Pracovník pájku nanáší ručně. Hlavní problém vzniká při nanášení kyseliny na horkou svorku (obr. 1). Kyselina se odpařuje v podobě kyseliny chlorovodíkové. I přes důkladné odsávání není tato část procesu bezpečnou záležitostí pro zdravotní stav pracovníka.



Obr. 1) Odpařování kyseliny chlorovodíkové (fotografie)

- 2) Svorka se nahřívá pomocí indukčního ohříváče na teplotu 250°C – 300°C (obr. 2). Pracovník nanáší pájku ručně, ale i při použití ochranných prostředků je zde riziko popálení.



Obr. 2) Ruční nanášení pájky do horké svorky (fotografie)

- 3) Přípravky jsou skladovány v regálu a pracovník si je musí vždy donést na pracoviště. U pracoviště pájení si je musí usadit do otáčecího přípravku. Usazování není jednoduchá záležitost, protože přípravek s jádrem může vážit až 35 kg. Na zvednutí a usazení přípravku musí být často dva.

2 MOTIVACE

2.1 Výrobní společnost

2.1.1 Celosvětové zastoupení firmy

Firma, ve které tento projekt realizujeme přes 125 000 zaměstnanců po celém světě. Má zázemí přibližně ve 100 zemích.

2.1.2 Zastoupení firmy v České republice

Společnost zaměstnává v ČR více než 3400 zaměstnanců. V ČR se zabývá všemi čtyřmi odvětvími. Největší výroba společnosti v ČR je v Brně. Zde má okolo 1000 zaměstnanců.

2.1.3 Historie firmy v Brně

Firma se zabývá výrobou přístrojových transformátorů již od roku 1919. Tehdy se transformátory vyráběly s olejovou izolací.

Od roku 1952 firma začala používat na místo olejové izolace epoxidovou. Epoxid je pryskyřice s velmi vysokou tvrdostí a výbornými izolačními vlastnostmi. Epoxid má v tekutém stavu velmi dobrou zabíhavost.

Od roku 1993 se výroba transformátorů stala samostatnou divizí. Před tímto rokem patřila pod výrobu rozvaděčů. Roku 1997 se výroba přesunula do samostatných prostor. V těchto prostorách se také nacházela nová zkušební laboratoř.

2.1.4 Výroba firmy v Brně

Divize přístrojových transformátorů společnosti prodává transformátory samostatně na zakázku nebo jako součást rozvaděče. Společnost spolupracuje s organizacemi na celém světě. Mezi jedny z největších zakázek patří:

- Zakázky do atomových elektráren Temelín a Dukovany
- Transformátory v hlavním městě Praha pro stanice metra
- Různé projekty a zakázky v tepelných elektrárnách
- Různé chemické podniky
- Automobilky, mezi které patří i Škoda Auto

Největší zakázky jsou ze zemí Abu Dhabí, Bosna a Hercegovina, Egypt, Čína, Irán, Rusko, Švýcarsko, Nizozemsko, Turecko, USA, a spousta dalších zemí.

Od roku 2010 firma zažívá velký rozvoj v oblasti senzoriky. Firma začala vyvíjet nové senzory, které se prodávají do celého světa (obr. 3).



Obr. 3) Typy senzorů firmy

2.2 Transformátory

Transformátory jsou elektrické zařízení. Fungují na principu elektromagnetické indukce. Mění velikost vstupního napětí, nebo proudu. Transformátory mohou střídavý proud i napětí zvyšovat nebo snižovat. Transformace probíhá při konstantní frekvenci [1].

2.2.1 Přístrojový transformátor proudu

Transformátory proudu jsou odlišné převážně v tvaru epoxidového tělesa, magnetického obvodu, primárního a sekundárního vinutí (obr. 4). Proto je můžeme rozdělit na transformátory průchodkové, průchodkové tyčové, podpěrné, násuvné na kabel, vinuté, nebo speciální konstrukce.



Obr. 4) Typy přístrojových transformátorů proudu

Jádro může být vyrobeno z niklových slitin nebo z ocelí s vysokým obsahem křemíku. Skládá se z transformátorových plechů. Tyto plechy jsou pevně staženy tak, aby se zaručila stálost zadaných parametrů.

Sekundární vinutí u proudového transformátoru má různé průřezy vodičů. Umožňuje nám to měnit velikost zkratového a jmenovitého proudu a také přetížitelnosti. Po navinutí je každá sekundární cívka kontrolována na přesnost.

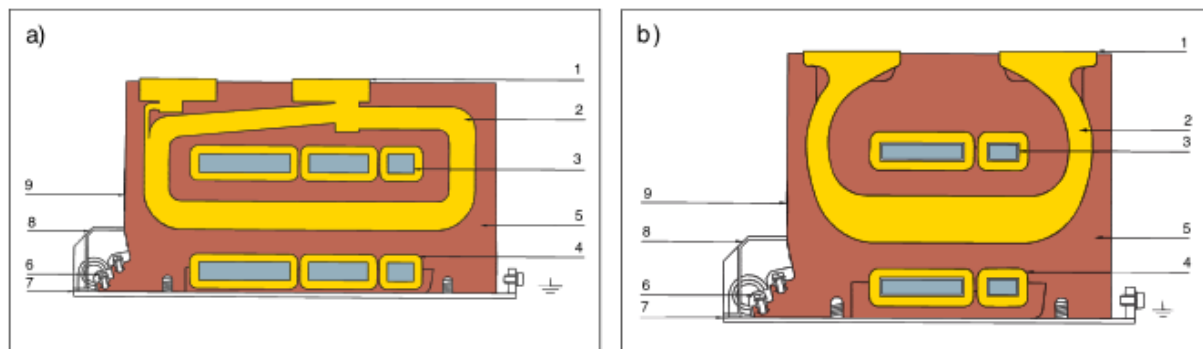
Primární vinutí tvoří pásy z Cu (obr. 5, a). Kombinací těchto pásků jsme schopni splnit různé požadavky na ampéřzávity a tím i zkratový proud. Povrch těchto pásků je většinou chráněn nejčastěji niklováním. Pro mnohem vyšší proudy se do transformátorů dávají odlitky z Cu (obr. 5, b). Ty jsou odlévány tak, aby jejich tvar splňoval zadané elektrické parametry. Povrch těchto odlitků se stříbí. Některé transformátory nemusí mít primární vodič. Těmto transformátorům se říká průchodové. S vodičem se připojují přípojnici.

Primární kabely mohou mít různé tvary. Jsou to například VARIA kabely a kulaté kabely. VARIA kabely jsou relativně nové. Jejich průřez je obdélníkový a vyrábí se v třech průřezích. Pomocí použití různých počtů těchto kabelů jsme schopni konstrukčně vyrobit velký výběr požadovaného napětí a parametrů.

Jedná-li se o transformátor vnitřní, nejčastěji součástí rozvaděče, volí se tvar odlitku podle prostoru v rozvaděči, požadavku zákazníka a norem. Odlité transformátory se nejčastěji montují na montážní kovové desky. Tvar sekundární svorkovnice je zpravidla odléván. V transformátoru jsou zalité sekundární svorky, které slouží k dalšímu vyvedení elektrické energie. Transformátor má dva druhy přepínání. Sekundární a primární přepínání. Celé jádro se odlévá do epoxidové pryskyřice.

Venkovní transformátory jsou odlity ze speciální venkovní pryskyřice. Tato pryskyřice je odolná proti nepříznivým vlivům přírody. Můžeme je například vidět u Jaderné elektrárny Dukovany v rozvodné síti.

Všechny transformátory, ať už venkovní, nebo vnitřní mají své druhy krytů svorkovnic, které jsou pečlivě zaplombované. Transformátory mají přesně definované možnosti zapojení. Jsou označeny podle normy IEC a většinou je značení přímo na odlitku [2].



Obr. 5) a) Podpěrný závitový transformátor, b) podpěrný jednovávitový transformátor

1. Primární svorka
2. Primární vinutí, primární odlitek
3. Magnetický obvod
4. Sekundární vinutí
5. Odlitek z epoxidové pryskyřice
6. Sekundární svorky
7. Základní kovová deska
8. Zaplombovaný kryt sekundární svorkovnice
9. Popisový štítek s parametry transformátoru

2.2.2 Přístrojové transformátory napětí

Typy těchto transformátorů jsou nejčastěji použity v rozvaděcích nebo kobkových rozvodnách.



Obr. 6) Typy přístrojových transformátorů napětí

Transformátory dělíme na podpěrné, s pojistkou, bez pojistky, jednopólové, dvoupólové. Pojistka je nejčastěji také z epoxidu, jako celé tělo transformátoru a montuje se k svorce vysokého napětí. Mívá jmenovitý proud 0,3 A až 2 A. Rozdílem mezi typy těchto transformátorů je také jejich tvar odlitku, magnetický obvod, primární a sekundární vinutí (obr. 6).

Magnetický obvod bývá nejčastěji ve tvaru „C“. Tyto obvody musí být také chráněny proti mechanickému poškození.

Cívka je jádro s navinutým sekundárem. Do napěťového transformátoru se jádro dává až po navinutí primáru a sekundáru na kartitovou trubku. Tyto cívky slouží k indikaci zemního připojení, měření a jištění. Tyto navinuté cívky musí projít kontrolou na zkušebně, aby splňovaly zadanou přesnost.

Tvary odlitků z epoxidové pryskyřice splňují stejné parametry jako proudové transformátory, tedy hlavně rozměr podle norem, zákazníka a parametru rozvaděče. Transformátory napětí mohou být také sekundárně přepínatelné. Způsob přepínatelných napěťových transformátorů je pro dvě hladiny primárního napětí. U napěťových transformátorů nesmí být sekundární vinutí zkratováno, proto je vždy jeden z vývodů uzemněn [3].

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Popis výrobního procesu proudového transformátoru

3.1.1 Stříhání lepenky na ochranu jader

První část výroby je stříhání lepenky, která slouží jako ochrana ocelových pásků. Lepenky jsou nejčastěji vyrobeny z materiálů, které jsou recyklovatelné. Tímto představitelem je papírová lepenka. Ta má velmi dobré izolační a pevnostní vlastnosti. Pevnost je vysoká v podélném směru. Dále se používají smršťovací pásy z polymeru [4].

3.1.2 Bandáž ocelových pásků

Po nastříhání a poskládání ocelových pásků se ocelové jádro zabalí. Tím dojde k zpevnění a ochraně proti poškození a dalším vlivům. Balení se provádí na balících strojích. Obsluha může obsluhovat více než jen jeden stroj. Stroje se používají, protože ruční balení není tak rychlé a ani přesné. Je potřeba bandáž navinout se správnou tloušťkou tak, aby nedošlo ke změně rozměru jádra.

3.1.3 Navíjení sekundárního vinutí

Až jsou ocelové plechy zabandážovány, tak si je přeberou pracovníci na navíjení sekundárního vinutí. Na jádro se postupně navíjí měděné vinutí, které vytvoří sekundární část jádra. Vinutí má přesný počet závitů. Tento počet určuje konstruktér podle parametrů zákazníka.

3.1.4 Testování sekundárního vinutí

Je velmi důležité, aby každá část jádra byla otestována a splňovala normy, proto je u pracoviště sekundárního vinutí také testovací laboratoř. Tato laboratoř je zakrytována klecí (Faradayova klec).

3.1.5 Příprava vývodů sekundárního vinutí

Po důkladném testování se na dalším pracovišti svážou a připraví sekundární vývody. Sekundární vývody se musí zakrátit na přesnou délku a správně zaizolovat.

3.1.6 Odlití spodní části transformátoru se sekundární svorkovnicí

Na dalším pracovišti se sekundární část jádra umístí do formy, která slouží k odlévání sekundární svorkovnice a podstavy. Na jednotlivé kabely se přidělají svorky. Tyto svorky potom slouží k přichycení vývodu k svorkovnici formy. Po zaformování sekundární části transformátoru se forma zalije epoxidovou pryskyřicí. Tato forma se odlévá na volnou hladinu. Po odlití se forma vakuuje a nechá vytvrdit.

3.1.7 Výroba primárních kabelů

Primární kabely jsou tvořeny z měděných drátků. Kabely jsou kulaté, nebo s obdélníkovým průřezem. Jednotlivé drátky se vedle sebe skládají tak, aby nevytvářely závit. Tyto kabely chrání speciální bandáž. Konce je potřeba zalepit, aby nedošlo k rozmotání bandáže.

