



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## ANALÝZA KVALITY SVAROVÝCH SPOJŮ

ON THE ANALYSIS OF WELDING SEAMS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Němečková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2019

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	<b>Bc. Monika Němečková</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	<b>prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.</b>
Akademický rok:	2018/19

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:

## **Analýza kvality svarových spojů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce se zabývá rozбором technologických vlivů na kvalitu svarového spoje, návrhy jeho zkvalitnění a způsoby kontroly.

### **Cíle diplomové práce:**

- Teoretický rozbor problému.
- Rozbor stávající výrobní technologie a metod kontroly.
- Návrh metod měření sledovaných veličin.
- Experimentální ověření.
- Technicko–ekonomické vyhodnocení.

### **Seznam doporučené literatury:**

MOCHIZUKI, M. Control of welding residual stress for ensuring integrity against fatigue and stress-corrosion cracking. Nuclear Engineering and Design. 237(2), January 2007. p. 107-123.

LUO, Y., JIANG, W., ZHANG, Q., WAN, Y., ZHANG, W. Y., WANG, Y. J. Experimental and numerical study on the reduction of residual stress in the fillet weld by overlay welding and cutting method. Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME. 138(6), 1 December, 2016.

BERGENGREN, Y., LARSON, M., MELANDER, A. The Influence of Machining defects and Inclusions on The Fatigue Properties of a Hardened Spring Steel. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 18 (10), p. 1071–1087, October 1995.

SCHRADER, G. F., ELSHENNAWY, A. K., DOYLE, L. E. Manufacturing processes and materials. [cit. 20. listopadu 2018]. Dostupné na World WideWeb.

DORNFELD, D., LEE, D. E. Precision Manufacturing. Berkeley, California, 2008. ISBN 978-0-3-7-32467-8. [cit. 20. listopadu 2017]. Dostupné na World WideWeb.

HALMSHAW, R. Industrial Radiography. Agfa-Gevaert N. V., Second Edition, Mortsel, Belgium, 1995.

ROMEU, R. da S., DOMINGO, M. State-of-the-Art of Weld Seam Inspection by Radiographic Testing:Part I – Image Processing. [vid.: 26.10.2018]

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá analýzou kvality svarových spojů na tlakovém zásobníku, který se vyrábí ve společnosti Bosch Diesel s.r.o. Hlavní podstata je zlepšit pórovitost ve svarovém spoji. Teoretická část se zabývá rozбором tlakového zásobníku a jeho procesu výroby. Praktická část se zabývá čisticím procesem před svařováním a analýzou zbytkové mastnoty na svařovacích plochách po čisticím procesu, při kterém byly použity dvě různá čisticí média. Dále bylo použito CT vyhodnocení svarových spojů s účelem podložit, které čisticí médium je lepší, tedy představuje lepší odmaštění a tím pádem vzniká menší pórovitost ve svarovém spoji, pro předúpravu svarových ploch.

### **Klíčová slova**

vysokotlaký zásobník, pórovitost, zbytková mastnota, CT vyhodnocení

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the analysis of the quality of welded joints on the pressure tank, which is produced by Bosch Diesel s.r.o. The main point is to improve the porosity in the weld joint. The theoretical part deals with the analysis of the pressure container and its production process. The practical part deals with the cleaning process before welding and the analysis of residual grease on the welding surfaces after the cleaning process in which two different cleaning media were used. Furthermore, the CT evaluation of welded joints was used to support which washing medium is better, thus providing better degreasing and thus less porosity in the weld joint, for pretreatment of weld surfaces.

### **Key words**

high pressure container, porosity, residual grease, CT evaluation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NĚMEČKOVÁ, Monika. *Analýza kvality svarových spojů* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117146>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Analýza kvality svarových spojů** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
Bc. Monika Němečková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Piškovi, CSc. z VUT Brno za čas, který mi při vypracování práce věnoval, Ing. Tomášovi Jarošovi za umožnění psát diplomovou práci ve společnosti Bosch Diesel s.r.o. Jihlava, dále děkuji panu Tomášovi Bartuškoví za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce a v neposlední řadě děkuji partnerovi a celé mé rodině za podporu během studia.

**OBSAH**

ÚVOD.....	10
1 Představení společnosti Bosch Diesel s.r.o.....	11
1.1 Historie společnosti.....	11
1.2 Bosch Diesel s.r.o. v České republice.....	11
1.3 Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě.....	12
1.4 Produkty závodů Jihlava.....	13
2 Common Rail systém.....	15
2.1 Nízkotlaká část.....	15
2.2 Vysokotlaká část.....	16
2.3 Vstřikovače a elektronická řídicí jednotka.....	17
2.4 Vývoj systému Common Rail.....	17
2.4.1 První generace.....	18
2.4.2 Druhá generace.....	18
2.4.3 Třetí generace.....	18
2.4.4 Čtvrtá generace.....	18
2.4.5 Pátá generace.....	18
3 Tlakový zásobník.....	19
3.1 Tlakový zásobník HFR.....	19
3.2 Tlakový zásobník LWR.....	20
3.2.1 Obráběcí operace.....	20
3.2.3 Svařovací operace.....	21
3.2.4 Komponenty tlakového zásobníku.....	21
3.2.5 Regulační tlakový ventil.....	21
3.2.6 Ventil omezovače tlaku.....	22
3.2.7 Tlakový snímač.....	22
4 Svařovací proces.....	23
4.1 Odporové svařování.....	24
4.2 Švové svařování.....	24
4.3 CO <sub>2</sub> svařování.....	25
4.4 Metalografická zkouška.....	26
4.5 Tahová zkouška.....	26
4.6 Tlaková zkouška.....	28
4.7 Stoprocentní vizuální kontrola.....	28
4.8 Pracoviště 3D měření.....	28

5	Analýza čisticího procesu .....	29
5.1	Čisticí proces.....	29
5.1.1	Uhlovodíkové čisticí přístroje.....	29
5.1.2	Vodní Komorové čisticí přístroje .....	30
5.2	Výzkum čisticího procesu a jeho dopad na svarové spoje.....	32
6	Analýza zbytkové mastnoty na svařovacích plochách .....	34
6.1	Stručný popis přístroje Recognoil.....	34
6.2	Proces vyhodnocování pomocí přístroje Recognoil .....	36
6.2.1	Měření zbytkové mastnoty na tlakovém zásobníku.....	37
6.2.2	Měření zbytkové mastnoty po použití nového čisticího média .....	39
6.3	Zhodnocení výsledků.....	39
6.4	Předpokládané cíle.....	39
6.5	Podrobnější měření zbytkové mastnoty na tlakovém zásobníku .....	40
7	CT vyhodnocení.....	42
7.1	Historie CT vyhodnocení.....	42
7.2	Vývoj CT vyhodnocení.....	43
7.3	Princip CT vyhodnocení .....	43
7.3	Použití CT vyhodnocení .....	45
7.4	Analýza pomocí CT vyhodnocení .....	45
7.4.1	Příprava vzorku pro CT vyhodnocení.....	46
7.4.2	Výsledné hodnoty CT vyhodnocení .....	48
8	Technicko-ekonomické vyhodnocení .....	52
	ZÁVĚR .....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	59
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	63
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

## ÚVOD

Společnost Bosch Diesel s.r.o. se zabývá širokým spektrem výrobků, přičemž u každého svého produktu dbá na vysokou kvalitu a zohledňuje při veškeré výrobě životní prostředí. Jedním z ocenění, které drží výrobní závod v Jihlavě, kde byla diplomová práce zpracována, je ocenění za ochranu životního prostředí. Závod v Jihlavě se zabývá výrobou několika komponentů, které jsou součástí spalovacího systému Common Rail.

Common Rail systém je spalovací systém pro dieslové motory, jehož výroba započala na konci 20. století. Představitelem Common Rail systému je Robert Bosch, který spolu s jeho nástupci systém zdokonalovali až do současného stavu. Aktuálně Common Rail systém dokáže zajistit například tichý chod motoru, malé spalování a zohlednění životního prostředí.

Diplomová práce byla vypracovávána ve výrobním závodě v Jihlavě, kde se vyrábí několik komponentů systému Common Rail. Jedním z těchto komponentů je tlakový zásobník, na kterém byla prováděna analýza kvality svarových spojů. Polotovary tlakového zásobníku je nařezaná tyčovina, která musí projít obráběcími a svařovacími procesy, aby se z tyčoviny stal výsledný tlakový zásobník. Po obráběcím procesu se tlakový zásobník musí vyčistit od špon a mastnoty, to má za úkol čisticí přístroj. Právě tato předúprava svarových ploch pomocí čisticího přístroje byla jedním z klíčových procesů, které byly v diplomové práci zkoumány. Nejprve byla analyzována zbytková mastnota na svarových plochách po čisticím procesu, při kterém byly použity dvě různá čisticí média. Následně byly na tlakové zásobníky navařeny jednotlivé komponenty. Na základě analýzy zbytkové mastnoty se vybraly ty části tlakové zásobníku, na kterých byla zjištěna největší zbytková mastnota. Z těchto částí se vytvořily vzorky pro CT vyhodnocení. Pomocí CT analýzy se vyhodnotila pórovitost ve vzorku. Z výsledků vyplynulo, které čisticí médium je vhodnější pro předúpravu svarových ploch.

