



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ROBOTICKÁ MANIPULACE S VYSOKOTLAKÝM ZÁSOBNÍKEM PALIVA COMMON RAIL PŘI PROCESU SVAŘOVÁNÍ LASEREM

ROBOTIC MANIPULATION WITH LASER WELDED COMMON RAIL DURING THE LASER WELDING
PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR BUŽGA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Bužga

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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:

Robotická manipulace s vysokotlakým zásobníkem paliva Common Rail při procesu svařování laserem

v anglickém jazyce:

Robotic manipulation with Laser Welded Common Rail during the laser welding process

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

a) technická analýza vhodných průmyslových robotů (PR) pro manipulaci při finálním svařování vysokotlakého svařovaného zásobníku paliva Common Rail a vlivu programování pohybů PR (s ohledem na SW a HW) na polohování svařence vůči stabilnímu svařovacímu automatu (SA) z hlediska přesnosti polohování, s uvážením fyzického opotřebení PR a tím tedy i vzniku vůlí a chyb polohy ramene PR v manipulačním procesu, které je nutné eliminovat, s cílem zkrátit manipulační časy a tím i čas na výrobu předmětného svařence.

b) V případě potřeby návrh změny, která zajistí stabilizaci systému polohování PR versus SA tak, aby se minimalizoval vliv nepřesností polohy na výsledný proces svařování.
Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností Bosch Diesel, s. r. o. v Jihlavě

Cíle, kterých má být dosaženo:

1. Kritické zhodnocení současného stavu výroby při svařování vstřikovací soustavy Common Rail firmy Bosch Diesel, s. r. o. Jihlava pomocí PR (popis činnosti, výhody a nevýhody stávajícího řešení).
2. Proved'te rešerši konstrukčního provedení současných tlakových zásobníků paliva vstřikovacího systému Common Rail, se zaměřením na laserově svařované tlakové zásobníky (Laser Welded Rail - LWR) a stroje pro jejich laserové svařování.

3. Proveďte rešerši konstrukčního provedení z hlediska kinematické struktury používaných PR k polohování vysokotlakého zásobníku paliva Common Rail, se zaměřením na polohovací celky a jejich vzájemnou součinnost se SA. Porovnejte jejich výstupní technické parametry a technologické vlastnosti funkčních celků a jejich stručné vyhodnocení.
4. Proveďte návrh nového řešení úpravy pracovního cyklu v programování PR ve dvou variantách.
5. Proveďte analýzu vlastností variant s výběrem technicky a ekonomicky vhodnější pro potřeby výroby předmětného svařence pomocí multikriteriální metody hodnocení.
6. Zhodnoťte přínos HW nebo SW úprav, nastavení parametrů PR a SA a navržených opatření na produkci tlakových zásobníků paliva Common Rail.
7. Proveďte stručné a rámcové technicko-ekonomického zhodnocení přijatého technického řešení.

Seznam odborné literatury:

- [1] SKOTSKY, Alexander A.: AutomotiveEngines. SpringerVerlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5
- [2] HEISLER, Heinz: AdvancedEngine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2
- [3] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J.: Pružnost a pevnost I, VUT v Brně 1992
- [4] KLEIN, Bernd: FEM GrundlagenundAnwendungen der Finite-Element-MethodeimMaschinen-undFahrzeugbau. SpringerVerlag, 2012. ISBN 978-3-8348-1603-0
- [5] RUMÍŠEK, P.: Automatizace výrobních procesů, VUT Brno, 1988
- [6] RUMÍŠEK, P.: Automatizace výrobních procesů II, VUT Brno, 1990
- [7] VAŠEK, J.: Dynamika průmyslových robotů, ČVUT, Praha, 1979
- [8] JALOVÝ,M.-JALOVÁ,M.-ANDRLÍK,V.: Průmyslové roboty a manipulátory,ČVUT, Praha, 2005

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Bc. BUŽGA Petr: Robotická manipulace s vysokotlakým zásobníkem paliva Common Rail během procesu svařování laserem

Tato diplomová práce se zabývá popisem vysokotlakých zásobníků paliva Common Rail firmy Bosch Diesel, s. r. o. v Jihlavě. Návrhem průmyslového robota pro manipulaci s vysokotlakým zásobníkem paliva Common Rail během procesu svařování laserem v teoretické části. V praktické části je zaměřena na návrh změny drah současného robota při manipulaci se svařencem ke snížení výrobních časů a opotřebení stále stejných částí robota.

V závěru je technicko-ekonomické zhodnocení variant a určení varianty vhodné pro robotickou manipulaci s vysokotlakým zásobníkem Common Rail.

Klíčová slova: průmyslový robot, efektor, programování, Common Rail

ABSTRACT

Bc. BUŽGA Petr: Robotic manipulation with Laser Welded Common Rail during the laser welding process

This master's thesis deals with a description of Laser Welded Common Rail, which is produced by the company Bosch Diesel, s. r. o. in Jihlava. The theoretical part is focused primarily on a proposal for an industrial robot which would be manipulated with Common Rail during the laser welding process. The practical section is concerned with changes in the current paths of the robot to reduce production times, and to avoid using the same parts of the robot for the whole duration it is being manipulated with the Common Rail.

At the end of this master's thesis is a techno-economic evaluation of previous alternatives, and it determines the appropriate option for robotic manipulation with the Common Rail during the laser welding process.

Keywords: industrial robot, end effector, programming, Common Rail

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BUŽGA, Petr. *Robotická manipulace s vysokotlakým zásobníkem paliva Common Rail během procesu svařování laserem*. Brno, 2015. 68 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

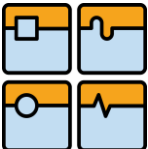
V Brně dne 25.5.2015

.....
Podpis

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce, kolegům z firmy Bosch Diesel, s. r. o. Jihlava a mé rodině za podporu při studiu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

OBSAH

Zadání

Abstrakt

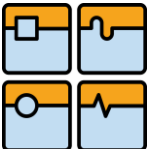
Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 VSTŘIKOVACÍ ZÁSOBNÍK PALIVA COMMON RAIL	10
1.1 SYSTÉM COMMON RAIL	10
1.2 Způsob činnosti	11
1.3 Rail (Vysokotlaký zásobník).....	13
1.3.1 Konstrukce.....	13
1.3.2 Současná konstrukce laserově svařovaných railů	14
1.4 Materiál laserově svařovaných railů	15
1.5 Způsob činnosti	16
2 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY	17
2.1 Výrobní proces	17
2.2 Další stroje pro laserové svařování	19
2.3 Svařování railů laserem.....	21
2.4 Autofretáž.....	24
3 VÝBĚR VHODNÉHO PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU PRO MANIPULACI	25
3.1 Základní parametry robotů.....	25
3.2 Důvody k investici do průmyslových robotů	26
3.3 Robot a efektor firmy Bosch	27
3.4 Výrobci průmyslových robotů	28
3.5 Výběr vhodného robota od každého výrobce.....	31
3.6 Konečný výběr vhodného robotu pro manipulaci s railem	33
3.6.1 Multikriteriální metoda hodnocení navrhovaných variant	33
3.6.2 Bazická bodovací metoda.....	33
3.6.3 Aplikace metody MH	35
3.6.4 Porovnání vybraného robotu s původním řešením ve firmě Bosch	36
4 PROGRAMOVÁNÍ A OPTIMALIZACE ČINNOSTI PR	37
4.1 Optimalizace pohybu robotu	37
4.2 Robotické pracoviště.....	39
4.2.1 Popis pohybu robotu.....	39
4.3 Možnosti použití optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů	41
4.3.1 První varianta úpravy pracovního cyklu	41
4.3.2 Dílčí závěr k první variantě úpravy pracovního cyklu	45
4.3.3 Druhá varianta úpravy pracovního cyklu	46
4.3.4 Dílčí závěr k druhé variantě úpravy pracovního cyklu	47
4.4 Teoretické snížení výrobního času.....	47

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5 VYHODNOCENÍ VARIANT	48
5.1 Porovnání variant optimalizace.....	48
5.2 Vyhodnocení variant úpravy pracovního cyklu	50
6 ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU HW A SW ÚPRAV	51
6.1 První varianta úpravy pracovního cyklu v programování PR.....	51
6.2 Druhá varianta úpravy pracovního cyklu v programování PR.....	51
6.3 Porovnání obou variant	51
7 TECHNICKO-EKONOMICKE ZHODNOCENÍ	52
7.1 Postup výpočtu	52
7.2 Zhodnocení první varianty úpravy pracovního cyklu v programování PR.....	53
7.3 Zhodnocení druhé varianty úpravy pracovního cyklu v programování PR	56
7.4 Počet vyrobených kusů a zhodnocení produktivity za rok.....	58
8 ZÁVĚRY	60

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ÚVOD [15], [27], [28]

Už od nepaměti jsou lidé nuceni vykonávat tvrdé a vyčerpávající fyzické práce. Nejvíce to bylo patrné za průmyslové revoluce v 19. století. Člověk vracející se z práce pouze snil o stroji, který bude pracovat za něj a automaticky zvládne všechnu práci.

Tato myšlenka se začala uskutečňovat s rozvojem společnosti ve 20. století. Inženýři se snažili postavit robota s konstrukcí podobného člověku. Tato myšlenka je zatím pouze vzdálená i v dnešní době, ale mechanické napodobeniny jsou již skutečností.

První mezník v robotice nastal v roce 1920, kdy se objevilo slovo robot ve hře Karla Čapka R.U.R. a stalo se známé po celém světě. Robot je sice zatím pouze hříčka pro přilákání návštěvníků a první opravdové roboty se objevují až v období první světové války a posléze ve 2. světové válce slouží jako manipulátory s radioaktivními prvky a jinými nebezpečnými materiály.

V následujících letech jsou roboty používány v průmyslové výrobě a vznikají první laboratoře umělé inteligence. Průmyslové roboty se stávají běžnými prostředky pro manipulační operace v automobilovém průmyslu. Průmyslové roboty se používají pro svařování plamenem, bodové svařování, nanášení barev a všude tam, kde je pracovní prostředí pro člověka nedostupné nebo nebezpečné.

Předchozí náskok U.S.A. ve výzkumu předbíhá Japonsko a začíná vyrábět nejvíce robotů na světě. V roce 1980 začínají být roboty osazovány jednotlivými čidly a dalšími prvky spadajícími do oblasti výzkumu umělé inteligence (UI). Těsně před začátkem 21. století jsou roboty zapojeny do vesmírného programu. Mnoho firem se začíná přeorientovávat na oblast robotiky s cílem urychlit výzkum a nahradit člověka v určitých směrech.



Obr. 0.1 Robot Staubli [28]



Obr. 0.2 Robot ASIMO [15]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 VSTŘIKOVACÍ ZÁSOBNÍK PALIVA COMMON RAIL [7],[18],[20],[21]

Nároky na vstřikovací systém vznětových motorů se neustále zvyšují. Vyšší tlaky, rychlejší spínací časy a pružné přizpůsobení průběhu vstřiku provozního stavu motoru činí vznětový motor úsporným, čistým a výkonným. Tím se vznětové motory prosadily i do automobilové vyšší třídy.

Jedním z vysoce vyvíjených vstřikovacích systémů je vstřikovací systém se zásobníkem Common Rail (CR). Hlavní výhoda systému Common Rail spočívá ve velkých možnostech variability při vytváření vstřikovacího tlaku a časového okamžiku vstřiku. Toho je dosaženo oddělením vytváření vysokého tlaku (vysokotlaké čerpadlo) a vstřikování (vstřikovače). Jako zásobník tlaku přitom slouží "rail".

Oblast použití

Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory s přímým vstřikem paliva je používán v následujících vozidlech:

- osobní vozidla s velmi úspornými tříválcovými motory od objemu 0,8 l, výkonem 30 kW, točivým momentem 100 Nm a spotřebou paliva od 3,5 l/100 km až do osmiválcových motorů vozidel vyšší třídy s objemem 4 l, výkonem 180 kW a točivým momentem 560 Nm.
- lehká užitková vozidla s výkonem do 30 kW/válec.
- těžká nákladní vozidla až po lokomotivy a lodě s výkonem cca 200 kW/válec.

Systém Common Rail nabízí vysokou flexibilitu pro přizpůsobení vstřikování daného motoru. Toho se dosahuje těmito prostředky:

- Vysoký vstřikovací tlak až cca 1800 bar.
- Přizpůsobení vstřikovacího tlaku daného provozního stavu motoru (200...1800 bar).
- Proměnný počátek vstřiku.
- Více možných úvodních a následných vstřiků (zejména jsou možné velmi pozdní následné vstřiky)

Tím systém Common Rail přispívá ke zvýšení měrného výkonu, snížení spotřeby paliva stejně jako snížení hlučnosti a emisí škodlivých látek u vznětových motorů.

Common Rail je dnes nejčastějším používaným vstřikovacím systémem pro osobní vozidla s moderními rychloběžnými motory s přímým vstřikem.

1.1 SYSTÉM COMMON RAIL [7]

Systém Common Rail se skládá z následujících základních skupin:

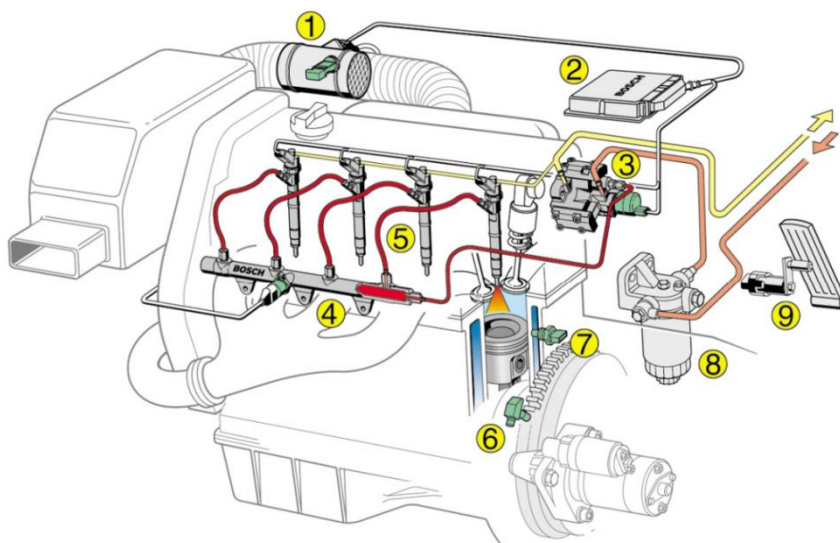
- *Nízkotlaká část* s komponenty pro zásobování palivem.
- *Vysokotlaká část* s komponenty vysokotlaké čerpadlo, tlakový zásobník (rail), vstřikovače a vysokotlaká palivová vedení.
- *Elektronická regulace vznětových motorů* se systémovými bloky snímačů, řídicí jednotka a akční členy.

Jádrem systému Common Rail jsou vstřikovače. Obsahují ventil s rychlým snímáním (elektromagnetický ventil nebo piezoelektrický člen), který otvírá a zavírá vstřikovací trysku. Tak může být průběh vstřiku řízen jednotlivě pro každý válec. Vstřikovače jsou společně

připojeny k vysokotlakému zásobníku. Odtud pochází název systému "Common Rail" (anglicky "společná trubka/přípojnice").

Charakteristickým znakem systému Common Rail je, že systémový tlak může být nastaven v závislosti na provozním stavu motoru. Nastavení tlaku se provádí pomocí regulačního tlakového ventilu nebo pomocí dávkovací jednotky.

Modulární konstrukce systému Common Rail usnadňuje přizpůsobení různým motorům. Růžová dráha značí oblast nízkého tlaku, červená značí oblast vysokého tlaku a žlutá dráha oblast odtoku přebytečného paliva, které odtéká zpět do nádrže.



Obr. 1.1 Systém Common Rail [31]

1. Snímač hmotnosti vzduchu, 2. Řídící jednotka, 3. Vysokotlaké čerpadlo, 4. Vysokotlaký zásobník rail, 5. Vstřikovače, 6. Snímač polohy klikové hřídele, 7. Snímač teploty chladicí kapaliny, 8. Filtr; 9. Snímač polohy akceleračního pedálu

1.2 Způsob činnosti [7]

U vstřikování s vysokotlakým zásobníkem Common Rail je odděleno vytváření tlaku a vstřikování. Vstřikovací tlak je vytvářen nezávisle na otáčkách motoru a vstřikované dávce. Elektronická regulace vznětových motorů řídí jednotlivé komponenty.

Vytváření tlaku

Oddělené vytváření tlaku a vstřikování je umožněno existencí určitého objemu paliva v zásobníku. Palivo je v prostoru zásobníku Common Rail pod tlakem a je připraveno ke vstřikování. Nepřetržitě pracující vysokotlaké čerpadlo je poháněno motorem vytvářejícím požadovaný vstřikovací tlak. Tlak v railu je udržován čerpadlem nezávisle na otáčkách motoru a vstřikovaném množství.

Díky téměř stejnoměrné dodávce může mít vysokotlaké čerpadlo výrazně menší rozměry a vyžadovat menší potřebný špičkový hnací moment, než je tomu u konvenčních vstřikovacích systémů. Důsledkem toho je také významné odlehčení pohonu čerpadla.

Vysokotlaké čerpadlo je nejčastěji provedeno jako čerpadlo s radiálními písty, u nákladních vozidel někdy jako řadové čerpadlo.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Regulace tlaku

Podle použití systému jsou využívány rozdílné způsoby regulace tlaku.

Regulace na straně vysokého tlaku

U systému osobních vozidel je požadovaný tlak v railu regulován regulačním tlakovým ventilem na straně vysokého tlaku. Palivo, které při vstřikování není využito, odtéká přes regulační tlakový ventil do nízkotlaké části okruhu. Tato regulace umožňuje rychlé přizpůsobení tlaku v railu při změnách provozního bodu (např. při změně zatížení).

Regulace na straně vysokého tlaku byla používána u prvních systémů Common Rail. Regulační tlakový ventil je umístěn nejčastěji na railu, u některých aplikací přímo na vysokotlakém čerpadle.

Regulace na sací straně

Další možností regulace tlaku v railu je regulace množství na sací straně. Dávkovací jednotka uchycená pomocí příruby na sací straně vysokotlakého čerpadla zajišťuje, aby čerpadlo dodávalo do railu přesně takové množství paliva, při kterém je dosažen vstřikovací tlak požadovaný systémem. Omezovací tlakový ventil zabraňuje nepřipustně vysokému nárůstu tlaku v railu v případě poruchy.

Díky regulaci množství na sací straně je množství paliva stlačené na vysoký tlak nižší, a tím je nižší také odebíraný výkon čerpadla. To pozitivně ovlivňuje spotřebu paliva. Kromě toho je ve srovnání s vysokotlakou regulací snížena teplota paliva přitékajícího do nádrže zpětným palivovým potrubím.

Dvojitý regulační systém

Dvojitý regulační systém s regulací tlaku pomocí regulace množství s dávkovací jednotkou na sací straně, s vysokotlakou regulací s regulačním tlakovým ventilem kombinuje výhody vysokotlaké regulace a regulace množství na sací straně.

Vstřikování

Vstřikovače vstřikují palivo přímo do spalovacího prostoru motoru. Z railu jsou vstřikovače zásobovány krátkým vysokotlakým palivovým potrubím. Řídící jednotka motoru řídí spínací ventil integrovaný ve vstřikovači tlaku tak, že otevírá a zavírá vstřikovací trysku.

Doba otevření vstřikovače a systémový tlak určují množství vstřikovaného paliva. To je při konstantním tlaku přímo úměrné době sepnutí spínacího ventilu a tím nezávislé na otáčkách motoru případného čerpadla (časově řízené vstřikování).

Hydraulický potenciál výkonu

Vzájemné oddělení funkcí *vytváření tlaku a vstřikování* otevírá ve srovnání s konvenčními systémy další úroveň volnosti při vývoji spalování: vstřikovací tlak může být v poli charakteristik další volně volitelnou veličinou. Maximální vstřikovací tlak dosahuje 1800 bar.

Systém Common Rail umožňuje při využití úvodních příp. vícenásobných vstřiků další snížení emisí výfukových plynů a významně snižuje hluk spalování. Vícenásobným ovládáním rychlých spínacích ventilů lze vytvořit až pět vstřiků na jeden vstřikovací cyklus. Jehla trysky se uzavírá hydraulicky, a zaručuje tak rychlý konec vstřiku.

1.3 Rail (Vysokotlaký zásobník) [7]

Úlohou vysokotlakového zásobníku (rail) je uchovávat palivo pod vysokým tlakem. Přitom musí být v objemu zásobníku tlumeno tlakové kmitání, které vzniká v důsledku pulzující dodávky čerpadla a vstřikováním. Tím je zajištěno, že při otevření vstřikovače zůstává vstřikovací tlak konstatní. Na jedné straně musí být objem zásobníku dostatečně velký, aby vyhověl těmto požadavkům. Na druhé straně musí být tak malý, aby se dosáhlo dostatečně rychlého vytvoření tlaku při startování. Pro optimalizaci se během fáze návrhu provádějí simulační výpočty.

Kromě funkce ukládání paliva je úlohou zásobníku rail rozdělovat palivo ke vstřikovačům.



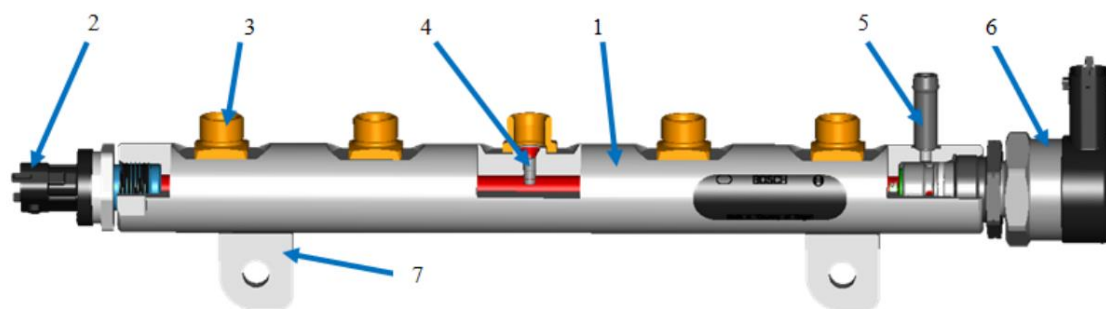
Obr. 1.2 Vysokotlaký zásobník paliva rail (LWR) [33]

1.3.1 Konstrukce

Zásobník rail ve tvaru trubky může mít s ohledem na rozdílné montážní podmínky motoru odlišnou konstrukci. Zahrnuje možnost montáže snímače tlaku v railu a omezovacího tlakového ventilu, respektive regulačního tlakového ventilu. Zásobníky se zhotovují jako svařence (LWR - Laser Welded Rail), nebo za pomoci obrábění z předem vykovaného výkovku (HFR - Hot Forged Rail). Pokud se jedná o malosériovou výrobu je možné vyrobit rail z polotovaru ve tvaru kulatiny nebo kvádra, a to pouhým třískovým obráběním.

Faktory, který musíme vzít v úvahu, jsou počet válců, systémový tlak, motor se dvěma řadami válců do "V" a v neposlední řadě cena. Dále se liší podle dalších komponentů, které na rail připojíme (snímače tlaku, regulační tlakový ventil, omezovací tlakový ventil nebo závitová zátka na uzavření nepoužívaného otvoru).

Zásobník rail se skládá z několika částí, obrobené trubky, nízkotlakých vývodů a vysokotlakých vývodů a úchyťů. Ty slouží k uchycení railu na motor a k zajištění jeho stabilní polohy. Spojení mezi vývody, úchyty a tělem railu je provedeno pomocí laserového svařování. Dále je na rail pomocí odporového navařování navařen nízkotlaký vývod.



Obr. 1.3 Komponenty zásobníku paliva Common Rail [35]

1. Zásobník paliva, 2. Tlakový snímač, 3. Vysokotlaký vývod, 4. Tlumič hydraulických rázů, 5. Nízkotlaký vývod, 6. Regulační tlakový ventil, 7. Úchyt k motoru.