3.1.8 Příprava a navíjení primárních kabelů

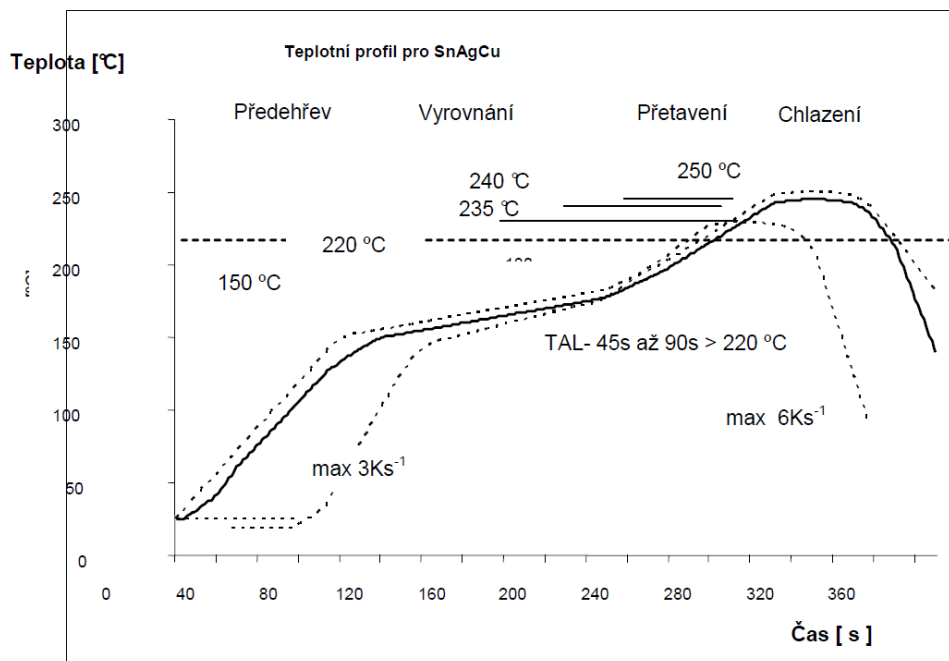
Pracoviště navíjení a pájení primárního vinutí je to, které automatizujeme. Pracovníkovi dopraví válečková dráha sekundární část vinutí. Dostane také údaje, ve kterých jsou napsány informace o primárním vinutí. Pracovník si sekundární funkční části vezme na své pracoviště a vloží je do přípravku. Celé pracoviště se skládá z ponky a stojky, na které je přidělaný svěrák. Ponk je část, která je u válečkové dráhy a slouží k montáži funkčních částí a přípravku. Stojka je část pracoviště, která musí mít kolem sebe dostatek místa, protože zde protahují přípravkem dlouhé kabely. Po umístění přípravku přišroubují dělníci k ramenům primární svorky. Poté si vezmou přesný počet primárních kabelů. Kabely si postupně natahají do přípravku v takovém rozložení, které jim určuje návodka. Některé transformátory jsou více závitové. Pro tyto transformátory se používají delší kabely. V údaji vinutí je vždy napsáno, kolik má mít transformátor závitů. Konec, kde jsou volné kabely, natvarují dělníci podél přípravku a zasunou jej do svorky. To udělají se všemi kabely na jedné straně. Někdy má primární vinutí spoustu kabelů a je obtížné je nasunout do svorky. K tvarování a posouvání kabelů slouží pracovníkům plastové kladívko. Musí být však opatrní, aby nedošlo k poškození bandáže kabelů. Kvůli velkému podílu ruční práce a individuálním chybám vznikají nepřesnosti. Pracovníci protahují kabely trubkou v přípravku a tím vytváří primární závity. Postupně závity dotahují, aby byla primární část pevná a nedošlo k jejímu uvolnění ze svorky. Po navinutí jednotlivých závitů si pracovníci naměří délku kabelu potřebnou pro zasunutí do druhé svorky. Kabel zastrihnou, očistí od bandáže a opět zalepí zbylou bandáž tak, aby nedošlo k jejímu rozmotání. Kabely musí kopírovat tvar přípravku a měly by se dotýkat dna svorky. Určité části se svážou tak, aby se celá primární část jádra zpevnila a držela požadovaný tvar. Přípravek s funkčními částmi je potom poslán na paletce po válečkové dráze k pájecímu pracovišti.

3.1.9 Pájecí pracoviště

Na pájecím pracovišti je vysoce výkonný indukční ohřívač, pomocí kterého pracovníci ohřívají svorku. Při pájení vznikají v důsledku vypařování pájecí vody některé kyseliny. V tomto případě při vypařování pájecí vody Pragochema R vzniká kyselina chlorovodíková. Kvůli tomu je pracovní místo odvětráváno velkým odsavačem. Pracovníci mají samozřejmě patřičné ochranné pomůcky jako například ochranné brýle, rukavice a roušku na pusu.

Nejprve se přípravek s funkčními částmi usadí do manipulačního přípravku. Manipulační přípravek byl navrhnout tak, aby umožňoval pracovníkům snadnou manipulaci s těžkými přípravky. Slouží k otáčení a naklánění přípravku s funkčními částmi. K uchycení slouží trn, který je pevně přišroubován. Trn má po 90° drážky, které zabrání případnému nechtěnému natočení. Pracovníci si natočí přípravek tak, aby byl prostor svorky dnem nahoru a bylo možné jej zalít cínem. Ke svorce musí mít také volný přístup, ať už pro ohřev nebo vsazení cínu. Nejprve ji zahřejí na požadovanou teplotu v rozmezí 250°C – 300°C (obr. 7). Před samotným pájením i během pájení musí do dutiny svorky stříkat pájecí vodu, která aktivuje povrch a zaručí lepší vztlínání a kvalitu pájeného spoje. Po dobu celého procesu pájení musí být prostor ve svorce stále zahříván na teplotu okolo 270°C. Při přesažení hodnoty 300°C může dojít k spálení svorky a poškození jejího povrchu. Cín se vkládá do svorky ručně a je v podobě tyčí, které mají průměr 3 mm. Celý proces pájení trvá až do úplného zapájení svorky. Je důležité, aby byl cín v celém prostoru svorky. Cín má snahu vzlínat do jednotlivých kabelů. Čím více cín vzlíná, tím lépe je svorka zapájená.

Po zapájení obou svorek se svorky chladí, aby bylo možné s přípravkem dále manipulovat. Přípravek se rozmontuje a zapájené funkční části se pošlou dál. Prázdný přípravek se uloží do regálu, aby byl připraven pro další pájení.



Obr. 7) Teplotní profil tavení pájky

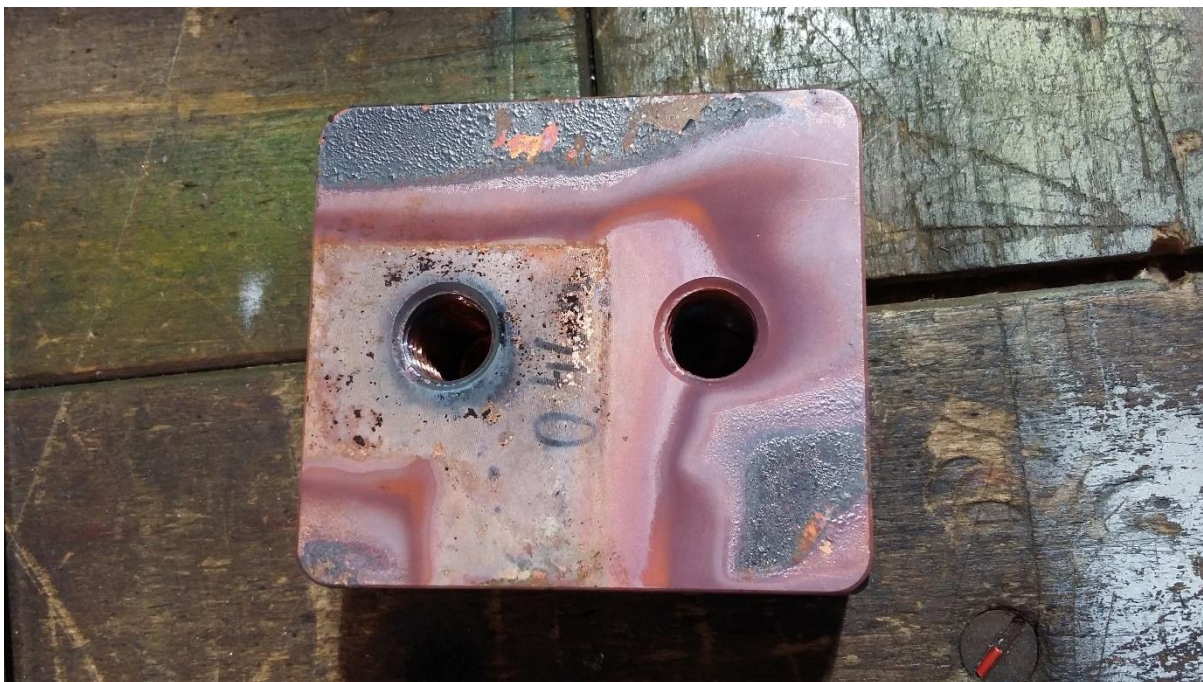
3.1.10 Princip indukčního ohřevu

Princip indukčního ohřívání využívá elektromagnetickou indukci. Skládá se ze dvou částí cívky a ohřívané součásti. Cívka se nazývá také induktor. Do cívky se pouští střídavý proud, který vytváří rovinné elektromagnetické vlnění. Při vložení kovového předmětu (vsázky) doprostřed cívky vzniká důsledkem proudu ve válci elektromagnetické vlnění. Tohle elektromagnetické vlnění má za následek indukci napětí a tím vznik vířivých proudů. Vířivé proudy se uzavírají a vytváří ztrátový výkon. Vzniklý ztrátový výkon se mění na tepelnou energii a ohřívá tak vsázku. Indukční ohřev se velmi podobá transformátoru. Primární vinutí je v podstatě induktor a sekundární vinutí je vsázka.

Teplota indukčního ohřevu se mění pomocí změny kmitočtu. Induktor bývá nejčastěji duté měděné těleso, kterým protéká chladicí kapalina. Indukční pájení rozdělujeme na dvě části. Rozsah frekvencí u indukčního pájení bývá od 2 kHz do 2,5 MHz.

- Pájení naměkko
 - Teplotní rozsah pájení 150°C – 450°C
 - Požadovaný výkon 0,5 kW – 5 kW
- Pájení natvrdo
 - Teplotní rozsah pájení 450°C – 1050°C
 - Požadovaný výkon 3 kW – 30 kW

Při indukčním ohřevu je nutné dávat si pozor na vzdálenost induktoru od svorky. Při posunutí induktoru ke svorce dochází k pálení induktoru i svorky (obr. 8). Jestliže je induktor dál jak 3 mm od svorky, tak celý indukční ohřev rapidně ztrácí výkon [5].



Obr. 8) Důsledek velkého zahřátí svorky (fotografie)

3.1.11 Zaformování a odlévání transformátoru

Odlévání transformátorů zabírá velkou část prostoru areálu. Transformátory se v naší firmě odlévají buď tlakově, nebo vakuově. Proudové transformátory jsou odlévány z větší části tlakovým litím.

Vakuové lití je starší způsob než tlakové. Tímto způsobem se odlévají spíše jednoduché tvary transformátorů. Pro menší počty kusů se nevyplatí vyrábět dražší tlakovou formu. Formy pro vakuové lití vypadají velice jednoduše. Funkční části transformátoru se vloží do vakuových forem. Jestliže nejsou dodrženy tolerance u navíjení a pájení primárních kabelů, tak může dojít k tomu, že funkční části nebudou sedět do formy. Po správném umístění přišroubují zálitky, pro přidělení transformátoru k desce. Přišroubují se také zálitky sekundární svorkovnice. Po správném zaformování je forma poslána do vyhřívacího tunelu. Po zahřátí se forma umístí do vakuové komory. Ve vakuové komoře se tryskou použít do formy epoxid a tím dochází k postupnému plnění formy. Po odlití je forma poslána do dotvrzovacího tunelu, kde při zvýšené teplotě dochází k tuhnutí epoxidu.

Tlakové lití z velké části nahrazuje lití vakuové. Hlavní výhoda je, že tlakové lití je podstatně rychlejší než vakuové. Nejprve musí pracovník správně umístit funkční části do formy. Pro pevné uchycení funkčních částí slouží primární svorky transformátoru, které přišroubuje k formě. Dále přišroubuje zálitky na sekundární vývody svorkovnice a zálitky na přichycení transformátoru k plechu. Po vyhřátí formy vloží formu do licího stroje. Odlévací stroj se jmenuje „VOGEL“. Stroj stiskne formu pomocí dvou hladkých ploch a tím zacelí prostor formy. Desky stroje jsou neustále zahřívány, aby nedocházelo k ochlazení formy a nesprávnému tuhnutí epoxidu. Forma je opatřena vtokovou dírou, ke které se přitiskne tryska pro vstřík epoxidu. Má také odfuk se zásobníkem pro přebytek epoxidu. Tím se docílí úplného zalití formy. Forma spolu se strojem nakloní tak, aby případné bubliny proudily do odfukové kapsy. Do formy se vstříkne epoxid, který se postupně tlakuje. Po odlití se forma rozebere a z transformátoru se odstraní přebytečné nálitky. Očištěný transformátor se pošle do dotvrzovacího tunelu.