# 1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI BOSCH DIESEL S.R.O.

## 1.1 Historie společnosti

První zmínka o zakladateli společnosti Bosch Diesel s.r.o., kterým byl Robert Bosch, (obr. 1.2) byla 15. listopadu 1886, kdy otevřel svou první dílnu ve Stuttgartu. Nejprve se pracovníci zabývali výrobou telefonů, elektrických zvonků, či jiných elektrických komponentů. Pak ho ale zaujala problematika zapalovacích motorů a pracoval na jejich vývoji. Roku 1887 Robert Bosch prodal svoje první magnetoelektrické zapalovací zařízení (obr. 1.1) a tím to celé začalo. Společnost začala přijímat objednávky z celého světa. Aby firma dokázala vyrábět takový objem produkce, musela navýšit svoje kapacity a to tak, že další výroba vznikla v Anglii poté ve Francii a následně se rozrostla do celého světa [1, 2].



Obr. 1.1 Magnetoelektrické zařízení 1897 [3].



Obr. 1.2 Robert Bosch 1890 [4].

Společnost zdokonalovala svoje výrobky a začala se rozšiřovat i ve svojí rozmanitostí. Firma se pustila do výroby domácích spotřebičů jako je pračka, lednička apod. Kolem roku 1970 se společnost začala soustředit nejen na výkon svých vozů, ale také na jejich bezpečnost, přidávala do zařízení například protiblokovací brzdny systém nebo airbagy. Rok 1997 byl pro společnost také velmi významný, protože byla úspěšně zahájena výroba vysokotlakého přímého vstřikování paliva u vznětových motorů, která se nazývá Common Rail [2, 5].

V současnosti se činnost Bosch Group dělí do 4 oblastí, a to jsou Mobility solutions, Průmyslová technika, Spotřební zboží a Energetika a technika budov a zaměstnává okolo 410 000 zaměstnanců v 60 zemích, z nichž jedna je Česká republika [6].

## 1.2 Bosch Diesel s.r.o. v České republice

Společnost Bosch funguje v České republice od roku 1920, kdy byla v Praze založena první oficiální pobočka, pak ale následovalo 44leté přerušení a již od roku 1991 je opět funkční. Od té doby se Bosch Group rozrostla do 7 lokalit a to jsou: Praha, České Budějovice, Jihlava, Brno, Mikulov, Krnov a Albrechtice. Největší zastoupení náleží Českým Budějovicím a Jihlavě, v těchto městech jsou dohromady 4 výrobní závody. Regionální společnost sídlí v Praze. Krnov a Albrechtice jsou zaměřeny na energetiku a techniku budov. Brno je centrem průmyslové techniky a Mikulov se zabývá spotřebním zbožím. Tímto způsobem jsou v České republice zastoupeny všechny 4 oblasti [5].

### 1.3 Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě

Motorpal je podnik, který byl v Jihlavě na Humpolecké založen roku 1964. S Motorpalem roku 1992 byla podepsána smlouva, že se ve spolupráci se společností Bosch budou podílet na výrobě jednoválcového čerpadla CPF. V roce 1993 společnost Bosch vybudovala vlastní výrobní závod I hned vedle Motorpalu. Vzájemná spolupráce trvala až do doby, kdy společnost odkoupila od Motorpalu zpět její podíl výroby, tudíž v roce 1997 partnerství těchto firem zaniklo [2, 7].

Poptávka po produktech společnosti Bosch rostla a tím pádem se rozšiřovala i samotná firma. V Jihlavě se vybudoval další výrobní závod II jménem Alfatex, v dnešní době se tento závod nazývá na Dolech. Ve výrobním závodě II se vyrábí především vysokotlaké zásobníky (raily) a tlakové regulační ventily.

Následně se vybudoval třetí a zároveň poslední závod na Pávově, což je na kraji Jihlavy. Interní doprava mezi všemi třemi závody je vyřešená kyvadlovou přepravou. Závod III je největší závod v Jihlavě. Výrobní program se na Pávově zabývá zhotovením čerpadel, které jsou součástí vstřikovacího systému Common Rail a mimo jiné, zde sídlí nejvyšší ředitel a administrativní pracovníci.

V roce 1994 zaměstnávala společnost Bosch zhruba 160 zaměstnanců. V současné době zaměstnává okolo 4100 zaměstnanců, čímž se stává největším zaměstnavatelem na Vysočině. Jihlavské závody distribuují své výrobky do 25 zemí z nichž 68 % zákazníků je v Evropě, 22 % zákazníků v Asii a posledních 10 % objednávek je odesláno do Spojených států amerických [1].

Společnost Bosch se zajímá především o kvalitu a spolehlivost svých výrobků, dbá ale i o to, aby používání Bosch produktů a celková výroba nebyla lidem škodlivá. Firma se proto může pyšnit řadou ocenění a certifikátů, to je například bezpečnost práce, ochrana životního prostředí, rodina a zaměstnání. Rozmístění Jihlavských závodů a jakou se konkrétně zabývají výrobou je vidět na obr. 1. 3 [7].



Obr. 1.3 Rozmístění závodů v Jihlavě [1].

#### 1.4 Produkty závodů Jihlava

Jihlavské závody se s jejich produkcí stávají největšími výrobními závody v rámci celé Bosch Mobility solutions. Na Závodě I se vyrábí zpětné vedení paliva (FRL – *Fuel return line*), jehož podstatou je dostat nevyužitě palivo zpět do nádrže, aby se dosáhlo 100% využití veškerého paliva (viz. obr. 1.5). Výroba zpětného vedení paliva se zařadila do výroby v roce 2016. Dále se zde vyrábí injektory pro vstřikování paliva (CRI – *Common Rail injector*) přímo do válce motoru. Injektory se na Humpolecké vyrábí od roku 2017. Věnují se sériovým opravám produktu (SIS – *Serien-Instandsetzung*) a výrobě 1. generace čerpadel, a to vysokotlakému čerpadlu CP1 (CP – *Common Rail Pump*). Čerpadlo CP1 je znázorněno na Obr. 1.4 [2].

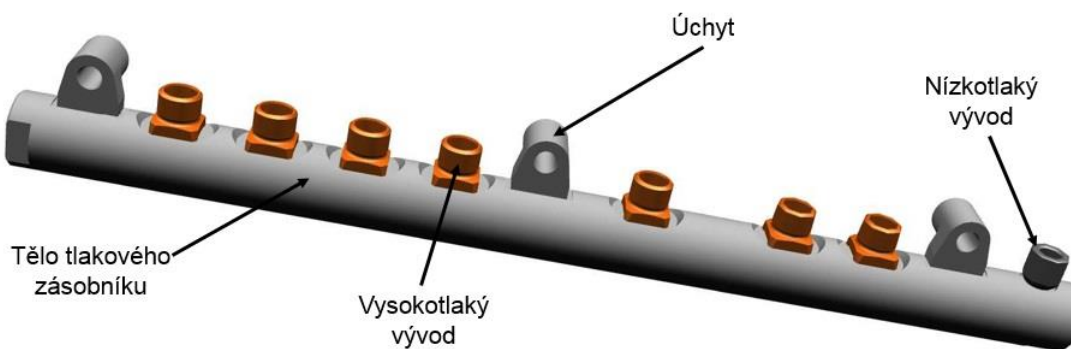


Obr. 1.4 Čerpadlo CP1 [8].



Obr. 1.5 Zpětné vedení paliva [1].

Závod II byl vybudován v roce 2000 za účelem výroby vysokotlakých čerpadel CP3, tato produkce byla v budoucnu zavržena a závod II funguje především pro výrobu vysokotlakých zásobníků. Roku 2002 zde začala výroba kovaných vysokotlakých zásobníků. Následně se do produkce zavedla výroba tlakových ventilů (PCV – *Pressure control valve*, PLV – *Pressure limiting valve*) a v roce 2005 se zavedla kompletní výroba svařovaného railu. V roce 2018 se zde vyrobilo 3,5 milionu zásobníků, a tím se závod II stal nejproduktivnějším výrobním závodem tlakových zásobníků v rámci celé Bosch Group. Na obr. 1.6 je znázorněn svařovaný vysokotlaký zásobník [1].



Obr. 1.6 Vysokotlaký zásobník [1].