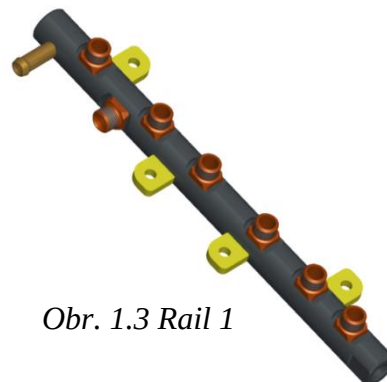
1.3.2 Současná konstrukce laserově svařovaných railů

Pro diplomovou práci bylo vybráno pět nejvíce vyráběných railů (viz. obr. 2.1), pro něž bude optimalizován pracovní proces, a jejich konstrukční provedení je blíže upřesněno níže:

Rail 1

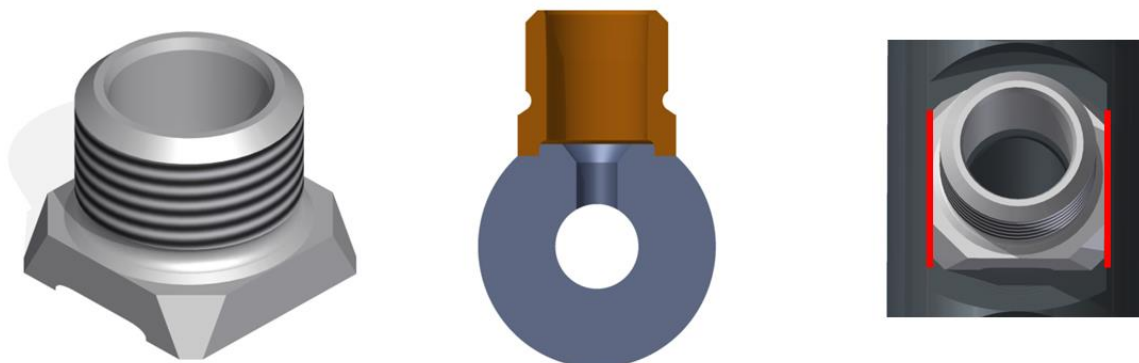
Nejvíce vyráběný rail nese z důvodu veřejné práce kódové označení Rail 1 a jeho základní parametry jsou uvedeny níže.

- průměr 30 mm
- délka 370 mm
- váha 2,42 kg



Obr. 1.3 Rail 1

Rail se sedmi vysokotlakými vývody, čtyřmi úchyty na motor a nízkotlakým vývodem.

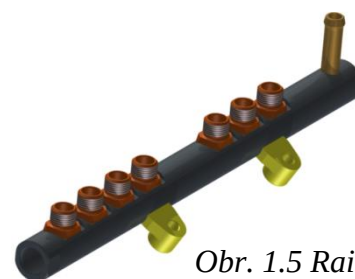


Obr. 1.4 Vysokotlaký vývod (vlevo), průřez railem (uprostřed), dráha svařování (vpravo)

Rail 2

Druhý nejvíce vyráběný rail nese označením Rail 2 a jeho základní parametry jsou uvedeny níže.

- průměr 30 mm
- délka 374 mm
- váha 2,264 kg



Obr. 1.5 Rail 2

Rail se sedmi vysokotlakými vývody, dvěma úchyty na motor a nízkotlakým vývodem.

Rail 3

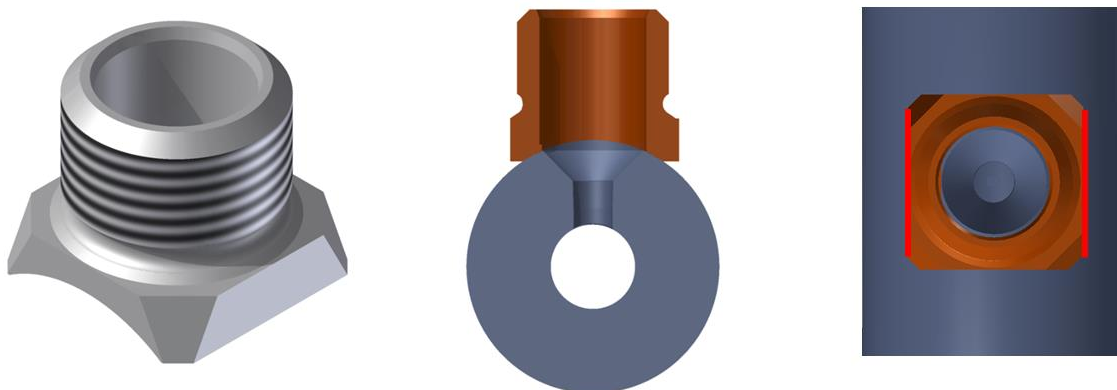


Obr. 1.6 Rail 3

Třetí nejvíce vyráběný rail nese označením Rail 3 a jeho základní parametry jsou uvedeny níže.

- průměr 30 mm
- délka 322,5 mm
- váha 1,715 kg

Tento rail nemá rovné dosedací plochy jako raily předchozí a pět vysokotlakých vývodů je přivařeno kolmo na válcovou plochu (viz. obr. 1.7). Svařování tak probíhá kolmo ke svařovací ploše, kdy je rail pootočen o 9° pod svařovací hlavou. Tento rail se vyrábí bez nízkotlakého vývodu.



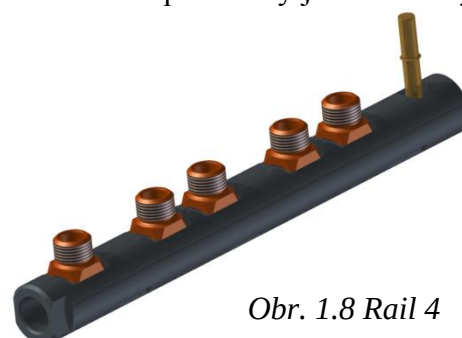
Obr. 1.7 Vysokotlaký vývod (vlevo), průřez railem (uprostřed), dráha svařování (vpravo)

Rail 4

Čtvrtý nejvíce vyráběný rail nese označení Rail 4 a jeho základní parametry jsou uvedeny níže.

- průměr 30 mm
- délka 279,7 mm
- váha 1,648 kg

Rail s pěti vysokotlakými vývody, bez úchytnů na motor a s nízkotlakým vývodem.



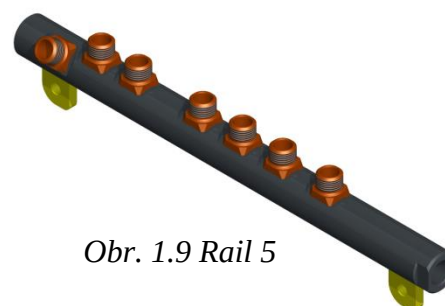
Obr. 1.8 Rail 4

Rail 5

Pátý nejvíce vyráběný rail nese označením Rail 5 a jeho základní parametry jsou uvedeny níže.

- průměr 30 mm
- délka 380 mm
- váha 2,016 kg

Rail se sedmi vysokotlakými vývody, se dvěma úchyty na motor a bez nízkotlakového vývodu.



Obr. 1.9 Rail 5

1.4 Materiál laserově svařovaných railů [21]

Pro laserově svařované raily a prvky potřebnými pro jejich upevnění se používá materiál s označením **20MnCrS5+HH**.

Jedná se o materiál číslo 1.7149, a to podle normy DIN EN 10084. Materiál je to vhodný pro středně a více namáhané díly motorových vozidel a strojírenských součástí vhodných k cementování s vyšší pevností v jádře a s možností prokalitelnosti do 40 mm. Označení HH potom znamená specifický požadavek na prokalitelnost oceli (třídy HH), a aby šla lépe obrábět, je u ní zvýšený obsah síry ($0,02 \div 0,04\%$).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1.5 Způsob činnosti [7]

Palivo stlačené vysokotlakým čerpadlem je přiváděno vysokotlakým palivovým potrubím k přívodu zásobníku rail. Odtud je palivo rozdělováno do několika vstřikovačů.

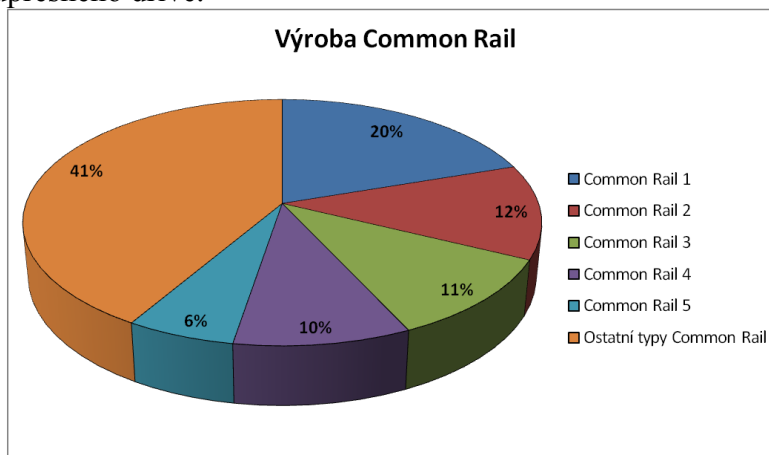
Tlak paliva je měřen snímačem tlaku v railu a pomocí regulačního tlakového ventilu regulován na požadovanou hodnotu. Omezovací tlakový ventil je - v závislosti na požadavcích systému - použit jako alternativa k regulačnímu tlakovému ventilu a jeho úkolem je omezovat tlak paliva v zásobníku rail na maximální povolený tlak. Pomocí vysokotlakých potrubí je palivo stlačené na vysoký tlak v zásobníku rail přiváděno k jednotlivým vstřikovačům.

Objem, který se v zásobníku rail nachází, je trvale doplňován palivem pod vysokým tlakem. Stlačitelnost paliva, dosažená při tomto vysokém tlaku, se využívá k zachování zásobníkového efektu. Jestliže je nyní při vstřikování ze zásobníku odebíráno palivo, zůstává i při odběru většího množství paliva tlak ve vysokotlakém zásobníku konstatní.

2 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY [16],[20],[23],[25]

V současnosti firma Bosch vyrábí přes 80 typů Common Railu (CR), které se liší rozměry, umístěním úchytů, počtem vysokotlakých vývodů a způsobem svařování. Tato diplomová práce je zaměřena na pět nejvíce vyráběných railů. Ty, jak je vidět z grafu (obr. 2.1), tvoří 59% celkové sériové výroby.

Pro tyto raily se bude optimalizovat výrobní proces, a proto jejich konstrukční provedení bylo podrobněji upřesněno dříve.



Obr. 2.1 Graf produkce, kde CR1 až CR5 představují nejvíce vyráběné modely

2.1 Výrobní proces [20]

Výrobní proces Common Railů se skládá z několika fází.

Fáze 1

První fáze se zabývá přípravou jednotlivých komponent pro výrobní proces. Válcové polotovary pro raily se obstarávají od externí firmy, která z šesti metrových tyčí řeže raily potřebné délky, a na jejich koncích se srazí hrana. Zde vzniká problém s prohnutí trubky při jejím dělení. Dalšími nakupovanými komponentami jsou vysokotlaké a nízkotlaké vývody a úchyty k motoru.

Všechny komponenty jsou dopraveny do firmy Bosch, kde dochází ke vstupní kontrole. Po ní dochází k přepravě dílů na pracoviště (sklad, dílna). Vývody jsou přesunuty rovnou k pracovnímu procesu, zatímco válcové polotovary jsou obrobeny v dílně. Jedná se o vyvrtání podélné díry do railu a děr kolmých pro vývody. U některých typů válců se ještě frézovacím procesem upraví plocha pro vysokotlaké vývody.

Jednotlivé díly jsou poté na pracovišti vyprány v pračce. Pro válce se používá vodní pračka, aby se odstranil tuk na povrchu a součást se před montáží očistila. Pro vysokotlaké a nízkotlaké vývody je použita pračka uhlovodíková.

Závěrem je přesun válců na pracoviště s manuální obsluhou.

Fáze 2

Druhá fáze výroby se zabývá svařováním railů. Obsluha vizuálně zkontroluje válec a položí jej do přepravního vozíku na pásu v potřebné poloze (přes prizmo na doraz).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Za pomoci pásu je přesunut do automatické stanice, kde dojde k odporovému navaření nízkotlakého vývodu k tělesu rail (technologie tlaku a elektrického proudu). Rail poté pokračuje do dalšího automatického pracoviště, kde dochází k bodovému navařování vysokotlakých vývodů a úchytů, které slouží k uchycení railu na motor.

Zde, v uzavřeném pracovišti, dochází k bodovému navařování pomocí pevnolátkového **Nd:YAG laseru**, kde aktivním materiálem je izotropní krystal Yttrium Aluminium Granát ($Y_3Al_5O_{12}$) dopovaný ionty neodymu (Nd_{3+}) a z toho vzniká zkratka pro laser, složená z počátečních písmen chemických prvků. YAG je zkratka pro yttrito-hlinitý granát ($Y_3Al_5O_{12}$), což je bezbarvý, opticky izotropní krystal kubické struktury. V současné době je nejdůležitějším krystalem pro granátové lasery, neboť je zvládnuta jeho technika pěstování a opracování do tvarů tyčí při zachování nejvyšší optické kvality. [24]

Bodové navařování je důležitý proces, protože nám zajišťuje, že vývody ani úchyty při dalších operacích a finálním svařování nezmění pozici a ani se nepootočí vlivem napětí při CO_2 svařování. Bodové navařování probíhá dvěma laserovými optikami současně, kdy se svařují paralelně obě jdoucí plochy. Tím se napětí při svařování vyruší a zajistí se správná poloha svařovaných dílců vůči sobě.

Po bodovému navařování následuje 100% kontrola na pracovišti obsluhou a na vývody se nasadí plastové krytky na vybrané nízkotlakové vývody a magnetické (nerezo-hliníkové) krytky na vývody. Ty nám slouží k zabránění ulpění ostříků na vývodech a zachycení kuličky při pozinkování. Raily dále pokračují do automatizovaného prostoru se svařovacím CO_2 automatem a dvěma roboty.

Zde probíhá svařování pomocí svařovacího automatu, kde se jedná o plyný CO_2 laser. Aktivní prostředí CO_2 laseru je tvořeno směsí plynů $He + N_2 + CO_2$ uzavřených ve skleněné trubici. Poměr plynu je nejčastěji 82:13,5:4,5. Proces zesílení začíná excitací molekuly dusíku na vibrační hladinu E_4 . Při srážkách molekul dusíků s molekulami oxidu uhličitého dochází k rezonančnímu přenosu energie a CO_2 se excituje na hladinu E_3 . Při přechodu molekul CO_2 z hladiny E_3 na hladinu E_2 se vyzáří foton. Aby nedošlo ke snížení inverze, je nutné, aby se zajistil návrat molekul CO_2 na základní hladinu E_0 . Obvykle se používá helium, které odmítá CO_2 excitační energii a díky vysoké tepelné vodivosti ochlazuje aktivní prostředí laseru. Výkon plynového laseru se pohybuje od 50 W do 20 kW. [20]

Robot si odebere pomocí speciálního efektoru navrhnutým firmou Bosch rail z přepravního vozíku a dopraví ho pod svařovací hlavu. Na rozdíl od bodového navařování, svařování probíhá pouze na jedné straně railu a až po otočení na straně druhé. Po dokončení svařovací operace robot odloží rail zpět do přepravního vozíku na zpětném pásu a vrátí se na začáteční stanici.

Fáze 3

Zde obsluha vizuálně zkontroluje kvalitu svaru a odebere rail z přípravku. Následuje zkouška těsnosti nízkotlakých vývodů a jejich 100% kontrola. Při intervalové kontrole je rail podroben zkoušce pevnosti nízkotlakých vývodů (stříhová zkouška), metalografické zkoušce a měření po svařování – SPC.

Posledním krokem je přeprava railů do skladu, odtud jsou odeslány k pozinkování povrchu. Poté následuje přeprava zpět do výrobního podniku firmy Bosch v Jihlavě, kde budou následovat další výrobní operace.

Zlepšení výroby railů

Hlavními problémy ovlivňující výrobu railů je deformace trubky při řezání, a dále stále používání totožných částí robotu (opotřebení snižuje přesnost polohování robotu, které je velmi důležité u laserového svařování) a fakt, že svařování probíhá pouze jednou svařovací hlavou, čímž dochází ke zvýšení svařovacích sil a napětí. Vhodným řešením by bylo svařovat vývody dvěma svařovacími automaty proti sobě, což by výrazně snížilo síly i napětí.

Také úpravou pracovních drah robotu se sníží výrobní čas a tím dojde ke zvýšení produktivity.

2.2 Další stroje pro laserové svařování [16],[25]

Laserové svařování patří k nejmodernějším metodám spojování různých typů materiálů. Je využíváno zejména pro svařování dílů, u nichž je kladen důraz na vysoké svařovací rychlosti, přesný, kvalitní svar bez trhlin, nečistot a pórů a nízké tepelné deformace okolního materiálu.

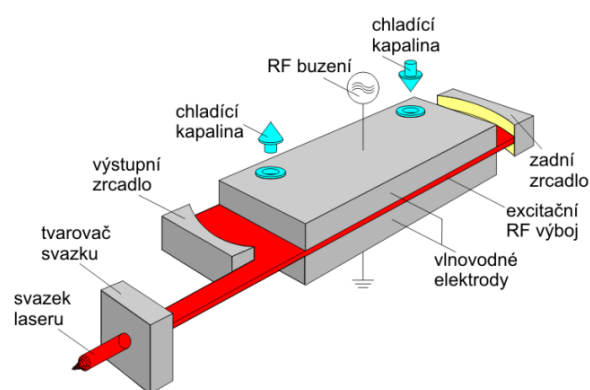
Vysoká procesní rychlost, stabilita a snadná implementace automatizovaného svařovacího procesu a možnost kontroly kvality výsledného svaru on-line, dělá z laserového svařování oblíbenou metodu pro průmyslové aplikace.

Při tavném svařování je pro vytvoření svarového spoje velmi důležitý minimální energetický vstup. Čím nižší je energie vstupující do technologického procesu, tím menším deformacím svarek podléhá. Laser je schopen dodávat vstupující energii ve velmi zfokusované formě, což umožňuje vytvořit hluboký a úzký svar s minimálním teplotně ovlivněným pásmem. Navíc, protože objem roztavené oceli je velmi malý, je možno pracovat i při větších tloušťkách bez přídavného materiálu.

Svařování v jedné vrstvě je možné u materiálů do tloušťky až 12 mm, a to mnohem rychleji než konvenčními metodami. Vysoká kvalita a reprodukovatelnost svaru je zaručena programovým ovládáním manipulátoru i vlastního laseru. Většinu materiálů svařitelných běžnými metodami je možno svařovat i laserem, často mnohem rychleji a s lepšími vzhledovými výsledky. Díky velice malému teplotně ovlivněnému pásmu kolem svaru je v některých případech možné svařovat i materiály, které je velice problematické svařovat konvenčními metodami.

Vynikajícím materiálem pro svařování laserem jsou nerezavějící oceli, kde se dosahují homogenní svary bez pórů, dále nízkouhlíkaté oceli s obsahem uhlíku do 0,3% bez výrazných znečišťujících příměsí a s nízkým obsahem síry. Zaměřený laserový paprsek je schopen roztavit a částečně i odpařit zpracovávaný materiál. Při tomto procesu se na povrchu materiálu vytvoří dutina vyplněná parami kovů o vysokém tlaku a roztaveným materiálem, který je s parami kovu v rovnovážném stavu. Tato dutina funguje jako výborný absorbér laserové energie. Protože tvar této dutiny je hluboký a úzký, zanechává laser hluboký a úzký svar.

Tavná lázeň se chrání před oxidací ochrannou atmosférou, složenou obvykle z dusíku, argonu, oxidu uhličitého nebo helia. Kontrola procesu svařování je zabezpečována ovládáním



Obr. 2.2 Princip laserového CO₂ svařování [23]

výkonu laseru a regulací svařovací rychlosti. Šířku svaru lze ovlivňovat změnou parametrů dopadajícího laserového paprsku pomocí fokusační optiky nebo změnou vzdálenosti svarku od laserové hlavy. [20]

Jedním ze základních argumentů je především malá tepelně ovlivněná zóna, dále vysoká účinnost pevnolátkových laserů, zejména vláknových. Přitom daleko důležitějším parametrem, než vlastní výkon laseru (u kontinuálních laserů) nebo energie v pulzu (u pulzních laserů), je tzv. plošná hustota výkonu, resp. plošná hustota energie, tj. to, do jak malého bodu dokážeme soustředit výkon či energii příslušného laserového zdroje. [25]

Pevnolátkové lasery (Nd:YAG, diskové, vláknové) lze rozdělit na pulzní a kontinuální, přičemž každý z nich má v průmyslových aplikacích své unikátní zastoupení. [25]

Nd:YAG lasery – pulzní a kontinuální (odporové navařování)

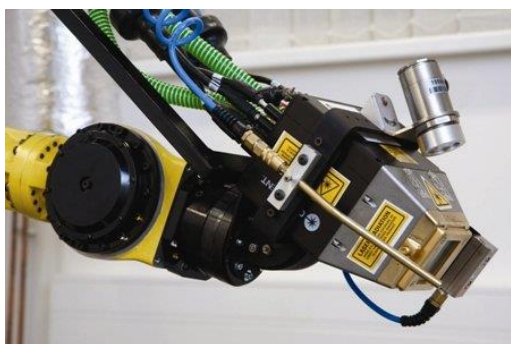
Na obrázku (obr. 2.3) je typický představitel vyšší třídy pulzních laserů, laser JK 300 HP od firmy GSI, kterou v ČR zastupuje firma LAO průmyslové systémy, s. r. o. Výstupní paprsek může být přiveden z laserového zdroje do více výstupních optických vláken, mezi nimiž je možné přepínat, anebo lze výstupní výkon samotného laserového zdroje rozdělit v definovaném poměru do jednotlivých optických vláken. Lampami buzené pulzní Nd:YAG lasery mají stále své nezastupitelné místo v mnoha průmyslových aplikacích laserového svařování, a to hlavně díky energii v pulzu až do 70 joulů.



Kontinuální Nd:YAG lasery již žádná větší laserová firma nevyrábí, neboť ve všech aplikacích byly nahrazeny vláknovými lasery, s výjimkou tzv. diskových laserů. [25]

Obr. 2.3 Pulzní Nd:YAG laser JK 300 HP [25]

Diskové lasery



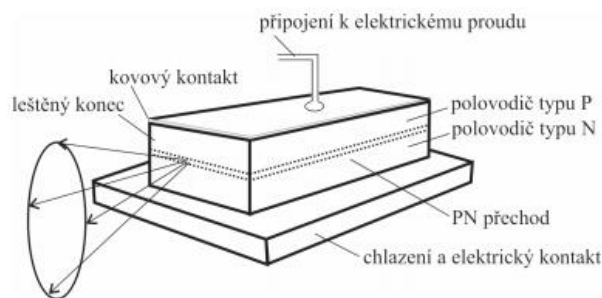
Obr. 2.4 Diodový laser Coherent 4kW umístěný na svařovacím robotu [25]

Ve své podstatě jde o modifikaci Nd:YAG laseru s unikátním řešením vlastního laserového rezonátoru a náhradou aktivního média ve formě válečku za disk podstatně menších rozměrů.

