



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

**ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY VÝROBY NA LINKÁCH MCA S
PÁJECÍMI ROBOTY**

INCREASING EFFICIENCY OF MCA PRODUCTION LINES WITH SOLDER ROBOTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Hajný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Pavel Hajný**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2015/16

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

Zvýšení efektivity výroby na linkách MCA s pájecími roboty

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Konstrukce universální paletky pro drážkové a bodové pájení robotem (tzv. slit a point), nebo paletky pro pájení více desek spojených do jedné (tzv. celý sheet).
2. Návrh na realizaci automatického překlápění paletky v robotu, umožnění vytvoření universálního programu pro zapájení všech komponent.
3. Návrh na realizaci uměle inteligentního dopravníku pro pájecí linku.
4. Potřebná výkresová dokumentace a návrhové výpočty.
5. Posouzení doby návratnosti investice pro body 2 a 3.

Cíle diplomové práce:

Cílem je zvýšení efektivity výroby na linkách MCA s pájecími roboty. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností ALPS Electric Czech, s. r. o. v Sebranicích.

Seznam literatury:

Shigley, J. E., Mischke, Ch. R., Budynas, R. G. (2010): Konstruování strojních součástí. ISBN 978-8-214-2629-0.

Knoflíček, R. (2004): Roboty a pružné výrobní systémy. Studijní opora ÚVSSR FSI VUT.

Internetové odkazy výrobců a dodavatelů průmyslových robotů.

Firemní materiály ALPS Electric Czech Sebranice.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zvýšení efektivity výrobních linek s pájecími roboty. V úvodu této práce je popis výrobku a současného procesu. Dále jsou zde varianty konstrukčního řešení pájecích palettek a výběr nejvhodnější z nich. Poslední část práce obsahuje návrh automatizace pájecího procesu.

ABSTRACT

This master thesis describes the design of increasing the efficiency of production lines with solder robots. In beginning of this work is a description of product and current process. There are also variants of design solutions for soldering palettes and the best one is chosen. The last part of this work includes design automation soldering process.

KLÍČOVÁ SLOVA

pájení, pájecí robot, výrobní linka, deska plošných spojů, zvýšení efektivity

KEYWORDS

soldering, soldering robot, production line, printed wiring board, increasing efficiency

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAJNÝ, P. Zvýšení efektivity výroby na linkách MCA s pájecími roboty. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání diplomové práce. Dále také firmě ALPS Electric Czech s.r.o. za poskytnutí materiálů a podpory pro vypracování této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu a podkladů poskytnutých firmou ALPS Electric Czech s.r.o.

V Brně dne 24.5.2016

.....

Hajný Pavel

OBSAH

1	ÚVOD	15
1.1	ALPS Electric Czech s.r.o.	16
2	POPIS VÝROBKU	17
2.1	Hlavní části	17
2.1.1	Plastové kryty	17
2.1.2	Páčky	18
2.1.3	Deska plošných spojů (PWB).....	18
3	PÁJENÍ [2]	19
3.1	Povrchová montáž SMT [3].....	20
3.2	Součástky s drátovými vývody THT	20
3.2.1	Pájení vlnou	20
3.2.2	Selektivní pájení [4].....	21
4	SOUČASNÝ PROCES	23
4.1	Pájecí proces	25
4.1.1	Pájecí robot	27
5	ZVYŠOVÁNÍ EFEKTIVITY	31
5.1	Výpočet kapacity	32
5.1.1	Současný stav	32
5.1.2	Navýšení kapacity.....	32
5.2	Změna rozložení	33
6	NÁVRH PÁJECÍ PALETKY.....	35
6.1	Varianta č. 1	36
6.2	Varianta č. 2	39
6.2.1	Pájení první strany	39
6.2.2	Fixace konektoru C1.....	41
6.3	Výběr varianty [12].....	44
7	DALŠÍ KONSTRUKCE	47
7.1	Přípravek při fixaci paletek.....	47
7.2	Stanoviště pro osazování	48
7.3	Přípravek pro nanášení laku.....	49
7.4	Úprava řezačky	49
7.5	Konstrukce linky	50
8	REALIZACE ŘEŠENÍ	51
8.1	Konstrukční úpravy.....	51
8.1.1	Prostor pro pájení termistorů	51
8.1.2	Změna fixace termistorů	52
8.1.3	Universální přípravek pro paletky	53
8.2	Změna výrobní linky.....	53
9	NÁVRH AUTOMATIZACE PÁJECÍHO PROCESU	55
9.1	Automatizace osazování	55
9.2	Manipulátor.....	56
9.2.1	Varianty konstrukce manipulátoru:	56
9.3	Dopravník	59
9.3.1	Rozvržení dopravníku.....	59

9.4	Výběr řešení [12]	60
9.5	Návratnost investice	60
9.6	Zhodnocení automatizace	61
10	ZÁVĚR.....	63
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	65
12	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	67
12.1	Seznam použitých zkratk a symbolů	67
12.2	Seznam tabulek.....	67
12.3	Seznam obrázků.....	67
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

1 ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout opatření, která by vedla ke zvýšení výrobní kapacity a zlepšení ekonomické efektivity výrobní linky ve firmě ALPS Electric Czech s.r.o. v Sebranicích. Navýšení kapacity je nutné z důvodu rostoucí poptávky ze strany zákazníka.

V úvodu této práce je detailně popsán výrobek, který se na této lince vyrábí. Jedná se o podvolantový modul, včetně páček pro ovládání světel, stěračů atd. Kromě plastových výlisků obsahuje také desku plošných spojů, která je základem celého výrobku, a její výroba je předmětem části linky, na které bude provedena změna zaručující navýšení kapacity.

Samotné zvýšení kapacity bude realizováno pomocí změny layoutu montážní linky a díky změně pájecího procesu, který se na ní provádí.

Na změnu pájecího procesu je zaměřena hlavní konstrukční část této práce. Skládá se z návrhu variant řešení nových pájecích paletek, ve kterých je prováděno pájení desek plošných spojů. Z těchto variant je poté vybrána nejvhodnější pomocí metody multikriteriálního hodnocení. Kromě těchto paletek je nutné navrhnout také další přípravky, které umožní použití nových paletek ve výrobě.

Následující kapitola obsahuje popis realizace projektu přímo ve výrobní hale firmy ALPS Electric Czech s.r.o. Jsou zde také popsány všechny úpravy, které musely být provedeny na konstrukci paletek. Potřebné úpravy byly zjištěny i díky výrobě prototypu a jeho testování, ještě před převedením procesu do sériové výroby.

Poslední část je věnována návrhu automatizace výše zmíněného pájecího procesu. Obsahuje několik variant uspořádání a řešení, jak by mohla být provedena automatizace vložení a vyjmutí paletek z pájecího robotu, která je v současné době prováděno operátorem.

1.1 ALPS Electric Czech s.r.o.

ALPS Electric Czech s.r.o. je pobočkou japonského nadnárodního koncernu ALPS, který se zabývá výrobou komponent pro největší světové finální výrobce spotřební elektroniky.

Závod se nachází ve vesnici Sebranice, nedaleko města Boskovice a zhruba 30km severně od Brna. Převážnou část výroby tohoto závodu tvoří výrobku do automobilového průmyslu. Jedná se o podvolantové moduly, panely klimatizací a navigací, určené pro různé výrobce aut např. BMW, Volvo, Land Rover, Ford a další.

V areálu firmy se nachází výroba většiny důležitých součástí, ze kterých se poté montuje finální výrobek. Nachází se zde například výroba plastových dílů pomocí vstřikování do forem, linky na osazení desek plošných spojů pomocí SMT a další. Dále také potisk ovládacích prvků a finální montážní linky.



Obrázek 1 - Areál firmy ALPS Electric Czech s.r.o. [17]

2 POPIS VÝROBKU

V úvodu zmíněná linka slouží k montáži podvolantového modulu, který je určen pro montáž do automobilu Land Rover Evoque. Finální výrobek, ve stavu v jakém je expedován zákazníkovi, je na obrázku 2. Model vozu, do kterého je tento modul určen je poté na obrázku 3. Tento model se vyrábí od roku 2011 do současnosti, jeho montáž probíhá v Liverpoolu ve Velké Británii. V případě úspěšného nasazení této změny je počítáno s nasazením i na výrobní linky pro jiné zákazníky.

Modely součástí a fotografie, byly pro účel vypracování této práce laskavě poskytnuty společností ALPS Electric Czech s.r.o.



Obrázek 2 – Výrobek připravený k expedici



Obrázek 3 – Land Rove Evoque [1]

2.1 Hlavní části

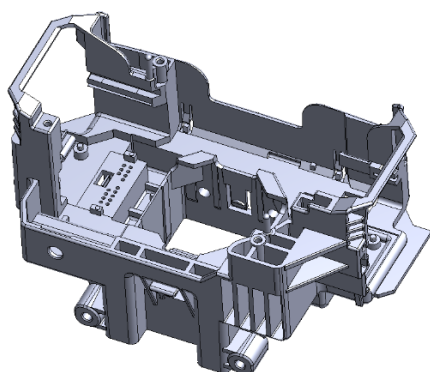
Mezi tyto hlavní části patří plastové kryty a páčky, které jsou vstříkovány a potiskovány na přípravných linkách. Další důležitou částí celé sestavy je deska plošného spoje.

Jelikož se jedná o výrobky do automobilního průmyslu, tak je důležité dodržet zpětnou dohledatelnost (tracebilita), tato je umožněna pomocí čárových a QR kódů, které jsou umístěny na modulu. Při montáži jednotlivých výrobků je prováděno skenování těchto kódů, tyto jsou poté ukládány do databáze, aby byly zpětně dohledatelné v případě reklamací.

2.1.1 Plastové kryty

Největší část celého výrobku tvoří obal (case). V tomto obalu jsou umístěny všechny ostatní komponenty. Obsahuje upínací prvky pro upevnění komponent v samotném tělese modulu, tak i pro upevnění modulu v automobilu.

Jedná se o výrobek z plastu, který je vyroben pomocí vstřikovací technologie.



Obrázek 4 – 3D model obalu modulu



Obrázek 5 - Obaly připravené k montáži

2.1.2 Páčky

Nezbytnou součástí každého podvolantového modulu jsou ovládací prvky a to ve formě páček. Výroba těchto páček je prováděna na samostatných výrobních linkách, na montážní linky jsou tedy přiváženy jako hotové a probíhá zde pouze jejich montáž do modulu.

Páčka zobrazená na obrázku 5, dále označována jako WIPER, slouží k ovládání stěračů a ostřikovačů skel. V modulu je umístěna na pravé straně.



Obrázek 6 – WIPER páčka

Druhá páčka je umístěná na levé straně modulu, dále označována jako TURN, se využívá pro ovládání světel (směrová, potkávací, dálková, ...) automobilu.



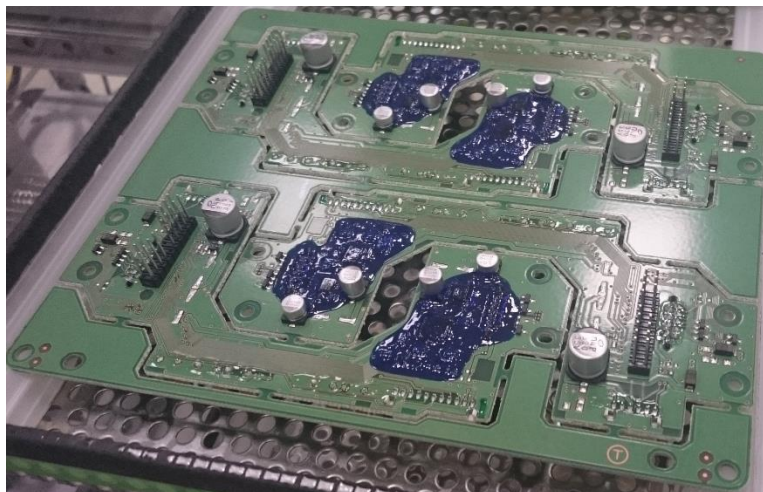
Obrázek 7 - TURN páčka

2.1.3 Deska plošných spojů (PWB)

Mezi jednu z nejdůležitějších součástí celého modulu můžeme považovat desku plošných spojů. Tato zajišťuje komunikaci mezi oběma páčkami a také jejich propojení se zbytkem automobilu. Deska je osazena součástkami jak SMT technologií, tak i pomocí ručního osazení součástek, které prochází skrz desku (THT technologie). Zatímco osazení a pájení

pomocí technologie SMT probíhá na specializovaném pracovišti, osazení a pájení THT součástek se uskutečňuje na montážní lince. Proces pájení THT součástek tvoří základ tématu této práce a proto mu bude v práci věnováno více prostoru v následujících kapitolách.

Součástky, kterým by mohlo hrozit poškození, jsou pro zvýšení jejich odolnosti po pájecím procesu zakryty ochranným lakem.



Obrázek 8 – Arch desek s naneseným ochranným lakem

3 PÁJENÍ [2]

Hlavní změna zajišťující navýšení kapacity se bude odehrávat při pájení desek plošných spojů. Proto bych rád na úvod práce uvedl stručný popis této technologie, včetně možností jejího využití.

Pájení můžeme definovat jako nerozebíratelné spojení dvou materiálů pomocí roztavené pájky, přičemž nedochází k natavení spojovaných materiálů, jako například při svařování.

Můžeme ho rozdělit na dva základní typy a to na tvrdé a měkké pájení. Parametr, podle kterého rozlišuje typ pájení, je teplota při které dochází k roztavení pájky a spojení materiálů. Zatím co při měkkém pájení se teploty tavení pájky pohybují do 400°C, tak při tvrdém pájení se využívá teplot vyšších než 400°C. Z tohoto plyne také použití různých materiálů pájky. Pro měkké pájení se využívá především slitin založených na cínu a olovu, zatím co u tvrdého převažuje pájka ze stříbra nebo mosazi.

Tvrdé pájení nachází uplatnění při spojování jinak těžko spojovatelných materiálů, které jsou mechanicky namáhané, např. pájení řezné destičky na soustružnický nůž.

Převážná část využití měkkého pájení je v elektrotechnice pro vytvoření vodivého kontaktu mezi součástkami nebo vodiči.

Při sériové výrobě elektrotechniky se bez některé z forem pájení již prakticky nelze obejít. Sériová výroba s sebou nese velké požadavky na rychlost a kvalitu této operace, a proto je vhodné využít namísto ručního pájení, pájení automatické. Ruční pájení však stále má své místo ve výrobě, používá se například pro opravu desek, které po automatickém zapájení vykazovali nedostatky a nemohly tak být použity dále do výroby.

Součástky, které mají být pájeny, můžeme rozdělit dle způsobu jejich osazení a následného pájení. V této souvislosti používáme především následující dva typy.

3.1 Povrchová montáž SMT [3]

SMT (Surface Mount Technology) je postup, při němž se elektronické komponenty osazují přímo na povrch plošného spoje. Deska plošného spoje bývá většinou vícevrstvá, používají se čtyři vrstvy mědi a bývá osazena z vnějších stran. Velikost takto osazených součástek se pohybuje od desetin milimetru, a proto je tato metoda rozšířená hlavně od 80. let a díky miniaturizaci elektroniky. Součástky, pro tuto metodu označujeme jako SMD (Surface Mount Device), jsou připevněny na povrch pomocí pájecí pasty, která má lepící vlastnosti. Takto osazená deska je poté vložena do pece, kde dojde k roztavení pasty, a tím vytvoření vodivého spojení mezi součástkou a deskou. Celý tento proces, při sérové výrobě, probíhá na uzavřených automatických linkách (obrázek 9) a to včetně osazování součástek.



Obrázek 9 - SMT výrobní linka [5]

3.2 Součástky s drátovými vývody THT

Na rozdíl od povrchové montáže, vývody jednotlivých komponent procházejí skrz desku plošného spoje. Tyto vývody jsou poté na druhé straně zapájeny. Před rozvojem SMT technologie byl toto jediný možný způsob osazování desek plošných spojů.

V současnosti se oba tyto způsoby kombinují, tak že se použijí SMT komponenty pro základní prvky (kondenzátory, rezistory,...) a prvky, u kterých se předpokládá mechanické namáhání za provozu (konektory, spínače,...) nebo jsou těžší (transformátory, tlumivky,...), se využívají komponenty s drátovými vývody.

Pro zapájení těchto drátových vývodů se v sériové výrobě využívá řada technologií, nejpoužívanější z nich budou představeny v následujících kapitolách.

3.2.1 Pájení vlnou

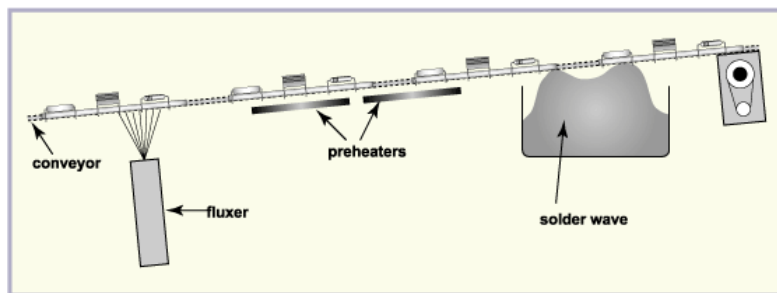
Je jedna z tradičních metod v hromadné výrobě elektroniky. Lze ji využít i pro pájení povrchových součástek. Součástky jsou osazeny všechny z jedné strany desky a jsou zajištěny proti vypadnutí. Poté jsou pomocí dopravníku těchto desek unášeny skrz jednotlivými částmi stroje.

V první části dojde k nanesení tavidla na stranu desky, kde má probíhat pájení. Tavidlo působí jako čistič, které odstraňuje oxidy z míst, kde dojde k pájení. Nanáší se buďto ve formě pěny nebo pomocí kartáče.

Další část stroje slouží jako predehřivací zóna, kde dojde k částečnému odpaření tavidla.

V následující části již projíždí deska skrz cínovou vlnu, které je vytvořena pomocí čerpadla, systému clon a štěrbin. Zde dojde k nanesení cínové vrstvy na pájené kontakty a tím

vytvoření vodivého spojení. Po tomto kroku následuje myčka desek, kde dojde k očištění desky od zbytků tavidla.



Obrázek 10 - Schéma pájení vlnou [6]

3.2.2 Selektivní pájení [4]

Tento proces se využívá hlavně pro dopájení součástek při smíšené montáži (SMT a THT). Jak již název této kapitoly napovídá, dochází při ní k pájení v jednom určitém místě, což je výhodné právě při kombinaci s předem osazenými a zapájenými SMT komponentami. V praxi se provádí mnoha různými způsoby, z nichž pouze některé uvedu níže.