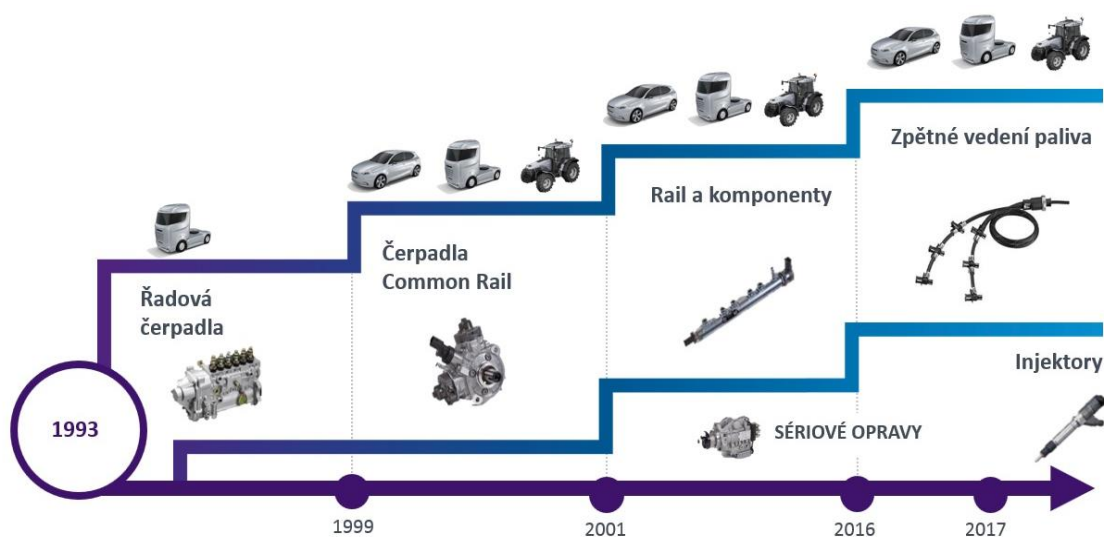
Závod III je posledním jihlavským závodem a současně největším. Zaměření závodu je soustředěno na kompletní výrobu a montáž vysokotlakých čerpadel. Aktuálně se zde vyrábí vysokotlaká čerpadla CP3 (viz. obr. 1.7), CP4 (viz. obr. 1.8) a CPN 5. Dále na závodě III sídlí administrativní pracovníci. Průběh jihlavské produkce ve výrobních závodech je vidět na obr. 1.9.



Obr. 1.7 Čerpadlo CP3 [9].



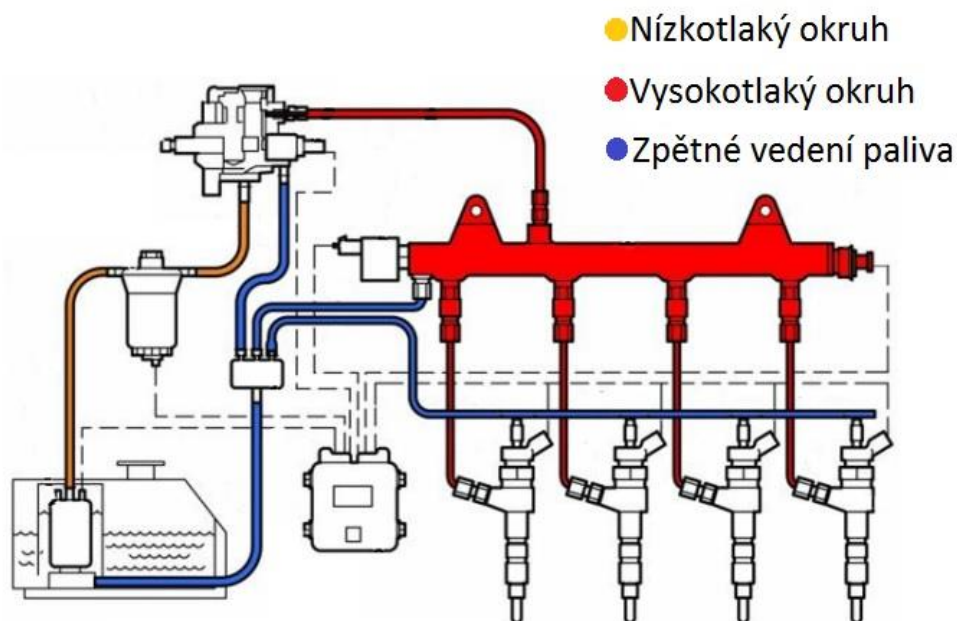
Obr. 1.8 Dvouhřlavé čerpadlo CP4 [1].



Obr. 1.9 Vývoj Jihlavského výrobního závodu [1].

## 2 COMMON RAIL SYSTÉM

Od roku 1998 se začal převážně používat systém vstřikování s tlakovým zásobníkem označován jako Common Rail, což by se dalo přeložit jako „společná cesta“. Common Rail začal být populární v automobilovém průmyslu protože, dokázal splnit požadavky na nižší spotřebu, tichý chod motoru a postupem času i dostatečně snížit emise. Dokáže tomu dosáhnout tak, že je zde poprvé odděleno vytváření tlaku a vstřikování paliva. Tlak je vytvářen v tlakovém zásobníku a palivo je zde neustále připraveno ke vstřikování. Tímto způsobem zvládne zajistit vytváření velmi vysokého tlaku a přesné dávkování. Common Rail systém je znázorněn na obr. 2.1 [10, 11].



Obr. 2.1 Common Rail systém [12].

### 2.1 Nízkotlaká část

Podstata nízkotlaké části systému Common Rail je dostatečně zásobovat vysokotlakou část palivem. Součástí nízkotlaké části je:

- palivová nádrž,
- podávací čerpadlo,
- palivový filtr,
- nízkotlaký okruh vysokotlakého čerpadla.

Úloha palivového čerpadla je taková, že čerpadlo musí neustále zásobovat vysokotlaké čerpadlo palivem, a to v jakémkoliv provozním tlaku. Cesta k vysokotlakému čerpadlu vede nepřetržitě z palivové nádrže přes palivový filtr. Tato část využívá buď elektrické palivové čerpadlo, které se využívá u osobních nebo lehkých užitkových vozidel, nebo zubové palivové čerpadlo. Zubové čerpadlo je nasazováno u osobních, užitkových, nebo zemědělských vozidel. Může být zavedeno přímo do vysokotlakého čerpadla, v tomto případě bude mít s vysokotlakým čerpadlem stejný pohon, nebo je integrováno na motor a má vlastní pohon [10].

Palivový filtr (viz. obr. 2.2) má za úkol odstranit všechny nečistoty, které by se mohli dostat do okruhu celého palivového systému. Nečistoty pak mohou zapříčinit vysoké škody. Dále je úkolem palivového filtru zachytit vodu, a to ve vázaných nebo nevázaných formách. Voda pak může na složkách systému způsobit korozi a snížit tím životnost motoru [10].



Obr. 2.2 Palivový filtr [13].

## 2.2 Vysokotlaká část

Vysokotlaká část se skládá z vysokotlakého čerpadla, které tvoří rozhraní mezi nízkotlakou a vysokotlakou částí. Čerpadlo musí být za chodu neustále v pohybu a přivádět do tlakového zásobníku palivo tak, aby bylo pod předem určeným téměř konstantním tlakem připraveno pro každý vstřík injektorů [14].

Součástí vysokotlaké části je také regulační ventil tlaku, jehož podstata je neustále kontrolovat tlak v tlakovém zásobníku. V případě že je tlak mimo stanovenou hodnotu, musí tento prvek vysokotlaké části palivo zregulovat tak, aby bylo opět v normě. S tímto se pojí i snímač tlaku v railu, který má za úkol dávat informace o aktuálním tlaku do řídicí jednotky, která se následně spojí s regulačním ventilem a ten podle situace zareaguje. Jsou zde dvě možnosti, buď je tlak v tlakovém zásobníku malý, regulátor se uzavře a tím se vytvoří v railu požadovaný tlak. Nebo je tlak příliš velký, v tomto případě se tlakový ventil otevře a upustí část paliva čímž tlak zreguluje [15].

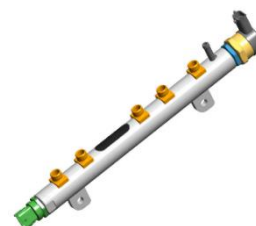
V neposlední řadě je zde tlakový zásobník, který dodává palivo do jednotlivých vstřikovačů. Do zásobníku je pomocí vysokotlakého čerpadla kontinuálně přiváděno palivo, které je následně v railu pod vysokým tlakem, tímto způsobem je zaručeno velmi přesné dávkování. Pokud se část paliva nestihne spotřebovat je zpětným vedením převedeno do palivové nádrže k opětovnému použití. Na tlakovém zásobníku byla prováděna analýza kvality svarových spojů, proto je jeho výroba a součásti podrobněji popsány v dalších kapitolách. Vysokotlaké komponenty jsou znázorněny na obr. 2.3, obr. 2.4, obr. 2.5 [16].