Samotný princip laseru je jistě unikátní a zasloužil si v době svého vzniku jisté uznání. Diskové lasery jsou však poměrně náročné na mechanickou výrobu a samotná účinnost oproti Nd:YAG laserům není výrazně vyšší. V současné době tento typ laseru nabízí jen jedna firma, nejspíš z důvodu, že zaspala vývoj v oblasti vláknových laserů. Je jen otázkou času, kdy tyto typy laserů zmizí z nabídky a budou nahrazeny vláknovými lasery. [25]

Diodové lasery

V posledních letech se pro některé aplikace začínají používat diodové lasery, resp. pole laserových diod, a to s přímým vedením paprsku buď do fokusační optiky, nebo s možností navázání do optického vlákna. Ploška, do níž lze paprsek zaostřit, je oproti „klasickým“ laserům větší, a tudíž se tyto lasery používají hlavně pro svařování, nanášení a povrchové kalení. Díky nižším vlnovým délkám (808 nm, 940 nm) lze tyto lasery s úspěchem používat i pro svařování některých plastů. Další velkou výhodou je vysoká účinnost, nízká hmotnost a malé rozměry, což je vhodná kombinace pro robotizovaná pracoviště. Na obr. 2.5 je uveden příklad 4kW diodového laseru firmy Coherent. [25]



Obr. 2.5 Schéma laserové diody [32]

Vláknové lasery

V posledních cca deseti letech probíhá v oblasti laserových průmyslových technologií poměrně zajímavá diskuse, jejímž odrazem je počet instalovaných laserových systémů s různými laserovými zdroji: vláknové lasery versus CO₂, Nd:YAG a diskové lasery. Je zřejmé, že pulzní Nd:YAG lasery mají stále své nezastupitelné místo v průmyslových svařovacích aplikacích. To, že kontinuální Nd:YAG kilowattové lasery vymizely z nabídek všech předních laserových firem, není náhoda. Stejně tak klesají aplikace svařování s CO₂ lasery. [25]

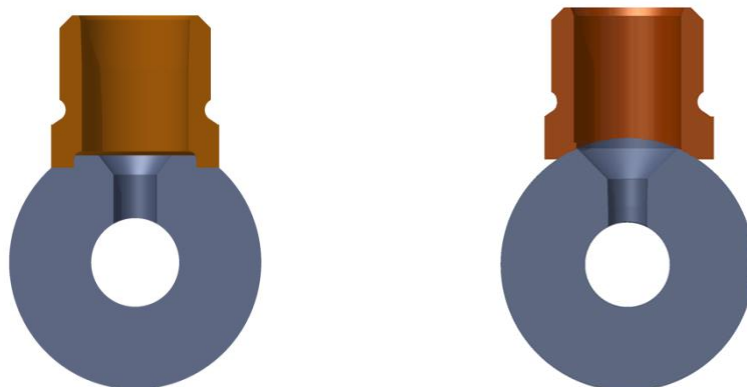


Obr. 2.6 Vláknový laser o výkonu 30 kW [25]

Vláknové lasery představují unikátní typ laseru, ve kterém generace záření probíhá uvnitř optického vlákna dopovaného vzácnými zeminami. Podobné generátory mají ve srovnání s klasickými systémy celou řadu předností: výbornou kvalitu svazku, kompaktnost, nízký příkon a přirozeně nepotřebují žádnou dodatečnou optiku pro navázání výstupu do vlákna. Již dnes jsou běžně k dispozici ověřené a plně funkční systémy s výkony až 50 kW. Přitom jeho velikost je srovnatelná s automatem na chlazené nápoje. Na obrázku (obr. 2.6) je 30kW vláknový laser od firmy IPG, která je v oblasti výkonných vláknových laserů absolutním lídrem. [25]

2.3 Svařování railů laserem

Při svařování dělíme rail na dvě skupiny. Jedna skupina obsahuje raily se zarovnanými plochami pro vysokotlaké vývody a druhá skupina s tvarově upravenými vysokotlakými vývody (viz. obr. 2.7). Svařování probíhá bez přídavného drátu (vývody se zarovnanou plochou), s částečně přidaným drátem (2 mm na konci pro úchyty na motor s 9° vykloněním) a po celé délce (raily s upravenými vývody a úchyty na motor bez natočení).



Obr. 2.7 Porovnání railů (zarovnaní plochy vlevo a upravené vývody vpravo)

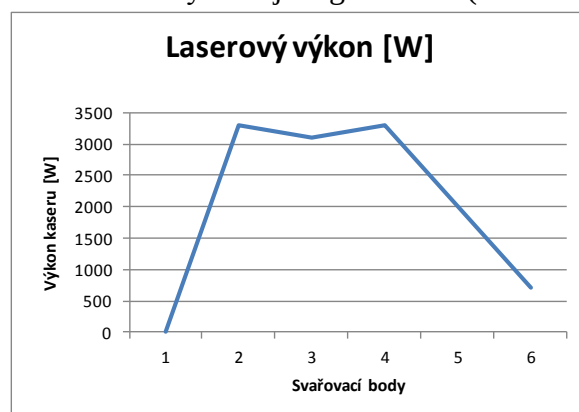
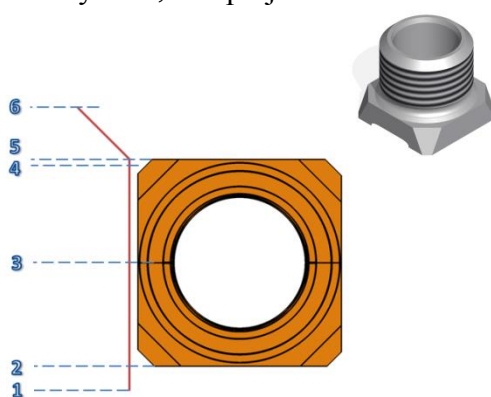
Svařování railu probíhá vždy v ustáleném pořadí (obr. 2.8) bez ohledu na počet vysokotlakých vývodů a úchytů na motor. Vždy se začíná na pravé straně u nízkotlakého vývodu.



Obr. 2.8 Analogie svařování vysokotlakých vývodů Common Rail

Variata se zarovnanými plochami vývodu a railu

Každý vysokotlaký ventil se svařuje zvlášť. To znamená, že svařovací hlava najede, svaří a odjede od vývodů, než přejde k dalšímu. Průběh svařování vývodu je v grafu níže (Obr. 2.9).

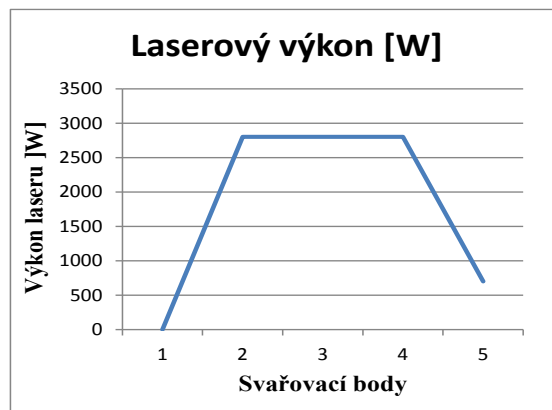
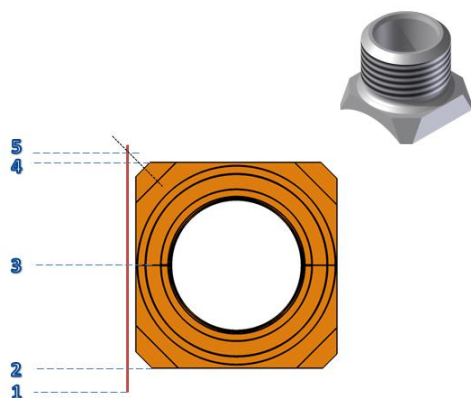


Obr. 2.9 Průběh výkonu laseru na dráze, kde 1 až 6 jsou technologické úkony [35]

Laser najede několik milimetrů před svařovací bod (0-1), poté zvýší laserový výkon a dochází ke svařování (1-2). Laserový výkon postupně klesá, protože se ztenčuje stěna vývodu (2-3). Jakmile laser překročí střed vývodu, vrací se pomalu na svůj původní výkon (3-4). Následně svařuje několik milimetrů za svařovacím bodem 4 (4-5). Zbylých několik milimetrů slouží ke snížení výkonu laseru a k výjezdu svařovací hlavičky od railu (6).

Varianta s tvarově upravenými vysokotlakými vývody a válcovými raily

U této varianty svařování neprobíhá kolmo na svařovací plochu, ale vysokotlaký vývod je vychýlen o 9° od svařovací hlavice.



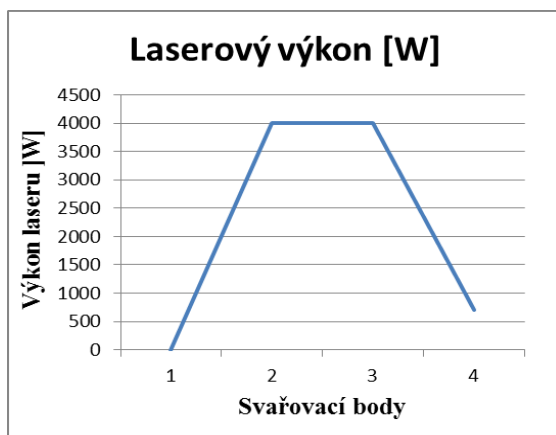
Obr. 2.10 Průběh výkonu laseru na dráze, kde 1 až 6 jsou technologické úkony [35]

Laser najede několik milimetrů před svařovací bod (0-1), poté zvýší laserový výkon a dochází ke svařování (1-2). Laserový výkon je konstantní, protože i stěna vývodu je konstantní (2-3). Následně svařuje několik milimetrů za svařovacím bodem 4 (4-5). Následuje několik milimetrů ke snížení výkonu laseru a k výjezdu svařovací hlavice od railu.

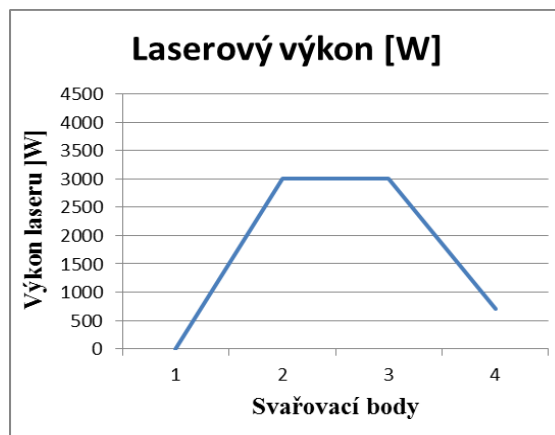
Svařování úchytů na motor

Pro svařování úchytů na motor platí podobná pravidla jako pro vysokotlaké vývody. Pokud má úchyt zarovnanou plochu, není nutné naklápět rail pod svařovací hlavou a výkon je vyšší (obr. 2.11).

V druhém případě s upravenými (zakulacenými) plochami vývodu je nutné natočit rail pod svařovací hlavou a svařovací výkon je nižší (Obr. 2.12).



Obr. 2.11 Průběh výkonu laseru na dráze pro zarovnanou plochu [35]



Obr. 2.12 Průběh výkonu laseru na dráze pro zakulacenou plochu [35]

2.4 Autofretáž [18]

Zásobníky, které mají odolávat tlakům větším jak 1800 barů, jsou podrobeny před svařováním autofretáží.

Autofretáž je proces zvyšující životnost součástí, které jsou v provozu opakovaně zatěžovány vnitřním přetlakem. Pojem autofretáž vychází z francouzského výrazu *frettage*, kterým se označuje zpevňování nádob, potrubí, kol vozů apod., pomocí obručí.

Při autofretáži se součást jednorázově či opakovaně vystaví vnitřnímu přetlaku, jehož velikost se volí takových způsobem, aby se materiál v nejvíce namáhaných oblastech, tj. na vnitřní straně součásti a v přilehlých vrubech, plasticky zdeformoval. Tím v dílci vzniknou zbytková, či residuální napětí a zvýší se cyklická pevnost dílce o 30%. Při odlehčení pak plasticky zdeformované oblasti materiálu brání elasticky zdeformovanému zbytku součásti ve smrštění na původní velikost.

Pokud je součást v provozu cyklicky zatěžována vnitřním přetlakem, pak nejvíce zatěžovanou oblastí je opět vnitřní povrch součásti a přilehlé vruby. Autofretáží vyvolaná tlaková napětí, která zde působí, zmenšují velikost cyklického tahového namáhání a tím prodlužují dobu potřebnou k iniciaci trhliny. Tlaková napětí také zpomalují růst trhliny a v některých případech mohou dokonce způsobit i její úplné zastavení. Tahová napětí na vnější straně součásti zpravidla nemají, vzhledem ke své velikosti, podstatný vliv na životnost součásti.

Autofretovat lze součásti vyrobené z materiálů, které jsou schopné makroplastické deformace, u kterých mez kluzu výrazně nezávisí na směru předchozího zatížení (slabý Bauschingerův jev) a které vykazují stabilitu zbytkových napětí. Vhodné jsou materiály s dostatečnou tažností, a to minimálně 10%.

Běžně se autofretují součásti z ocelí a hliníkových slitin s tažností přes 20 %, úspěšně se však autofretují i součásti z ocelí s tažností menší než 2 %.

K vyvození potřebného tlaku na vnitřní straně součásti se užívají dva základní postupy:

- U rovných tlustostěnných trubek se používá protahování trubky trnem, který má větší vnější průměr, než je vnitřní průměr trubky.
- Tvarově složitější součásti se natlakuji kapalinou. Běžně se používají tlaky do 1000 MPa, známé jsou však i případy, kdy autofretážní tlak přesahuje 1400 MPa.

Při autofretáži se autofretovaná součást trvale deformuje, což může vést k omezení její funkčnosti či způsobovat problémy při montáži. Dodatečné obrábění či ohýbání součásti však zpravidla není žádoucí, protože tyto operace obvykle snižují velikost tlakových napětí na vnitřním povrchu součásti. Podobně nepříznivě působí i vlisování dílců do již autofretované součásti.

Koncovým technologickým procesem je galvanické pokovení (ZnNi) nebo silná vrstva pasivovaného Zn. Do railu jsou zalisovány tlumiče, které nám tlumí hydraulické rázy. V poslední řadě jsou na rail namontovány potřebné snímače a ventily. [18]

3 VÝBĚR VHODNÉHO PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU PRO MANIPULACI [11],[12],[34]

Práce vyžadující rychlost, přesnost, spolehlivost nebo odolnost provádějí roboty mnohem lépe než lidé. Tudiž mnoho pracovních činností v továrnách, kde je tradičně vykonávali lidé, se nyní robotizuje. To vede k levnější hromadné produkci včetně automobilů a elektroniky.

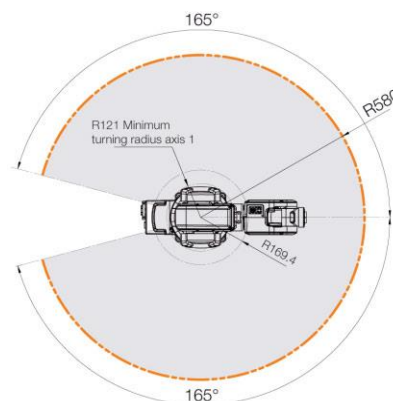
V současné době již pracují roboty v továrnách více než 50 let, a to od doby, kdy byl instalován robot Unimate, aby automaticky odebíral horký kov z tlakové slévárny. Následně se automatizace výroby prostřednictvím velkých stacionárních manipulátorů stala největším odbytištěm pro roboty. Počet instalovaných robotů rostl rychleji a rychleji a dnes je na světě v provozu více než 1 mil. robotů. Polovina populace robotů je v Asii, třetina v Evropě a 16 % v Severní Americe. V Oceánii a Africe je po 1 % robotů. [12]

Tato kapitola se bude zabývat vhodným výběrem průmyslového robotu pro manipulaci s Common Railem.

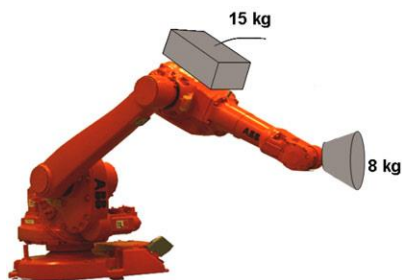
3.1 Základní parametry robotů [34]

Dosah

Dosah robotu udává maximální vzdálenost, které je schopné robot dosáhnout od středu jeho základny.



Obr. 3.1 Dosah robotu [34]



Obr. 3.2 Nosnost robotu [34]

Nosnost

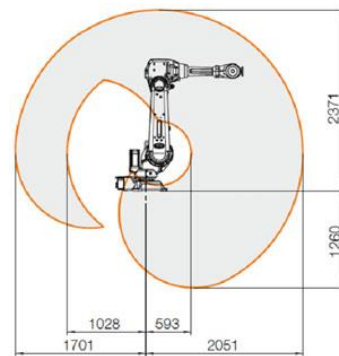
Nosnost udává maximální hmotnost, kterou je robot schopen nést v ose posledního článku. Pokud chceme instalovat na horní rameno robotu další břemeno (např. podavač drátu pro svařování, kabely, aplikační techniku pro vypěňování a podobně), je nutno počítat také s jeho hmotností.

Pracovní oblast

Pracovní oblast je graficky znázorněná plocha, v níž může robot pracovat s akčním členem, který je umístěn na koncové přírubě.

Stupeň krytí

Stupeň krytí udává schopnost robotu odolávat okolním podmínkám (IP67 pro prašná a abrazivní prostředí). Zvládnutí spolehlivého krytí skýtá výhled na delší dobu bez poruchy robotu.



Obr. 3.3 Pracovní oblast [34]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Opakovatelná přesnost

Hodnota udávající přesnost, s jakou je robot schopen opakovaně dosáhnout daného bodu v prostoru. Tato hodnota udává také preciznost daného výrobce.

Přesnost trajektorie

Další z podstatných parametrů pro správný běh průmyslového robotu, i přesto s ním má většina robotů problémy. Přesnost trajektorie je schopnost robotu držet naprogramovanou trajektorii při zvyšování rychlosti.

Rychlost jednotlivých os

Hodnota udávaná ve stupních za sekundu, přičemž se nejedná o reálný obraz rychlosti robotu. Zčásti se jedná o irelevantní údaj, protože roboty se v pracovních cyklech pohybují po kratších drahách, než aby dosáhly maximální rychlosti. Zásadní vliv na výslednou rychlost robotu mají hodnoty zrychlení a zpomalení a způsob, jak je daný výrobce umí adaptivně řídit.

3.2 Důvody k investici do průmyslových robotů [11]

- Snížení provozních nákladů
Robot snižuje výdaje spojené se zaměstnanci, nepotřebuje světlo a vytápění, čímž snižuje náklady na energii. Při snížení teploty o 1°C se průměrně ušetří až 8% energie.
- Zvýšení kvality výroby a zajištění její stálosti
Robot zajišťuje vysokou a opakovatelnou kvalitu výrobků a odpadá tak element lidské chyby (únava, rozptýlení, jednotvárná činnost). Výhodou je neustálé monitorování chodu robotu a okamžité upozornění na chybu.
- Zvýšení množství produkce v čase
Robot je schopen pracovat 24 hodin denně 7 dní v týdnu v nepřetržitém provozu pouze s minimálním dohledem a urychluje proces výroby. Pružnější zavádění nových výrobků do výroby a rychlejší start nové produkce díky technologii offline programování.
- Zvýšení flexibility výroby
Robot je schopen v krátkem momentě přepnout do jiného pracovního programu a pružně reagovat na požadavky zákazníka.
- Snížení počtu zmetků (omezení materiálových ztrát)
Přesnost robotu a integrované kontroly zajišťují vysokou kvalitu a konzistentní výrobu.
- Zvýšení bezpečnosti na pracovišti
Robota je možné použít k nebezpečným, nepříjemným a namáhavým pracím. Jeho použití snižuje možnost úrazů a nehod.
- Zmenšení pracovní plochy
Možnost připevnění robotu na podstavce, stěny nebo stropy umožňuje maximálně využít určený pracovní prostor.
- Vysoká návratnost investice do robotu
Nasazením robotu se sníží provozní a výrobní výdaje, zmetkovitost. Zvýší se produktivita a kvalita.

3.3 Robot a efektor firmy Bosch [17]

Stäubli RS170B

Firma Bosch nyní vlastní robot od firmy Stäubli, a to typ RX170B. Jedná se o neprodlouženou variantu se střední nosností a ovládací jednotkou CS8.

RX170B je robot určený pro čistá i nepříznivá prostředí a lze ho snadno čistit. Vyznačuje se vysokou rychlostí, přesností a flexibilitou, zajišťuje extrémně vysokou pevnost a snadné ovládání. Díky svému velkému dosahu je schopen pokrýt velkou pracovní plochu.

Stäubli RX170B			
Nosnost		30 kg	
Dosah		1 835 mm	
Přesnost		0,04	
Ovládání		CS8	
Počet os		6 os	
Rychlost pohybu robotu	Osa 1	155°/s	
	Osa 2	130°/s	
	Osa 3	205°/s	
	Osa 4	237°/s	
	Osa 5	243°/s	
	Osa 6	562°/s	

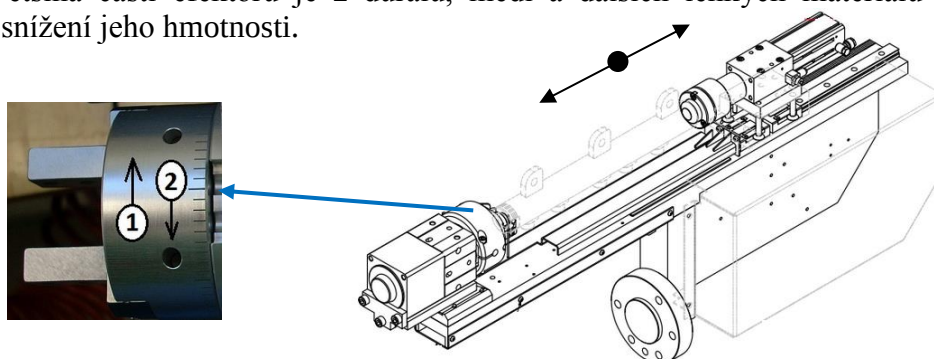
Zařízení je chráněno dle IP54 pro zvýšenou životnost, má 64MB RAM paměť a opatření pro připojení flash disku. Požívá VAL 3 (Multifunkční interpretovaný jazyk) a PLC-IEC 61131-3 jazyk.

Obr. 3.4 Parametry robotu [17]

Efektor

Pro uchopení railů a jejich přemístění pod svařovací jednotku používá Bosch vlastní hydraulický efektor. Jeho výhodou spočívá v možnosti uchopování celé škály vyráběných railů bez potřeby jeho výměny. Samotný efektor váží 20 kg a jeho těžiště je umístěno mimo poslední osu robota, z toho plyne nutnost robota s vyšší nosností.

Efektor je vybaven ložem, po kterém jezdí uchopovací koník, a lze tak měnit rozsah uchopení. Většina částí efektoru je z duralu, mědi a dalších lehkých materiálů (14 220, 19 312) pro snížení jeho hmotnosti.



Obr. 3.5 Efektor [35]

Pracovní postup efektoru se skládá z najetí vedle příslušného railu, změna uchopovacího rozsahu a najetí na rail. K správnému uchopení nám slouží trn na jedné straně efektoru a zámek na druhé straně. Ten nám zaručí stabilní polohu během celé operace a nedovolí přetočení railu.

Celá konstrukce efektoru je uzpůsobena pracovnímu prostoru automatizovaného procesu.

3.4 Výrobci průmyslových robotů [13],[14],[19],[22],[26],[29]

Pro výběr vhodného robotu byl proveden průzkum trhu a na jeho základě bylo vybráno osmnáct robotů (dva až čtyři roboty od každého výrobce).

Základní parametr pro výběr robotu byla manipulační činnost. Po výběru těchto robotů byl výběr zúžen na nejvhodnější robot pro laserové svařování railů od každého výrobce, kdy volba byla konzultována se servisním centrem.

Kuka[19] **KUKA**

Společnost KUKA Roboter GmbH patří mezi nejvýznamnější světové producenty v oblasti průmyslových robotů a řešení automatizace výroby. Společnost KUKA byla založena roku 1898 v Augsburgu v Německu. Roboty se začala zabývat až v roce 1973, kdy sestavila první průmyslový robot známý jako FAMULUS. Jednalo se o první robot se šesti osami řízenými elektromechanicky.

Roboty firmy KUKA jsou nasazovány v různých průmyslových odvětvích od manipulace kovů, přes plasty až po potraviny. Stroje jsou schopny obrábět, manipulovat, osazovat stroje, paletizovat, bodově nebo obloukově svařovat.

Od firmy KUKA byly vybrány následující roboty:

Tab. 3.1 Roboty Kuka [19]

Typ robotu	Počet os	Jmenovitá nosnost	Max. dosah	Přesnost opakování polohy	Typ robotu
	6	16 kg	1 636 mm	0,05 mm	
	6	30 kg	2033 mm	0,06 mm	
	6	30 kg	2 233mm	0,06 mm	
	4	40 kg	2 091mm	0,05 mm	
KR 30-4 KS					KR 40 PA

Fanuc[13] **FANUC**

Od svého založení v roce 1956 je firma FANUC průkopníkem v automatizaci procesu obráběcích strojů prostřednictvím rozvoje numerického ovládacího zařízení CNC. Firma FANUC vyzkoumala a instalovala první robot v Japonsku a zahájila jejich výrobu. V roce 1986, po spojení firem General Electric Co., USA a FANUC Ltd, Japonsko, začala firma vyrábět roboty po celém světě. Dnes je FANUC předním světovým dodavatelem automatizované výroby a instaluje roboty po celém světě.