Pájení pomocí robotu – využívá se většinou portálová konstrukce robotu, který je osazen efektořem s pájecím hrotem a podavačem cínu. Může být v provedení do linky nebo jako samostatné zařízení.



Obrázek 11 - Pájecí robot [10]

Pájení pomocí mini vlny – tento systém pracuje s tryskou, ze které vystupuje cínová vlna. Tvar a velikost trysky je možné zvolit dle uspořádání pájených kontaktů. Tryska nebo deska je poté polohována na místa, kde má dojít k pájení.



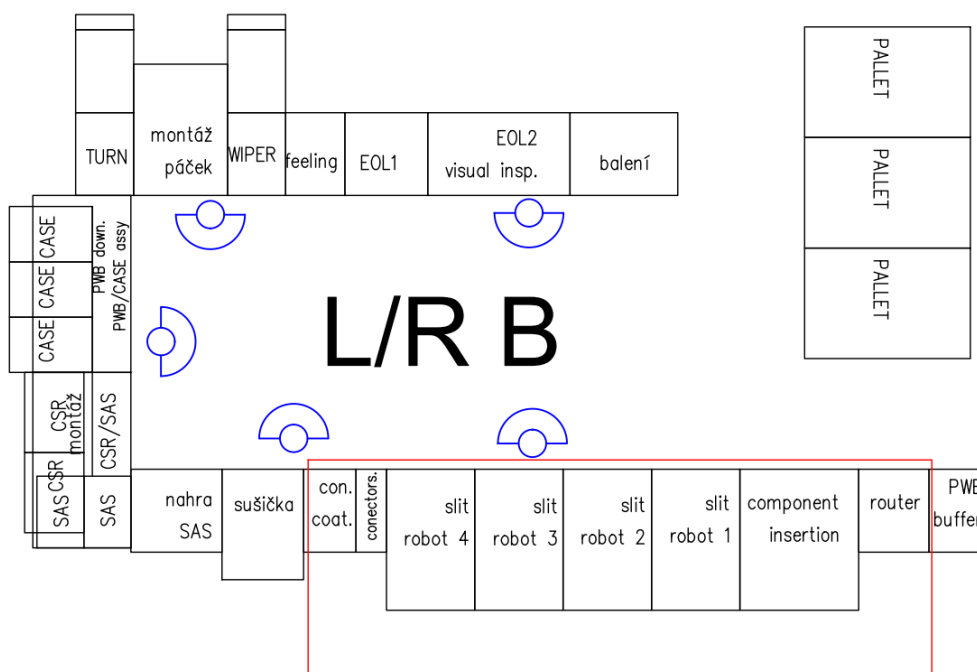
Obrázek 12 - Tryska mini vlny [4]

Dalšími možnostmi jsou například pájení pomocí horkého vzduchu, laseru nebo infračerveného záření. Tyto varianty se od sebe liší pouze způsobem, jakým je dodávána tepelná energie do místa pájení. Poslední využívanou možností je selektivní pájení vlnou, při tomto způsobu musíme místa, která chceme uchránit před nanesením cínu, zakrýt páskami, z tohoto důvodu není tento způsob nejvhodnější pro sériovou výrobu.

4 SOUČASNÝ PROCES

Popis současného procesu, bych chtěl omezit pouze na montážní linku finálního výrobku. Proto zde nebudou podrobně rozepsány všechny přípravné práce jako např. výroba plastových dílů, výroba desek plošných spojů, potisk, atd.

Modely součástí, fotografie a byly pro účel vypracování této práce laskavě poskytnuty společností ALPS Electric Czech s.r.o.

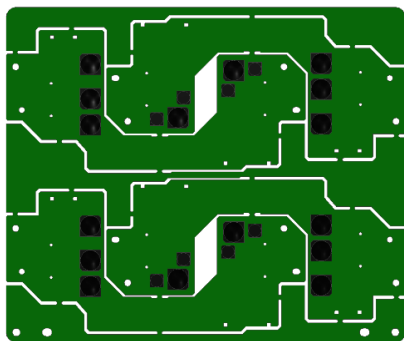


Obrázek 13 - Rozložení současné linky

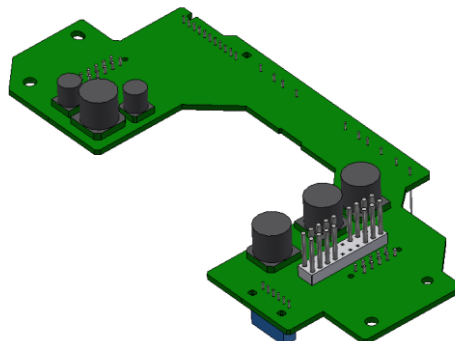
Na obrázku číslo 13 je zobrazeno současné rozložení linky, jednotlivé úseky budou podrobněji popsány v následujícím textu.

PWB buffer - v první části linky se nachází zásobník s archy desek (obr. 14), tyto jsou sem dopravovány zásobovačem linky. Na tyto archy již byly připájeny komponenty pomocí technologie SMT.

Router - tato část obsahuje robot, který slouží pro rozfrézování archu desek na jednotlivé desky (obr. 15), které jsou dále zpracovávány jednotlivě. Obsluha vloží do přípravku arch desek a poté spustí stisknutím dvou tlačítek proces frézování. Po jeho dokončení vyjme čtyři desky a zbylé spojovací části vyhodí do připravené nádoby. Zobrazeno na obrázku 16.



Obrázek 14 - Arch desek plošných spojů



Obrázek 15 - Deska pro jeden modul

Airblow - po předešlé operaci je nutné desky očistit tlakovým vzduchem od prachu, který na nich mohl ulpět.

Pájení – oblast v obrázku vyznačena červenou barvou, obsahuje pracoviště pro ruční osazování součástek a pájecí roboty. Tato část bude podrobně popsána v následující kapitole.

Concoat – zde dochází k nanesení ochranného laku, který chrání citlivé součástky před jejich poškozením. Lak je nanášen robotem, obsluha pouze vkládá zapájené desky do přípravku v robotu.

Sušička – slouží pro vytvrzení laku naneseného v předchozím stanovišti. Nalakované desky jsou vkládány v platech do sušičky, ze které je možné toto plato vyjmout až po vypršení časové prodlevy nutné pro vytvrzení laku.

Nahrání SAS, montáž CSR/SAS, PWB nahrání a montáž CASE – tyto pracoviště slouží k nahrání potřebného softwaru, montáži do plastových krytů a snímáče natočení volantu.

Montáž páček – zde probíhá montáž páček do plastového obal. Páčky jsou zajištěny pomocí šroubů.

Feeling – jedná se o pocitovou a sluchovou kontrolu výrobku.

EOL1 a EOL2 – „End Of Line“ kontrola výrobku na konci linky, jedná se o celkovou (vizuální a funkční) kontrolu, která se provádí na každém vyrobeném kusu.

Balení – Zda obsluha provede zabalení výrobku do krabic, ve kterých je poté exportován k zákazníkovi.

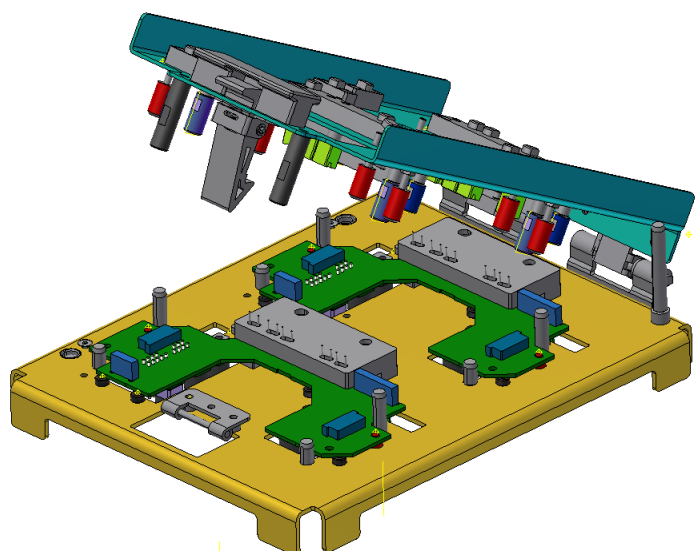


Obrázek 16 - Robot s frézovacím vřetenem

4.1 Pájecí proces

V této části by mělo dojít k dále zmiňovaným úpravám zajišťující nárůst kapacity výroby, a proto budu jejímu popisu věnovat větší prostor.

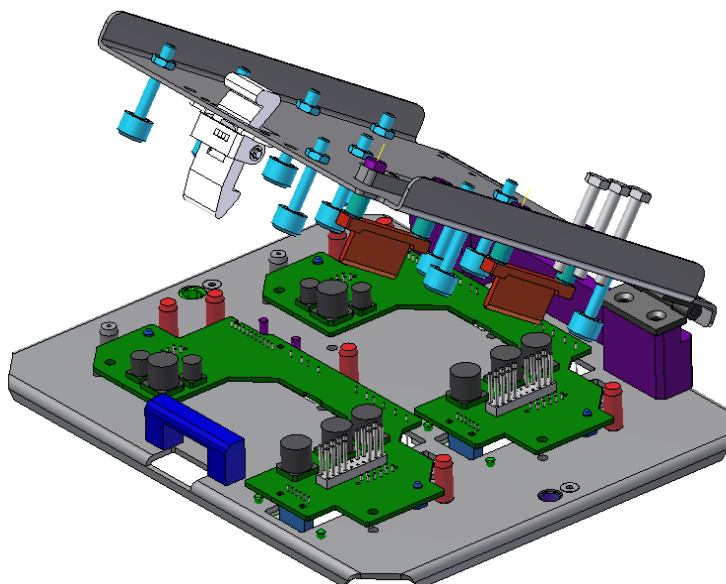
Tento proces začíná tím, že obsluha vloží dvě desky do pájecí paletky a provede osazení požadovanými součástkami. Do každé desky osadí 5 termistorů a 4 konektory, tyto jsou poté zafixovány na správné pozici pomocí fixačních kostek, které obsluha vloží do paletky. Správné přitlačení součástek k desce je zajištěno pomocí pružin v horní části pájecí paletky. Konstrukce této paletky je vyobrazena na obrázku 17.



Obrázek 17- Současná paletka pro pájení první strany

Takto naplněná paletka je poté vložena do přípravku v pájecím robotu, který je poté spuštěn pomocí dvojice tlačítek, tak aby byla zaručena bezpečnost obsluhy. Detaily konstrukce robotu a způsobu pájení budou podrobněji rozebrány v následující kapitole.

Po dokončení pájení je paletka obsluhou vyjmuta z robotu a jsou z ní vyndány desky, které jsou následně otočeny a vloženy do další paletky (obr. 18), kde se do nich osadí poslední součástka (konektor C1). Paletka je poté zapájena v robotu stejným způsobem jako první strana desky.

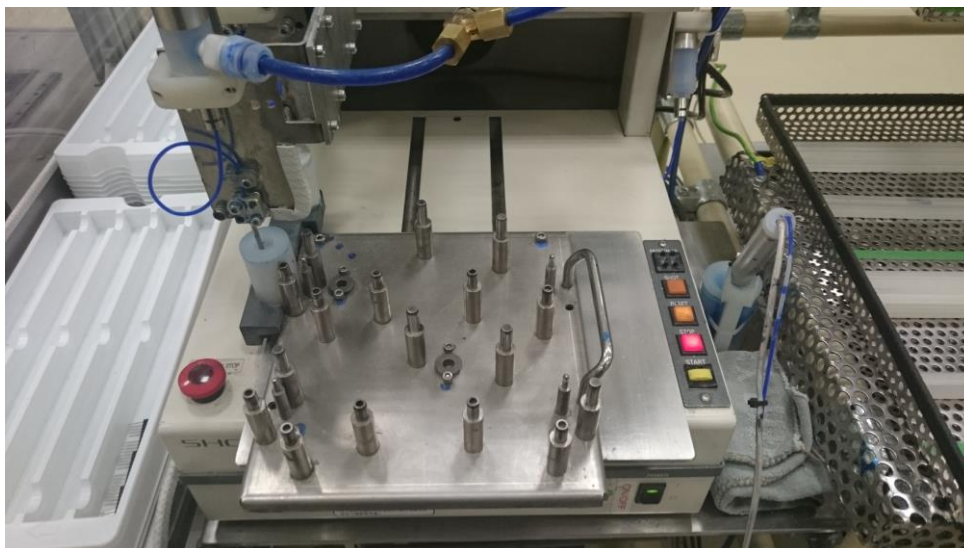


Obrázek 18 - Současná paletka pro pájení druhé strany

Tento pájecí proces následuje důkladná vizuální kontrola, jejímž úkolem je odhalit případné nejakosti, jako například nezapájené piny nebo studené spoje.

Vadné kusy jsou vyřazeny a poslány na opravu ručním pájením. Vizuálně zkontrolované desky obsluha vloží do lakovací stanice (obr. 19), která provede lakování předem určené oblasti,

aby došlo k ochraně citlivých součástek. Po tomto nanesení přichází na řadu sušení laku v sušičce pro jeho dostatečné vytvrzení.

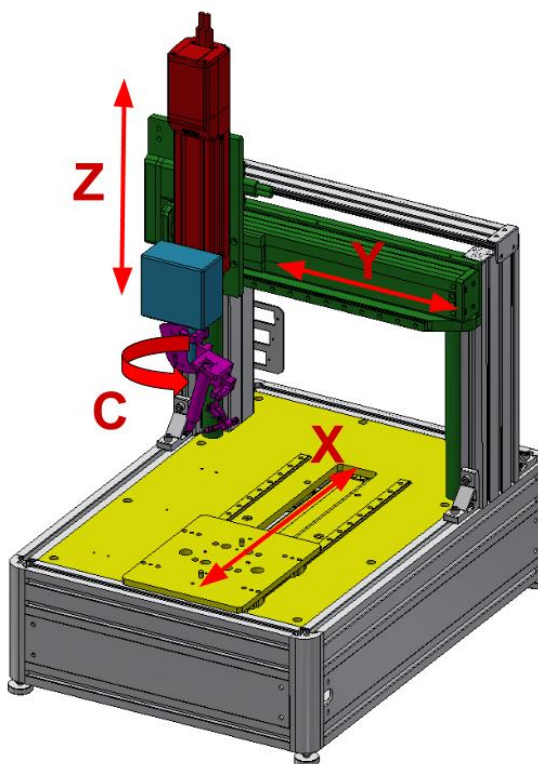


Obrázek 19 - Současná lakovací stanice

Následující operace již souvisí s kompletováním celého výrobku, montáží páček do krytu celého modulu, nahrávání softwaru, kontrola atd.

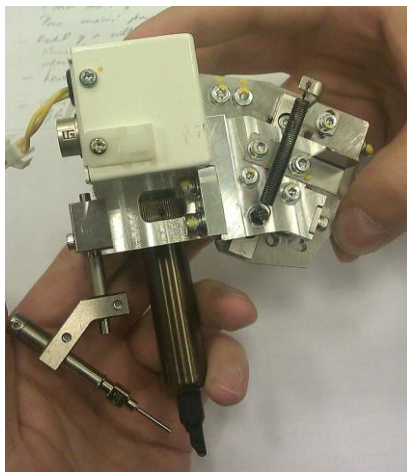
4.1.1 Pájecí robot

Pro pájení se v současném provozu používá portálový robot, který má tři základní translační osy, a rotaci, která umožňuje otáčet pájecím hrotem. Tato poslední rotace dovoluje robotu provádět pájení ve všech směrech.



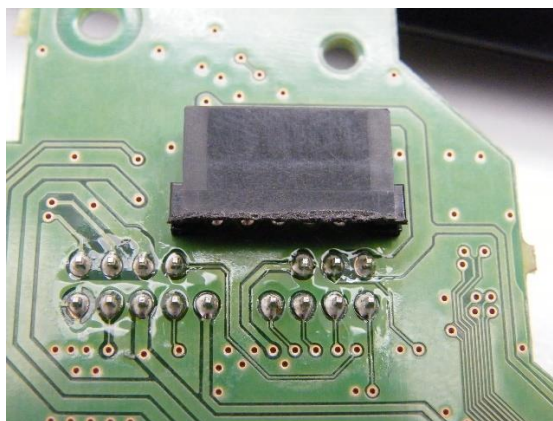
Obrázek 20 - Kinematické schéma pájecího robotu

Ve výrobě je tento robot osazen pájecím hrotem, včetně automatického podavače cínu. Jsou využívány dvě rozdílné konstrukce hrotu, a tím o odlišný postup pájecí operace. Prvním typem je hrot pro takzvané drážkové pájení (slit soldering). Konstrukce tohoto hrotu, na obrázku č. 21, je navržena přímo firmou ALPS a je využívána při všech pájecích procesech ve firmě, při kterých je využito drážkové pájení.



Obrázek 21 - Pájecí hlava pro drážkové pájení

Postup pájení je takový, že hrotem, který je ohřátý na pájecí teplotu, přejíždíme přes pájené kontakty za stálého přísunu cínu do místa pájení. Tím dojde ke správnému zalití jednotlivých kontaktů. Aby však nedocházelo k chybám pájení (vytvoření zkratu, nedopájení prvních nebo posledních kontaktů, studenému spoji, atd.), je nutné pečlivě nastavit jednotlivé parametry pájení jako například: rychlost posuvu, teplotu hrotu, posuv cínu, ... Dalším typem hrotu je hrot pro takzvané bodové pájení. Princip je velmi jednoduchý, pájený kontakt je sevřen čelistmi a do tohoto místa je přiveden cín. Dochází tedy vždy k zapájení pouze jednoho kontaktu, poté se čelisti přesunou k dalšímu a proces se opakuje. Při tomto pájení jsou čelisti rozehráty na vyšší teplotu, než je tomu u předchozího způsobu. Což může někdy způsobovat problémy, jako například tepelné poškození okolních součástek vysálaným teplem z čelistí. Tento případ se vyskytl, když byla touto technologií pájena druhá strana PWB na výše zmíněné lince. Při pájení kontaktu konektoru C1 docházelo k opálení a deformaci konektoru, který je v těsné blízkosti pájených kontaktů. Tento případ je zdokumentován na obr. 22. Bylo proto nutné použít drážkové pájení, při kterém se problém neprojevil.