Obr. 2.3 Čerpadlo [17].



Obr. 2.4 Regulační tlakový ventil [1].



Obr. 2.5 Rail [1].

### 2.3 Vstřikovače a elektronická řídicí jednotka

Vstřikování je řízeno elektronickou řídicí jednotkou a dá se tak řídit pro každý válec samostatně. Motor musí pracovat v různých provozních režimech s optimálním spalováním, řídicí jednotka má za úkol vypočítat vždy správnou dávku vstřiku. Vstřikování se dělí na pilotní střík, který má za úkol dopravit do válců prvotní množství paliva a zahřát motor na určitou teplotu. Je to mu tak proto, aby nedošlo ke skoku teploty a tlaku. Po krátké pauze následuje hlavní vstřik, který je přesně spočítaný a řízený. Je zde i dodatečný vstřik, který se používá u motorů s filtrem pevných částic. Podstata dodatečného vstřiku je, aby byly pevné částice ve filtru spáleny. Vstřikovač je znázorněn na obr. 2.6 [15].



Obr. 2.6 Vstřikovač systému Common Rail [18].

Řídicí jednotka musí ovládat chod motoru v různých podmínkách, napomáhá ji k tomu množství snímačů, které jsou v motoru uloženy. Například snímač teploty vzduchu, paliva, snímač tlaku paliva v railu, signál rychlosti jízdy apod. Na základě těchto vjemů může řídicí jednotka ovládat důležité aspekty motoru jako jsou například dávkování paliva, vstřikovače nebo regulaci rychlosti jízdy. Rychlost jízdy je podle požadavků regulována pomocí vstřikovačů, jejich vstřikované množství je tak dlouho zvyšováno, nebo snižováno, dokud se nedostane na požadovanou hodnotu. Jednotka je uschována v kovovém pouzdře. Informace se do řídicí jednotky dostávají pomocí připojení více pólovým konektorem [10].

### 2.4 Vývoj systému Common Rail

Systém Common Rail (viz. obr. 2.7) měl už od počátku slibné vyhlídky. Jakmile se okolí začalo dozvídat, že může existovat dieslový motor, který dokáže splnit nízkou spotřebu a tichý chod motoru, začala popularita systému Common Rail stoupat. Pozitivní ohlas a množství prodaných systémů, nutilo společnost k dalšímu zlepšení a vyvíjení. Dělíme proto systémy Common Rail do jednotlivých generací.



Obr. 2.7 Common Rail systém [19].

#### **2.4.1 První generace**

První generace se dostala na trh v roce 1997. Tato generace dokáže vytvořit tlak až 1450 barů. Tato generace nepatří mezi y neekonomičtější, protože i při nižších zátěžích pracuje čerpadlo na plno. Systém první generace využívá čerpadla CP1. Tato generace využívá dva typy vstříků, a to pilotní vstřík a hlavní střík [15].

#### **2.4.2 Druhá generace**

Druhá generace dosahuje tlaku přidávaného paliva do válců až 1600 barů. Největším rozdílem je to, že u této generace byl vyvinut dodatečný střík, který je využíván. Dále se zde podařilo vyvinout u chodu motoru vlastnost, za pomoci které, je pomocí řídicí jednotky dodáváno množství paliva s ohledem na aktuální zátěž [16].

#### **2.4.3 Třetí generace**

Tato generace se dostává u vstříkovaného tlaku na hodnotu 1800 barů. Regulace paliva probíhá v nízkotlaké části. Zde se oproti předchozím generacím začali používat piezoelektrické vstříkovače, které dokázaly urychlit celý cyklus [15].

#### **2.4.4 Čtvrtá generace**

Čtvrtá generace využívá vysokotlaké čerpadlo CP4. Dokáže vytvořit tlak vstříkovaného paliva až 2050 barů [19].

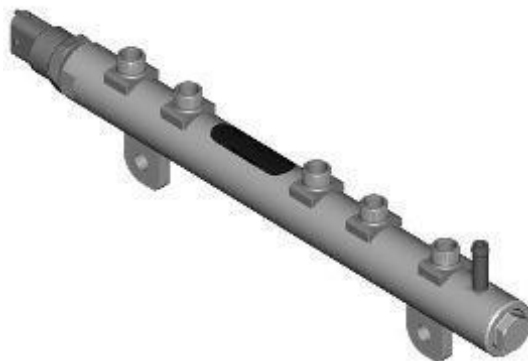
#### **2.4.5 Pátá generace**

Pátá generace systému Common Rail využívá vysokotlaká čerpadla CPN 5, které se aktuálně vyrábí na závodě III [1].

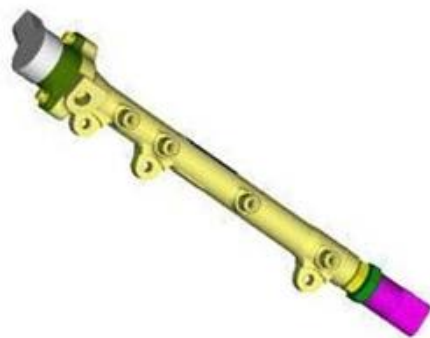
### 3 TLAKOVÝ ZÁSOBNÍK

Tlakový zásobník neboli rail, je v této kapitole popsán podrobněji, jelikož celá praktická část je věnovaná kvalitě svarových spojů na svařovaném railu.

Ve společnosti Bosch se vyrábí dvě skupiny tlakových zásobníků, a to tlakový zásobník HFR (*Hor forget rail*) a tlakový zásobník LWR (*Laser Welded rail*), neboli kovaný rail a svařovaný rail. Podstata je však obou skupin tlakových zásobníků stejná, musí neustále udržovat palivo pod vysokým tlakem, aby bylo v každou chvíli připraveno pro přívod paliva do jednotlivých vstřikovačů přes vysokotlaké komponenty. Palivo je do tlakového zásobníku neustále přiváděno vysokotlakým čerpadlem, tedy v tlakovém zásobníku je i po dodání paliva do vstřikovačů tlak téměř konstantní. Tímto způsobem můžeme dosáhnout velmi přesné dávkování do jednotlivých vstřikovačů, a tím i kvalitnější chod motoru. Jak kovaný tlakový zásobník, tak svařovaný tlakový zásobník je vidět na obr. 3.1, obr. 3.2.



Obr. 3.1 Tlakový zásobník LWR [1].



Obr. 3.2 Tlakový zásobník HFR [1].

#### 3.1 Tlakový zásobník HFR

Polotovarem kovaného tlakového zásobníku je výkovek, který má již tvar konečného zásobníku. Výkovek je z materiálu, který se doporučuje pro aplikace vyžadující vysoké mechanické vlastnosti a hladké povrchy. Jedná se o materiál feriticko-perlitická ocel s označením 38MnVS6. Polotovár tlakového zásobníku se vyrábí v různých parametrech, záleží na požadavcích zákazníků. Vyrábí se zde tlakové zásobníky, které jsou určené na velikost tlaku až 2500 barů. Abychom došli ke konečnému výsledku, jsou na kovaném railu prováděny obráběcí operace [20].

Postup výroby kovaného zásobníku je následující, nejprve se na výkovku provádí axiální obrábění. To spočívá ve frézování úchytů a konců tlakového zásobníku a vyvrtání úchytů tlakového zásobníku a vrtání vnitřního závitu na koncích railu. Axiální obrábění se provádí na stroji Huller Hille. Následuje hluboké vrtání, to znamená, že po celé délce railu se vyvrtá díra o určitém průměru. Po hlubokém vrtání se přesune rail na stanoviště radiálního obrábění, kde se všechny vývody ofrézují a vyvrtá se do nich díra. Na vysokotlakých vývodech je vytvořen vnější závit a na nízkotlakém vývodu je vytvořen vnitřní závit. Po všech obráběcích operacích je provedeno odjehlení.