3.1.12 Finální sestavení

Transformátory se zkontrolují. Jestliže jsou vidět na povrchu bubliny, nebo nedolitě části, tak je vyřazen. Veškeré ostré hrany a nálitky se odstraní na brousicím pracovišti. Nakonec přišroubují všechny věci, které má obsahovat podle zakázky. K transformátoru se přidělávají například epoxidové pojistky, nebo plechy za které se transformátor ukotví do rozvaděče.

3.1.13 Finální testování

Nakonec se celý transformátor pošle do testovací laboratoře, kde se zatíží. V laboratoři vyzkouší funkčnost transformátoru a vystaví štítek transformátoru s potřebnými parametry a normami.

3.2 Současný stav pracoviště

Pracoviště je rozděleno na dvě části. První část je stejná i u automatizovaného pracoviště. Jedná se o natahování primárních kabelů a svorek do přípravku. Tyto pracoviště chystají přípravky a funkční části pro robota, ale i pro dělníka. Nejdůležitější je, aby měl pracovník okolo sebe dostatek místa, protože natahování více závitových funkčních částí je prostorově náročné. Pracovišť pro navíjení primárních kabelů je šest. Každé může navíjet všechny typy funkčních částí. Po navinutí a nachystání přípravku pro pájení je přípravek na paletce poslán k zapájení.

Pájecí pracoviště jsou na hale tři. Na každém je stojan na přípravek, indukční pájka, kýbl z vodou pro chlazení, láhev s tavidlem, cínová pájka a odsávací zařízení (obr. 9). Stojan na přípravek slouží k pevnému uchopení přípravku a pro snadnou manipulaci. Umožňuje pracovníkovi různě natáčet s přípravkem tak, aby měl co nejsnadnější přístup k prostoru svorky. Indukční ohřívací hlava je pojištěna ocelovým lanem tak, aby ji pracovník nemusel držet po celou dobu pájení v ruce. Pracovník tedy jen indukční cívku nasměruje tak, aby byla co nejbližší k ploše, přes kterou se svorka ohřívá. Před samotným pájením nastříkne na svorku tavidlo. Tavidlo je kyselina a při odpařování tohoto tavidla vzniká kyselina chlorovodíková. Tato kyselina se musí důkladně odvětrávat. K tomu souží výkonné odsavače. Bohužel se při odpařování určité množství kyseliny zachytí na přípravku. Tato kyselina přípravky silně leptá. Chlazení svorky je jednoduchá záležitost. Pracovník má pod přípravkem kýbl se studenou vodou. V tomto kýblu má štětec, který namočí a přiloží jej ke svorce. Po ochlazení svorky přípravek i s funkčními částmi položí zpět na paletku. Na dalším pracovišti jej páječ vyformuje a uklidí přípravek zpět do regálu.



Obr. 9) Současný stav pájecího pracoviště (fotografie)

3.3 Současný stav přípravků

Přípravky byly navrhnuty a vyrobeny před 12 lety. Byly navrhovány tak, aby bylo možné zapájet primární vinutí v podobě kabelů k primárním svorkám. Přípravků je na pracovišti více jak deset druhů. Každý typ transformátoru má svůj vlastní přípravek. Více typů přípravků máme z toho důvodu, že každý typ transformátoru má jiné rozměry a jinou rozteč horní plochy primárních svorek a středu (sekundárního vinutí). Tato rozteč je určena výškou ramen a středovou trubkou.

Tělo přípravku I.

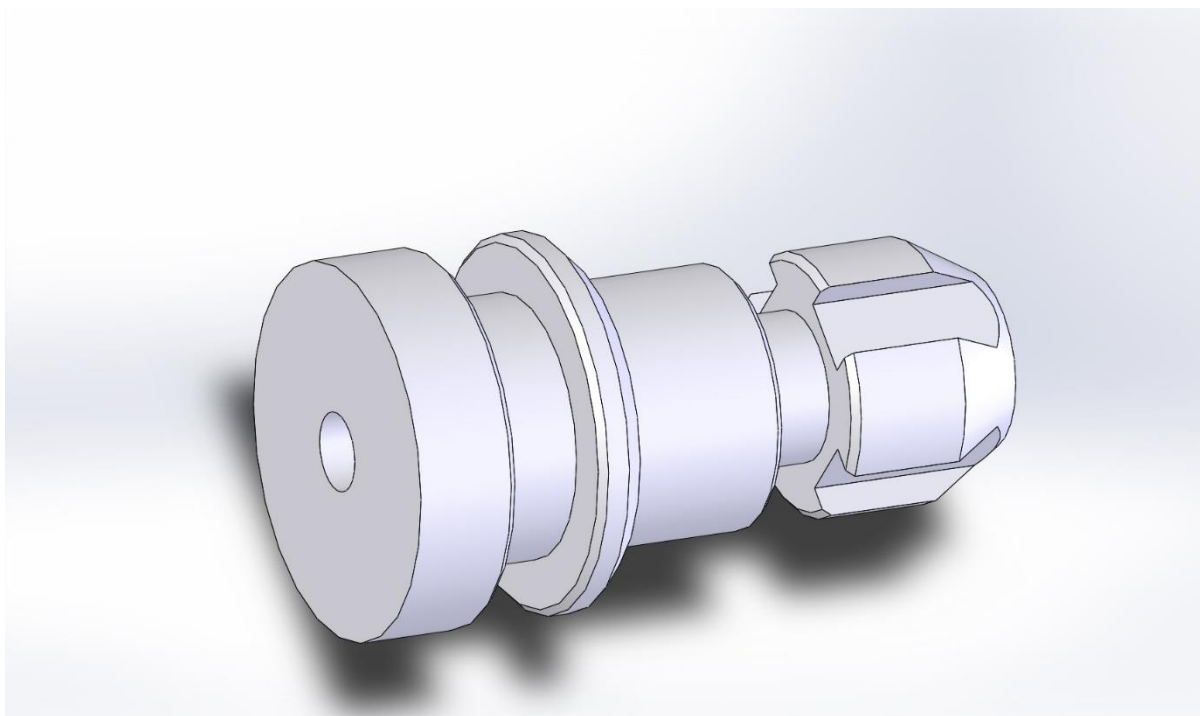
Tělo přípravku je část, která se při zaformování a vyformování odděluje. Jedná se o polovinu přípravku. Při odšroubování dvou závitových tyčí, které jsou po stranách přípravku, je možné přípravek rozdělat.

Tělo přípravku II.

Druhá část těla přípravku je část, na které je uchycený trn i ramena přípravku. Za spodek této části se přípravek upevňuje do svěráku při natahování primárních kabelů. Trn je k přípravku přichycený šroubem M12 a trn není ničím pojištěn proti natočení. Kvůli tomuto nedostatku se musí šroub, který drží trn přišroubovat s velkým utahovacím momentem.

Trn přípravku

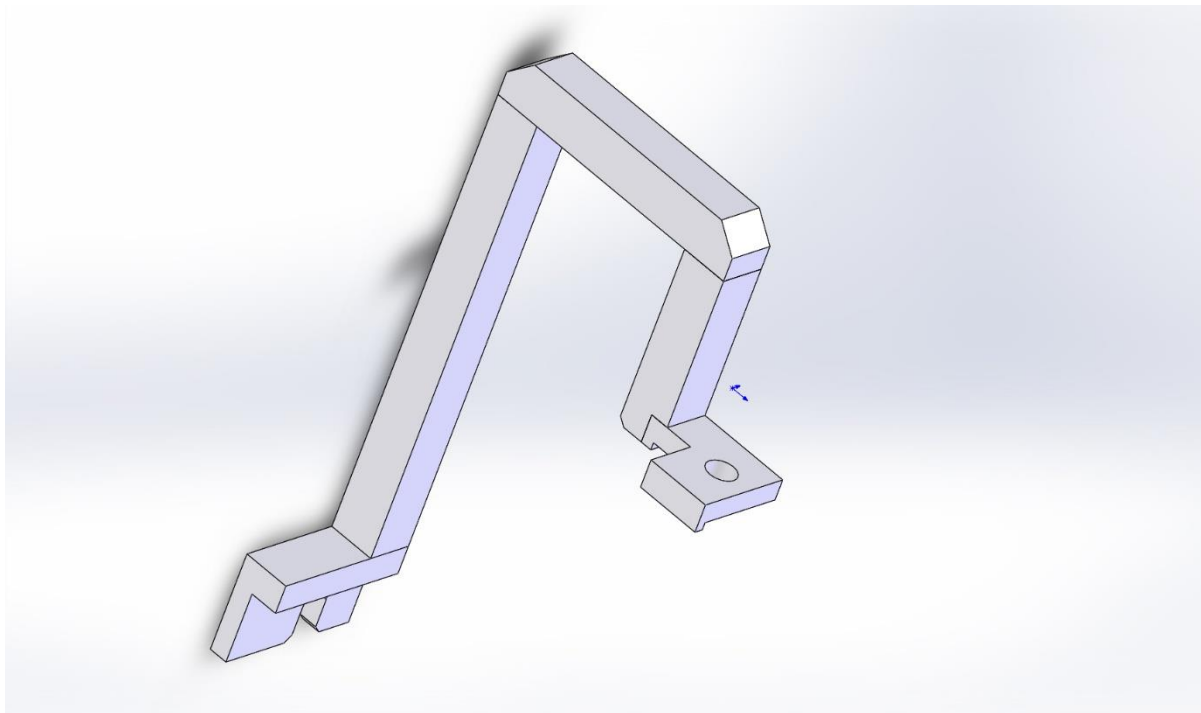
Trn je oproti celému přípravku vyroben z oceli 11 600. Tato ocel je obyčejná a trn se musí často na přípravku vyměňovat, kvůli velkému otlačení drážek trnu. Drážky zamezují otočení přípravku při pájení (obr. 10).



Obr. 10) Trn přípravku (3D model - Solidworks)

Ramena přípravku

Ramena můžeme dělit na pravá a levá. Obě jsou symetrické podle svislé roviny. Spoj, kterým jsou ramena přidělány, umožňuje jejich rychlé a snadné zasunutí. Jediný problém v tomto spoji je, že se ramena někdy nepodaří pracovníkům řádně přitlačit na plochu čela a tím se ramena i se svorkou mírně natočí. Na konci těchto ramen je dosedací plocha pro svorku. Tento díl je vyfrézovaný tak, aby při přišroubování svorky kopíroval její hrany a tím zamezil případnému natočení svorky (obr. 11).



Obr. 11) Rameno pro uchycení svorky (3D model - Solidworks)

Tvarová šablona

Tvarová šablona se dělí na dvě půlky. Jedna půlka je přišroubovaná na jednom tělu přípravku a druhá na druhém těle přípravku. Okolo tvarové šablony pracovník natahuje primární kabely a kopíruje její tvar. Slouží k natvarování primárních kabelů do požadovaných tvarů. Tvarová šablona je část, která trpí na korozi kyselinou chlorovodíkovou nejvíce.

Pojistný šroub s podložkou a maticí

Šroub je našroubován v čelo přípravku. Po nasunutí ramene mezi podložku a čelo přípravku se matice dotáhne a tím se rameno dotlačí na čelo přípravku. Tento spoj je pevný, ale není tak přesný.

Trubka přípravku

Trubka slouží k tomu, aby oddělovala sekundární vinutí a primární kabely. Do trubky se nasouvají primární kabely v daném pořadí. Trubka kabely zpevní a vytvoří tak jeden svazek primárních kabelů. Je tvořena ze dvou stejných dílů, aby ji bylo možné po vyformování oddělat z funkčních částí. Dříve se vyráběly z erthalonu, který byl lehký a relativně levný. Tyto trubky byly často rychle zdeformovány, proto se později používal dural.

3.3.1 Problém koroze přípravku

Přípravky jsou vyrobeny z obyčejné neušlechtilé konstrukční oceli 11 373. Tato ocel byla použita především pro její nízkou cenu a dobrou svařitelnost. Při pájení se používá pájecí voda Pragokor R. Kombinace této pájecí vody a teploty 300°C vzniká odpařováním kyselina chlorovodíková, která způsobuje velmi rychlou korozi oceli (obr. 12). Některé přípravky byly touto korozí tak poškozeny, že musely být vyřazeny. Poškozené přípravky mohou proříznout bandáž primárního vinutí. Při navíjení se totiž primární kabely nesmí dotknout žádné ostré části, aby nedošlo k poškození izolace [6].