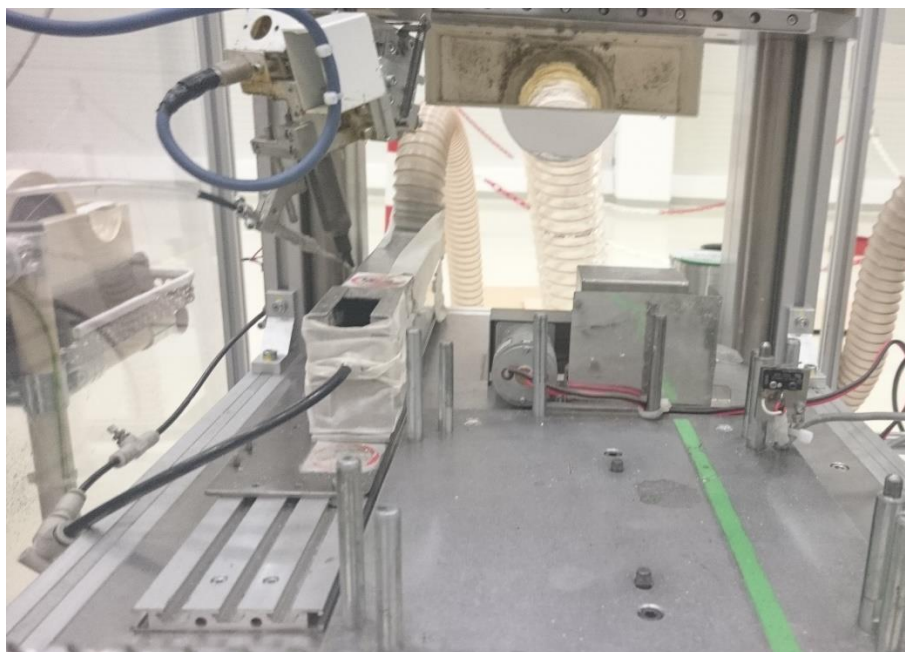


Obrázek 22 - Poškození konektoru při bodovém pájení



Obrázek 23 - Pájecí robot firmy COSMOSWEB [7]

V pracovním prostor robotu je kromě přípravku, který fixuje paletku s pájenou deskou na místě, také umístěn čistící přípravek a ofuk hrotu. Pro dosažení co nejlepších a dlouhodobě stabilních výsledků je totiž nutné pájecí hrot pravidelně čistit. Čistící přípravek obsahuje dva rotační kartáče, které očistí hrubé nečistoty z hrotu, převážně zbytky cínu. Poté je hrot umístěn do prostoru, kde je pomocí tlakového vzduchu ofouknut od zbylých nečistot. Tento čistící proces se používá po každé zapájené řadě konektorů nebo dle uvážení programátora robotu.



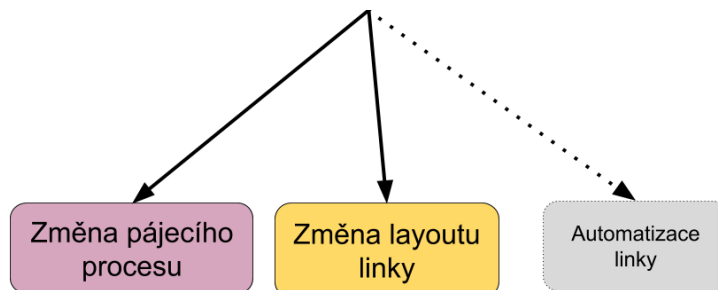
Obrázek 24 - Pracovní prostor pájecího robotu

5 ZVYŠOVÁNÍ EFEKTIVITY

Hlavní cíl této diplomové práce je konstrukčně zpracovat způsob zvýšení efektivity výrobní linky a tím navýšení její výrobní kapacity. Tato změna je nutná z důvodu zvýšení poptávky po výrobcích ze strany zákazníka.

Současná výrobní kapacita linka by nebyla schopna pokrýt rostoucí poptávku, a proto je nutné ji navýšit. Při realizaci tohoto projektu je naplánováno, že se provedou také úpravy samotné konstrukce linky, které přispějí ke zlepšení ergonomie při práci operátorů a usnadní ji.

Jak ukazuje obrázek 25, přestavbu linky můžeme rozdělit na tři hlavní části.



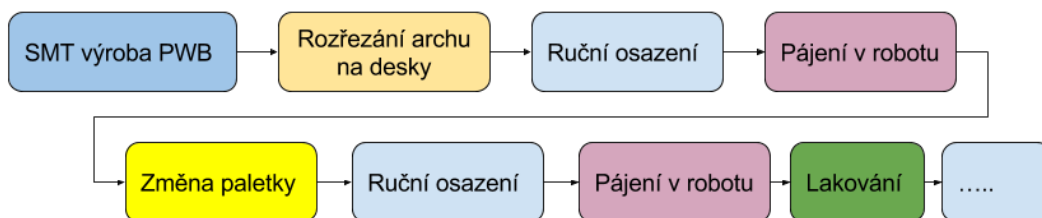
Obrázek 25 - Schéma částí změny výroby

První část, kterou se bude primárně zabývat tato práce, je změna pájecího procesu. Této části bude proto věnován větší prostor v následujících kapitolách.

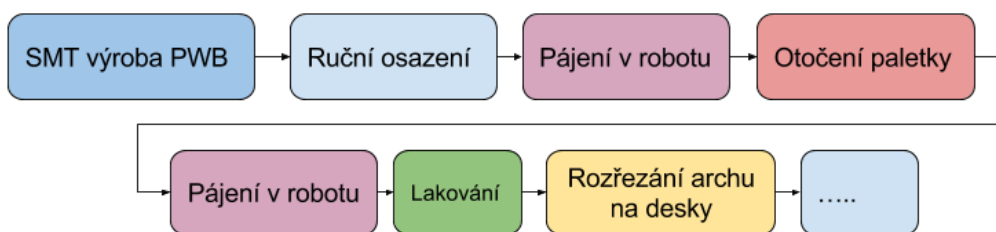
Další část přestavby se týká změny rozložení (layoutu) výrobní linky, která je nutná z důvodu zvýšení počtu pájecích robotů a pro další úpravy.

Poslední část, nazvaná automatizace procesu, se věnuje možnosti alespoň částečně automatizovat pájecí proces a tím zvýšit jeho efektivitu. Jejím obsahem by měl být návrh variant řešení s uvedením návratnosti případné investice. Realizace této části není v současné době naplánována, tato práce by měla sloužit jako podklad pro případné rozhodování o nasazení automatizace.

Základem tohoto zvýšení je změna pájecího procesu, která by měla spočívat v přechodu z pájení jednotlivých desek po jejich rozřezání z archu na pájení celých archů a poté teprve provést jejich rozřezání. Tato změna je graficky znázorněna na následujících obrázcích.



Obrázek 26 - Schéma současné výroby



Obrázek 27 - Schéma navrhované úpravy linky

Očekávanou výhodou tohoto řešení je odstranění problému při pájení desek, které jsou znečištěné od předchozího rozřezávání z archu. Další nesporná výhoda je spojená s dalším požadavkem na nový proces a to je pájení kompletně osazené paletky z obou stran v jedné pájecí paletce. Pokud bychom provedli pájení obou stran v jedné paletce, došlo by ke snížení času potřebné manipulace a zároveň bychom odstranili riziko poškození desky při manipulaci do paletky pro pájení druhé strany. Tato univerzální paletka by poté mohla být v robotu pouze automaticky otočena a mohlo by se provést kompletní pájení desky v jednom robotu bez zásahu obsluhy, která by pouze vkládala a vyjímala paletky z robotu. Což by vedlo k výraznému snížení času potřebného k výrobě jedné desky.

Návrh konstrukce těchto paletek je detailně popsán v kapitole číslo 6. Návrh případné automatizace linky (automatické překlápění, dopravník, atd.) je poté uveden v kapitole číslo 9.

5.1 Výpočet kapacity

Výpočet potřebné kapacity nebyl cílem této práce a byl zpracován zaměstnanci firmy. Tento výpočet byl proveden před zahájením konstrukčního návrhu a společně s výpočtem návratnosti byl základem pro schvalovací proces změn ve výrobní lince. Návrh požadované kapacity vychází z požadavků od zákazníka.

5.1.1 Současný stav

V současné době je na této montážní lince 5 operátorů a linka dosahuje průměrné kapacity 439,7 vyrobených kusů za směnu, která trvá 420 minut.

Z rozložení současné výrobní linky je patrné, že v lince jsou zařazeny 4 pájecí roboty. Tři z těchto robotů jsou určeny pro pájení první strany desek a jeden pro druhou stranu. Linka v této konfiguraci produkuje finální výrobek průměrně každých 57 vteřin. Tento takt je dostačující pro pokrytí současných požadavků zákazníka.

5.1.2 Navýšení kapacity

Od července letošního roku dojde k nárůstu poptávky od zákazníka, další zvýšení je plánováno na prosinec. Z tohoto důvodu je nutné navýšit také kapacitu výrobní linky.

Plánovaný nárůst je z 13192 výrobků za týden v současnosti na 14802 v červenci a poté 16746 v prosinci tohoto roku.

Proto byla ve firmě provedena analýza časů na jednotlivých pracovištích a právě pájení bylo vyhodnoceno jako kritické místo. Z této analýzy dále vyplynula nutnost přidání dvou pájecích robotů, které ve spojitosti s přechodem na pájení celých archů desek, mají zajistit dostatečnou produkci linky i při zvýšené poptávce.

Následující tabulka ukazuje rozdíly v současných a navrhovaných hodnoty, které je možné na lince dosáhnout.

Tabulka 1 - Srovnání parametrů současné a navrhované linky

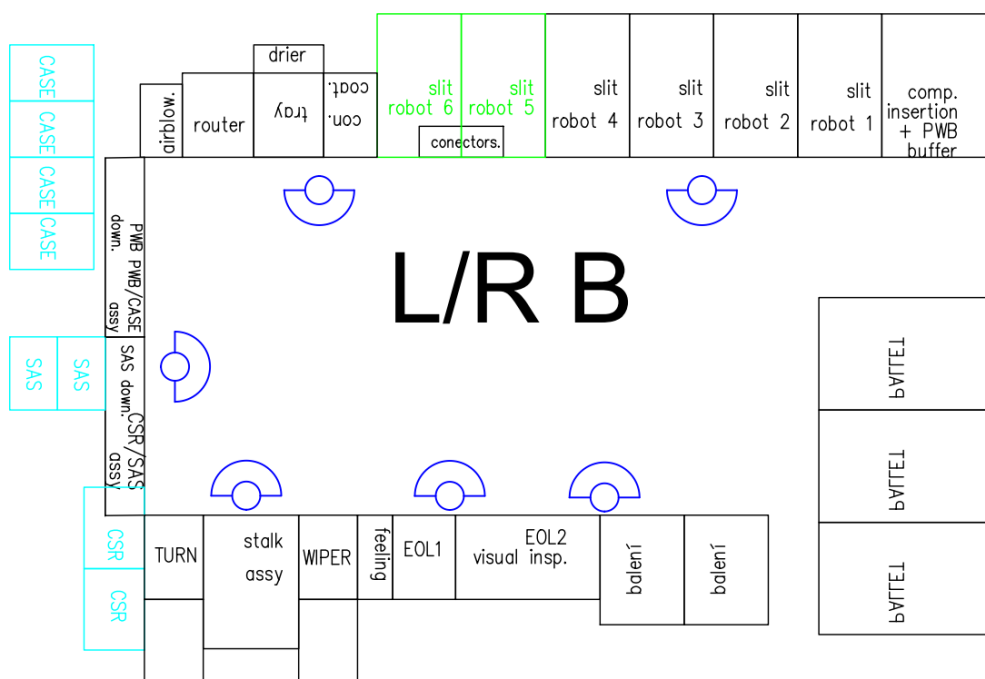
	Současná linka	Linka po změně
Počet operátorů na lince	5	5
Výroba za 420min	439,7	493,4
Počet pájecích robotů	4 (3+1)	6 (4+2)
Takt linky	57,3s	51,1s
Výrobků za týden	13192	15405

Z této tabulky je vidět, že nebude přestavbou linky zaručena dostatečná týdenní kapacita výroby pro pokrytí poptávky od zákazníka. Zbývající kapacita pro doplnění této poptávky bude pokryta díky přestavbě i druhé linky, které je určena pro výrobu pro stejného zákazníka.

5.2 Změna rozložení

Jak bylo výše uvedeno, bude nutné při zvyšování kapacity, kromě úpravy pájecího procesu, upravit také rozložení jednotlivých prvků výrobní linky. Pokud si porovnáme původní a navržené rozložení tak zjistíme, že hlavní změna je přidání pájecích robotů. Oproti původním čtyřem pájecím robotům je nutné zařadit šest těchto robotů, tak aby byla dosažena plánovaná kapacita. Další změna je v přesunutí robota pro rozdělování archů až za pájecí roboty, tak aby linka kopírovala nový průběh výroby.

Další změny jsou již pouze dílčí např. přesunutí jednotlivých pracovišť nebo zásobovacích míst. Tyto změny byly provedeny na základě zkušeností z reálného provozu linky.

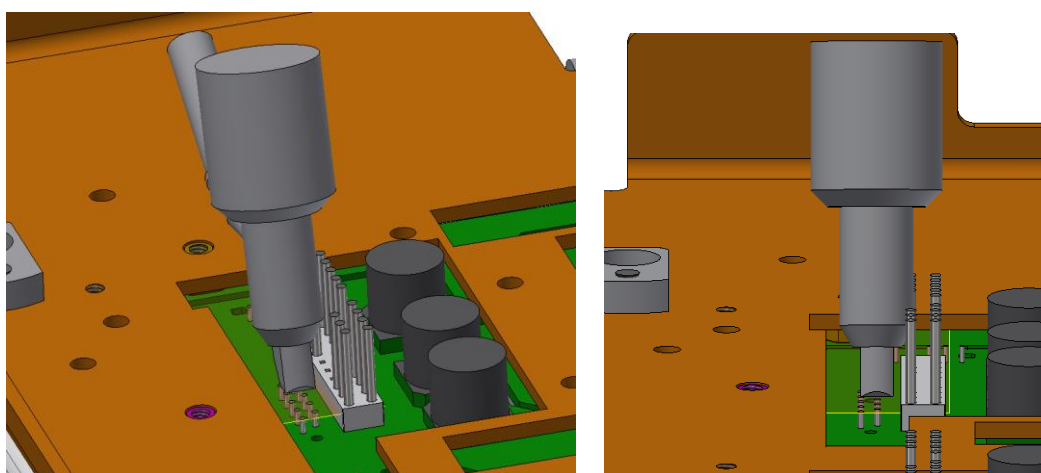


Obrázek 28 - Rozložení po přestavbě linky

6 NÁVRH PÁJECÍ PALETKY

Pro zajištění maximálního zvýšení efektivity výroby a zvýšení kapacity je nutné navrhnout pájecí paletku, která by umožňovala osazení obou stran a poté jejich pájení bez nutnosti změny paletky, pouze jejím otočením. To by znamenalo pájení plně osazené paletky z obou stran.

Při návrhu paletky se ovšem objevil problém při pájení konektoru na první straně desky. Tento problém spočívá v kolizi pájecího hrotu s konektorem C1 (který se v současné době osazuje až po zapájení první strany) a v poškození tohoto konektoru (ohnutí kontaktů). Bohužel díky tomuto problému není možné dosáhnout pájení plně osazené paletky z obou stran. Celá situace je zobrazena na obrázku 29.



Obrázek 29 - Kolize pájecího hrotu s konektorem

Z technologického hlediska není možné provést, tímto pájecím robotem, pájení jiným způsobem (například kolmo ke konektoru). A proto není možné pájet první stranu desky s osazením konektorem C1, je tedy nutné osadit tento až po zapájení první strany. Tento fakt povede ke snížení přepokládané kapacity a efektivity výroby, z důvodu nutné manipulace operátorem při dodatečném osazování konektoru.

Máme tedy dvě možnosti, jak vyřešit tento problém, který znemožnil konstrukci univerzální paletky.

1. Vytvořit zvláštní paletky pro pájení z každé strany (stejně jako stávající proces), s tím rozdílem, že budou uzpůsobeny pro použití pro pájení celých archů.
2. Navrhnout paletku, která bude umožňovat pájení s obou stran. S tím že bude umožněné dodatečné osazení konektoru C1 po zapájení první strany.

Jednotlivé možnosti a jejich výhody budou podrobně rozebrány v následujících kapitolách.

Při konstrukci pájecích paletek je nutné brát v úvahu také ochranu před elektrostatickým výbojem (ESD – Electro Static Discharge) při jejich používání ve výrobě. Elektrické obvody jsou velmi citlivé na poškození nebo zničení vlivem elektrostatického výboje. Náboj vznikne například třením dvou izolačních ploch, vlivem toho se hromadí elektrony na jedné ploše. Výsledkem je rozdílný potenciál obou ploch a při jejich přiblížení k sobě dojde při určité

vzdálenosti ke vzniku výboje. Při přechodu tohoto náboje z plochy na plochu vzniká elektrický proud, který zničí nebo poškodí obvod. [16]

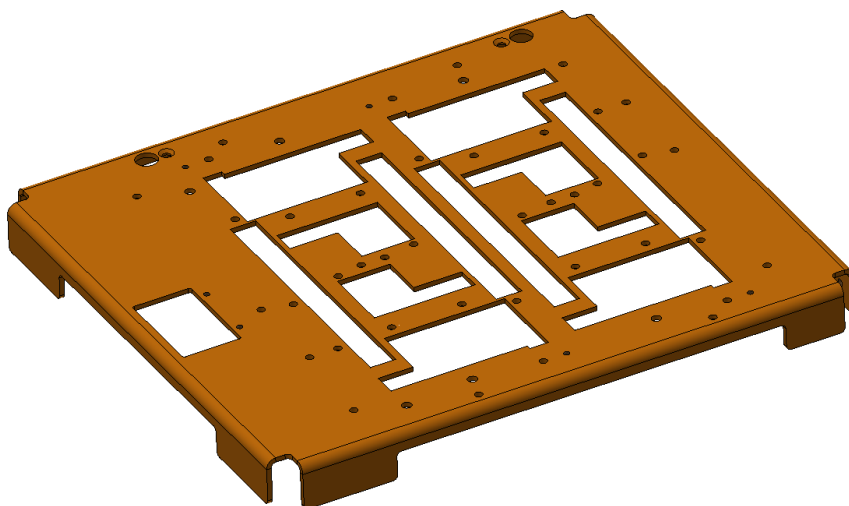
Nejlepším způsobem zabránění vzniku náboje je zajistit, aby součástka měla stejný potenciál jako okolí. Nejvhodnější je tedy uzemnění těchto částí.