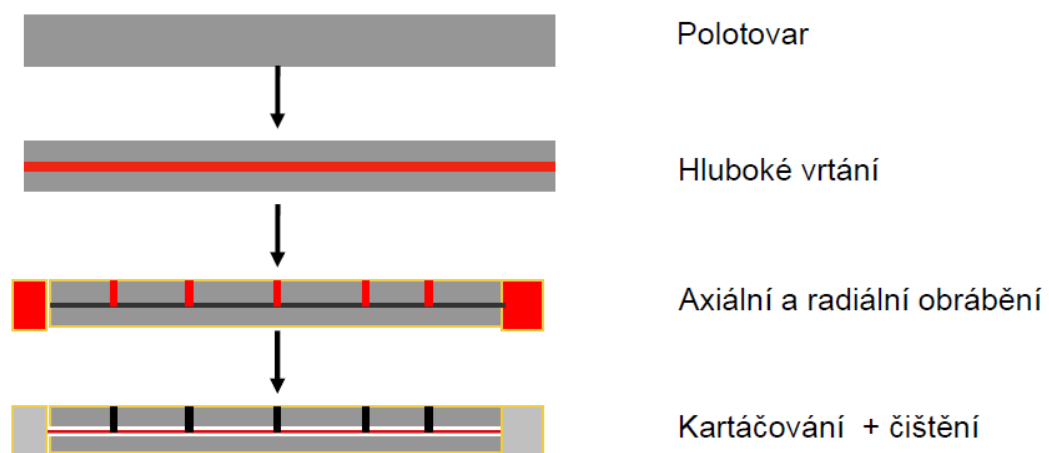
Dále se rail přemístí do měrového centra, kde se kontrolují všechny důležité parametry. Na některých railech je prováděna autofretáž, tedy do tlakového zásobníku se přivede tlak až okolo 8000 barů, čímž jsou zlepšeny pevnostní charakteristiky. Nakonec je na zásobníku prováděna povrchová úprava.

### 3.2 Tlakový zásobník LWR

Svařovaný tlakový zásobník má stejnou podstatu úkolu jako kovaný tlakový zásobník. LWR railu se ve společnosti Bosch vyrábí asi kolem 100 druhů, avšak analýza kvality svarových spojů byla prováděna jen na jednom typu, protože každý rail prochází stejným obráběcím a svařovacím procesem. Polotovarem pro tyto zásobníky je dodávána šesti metrová tyčovina o průměru 30 a 33 milimetrů. Materiál tyčoviny je 20MnCrS5 s obsahem 0,02 % uhlíku, což je kalená ocel s nízkým obsahem uhlíku, ale dobrou odolností proti opotřebení díky vysoké tvrdosti povrchu po vytvrzení. Malé velikosti zrna jsou přínosem pro dobrou tvárnost a únavovou pevnost. Tento materiál je vhodný pro převodovky a nápravy. Porovnání s materiálem 16MnCrS5 (materiál komponentu), má vyšší pevnost v jádře při nižší houževnatosti [21, 22].

#### 3.2.1 Obráběcí operace

Před navařením komponentů na tlakový zásobník musí projít polotovar několika obráběcími operacemi. Nejprve je prováděno hluboké vrtání, tedy po celé délce zásobníku je vyvrtána díra o určitém průměru. Dále je na koncích zásobníku prováděno axiální a radiální obrábění a to vrtání, frézování a formování závitu. Následně se připraví plochy na navaření vysokotlakého nebo nízkotlakého vývodu, to spočívá ve vrtání, frézování, kuželové zahlubování. Po těchto operacích se přechází na kartáčování a následné čištění railu. Přechází se k vizuální kontrole, kde se zaměřují na správnost obráběcích operací. Po vizuální kontrole se zásobník vyčistí ještě jednou v čisticím přístroji, při tomto vyčištění má dojít k dokonalému odmaštění, aby byl rail 100% připravený na další operace, což je svařovací proces, který je podrobně popsán v další kapitole. Jak vznikne z polotovaru pomocí obráběcích procesů zásobník připravený na navaření jednotlivých komponentů je znázorněno na obr. 3.3.



Obr. 3.3 Obráběcí operace [1].

### 3.2.3 Svařovací operace

Vzhledem k tomu, že svařovací proces je důležitý k analýze kvality svarového spoje, je podrobněji popsán v následující kapitole. Komponenty před a po navaření jsou vidět na obr. 3.4. Svařovací proces se skládá z:

- odporové svařování,
- heftování,
- CO<sub>2</sub> svařování,
- výstupní vizuální kontrola.



Obr. 3.4 Zleva: rail před navařením komponentů, kompletní rail [1].

### 3.2.4 Komponenty tlakového zásobníku

Na tlakový zásobník jsou navařeny nízkotlaké vývody pomocí odporového svařování a vysokotlaké vývody s úchyty jsou navařeny nejprve pomocí švového svařování a následně pomocí CO<sub>2</sub> svařování. Počet vysokotlakých vývodů ovlivňuje počet válců motoru, do kterého má zásobník pasovat. Úchyty slouží k upevnění tlakového zásobníku, a nakonec je tu nízkotlaký vývod, který je potřeba pro vedení přebytečného paliva. Komponenty jsou vyráběny z materiálu 16MnCrS5, který se doporučuje pro aplikace s vysokými nároky na mechanické vlastnosti, obrobiteľnosť a kvalitu povrchu. Je také vhodný pro kalení a má dobrou svařitelnost [23].

### 3.2.5 Regulační tlakový ventil

Název komponentu PCV (*pressure control valve*) už vypovídá o jeho funkci v systému Common Rail, tedy při provozu se stává regulátorem tlaku v zásobníku. Pokud je tlak v zásobníku příliš velký, tak regulátor tlaku upouští palivo zpět do nádrže, aby se provozní tlak v zásobníku dostal na předem určenou hodnotu. Naopak jestli je tlak pod stanovenou hodnotou tlaku, regulátor se uzavře a čerpadlo dodá palivo do tlakového zásobníku a tím se palivo v railu dostane pod předem určený tlak. Tento způsob dokáže zařídit, aby byl tlak v tlakovém zásobníku téměř konstantní. Regulační tlakový ventil je vidět na obr. 3.5 [15].



Obr. 3.5 Regulační tlakový ventil [24].



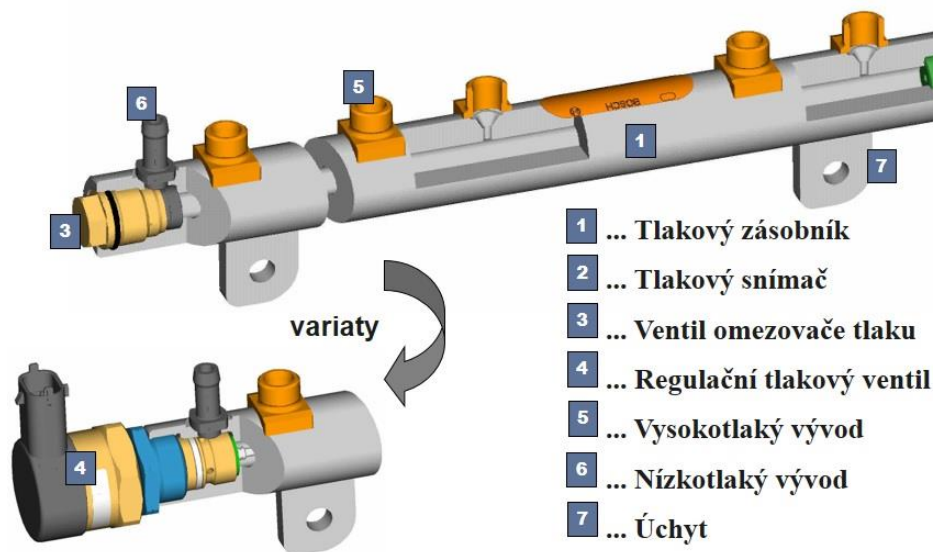
Obr. 3.6 Ventil omezovače tlaku [24].

### 3.2.6 Ventil omezovače tlaku

Podstatou komponentu PLV (*Pressure limiting valve*), neboli ventily omezující tlak zabezpečují systém proti nadměrnému tlaku v systému nebo omezují provozní tlak. Tedy jsou typem tlakového regulačního ventilu a pomáhají zajistit, aby tlaky systému byly udržovány pod požadovanou horní hranicí a udržovaly nastavený tlak v příslušných částech okruhu. Většina pneumatických systémů je navržena tak, aby pracovala v přednastaveném rozsahu tlaků. Bez kontroly nebo omezení těchto sil by mohly být poškozeny elektrické komponenty (a drahé zařízení). Ventil omezovače tlaku je vidět na obr. 3.6 na předchozí straně [25, 26].

### 3.2.7 Tlakový snímač

Účel tlakového snímače je přesné stanovení okamžitého tlaku v tlakovém zásobníku. Nejdůležitější částí snímače je membrána, která se nachází na konci přívodního kanálku, na kterou tlačí přiváděné palivo. Na membráně je umístěn snímací člen, který je schopen přijímat a převádět informace o aktuálním tlaku. Následně se tyto informace pomocí elektronického signálu dostávají do řídicí jednotky, kde se údaj vyhodnotí a řídicí jednotka je schopna určit, jestli je aktuální tlak v požadované normě. Pokud je zde menší či větší tlak, regulátor tlaku se postará, aby se aktuální tlak dostal zpět do téměř konstantní určené hodnoty. Kompletní tlakový zásobník LWR s komponenty je znázorněn na obr. 3.7 [27].