Obr. 12) Přípravek pro pájení primárních cívek poškozený korozí. (fotografie)

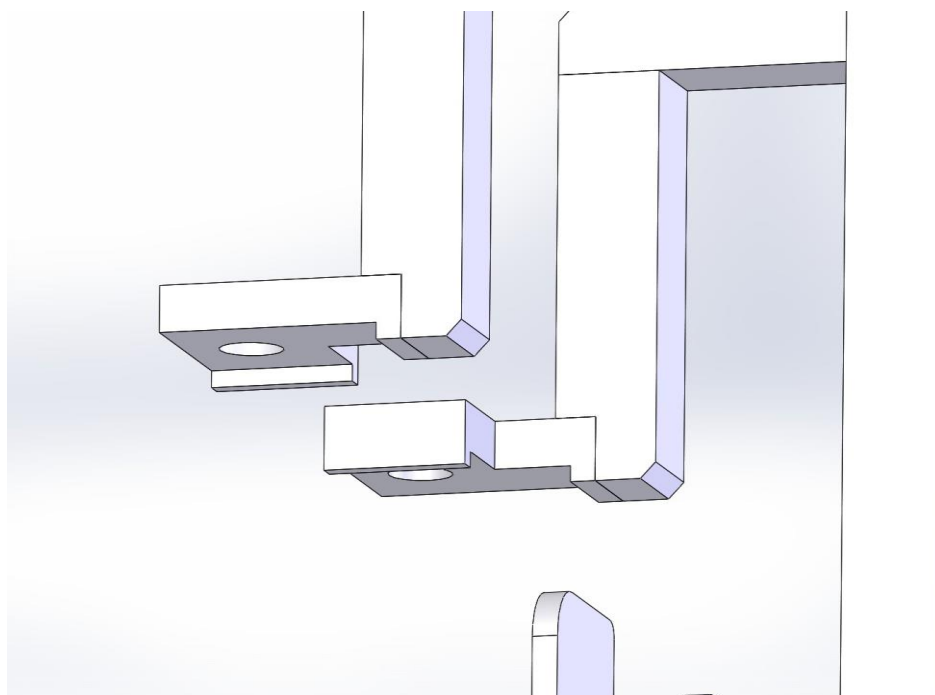
Problém koroze řešil konstruktér, před 12-ti lety, použitím silnější stěny na místě, které trpělo korozí nejvíce (obr. 13). Přípravky jsou však velmi těžké a je s nimi náročná manipulace. Také se zmenšil prostor pro sekundární cívku.



Obr. 13) Přípravek pro pájení primárních cívek s úpravou proti korozi (fotografie)

Ramena s držáky primárních svorek byla spojena šroubovým spojením. Tento spoj se stal působením koroze nerozebíratelný a časem se ukázalo, že koroze šroub částečně rozpustila. Proto se šroubový spoj nahradil svařovaným spojem, který se používá dodnes (obr. 14). Hlavní výhodou tohoto spoje je, že koroze působí na celém povrchu součásti a tím neoslabuje určité místa. Mezi ramenem a úchytem primární svorky není žádný volný prostor, kde by se mohla usadit kyselina.

Pájecí voda Pragokor R slouží k aktivaci povrchu při měkkém pájení všech železných i neželezných materiálů kromě hliníku a jeho slitin.

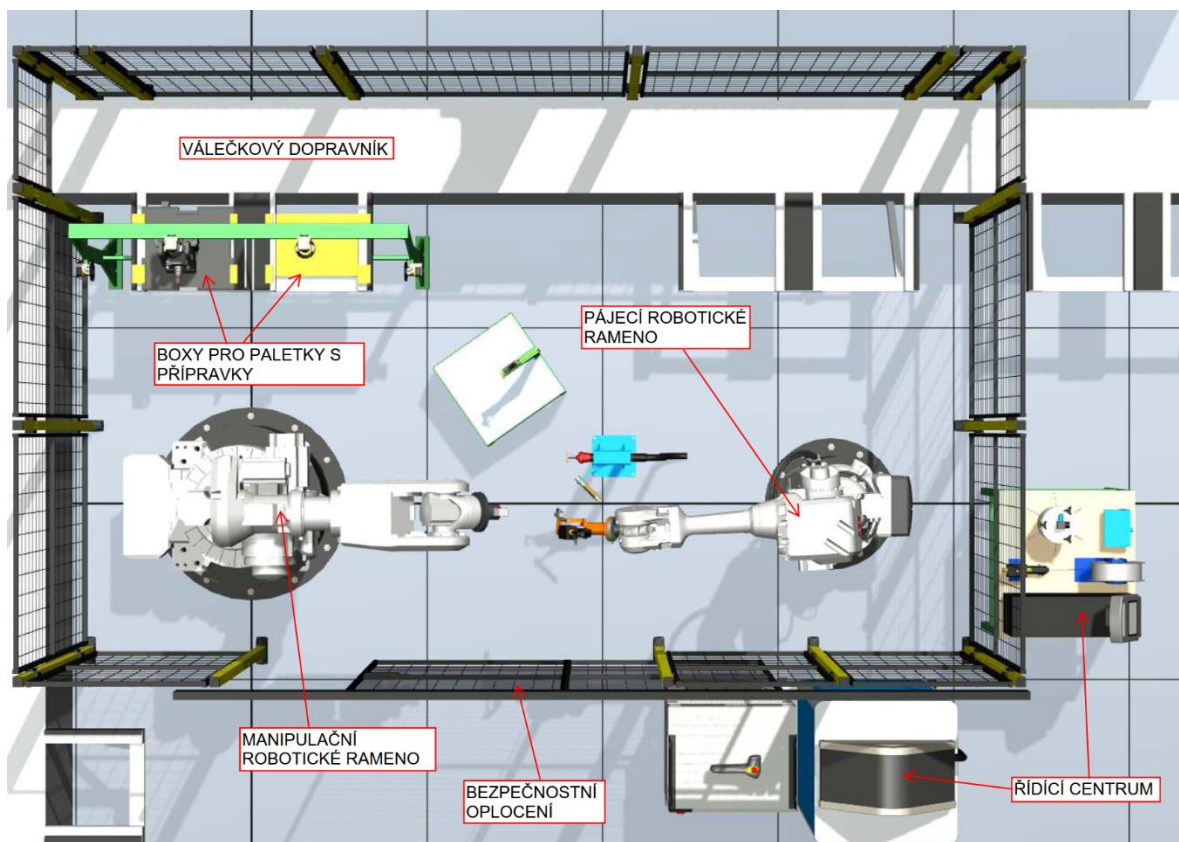


Obr. 14) Svařený spoj ramen a držáku primární svorky (3D model - Solidworks)

4 NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ

4.1 Pracovní prostor robota a pájecí proces

Pracovní buňka robota zabírá menší část pracoviště. Pod tento prostor se musela vyrobit nová betonová deska, protože původní podlaha nebyla dostatečně hluboká a ani rovná. Pracovní buňka slouží jako samostatná výrobní jednotka. Obsluha pouze doplňuje cín a chladicí vodu. Při vstupu obsluhy do prostoru robota dojde k zastavení výrobního procesu a i celého robota. To signalizuje červené výstražné světlo. Celé pracoviště je rozděleno na válečkový dopravník, box pro paletku s přípravkem, manipulační robotické rameno ABB IRB 6620, pájecí robotické rameno IRB 4600, chladicí vanu, řídicí centrum IRC5 a bezpečnostní oplocení (obr. 15).

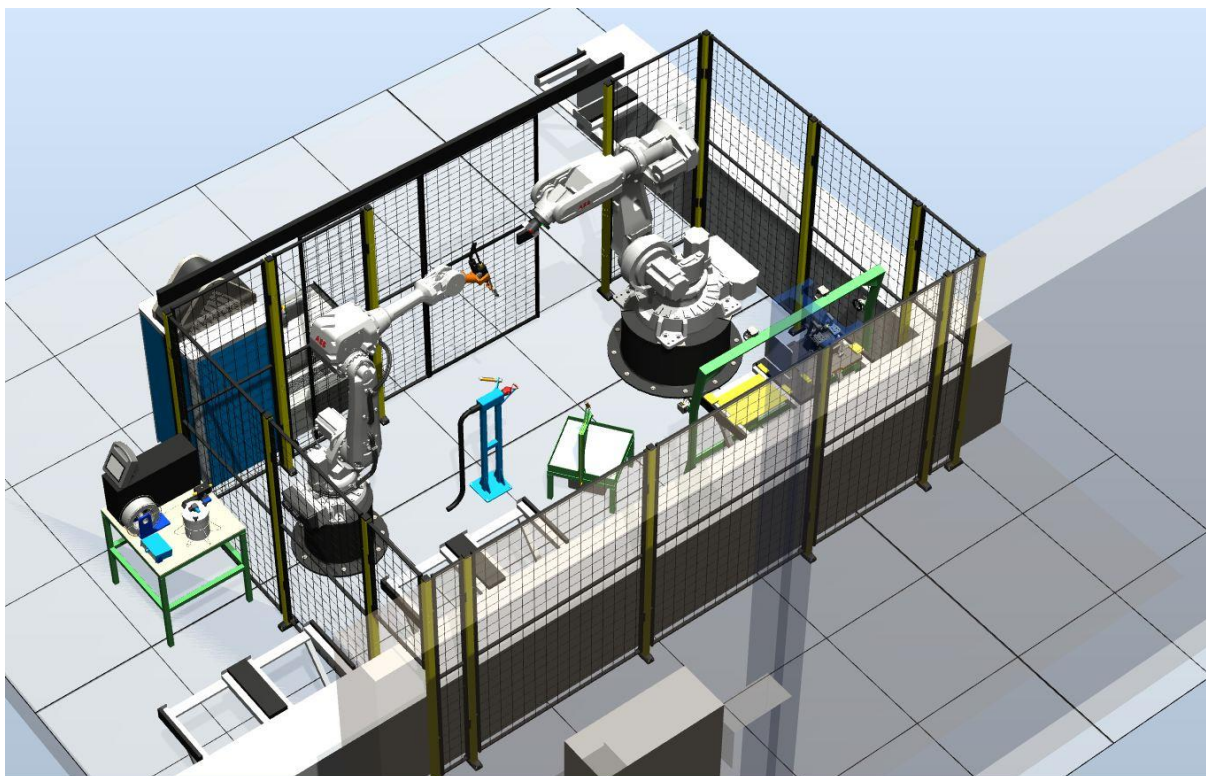


Obr. 15) Pracovní prostor robota (Screen – RoboStudio Viewer)

Válečkový dopravník je prvek, který je po celé hale divize transformátorů. Slouží k přesouvání produktů jednotlivých pracovišť na další pracoviště. Celé zasíťování těmito dopravníky řídí program AMS. Pomocí válečkového dopravníku a systému, který řídí jednotlivé časy dělníků, se ustálila výroba na požadovaných číslech. Umožnilo nám to lépe kontrolovat výrobu a vědět, v jaké fázi výroby se jednotlivé části transformátoru nachází. Funkční části s přípravkem jsou usazeny na paletce, která jede po válečkové dráze až do boxu v prostoru robota.

Tato paletka je pevně ukotvena tak, aby nedošlo k jejímu posunutí, nebo posunutí přípravku na paletce. Paletka je vyrobena z dřevotřísky a povrch je opatřen protiskluznou gumou. Ta pomáhá, aby se přípravek při jízdě po válečkové dráze neposunul z požadované pozice.

4.2 Jednotlivé fáze automatizovaného pájení



Obr. 16) Automatizované pájecí pracoviště (Screen – RoboStudio Viewer)

Fáze 1 – Příprava primárních kabelů a přípravku k zapájení

První fáze výroby primárních funkčních části začíná na pracovišti u dělníka. Ten musí správně natáhnout a ohnout primární kabely podle šablony, kterou tvoří přípravek. Kabely se sváží látkovou stuhou a tím se zpevní. Zaformovaný přípravek se správně usadí na paletku a pracovník jej pošle k zapájení. Paletka s přípravkem je poslána po válečkové dráze k zapájení buď robotem, nebo pracovníkem.

Fáze 2 – Umístění přípravku do boxů

Nachystaný přípravek čeká na válečkové dráze na zapájení. Je důležité, aby kabely byly pevně ukotveny k přípravku, protože válečková dráha může způsobit, že svazek primárních kabelů povyjede z prostoru svorky. Tím by mohlo dojít k nedostatku dodaného cínu a ke špatnému zapájení svorky. Jestliže je přípravek správně zaformován, tak přijede po válečkové dráze do boxu, který je v pracovním prostoru robota. Tyto boxy jsou dva, aby bylo možné lépe korigovat dodávání přípravků na jednotlivá pracoviště. Po umístění paletky se zaformovaným přípravkem do boxu je vyslán signál manipulačnímu robotovi, aby uchopil přípravek.