Ve výrobě je celé pracoviště uzemněno, všichni pracovníci mají antistatické oblečení a obuv, které v kombinaci s antistatickou podlahou zamezují vzniku výboje. V případě použití plastových částí paletek je nutné zajistit, aby byly vyrobeny z materiálu, který má antistatické vlastnosti. Za antistatický materiál se považuje, pokud jeho povrchová a vnitřní rezistivita se pohybuje od $10^6 \Omega$ do $10^{12} \Omega$. [15]

6.1 Varianta č. 1

Tato varianta vychází z konstrukce stávajících paletek. Využívá tedy konstrukční prvky, které se již v praxi osvědčily, a prokázala se jejich funkčnost. Hlavní změna, která se na rozdíl od stávajících provedla, je změna velikosti a tvaru desky, která se do těchto paletek vkládá. Stávající paletka byla určena pro osazení dvou samostatných desek, zatímco nová již musí být schopna pojmout celý arch desek (čtyři desky spojené do jedné).

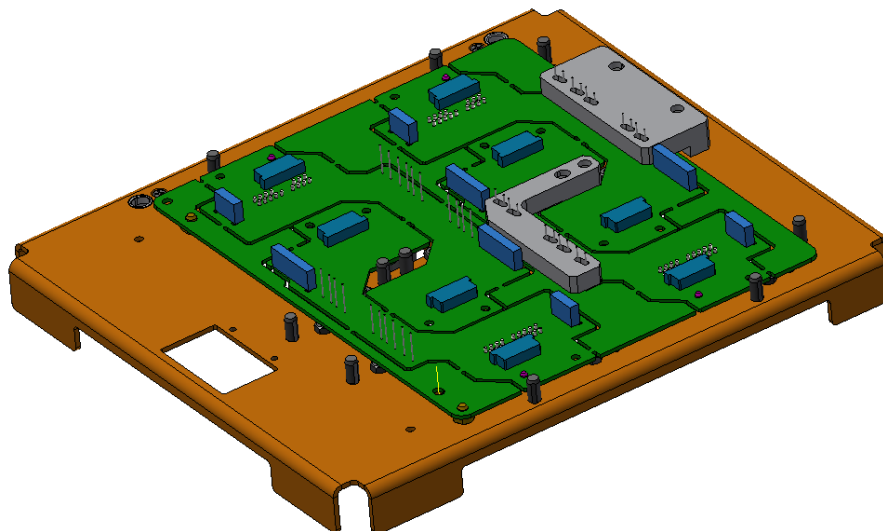
Základní díl celé paletky je spodní část, která slouží jako podpora pro desku a zároveň slouží pro její přesné ustavení. Tento díl je vyroben z korozivzdorné oceli o tloušťce 2mm a vyobrazen na obrázku 30, zároveň jsou také na tomto obrázku patrné výřezy, které zajišťují přístup pájecího hrotu ke kontaktům, které mají být zapájeny.



Obrázek 30 - Základní deska pájecí paletky

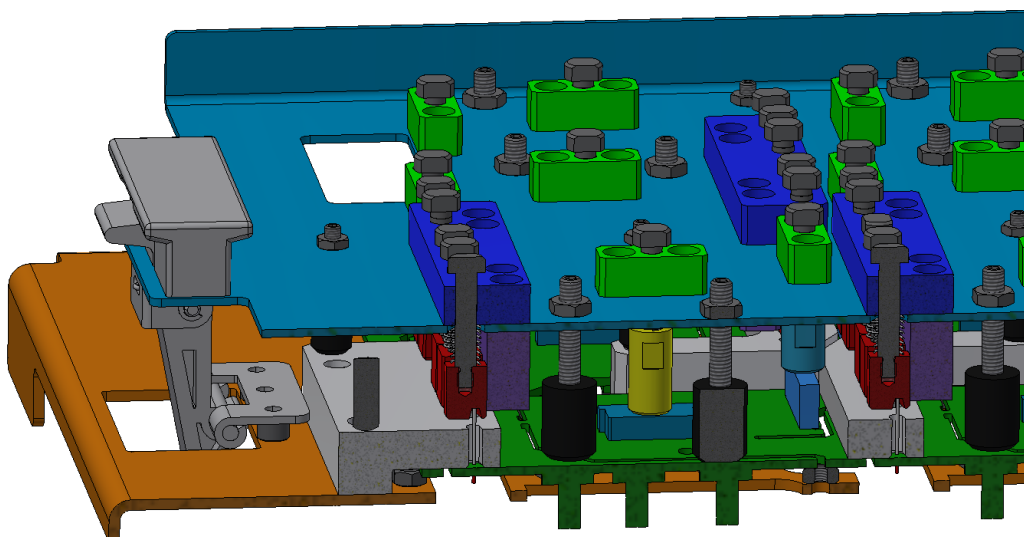
Jelikož jsou komponenty na desku přitlačeny pomocí pružin, je nutné desku v těchto místech podepřít, aby nedocházelo k její přílišné deformaci, což by mohlo negativně ovlivnit pájecí proces. Výška podložek je 3mm, což je také vzdálenost desky od plechu. Tato vzdálenost byla zachována z původních paletek a je tím zaručeno, že pájecí hrot se dostane k pájeným místům. Deska plošných spojů je na základní desce paletky polohována pomocí středících čepů, které zapadají do děr v desce. Tyto díry jsou pouze u jedné strany desky a je tímto zaručeno, že deska nelze vložit do paletky ve špatné poloze. Pro snadné uložení desky na tyto čepy jsou po obvodu desky naváděcí kolíky, které obsluze ulehčí navedení na přesné kolíky (na obrázku 31 vyobrazeny žlutou barvou). Naváděcí kolíky jsou umístěny 0,2mm od hrany desky, a tím

nebrání volné manipulaci, ale zároveň zabraňuje přílišnému pohybu desky do stran, při kterém by mohlo dojít k poškození desky o kolíky a podložky.



Obrázek 31 - Spodní část paletky [8]

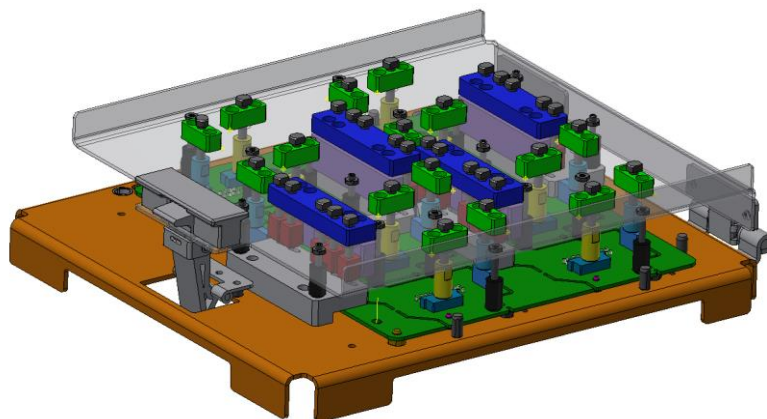
Poté, co operátor osadí desku součástkami, je nutné tyto fixovat ve správné pozici. Osazené konektory mají dostatečnou plochu, kterou dosednou na desku, a proto je není nutné dále fixovat, kromě přitlačení horním víkem. Tvar termistorů nezajišťuje stabilní polohu při osazení (drží pouze za ohyb na kontaktech) a je tedy nutno dodatečně zajistit jejich polohu. K tomuto účelu slouží fixační kostky, které zajistí, aby termistory osazené do desky nevybočily pod silou pružiny, které je přitlačí k desce. Kostky jsou vedeny pomocí čepů tak, aby byly umístěny na správné místo.



Obrázek 32 - Řez pájecí paletkou [8]

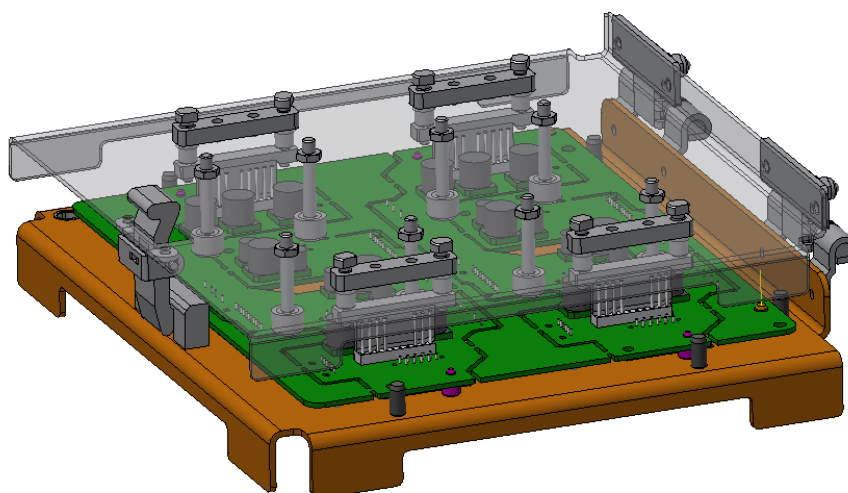
Horní část paletky je spojena se spodní pomocí pantů, které umožňují otevření paletky pro vložení desky plošných spojů a její osazení. Dále horní část slouží k výše zmíněnému přitlačení součástek k desce. Tohoto je docíleno pomocí čepů, které jsou v horní části osazené a ve spodní pomocí závitů spojeny s přitlačnou kostkou. Kostka je vyrobena ze speciálního plastu, který může přijít do kontaktu s elektronickými součástkami.

Horní část také obsahuje neodpružené přitlačné prvky, sloužící k pevnému přitlačení fixačních kostek a desky. Součástí je také zavírací mechanismus.



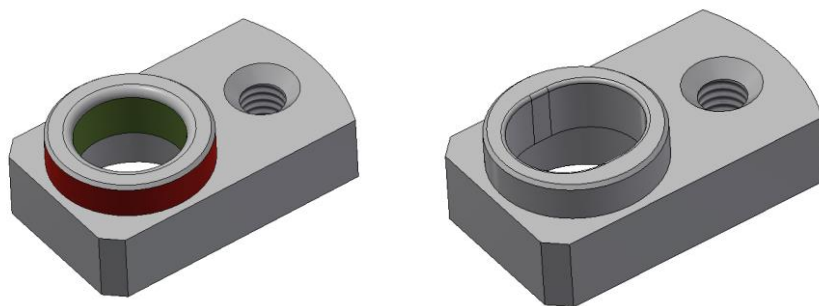
Obrázek 33 - 1. Varianta paletky pro pájení první strany [8]

Pokud se podíváme na paletku pro pájení druhé strany desky, zjistíme, že hlavní konstrukce je podobná první paletce. Jediný rozdíl je v počtu přitlačných prvků, jelikož už dochází pouze k fixování pozice konektoru C1.



Obrázek 34 – 1. Varianta paletky pro pájení druhé strany [8]

Pro přesné uložení paletky v přípravku v robotu jsou použita kalená pouzdra, která v kombinaci s přesnými kolíky v přípravku zajistí přesnou polohu při vložení paletky. Pouzdro je uloženo v přesné díře v paletce (uloženo na průměr, který je na obrázku 35 označen červeně). Zeleným otvorem poté prochází čep z přípravku. Na jedné paletce je použito jedno pouzdro s kruhovým otvorem a ve druhém je otvor oválný, pro vymezení vůlí při výrobě.



Obrázek 35 - Kalená pouzdra pro uložení paletky v přípravku

6.2 Varianta č. 2

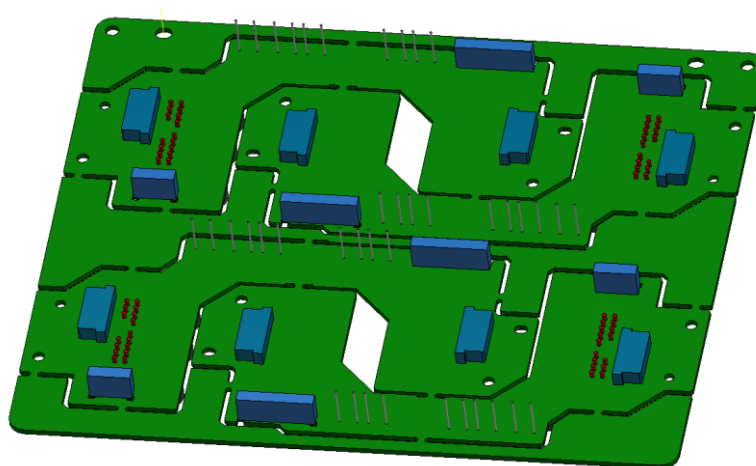
Konstrukce této paletky je založena na možnosti pájet obě strany desky bez nutnosti výměny paletky a tím eliminace rizika poškození desky při manipulaci.

6.2.1 Pájení první strany

Základ této varianty je podobný předchozí. Jedná se o plech z korozi-vzdorné oceli, který má v sobě vypáleny otvory, které umožňují přístup k místům, kde se má provést pájení první strany desky.

Stejně je také rozložení podpůrných prvků, jelikož jsou nezbytné pro dosažení kvalitního výsledku pájení.

Hlavní rozdíl nalezneme v konstrukci horní části paletky. První problém, který je nutné vyřešit, je přístup pro pájení komponent, které se pájí v druhé paletce. Pokud chceme zajistit, aby bylo možné pájet desku z obou stran, je nutné zajistit přístup nejen pomocí otvorů v základní desce, ale také v horním víku paletky. Jedná se o místa vyznačená červenou barvou na následujícím obrázku.

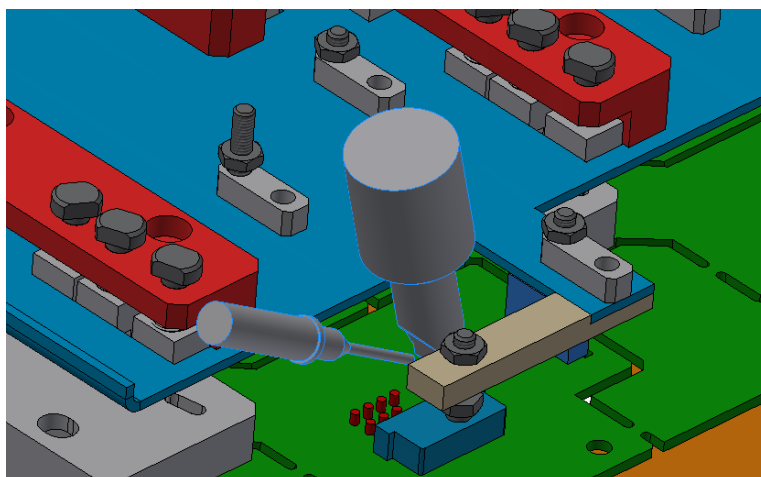


Obrázek 36 - PWB s vyznačenými místy, která se pájí v druhé paletce

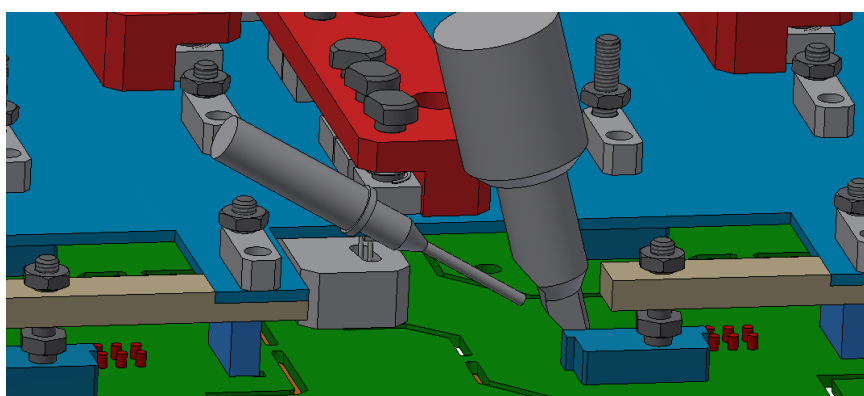
Je tedy nutné zajistit zajištění konektorů (modré na předchozím obrázku) a zároveň umožnit pájení z této strany desky. Z tohoto důvodu musí být horní přítlačné víko paletky uděláno tak, aby nezasahovalo až ke kraji archu.

Na kraji archu je ovšem nutné fixovat konektory. Pro jejich fixaci slouží konstrukce znázorněná na obrázku 37. Skládá se ze dvou přítlačných komponent, které jsou opatřeny závitem pro nastavení polohy a zároveň je také zakončena gumovou koncovkou, takže nedojde k poškození konektoru. Tyto komponenty jsou vedeny v nerezových kostkách a přítlak je

zaručen pomocí pružin. Tento způsob umožňuje zajistit fixaci konektorů při zajištění minimální možné výšky celého mechanismu. Výška tohoto přitlačného mechanismu je důležitá zejména pro zajištění dostatečného prostoru pro pájecí hlavu. Potenciální problém je naznačen na obrázku 38.



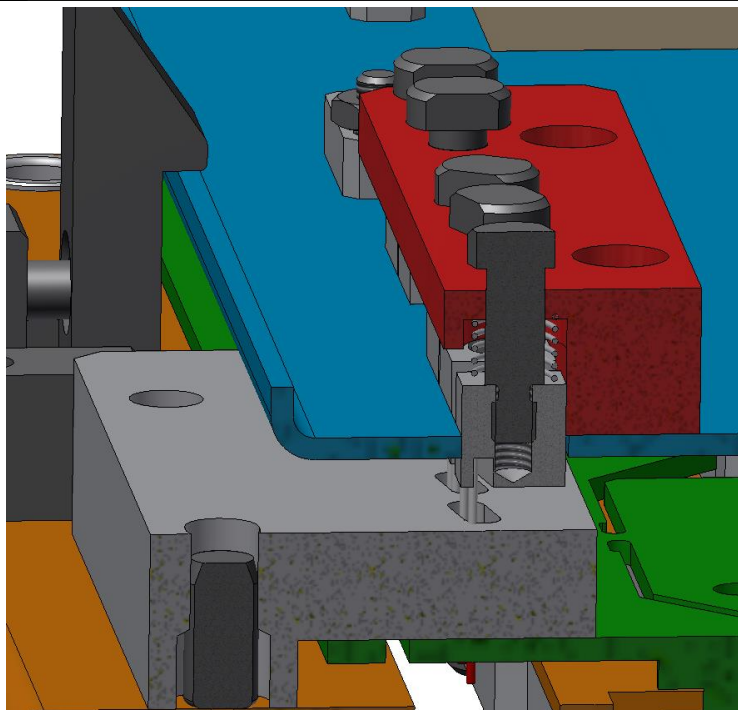
Obrázek 37 - Pájení konektoru C1 [8]



Obrázek 38 - Boční pohled na pájecí paletku [8]

Na tomto obrázku je vidět, že při pájení je nutno vzít v úvahu nejen prostor pro pájecí hrot, ale také pro podavač cínu, který je umístěn před pájecím hrotem (ve směru pájení). Z tohoto důvodu je nutné zajistit minimální výšku celé horní části paletky v oblasti, kde by mohlo dojít ke kolizi s podavačem cínu.