Od firmy FANUC byly vybrány následující roboty:

Tab. 3.2 Roboty FANUC [13]

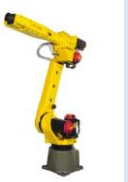
Typ robotu	Počet os	Jmenovitá nosnost	Max. dosah	Přesnost opakování polohy	Typ robotu
	6	20 kg	1 881 mm	0,08 mm	
	4	40 kg	1855 mm	0,5 mm	
	6	20 kg	1 813mm	0,08 mm	
	6	35 kg	1 881 mm	0,08 mm	
M-20iA/20M					M-20iA/35M

ABB [14] **ABB**

ABB (Asea Brown Boveri), s hlavním sídlem v Curychu, je švédsko-švýcarská nadnárodní korporace poskytující technologii pro automatizaci a energetiku. Její historie sahá až do druhé poloviny 19. století a od té doby si vydobyla renomé stabilní značky na světovém trhu. Značka ABB je tak synonymem pro kvalitní a spolehlivé výrobky.

Od firmy ABB byly vybrány následující roboty:

Tab. 3.3 Roboty ABB [14]

Typ robotu	Počet os	Jmenovitá nosnost	Max. dosah	Přesnost opakování polohy	Typ robotu
	6	20 kg	2 500 mm	0,05 mm	
	6	40 kg	2 550 mm	0,06 mm	
	6	45 kg	2 050 mm	0,05 mm	
	6	20 kg	1 550 mm	0,03 mm	
IRB 4600-45					IRB 2400/16

Stäubli [29]

Firma známá po celém světě pro kvalitu jejich designu a přinášení inovací po více než století. Díky proslulým inženýrským znalostem a technologické vynalézavosti se dostala do popředí světové robotiky. Dnes je firma Stäubli Robotics vedoucím hráčem v robotice po celém světě.

Stäubli nabízí kompletní řadu 4-osých a 6-osých robotů, schopných vyrovnat se se zatížením do 190 kg a běžet na jediné platformě.

Tab. 3.4 Roboty Stäubli [29]

Typ robotu	Počet os	Jmenovitá nosnost	Max. dosah	Přesnost opakování polohy	Typ robotu
	6	20 kg	1 000 mm	0,03 mm	
	6	34 kg	1 710 mm	0,05 mm	

Yaskawa [22]

Společnost YASKAWA byla, co se týče robotiky, na čele vývoje od samotného počátku. Vytvořila celosvětově první řídicí jednotku (MRC) robotů schopnou řídit synchronizovaně dva roboty během paletizace, obloukového a bodového svařování. Řídicí jednotka NX100 umožňuje řídit až čtyři roboty synchronizovaně, tedy až 36 os.

V následujících letech se Firma Yaskawa zabývala sedmiosými jednoramennými a třináctiosými dvouramennými roboty s novou revoluční koncepcí robotického ramena s mimořádnou volností pohybu.

Yaskawa nabízí následující roboty vhodné k manipulaci pod laserovou svařovací hlavou.

Tab. 3.5 Roboty Yaskawa [22]

Typ robotu	Počet os	Jmenovitá nosnost	Max. dosah	Přesnost opakování polohy	Typ robotu
	6	50 kg	2 061 mm	0,07 mm	
	6	30 kg	1 485 mm	0,1 mm	
	6	35 kg	2 538 mm	0,07 mm	
	6	35 kg	1 335 mm	0,06 mm	

Mitsubishi [26]

Řada pokročilých robotů MELFA od společnosti Mitsubishi nabízí rychlost, přesnost a kompaktní design a rovněž dlouhou životnost. Roboty MELFA mají ve své třídě nejlepší parametry v oblasti jemných robotických aplikací.

Spektrum produktů zahrnuje univerzálně použitelné roboty s kloubovými rameny se 6 osami s nosností od 2 kg do 20 kg a také roboty SCARA se 4 osami s nosností od 3 kg do 20 kg pro montážní a paletovací aplikace.

3.5 Výběr vhodného robotu od každého výrobce

Na začátku volby robotu bylo vybráno několik robotů od každého výrobce. Kromě firmy Mitsubishi, která se zaměřuje spíše na manipulace s lehčími komponenty a roboty používá hlavně k testovací činnosti. Tato volba byla uskutečněna na základě internetových zdrojů a komunikaci s jednotlivými firmami.

V první fázi výběru byly voleny roboty pouze na základě manipulační činnosti, tedy přesun railu pod svařovací hlavu. K přesnému výběru robotu, ale musíme zvážit mnoho dalších faktorů.

Musíme zvážit vliv prostředí, váhu a rozměry manipulovaného obrobku a v neposlední řadě vlastnosti efektoru. Následující tabulka shrnuje nejdůležitější parametry, které robot musí splňovat.

Tab. 3.6 Požadované parametry robotu

Požadované parametry	
Nosnost	30 kg
Dosah	1 700 mm
Přesnost	0,1
Počet os	6 os
Prostředí	Čisté
Činnost robotu	Manipulace

Na základě těchto parametrů byl vybrán jeden robot od každého výrobce.

KUKA

Jako nejvhodnější se jeví **KR 30-3**. KR16L8arcHW je spíše pro svařování obloukem, KR30-4 KS pro manipulaci ze strojů, na kterých je robot většinou přímo namontován, a KR40 PA je robot paletizační, umožňující manipulaci pouze v horizontální rovině.

FANUC

Na základě požadovaných parametrů **-M20iA/35M**.

ABB

Jako nejvhodnější se jeví **IRB 4600-45**, který i přes 1,5 násobné překročení potřebné nosnosti se hodí jako vhodný manipulační robot.

Stäubli

Jako nejvhodnější se jeví **RX 160**, který má na páté ose vysokou odolnost vůči statickým momentům.

Yaskawa

Původně byl zvažován **MH50 II-35**, ale z důvodu větší nosnosti na chapadlo, které musí být mohutné, byla volba robota změněna na **MH50 II**. Dosah je stále v limitu a konstrukce vydrží ve výrobě 7-10 let. Robot dále dodržuje linearitu pohybu a přesnost přímky v pohybu.

Mitsubishi

Od firmy Mitsubishi nebyl vybrán žádný robot. Firma se specializuje spíše na roboty s menší nosností (do 20 kg) a jejich funce je spíše kontrolní nebo manipulační s malými součástkami.

Vybrané roboty jsou dále porovnávány v následující tabulce pro vybrání nejvhodnějšího robota pro manipulaci se svařencem během svařování laserem.

Tab. 3.7 Podrobný seznam robotů od každého dodavatele [13],[14],[19],[22],[29]

Typ robota		KUKA KR 30-3	FANUC M20iA/35M		ABB IRB 4600-45		STÄUBLI RX 160		YASKAWA MH50 II		
Jmenovitá nosnost		30 kg	35 kg		45 kg		34 kg		50 kg		
Jmenovité přidavné zatížení ramena		35 kg	12 kg		20 kg		18 kg		38 kg		
Max. dosah		2 033 mm	1 813 mm		2 055 mm		1 710 mm		2 061 mm		
Přesnost opakování polohy		<±0,06 mm	±0,08 mm		±0,05 mm		±0,05 mm		±0,07 mm		
Počet os		6	6		6		6		6		
Hmotnost		665 kg	252 kg		435 kg		248 kg		550 kg		
Montážní polohy		podlaha, strop	podlaha, strop		podlaha, strop, nakloněná rovina		podlaha, strop		podlaha, stěna, strop		
Řídicí systém		KR C4	R-30iB		IRC5		CS8C		DX200		
Cena		40.000,- Euro bez DPH	27.000,- Euro bez DPH		44.000,- Euro bez DPH		37 256,80 Euro bez DPH		47.000,- Euro bez DPH		
Technické údaje os		Rozsah	Rychlost při jmenovité nosnosti	Rozsah	Rychlost při jmenovité nosnosti	Rozsah	Rychlost při jmenovité nosnosti	Rozsah	Rychlost při jmenovité nosnosti	Rozsah	Rychlost při jmenovité nosnosti
	1	±185°	140°/s	±370°	180°/s	+180°/-180°	175°/s	±160°	200°/s	±180°	180°/s
	2	+35°/-135°	126°/s	±260°	180°/s	+150°/-90°	175°/s	±137,5°	200°/s	+135°/-90°	178°/s
	3	+158°/-120°	140°/s	±485°	200°/s	+75°/-180°	175°/s	±150°	255°/s	+251°/-170°	178°/s
	4	±350°	260°/s	±400°	350°/s	+400°/-400°	250°/s	±270°	315°/s	±360°	250°/s
	5	±119°	245°/s	±280°	350°/s	+120°/-125°	250°/s	+120°/-105°	360°/s	±125°	250°/s
	6	±350°	322°/s	±900°	400°/s	+400°/-400°	360°/s	±270°	870°/s	±360°	360°/s
Robot											

Pozn.: Cena robotů je aktuální k datu 28.3.2015.

Konečný výběr robota

Bez výsledků multikriteriální metody hodnocení a skutečnosti, že firma Bosch už vlastní robot od firmy Stäubli, se zdá, že nejlepší náhrada za stávající robot je **RX 160**. Zde je výhodou sleva od dodavate. Cena v současné době hraje velikou roli a ovlivňuje návratnost stroje. Druhou nejlepší volbou je **M20iA** od firmy Fanuc. Robot podobný Stäubli ve všech směrech s výjimkou ceny. Zbylé roboty jsou pro danou operaci předimenzované.

3.6 Konečný výběr vhodného robotu pro manipulaci s railem [5],[6],[10]

Z hlediska objektivnějšího výběru nejvhodnějšího typu robotu se nabízí osvědčená metoda multikriteriálního hodnocení navrhovaných variant.

3.6.1 Multikriteriální metoda hodnocení navrhovaných variant

Při výběru nového zařízení, výrobku či obecně technického objektu, stojíme často před otázkou, který zvolit ze široké nabídky trhu, a následně, zda jsme zvolili správně. K tomuto problému můžeme přistupovat buď subjektivně (nadřazená restrikce naznačí, „kdo by měl vyhrát“ po vyhlášení hospodářské soutěže a ukončení výběru dodavatele), nebo si necháme zpracovat expertní posudky od nezávislých odborníků. Ovšem jako seriózní se jeví skutečnost, že užijeme systematických a racionálních metod práce využívající objektivizující matematický aparát. V našem případě využijeme poslední možnost, kdy za využití metod systémového přístupu můžeme paralelně srovnávat například několik nabídkových projektů na dodávku výrobku (stroje, zařízení apod.), nebo provádět **výběr z množství několika variantních řešení (například projekty)**.

Cílem hodnocení například nabídkových projektů je souhrnně vyjádřit **technicko-ekonomickou** (dále je TE) úroveň jednotlivých návrhů a určit pořadí jejich **výhodnosti**. Porovnání TE úrovně technických objektů (nejen výrobků, ale i technologických procesů, racionalizačních návrhů hodnotové analýzy ap.) je obtížné proto, že TE úroveň je popisována soustavou technických parametrů o různých jednotkách. Problém přímé nesčitelnosti hodnot parametrů se musí řešit různými způsoby agregace těchto hodnot tak, aby bylo možné vyjádřit TE úroveň **jedinou hodnotou**. K tomuto účelu bylo vypracováno několik postupů, souhrnně označovaných jako **metody multikriteriálního hodnocení** [6].

Každý předkládaný projekt má obvykle dvě stránky:

- **Technickou**, která vyjadřuje **funkční vlastnosti** projektu, a její úroveň je definována stupněm plnění všech funkcí projektu $\Sigma^{\circ}F_j$.
- **Ekonomickou**, která vyjadřuje náklady na zabezpečení těchto funkcí.

Zatímco náklady A lze poměrně snadno zjistit, neboť jednotlivé nákladové položky mají stejné jednotky, a jsou tedy sčitatelné, stupeň plnění funkcí je třeba určit právě pomocí některé metody multikriteriálního hodnocení. Pak teprve lze určit poměrnou efektivní hodnotu (PEH) každého projektu a podle klesající hodnoty PEH projekty seřadit.

$$PEH = \Sigma^{\circ}F_j/A$$

Nejužívanější metody multikriteriálního hodnocení jsou:

- bazická bodovací metoda
- metoda pořadí
- metoda PATTERN

3.6.2 Bazická bodovací metoda

Protože se obvykle předkládané varianty posuzují na základě většího počtu různých kritérií, patří tato metoda mezi **metody multikriteriálního hodnocení**. Hodnocená hlediska

jsou vyčíslitelná a to významně zjednodušuje proces hodnocení. Použitím **bazické bodovací metody** se porovnává hodnocená varianta se vzorovým řešením – vzorovým etalonem – bází.

Hodnocení konkrétní varianty probíhá jak po stránce **technické** (označení τ), tak i po **ekonomické** (označení ε). Technická i ekonomická hodnota varianty se posléze umísťuje do roviny **hodnotícího** diagramu ($\varepsilon = f(\tau)$), kde je její výhodnost patrná ze vztahu k jiným, rovněž zaneseným variantám.

Stručnou podstatu metody a postup při aplikaci lze uvést v následujících bodech:

- nejprve je třeba provést **reprezentativní výběr parametrů (vlastností)**. Je třeba vyloučit vzájemně závislé parametry. Jejich počet by měl být omezen na podstatné a spolehlivě zjištěitelné.
- stanoví se bodovací stupnice, která hodnotí buď kvalitativní, nebo kvantitativní hodnoty parametrů.
- určí se významnost (váha) parametrů
- provede se hodnocení

Technická hodnota τ

A) Při identifikaci varianty se hodí celá řada **faktorů, parametrů a vlastností**, které označíme jako $T_1, T_2, \dots, T_n$, tj. $T(1, \dots, n)$

kde : n = maximální počet faktorů, parametrů, vlastností
 n = obvykle (1-100)

B) **Hodnotu** každého faktoru, parametru a technické vlastnosti vyjádříme pomocí třídníku $t_1, t_2, \dots, t_j$ se stanovenou (zvolenou) stupnicí, tj. : $t(1, \dots, j)$

kde: t_1 = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti
 t_j = maximální hodnota

s kvantifikací a se slovním hodnocením :

$t_1 = 0$ = nevyhovující (min)

$t_2 = 1$ = velmi slabé

$t_3 = 2$ = vyhovující

$t_4 = 3$ = dobré

$t_5 = 4$ = velmi dobré

$t_6 = 5$ = výborné (tj. vzorové, ideální, 100%) (max)

Doporučený rozsah stupnice třídníku: $t(1, 6)$ nebo $t(1, 10)$ atd.

I když je hodnocení faktorů subjektivní, je však podloženo objektivně zjištěitelnými parametry a vlastnostmi.

C) Hodnocený faktor, parametr, vlastnost lze vyjádřit i procentuálně: $p_T = 100/t_j$ [%]

D) **Relativní technická hodnota** n -tého faktoru, parametru, vlastnosti je pak : $T_n \cdot t_j$

E) **Význam (váhu)** jednotlivých faktorů, parametrů, vlastností pak dle **důležitosti** rozlišíme koeficienty $g_n (\leq 1)$, tedy : $0 < g_n \leq 1$

F) **Technický stav hodnocené varianty** dle různých hledisek je pak :

$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n) = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_j \cdot t_j, \dots, g_n \cdot t_n)$

G) Konečná technická hodnota varianty je pak vyjádřena:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j \cdot t_{\max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_j} \leq 1$$

kde : g_j = koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
 t_j = 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:

$$\tau = 100 \%$$

3.6.3 Aplikace metody MH

Hodnocení průmyslových robotů bylo zaneseno do tabulky (tab. 3.8) a je seřazeno podle důležitosti od 1 do 10 a vypočítáno dle postupu z kapitoly 3.6.2.

Tab. 3.8 Tabulka hodnocení robotů

n	VLASTNOST	OZN.	Kuka				Fanuc				ABB				Stäubli				Yaskawa			
			t_j	g_n	p_T	t_n	t_j	g_n	p_T	t_n	t_j	g_n	p_T	t_n	t_j	g_n	p_T	t_n	t_j	g_n	p_T	t_n
1	Jmenovitá nosnost	T1	3	0,9	33	2,7	4	0,9	25	3,6	3	0,9	33	2,7	4	0,9	25	3,6	2	0,9	50	1,8
2	Přesnost opakování polohy	T2	3	0,9	33	2,7	2	0,9	50	1,8	4	0,9	25	3,6	4	0,9	25	3,6	2	0,9	50	1,8
3	Počet os	T3	5	0,8	20	4	5	0,8	20	4	5	0,8	20	4	5	0,8	20	4	5	0,8	20	4
4	Tech. údaje os	T4	3	0,7	33	2,1	3	0,7	33	2,1	4	0,7	25	2,8	4	0,7	25	2,8	3	0,7	33	2,1
5	Max. dosah	T5	3	0,7	33	2,1	4	0,7	25	2,8	3	0,7	33	2,1	4	0,7	25	2,8	3	0,7	33	2,1
6	Cena	T6	3	0,5	33	1,5	4	0,5	25	2	3	0,5	33	1,5	5	0,5	20	2,5	3	0,5	33	1,5
7	Hmotnost	T7	2	0,4	50	0,8	5	0,4	20	2	4	0,4	25	1,6	5	0,4	20	2	3	0,4	33	1,2
8	Řídicí systém	T8	3	0,3	33	0,9	3	0,3	33	0,9	3	0,3	33	0,9	4	0,3	25	1,2	3	0,3	33	0,9
9	Montážní polohy	T9	3	0,3	33	0,9	3	0,3	33	0,9	5	0,3	20	1,5	3	0,3	33	0,9	4	0,3	25	1,2
10	Jmenovité přídavné zatížení ramena	T10	3	0,2	33	0,6	3	0,2	33	0,6	3	0,2	33	0,6	3	0,2	33	0,6	3	0,2	33	0,6

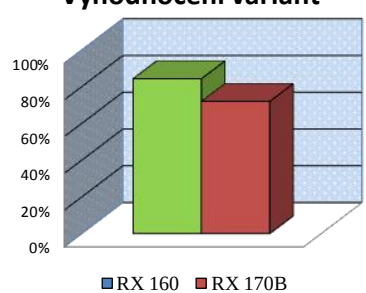
Robot Stäubli má nejvyšší hodnocení $\tau = 0,842$ (84,2%), a je tedy vybrán jako optimální robot pro manipulaci se svařovaným obrobkem rail.

Var.	τ	%
Kuka	0,642	64,2
Fanuc	0,726	72,6
ABB	0,747	74,7
Stäubli	0,842	84,2
Yaskawa	0,604	60,4

3.6.4 Porovnání vybraného robotu s původním řešením ve firmě Bosch

V minulé kapitole byl jako optimální robot pro manipulaci s railem a jeho následným svařováním vybrán robot Stäubli RX 160. Protože se jedná o stejného výrobce, nově navrhovaný robot byl následně porovnán s robotem RX 170B, původně (až do současnosti) nasazeným v sériové výrobě, stejným postupem jako v kap. 3.6.3. Porovnání je v tab. 3.9.

Tab. 3.9 Tabulka porovnání robotů RX 160 a RX 170B [29]

Typ robota		STÄUBLI RX 160		STÄUBLI RX 170B		n	OZN.	RX 160				RX 170B												
								tj	gn	pT	tn	tj	gn	pT	tn									
Jmenovitá nosnost		34 kg		30 kg		1	T1	4	0,9	25	3,6	4	0,9	25	3,6									
Jmenovité přidavné zatížení ramena		18 kg		18 kg		10	T10	3	0,2	33	0,6	3	0,2	33	0,6									
Max. dosah		1 710 mm		1 835 mm		5	T5	4	0,7	25	2,8	4	0,7	25	2,8									
Přesnost opakování polohy		±0,05 mm		±0,04 mm		2	T2	4	0,9	25	3,6	5	0,9	20	4,5									
Počet os		6		6		3	T3	5	0,8	20	4	5	0,8	20	4									
Hmotnost		248 kg		721 kg		6	T6	5	0,4	20	2	2	0,4	50	0,8									
Montážní polohy		podlaha, strop		podlaha		9	T9	3	0,3	33	0,9	3	0,3	33	0,9									
Řídicí systém		CS8C		CS8C		8	T8	4	0,3	25	1,2	4	0,3	25	1,2									
Cena		37 256,80 Euro bez DPH		Stažen z prodeje		6	T6	5	0,5	20	2,5	0	0,5	0	0									
Technické údaje os		Rozsah	Rychlost při jmenovité nosnosti	Rozsah	Rychlost při jmenovité nosnosti	4	T4	4	0,7	25	2,8	3	0,7	33	2,1									
	1	±160°	200°/s	±180°	155°/s																			
	2	±137,5°	200°/s	±120°	130°/s																			
	3	±150°	255°/s	±145°	205°/s																			
	4	±270°	315°/s	±270°	237°/s																			
	5	+120°/-105°	360°/s	+130°/-110°	243°/s																			
	6	±270°	870°/s	±270°	562°/s																			
Robot						<table><tr><th>Varianta</th><th>τ</th><th>%</th></tr><tr><td>RX 160</td><td>0,842</td><td>84,211</td></tr><tr><td>RX 170B</td><td>0,719</td><td>71,930</td></tr></table> Vyhodnocení variant  ■ RX 160 ■ RX 170B										Varianta	τ	%	RX 160	0,842	84,211	RX 170B	0,719	71,930
Varianta	τ	%																						
RX 160	0,842	84,211																						
RX 170B	0,719	71,930																						

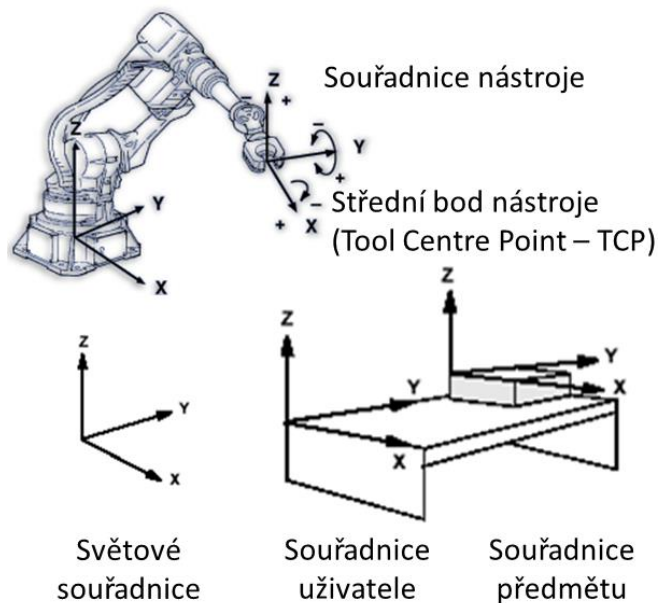
Roboty jsou v mnoha ohledech téměř totožné. Rozdíl ve vyhodnocení způsobila vlastní hmotnost robotu, která ovlivňuje pouze montáž robotu na pracoviště a na výrobu nemá vliv. Výrazným rozdílem zde byla pořizovací cena, robot RX 170B se již nevyrábí (v případě, že by byl robot stále ve výrobě, hodnota τ by byla rovna **0,807**).

Současná výměna robotu za typ RX160 by tedy výrazně nezlepšila výrobu součástky pod názvem Rail v závodu Bosch a bude zvažována za variantní náhradu robotu v případě poruchy robotu RX 170B. Aby tedy došlo k žádoucímu zrychlení procesu, je nutné programování a optimalizace činnosti průmyslového robotu.

4 PROGRAMOVÁNÍ A OPTIMALIZACE ČINNOSTI PR [5], [6], [10]

Při optimalizaci činnosti průmyslového robotu je snaha o docílení plynulého pohybu robotu po celé dráze pohybujícího se ramene. To může být ovlivněno několika parametry jako například maximální průměrnou rychlostí, optimálním tvarem dráhy, minimálním časem pro dosažení potřebného bodu, odstranění rázů při spouštění pohonů, optimální změny zrychlení v čase, úspora energie při pohybu a popřípadě kombinace uvedených parametrů.