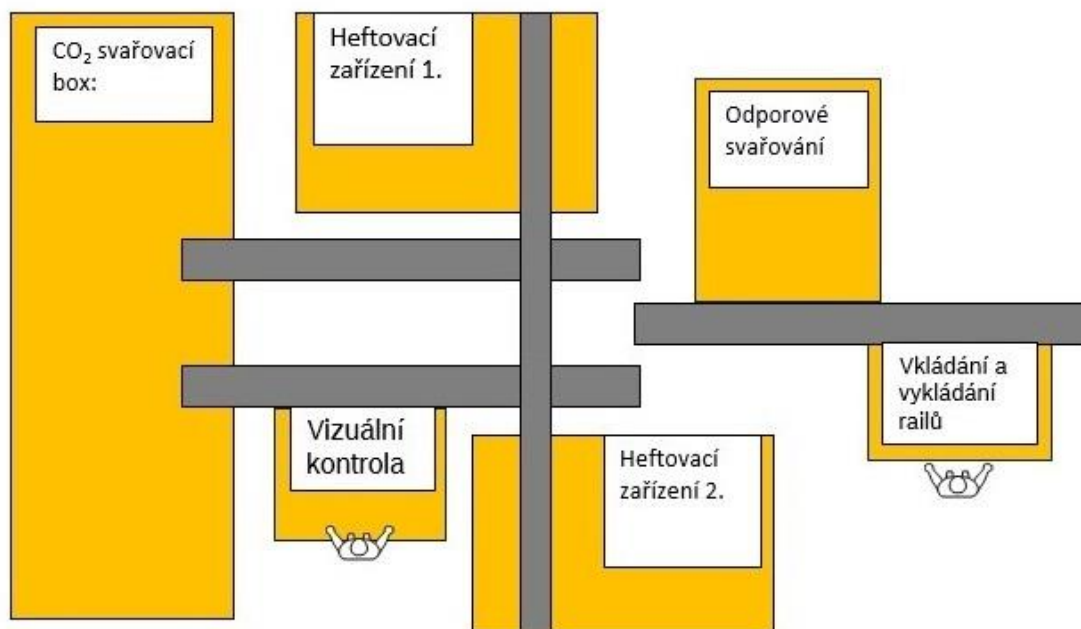


Obr. 3.7 Kompletní tlakový zásobník [1].

## 4 SVAŘOVACÍ PROCES

Tato kapitola je věnována svařovacímu procesu. Nejprve je zde popsáno, jak jdou jednotlivé operace za sebou a poté je každá svařovací operace podrobněji popsána.

Jak už bylo řečeno v předchozí kapitole, polotovarem tlakového zásobníku je nařezaná tyčovina. Tudíž aby na tlakový zásobník mohly být navařeny jednotlivé komponenty, musí projít obráběcím procesem. Dále je tlakový zásobník převezen do čistícího přístroje. Svařovací proces je zahájen po bezprostředním vyčištění zásobníků od mastnoty a nečistot vytvořeným z předcházejících obráběcích operací. Celá svařovací linka je propojena pásovým dopravníkem, po kterém jsou polotovary tlakových zásobníků převáženy na jednotlivé úseky. Nejprve jsou na polotovary tlakového zásobníku navařeny nízkotlaké vývody, dále se po dopravníku zásobníky převáží na prvotní proces navaření jednotlivých vysokotlakých vývodů a úchytu pomocí švového svařování. Po dokončení švového svařování je tlakový zásobník a jednotlivé svary zkontrolovány. Nejprve je zkontrolována kvalita navaření nízkotlakého vývodu pomocí zkušebního kalibru, poté se vizuálně zkontroluje kvalita švového svařování. Na jednotlivé komponenty jsou nasazeny ochranné krytky, aby se v průběhu dalšího svařovacího procesu nedostaly nečistoty. Tlakový zásobník je dále na pásovém dopravníku poslán do CO<sub>2</sub> svařovacího boxu pro finální navaření vysokotlakých vývodů a úchytů. Po skončení CO<sub>2</sub> svařování putují tlakové zásobníky na 100% vizuální kontrolu, kde je na každém kusu vizuálně kontrolována kvalita a správnost jednotlivých svarových spojů. Schéma celé svařovací linky je znázorněno na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Schéma svařovací linky [1].

#### 4.1 Odporové svařování

Odporové svařování, patří mezi metody, které dokáží snadno zvýšit produktivitu, protože svařování může probíhat ve velmi krátkých časových intervalech. Ve společnosti se používá odporové svařování výstupkové pro navaření nízkotlakých vývodů tlakového zásobníku paliva. Tyto komponenty jsou kruhového tvaru, proto se pro navaření nevyužívá laserové svařování. Polotovary tlakového zásobníku jsou drapákem přemístěny do svařovacího stroje, kde je upnut do čelistí. Následně jsou komponenty pomocí trnu přemísťovány do svařovací hlavy. Přičemž se na ně upnou opěrné elektrody, které přivádějí do svařovaných komponentů proud. Celkové vyvinuté teplo mezi elektrodami můžeme vypočítat pomocí Joulova zákona (4.1) [28, 29]:

$$Q = \int_0^t R \cdot I^2 \cdot dt \text{ [J]} \quad (4.1)$$

kde:

$Q$  ... celkové teplo [J]

$t$  ... čas [s]

$R$  ... celkový činný odpor [ $\Omega$ ]

$I$  ... proud protékající tímto odporem [A]

$dt$  ... diferenciál času

Komponenty mají na sobě výstupky, které se při procesu přivedou do tekutého stavu a tím vznikne spoj. Kvalita výsledného spoje je důležitá pro bezpečný chod tlakového zásobník, z tohoto důvodu je na konci svařovacího procesu mimo jiné prováděna zkouška těsnosti. Konečný navaření nízkotlaký vývod je vidět na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Nízkotlaký vývod [1].

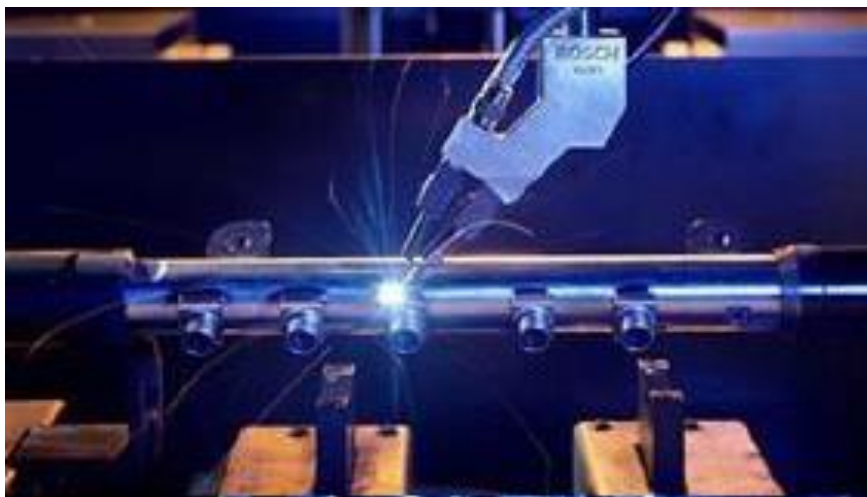
#### 4.2 Švové svařování

Švové svařování neboli heftování se používá pro navaření vysokotlakých vývodů. Je to svařování pomocí pevnolátkového laseru Nd:YAG, v této části svařování se využívá pevná látka, tyčinka yttriumaluminium-granát s přísadkou neodymu. Tento typ může pracovat v impulzním i spojitým režimu. Ve spojitým režimu se průběžně budí aktivní médium a vzniká souvislý laserový paprsek. V případě impulsního režimu se médium budí v časových intervalech a stejně tak vzniká i laserový paprsek. Svařovací proces tlakového zásobníku využívá impulsní režim švového svařování. Výsledný svar je zobrazen na obr. 4.4 [30].

### 4.3 CO<sub>2</sub> svařování

Svařování CO<sub>2</sub> laserem probíhá ve svařovacím boxu, který je sestaven z plechů a speciálních plexiskel, na kterých je natažená ochranná fólie, která napomáhá k nepropustnosti záření a světla v průběhu svařování. Svařovací box je během svařování zcela uzavřen, tudíž nikomu nehrozí nebezpečí. Celé svařování obstarávají dva roboti. Roboti si tlakové zásobníky odebírají z dopravního pásu a nastavují je pod svařovací hlavu. Tento proces je přesně naprogramovaný, aby byly jednotlivé svary na tlakovém zásobníku kompletně dokončeny.