Jelikož byla snížena výška horního víka, bylo nutné upravit také přitlačný mechanismus pro termistory. Mechanismus je na obrázku 39, úprava, která byla provedena, je přesunutí kostky, která slouží k vedení přitlačných kostek. Tato byla nahrazena jedinou součástí, která v sobě spojuje podpůrné vedení kostek a i vedení čepu.



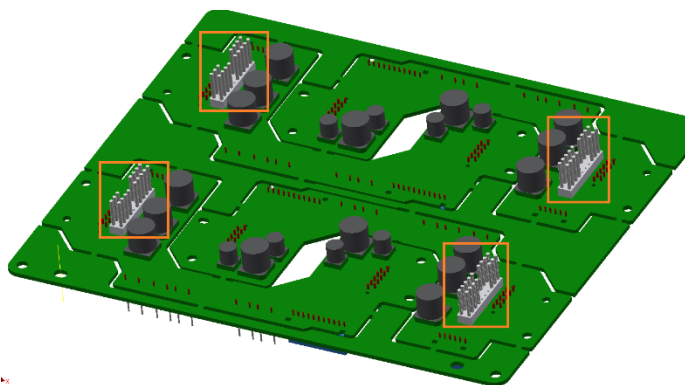
Obrázek 39 - Řez přítlačným mechanismem [8]

Čep slouží vedení celého mechanismu a fixuje pružinu, která vytváří potřebný přítlak součástí k desce. Při návrhu tohoto mechanismu byla také vzata v úvahu možnost využití součástí ze současně používaných paletky. Je možno využít kostek, které jsou přímo v kontaktu s termistory a také čepy, které vedou tyto kostky. Tyto kostky musí být vyrobeny z materiálu „Wavemax® 8000“, který má vlastnosti ESD a je také tepelně odolný, a proto je jejich výroba finančně náročnější, což byl také jeden důvodů, proč bylo jejich využití zajištěno i v této konstrukci.

6.2.2 Fixace konektoru C1

Jak již bylo výše napsáno, nelze provést pájení první strany, pokud by byl již osazen konektor C1 (kolize s pájecím hrotem). Proto je nutné, pokud nechceme měnit paletky, osadit a upevnit tento až po pájení první strany.

Poloha těchto konektorů na archu je vyznačena na obrázku 40.

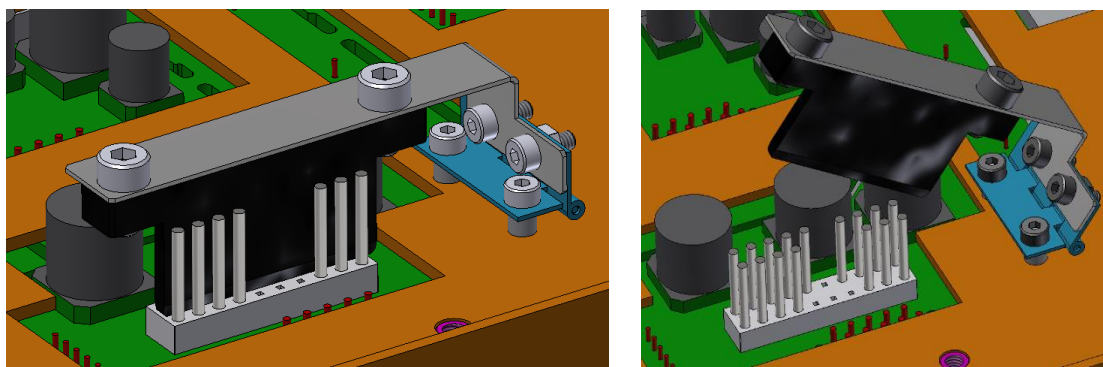


Obrázek 40 - Poloha konektorů C1

Tyto konektory se osazují 4 na jeden arch desek. Pro potřeby tohoto návrhu bylo uvažováno ruční osazení operátorem, v případě automatizace linky je možné i tento úkon automatizovat (více v kapitole zabývající se návrhem automatizace).

Po osazení konektorů je nutné je v jejich pozici zajistit. Podobně jako ostatní komponenty je vhodné využít pružného elementu (pružiny) pro vytvoření přitlačné síly k desce. Zároveň je ale nutné brát ohled na to, že fixační mechanismus by neměl nijak omezovat pohyb pájecího hrotu, když probíhá pájení první strany desky. Kromě této podmínky je také nutné zohlednit nutnost jednoduché obsluhy pro operátora.

Jeden z návrhů konstrukčních variant tohoto uzlu využívá pantů, které mají v sobě implementovanou pružinu. Tato varianta je na obrázku 41. Obsluha by pouze rukou nadzvedla pohyblivou část mechanismu a po vložení konektoru do desky plošného spoje by tato část zajistila komponentu na místě.

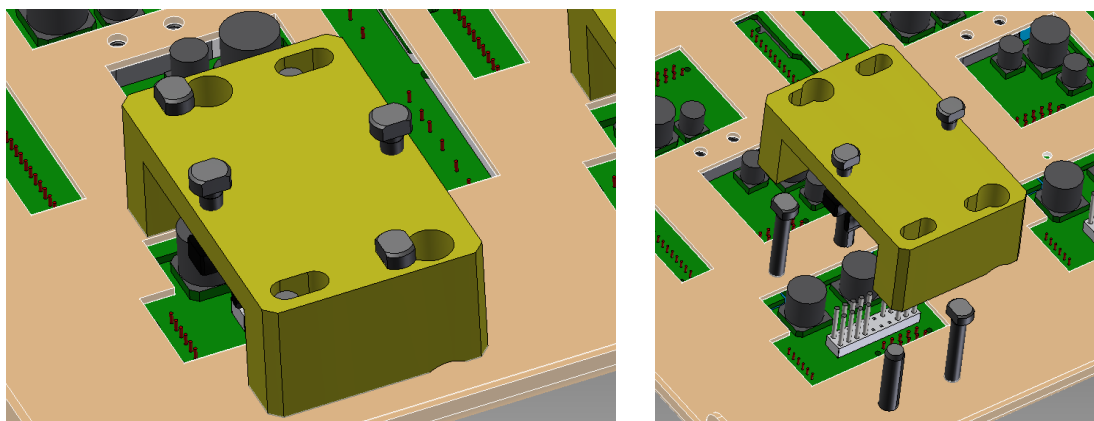


Obrázek 41 - Fixace konektoru s panty [8,9]

Nevýhodou této konstrukce je to, že i když konektor na desce není osazen, tak je přitlačný plastový díl v těsné blízkosti pájecího hrotu. Z tohoto důvodu by mohlo dojít k tepelnému poškození nebo případné kolizi s hrotem.

Tuto nevýhodu lze odstranit využitím fixačního mechanismu, který by nebyl součástí paletky a nasazoval se pouze na dobu nezbytnou pro pájení konektoru.

Tento typ mechanismu je využit v následující konstrukční variantě. Fixaci konektoru zajišťuje kostka, která je navedena na přesnou polohu pomocí kolíků, tato je upevněna přitlačením kostky k paletce a posunutím do pravé strany.

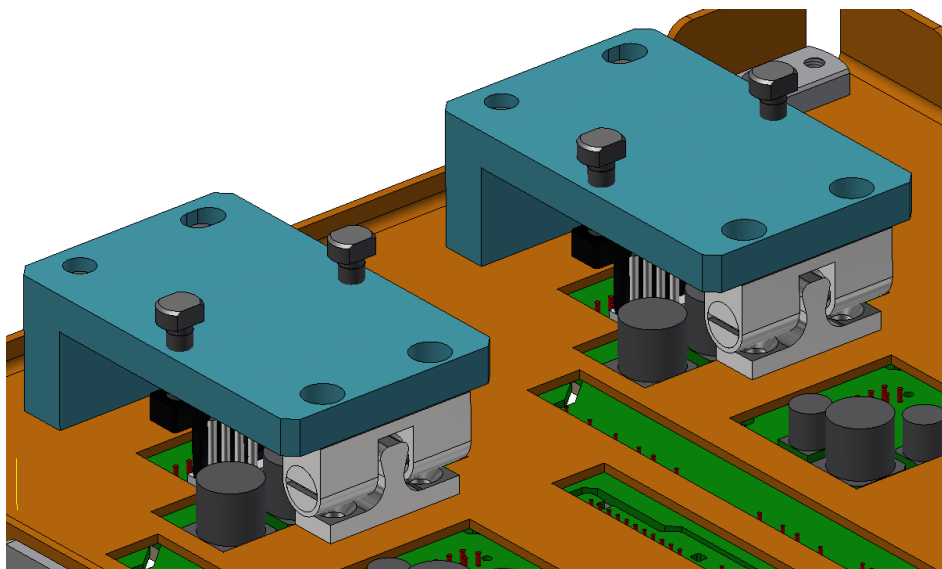


Obrázek 42 - Fixace konektoru pomocí posunutí kostky [8]

Samotné přitlačení konektoru k desce je zajištěno pomocí plastového dílu (vyrobeného z materiálu Wavemax 8000), který svým tvarem zapadne mezi kontakty konektoru a může ho tedy přitlačit za spodní plastovou část k desce. Tento díl je veden pomocí čepů, na kterých jsou nasazeny pružiny zajišťující dostatečný přitlak komponenty k desce. Navíc lze tento díl (i vodící čepy) využít ze stávajících palet, a tím snížit výrobní náklady.

Pro zajištění této kostky je nutné nasadit ji na vodící kolíky a po přitlačení k desce ji posunout do strany, tak aby došlo k zajištění čepů v drážkových otvorech. Tento sled pohybů není ideální pro obsluhu a bylo by vhodnější, pokud by operátor mohl vykonat pouze jednoduchý pohyb, kterým by pouze přitlačil fixační kostku.

Tento způsob je využit v následující variantě, která v sobě kombinuje výhody předešlých variant a to minimální prostor, který zabírá při neosazeném konektoru a i jednoduchost montáže a demontáže.



Obrázek 43 - Fixace konektoru s kuličkovou zarážkou [8,11]

Z obrázku 43 je patrné, že kostka je na svou pozici navedena pomocí kolíků a poté je zajištěna pomocí kuličkové zarážky. Tato zarážka je výrobek firmy TAKIGEN a její parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

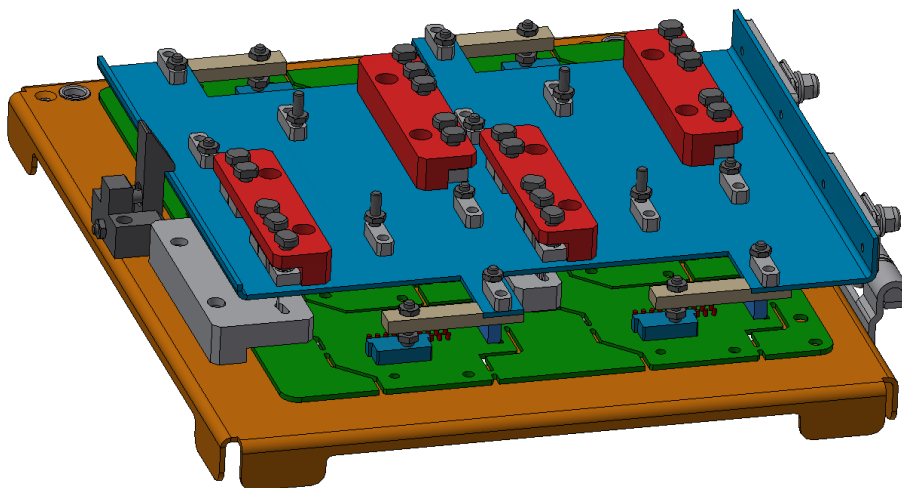
Tabulka 2 - Parametry kuličkové zarážky [11]

Název	Hmotnost [g]	Materiál	Síla [N]
C-590N	17	Slitina zinku	20 - 45

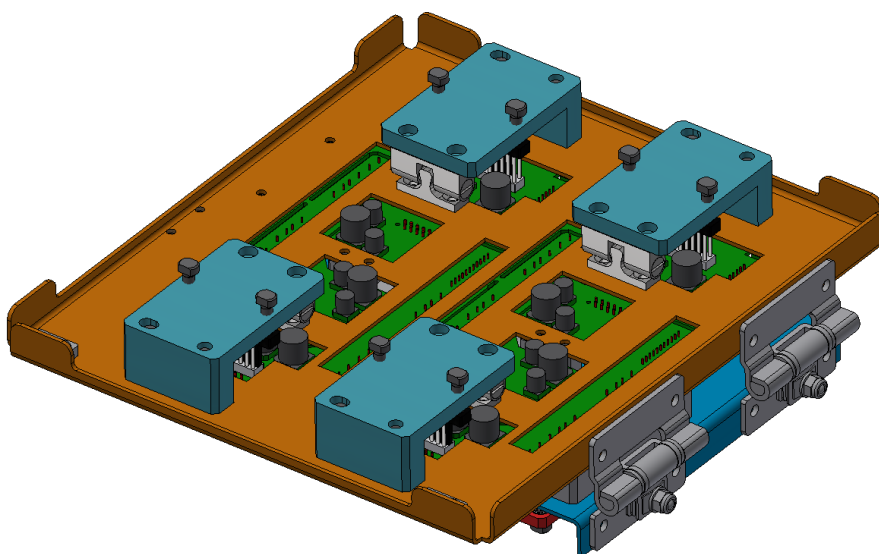


Obrázek 44 - Kuličková zarážka od firmy TAKIGEN [11]

Tento způsob fixace jsem zvolil do finálního modelu celé pájecí paletky, který je zobrazen na obrázku 45 a 46.



Obrázek 45 - Finální verze 2. varianty horní pohled [8]



Obrázek 46 - Finální verze 2. varianty pohled zespodu [8,11]

6.3 Výběr varianty [12]

Po vytvoření těchto dvou variant konstrukcí pájecích paletek bylo nutné zvolit, která z nich bude vhodnější pro výrobu a nasazení do výrobního procesu. Následující tabulka obsahuje výhody a nevýhody jednotlivých variant.

	Výhody	Nevýhody
Varianta č. 1	Vychází ze stávající konstrukce: - Možnost využití dílů - Ověřený postup pájení	Nemožnost automatizace (nutnost pájet druhou stranu v jiné paletce)
		Nutnost výroby více kusů, než při použití universální paletky
		Cena
Varianta č. 2	Možnost pájet obě strany v jedné paletce	Neověřený postup a proveditelnost pájení
	Menší počet paletok na výrobu	Menší počet dílů využitelných ze stávajících paletok
	Cena	

Pro výběr vhodné varianty, podle vybraných kritérií, existují různé metody. Já jsem se rozhodl využít bazické bodovací metody. Varianty posuzujeme na základě více kritérií, a proto můžeme tuto metodu zařadit mezi metody multikritériálního hodnocení.

V prvním kroku této metody je nutné zvolit kritéria, podle kterých chceme výběr provést. Zvolil jsem tyto:

- K1 - Jednoduchost konstrukce
- K2 - Možnost automatizace
- K3 - Potřebný počet paletok
- K4 - Náročnost na obsluhu
- K5 - Riziko poškození desky
- K6 - Využití stávajících dílů
- K7 - Pořizovací náklady
- K8 - Hmotnost

Dále je potřeba stanovit bodovací stupnici, která bude hodnotit parametry. Tuto hodnotu lze vyjádřit i procentuálně.

- $t_1=0$ – nevyhovující
- $t_2=1$ – velmi slabé
- $t_3=2$ – vyhovující
- $t_4=3$ – dobré
- $t_5=4$ – velmi dobré
- $t_6=5$ – výborné

Následně zvolíme významnost jednotlivých parametrů. Tato je vyjádřena v následující tabulce koeficientem g_n , který je v rozmezí od 0 do 1.

Technický stav hodnocené varianty dle různých hledisek je poté vyjádřen pomocí τ , který určíme dle následujícího vzorce:

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_8) = (g_1 * t_1, g_1 * t_1, \dots, g_8 * t_8) \quad (1)$$

Konečná technická hodnota varianty je pak vyjádřena pomocí vzorce:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j * t_j)}{\sum_{j=1}^n (g_j * t_{max})} \leq 1 \quad (2)$$

Kde:

g_j = koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností

t_j = hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti

t_{max} = maximální hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti

n = počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností

V procentuálním vyjádření: $\tau \leq 100 \%$

Konečná technická hodnota (např. zcela nového, továrně vyrobeného produktu) činí: $\tau = 100 \%$

Tabulka 4 - Tabulka hodnocení variant

n	Vlastnost	Varianta č.1				Varianta č.2			
		t_j	g_n	p_t	τ_n	t_j	g_n	p_t	τ_n
1	K1	3	0,5	33,33	1,5	1	0,5	100	0,5
2	K2	1	0,2	100	0,2	4	0,2	25	0,8
3	K3	2	0,6	50	1,2	4	0,6	25	2,4
4	K4	4	0,5	25	2	2	0,5	50	1
5	K5	2	0,4	50	0,8	4	0,4	25	1,6
6	K6	4	0,8	25	3,2	2	0,8	50	1,6
7	K7	2	0,6	50	1,2	3	0,6	33,33	1,8
8	K8	2	0,8	50	1,6	2	0,8	50	1,6

Tabulka 5 - Výsledky porovnání variant

Varianta	τ
1	0,42
2	0,38

Výsledky této metody jsou v tabulce číslo 5, kde je vidět, že výhodnější bude zvolit variantu číslo 1. Tato varianta byla také vybrána pro realizaci po konzultaci se zaměstnanci firmy.