Souřadný systém průmyslových robotů využívá světové souřadnice, ty jsou založeny na určeném bodu na podlaze – referenční bod. Počátek souřadnicové soustavy základny je pak nulovým bodem celého robotu. Přičemž tato základna je v úrovni montážní plochy. K tomuto bodu se vztahují transformace polohy koncového bodu efektoru i umístění všech ostatních souřadnicových soustav. Souřadnice uživatele určují polohu upínacího zařízení nebo manipulační palety vzhledem k souřadnicím základny. Polohu obrobku v upínacím zařízení specifikují souřadnice předmětu. Souřadnice nástroje určují TCP (tool centre point) - střední bod nástroje (označovaný také jako nulový bod nástroje). Je to střed otáčení nástroje, který vykonává dráhu zadanou technologickým programem. [10]



Obr. 4.1 Souřadnicová soustava robotu [10]

Pro řízení robotů nebyla zatím vytvořena norma syntaxe technologického jazyka, většina výrobců průmyslových robotů používá k programování robotů vlastní technologický jazyk.

Roboty se programují volbou instrukcí a parametrů, které poskytuje hlavní programová nabídka. Programování probíhá buď intuitivně v ručním režimu navedením nástroje do požadovaného bodu v prostoru a uložení této pozice do paměti, nebo lze programovat pomocí souřadnic v prostoru vzhledem ke zvolené souřadnicové soustavě.

Při programování dráhy se dále volí nástroj, druh a rychlost pohybu, přesnost dosažení cílového bodu, čekací aj. instrukce. Program se ukládá jako textový soubor, může proto být upravovaný s použitím PC. [10]

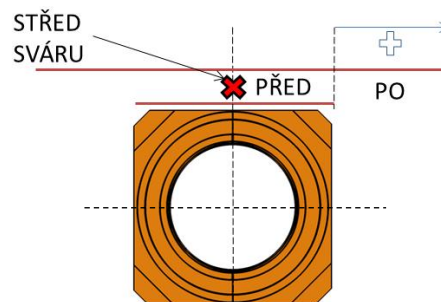
4.1 Optimalizace pohybu robotu

Pro optimalizaci robotu lze použít několik způsobů, přičemž pouze některé jsou vhodné pro manipulaci s nářadím.

Optimalizace začíná již pozorováním robotu za plného chodu a vizuálně jsou zjišťovány neplynulosti v pohybu. Ty nastávají nejčastěji při rozběhu a doběhu motorů robotu. Jakmile je tato neplynulost nalezena, je jí nutno najít v zdrojovém kódu programu. Dále máme několik možností:

Upravení vzdálenosti zastavení (pohyb navázaný na předchozí)

Zvětšením vzdálenosti je dosaženo stavu, kdy robot bude brzdit později, protože vždy najíždí na prostřední souřadnici svaru (Obr. 4.2).



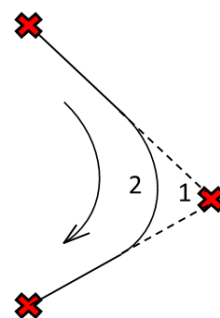
Změna rychlosti robotu

Nevhodné ve většině případů. Zvýšením rychlosti pohyblivých částí robotu dochází k výrazně rychlejšímu eventuálnímu poškození součástí robotu a dále se rapidně se snižuje jeho životnost.

Obr. 4.2 Zvětšení vzdálenosti zastavení

Míjení koncového bodu (Blendování)

Robot mine cílový bod v předem určeném oblouku. V programu se definuje vzdálenost, se kterou robot začne oblouk vytvářet a s jakou vzdáleností ho opustí. Při pravém úhlu se vzdálenosti rovnají, pro ostatní úhly se mohou lišit. Na obrázku (Obr. 4.3) je zobrazena původní dráha 1 a dráha nově vytvořená 2.



Obr. 4.3 Míjení bodu

Změna dráhy robotu

Technicky těžko proveditelné, robot si obvykle sám volí nejkratší a nejvhodnější vzdálenost a body, kterými musí projet jsou technologicky určené. Body je však možné posunout v souřadnicovém systému, a přiblížit tak robot například k svařovací jednotce a snížit výrobní čas.

S tím je ovšem spojena i nemožnost změny drah pro používání jiných částí robotu při přílišném opotřebování robotu. Pokud by měl být robot používán v tom smyslu, musel by tak být naprogramován od začátku. To je technicky velmi náročné a drahé. V praxi se tato možnost nepoužívá.

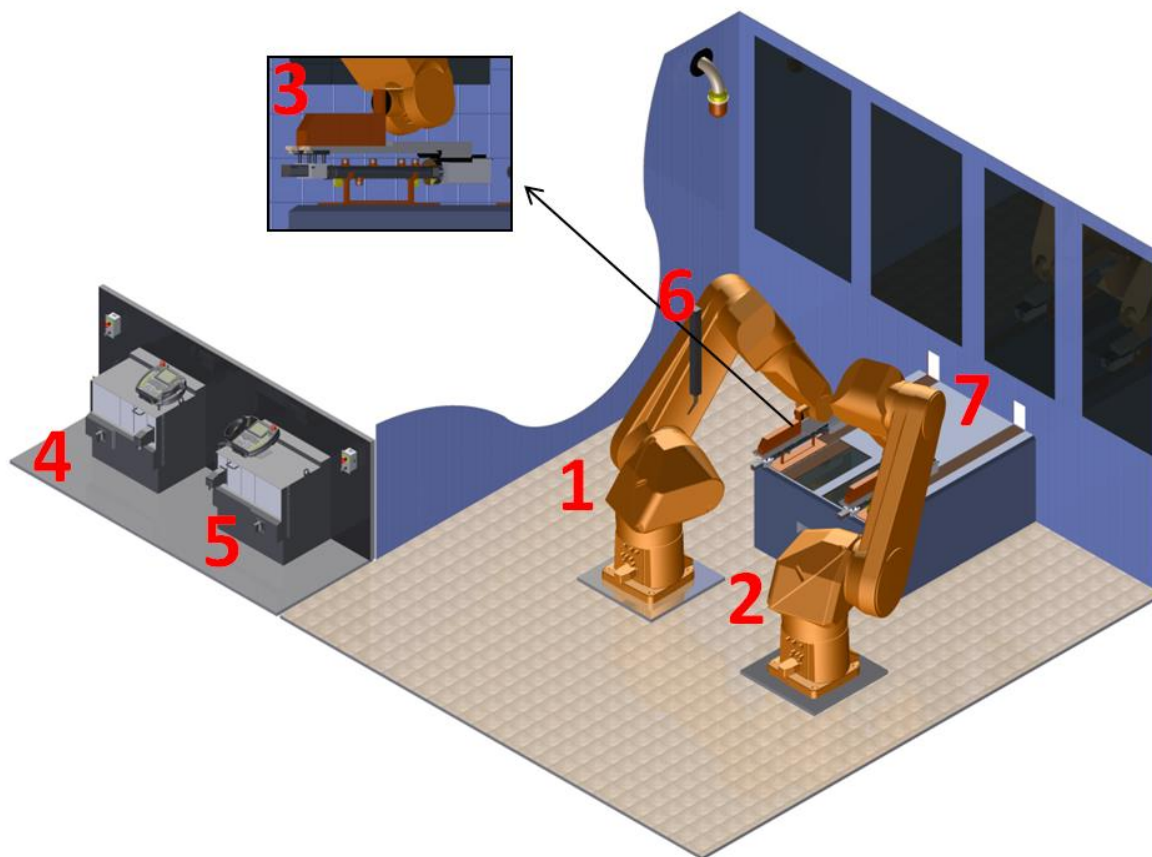
K zjištění účinnosti výše zmíněných změn, je třeba do programovací konzole napsat následující příkazy, které nám jako výstup uvádí čas operace.

Časovač

nAtime = clock()	- funkce vracející volně běžící časový údaj
nAtime = clock()-nAtime	- odečtení aktuálního času od původního
logMsg(toString("8.3",nAtime))	- výsledný čas o max. délce 8 znaků a 3-mi desetinnými místy

4.2 Robotické pracoviště

Ve výrobě pracují současně na jedné lince dva roboty. Roboty nesou označení robot **A** (vlevo) a robot **B** (vpravo). Podrobný popis se nachází v obrázku níže (Obr. 4.4)

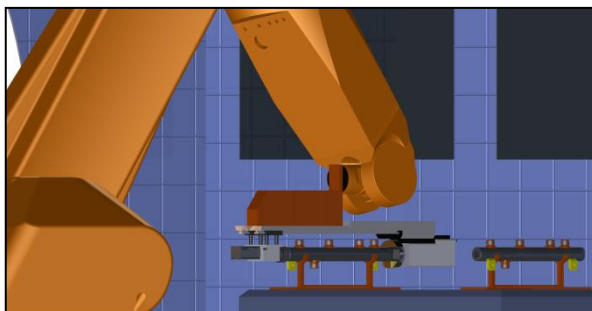


Obr. 4.4 Robotické pracoviště, kde:

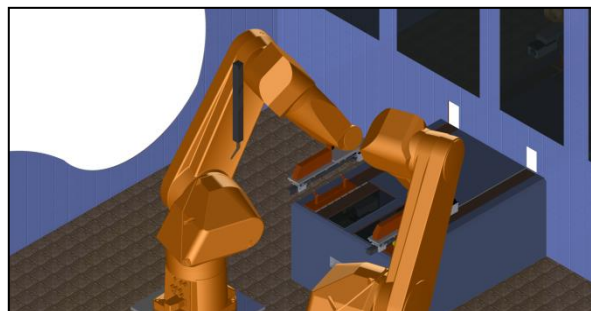
1. Robot A, 2. Robot B, 3. Efektor firmy Bosch s raiem, 4. Řídící konzole pro robot A, 5. Řídící konzole pro robot B, 6. Svařovací jednotka, 7. Dopravní pás.

4.2.1 Popis pohybu robotu

Robot z **Výchozí** pozice najede na rail a pomocí efektoru uchopí rail (obr. 4.5). Efektor má na jedné straně zámek (pozice 3 v obr. 4.4 vpravo), který brání railu v protočení, a pojízdný koník, který přitlačí rail k zámku (pozice 3 v obr. 4.4 vlevo). Takto napevno chycený rail se vrací do **Výchozí pozice** (Obr. 4.6).

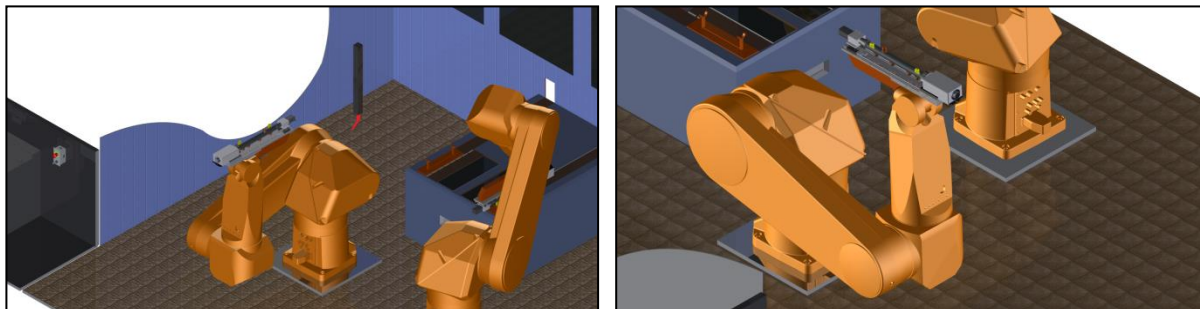


Obr. 4.5 Uchopení Railu



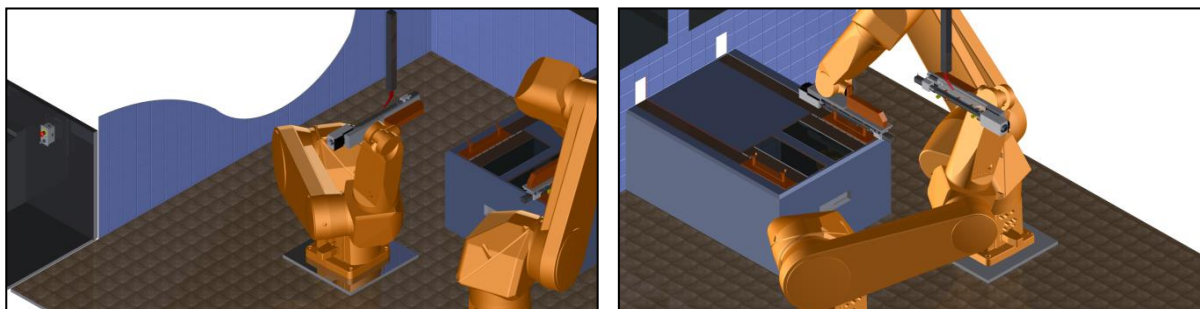
Obr. 4.6 Přesun do Výchozí pozice

Z **Výchozí pozice** se robot otočí převážně ve druhé ose a přesouvá se do **Čekací pozice** (Obr. 4.7). V této pozici kontroluje, zdali je pod svařovací jednotkou robot **B**.

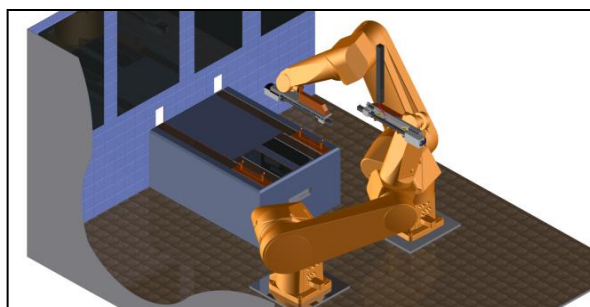


Obr. 4.7 Čekací pozice

Pokud je pozice pod svářecí hlavou prázdná, otočí se okolo první osy a dostane se na **Svařovací pozici** (Obr. 4.8). Zároveň během toho pohybu otočí 6 osou doleva a ve vodorovné poloze nastaví rail pod svařovací hlavou.



Obr. 4.8 Svařovací pozice robota A

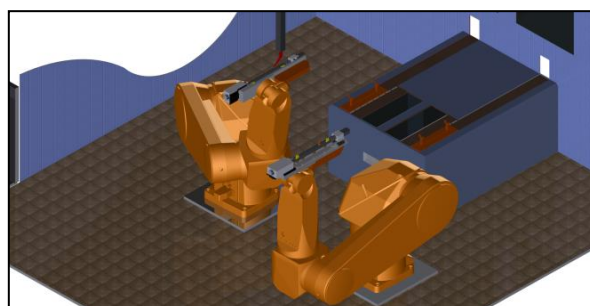


Obr. 4.9 Home pozice robota B

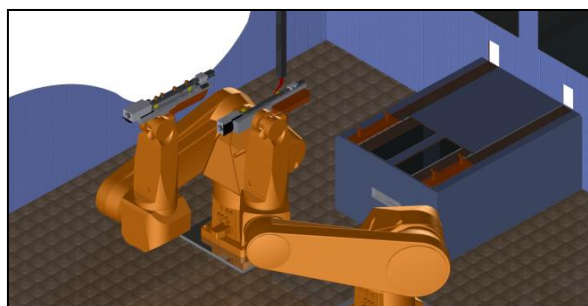
Zatímco tyto úkony vykonává robot A, robot B se přesune z **Výchozí pozice**, která je zrcadlově stejná jako u robota A, zámek zamkne rail a koníkem ho upevní v efektoru. Následně odebere rail z druhého dopravníku a vrátí se do **Výchozí pozice** (Obr. 4.9).

Robot A otočí rail okolo své osy pomocí elektromotoru umístěného v efektoru a začne svařovat druhou stranu railu.

Robot B se otočí okolo druhé osy, dostane se do **Čekací pozice** (Obr. 4.10) a zjišťuje, zda je pod svařovací hlavou robot A. Jakmile robot A dokončí svařovací proces, odjíždí přes **Čekací** a **Home pozici** zpět na dopravník, kde odloží rail a v **Home pozici** čeká na další kus. Robot B se otočí okolo první a šesté osy a svařuje druhý rail (Obr. 4.11).



Obr. 4.10 Čekací pozice robota B



Obr. 4.11 Svařovací pozice robota B

Robot A odebere rail z pásu, odjede do čekací pozice a tam setrvá až do doby skončení svařovacího procesu na robotu B, kdy po otočení railu v efektoru robotu B se svaří druhá strana railu a robot B přes čekací a Home pozici vrátí rail na dopravní pás. Proces se poté opakuje.

4.3 Možnosti použití optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů

Pro snížení výrobních časů a zvýšení produktivity byly navrženy dvě varianty. První varianta se zabývá pouze modifikací již vytvořeného programu, a to za pomoci metod z kapitoly 4.1. Robot A zde koná tu samou činnost jako robot B. Druhá varianta navazuje na první variantu a přidává otáčení robotu v šesté ose v opačném směru při přechodu mezi čekací a svařovací pozicí.

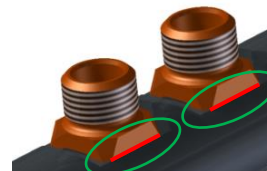
4.3.1 První varianta úpravy pracovního cyklu

Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro jednotlivé typy (Rail 1 až Rail 5) byla prováděna za plného chodu při probíhající výrobě a změny v programu byly ihned promítány do výrobního procesu.

Iteračním postupem bylo u každého typu naměřeno od 40 do 50 časových údajů. Hodnoty přesahující +1,2 s nad čas před upravením kódu byly vynechány. Pro vyhodnocení bylo použito 30 hodnot a jejich průběh byl zaznamenán do příslušného grafu.

Rail 1

U Railu 1 bylo kromě zrychlení procesu z kap 4.1 potřeba dodělat i natočení pod svařovací hlavou, a to z důvodu mezery mezi vysokotlakým vývodem (HD) a railem (Obr. 4.12). V původním případě část laseru prošla mezerou z důvodu výrobních nepřesností a nedocházelo ke správnému svařování. Toto natočení bylo dopsáno do programu.



Obr. 4.12 Mezera mezi HD a railem

Začátek natočení

```
//Pokud máme vysokotlaký vývod s mezerou, tak...
if (libMsc:WELD_POS_TYPE[WeldingPos]==1) or (libMsc:WELD_POS_TYPE[WeldingPos]==3)
//HD Pootoceni +-3°
call calcRot(MiddlePoint,libMsc:WELD_POS_TYPE[WeldingPos])
StartPointWeld=appro(MiddlePoint,ActWeldOffset)
else
//Držák k motoru - ponechano puvodni
StartPointWeld=appro(MiddlePoint,ActWeldOffset)
endif
```

Konec natočení

```
if (libMsc:WELD_POS_TYPE[WeldingPos]==1) or (libMsc:WELD_POS_TYPE[WeldingPos]==3)
//HD Pootoceni +-3°
call calcRot(MiddlePoint,libMsc:WELD_POS_TYPE[WeldingPos])
EndPointWeld=appro(MiddlePoint,ActWeldOffset)
else
// Držák k motoru - ponechano puvodni
EndPointWeld=appro(MiddlePoint,ActWeldOffset)
endif
```

Dále bylo upraveno najíždění na první svařovací pozici. Byla změněna vzdálenost, se kterou robot míjí bod (původní hodnota 5, nyní 20) a byla upravena vzdálenost zastavení robotu (původní hodnota <10, nyní <30).

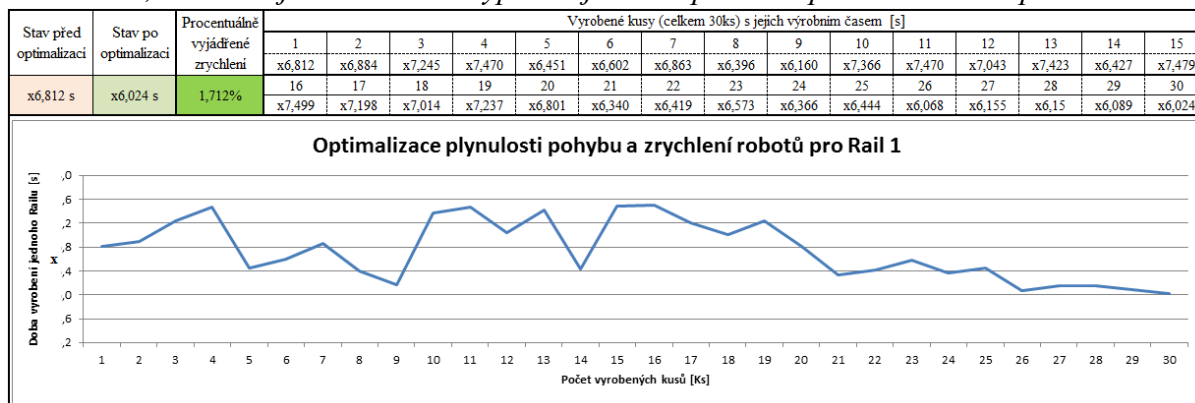
```

mTmpMdesc.blend=joint
mTmpMdesc.leave=20 // (původně 5)
mTmpMdesc.reach=20 // (původně 5)
ActWeldOffset=trsfReset
//robot drive under act.-position
ActWeldOffset.z=ZoffsetWeldTurn.z
move1(compose(HelpEndPoint1,world,ActWeldOffset),TmpGripper,mTmpMdesc)
// waitEndMove()
wait(distance(here(TmpGripper,world),compose(HelpEndPoint1,world,ActWeldOffset)) <30)

```

První změna byla čistě technologická a do změny výrobního času se nepromítla. Druhá změna už, ale měla efekt na snížení výrobního času. Metodou postupného navyšování a snižování hodnot se v průběhu výroby měnil čas potřebný na jeden vyrobený kus (Obr. 4.13).

Poznámka: V níže uvedených tabulkách jsou vepsány číselné hodnoty, které byly brány v potaz během zpracování této DP k datu jejího vypracování a nemusí být v souladu se skutečností, avšak mají dostatečnou vypovídající schopnost o optimalizovaném procesu.



Obr. 4.13 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 1

Po dosažení nejlepšího způsobu nájezdu na bod a jeho míjení se podařilo snížit čas o absolutní hodnotu **0,788 s** (1,712%).

Rail 2

U Railu 2 se úprava pracovního cyklu neprováděla. Byla možnost snížení výrobního času, ale změna by se nepromítla do konečného času potřebného k výrobě railu. Zde se bral v potaz i výrobní čas každého pracoviště, který byl vyšší, jak nynější časová hodnota robotu.

Rail 3

Výrobní čas Railu 3 se snižoval posunutím čekacího bodu před svařováním o 10 ve směru -X a pozice pro vývody.