Fáze 3 – Uchopení přípravku manipulačním robotem

Každý přípravek má na sobě čárový kód, pomocí kterého robot pozná o jaký typ svorky a přípravku se jedná. Přípravek je umístěn tak, aby trn směřoval směrem do pracovní buňky robota. Robot najede na danou polohu uchopení. Speciálně upravené čelisti jsou třísklíčidlové, aby došlo při uchopení k dokonalému vystředění. Čelisti pevně uchopí přípravek a posunou jej na další pozici.

Fáze 4 – Indukční ohřev svorky

Další procesem je ohřev svorky. Jedná se o indukční nahřívání. Manipulační robot umístí přípravek tak, aby byla svorka 3 mm od induktoru. Celý postup ohřevu svorku zůstal stejný jako u manuálního pájení.

Fáze 5 – Pájení cínovou pájkou

Při samotném pájení je svorka neustále nahřívána tak, aby se teplota svorky pohybovala neustále v rozmezí 250°C – 300°C. Po nástřiku tavidla přijede na danou pozici pájecí robot. Pájecí robot změří pomocí termokamery teplotu svorky a začne pájet. Cínová pájka je předehřívána v hlavici pájecího robota. Pájka je dodávána v přesně daném množství, které je závislé na teplotě ve svorce. Cín je dávkován do svorky tak, aby byla nejméně polovina dutiny svorky zapájená. Množství cínu dodaného do svorky se liší podle druhu svorky. Některé mají otvor na primární kabely větší, některé zase menší. Množství cínu ve svorce musí být větší než 3/4 objemu svorky, protože při pájení značné množství cínu vzlíná do primárních kabelů.

Fáze 6 – Chlazení svorky

Svorku je potřeba ochladit, aby bylo možné s přípravkem dále pracovat. Manipulační robot posune přípravek na chladicí pracoviště. Na tomto pracovišti je nádoba, ve které je voda. Manipulační robot natlačí svorku na houbičku a tím svorku ochladí (obr. 17). Tento způsob chlazení je jednoduchý a účinný.



Obr. 17) Chlazení primární svorky proudem vody a houbičkou. (fotografie)

Fáze 7 – Pájení druhé svorky

Celý cyklus nanášení tavidla, ohřívání, pájení, chlazení se opakuje na druhé svorce.

Fáze 8 – Poslání přípravku na vyformování

Po kompletním zapájení celého primárního okruhu položí manipulační robot přípravek zpět na paletku do boxu. Přípravek pokládá na tu stejnou paletku, ze které jej vzal. Dále jede po válečkové dráze k dalšímu pracovišti, kde jej pracovník vyformuje a uloží do regálu.

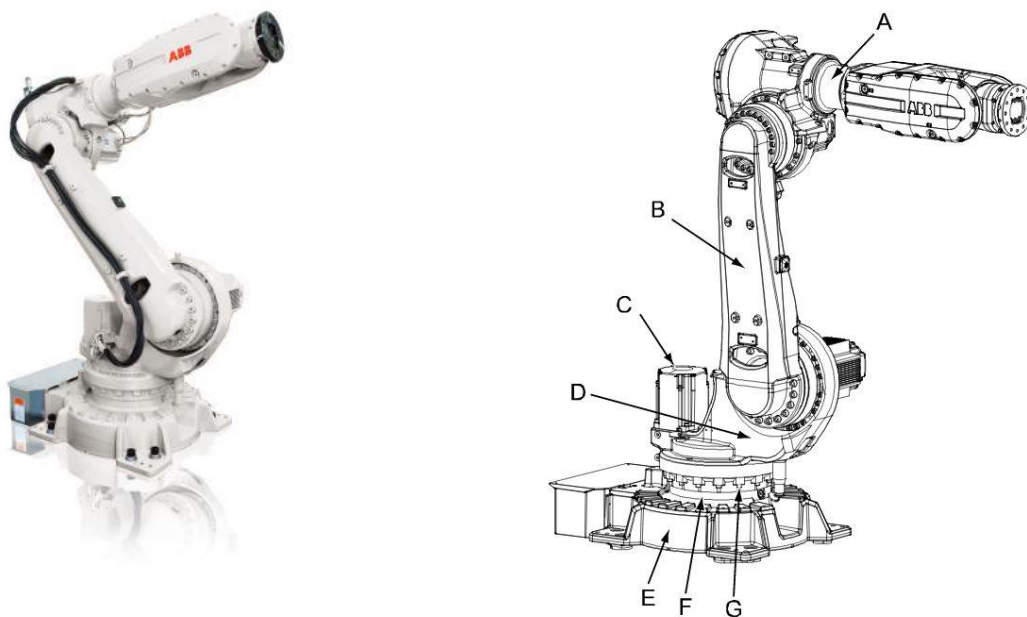
4.3 Manipulační robot ABB IRB 6620-150/2,2

Pro manipulaci s přípravkem byl zvolen Průmyslový robot ABB IRB 6620-150/2,2 (obr. 18). Tento typ robotického ramena jsme zvolili, protože má velkou maximální nosnost. Robot je flexibilní a umožňuje zařazení do spousty druhů výrobních linek. Robot je na svou nosnost a rozsah poměrně malý, proto je snadné jej zařadit do výroby. Díky své nízké hmotnosti může robot efektivně pracovat i obráceně, nebo v nakloněné rovině. Hodí se pro aplikace odlévání, bodové svařování, manipulaci s materiálem a podobně.

Dodávaná elektřina je mezi 200-600V a 50/60 Hz.

Základna robota je velká 1007 x 760mm.

Robot pracuje, při maximálním zatížení, s výkonem 2,8 kW [7].



Obr. 18) Robot ABB IRB 6620-150/2,2

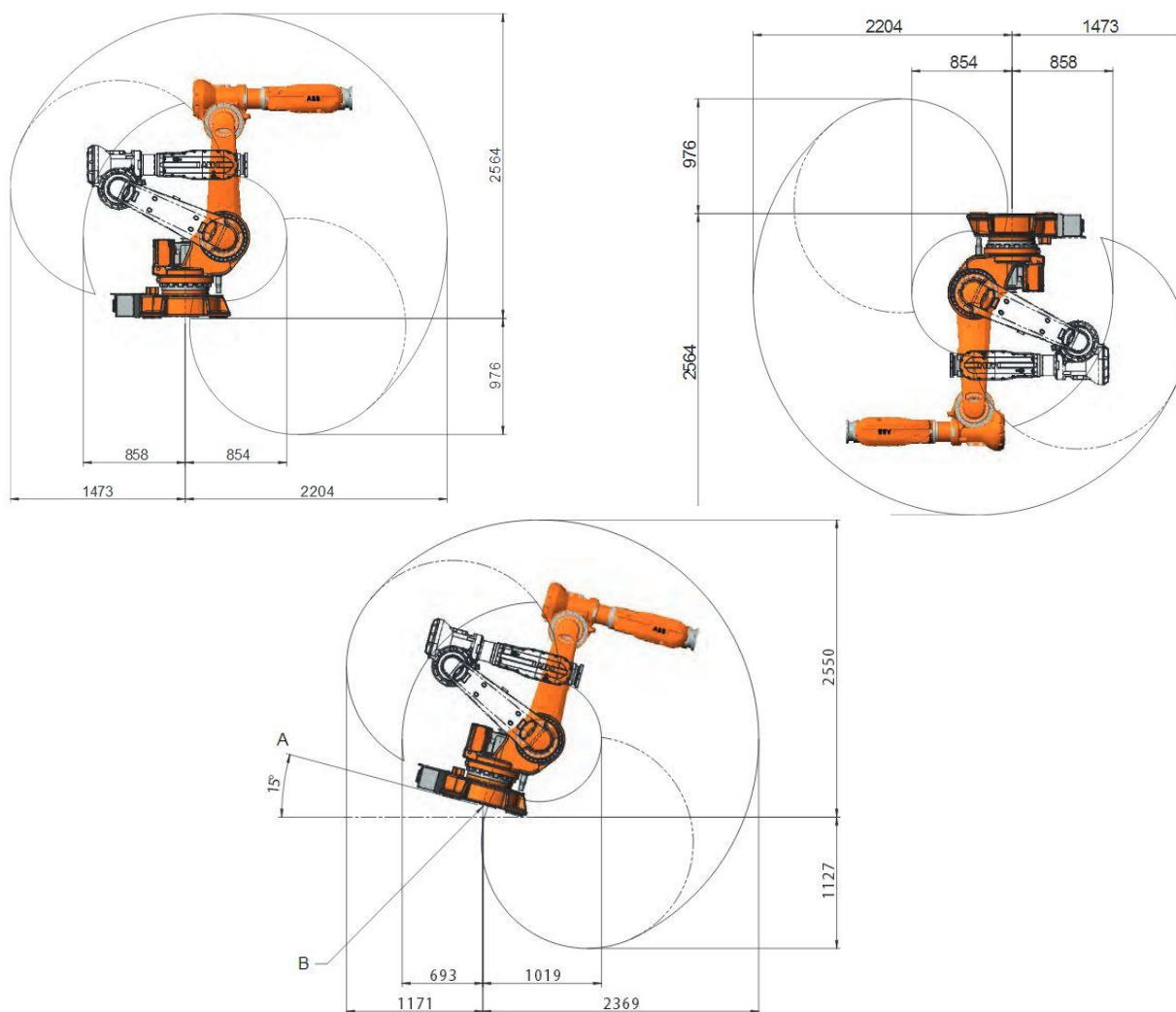
A	Horní rameno
B	Spodní rameno
C	Motor hlavní osy 1
D	Rám robota
E	Základna robota
F	Převodovka osy 1
G	Šrouby spojující rám se základnou M12x80

Tab 1) Tabulka popisující jednotlivé základní díly robota obr. 9)

4.3.1 Technické parametry robota:

- Opakovatelná přesnost ± 0.03 mm
- Maximální horizontální dosah 2,204 m
- Maximální vertikální dosah 2,564 m
- Nosnost 150 kg
- Počet os robota: 6
- Na robota je možné namontovat také další zařízení do 50kg
- Maximální provozní vlhkost 95%
- Rozptyl provozní teploty $+5^{\circ}\text{C}$ až $+50^{\circ}\text{C}$
- Standardizovaná úroveň krytí IP 54
- Hmotnost okolo 900 kg

Velkou výhodou robota je, že může pracovat i na nakloněné rovině, nebo dokonce obráceně. Při této změně se parametry robota nemění (obr. 19).

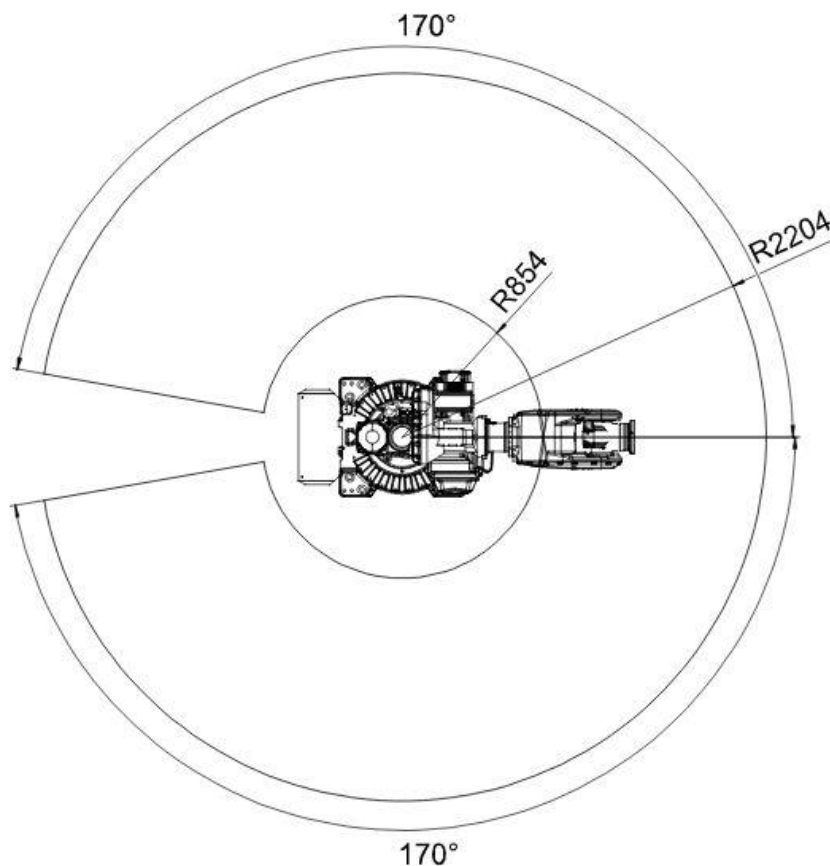


Obr. 19) Možnosti ukotvení robota

Robot pracuje s velmi malými odchylkami, proto musíme dbát na pokyny zadané od dodavatele. Po sestavení robota na pracovišti musí být maximální odchylka pozice robota 0,95 mm. Průměrná odchylka se pohybuje kolem 0,5 mm. Při takovéto přesnosti je tedy

potřeba dávat pozor na tepelnou roztažnost oceli. Prodejce uvádí, že při převozu i montáži by teplota neměla překročit 5% provozní teploty. Při překročení této povolené hodnoty se mohou změnit důležité rozměry, kvůli tepelné rozpínavosti oceli. Může tak dojít ke změně korekci a tím zastavení, nebo kolizi robota [7].