7 DALŠÍ KONSTRUKCE

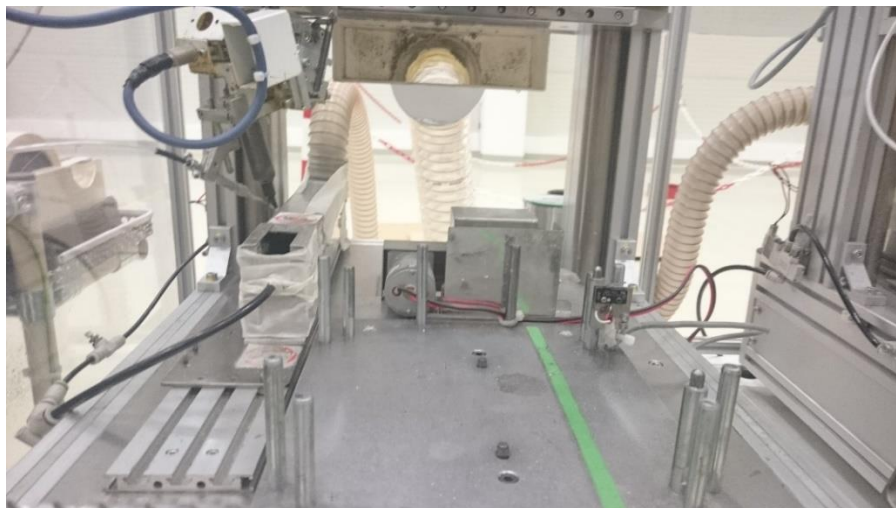
Při změně pájecího procesu z pájení jednotlivých desek na pájení celých archů bylo nutné upravit, kromě pájecích paletek (kap. 6), také ostatní přípravky, které slouží pro podporu tohoto procesu. Jednotlivé části, kterých se tato změna dotýká, jsou popsány v následujících kapitolách.

Fotografie a modely v této části byly laskavě poskytnuty společností ALPS Electric Czech s.r.o.

7.1 Přípravek při fixaci paletky

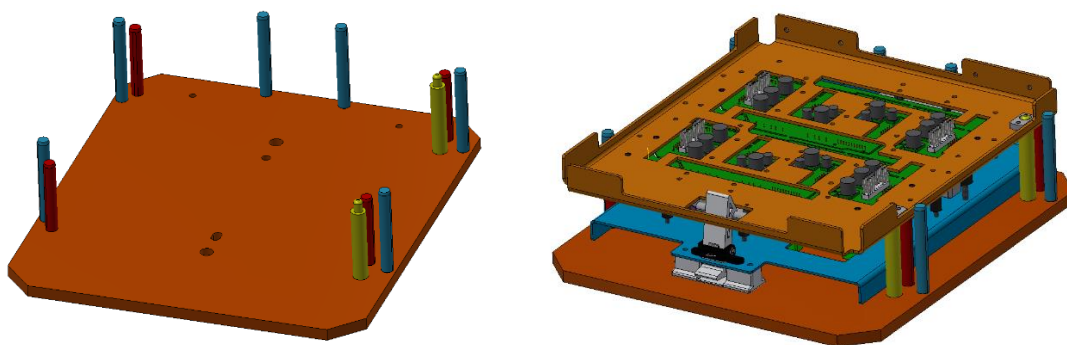
Robot, který se využívá pro pájení, je universální pro různé operace, a proto je nutné na jeho pohyblivý stůl umístit přípravek, který bude sloužit pro fixaci paletky v robotu. Jak již bylo dříve zmíněno, tak pro dosažení vysoké kvality pájení je důležitá přesná poloha vzhledem k robotu. Při opakovaném vkládání paletky je tedy nutné zajistit, aby byla pokaždé na stejném místě. V minulé kapitole bylo uvedeno, že je paletka opatřena kalenými pouzdry, která jsou uložena v přesných otvorech v desce paletky.

Základem tohoto přípravku je deska, která je vyrobena s duralové slitiny. Tato deska je spojena s pohyblivým stolem robotu pomocí kolíků, které zajistí přesnou polohu, a šroubů. Toto spojení je vyobrazeno na obrázku 47.



Obrázek 47 - Přípravek v pájecím robotu

Na této desce jsou dále připevněny kolíky, které můžeme rozdělit do třech skupin. První skupina (na obrázku 48 vyznačena žlutou barvou) jsou kolíky s přesným průměrem, který je určen pro spojení s kalenými pouzdry v paletce. Další část kolíků (na obrázku 48 vyznačena červenou barvou) je určena pro vertikální podporu paletky, jsou vyrobeny se zvýšenou přesností na jejich délku. Slouží tedy jako podpora pro paletku. Zbývající kolíky usnadňují obsluhu nasazení paletky do přípravku tím, že jsou delší než ostatní, tak slouží pro hrubé navedení na přesné lokační kolíky.



Obrázek 48 - Návrh nového přípravku, vpravo i pájecí paletkou

7.2 Stanoviště pro osazování

Úlohou tohoto stanoviště je umožnit položení paletky do přípravku, ve kterém potom obsluha provede vložení desek a jejich osazení součástkami. Vzhled pracoviště je zobrazen na obrázku 49.



Obrázek 49 - Stanoviště pro osazování na současně lince

Základem je přípravek, do kterého se umístí paletka. Tento přípravek je konstrukčně velmi podobný přípravku, který se využívá pro uložení paletky v pájecím robotu. Při této operaci ovšem nejsou kladeny tak velké nároky na přesnost uložení. Proto jsou zde použity fixační kolíky, které mají menší průměr než je v kalených pouzdrech v paletce. Toto volné uložení spolu se zvětšenou vůlí mezi paletkou a naváděcími kolíky vede k jednoduchému a rychlému vložení a vyjmutí paletky z tohoto přípravku.

Hlavní změna oproti původnímu je ve změně rozměrů a rozložení podpůrných a naváděcích kolíků, aby bylo možné do přípravku umístit novou pájecí paletku.

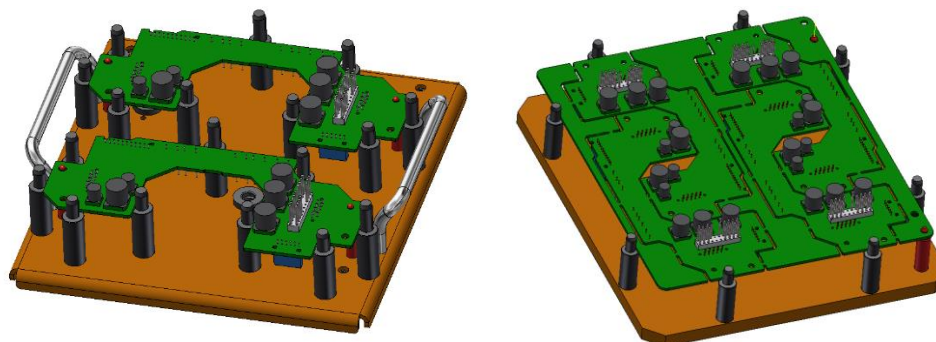
7.3 Přípravek pro nanášení laku

Nanášení ochranného laku je prováděno v robotu. Původní pracoviště na obrázku 50. Na pohyblivém stole je uchycen přípravek, do kterého obsluha vkládá zapájené desky plošných spojů.



Obrázek 50 - Robot pro nanášení ochranného laku

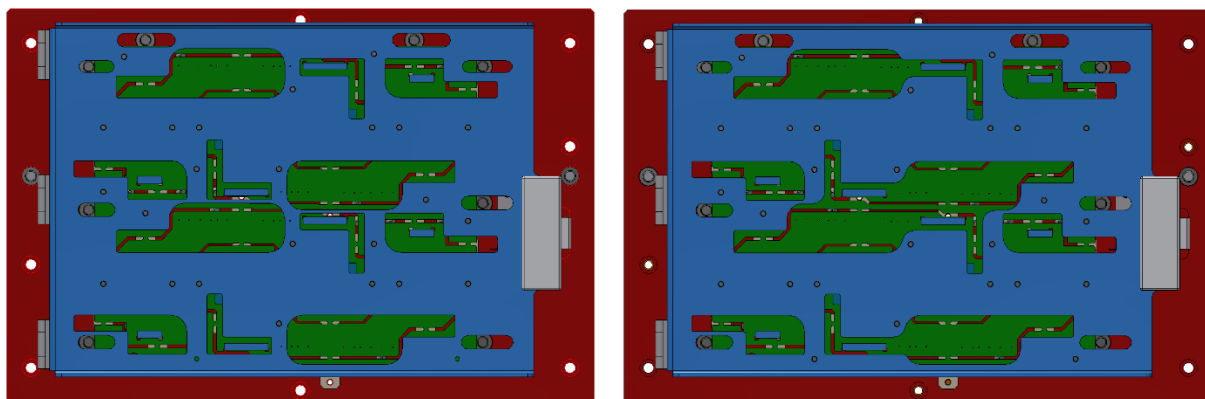
Po spuštění lakovací sekvence provede robot automatické nanesení ochranného laku na přesně určená místa.



Obrázek 51 - Srovnání původního a změněného přípravku pro nanášení laku

7.4 Úprava řezačky

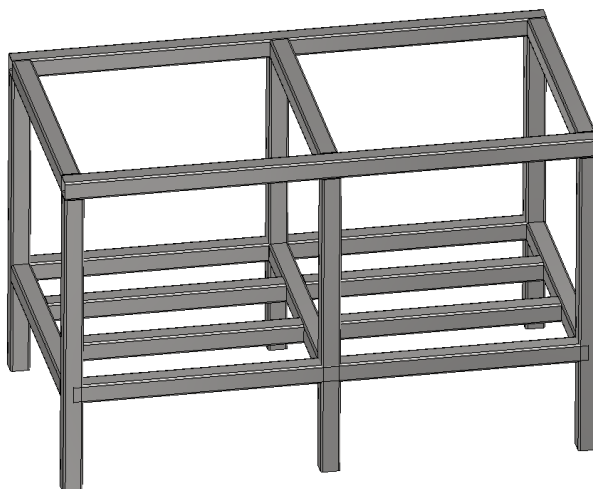
Rozdíl oproti původnímu procesu je v tom, že se zde provádí rozřezávání již plně osazeného a zapájeného archu desek. Z tohoto důvodu bylo nutné zkontrolovat, zda je možné vložit zapájený arch desek do přípravku v řezačce a provést tuto operaci. Současný vzhled přípravku a řezačky je na obrázku 16. Při vyhledávání případných kolizí se využívalo, jak 3D modelů desky a přípravku, tak i vizuální kontroly přímo na výrobní lince. Jediná kolize, která byla zjištěna, je mezi horním víkem přípravku a termistorem. Zavření horní části přípravku by mělo za následek deformaci termistoru. Proto je nutné odstranit ji pomocí rozšíření drážky v horním víku, tato úprava je zobrazena na obr. 52. Další kolize nebyla zjištěna a ani při experimentálním zkoušení nebyl nalezen problém, který by měl ohrozit funkčnost tohoto pracoviště po změně pájecího procesu.



Obrázek 52 - Srovnání původního přípravku pro rozřezávání archu s novým

7.5 Konstrukce linky

Zároveň došlo k výměně nosné konstrukce pod pájecími roboty. Původní trubková konstrukce, od firmy BEEVATEC, se ukázala v průběhu provozu jako nedostatečně tuhá, a proto byl navrhnut svařenec z uzavřeného profilu 40x40x2mm, který slouží jako společná základna pro dva sousední roboty.



Obrázek 53 - Svařenec pod pájecí roboty

8 REALIZACE ŘEŠENÍ

Jak již bylo na konci kapitoly o návrhu paletky uvedeno, nejvhodnější konstrukce paletky je varianta vycházející ze současného řešení. Tato byla také vybrána pro realizaci ve výrobě. Z důvodů velké finanční nákladnosti výroby všech potřebných kusů paletky bylo rozhodnuto o výrobě jednoho kusu jako prototypu. Tento prototyp sloužil především pro vyvrácení následujících obav:

- nedostatečný rozsah pohybu robotu pro dosažení všech pájecích bodů
- nedostatečný prostor kolem pájecího hrotu při pájení termistorů
- celkový čas celé operace pájení
- jednoduchost nasazování fixační kostek na termistory

Pro potřeby testování a ověřování byl využit záložní pájecí robot, který je naprosto shodný s roboty na výrobní lince. Byl vyroben jeden kus přípravku pro uložení paletky do robotu a jedna paletka pro pájení každé strany, aby mohlo proběhnout ověření celého procesu.

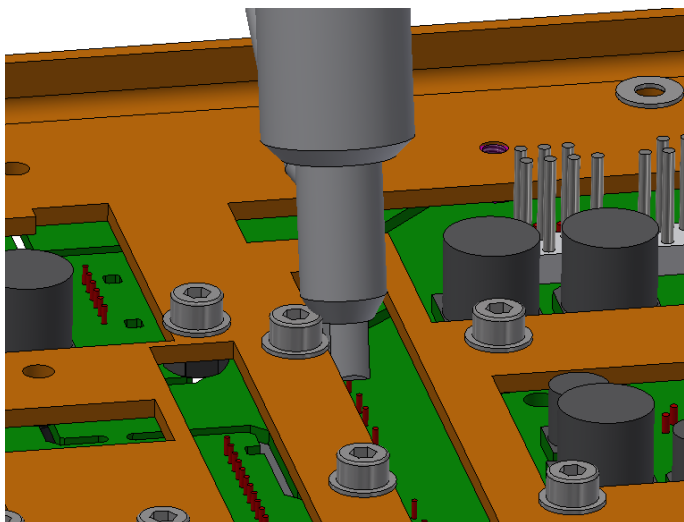
V průběhu testování se potvrdily některé z výše zmíněných obav. Hlavní obava, která se týkala nedostatečných rozjezdů robotu, se nepotvrdila, pokud by se potvrdila, bylo by nutné změnit celou koncepci pájení. Ovšem projevil se jiné problémy s některými částmi konstrukce. Podrobnosti o těchto problémech a s tím spojené konstrukční úpravy jsou detailně popsány v následující kapitole.

Dále byl také zjištěn čas potřebný pro pájení první strany desky, který činí 10minut. Což splňuje předpoklady použité při výpočtu kapacity.

8.1 Konstrukční úpravy

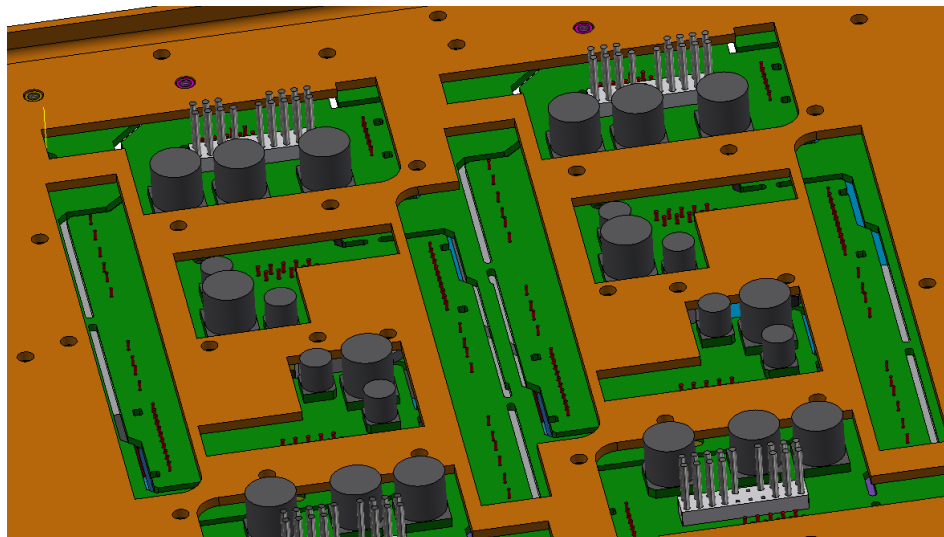
8.1.1 Prostor pro pájení termistorů

První problém, na který se při testování narazilo, byl nedostatek prostoru kolem pájecího hrotu při pájení termistorů. Situace je znázorněna na obrázku 54, kde je vidět kolize pájecího hrotu s hlavou šroubu, kterým je přišroubována podložka desky. Zároveň je zde také nedostatečná vůle mezi pájecím hrotem a plechem základní desky. Tento problém nastává při pájení všech termistorů na desce.



Obrázek 54 - Kolize pájecího hrotu při pájení termistorů

Pro odstranění tohoto problému bylo nutné změnit tvar výřezu základního plechu paletky. Zúžením prostřední výztužné části (na obrázku 54 vlevo od pájecího hrotu) bychom dosáhli dostatečného prostoru po pájení, ale už zde nemůžeme umístit šroub a podložení desky. Dalším možným řešením bylo nahradit tuto prostřední část částí z kompozitu, která by se přišroubovala ze strany pájení a zajistila by podporu desky. Dalším řešením, které se také aplikovalo, bylo úplné zrušení prostřední podpůrné části a zvýšení počtu podpůrných prvků kolem tohoto výřezu uprostřed paletky. Tato úprava byla provedena ihned na prototypu, aby se ověřilo, zda nebude docházet k průhybu desky. K tomuto průhybu, vlivem síly od pružin přitlačujících komponenty, nedošlo, a tak se tato změna upravila ve výkresech pro výrobu ostatních paletek.

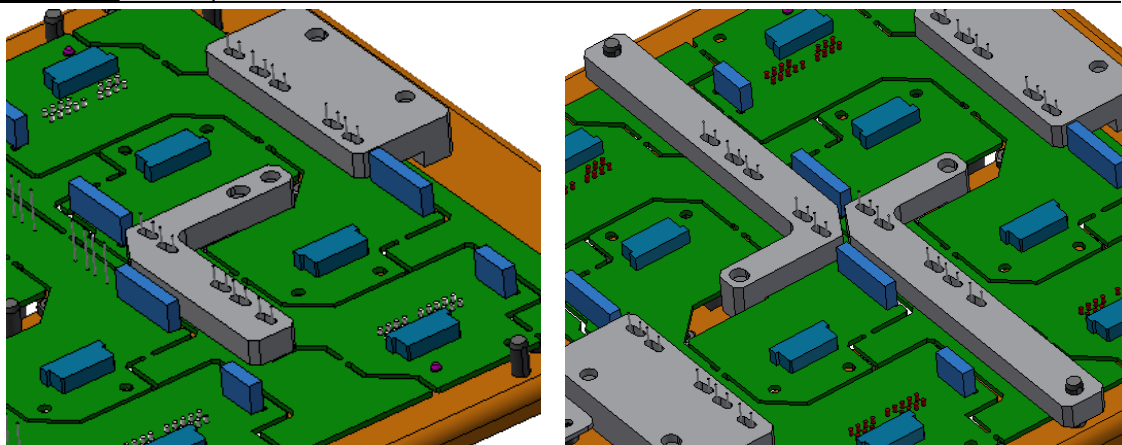


Obrázek 55 - Upravený prototyp paletky

8.1.2 Změna fixace termistorů

Pro dosažení vypovídajících výsledků testování bylo nutné použít na každý pájecí proces novou desku a komponenty. Při osazování desky součástkami se projevila konstrukční nedokonalost ve fixaci termistorů. Tyto jsou po osazení do desky přidrženy fixační kostkou, tak aby nevybočily pod silou pružin, které je dotlačí k desce. Nasazení této kostky je nutné provést tak, aby všech pět termistorů prošlo pěti otvory v kostce, která je potom navedena kolíky na přesné místo. Tento způsob vyžaduje velkou zručnost obsluhy a může být také časově náročný.