Původně:

```

move1(compose(libType:HD_pt2[libType:HDCount],world,{0,0,-50,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc)
move1(appro(libType:HD_pt2[libType:HDCount],{-10,-10,-10,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc)

```

Nyní:

```

move1(compose(libType:HD_pt2[libType:HDCount],world,{10,0,-50,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc)
move1(appro(libType:HD_pt2[libType:HDCount],{-3,-3,-10,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc)

```


Dále bylo odstraněno zasekávání pohybu u čtvrtého vysokotlakého vývodu na pravé straně, a to nastavením míjení bodu (původní hodnota blend=off, nyní blend=joint, leave=5 a reach=10) a byla upravena vzdálenost zastavení robotu (původní hodnota <5, nyní <10).

```
//welding HD 4, right side
i=4
    mTmpMdesc.blend=join                //(původně off)
    mTmpMdesc.leave=5                    //(původně off)
    mTmpMdesc.reach=10                  //(původně off)
call calcEndWeldPnt(Weld2,EndDist,ApproEnd,PtTmp)
PtTmpNew=compose(PtTmp,world,{0,0,-30,0,0,0})
move(PtTmpNew,tTool,mTmpMdesc)
wait(distance(here(tTool,world),PtTmpNew)<10)    //(původně 5)
```

Po svaření čtvrtého vývodu na pravé straně, byl ke snížení pracovního času upraven pohyb chapadla. Robot původně vykonal pohyb na pozici a až poté se natočil. Tyto dvě činnosti bylo potřeba vykonat zároveň.

```
Travel=0
    mTmpMdesc.blend=off
//    mTmpMdesc.leave=3
//    mTmpMdesc.reach=3
//    PtTmp=here(tTool,world)
//    PtTmpNew=appro(PtTmp,{0,0,10,0,0,0})
//    move(PtTmpNew,tTool,mTmpMdesc)
//    wait(distance(here(tTool,world),PtTmpNew)<7)
//    waitEndMove()
//    PtTmp=here(tTool,world)
//    PtTmpNew=compose(PtTmp,world,{0,0,-30,0,0,0})
//    move(PtTmpNew,tTool,mTmpMdesc)
//    waitEndMove()

//vypocet koncoveho bodu predchoziho svarovani
call calcEndWeldPnt(Weld2,EndDist,ApproEnd,PtTmp)
PtTmpNew=compose(PtTmp,world,{0,0,-30,0,0,0})
move(PtTmpNew,tTool,mTmpMdesc)

wait(distance(here(tTool,world),PtTmpNew)<10)
RetVal=1
callmotUsrGrpAct(RetVal,gVar:cgGrpRot0deg,gVar:cgGrpRot180deg,gVar:cgToBase,io:ERR_QUIT)
//kontrola vysledku otoceni
wait(RetVal==0)
```

Zbýlé změny v programu byly prováděny na míjení bodů, ve kterých docházelo k zasekávání pohybu robotu, a byla upravena vzdálenost zastavení robotu.

```
//welding HD 1, right side

    mTmpMdesc.leave=20                //(původně 3)
    mTmpMdesc.reach=50                //(původně 3)
//vypocet koncoveho bodu
call calcEndWeldPnt(Weld2,EndDist,ApproEnd,PtTmp)
PtTmpNew=compose(PtTmp,world,{0,0,-75,0,0,0})
move(PtTmpNew,tTool,mTmpMdesc)
//Kvuli rotaci..
wait(distance(here(tTool,world),PtTmpNew)<45)
```

//welding Fix 1, left side

```

mTmpMdesc.blend=joint
mTmpMdesc.leave=10 // (původně 3)
mTmpMdesc.reach=10 // (původně 3)
PtTmpNew=compose(PtTmp,world,{0,0,-45,0,0,0})
move1(PtTmpNew,tTool,mTmpMdesc)
wait(distance(here(tTool,world),PtTmpNew)<20) // (původně 7)

```

//welding HD 1, left side

```

mTmpMdesc.blend=joint
mTmpMdesc.leave=2 // (původně off)
mTmpMdesc.reach=2 // (původně off)

```

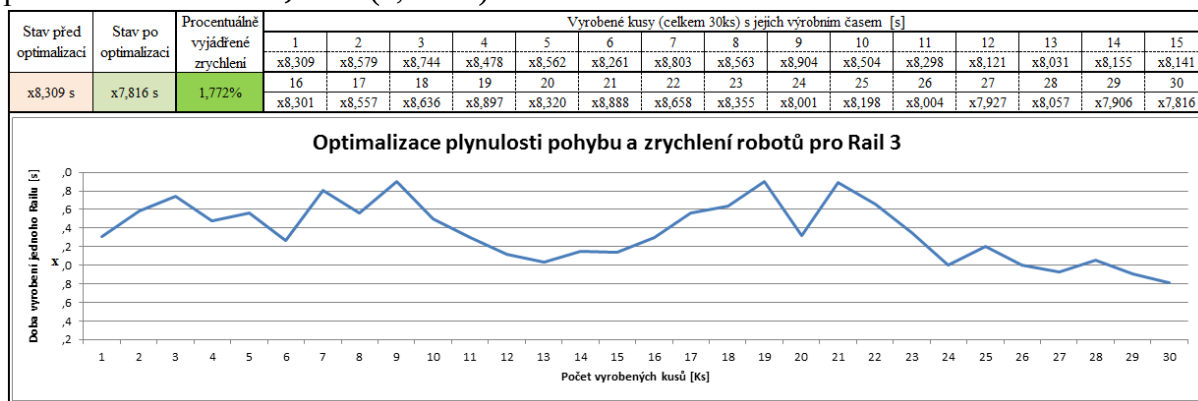
//welding Fix 1, right side

```

mTmpMdesc.blend=joint
mTmpMdesc.leave=1 // (původně off)
mTmpMdesc.reach=1 // (původně off)

```

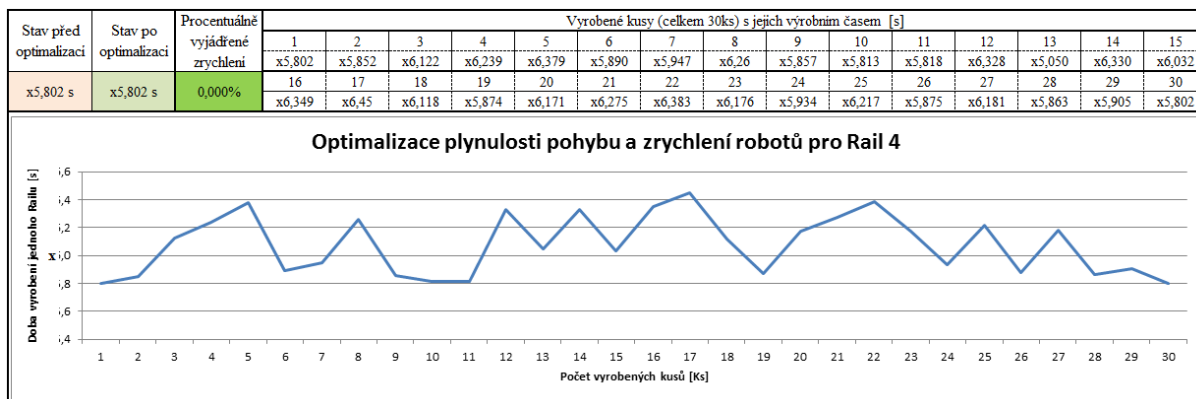
Po těchto změnách v souřadnicích, pohybu chapadla během svařování, v nastavení míjení bodů, vzdálenosti zastavení robotu u pravé strany čtvrtého vysokotlakého vývodu se podařilo snížit čas o **0,493 s** (1,772%) viz obrázek 4.14.



Obr. 4.14 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 3

Rail 4

Pro rail 4 se provedly podobné kroky v úpravě programu, ale výsledný zůstal nezměněn. Žádná ze změn nesnížila výrobní čas (obr. 4.15).



Obr. 4.15 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 4

Rail 5

U Rail 5 byla změna na dvou vytočených vysokotlakých vývodech, a to nastavením míjených bodů (původní hodnota blend=off, nyní blend=joint, leave=8 a reach=30), změna najíždějící souřadnice v ose X o 25 a byla upravena vzdálenost zastavení robota (původní hodnota <7, nyní <35). Dále bylo upraveno zrychlení (z 80 na 100) a zpomalení (80) při pohybu ze základní odebírací polohy do polohy čekací.

Svařování vývodů

```

mTmpMdesc.blend=joint           //(původně off)
mTmpMdesc.leave=8              //(původně off)
mTmpMdesc.reach=30             //(původně off)
PtTmpNew=compose(PtTmp,world,{25,0,-45,0,0,0}) //(původně 0)
move1(PtTmpNew,tTool,mTmpMdesc)
wait(distance(here(tTool,world),PtTmpNew)<35) //(původně 7)

```

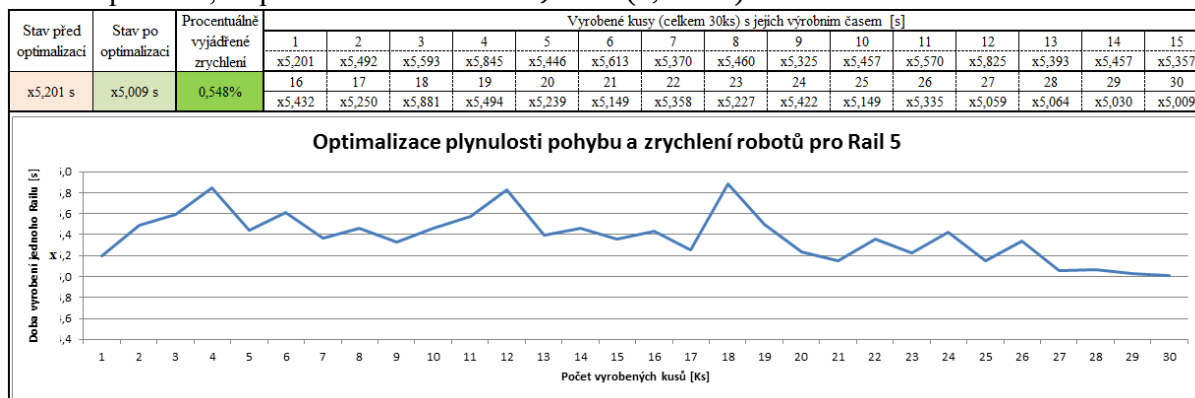
Zrychlení a zpomalení

```

mTmpMdesc.accel=100           //(původně 80)
mTmpMdesc.decel=80

```

Po dosažení nejlepší kombinace nájezdu na bod a jeho míjení, spolu se zrychlením na začátku procesu, se podařilo snížit čas o **0,192 s** (0,548%) viz obrázek 4.16.



Obr. 4.16 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 5

4.3.2 Dílčí závěr k první variantě úpravy pracovního cyklu

Z výše uvedených tabulek a dat je zřejmé, že optimalizace plynulosti procesu a snížení výrobního času formou úpravy programu robota má smysl a zrychlí výrobní proces při svařování railů. Výroba Railu 1, 3 a 5 byla snížena, jak je uvedeno v tab. 4.1. Výrobu Railu 2 nebylo třeba zrychlovat, protože se nejedná o úzké místo linky a výrobu Railu 4 nebylo ani změnou programu robota možné zrychlit.

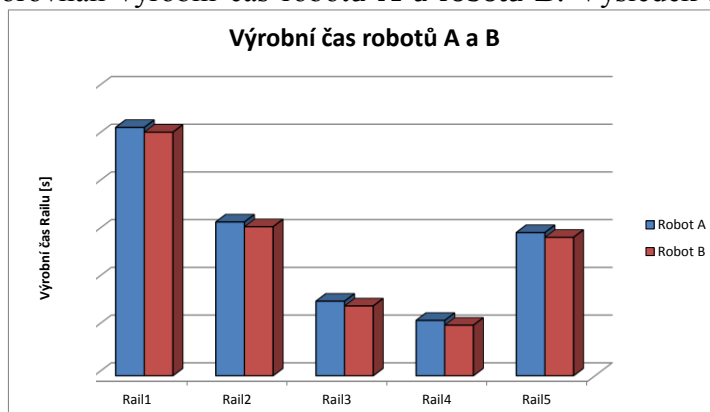
Tab. 4.1 Tabulka zrychlení pracovního cyklu

	Rail 1	Rail 2	Rail 3	Rail 4	Rail 5
Snížení výrobního času o: [s]	0,788 s	0,000 s	0,493 s	0,000 s	0,192 s
Snížení výrobního času [%]	1,712%	0,000%	1,772%	0,000%	0,548%

4.3.3 Druhá varianta úpravy pracovního cyklu

Zatímco první varianta se zabývala pouze snížením výrobního času a plynulostí pohybu robotů (nerozlišovala robota **A** od **B**). Druhá varianta se zaměřuje na dráhu samotných robotů, přesněji jejich natáčením směrem vlevo nebo vpravo versus rail součástce z pohledu svařovacího automatu.

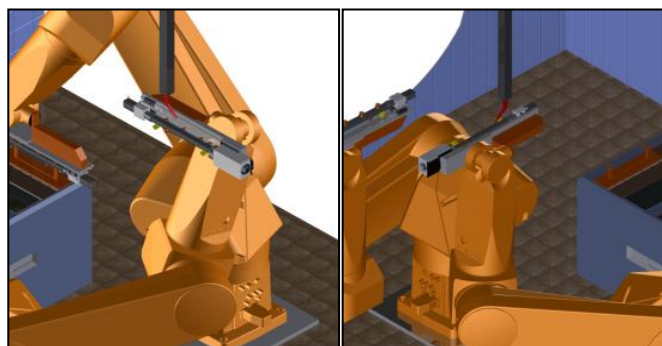
Na začátek byl porovnán výrobní čas robotu **A** a robotu **B**. Výsledek měření je zanesen v grafu (obr. 4.17).



Obr. 4.17 Porovnání časů potřebných pro výrobu railu na robotu A a B

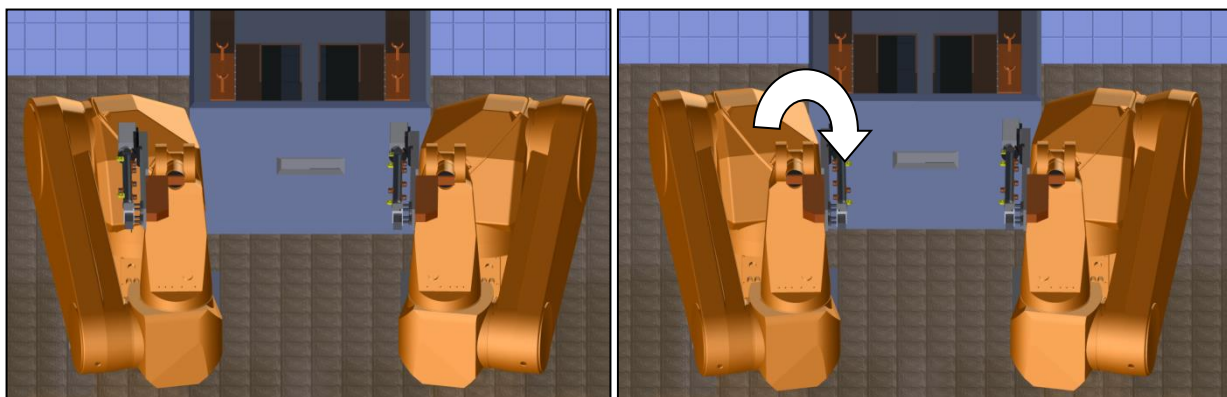
Z grafu je patrné, že robot **A** potřebuje k výrobě všech typů railů více času. To je způsobeno tím, jak se roboty pohybují. Pro přesun railu z pásu do čekací pozice to není problém. Ten nastává při přesunu railu pod svařovací hlavu. Jak bylo řečeno v kap. 4.2.1, roboty vykonávají naprosto totožné pohyby, což znamená přetočení robotu okolo šesté osy doleva (obr. 4.18) a nájezd na pozici.

Otočení doleva je ale vhodné pouze pro robot **B**, nikoli však pro robot **A**. Robot **B** tedy koná kratší dráhu pro dosažení svářecí hlavy. Je nutné tedy přeprogramovat robot **A** tak, aby pracoval zrcadlově k robotu **B** (obr. 4.19). Přičemž veškeré změny ve zdrojovém kódu z **varianty 1** jsou ponechány i pro tuto variantu.



Obr. 4.18 Otočení robota pod svářecí hlavu (robot A vlevo a robot B vpravo)

Touto změnou v programu robotu lze dosáhnout zrychlení celkového procesu manipulace při svařování až o **0,7 s**.



Obr. 4.19 Porovnání pracovního cyklu před (vlevo) a po úpravě (vpravo)

```

call motUsrGrpAct(RetVal,gVar:cgGrpRot0deg,gVar:cgGrpRot180deg,gVar:cgToBase,io:ERR_QUIT)
ApproY=6 // (původně -6)
ApproX=4.5 // (původně -4,5)
movej(appro(Weld2,{0,-50,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc)
//movej(appro(here(tTool,world),{0,-50,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc)
mTmpMdesc.blend=joint
mTmpMdesc.leave=20
mTmpMdesc.reach=20
waitEndMove()
//-- Druha strana ---//-----
call motUsrGrpAct(RetVal,gVar:cgGrpRot0deg,gVar:cgGrpRot180deg,gVar:cgToBase,io:ERR_QUIT)
movel(appro(Weld2,{0,-60,-120,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc) // (původně -90)
//movel(appro(here(tTool,world),{0,0,0,0,0,-90}),tTool,mTmpMdesc)
//movel(appro(here(tTool,world),{0,0,0,0,0,-90}),tTool,mTmpMdesc)
//waitEndMove()
//movel(appro(here(tTool,world),{0,0,0,0,0,-90}),tTool,mTmpMdesc)
mTmpMdesc.blend=joint
//-- jed k poslednimu HD --//
movel(appro(libType:HD_pt3[5],{40,20,-20,0,0,0}),tTool,mTmpMdesc) // (původně -20)
//welding HD_pt1 to HD_pt2
//approximation end position;
StartDist=-libType:HDStartWelding
EndDist=libType:HDDStopWelding
ApproX=4.5
ApproY=-6 // (původně 6)
ApproZ=EndDist
ApproRZ=0
ApproEnd={ApproX,ApproY,ApproZ,0,0,ApproRZ}

```

+ knihovny s nastavenými parametry robotu pomocí učící (Teaching) metody v příloze

4.3.4 Dílčí závěr k druhé variantě úpravy pracovního cyklu

Protože druhá varianta úpravy pracovního cyklu vychází z první varianty, dojde ke sčítání úspory času (viz. tab. 4.2).

Tab. 4.2 Tabulka zrychlení pracovního cyklu

	Rail 1	Rail 2	Rail 3	Rail 4	Rail 5
Snížení výrobního času o: [s]	1,488 s	0,700 s	1,193 s	0,700 s	0,892 s
Snížení výrobního času [%]	3,283%	1,977%	4,400%	2,789%	2,600%

Druhá varianta snížila výrobní čas i u Railu 2 a 4, kde to nebylo první variantou možné.

4.4 Teoretické snížení výrobního času

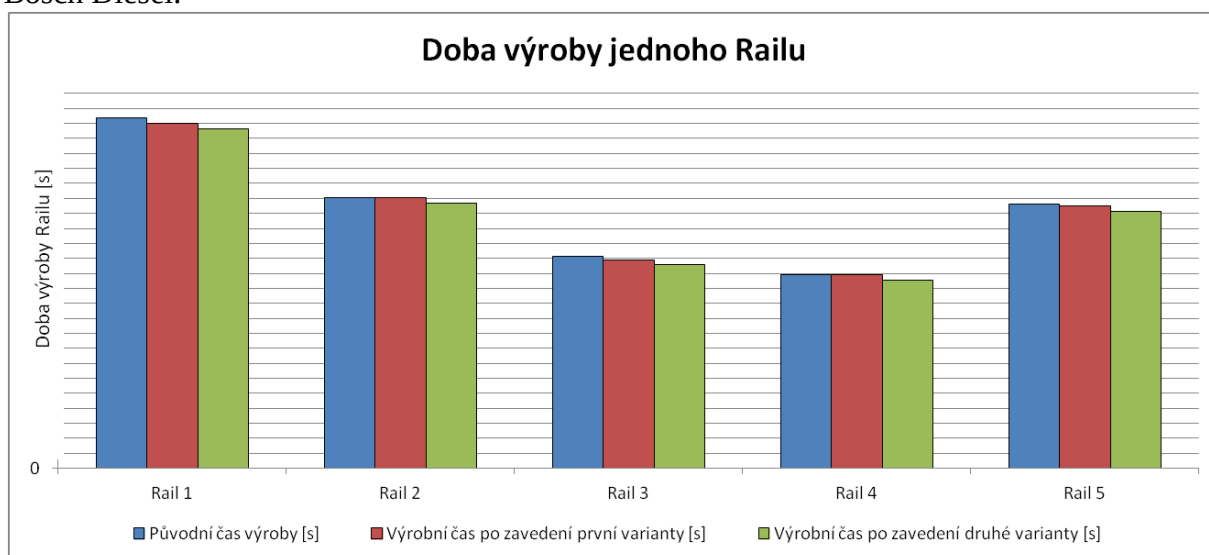
Dalšími možnostmi snížení výrobního času při manipulaci s Common Rail při svařování CO₂ laserem by byla změna způsobu svařování. V současnosti se svařuje jedna strana railu, poté se rail otočí, najede se zpět k prvnímu vysokotlakému vývodu a svařuje se druhá strana. Snížení času by šlo docílit, kdyby se svařila jedna strana a druhá by se svařovala po otočení při zpátečním pohybu (ušetril by se jedna cesta robotu). Další variantou je zrychlení laseru, zvýšením jeho výkonu a zmenšení svařovací plochy.

Tyto změny nejsou ovšem možné z technologického hlediska, a to z důvodu zákazníka, který málokdy přistoupí na podobné změny, již fungujícího systému a také náročnost nových funkčních zkoušek výrobku je drahá a potřebná.

5 VYHODNOCENÍ VARIANT

Pro výběr vhodné technické a zároveň ekonomické varianty bylo zvažováno použití multikriteriální metody hodnocení jako v kapitole 3.6 (Konečný výběr vhodného robotu). Jak je ale patrné z předchozí kapitoly, použití multikriteriální metody hodnocení by zde nebylo vhodné, a to z důvodu, že varianta 2 je pouze vylepšení varianty 1 (viz. obr. 5.1).

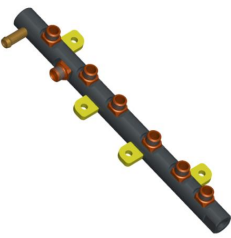
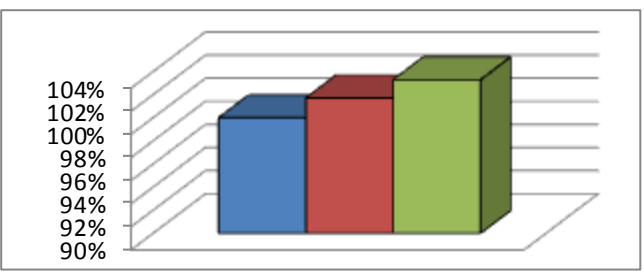
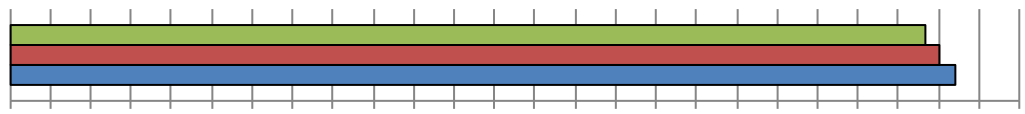
Rozdíl v obou variantách je pouze ten, že první variantu je možno použít pouze na Rail 1 až Rail 5, zatímco druhou variantu je možno rozšířit na všechny typy railů vyráběných firmou Bosch Diesel.