4.3.2 Standardizované rozsahy ramene



Obr. 20) Rozsah robota kolem osy základny

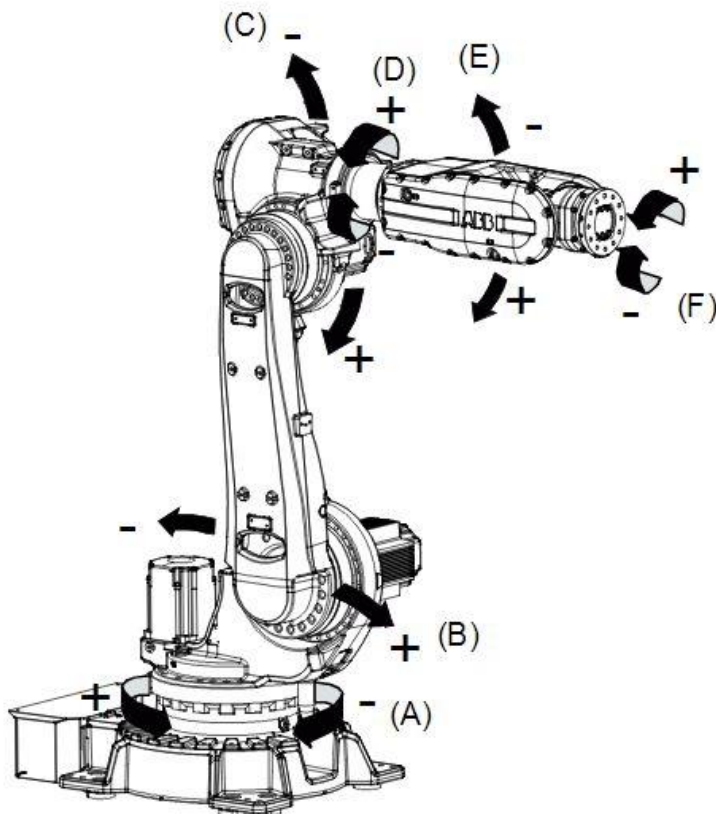
Rozsah je možné upravit pomocí dorazů. Lze tímto způsobem částečně zamezit riziku kolize ramene s jinými předměty. Doraz je zajištěn šrouby (obráz. 20) [7].

Pohyby jednotlivých os	Pracovní rozsah	Rychlost rotace kolem osy
Osa rotace 1 základna	+170° až -170°	100°/s
Osa rotace 2 rameno	+140° až -65°	90°/s
Osa rotace 3 rameno	+70° až -180°	90°/s
Osa rotace 4 zápěstí robota	+300° až -300°	150°/s
Osa rotace 5 otočné koleno	+130° až -130°	120°/s
Osa rotace 6	+300° až -300°	190°/s

Tab 2) Tabulka rozsahů a rychlostí otáčení kolem jednotlivých os u robota ABB IRB 6620

4.3.3 Osy a převodovky robota

Každá osa robota se skládá z převodové skříně a elektromotoru (obr. 21). Elektromotor slouží k pohonu převodovky a tím i k pohonu ramene. Převodovka slouží ke změně otáček, kterými se bude rameno otáčet.



Obr. 21) Umístění převodovek robota

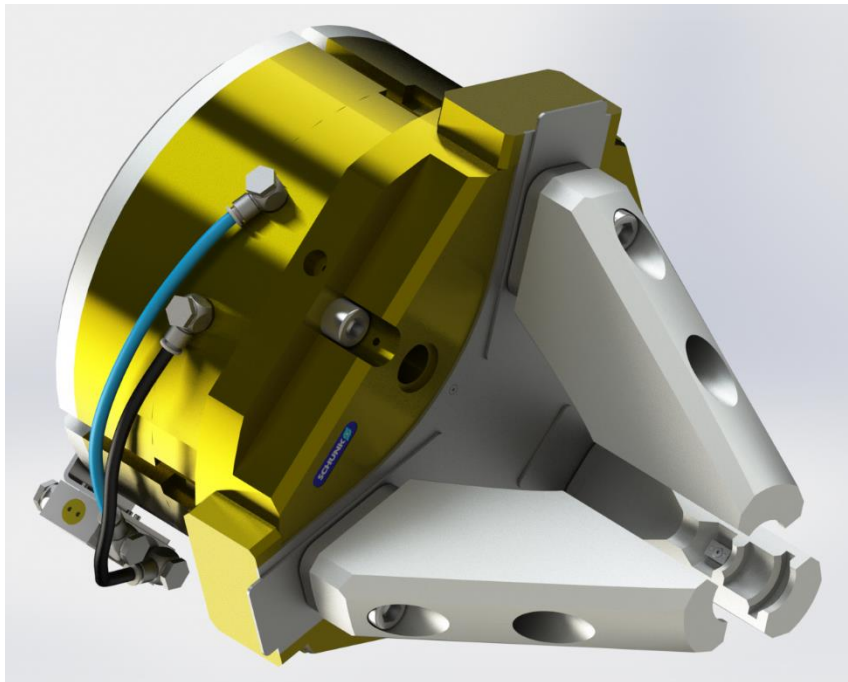
A	Převodovka, osa 1
B	Převodovka, osa 2
C	Převodovka, osa 3
D	Převodovka, osa 4
E	Převodovka, osa 5
F	Převodovka, osa 6

Tab 3) Tabulka umístění převodovek a jednotlivých os na obr. 12

Každá převodovka má vlastní olejovou trysku, která slouží k neustálému mazání. O dávkování oleje se stará doporučený dávkovač. Olej je potřeba také měnit. K tomu slouží vypouštěcí ventily, které jsou u každé převodovky. Ventil pro dávkování je na horní straně převodovky a vypouštěcí ventil je na spodní straně převodovky. Na ramenu je také kontrolní ventil. Tento ventil slouží ke kontrole stavu převodovky a hladiny oleje [7].

4.4 Uchopovací čelisti robota

Prodejce těchto robotů nabízí spoustu různých univerzálních čelistí. Pro manipulaci budou použity třiskličidlové čelisti (obr. 22), (obr. 23). Tyto čelisti nejsou součástí robota. Jsou vyrobeny na zakázku. Jednotlivá skličidla kopírují tvar trnu, který je na přípravku přišroubován. Jsou poháněny pneumaticky. Tím je zaručen pevný a stabilní úchop přípravku. Kvůli tvaru čelistí se jedná o tvarový styk. Tvarový styk zaručí pevný stisk přípravku. Zajištění přípravku proti natočení je pomocí pera. To při stisku zajede do drážky v trnu a tím zamezí jakémukoliv natočení přípravku.



Obr. 22) 3D model čelistí manipulačního ramene robota (3D - Solidworks)



Obr. 23) Třiskličidlové čelisti (fotografie)

Trn je pevně uchycený k tělu přípravku pomocí šroubu a čepu. Polohovací kamera čelistí určí správnost uložení a natočení tak, aby nedošlo k poškození přípravku nebo čelistí. Robotické rameno přesune přípravek na místo určené pro zapájení primárních svorek.

4.5 Pájecí pracoviště

Pájecí pracoviště se skládá z pájecího robotického ramene, indukčního ohřívače a chladicí nádoby. Každá operace je hlídána termokamerami a čidly. Výpary z tavidla a samotného pájení jsou odsávány odsávacem, který je nad pájecím pracovištěm.

4.5.1 Pájecí robot ABB IRB 4600-60

Pájecí robot má konci ramene nasazenou pájecí hlavu. Robotické rameno je robot ABB IRB 4600-60. Tento typ ramena má velmi podobné charakteristiky jako manipulační robot ABB IRB 6620. Hlavním rozdílem mezi nimi je jejich nosnost. Pájecí robot má na konci svých ramen dávkovač cínu. Tento dávkovač cín předehtívá a dávákuje podle teploty svorky a rychlosti pájení. Pájecí robot má také 6 os rotace. Součástí hlavice je také termokamera, která kontroluje teplotu svorky i dodávaného cínu.

Dodávaná elektřina je mezi 200-600V a 50/60 Hz.

Základna robota je velká 512 x 676 mm [8].

Technické parametry robota:

- Opakovatelná přesnost +/- 0.05 mm
- Maximální horizontální dosah 2,051 m
- Maximální vertikální dosah 2,371 m
- Nosnost 60 kg
- Počet os robota: 6
- Maximální provozní vlhkost 95%
- Rozptyl provozní teploty +5°C až +45°C
- Standardizovaná úroveň krytí IP 67
- Hmotnost okolo 412 - 435 kg

4.5.2 Indukční ohřívač MINAC 18/25 TWIN



Obr. 24) Indukční ohřívač MINAC 18/25 TWIN

Další částí tohoto pracoviště je indukční ohřívač MINAC 18/25 TWIN (obr. 24). Tento ohřívač je velmi lehký, mobilní a snadno ovladatelný. Firma EFD, která nám indukční ohřívač nabídla je specialistou na výrobu různých typů indukčních cívek. Pro spoustu operací je potřeba speciální tvar cívky a v našem případě to bylo stejné. Pro nahřívání svorek se používá takový tvar indukční cívky, aby co nejlépe kopíroval plochu nahřívané svorky. Tím se dosáhne maximálního výkonu stroje. Velkou výhodou je, že jej lze spárovat se spoustou robotických ramen a tím dosáhnout rychlé optimalizaci automatizovaného pájení. Svorka se ohřívá přibližně na teplotu 250°C – 300°C tak, aby nedošlo k poškození svorky [9].

Technické parametry indukčního ohřívače:

- Maximální výkon 25 kW
- Doba jednoho zatěžovacího cyklu 10 min
- Rozsah regulace výkonu 2% - 100%
- Rozsah frekvence 10 – 25 kHz
- Délka napájecího kabelu 5 m – 10 m
- Nominální napětí 400V
- Frekvence 50/60 Hz
- Standardizovaná úroveň krytí IP 54
- Celková hmotnost i s kabelem 78 kg

4.5.3 Pracoviště pro chlazení svorky

Chlazení svorky se dělá pomocí houbičky, do které je neustále přiváděna voda. Horká svorka se přitlačí na houbičku. Svorka se ochladí na teplotu, při které s ní může pracovník manipulovat. Voda se buďto odpařuje, nebo stéká do nádoby, která je pod houbičkou.

4.6 Řídící centrum IRC 5

Řídící centrum IRC 5 je přístroj společnosti ABB (obr. 25). Jeho hlavním úkolem je řídit celý automatizovaný prvek, starat se o bezpečnost pracovní buňky, ale i obsluhy. Řídící systém obsahuje spoustu bezpečnostních čidel a senzorů. Pomocí dynamického modelování IRC 5 optimalizuje výkon robota, tím zkracuje doby jednotlivých cyklů a zlepšuje přesnost daných kroků. Velkou výhodou je možnost vzdáleného přístupu k tomuto řídicímu centru [10].