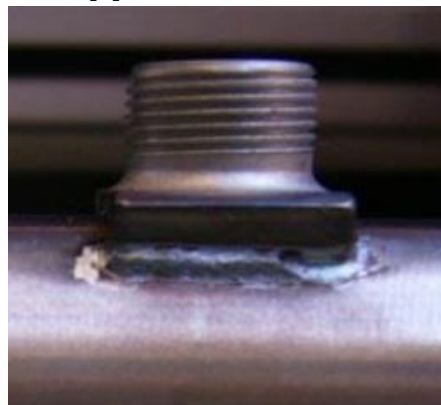
Svařování probíhá za pomoci CO<sub>2</sub> laseru, což je plynný laser, který má za aktivní medium směs plynů, a to převážně oxid uhličitý, dusík a hélium. Princip svařování spočívá v tom, že se směs zahřeje v rezonátoru, kde se generuje laserové záření. Záření se pomocí zrcátek, za kterými je přidělaná optika, přivede ke svařovací hlavě. Výběr optiky je velmi důležitý, neboť právě tímto můžeme ovlivnit tloušťku svaru apod. Tyto lasery se ve svařování používají hlavně proto, že se jedná o nejvýkonnější typy laserů. CO<sub>2</sub> lasery se dále využívají i pro jiné účely, například na řezání, či kalení. Vysokotlaký vývod po svařování CO<sub>2</sub> laserem je vidět na obr. 4.5 a jak vypadá svařování v CO<sub>2</sub> boxu je znázorněno na obr. 4.3 [31].



Obr. 4.3 Svařování CO<sub>2</sub> laserem [1].



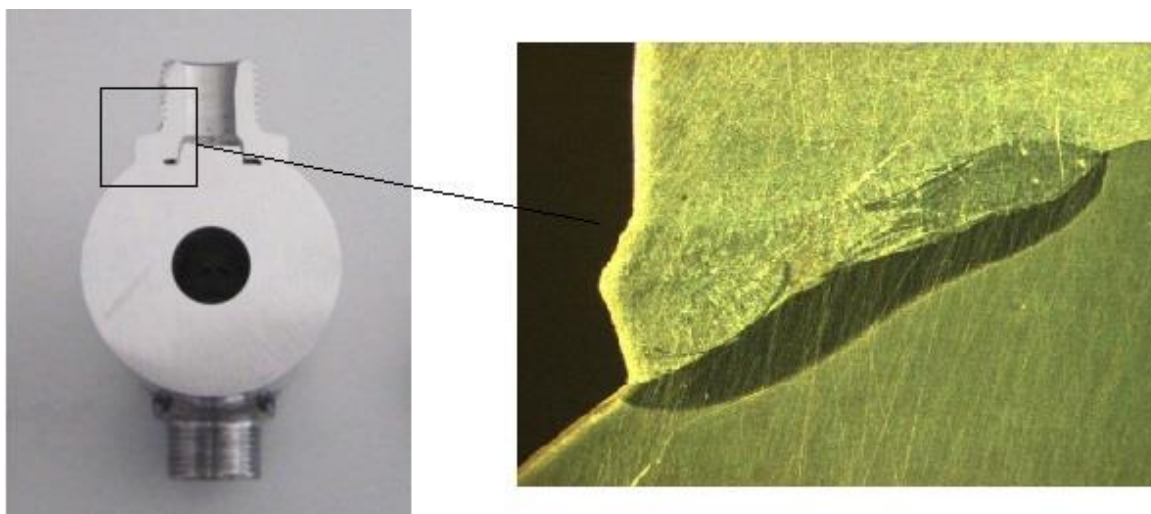
Obr. 4.4 Švové svařování [1].



Obr. 4.5 CO<sub>2</sub> svařování [1].

#### 4.4 Metalografická zkouška

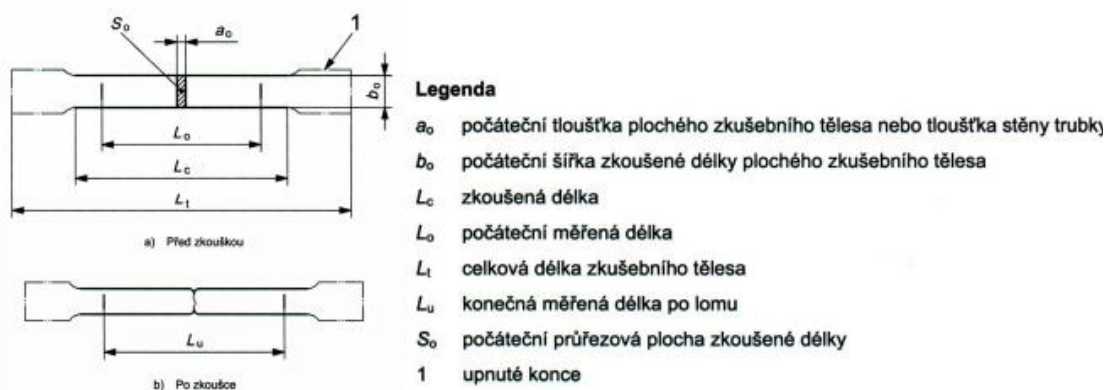
Metalografická zkouška se ve společnosti provádí pro kontrolu kvality a polohy svarových spojů. Jedná se o destruktivní zkoušku, která je vykonávána v intervalech související s provozním předpisem. Vzorky se nejprve nařezou pomocí dělicí pily Axitom. Musí se uříznout zhruba 5 mm od okraje navařeného komponentu. Dále se vyleští leštičkou Phoenix. Po obroušení je vzorek omyt vodou, ponořen do roztoku, opět omyt vodou a nakonec vyfoukán. Takto připravený vzorek je přenesen k vyhodnocení kvality svaru, které se provádí pomocí přístroje Zeiss. Příklad metalografického vyhodnocení jsou vidět na obr. 4.6 [32].



Obr. 4.6 Metalografické vyhodnocení, faktor zvětšení 4x [1].

#### 4.5 Tahová zkouška

Jedná se o destruktivní zkoušku, při které se dají zjistit velmi důležité napěťové a pevnostní charakteristiky. Zkušební tyče se upnou do čelistí stroje, přičemž jejich osa musí být totožná s osou čelistí, abychom měli výsledky zcela přesné. Následuje plynulé zatěžování zkoušené tyče silou  $F$ , tyč se během procesu natahuje z počáteční délky  $L_0$  až do okamžiku, kdy se natáhla do její koncové délky  $L_U$  a je přetržena. Dále se soustředíme na počáteční průřez tyče  $S_0$  a koncoví průřez tyče  $S_U$ . Zmiňované parametry můžete vidět na obr. 4.7 [33, 34, 35].



Obr. 4.7 Parametry tahové zkoušky [36].

Z těchto a dalších zkoumaných vlastností můžeme určit:

Pevnost v tahu  $R_m$  což je napětí odpovídající maximálnímu zatížení, které je dáno vztahem (4.2) [33]:

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} [MPa] \quad (4.2)$$

kde:

- $R_m$  ... pevnost v tahu [MPa]
- $F_{max}$  ... maximální působící síla [N]
- $S_0$  ... příčný průřez počátečního stavu [mm<sup>2</sup>]

Mez kluzu  $R_e$  je nejmenší napětí, při němž se tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by se zvyšovala zatěžující síla a dokážeme ji určit dle vztahu (4.3) [34]:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} [MPa] \quad (4.3)$$

kde:

- $R_e$  ... mez kluzu [MPa]
- $F_e$  ... zatěžující síla [N]
- $S_0$  ... příčný průřez počátečního stavu [mm<sup>2</sup>]

Tažnost  $A$  neboli poměrné prodloužení, které se vypočítá pomocí vztahu (4.4) [36]:

$$A = \frac{L_U - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.4)$$

kde:

- $A$  ... tažnost [%]
- $L_u$  ... koncová délka tyče [mm]
- $L_0$  ... počáteční délka tyče [mm]

Kontrakce  $Z$  představující plastickou vlastnost materiálu, kterou můžeme vypočítat ze vztahu (4.5) [33]:

$$Z = \frac{S_0 - S_U}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.5)$$

kde:

- $Z$  ... kontrakce [%]
- $S_u$  ... koncová plocha průřezu [mm<sup>2</sup>]
- $S_0$  ... počáteční plocha průřezu [mm<sup>2</sup>]

Zkouška tahem je destruktivní a provádí se v intervalech podle provozních předpisů. Ze zkoušky se vyhodnocuje, jestli má daný kus požadované materiálové a pevnostní charakteristiky.