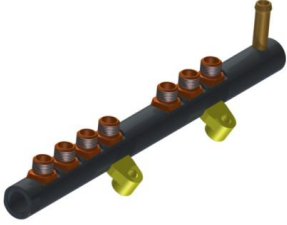
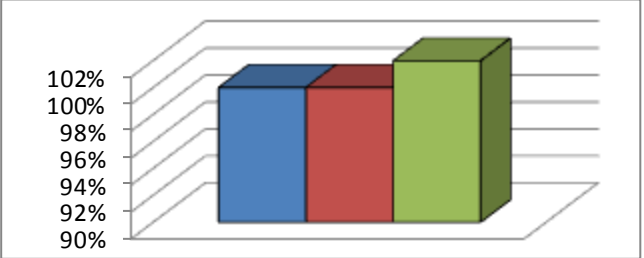
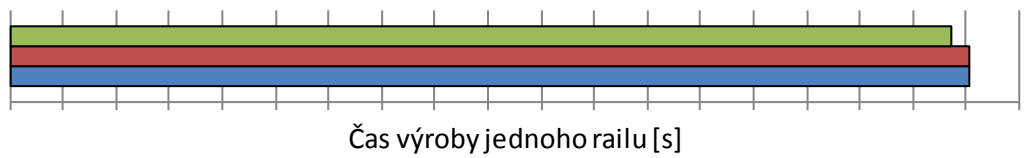
Obr. 5.1 Porovnání výroby jednoho kusu railu jednotlivými variantami

5.1 Porovnání variant optimalizace

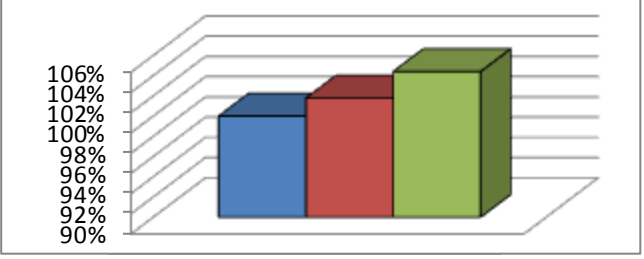
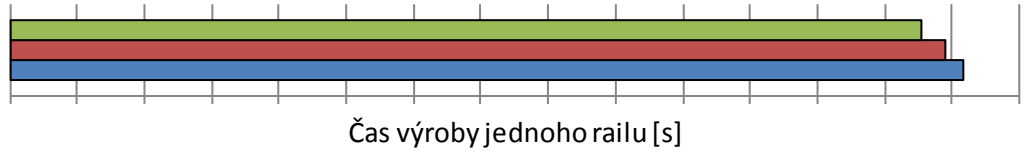
Tab. 5.1 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 1

Rail 1	Produktivita [ks/rok] = Produktivita [Kč]		
			
Délka - 370 mm	Před	Po první variantě	Po druhé variantě
Hmotnost - 2,420 kg	100,000%	101,712%	103,283%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x6,812 s	x6,024 s
			x5,324 s
			
Čas výroby jednoho railu [s]			

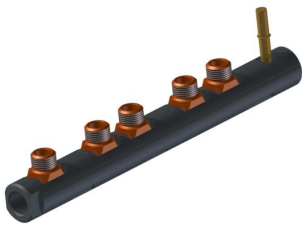
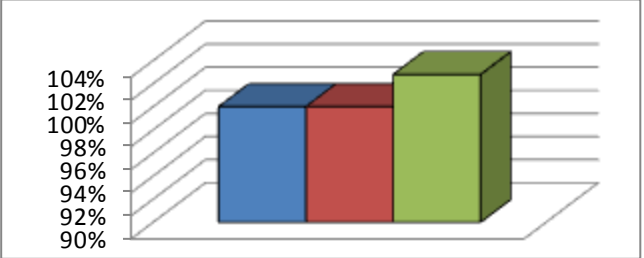
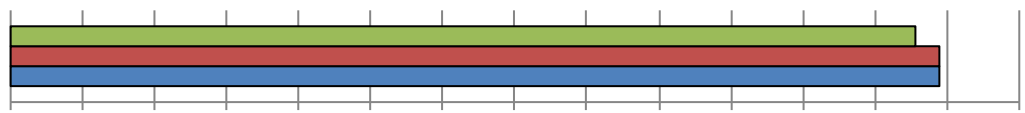
Tab. 5.2 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 2

Rail 2	Produktivita [ks/rok] = Produktivita [Kč]		
			
Délka - 374 mm	Před	Po první variantě	Po druhé variantě
Hmotnost - 2,264 kg	100,000%	100,000%	101,977%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x6,109 s	x5,409 s
			

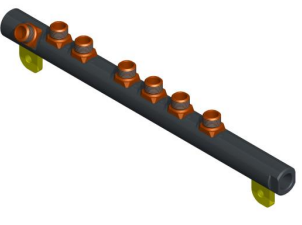
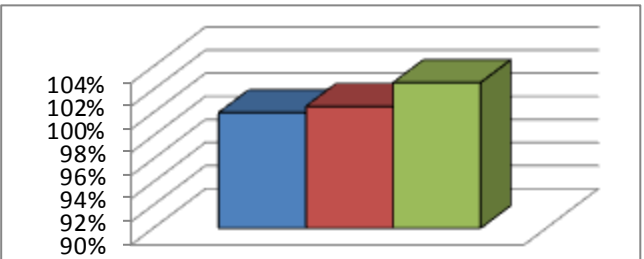
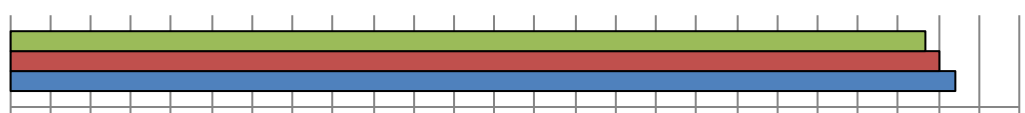
Tab. 5.3 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 3

Rail 3	Produktivita [ks/rok] = Produktivita [Kč]		
			
Délka - 322,5 mm	Před	Po první variantě	Po druhé variantě
Hmotnost - 1,715 kg	100,000%	101,772%	104,400%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x8,309 s	x7,116 s
			

Tab. 5.4 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 4

Rail 4	Produktivita [ks/rok] = Produktivita [Kč]		
			
Délka - 279,7 mm	Před	Po první variantě	Po druhé variantě
Hmotnost - 1,648 kg	100,000%	100,000%	102,789%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x5,802 s	x5,102 s
 Čas výroby jednoho railu [s]			

Tab. 5.5 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 5

Rail 5	Produktivita [ks/rok] = Produktivita [Kč]		
			
Délka - 380 mm	Před	Po první variantě	Po druhé variantě
Hmotnost - 2,016 kg	100,000%	100,548%	102,600%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x5,201 s	x4,309 s
 Čas výroby jednoho kusu [s]			

5.2 Vyhodnocení variant úpravy pracovního cyklu

Na základě tab. 5.1,5.2,5.3,5.4,5.5, kde byla brána v potaz, jak kusová výroba, tak produktivita v Kč (grafy a čísla jsou stejná, hodnota v Kč je pouze vynásobením kusové výroby podle vzorce z kapitoly 7.1 vzorec (2)), byla jako **vhodnější varianta úpravy pracovního cyklu vybrána druhá varianta**.

6 ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU HW A SW ÚPRAV

Z pohledu hardwarových úprav nedošlo k reálnému přínosu. I přes osmnáct navržených robotů, jejich vyhodnocení multikriteriální metodou hodnocení a porovnáním se současným robotem využívaným ve výrobě by se nevyplatilo pořízení nového robotu. Navržený robot Stäubli RX 160 tedy zůstává jako záložní varianta pro případ poruchy současného robotu Stäubli RX 170B.

Protože hardwarové úpravy nepřinesly požadovaný výsledek ke snížení výrobních časů a neovlivnily produkci tlakových zásobníků paliva Common Rail, bylo nutné provést optimalizaci pomocí softwarových úprav.

6.1 První varianta úpravy pracovního cyklu v programování PR

První varianta snížila výrobní čas u třech typů (Rail 1, 3 a 5) a tím došlo ke zvýšení produktivity. Tato varianta také zlepšila pohyblivost robotu po pracovní dráze, odstranila trhavé pohyby, které měly nepříznivý dopad na mechanické součásti robotu.

Nevýhodou této varianty je skutečnost, že ji lze aplikovat pouze na tři výše zmíněné raily.

Tab. 6.1 Tabulka snížení výrobního času pracovního cyklu první variantou

	Rail 1	Rail 2	Rail 3	Rail 4	Rail 5
Snížení výrobního času o: [s]	0,788 s	0,000 s	0,493 s	0,000 s	0,192 s

6.2 Druhá varianta úpravy pracovního cyklu v programování PR

Druhá varianta vylepšila první variantu o přetočení railu robotem A po opuštění čekacího bodu směrem doprava, namísto původního pohybu doleva. To snížilo výrobní čas o **0,7 s** nejenom u všech níže zmiňovaných railů, ale po nenáročném zavedení tohoto kroku lze snížit výrobní čas u všech ostatních railů.

Tab. 6.2 Tabulka snížení výrobního času pracovního cyklu druhou variantou

	Rail 1	Rail 2	Rail 3	Rail 4	Rail 5
Snížení výrobního času o: [s]	1,488 s	0,700 s	1,193 s	0,700 s	0,892 s

6.3 Porovnání obou variant

Výsledné časy jsou uvedeny v tabulce níže (tab. 6.3).

Tab. 6.3 Tabulka snížení výrobního času pracovního cyklu obou variant

	Rail 1	Rail 2	Rail 3	Rail 4	Rail 5
Původní čas výroby [s]	x6,812	x6,109	x8,309	x5,802	x5,201
Výrobní čas po zavedení první varianty [s]	x6,024	x6,109	x7,816	x5,802	x5,009
Výrobní čas po zavedení druhé varianty [s]	x5,324	x5,409	x7,116	x5,102	x5,309

7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení je zaměřeno převážně na produktivitu a výrobní časy pěti vybraných railů.

7.1 Postup výpočtu

Poznámka: V níže uvedených výpočtech nejsou vepsány konkrétní číselné hodnoty, které byly brány v potaz během zpracování této DP k datu jejího vypracování a to z důvodu důvěrnosti poskytnutých dat ze strany Bosch Diesel, s. r. o. Jihlava, které nemohou být z pochopitelných příčin uvedeny ve veřejné diplomové práci. Níže uvedené vztahy jsou tzv., prázdné, nečíselné, ale obecně platné.

První varianta úpravy pracovního cyklu v programování PR

Počet vyrobených kusů za rok: _____ ks
Čas potřebný pro výrobu jednoho kusu: _____ s
Cena jednoho kusu: _____ Kč
Zrychlení linky první variantou: o _____ s

Roční výrobní doba

$$t_r = N \cdot t_1 = \text{_____ s} \quad (1)$$

kde:

t_r s - Roční výrobní doba
 N_1 ks - Počet vyrobených kusů za rok
 t_{k1} s - Čas potřebný pro výrobu jednoho kusu

Roční produktivita

$$Pr = N_1 \cdot Cr = \text{_____ Kč} \quad (2)$$

kde:

Cr Kč - Cena jednoho kusu

Nový čas výroby jednoho kusu

$$t_p = t_1 - t_2 = \text{_____ s} \quad (3)$$

kde:

t_p s - Nový čas výroby jednoho kusu první variantou
 t_2 s - Snížení času linky první variantou

Nový počet vyrobených kusů za rok a rozdíl kusů

$$N_2 = \frac{t_r}{t_p} = \text{_____ ks} \quad (4)$$

$$N_{r1} = N_2 - N_1 = \text{_____ ks} \quad (5)$$

kde:

N_2 ks - Nový počet vyrobených kusů za rok první variantou
 N_{r1} ks - Rozdíl kusů za rok první variantou

Zvýšení roční produktivity o:

$$P_{zr1} = N_{r1} \cdot C_r = \text{_____ Kč} \quad (6)$$

kde:

P_{zr1} Kč Zvýšení roční produktivity první variantou

Druhá varianta

Snížení času linky druhou variantou: 0,7 s

Sečtení snížení časů z první a druhé varianty

$$t_s = t_2 + t_3 = \text{___} \text{ s} \quad (7)$$

kde:

t_s s Sečtení snížení času první a druhé varianty

t_3 s Snížení času linky druhou variantou

Nový čas výroby jednoho kusu

$$t_d = t_1 - t_s = \text{___} \text{ s} \quad (8)$$

kde:

t_d s Nový čas výroby jednoho kusu druhou variantou

Nový počet vyrobených kusů za rok a rozdíl kusů

$$N_3 = \frac{t_r}{t_d} = \text{___} \text{ ks} \quad (9)$$

$$N_{r2} = N_3 - N_1 = \text{___} \text{ ks} \quad (10)$$

kde:

N_3 ks - Nový počet vyrobených kusů za rok druhou variantou

N_{r2} ks - Rozdíl kusů za rok druhou variantou

Zvýšení roční produktivity o:

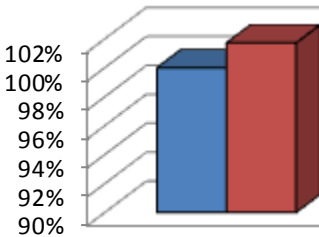
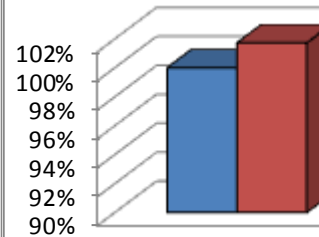
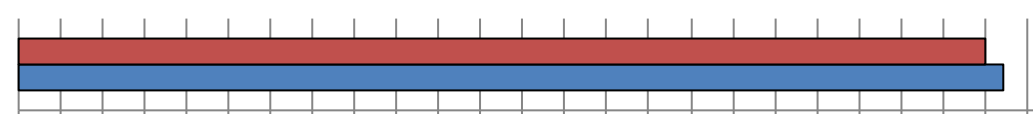
$$P_{zr2} = N_{r2} \cdot C_r = \text{___} \text{ Kč} \quad (11)$$

kde:

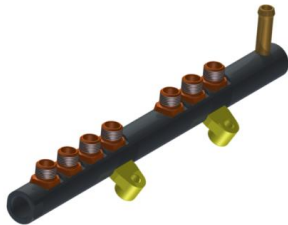
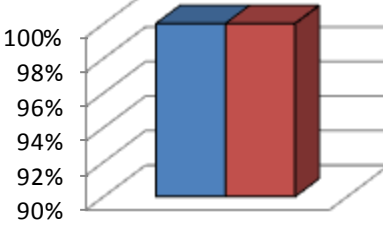
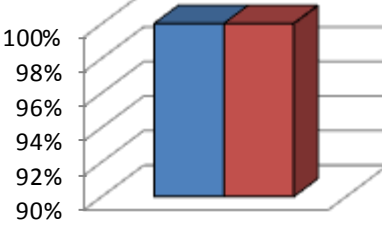
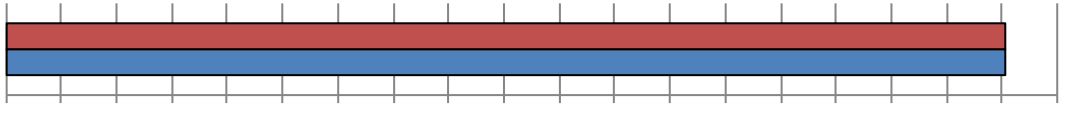
P_{zr2} Kč Zvýšení roční produktivity druhou variantou

7.2 Zhodnocení první varianty úpravy pracovního cyklu v programování PR

Tab. 7.1 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 1

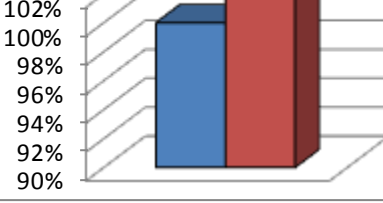
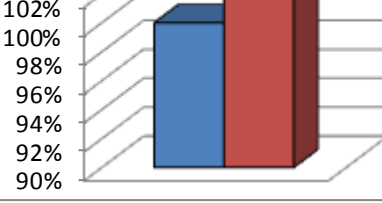
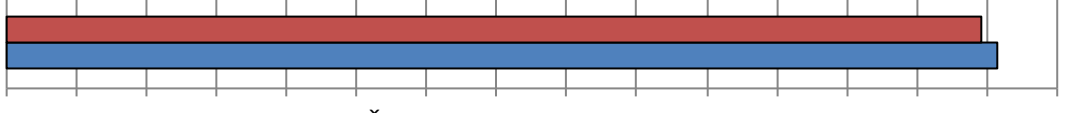
Rail 1	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 370 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 2,420 kg	100,000%	101,712%	100,00%	101,712%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x6,812 s	Po	x6,024 s
				
Čas výroby jednoho kusu railu [s]				

Tab. 7.2 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 2

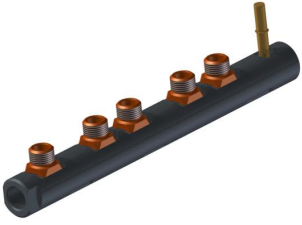
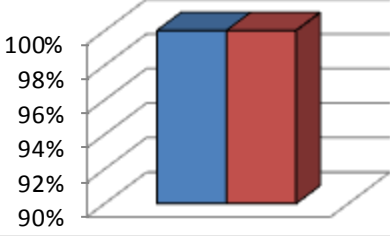
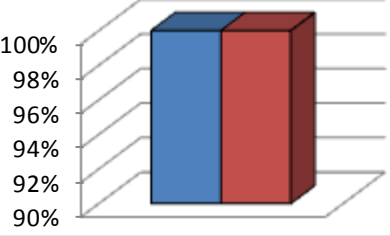
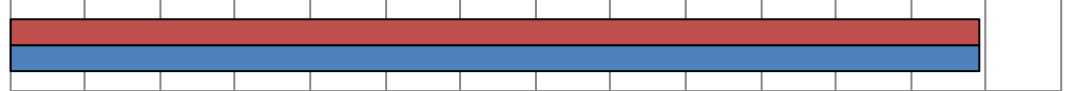
Rail 2	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 374 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 2,264 kg	100,000%	100,000%	100,00%	100,000%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x6,109 s	Po	x6,109 s
 Čas výroby jednoho railu [s]				

Protože se nejednalo o úzké místo linky, nesnižoval se výrobní čas, a tedy i produktivita zůstala stejná.

Tab. 7.3 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 3

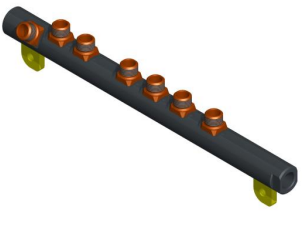
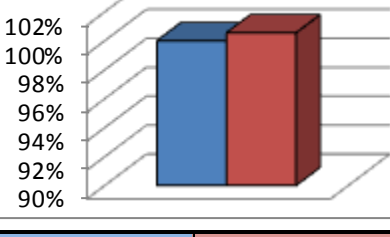
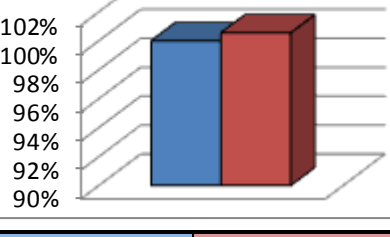
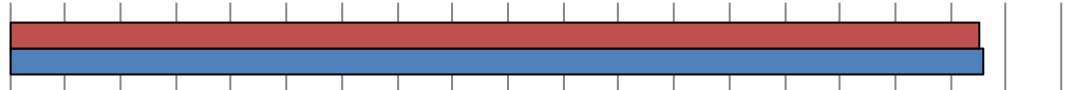
Rail 3	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 322,5 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 1,715 kg	100,000%	101,772%	100,00%	101,772%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x8,309 s	Po	x7,816 s
 Čas výroby jednoho railu [s]				

Tab. 7.4 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 4

Rail 4	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 279,7 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 1,648 kg	100,000%	100,000%	100,00%	100,000%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x5,802 s	Po	x5,802 s
 Čas výroby jednoho railu [s]				

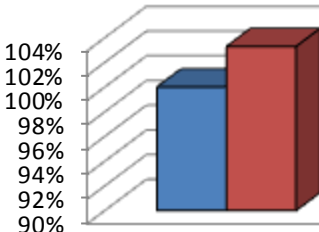
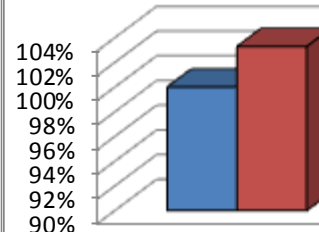
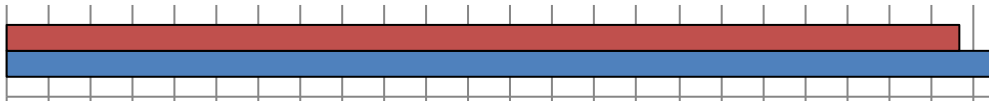
I přes několik změn v programu robotu nedošlo ke zrychlení procesu, a tedy zvýšení produktivity.

Tab. 7.5 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 5

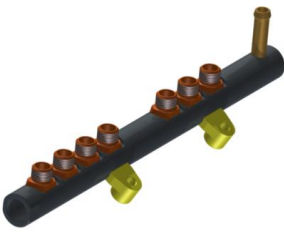
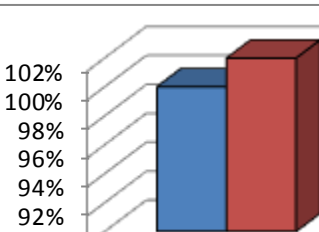
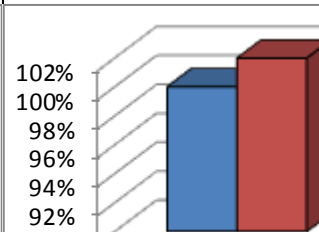
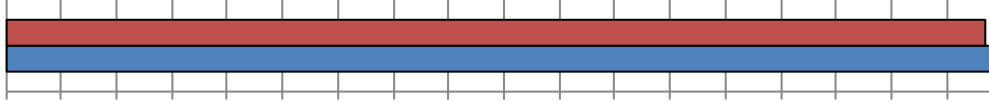
Rail 5	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 380 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 2,016 kg	100,000%	100,548%	100,00%	100,548%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x5,201 s	Po	x5,009 s
 Čas výroby jednoho railu [s]				

7.3 Zhodnocení druhé varianty úpravy pracovního cyklu v programování PR

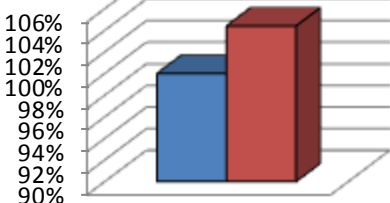
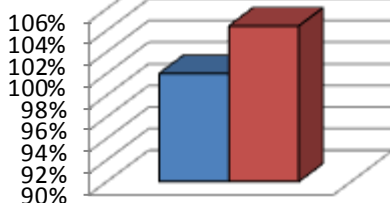
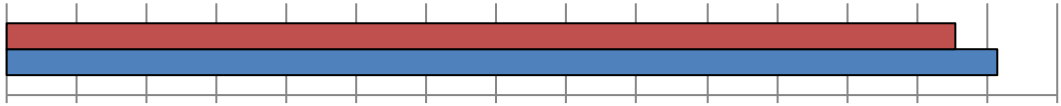
Tab. 7.6 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 1

Rail 1	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 370 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 2,420 kg	100,000%	103,283%	100,00%	103,283%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x6,812 s	Po	x5,324 s
 Čas výroby jednoho kusu railu [s]				

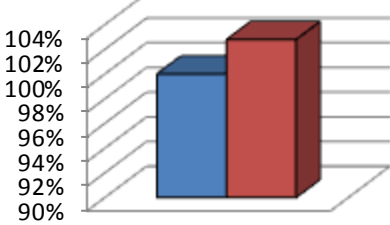
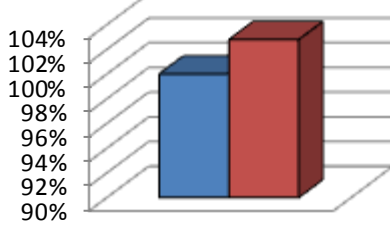
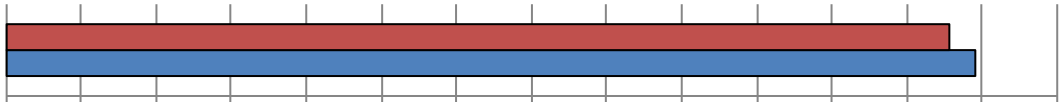
Tab. 7.7 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 2

Rail 2	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 374 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 2,264 kg	100,000%	101,977%	100,00%	101,977%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x6,109 s	Po	x5,409 s
 Čas výroby jednoho kusu railu [s]				

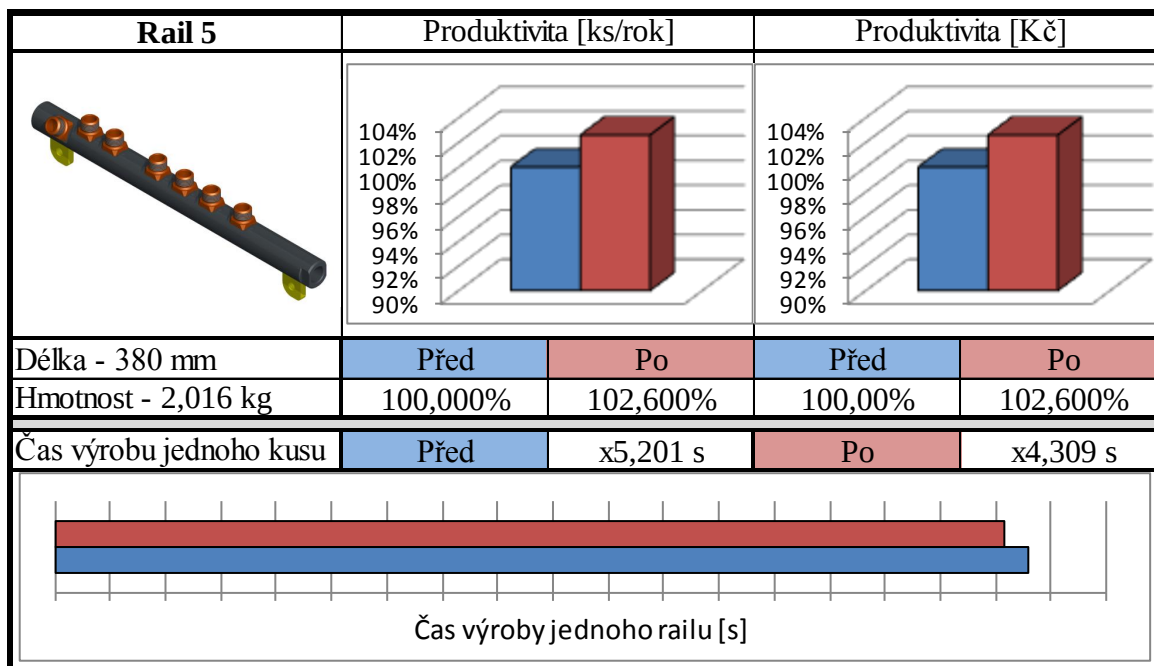
Tab. 7.8 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 3