Změna této části je založena na zjednodušení této operace. Zjednodušení se týká hlavně manipulace s fixační kostkou. Její tvar byl upraven tak, aby se lépe držel obsluze v obou rukách a tím jí ulehčil nasazování termistorů do otvorů. S touto změnou tvaru souvisí také přemístění kolíků, které ji spojují se základní deskou paletky. Z původního umístění obou kolíků ve středním otvoru desky byl zde zachován pouze jeden a druhý byl přemístěn na okraj paletky.



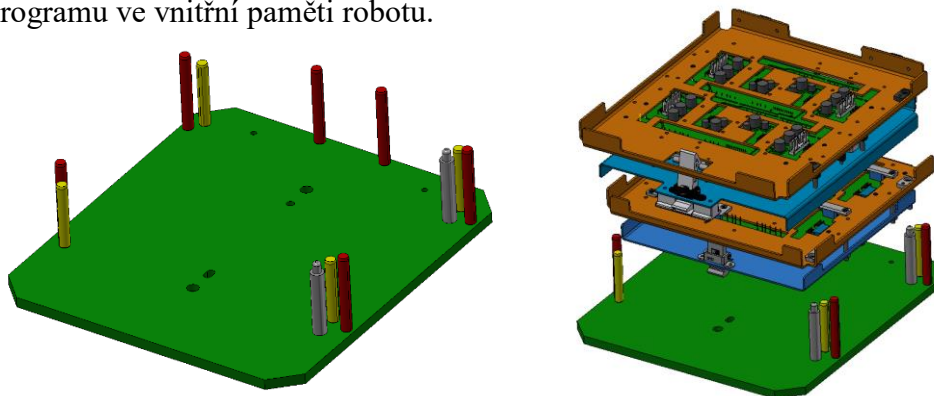
Obrázek 56 - Fixátory termistorů, vlevo původní konstrukce a vpravo je změněná

8.1.3 Universální přípravek pro paletky

Testování probíhalo na jednom robotu, ale bylo nutné testovat paletky pro pájení obou stran. Proto bylo nutné při přechodu na paletku pro pájení druhé strany také vyměnit přípravek v robotu, který byl pro ni navrhnut.

Z tohoto vzniknul návrh na vytvoření universálního přípravku, do kterého by mohly být vloženy oba typy paletky. Návrh tohoto přípravku vycházel z paletky a přípravku pro pájení první strany desky. Abychom mohli do tohoto přípravku vložit i druhou paletku, bylo nutné změnit umístění podpurných prvků. Dále také došlo k úpravám horního víka druhé paletky, tak aby podpurné prvky nemohly při vkládání do přípravku poškodit desku plošných spojů.

Výhodou tohoto universálního přípravku je také možnost v případě poruchy pájecího robotu ve výrobní lince nahradit tento jiným robotem v lince. Odpadá tedy nutnost případného použití robota určeného pro pájení stejné strany, jako ten který má poruchu. Přestavení robotu z pájení první strany na pájení jiné strany je tedy možné vložím jiné paletky a přepnutím jiného programu ve vnitřní paměti robotu.



Obrázek 57 - Universální přípravek pro pájení obou stran desky

8.2 Změna výrobní linky

Po úspěšném otestování prototypu paletky bylo rozhodnuto o nasazení této změny pájecího procesu společně s dalšími úpravami na lince přímo do výrobní linky.

Z tohoto důvodu byla naplánována odstávky výroby na této lince na týden č.16 roku 2016. V časovém rozsahu této odstávky by nebylo možné stihnout přestavbu celé linky, a proto byla zahájena příprava již před odstavením linky, mimo tuto linku. Příprava spočívala ve výrobě nosných konstrukcí linky, dále v montáži pájecích paletky a přípravy pro změnu v programu

pájecích robotů. Příprava robotů byla prováděna tak, že robot, na kterém se provádělo testování, byl vložen místo jiného do linky a do robotu z linky byl nahrán a upraven program pro pájení nových palettek. Robot umožňuje uložení více programů a jednoduché přepínání mezi nimi, proto se mohl takto upravený robot vrátit do původní výroby a mohl se upravovat další.

Díky této přípravě a usilovné práci techniků byla přestavba linky provedena v plánovaném termínu. Zahájení masové výroby na upravené lince (obrázek 58) s sebou ovšem neslo několik problémů. Hlavní problémy se projevily při pájecím procesu. Tyto problémy se podařilo odstranit dodatečným nastavením robotů a jejich pájecích pozic, došlo také k úpravě pájecí teploty a dalších parametrů.

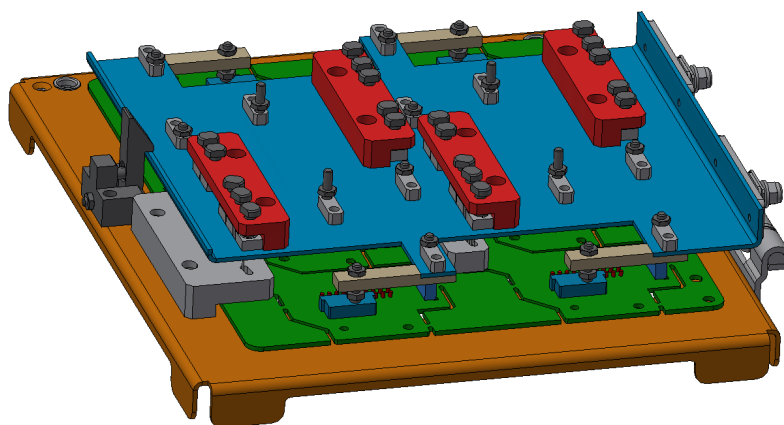


Obrázek 58 - Pájecí část realizované linky

9 NÁVRH AUTOMATIZACE PÁJECÍHO PROCESU

Cílem této části práce je vytvoření návrhu automatizace pájecího procesu. Na základě návrhu by se v případě aplikace této automatizace provedl konstrukční návrh včetně potřebných výpočtů. Tento návrh obsahuje několik variant řešení manipulace s paletkami a jejich dopravou, následně také výběr nejvhodnější varianty a vyhodnocení řešení.

Pro tuto automatizaci je důležitá konstrukce pájecích paletek, jelikož při použití zvláštních paletek pro pájení každé strany nebude možné automatizovat celý pájecí proces. Bylo by možné automatizovat pouze zakládání paletek do robotů. Při použití druhé varianty pájecích paletek, které umožňují pájení obou stran bez výměny paletek, je možná částečná automatizace s tím, že je nutné osadit konektor C1 až po zapájení první strany desky. Toto osazení je možné provést manuálně obsluhou, nebo by bylo možné tento úkon automatizovat pomocí vhodného robotu. V mém případě budu, v rámci zjednodušení celého procesu automatizace, uvažovat, že osazení provede obsluha manuálně.



Obrázek 59 - Varianta paletky použitelná pro automatizaci [8,11]

Portálová konstrukce použitého pájecího robotu neumožňuje pájení paletek na průběžné lince, a proto je nutné mezi robota a dopravník s paletkami vložit manipulátor, který bude zajišťovat výměnu paletek mezi dopravníkem a robotem.

9.1 Automatizace osazování

V dnešní době existuje řada renomovaných výrobců zařízení, které slouží k automatizaci osazování. Převážně se jedná o stroje pro osazování STM součástek, ale existují i pro osazování THT součástek. Jedním z těchto výrobců je například firma JUKI, jejíž stroj JUKI JM-10 je na obrázku 60.



Obrázek 60 - JUKI JM-10 [13]

Osazovací rychlost tohoto stroje dosahuje zhruba jedné sekundy na osazení jedné součástky. Tato rychlost je pro takt výrobní linky naprosto nadbytečná a stroj by tak nebyl využit na plný potenciál. Nehledě na finanční náročnost nákupu takového stroje.

Proto budu při návrhu automatizace pájecího procesu počítat s ručním osazením desky součástkami, pomocí operátora výrobní linky.

9.2 Manipulátor

Základním požadavkem na tento manipulátor je ten, aby byl schopen vložit do příslušného robota paletku z dopravníku. A po dokončení pájecí operace ji zase z robota vyjmout a položit na dopravník. Paletka musí být v robotu přesně fixována, jelikož má robot pevně nastavené pozice pro pájení a v případě nepřesného uložení by docházelo ke špatně zapájeným spojům.

Důležitá okolnost pro konstrukci manipulátoru je také fakt, že roboty jsou v lince umístěny za sebou a vzhledem k nutnosti ručního osazení konektoru C1 a poté teprve pájení druhé strany desky, je nutné toto uspořádání zachovat, aby byl umožněn přístup operátora k dopravníku. Rozložení linky také není vhodné měnit z prostorových důvodů ve výrobní hale.

9.2.1 Varianty konstrukce manipulátoru:

1. Portálový manipulátor

První možností, jak realizovat tento proces, je využití konstrukce portálového manipulátoru, který by obsluhoval všechny roboty. Hlavní částí této konstrukce je portál, po kterém se pohybuje vodorovně smykadlo, které obsahuje svislou osu Z a případně i osu Y.

Výhody:

- + Možnost zakoupení celého manipulátoru

- + Vhodný tvar pracovního prostoru

Nevýhody:

- Náročná konstrukce portálu,
délka cca 4m (průhyb)

- Výškové omezení ve firmě
(150cm)



Obrázek 61 - Portálový manipulátor od firmy GÜDEL [14]

2. Převracetecí manipulátor – statický

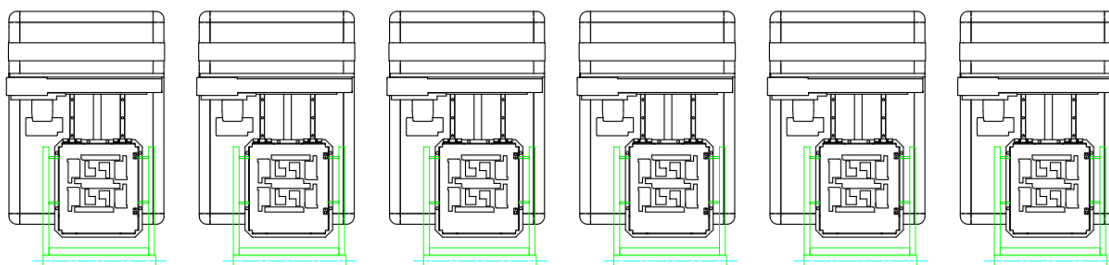
Tato varianta spočívá v použití jednoúčelového manipulátoru. Tento by uchopil paletku v robotu a kolem své osy by ji převrátil na dopravník. Každý robot by obsluhoval jeden manipulátor.

Výhody:

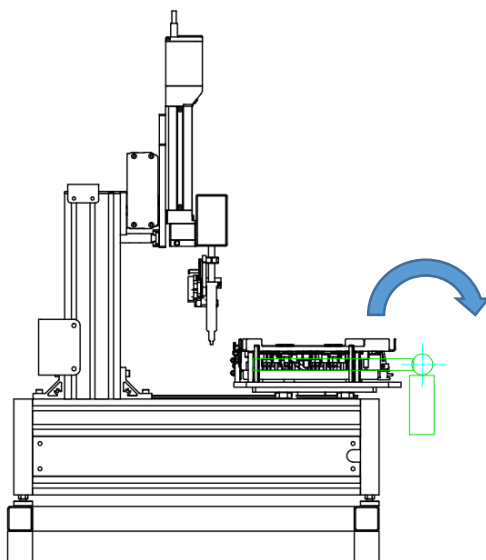
- + Relativně jednoduchá konstrukce

Nevýhody:

- Velký počet manipulátorů
- Nemožnost uložit paletku na libovolné místo na dopravníku



Obrázek 62 - Manipulátor pro každý pájecí robot



Obrázek 63 - Boční pohled na manipulátor, šipka vyznačuje směr manipulace

3. Převracející manipulátor - pohyblivý

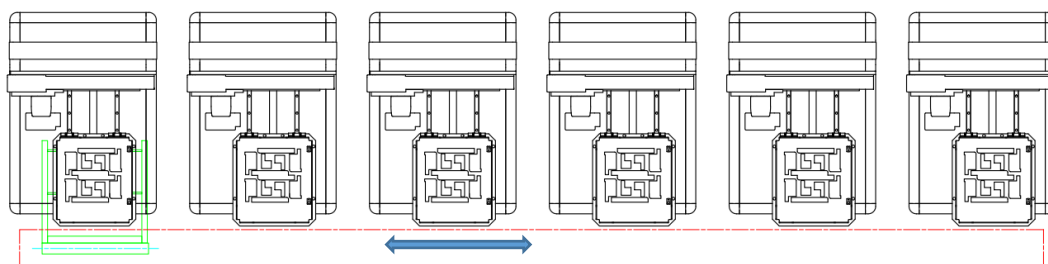
Základ konstrukce je stejný jako u předchozí varianty, ovšem s tím rozdílem, že tento manipulátor by byl umístěn na lineární ose. Tato osa by umožňovala jeho pohyb ke všem robotům, a tím zajistila obsluhu všech robotů jedním manipulátorem.

Výhody:

- + Jeden manipulátor pro všechny roboty
- + Jednoduchá konstrukce
- + Dojde k otočení paletky, nemusí to dělat operátor

Nevýhody:

- Problém s fixací paletky v robotu (nutnost přidání posuvu ve svislém směru)



Obrázek 64 – Pohyblivý manipulátor pro všechny roboty

4. SCARA robot na pohyblivé ose

Manipulátor je uložen na pohyblivé ose, aby mohl obsluhovat všechny roboty, jako předchozí varianta. Po uchopení paletky ji otočí kolem své svislé osy a položí na dopravník.

V této variantě je možné využít jednoúčelový manipulátor nebo universálního SCARA robota.

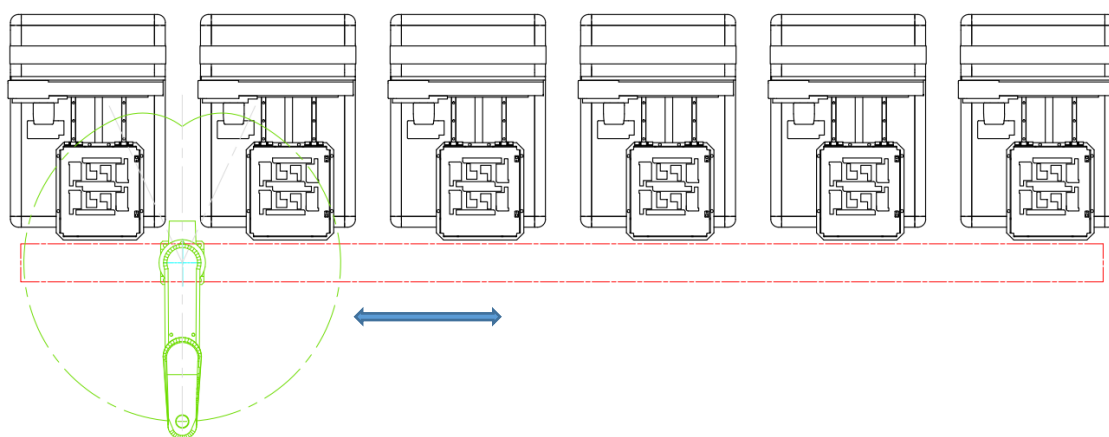
Výhody:

- + Možnost zakoupení SCARA robota => jednodušší konstrukce

- + Jeden manipulátor pro všechny roboty

Nevýhody:

- Cena SCARA robotu



Obrázek 65 - SCARA robot jako manipulátor

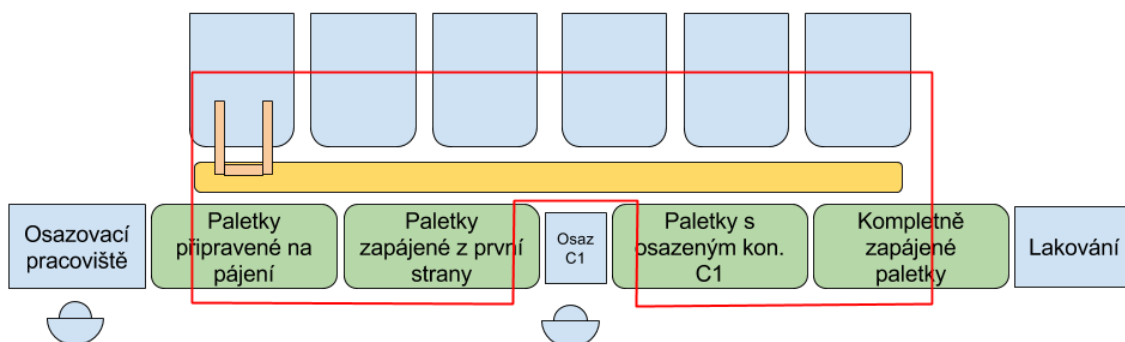
9.3 Dopravník

Další důležitou součástí automatizace je dopravník, který bude sloužit pro dopravu pájecích paletek celým procesem.

9.3.1 Rozvržení dopravníku

Navrhovaný dopravník by se měl skládat z těchto následujících částí:

1. První část, kde budou paletky, které budou osazeny od obsluhy a odkud budou odebrány manipulátorem do robota.
2. Druhá část bude část, kam bude manipulátor pokládat paletky zapájené z první strany. V této části bude také obsluha osazovat konektor C1 a paletku odloží na další část dopravníku.
3. Z této části bude brát manipulátor paletky pro pájení druhé strany desek.
4. Poslední část bude, kam bude manipulátor odkládat kompletně zapájené paletky.



Obrázek 66 - Rozložení automatizovaného pracoviště

Na obrázku 66 je vyobrazeno navrhované rozložení automatizovaného pracoviště a červeně je zde vyznačen pracovní prostor manipulátoru.

Tyto jednotlivé části je možné realizovat jako samostatné dopravníky, nebo využít typ dopravníku, který by nám umožnil nezávislý pohyb jednotlivými částmi dopravníku. Já jsem se pro zjednodušení návrhu konstrukce a řízení rozhodl uvažovat tyto části jako samostatné dopravníky.

Typ dopravníku musí být vhodný pro přepravu pájecích palet. Proto je při jeho výběru nutné počítat s tím, že paletku lze položit pouze na hrany základního plechu. Z tohoto důvodu jsem do návrhu zvolil pásové dopravníky, u kterých by se neměl vyskytnout problém s přepravou palet. Další výhodou je možnost zakoupení pásu vyrobeného z ESD materiálu, a tím pomoci zvýšení bezpečnosti před poškozením obvodu elektrostatickým výbojem.