Obr. 25) Řídící centrum IRC 5

Technické parametry IRC 5:

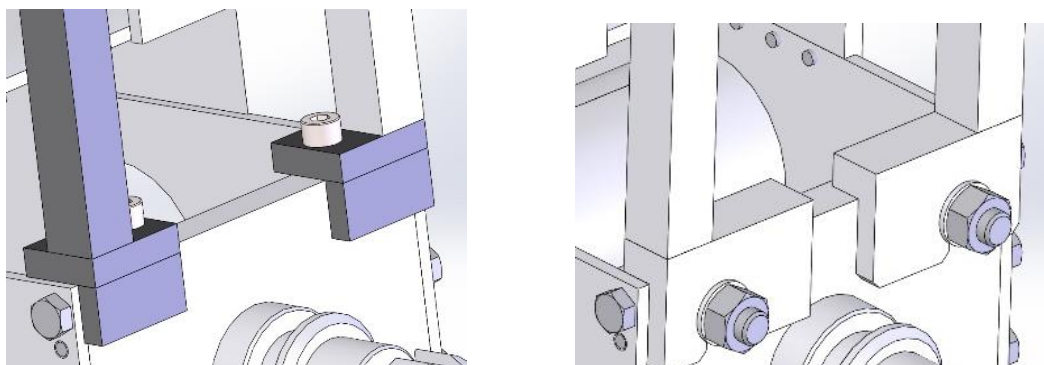
- Rozměry 970 x 725 x 710 mm
- Nominální napětí 200 – 600 V
- Frekvence 50/60 Hz
- Standardizovaná úroveň krytí vysoká
- Hmotnost 150 kg
- Schopnost ovládat až čtyři roboty

4.7 Úprava přípravků podle požadavků dodavatele

Pro možnost automatizování nebyl současný stav přípravku přípustný. Nesplňoval požadavky na toleranci, které jsou při automatizování velmi důležité. Dále nebylo možné snímat trn. Přípravky jsou po tolika letech značně poškozeny a ramena přípravku se důsledkem koroze a tepelného zatěžování pokroutila (obr. 26, b). Problém z koroze jsme řešili tak, že jsme nově vyrobené přípravky vyrobili z nerez oceli 17 246 (obr. 26, a). Některé jiné materiály by odolávaly korozi možná lépe, ale jejich použití by bylo příliš nákladné. Tato ocel je korozivzdorná a měla by proti kyselině chlorovodíkové odolat. Jelikož jsme tímto způsobem částečně zabránili korozi, tak jsme mohli přípravky odlehčit. Tvarové šablony, které se vyráběly jako plné části, jsme udělali mnohem tenčí a tím snížili hmotnost. Nový přípravek z nerez ocele váží okolo 20 – 25 kg.



Obr. 26) a) Účinek koroze na korozivzdornou ocel 17 246 (fotografie), b) Důsledek koroze obyčejné oceli 11 373 (fotografie)



Obr. 27) a) Upravené spojení ramen s čelem přípravku (3D model - Solidworks), b) Neupravené spojení ramen s čelem přípravku (3D model - Solidworks)

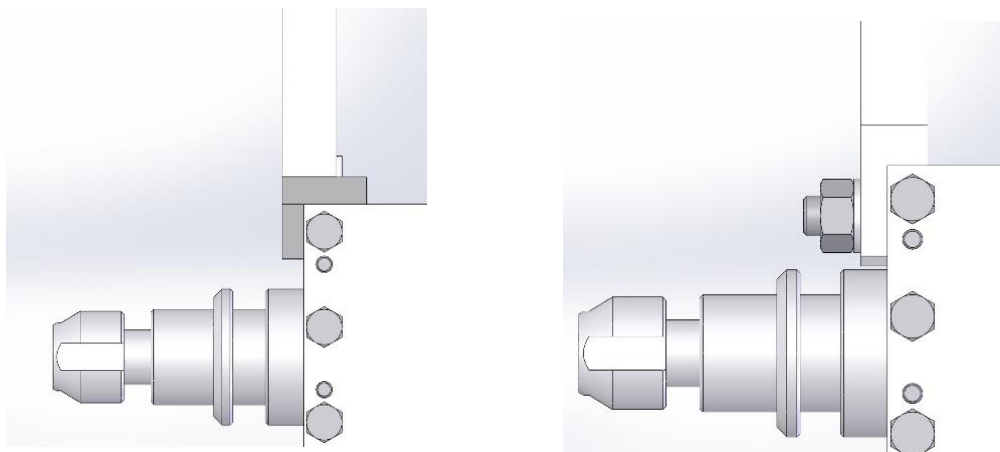
Kvůli nedosažitelné přesnosti, kterou dodavatel požadoval, jsme museli pořídit polohovací kamery. Tyto kamery snímají polohu svorky. Díky tomu nebylo potřeba vyrobit všechny ramena nové. Kvůli teplotní roztažnosti by ramena po pár výrobních cyklech nesplňovala požadované přesnosti.

Hlavní úprava přípravků se týkala upevňování ramen (obr. 27, a). Tento typ spojení měl dva problémy (obr. 27, b).

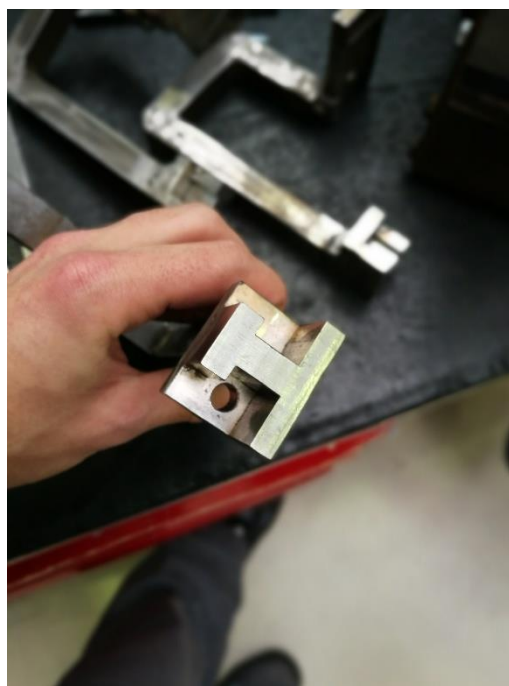
První byl, že se těžko dosahovalo správného dosednutí ramene na čelo přípravku. Pracovníkům se stávalo, že rameno nedosedlo a proto bylo nakloněné. Kvůli tomu neměli po zapájení funkční části správný rozměr a nebylo možné je zaformovat do formy. Pracovníci se snažili přišroubovaná ramena dokleпávat kladívkem, ale při manipulaci s přípravkem se mohly ramena kdykoliv uvolnit. Výhoda tohoto spoje byla, že přidělování ramen bylo rychlé a

nenáročné. Pro robota by mohlo naklonění ramen znamenat zastavení procesu pájení, nebo kolizi.

Druhý požadavek byl takový, že kolem trnu přípravku musí být co největší prostor. Je to kvůli čelistím, které musí mít prostor na uchopení přípravku a také kvůli snímání trnu kamerou. Pro možnost bočního snímání byl problém se šroubem, který trčel z přípravku (obr. 28, b). U přípravků jsem tedy vymyslel nové uchycení, které splňovalo všechny požadavky (obr. 28, a). Nové úchyty jsem navrhnul tak, aby zamezily jakémukoliv pohybu ramen. Úprava se týkala pouze čela přípravku a konců ramen. Po vsunutí ramen do přípravku se zamezí jakémukoliv pohybu. Ramena je možné pouze vysunout ven z drážky. Tento posuv je zamezen šroubem z horní strany čela (obr. 29, a, b).



Obr. 28) a) U upraveného přípravku je větší prostor pro snímání trnu (3D model - Solidworks), b) Neupravený spoj nevyhovuje kvůli šroubu, který zavazí ve snímání trnu (3D model - Solidworks)



Obr. 29) a) Upravené čelo přípravku pro nový typ spoje (fotografie), b) Upravený konec ramene (fotografie)

Spoje postupně vyměňujeme u všech přípravků. U některých jsme při rozdělení přípravku museli vyrobit úplně nová čela přípravků. Tato čela byla tak zkorodovaná, že po očištění zkorodované oceli se tloušťka čela zmenšila o 2 mm. Všechny tyto nové díly vyrábíme z nerez oceli 17 246.

Upravený přípravek byl poslán do sídla dodavatele, kde se testoval přímo robotem při procesu pájení. Testování proběhlo bez problému a takto upravený přípravek plně vyhovuje automatizovanému pájení (obr. 30).



Obr. 30) Upravený a smontovaný přípravek, který je připravený na testování robotem (fotografie)

5 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

5.1 Časy zapájení svorek

Každý pracovník má daný čas na zapájení svorky i na navinutí kabelů. Všechny tyto procesy výroby popisuje návodka. Je důležité dodržovat výrobní časy, aby nedošlo k zpomalení linky. Pracovník měl na zapájení jedné svorky pracovní čas 12 minut. Tento čas se snažíme ještě zmenšit.

První testování proběhlo u dodavatele. Po třech dnech se nám povedlo celou svorku zapájet za 8 minut. Největší problém byl v určení správné teploty pájení a to hlavně kvůli tomu, že nebylo zřejmé, jaká je teplota ve svorce. Nakonec bude možná potřeba dokoupit pyrometry, které mají přesnější ukazatele teplot.

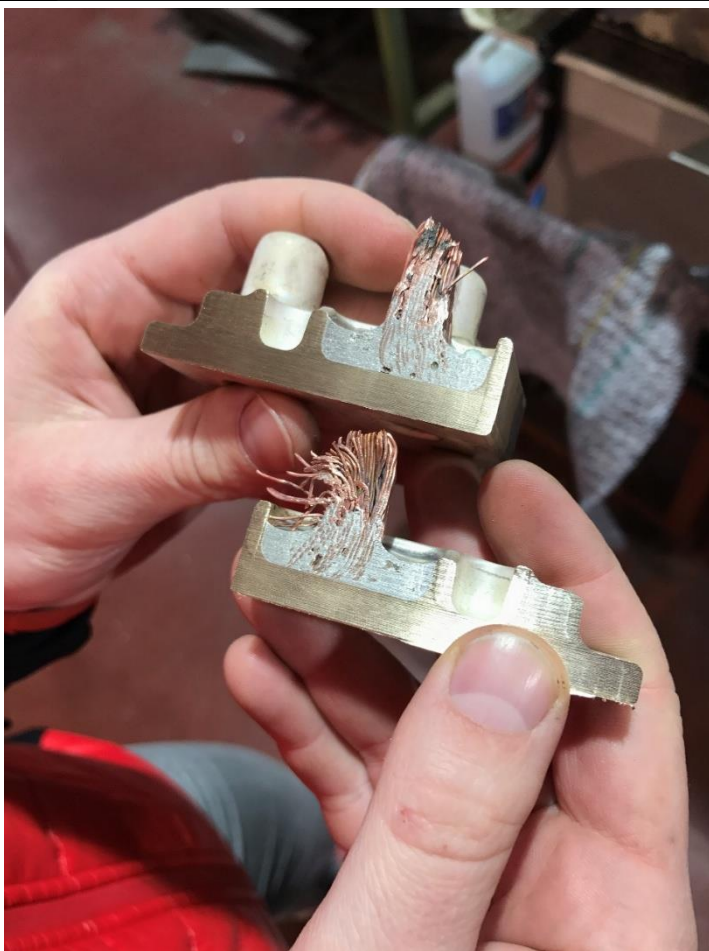
5.2 Zapájený spoj

Pro správné zapájení svorky je potřeba, aby v cínovém spoji nebyly bublinky a aby cín vzlínal do prostoru mezi dráty primárního kabelu. Vztlínání je přirozená vlastnost cínu při pájení, ale je potřeba svorku správně ohřívat na požadovanou teplotu a zároveň nanést dostatek pájecí kyseliny. Cín se musí dodávat konstantně a správnou rychlostí. Při rychlém dodání cínu nebude svorka dobře zapájená.

Po zapájení pár vzorkových kusů jsme provedli testování na zkušebně a velká část vyhovovala. Zapájené kusy jsme rozřízli a výsledný zapájený spoj vypadal velmi dobře. Velkou výhodou automatizovaného pájení bylo, že svorka se neustále ohřívá na teplotu v rozmezí 250°C – 300°C. Při této konstantní teplotě a masivnímu dodání pájecí kyseliny cín vzlínal až 2 cm nad prostor svorky (obr. 31). Výsledný spoj byl tedy zapájen v dostatečné délce (obr. 32).



Obr. 31) Řez primárních kabelů 2 cm nad svorkou (fotografie)



Obr. 32) Rozříznuté vzorky, které byly testovány (fotografie)

5.3 Zhodnocení investování

Testování nám ukázalo, že automatizování pájení zlepší nejen kvalitu, ale také výrobní čas. Po úpravách je možné se dostat na pájecí čas 10 minut. Po správném naladění stroje se předpokládá, že bude možné svorky zapájet za 8 minut. Úprava přípravků se bude muset dělat postupně, protože není možné výrobu úplně zastavit.

Úspory (roční)		Náklady	
Pájecí materiál	14 232 \$	Robot + Automatické součásti	305 635 \$
Svorky	6 345 \$	Indukční ohřívač	95 524 \$
Pracovní síla	110 820 \$	Změny na pracovišti	~ 82 343 \$
Bezpečnostní rizika	Snížena	Vylepšení CT linky	~ 34 651 \$
Celkem	131 397 \$		491 154 \$
Návratnost investice	3,9 roků		

Tab 4) Tabulka návratnosti investice automatizovaného pracoviště

6 ZÁVĚR

Automatizované pájecí pracoviště zlepšilo kvalitu a rychlost pájení primárních svorek. Byly eliminovány nebezpečné úkony tohoto procesu výroby transformátoru. Před samotným spuštěním pájecího pracoviště bude nutné provést kontrolu všech systémů. Veškeré úpravy týkající se přípravků na pájení byly otestovány robotickým ramenem. Postupně budou opraveny všechny nedostatky, které přípravky za dlouhá léta mají. Všechny požadavky dodavatelské firmy byly splněny.