Rail 3	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 322,5 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 1,715 kg	100,000%	104,400%	100,00%	104,400%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x8,309 s	Po	x7,116 s
 Čas výroby jednoho railu [s]				

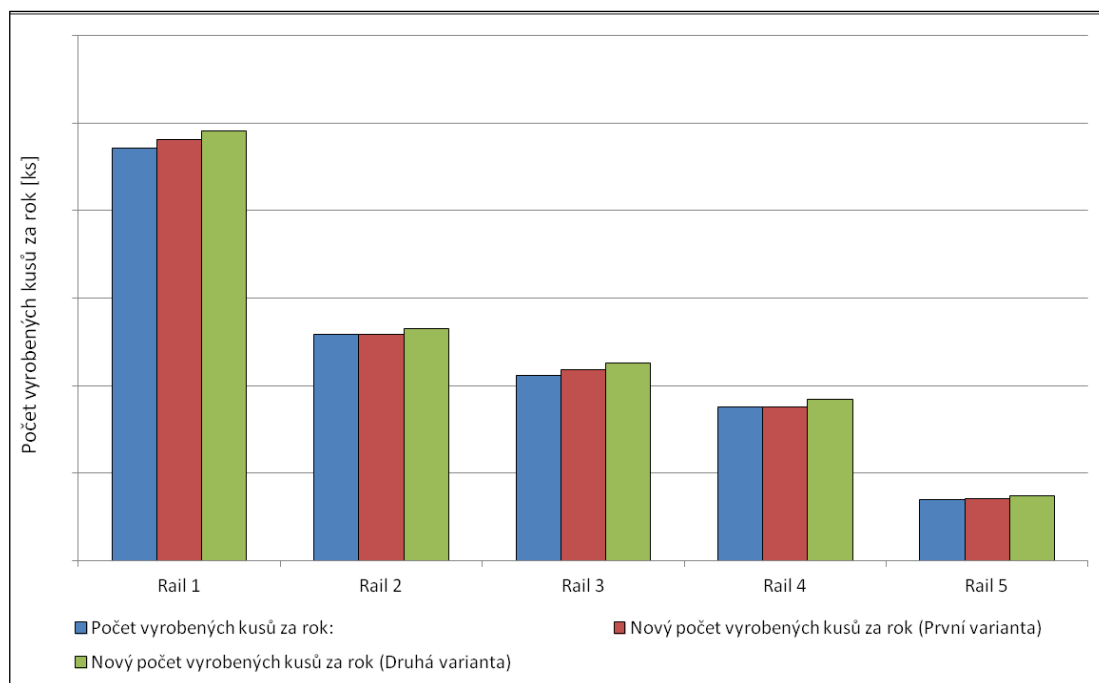
Tab. 7.9 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 4

Rail 4	Produktivita [ks/rok]		Produktivita [Kč]	
				
Délka - 279,7 mm	Před	Po	Před	Po
Hmotnost - 1,648 kg	100,000%	102,789%	100,00%	102,789%
Čas výroby jednoho kusu	Před	x5,802 s	Po	x5,102 s
 Čas výroby jednoho railu [s]				

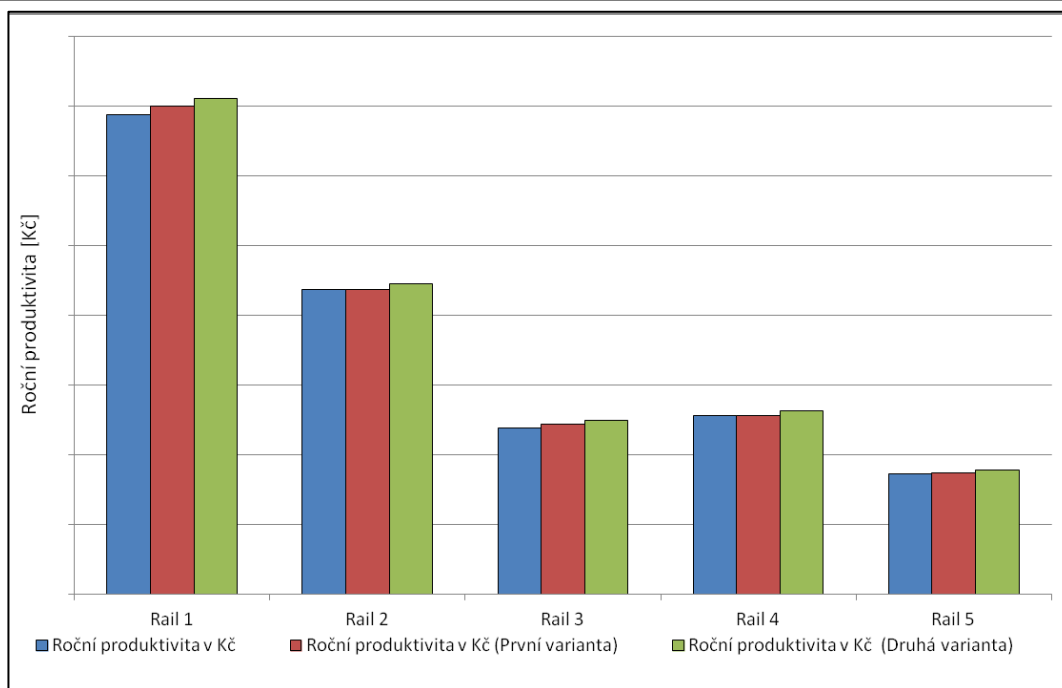
Tab. 7.10 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 5



7.4 Počet vyrobených kusů a zhodnocení produktivity za rok



Obr. 7.11 Graf vyrobených kusů pro pracovní cykly obou variant



Obr. 7.12 Graf roční produktivity pro pracovní cykly obou variant

Jako hlavní parametr zde byl brán čas výroby jednoho railu. Jeho snížením se dosáhlo větší produktivity za stejných provozních podmínek.

První varianta snížila výrobní čas u třech typů (Rail 1, 3 a 5) a tím došlo ke zvýšení produktivity. Nevýhodou této varianty je skutečnost, že ji lze aplikovat pouze na tři výše zmíněné raily.

Druhá varianta vylepšila první variantu o **0,7 s** (tab. 7.11) nejenom u všech zmiňovaných railů, ale po nenáročném zavedení tohoto kroku lze snížit výrobní čas u všech ostatních railů.

Tab. 7.11 Tabulka snížení výrobního času pro nejčastěji vyráběné raily

	Rail 1	Rail 2	Rail 3	Rail 4	Rail 5
Původní čas výroby [s]	x6,812	x6,109	x8,309	x5,802	x5,201
Výrobní čas po zavedení první varianty [s]	x6,024	x6,109	x7,816	x5,802	x5,009
Snížení výrobního času oproti původnímu času výroby o: [s]	0,788	0	0,493	0	0,192
Výrobní čas po zavedení druhé varianty [s]	x5,324	x5,409	x7,116	x5,102	x5,309
Snížení výrobního času oproti původnímu času výroby o: [s]	1,488	0,7	1,193	0,7	0,892

Z tohoto **technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že druhá varianta úpravy pracovního cyklu je vhodná pro nasazení ve výrobě vysokotlakých zásobníků paliva Common Rail.**

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 60
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8 ZÁVĚR

První část diplomové práce se zabývá řešerší na téma vstřikovacího systému vznětových motorů Common Rail. Je zde uveden popis a použití vstřikovacího systému a konstrukce vysokotlakých zásobníků rail. Cílem řešerše bylo navrhnoutí východisek k vhodné úpravě pracovního cyklu v programování průmyslového robotu při manipulaci s railem pod svařovací hlavou.

Kritické zhodnocení současného stavu výroby ve firmě Bosch Diesel, s. r. o. Jihlava popisuje výrobní proces railů a navrhuje několik zlepšení.

Další část diplomové práce obsahuje úvod do výběru vhodného průmyslového robotu pro manipulaci. Je zde seznam výrobců a od každého výrobce (kromě firmy Mitsubishi, která se zaměřuje spíše na manipulace s lehčími komponenty a roboty používá hlavně k testovací činnosti) navrženo několik robotů dle požadovaných parametrů.

Následně je od každého výrobce vybráno po jednom robotu a pomocí multikriteriální metody hodnocení je vybrán nejvhodnější robot pro manipulaci s railem při procesu svařování laserem – Stäubli RX 160 (hodnota $\tau = 0,842$). Jelikož se jedná o stejného výrobce, nově navržený robot byl následně porovnán s robotem RX 170B, až do současnosti nasazeným robotem v sériové výrobě. Roboty jsou v mnoha ohledech téměř totožné (hodnota $\tau = 0,719$). Rozdíl ve vyhodnocení způsobila vlastní hmotnost robotu, která ovlivňuje pouze montáž (instalaci) robotu na pracoviště a na výrobu nemá vliv. Velmi patrným rozdílem v hodnotě kritéria byla pořizovací cena, robot RX 170B se již nevyrábí (v případě, že by byl robot stále ve výrobě, hodnota τ by byla rovna **0,807**).

Současná výměna robotu za typ RX160 by tedy výrazně nezlepšila výrobu součástky pod názvem Rail v závodu Bosch a bude zvažována za variantní náhradu robotu v případě poruchy robotu RX 170B. Aby tedy došlo k žádoucímu zrychlení procesu svařování railu, je nutné programování a optimalizace činnosti průmyslového robotu.

V kapitole Programování a optimalizace činnosti PR byly navrženy dvě varianty úpravy pracovního cyklu při programování PR při procesu svařování laserem, kde druhá varianta vylepšuje první variantu.

Jako hlavní parametr zde byl brán čas výroby jednoho railu. Jeho snížením se dosáhlo větší produktivity za stejných provozních podmínek.

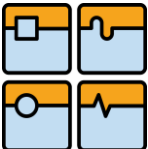
První varianta snížila výrobní čas u třech z pěti typů (Rail 1, 3 a 5) a tím došlo ke zvýšení produktivity. Nevýhodou této varianty je skutečnost, že ji lze aplikovat pouze na tři výše zmíněné raily.

Druhá varianta vylepšila první variantu o **0,7 s** nejenom u všech zmiňovaných railů, ale po nenáročném zavedení tohoto kroku lze snížit výrobní čas u všech ostatních railů.

Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že druhá varianta úpravy pracovního cyklu je vhodná pro nasazení ve výrobě vysokotlakých zásobníků paliva Common Rail.

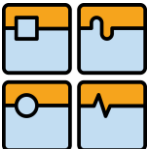
Za použití metod uvedených v diplomové práci bylo dosaženo zvýšení produktivity, snížení výrobních časů a plynulosti pohybu průmyslového robotu.

Celkově lze konstatovat, že zadání této diplomové práce bylo beze zbytku splněno.

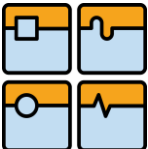
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BEKEY, George A. *Robotics: state of the art and future challenges*. Hackensack, NJ: World Scientific, c2008, viii, 144 p. ISBN 18-481-6006-2.
- [2] HEISLER, Heinz. *Advanced engine technology: control, estimation, statistical detection*. Warrendale: SAE International, 1995, ix, 794 s. ISBN 15-609-1734-2.
- [3] JALOVÝ, Miroslav: Průmyslové roboty a manipulátory, ČVUT, Praha, 2005
- [4] KLEIN, Bernd: *FEM Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau*. Springer Verlag, 2012. ISBN 978-3-8348-1603-0
- [5] Knoflíček, R.: Mobilní robotické systémy, přednášky magisterského studia ÚVSSR, FSI VUT v Brně
- [6] Knoflíček, R.: Konstrukční návrh podvozku mobilního robotu, přednášky magisterského studia ÚVSSR, FSI VUT v Brně
- [7] LANDHÄÜBER, Felix. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. 1. české vyd. Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o. - Automobilová technika [distributor], 2005, 95 s. Technické vzdělávání. ISBN 80-903-1327-2.
- [8] SICILIANO, Bruno. *Robotics: modelling, planning and control*. London: Springer, c2009, xxiv, 632 p. ISBN 18-462-8642-5.
- [9] STOTSKY, Alexander A. *Automotive engines: control, estimation, statistical detection*. Berlin: Springer, 2009, xii, 215 p. ISBN 978-364-2001-642.
- [10] ŠIMEČEK, Karel. *Lokální dráhové řízení autonomního lokomočního robotu*. 1. vyd. Brno: VUT, 2000, 43 s. ISBN 80-214-1856-7.
- [11] 10 dobrých důvodů, proč investovat do robotů. ABB [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/ap/seitp327/2759a004058f6.aspx>
- [12] Automatizace, AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE I. [online]. 2010. vyd. 2010 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.spsko.cz/documents/ARO_prorok/20roboty.pdf
- [13] FANUC History. *Fanuc* [online]. 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/uk/en/who-we-are/fanuc-history>
- [14] Historie ABB Group. *ABB Česká republika* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://new.abb.com/cz/o-nas/historie/historie-abb-group>
- [15] Honda. *Honda Robots* [online]. 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://asimo.honda.com/>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 62
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

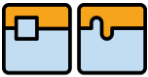
- [16] CHMELÍČKOVÁ, Hana. *Inovace v oboru laserových technologií a jejich aplikací* [online]. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, 20 s. [cit. 2015-04-16]. ISBN 978-80-244-3076-8.
Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/system/files/slo/rcptm/texty/Chmelickova-Inovace_laserovych_technologii.pdf
- [17] Inovativní robotová technologie pro konvenční a inovativní materiály. *Stäubli Robotics on EMO 2011 in Hannover/Germany* [online]. 2011 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.staubli.cz/cz/cze-fastmov-cz/directmail-cze-fastmov-cz/archive-cze-fastmov-cz/staubli-robotics-on-emo-2011-in-hannovergermany/>
- [18] KRHÁNEK, Ing. Pavel a Ing. František ČAPEK. Úřad pro vynálezy a objevy. *Zařízení pro hydraulické autofretážování dutých dílců* [online]. 1978, č. 1, s. 1 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FirstPages/FPPV0171/0171635.pdf>
- [19] KUKA Robot Group Historie. *KUKA - robotics* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/milestones/
- [20] LUKÁŠEK, Jaromír. Laserové svařování. *Welding* [online]. 2007, č. 2, s. 1 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/svarovani.htm>
- [21] Material specification sheet. *Saarstahl* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: http://www.saarstahl.com/english/20MnCr5_20MnCrS5.pdf
- [22] Naše historie. YASKAWA [online]. 2015 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.motoman.cz/cs/spolecnost/o-yaskawe/nase-historie/>
- [23] NOVÁK, Miroslav. SERIÁL NA TÉMA LASERY - HLAVNÍ TYPY LASERŮ POUŽÍVANÝCH V PRŮMYSLU. KOŘÁN, Pavel. *Lasery a Optika* [online]. 19.2.2013. 2011 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>
- [24] Princip pevnolátkových Nd:YAG laserů - 1064nm Infra red. *Leonardo technology* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.lt.cz/cs/znaceni-laserem-solaris/lasery-info-learning?start=12>
- [25] Průmyslové lasery: *Svařovací lasery* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. ISSN 120424.
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-2-svarovaci-lasery.html>
- [26] Průmyslové roboty MELFA. *Mitsubishi Electric* [online]. 2015 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/products/rbt/robot/>
- [27] Robotika od historie po současnost. *Automatizace řízení a regulace* [online]. 24.8.2012, č. 1 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/automatizace-rizeni-a-regulace/robotika-od-historie-po-soucasnost-3>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 63
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [28] Stäubli [online]. 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.staubli.cz/>
- [29] Stäubli Robotics: Innovative SCARA and 6-axis robots and software solutions. *Stäubli Robotics* [online]. 2015 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.staubli.com/en/robotics/>
- [31] Systém Common Rail. *Bosch Press Image Archive* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.bosch-presse.de/presseforum/bilder.htm?ccatID=21&page=4>
- [32] ŠEBESTOVÁ, Jana. *Průmyslové lasery pro svařování* [online]. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, 20 s. [cit. 2015-04-16]. ISBN 963-70-244-3156-8.
Dostupné z: http://upol.cz/cs/s/vujtekumyslove_lasery_pro_svarovani.pdf
- [33] Vysokotlaký zásobník paliva rail. *Bosch Press Image Archive* [online]. 2013 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.bosch-presse.de/image.htm?imageID=1256&ccatID=>
- [34] Základní parametry robotů. *Roboti.cz* [online]. 2014 [cit. 2015-04-16].
Dostupné z: <http://www.roboti.cz/informace-o-robotech/zakladni-parametry-robotu>
- [35] Interní materiály firmy Bosch

SEZNAM OBRÁZKŮ

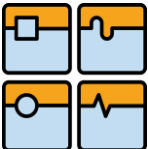
Obr. 0.1 Robot Stäubli [28]	9
Obr. 0.2 Robot ASIMO [15]	9
Obr. 1.1 Systém Common Rail [31]	11
Obr. 1.2 Vysokotlaký zásobník paliva rail (LWR) [33]	13
Obr. 1.3 Rail 1.....	14
Obr. 1.4 Vysokotlaký vývod (vlevo), průřez railem (uprostřed), dráha svařování (vpravo)....	14
Obr. 1.5 Rail 2.....	14
Obr. 1.6 Rail 3.....	14
Obr. 1.7 Vysokotlaký vývod (vlevo), průřez railem (uprostřed), dráha svařování (vpravo)....	15
Obr. 1.8 Rail 4.....	15
Obr. 1.9 Rail 5.....	15
Obr. 2.1 Graf produkce, kde CR1 až CR5 představují nejvíce vyráběné modely	17
Obr. 2.2 Princip laserového CO ₂ svařování [23]	19
Obr. 2.3 Pulzní Nd:YAG laser JK 300 HP [25].....	20
Obr. 2.4 Diodový laser Coherent 4kW umístěný na svařovacím robotu [25]	20
Obr. 2.5 Schéma laserové diody [32]	20
Obr. 2.6 Vláknový laser o výkonu 30 kW [25]	20
Obr. 2.7 Porovnání railů (zarovnání plochy vlevo a upravené vývody vpravo).....	22
Obr. 2.8 Analogie svařování vysokotlakých vývodů Common Rail	22
Obr. 2.9 Průběh výkonu laseru na dráze, kde 1 až 6 jsou technologické úkony	22
Obr. 2.10 Průběh výkonu laseru na dráze, kde 1 až 6 jsou technologické úkony [35].....	23
Obr. 2.11 Průběh výkonu laseru na dráze pro zarovnanou plochu [35]	23
Obr. 2.12 Průběh výkonu laseru na dráze pro zakulacenou plochu [35].....	23
Obr. 3.1 Dosah robotu [34].....	25
Obr. 3.2 Nosnost robotu [34].....	25
Obr. 3.3 Pracovní oblast [34].....	25
Obr. 3.4 Parametry robotu [17].....	27
Obr. 3.5 Efektor [35].....	27
Obr. 4.1 Souřadnicová soustava robotu [10]	37
Obr. 4.2 Zvětšení vzdálenosti zastavení	38
Obr. 4.3 Míjení bodu.....	38
Obr. 4.4 Robotické pracoviště, kde:	39
Obr. 4.5 Uchopení railu	39
Obr. 4.6 Přesun do Home pozice	39
Obr. 4.7 Čekací pozice.....	40
Obr. 4.8 Svařovací pozice robota A.....	40
Obr. 4.9 Home pozice robota B	40
Obr. 4.10 Čekací pozice robota B.....	40
Obr. 4.11 Svařovací pozice robota B.....	40
Obr. 4.12 Mezera mezi HD a railem.....	41
Obr. 4.13 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 1	42
Obr. 4.14 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 3.....	44

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 65
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Obr. 4.15 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 4.....	44
Obr. 4.16 Optimalizace plynulosti pohybu a zrychlení robotů pro Rail 5.....	45
Obr. 4.17 Porovnání časů potřebných pro výrobu railu na robotu A a B	46
Obr. 4.18 Otočení robota pod svářecí hlavu (robot A vlevo a robot B vpravo)	46
Obr. 4.19 Porovnání pracovního cyklu před (vlevo) a po úpravě (vpravo).....	46
 Obr. 5.1 Porovnání výroby jednoho railu jednotlivými variantami.....	48
 Obr. 7.11 Graf vyrobených kusů pro pracovní cykly obou variant	58
Obr. 7.12 Graf roční produktivity pro pracovní cykly obou variant.....	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Roboty Kuka [19]	28
Tab. 3.2 Roboty FANUC [13].....	29
Tab. 3.3 Roboty ABB [14].....	29
Tab. 3.4 Roboty Stäubli [29].....	30
Tab. 3.5 Roboty Yaskawa [22]	30
Tab. 3.6 Požadované parametry robota.....	31
Tab. 3.7 Podrobný seznam robotů od každého dodavatele [13],[14],[19],[22],[29]	32
Tab. 3.8 Tabulka hodnocení robotů	35
Tab. 3.9 Tabulka porovnání robotů RX 160 a RX 170B [29].....	36
Tab. 4.1 Tabulka zrychlení pracovního cyklu.....	45
Tab. 4.2 Tabulka zrychlení pracovního cyklu.....	47
Tab. 5.1 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 1	48
Tab. 5.2 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 2	49
Tab. 5.3 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 3	49
Tab. 5.4 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 4	50
Tab. 5.5 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 5	50
Tab. 6.1 Tabulka snížení výrobního času pracovního cyklu první variantou	51
Tab. 6.2 Tabulka snížení výrobního času pracovního cyklu druhou variantou	51
Tab. 6.3 Tabulka snížení výrobního času pracovního cyklu obou variant.....	51
Tab. 7.1 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 1	53
Tab. 7.2 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 2	54
Tab. 7.3 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 3	54
Tab. 7.4 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 4	55
Tab. 7.5 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 5	55
Tab. 7.6 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 1	56
Tab. 7.7 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 2	56
Tab. 7.8 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 3	57
Tab. 7.9 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 4	57

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Tab. 7.10 Tabulka zhodnocení produktivity [ks/rok],[Kč], porovnání výrobního času pro Rail 5	58
Tab. 7.11 Tabulka snížení výrobního času pro nejčastěji vyráběné raily	59

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Název	Jednotka
t_r	Roční výrobní doba	[s]
N_1	Počet vyrobených kusů za rok	[ks]
t_{k1}	Čas potřebný pro výrobu jednoho kusu	[s]
P_r	Roční produktivita	[Kč]
C_r	Cena jednoho kusu	[Kč]
t_p	Nový čas výroby jednoho kusu první variantou	[s]
t_2	Snížení času linky první variantou	[s]
N_2	Nový počet vyrobených kusů za rok první variantou	[ks]
N_{r1}	Rozdíl kusů za rok první variantou	[ks]
P_{zr1}	Zvýšení roční produktivity první variantou	[Kč]
t_s	Sečtení ponížení času první a druhé varianty	[s]
t_3	Snížení času linky druhou variantou	[s]
t_d	Nový čas výroby jednoho kusu druhou variantou	[s]
N_3	Nový počet vyrobených kusů za rok druhou variantou	[ks]
N_{r2}	Rozdíl kusů za rok druhou variantou	[ks]
P_{zr2}	Zvýšení roční produktivity druhou variantou druhou variantou	[Kč]
V	Objem	[l]
P	Výkon	[kW]
M	Točivý moment	[Nm]
p	Tlak	[bar]
τ	Technická hodnota	[-]
n	Maximální počet faktorů, parametrů, vlastností	[-]
t_1	Maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti	[-]
t_j	Maximální hodnota	[-]
g_n	Význam důležitosti parametru	[-]
t	Čas	[s]

Zkratka	Vysvětlení
UI	Umělá inteligence
CR	Common Rail
LWR	Laser Welded Rail
HFR	Hot Forged Rail
YAG	Yttrium Aluminium Granát
TE	Technická úroveň
TR	