9.4 Výběr řešení [12]

Pro výběr nejvhodnějšího řešení manipulátoru jsem se rozhodl využít totožné metody jako při výběru konstrukce paletky (kapitola 6.3). Výpočet bude probíhat podle vzorců (1) a (2), které byly uvedeny ve výše zmíněné kapitole. Proto zde uvedu pouze výběrová kritéria a tabulky obsahující výsledky.

Kritéria pro volbu typu manipulátoru jsou následující:

- K1 – Pořizovací náklady
- K2 – Úspora času operátora
- K3 – Jednoduchost konstrukce
- K4 – Zástavbový prostor
- K5 – Náročnost na řízení

Tabulka 6 - Výpočet porovnání typů manipulátoru

n	Vlastnost	Portálový manipulátor				Manipulátor pro každý robot				Pohyblivý manipulátor				SCARA robot pro všechny roboty			
		t _j	g _n	p _t	τ _n	t _j	g _n	p _t	τ _n	t _j	g _n	p _t	τ _n	t _j	g _n	p _t	τ _n
1	K1	2	0,9	50	1,8	1	0,9	100	0,9	4	0,9	25	3,6	3	0,9	33,33	2,7
2	K2	3	0,7	33,33	2,1	2	0,7	50	1,4	3	0,7	33,33	2,1	3	0,7	33,33	2,1
3	K3	3	0,5	33,33	1,5	2	0,5	50	1	3	0,5	33,33	1,5	4	0,5	25	2
4	K4	1	0,2	100	0,2	2	0,2	50	0,4	3	0,2	33,33	0,6	3	0,2	33,33	0,6
5	K5	2	0,4	50	0,8	3	0,4	33,33	1,2	2	0,4	50	0,8	2	0,4	50	0,8

Tabulka 7 - Výsledky porovnání typů manipulátorů

Varianta	τ
Portálový manipulátor	0,39
Manipulátor pro každý robot	0,26
Pohyblivý manipulátor	0,55
SCARA robot pro všechny roboty	0,50

Z tabulky 7 vyplývá, že nejvhodnější variantou bude varianta s pohyblivým manipulátorem, který bude společný pro všechny pájecí roboty a bude překlápět paletky na dopravník.

9.5 Návratnost investice

Pro posouzení, zda je automatizace pájecího procesu vhodná, je důležité zjistit, za jakou dobu by se navrátila případná investice do této automatizace a jaký by byl její přínos pro výrobu.

Jelikož se jedná pouze o návrh automatizace, a proto je nutné vzít v úvahu fakt, že všechny tyto hodnoty se mohou změnit po provedení konstrukčního návrhu celé automatizace. Pro výpočet návratnosti se ve firmě používá následující vzorec:

$$ROI = \frac{\text{náklady}}{(\text{měsíční produkce} \cdot \text{časová úspora} \cdot \text{peněžní sazba})} \quad (3)$$

Kde:

<i>ROI</i>	– (Return Of Investment) návratnost investice [měsíc]
<i>náklady</i>	– zahrnují veškeré výdaje spojené s provedenou změnou [CZK]
<i>měsíční produkce</i>	– počet vyrobených kusů za období jednoho měsíce [-]
<i>časová úspora</i>	– časová úspora, kterou změna přinese, přepočtená na jeden kus [min]
<i>peněžní sazba</i>	– přepočítaná finanční nákladnost operátora na jednotku času [CZK/min]

Pro vybranou variantu jsou tyto parametry následující:

<i>náklady</i>	- 500000CZK – tato položka je odhadována dle konstrukce manipulátoru a dopravníku, pro přesnější určení nutno provést konstrukční návrh
<i>měsíční produkce</i>	- 33700ks – hodnota byla zvolena jako průměrná hodnota za několik měsíců produkce
<i>časová úspora</i>	- 0,1 minuty – hodnota odhadnuta podle časů, které potřebuje operátor k manipulaci se současnými paletkami
<i>peněžní sazba</i>	- 4,604CZK/min – zvoleno dle firemních norem pro výrobní linky

$$ROI = \frac{500000}{(33700 \cdot 0,1 \cdot 4,604)} = 32,2 \text{ měsíců} \quad (4)$$

Návratnost investice byla tedy určena dle rovnic (3) a (4) na 32,2 měsíců.

9.6 Zhodnocení automatizace

Vypočítaná doba návratnosti investice je relativně vysoká, vzhledem k plánované životnosti výroby na této lince, která je přibližně 4 roky. Z tohoto důvodu je patrné, že automatizace v tomto provedení není nejvhodnější pro nasazení na tuto výrobní linku.

Jedním z důvodů, proč není automatizace linky vhodná, je také nutnost dodatečného osazování konektorů C1, a tím nutnost využití času operátora a nutné zpomalení celé manipulace při čekání na osazení konektorů.

Ovšem výhodou této automatizace by bylo výrazné usnadnění práce operátorů. V praxi se totiž projevilo, že nová konstrukce paletky je těžší než původní, a proto je manipulace při vkládání do robotů více náročná na fyzickou zdatnost operátora. Automatizovaná manipulace s paletkami do robotů by tento problém pomohla vylepšit.

Další možností je provedení konstrukčního návrhu této automatizace kvůli přesnějšímu určení časové úspory a nákladu. A poté případně přepočítat návratnost investice a celou situaci vyhodnotit dle přesněji získaných parametrů.

10 ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo konstrukčně zpracovat návrh, který by vedl ke zvýšení výrobní kapacity výrobní linky ve firmě ALPS Electric Czech.

Úvodní část této práce se věnuje popisu výrobku, který je na této lince vyráběn. Hlavní část popisu je věnována desce plošných spojů, jejíž výroba na montážní lince je místem, na kterém dojde ke změnám zajišťujícím zvýšení výrobní kapacity.

Následně je uveden popis procesu, který se využíval ve výrobě, před zavedením změn, které byly cílem této práce. Obsahuje nákres rozložení linky a také popis jednotlivých pracovišť, přičemž zvláštní pozornost je zde věnována pájecímu procesu.

Další kapitola obsahuje dvě varianty konstrukčních návrhů pájecích paletek. Původní požadavek na pájecí paletky byl vytvoření universální paletky pro pájení obou stran desky v jedné paletce, pouze převrácením paletky v robotu. Při návrhu jsem zjistil, že toto řešení není se stávající pájecí technologií možné provést. Je možné pájet každou stranu zvlášť v jiných paletkách, nebo použít paletku, která umožní pájení v jedné paletce, ovšem zde je nutný zásah obsluhy po pájení první strany (osazení konektoru).

První varianta vychází z konstrukce stávajících paletek a využívá i některé jejich díly, a tím dojde k úspoře pořizovacích nákladů na nové. Jejich nevýhodou je nutnost používat pro pájení druhé strany jiné paletky. Druhá varianta je navrhována tak, aby umožnila pájení obou stran v jedné paletce. Před pájením druhé strany je ovšem nutné nejprve ručně osadit konektor, který by byl jinak v kolizi s pájecím hrotem, při pájení první strany desky. Pro zajištění polohy tohoto konektoru je v práci uvedeno několik variant řešení.

Výběr varianty byl proveden pomocí multikriteriální hodnotící metody, podle objektivních parametrů. Jako vhodnější varianta byla, dle této metody, zvolena varianta č. 1 vycházející ze stávající konstrukce.

Před rozhodnutím o realizaci této varianty byl vyroben prototyp této varianty a bylo na něm ověřováno, zda je možné realizovat pájení dle návrhu. Při tomto ověřování se projevil konstrukční nedostatek, který byly, před zahájením výroby paletek pro výrobu, odstraněny změnami v konstrukci paletek.

V poslední části této práce byly vypracovány návrhy, jak by se dal tento pájecí proces alespoň částečně automatizovat. Součástí těchto návrhů je také výpočet návratnosti investice. Realizace této části není zatím plánována, tato část by měla sloužit pouze jako podklad pro zvážení, zda by tato automatizace byla pro firmu perspektivní a efektivní.

Dalším možným doplněním této práce by bylo vytvoření konstrukčního návrhu automatizace, včetně zajištění bezpečnosti provozu. A tím přesněji určit parametry automatizace a zhodnotit její vhodnost pro tuto aplikaci.

V průběhu této práce bylo dosaženo všech požadovaných cílů a to i díky tomu, že mi bylo umožněno strávit nejméně polovinu času určeného pro vypracování práce přímo v provozu firmy ALPS Electric Czech s.r.o. Tímto byly vytvořeny vynikající podmínky pro vlastní práci z hlediska obsahového i formálního, ale především i pro následnou praktickou realizaci řešení.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Land Rover [online]. 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.landrover.cz/vehicles/range-rover-evoque/index.html>
- [2] KUBA, Jan a Pavel MACH. *Technologické procesy*. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-010-1397-9.
- [3] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: SMT [online]. c2016 [citováno 20. 05. 2016]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=SMT&oldid=13508903>
- [4] Selektivní pájení a jeho metody. *DPS - Elektronika od A do Z* [online]. 2010, 2010(2), 1 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba/id:5951/selektivni-pajeni-a-jeho-metody>
- [5] FLYTECH. SMT [online]. -: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.flytech.com/english/03_manufacturing/manufacturing.php
- [6] Wave soldering. *Martin Tarr* [online]. UK: -, 2010 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.mtarr.co.uk/courses/topics/0225_wave/
- [7] COSMOSWEB. *SPLEBO* [online]. Japan: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://cosmosweb.com/en/splebo/>
- [8] MISUMI. *MISUMI* [online]. -: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.misumi-europe.com/cs/>
- [9] MISUMI. *MISUMI: HHSP20* [online]. -: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110300524850/?HissuCode=HHSP20&PNSearch=HHSP20&searchFlow=suggest2products&Keyword=HHSP20>
- [10] Quick global. *Soldering robot* [online]. -: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.quick-global.com/9-1-soldering-robot.html>
- [11] C-590N. *TAKIGEN* [online]. Japan: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://www.takigen.co.jp/jp/contents/eyesearch/detail.do?id=23011010200>
- [12] KOLÍBAL, Zdeněk, KNOFLÍČEK, Radek. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 178 s. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-889-2227-5.
- [13] JUKI JM-10. *PBT* [online]. -: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.pbt.cz/detail/juki-jm-10/350/?path=products/osazovani-a-automatizace/osazovaci-stroje-pro-tht-a-smd/>
- [14] GUDEL - linear axis. *GUDEL* [online]. -: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.gudel.com/products/linearaxis/cp>
- [15] VODIČKA, Tomáš. *Antistatické vlastnosti materiálů v technické praxi*. Brno, 2014. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Martin Frk, Ph.D.
- [16] ESD. *Vývoj HW* [online]. -: -, 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/esd-electrostatic-discharge.html>
- [17] ALPS Electric Czech s.r.o. *ALPS Electric* [online]. -: -, 2009 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.alps.cz/contact.html>

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam použitých zkratk a symbolů

PWB	Printed Wiring Board – deska plošných spojů
SMT	Surface Mounting Technology – technologie povrchové montáže elektronických komponent na desku plošných spojů
THT	Through-Hole Technology – způsob montáže elektronických komponent pomocí otvorů v desce plošných spojů
SMD	Surface Mounted Device – komponenty, které se používají se spojitosti s metodou SMT
EOL	End Of Line – kontrola výrobku na konci výrobní linky
SAS	Steering Angle Sensor – snímač natočení volantu
ESD	ElectroStatic Discharge – elektrostatický výboj
ROI	Return Of Investment – návratnost investice
t_j	Bodovací stupnice hodnocení parametru [-]
g_j	koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
t_{max}	maximální hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti
n	počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
τ	technická hodnota varianty

12.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Srovnání parametrů současné a navrhované linky.....	33
Tabulka 2 - Parametry kuličkové zarážky [11]	43
Tabulka 3 - Porovnání variant.....	45
Tabulka 4 - Tabulka hodnocení variant	46
Tabulka 5 - Výsledky porovnání variant.....	46
Tabulka 6 - Výpočet porovnání typů manipulátoru	60
Tabulka 7 - Výsledky porovnání typů manipulátorů	60

12.3 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Areál firmy ALPS Electric Czech s.r.o. [17]	16
Obrázek 2 – Výrobek připravený k expedici	17
Obrázek 3 – Land Rove Evoque [1].....	17
Obrázek 4 – 3D model obalu modulu	18
Obrázek 5 - Obaly připravené k montáži	18
Obrázek 6 – WIPER páčka	18
Obrázek 7 - TURN páčka.....	18

Obrázek 8 – Arch desek s naneseným ochranným lakem	19
Obrázek 9 - SMT výrobní linka [5]	20
Obrázek 10 - Schéma pájení vlnou [6]	21
Obrázek 11 - Pájecí robot [10].....	21
Obrázek 12 - Tryska mini vlny [4]	21
Obrázek 13 - Rozložení současné linky.....	23
Obrázek 14 - Arch desek plošných spojů	24
Obrázek 15 - Deska pro jeden modul	24
Obrázek 16 - Robot s frézovacím vřetenem	25
Obrázek 17- Současná paletka pro pájení první strany.....	26
Obrázek 18 - Současná paletka pro pájení druhé strany	26
Obrázek 19 - Současná lakovací stanice.....	27
Obrázek 20 - Kinematické schéma pájecího robotu	27
Obrázek 21 - Pájecí hlava pro drážkové pájení	28
Obrázek 22 - Poškození konektoru při bodovém pájení.....	28
Obrázek 23 - Pájecí robot firmy COSMOSWEB [7]	29
Obrázek 24 - Pracovní prostor pájecího robotu	29
Obrázek 25 - Schéma částí změny výroby.....	31
Obrázek 26 - Schéma současné výroby	31
Obrázek 27 - Schéma navrhované úpravy linky	32
Obrázek 28 - Rozložení po přestavbě linky	33
Obrázek 29 - Kolize pájecího hrotu s konektorem	35
Obrázek 30 - Základní deska pájecí paletky	36
Obrázek 31 - Spodní část paletky [8].....	37
Obrázek 32 - Řez pájecí paletkou [8]	37
Obrázek 33 - 1. Varianta paletky pro pájení první strany [8]	38
Obrázek 34 – 1. Varianta paletky pro pájení druhé strany [8].....	38
Obrázek 35 - Kalená pouzdra pro uložení paletky v přípravku	39
Obrázek 36 - PWB s vyznačenými místy, která se pájí v druhé paletce	39
Obrázek 37 - Pájení konektoru C1 [8]	40
Obrázek 38 - Boční pohled na pájecí paletku [8]	40
Obrázek 39 - Řez přitlačným mechanismem [8]	41
Obrázek 40 - Poloha konektorů C1.....	41
Obrázek 41 - Fixace konektoru s panty [8,9].....	42
Obrázek 42 - Fixace konektoru pomocí posunutí kostky [8].....	42
Obrázek 43 - Fixace konektoru s kuličkovou zářezkou [8,11]	43
Obrázek 44 - Kuličková zářezka od firmy TAKIGEN [11]	43
Obrázek 45 - Finální verze 2. varianty horní pohled [8]	44
Obrázek 46 - Finální verze 2. varianty pohled zespodu [8,11].....	44
Obrázek 47 - Přípravek v pájecím robotu	47
Obrázek 48 - Návrh nového přípravku, vpravo i pájecí paletkou.....	48
Obrázek 49 - Stanoviště pro osazování na současné lince.....	48
Obrázek 50 - Robot pro nanášení ochranného laku.....	49
Obrázek 51 - Srovnání původního a změněného přípravku pro nanášení laku	49
Obrázek 52 - Srovnání původního přípravku pro rozřezávání archu s novým	50
Obrázek 53 - Svařenec pod pájecí roboty	50
Obrázek 54 - Kolize pájecího hrotu při pájení termistorů	51

Obrázek 55 - Upravený prototyp paletky	52
Obrázek 56 - Fixátory termistorů, vlevo původní konstrukce a vpravo je změněná ...	53
Obrázek 57 - Universální přípravek pro pájení obou stran desky.....	53
Obrázek 58 - Pájecí část realizované linky	54
Obrázek 59 - Varianta paletky použitelná pro automatizaci [8,11]	55
Obrázek 60 - JUKI JM-10 [13]	56
Obrázek 61 - Portálový manipulátor od firmy GÜDEL [14]	57
Obrázek 62 - Manipulátor pro každý pájecí robot	57
Obrázek 63 - Boční pohled na manipulátor, šipka vyznačuje směr manipulace.....	58
Obrázek 64 – Pohyblivý manipulátor pro všechny roboty.....	58
Obrázek 65 - SCARA robot jako manipulátor	59
Obrázek 66 - Rozložení automatizovaného pracoviště	59

13 SEZNAM PŘÍLOH

CD

Výrobní výkresy

Paletka pro pájení první strany

Číslo výkresu	Typ výkresu	Název
SPSE01-A01-01	Výkres sestavy	Paletka první strana
SPSE01-001_mod	Výkres součásti	Základní deska
SPSE01-002	Výkres součásti	Lokační kolík (sheet)
SPSE01-003_mod	Výkres součásti	Fixátor termistoru
SPSE01-004	Výkres součásti	Fixátor termistoru 2
SPSE01-005_mod	Výkres součásti	Víko
SPSE01-006	Výkres součásti	Kostka vedení
SPSE01-007	Výkres součásti	Přítlačný blok
SPSE01-008	Výkres součásti	Kostka vedení 2
SPSE01-009	Výkres součásti	Kolík konektor
SPSE01-010	Výkres součásti	Kolík konektor 2
SPSE01-011	Výkres součásti	Vedení
SPSE01-012	Výkres součásti	Lokační kolík (deska)
SPSE01-013	Výkres součásti	Pouzdro kruh
SPSE01-014	Výkres součásti	Pouzdro oval

Paletka pro pájení druhé strany

Číslo výkresu	Typ výkresu	Název
SPSE01-01-A01	Výkres sestavy	Paletka druhá strana
SPSE01-01-001mod	Výkres součásti	Základní deska
SPSE01-01-002	Výkres součásti	Víko
SPSE01-01-004	Výkres součásti	Lokační kolík (sheet)
SPSE01-01-005	Výkres součásti	Kryt
SPSE01-01-006	Výkres součásti	Kryt malý
SPSE01-01-007	Výkres součásti	Fixátor konektor C1
SPSE01-01-008	Výkres součásti	Vedení konektor
SPSE01-01-009	Výkres součásti	Úchyt zavírač
SPSE01-01-012	Výkres součásti	Lokační kolík (deska)