Při testovacím pájení bylo zjištěno, že zapájená svorka je lépe zapájená automatizovaným pájením, než manuálním. To je způsobeno hlavně tím, že pájení probíhá pod konstantní kontrolovanou teplotou, zvýšeným nanášením pájecí vody a konstantní dodávkou cínu. Všechny tyto aspekty způsobily, že cín prostoupil celým primárním kabelem a vzlínal až do výšky 2 cm nad svorku.

Automatizované pracoviště pájení primárních cívek je novou technologií ve výrobě transformátorů. Naše snaha je dále zařazovat automatizaci do procesů výroby transformátorů tak, abychom zaměstnancům co nejvíce pomohli od složitých a zdravý nebezpečných výrobních operacích.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Transformátory: fyzikální základy. *Transformátory: fyzikální základy* [online]. Praha: Jaroslav Kusala, 2003 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz10.htm>
- [2] DVOŘÁK, Miloš. *Přístrojové transformátory: Transformátor proudu*. Brno, 2004. Dostupné také z: Příloha
- [3] DVOŘÁK, Miloš. *Přístrojové transformátory: Transformátor napětí*. Brno, 2004. Dostupné také z: Příloha
- [4] *Papírová lepenka: Charakteristiky a použití papírové lepenky* [online]. Ostrov: PAPOS Trade s.r.o, 1992 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.papos.cz/charakteristika-vyrobkou>
- [5] *ENERGETICKÉ PROBLÉMY INDUKČNÍCH ELEKTROTEPELNÝCH ZAŘÍZENÍ: Indukční pájení* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39703. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Doc. Ing. Ilona Lázníčková, Ph.D.
- [6] *Přípravky pro pájení a svařování: Pragokor pájecí voda R* [online]. Praha: Pragochema spol. s r.o., 2003 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.pragochema.cz/?start=2&lan=cz&vyr=Pripravky-pro-pajeni-a-svarovani>
- [7] *Robot IRB 6620: Technická data pro IRB 6620* [online]. Sweden: ABB s.r.o, 2004 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6620>
- [8] *Robot IRB 4600: Technická data pro IRB 4600* [online]. Sweden: ABB s.r.o, 2008 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-4600>
- [9] *Minac mobile heat generators: Minac 18/25 SM Twin* [online]. Norway: EFD Induction Group, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.efd-induction.com/en/Products/Minac/18_25_Twin.aspx
- [10] *Řídící systémy: Řídící systém IRC5* [online]. Sweden: ABB s.r.o, 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/ridici-systemy/irc5>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam tabulek

TAB 1) TABULKA POPISUJÍCÍ JEDNOTLIVÉ ZÁKLADNÍ DÍLY ROBOTA OBR. 9).....	36
TAB 2) TABULKA ROZSAHŮ A RYCHLOSTÍ OTÁČENÍ KOLEM JEDNOTLIVÝCH OS U ROBOTA ABB IRB 6620.....	38
TAB 3) TABULKA UMÍSTĚNÍ PŘEVODOVEK A JEDNOTLIVÝCH OS NA OBR. 12	39
TAB 4) TABULKA NÁVRATNOSTI INVESTICE AUTOMATIZOVANÉHO PRACOVISTĚ.....	48

8.2 Seznam obrázků

OBR. 1) ODPAŘOVÁNÍ KYSELINY CHLOROVODÍKOVÉ (FOTOGRAFIE) 15	
OBR. 2) RUČNÍ NANÁŠENÍ PÁJKY DO HORKÉ SVORKY (FOTOGRAFIE) 16	
OBR. 3) TYPY SENZORŮ FIRMY	18
OBR. 4) TYPY PŘÍSTROJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ PROUDU	19
OBR. 5) A) PODPĚRNÝ ZÁVITOVÝ TRANSFORMÁTOR, B) PODPĚRNÝ JEDNOZÁVITOVÝ TRANSFORMÁTOR	20
OBR. 6) TYPY PŘÍSTROJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ NAPĚTÍ	21
OBR. 7) TEPLOTNÍ PROFIL TAVENÍ PÁJKY.....	25
OBR. 8) DŮSLEDEK VELKÉHO ZAHŘÁTÍ SVORKY (FOTOGRAFIE).....	26
OBR. 9) SOUČASNÝ STAV PÁJECÍHO PRACOVISTĚ (FOTOGRAFIE)	28
OBR. 10) TRN PŘÍPRAVKU (3D MODEL - SOLIDWORKS)	29
OBR. 11) RAMENO PRO UCHYCENÍ SVORKY (3D MODEL - SOLIDWORKS).....	30
OBR. 12) PŘÍPRAVEK PRO PÁJENÍ PRIMÁRNÍCH CÍVEK POŠKOZENÝ KOROZÍ. (FOTOGRAFIE).....	31
OBR. 13) PŘÍPRAVEK PRO PÁJENÍ PRIMÁRNÍCH CÍVEK S ÚPRAVOU PROTI KOROZI (FOTOGRAFIE)	31
OBR. 14) SVAŘENÝ SPOJ RAMEN A DRŽÁKU PRIMÁRNÍ SVORKY (3D MODEL - SOLIDWORKS)	32
OBR. 15) PRACOVNÍ PROSTOR ROBOTA (SCREEN – ROBOSTUDIO VIEWER).....	33
OBR. 16) AUTOMATIZOVANÉ PÁJECÍ PRACOVISTĚ (SCREEN – ROBOSTUDIO VIEWER).....	34
OBR. 17) CHLAZENÍ PRIMÁRNÍ SVORKY PROUDEM VODY A HOUBIČKOU. (FOTOGRAFIE).....	35

OBR. 18) ROBOT ABB IRB 6620-150/2,2	36
OBR. 19) MOŽNOSTI UKOTVENÍ ROBOTA	37
OBR. 20) ROZSAH ROBOTA KOLEM OSY ZÁKLADNY.....	38
OBR. 21) UMÍSTĚNÍ PŘEVODOVEK ROBOTA	39
OBR. 22) 3D MODEL ČELISTÍ MANIPULAČNÍHO RAMENE ROBOTA (3D - SOLIDWORKS)	40
OBR. 23) TRÍSKLÍČIDLOVÉ ČELISTI (FOTOGRAFIE)	40
OBR. 24) INDUKČNÍ OHŘÍVAČ MINAC 18/25 TWIN	42
OBR. 25) ŘÍDÍCÍ CENTRUM IRC 5.....	43
OBR. 26) A) ÚČINEK KOROZE NA KOROZIVZDORNOU OCEL 17 246 (FOTOGRAFIE), B) DŮSLEDEK KOROZE OBYČEJNÉ OCELI 11 373 (FOTOGRAFIE).....	44
OBR. 27) A) UPRAVENÉ SPOJENÍ RAMEN S ČELEM PŘÍPRAVKU (3D MODEL - SOLIDWORKS), B) NEUPRAVENÉ SPOJENÍ RAMEN S ČELEM PŘÍPRAVKU (3D MODEL - SOLIDWORKS)	
OBR. 28) A) U UPRAVENÉHO PŘÍPRAVKU JE VĚTŠÍ PROSTOR PRO SNÍMÁNÍ TRNU (3D MODEL - SOLIDWORKS), B) NEUPRAVENÝ SPOJ NEVYHOVUJE KVŮLI ŠROUBU, KTERÝ ZAVAZÍ VE SNÍMÁNÍ TRNU (3D MODEL - SOLIDWORKS).....	45
OBR. 29) A) UPRAVENÉ ČELO PŘÍPRAVKU PRO NOVÝ TYP SPOJE (FOTOGRAFIE), B) UPRAVENÝ KONEC RAMENE (FOTOGRAFIE).....	45
OBR. 30) UPRAVENÝ A SMONTOVANÝ PŘÍPRAVEK, KTERÝ JE PŘIPRAVENÝ NA TESTOVÁNÍ ROBOTEM (FOTOGRAFIE)	46
OBR. 31) ŘEZ PRIMÁRNÍCH KABELŮ 2 CM NAD SVORKOU (FOTOGRAFIE).....	47
OBR. 32) ROZŘÍZNUTÉ VZORKY, KTERÉ BYLY TESTOVÁNY (FOTOGRAFIE).....	48

9 SEZNAM PŘÍLOH

9.1 Informační manuál Přístrojových transformátorů

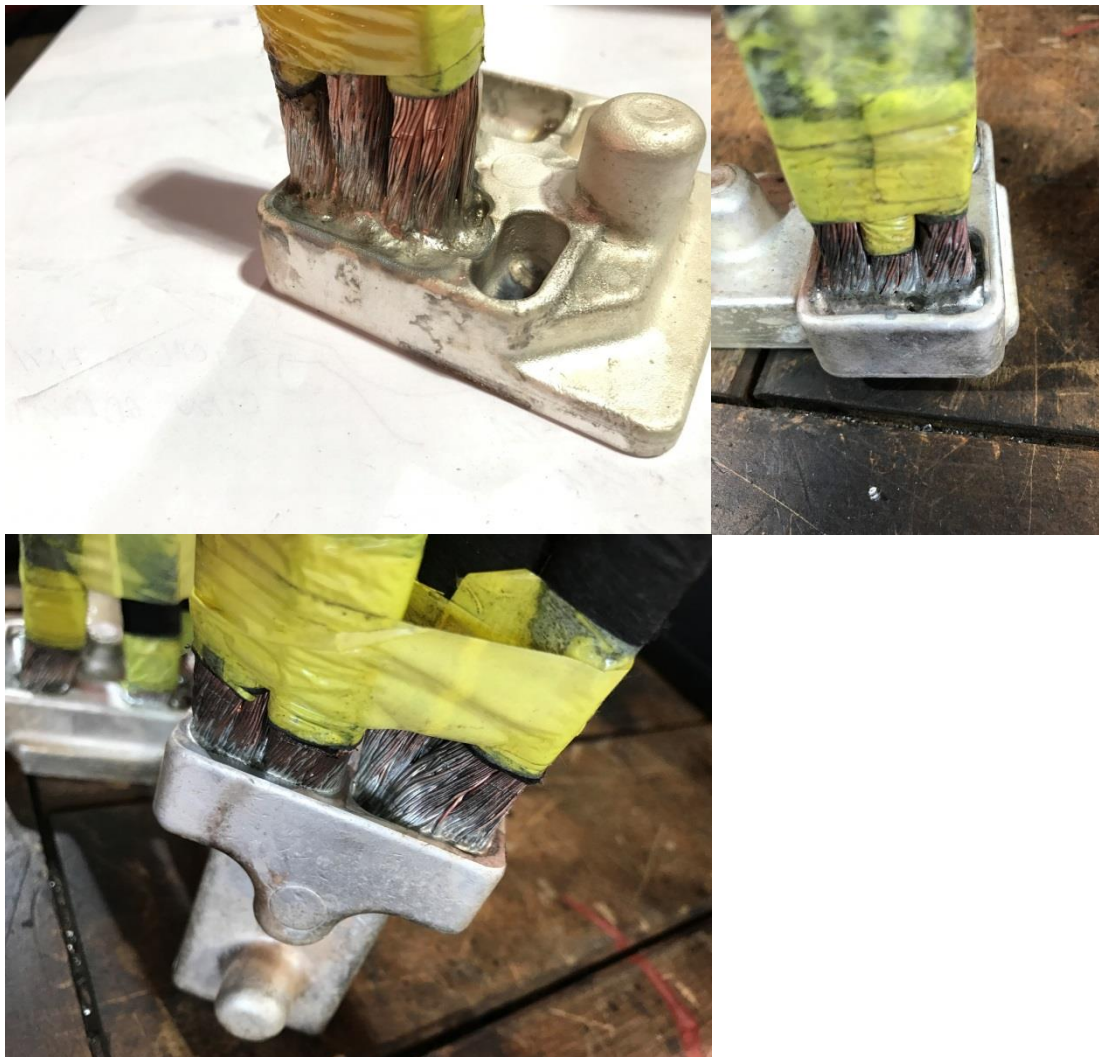
9.2 Fotky zapájených a testovaných svorek

9.3 Fotky spálené svorky

9.4 Fotka Robota ABB IRB6620-150/2,2

PŘÍLOHY

9.2 Fotky zapájených a testovaných svorek automatizovaným pájením



9.3 Fotky spálené svorky špatným nastavením indukčního ohřevu



9.4 Fotka Robota ABB IRB6620-150/2,2