#### 4.6 Tlaková zkouška

Tato zkouška je prováděna na přístroji ATEQ a dělá se na nízkotlakých vývodech ND. Zkušební válečky se položí mezi podložky do přístroje a následně se postupně zatěžují tlakovou silou. Dosáhneme-li maximálního napětí v tlaku při kterém vzorek nepopraská, zjistíme tím pevnost v tlaku, která se označuje jako  $R_{mt}$  a je dána vztahem (4.6) [34]:

$$R_{mt} = \frac{F_{max}}{S_0} [MPa] \quad (4.6)$$

kde:

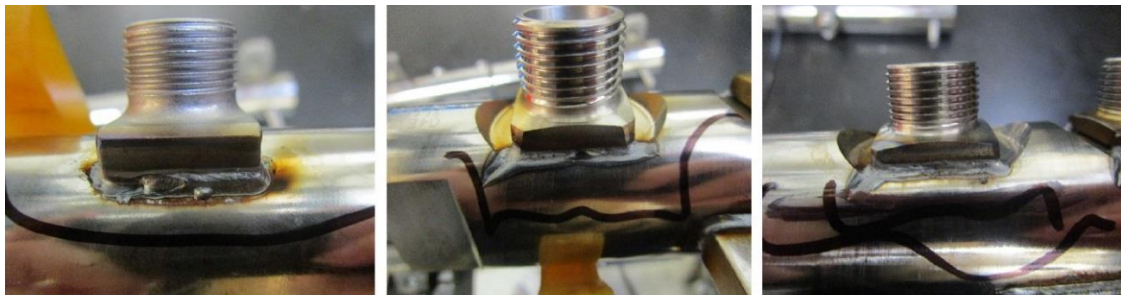
$R_{mt}$  ... pevnost v tlaku [MPa]

$F_{max}$  ... maximální působící síla [N]

$S_0$  ... příčný průřez počátečního stavu [mm<sup>2</sup>]

#### 4.7 Stoprocentní vizuální kontrola

V této poslední části svařovacího procesu se vizuálně hodnotí, jestli je vyrobený tlakový zásobník v pořádku. Vzhledem k vysokým tlakům, které tlakovým zásobníkem proudí je tato kontrola pro chod motoru velmi důležitá. Musí proto splňovat všechny požadavky, které očekáváme od celého svařovacího procesu. Kontroluje se zde, zdali byly korektně navařeny všechny komponenty na tlakový zásobník. Pracovník se zaměřuje na kvalitu svarového spoje, jestli je dobře umístěný. Může se stát, že je svar zúžený, krátký nebo naopak dlouhý, či je moc vysoko. Dále ve svaru vznikají póry, které jsou pro kvalitu svarového spoje nepřijatelné. Zaměstnanec se také zaměřuje na to, jestli na svarové ploše nevznikly okuje. V případě nejistoty, jestli je aktuálně kontrolovaný kus dobře vyrobený, má obsluha k dispozici lupu s osvětlením. Na závěr se kontroluje nízkotlaký vývod, a to konkrétně zkouška těsnosti svaru, která se provádí na přístroji ATEQ F520. Na obr. 4.8 jsou vidět některé příklady nepřijatelných svarů.



Obr. 4.8 Příklady nepřijatelných svarových spojů [1].

#### 4.8 Pracoviště 3D měření

Pracoviště využívá strojů Zeiss pro kompletní měření rozměrů tlakového zásobníku. Stanoviště musí být klimatizované, aby zde byla konstantní teplota. Kdyby bylo na tomto pracovišti příliš horko, mohlo by to ovlivnit naměřené výsledky. Pracovníci využívají 3D měření po dokončení svařovacího procesu, nebo naopak v průběhu procesu, jestli jsou hodnoty srovnatelné s technickou dokumentací. Pracoviště se používá i v případě, že se mění typ tlakového zásobníku. Pak se tedy musí měnit i svařovací programy, tudíž je nutné kontrolovat hodnoty v průběhu procesu. Výsledné hodnoty z měření jsou zapisovány do SPC (*Statistical Process Control*) karet, z kterých je patrný trend, jak se průběh svařování vyvíjí.

## 5 ANALÝZA ČISTICÍHO PROCESU

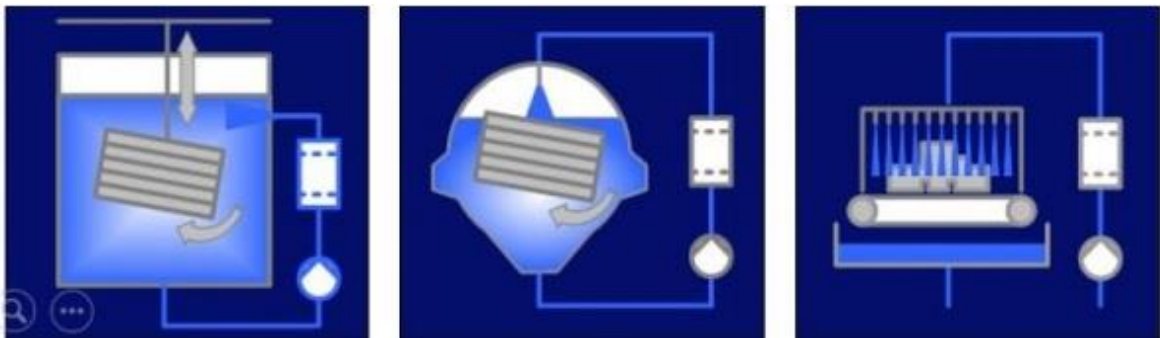
Čisticí proces je velmi důležitý před procesem svařování, zejména proto, aby byly odstraněny mastné nečistoty, které zůstávají na svařovacích plochách. Nečistoty následně způsobují, že se ve svaru vyskytují póry a jiné nežádoucí účinky. Vzhledem k sériové výrobě můžeme neshodné kusy zachycovat jen na 100% vizuální kontrole. Tam jsou ale zachycovány ty vady, které jsou vidět na povrchu, proto musíme docílit na základě různých analýz, kde dochází k destruktivním zkouškám vzorku, aby byl čisticí proces co nejkvalitnější a póry se ve svaru nevyskytovaly.

### 5.1 Čisticí proces

Existují dva druhy čisticích procesů, a to uhlovodíkové a vodní čisticí přístroje, které se dělí na další tři druhy. V této společnosti používáme v obou případech komorové čisticí přístroje, které jsou podrobněji popsány.

**základní rozdělení [37]:**

- uhlovodíkové čisticí přístroje:
  - komorové
- vodní čisticí přístroje:
  - postřikové
  - nálevové
  - komorové



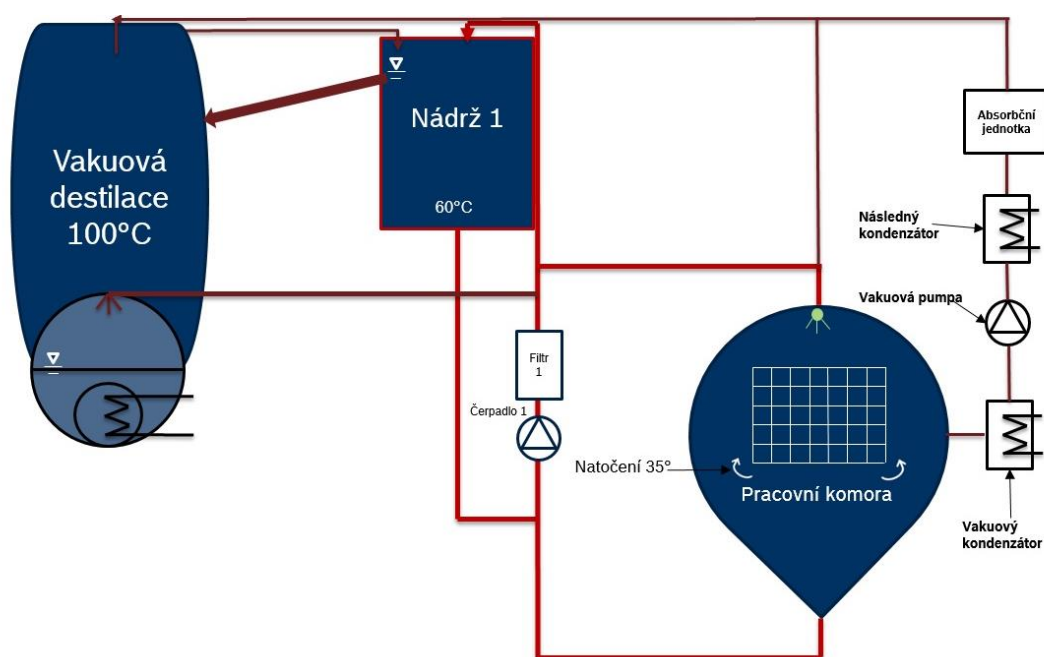
Obr. 5.1 Zleva: komorové, nálevové, postřikové [1].

#### 5.1.1 Uhlovodíkové čisticí přístroje

Uhlovodíkové čisticí přístroje se vyrábí jen komorové, protože zde hrozí exploze použitých látek, při kontaktu s ovzduším. Používají se pro čištění komponentů pro tlakové zásobníky. Komponenty se naskládají do pracích košů podle předpisu, pak se koše vloží na dopravník, kde automaticky zajedou do pracovní komory. Jak je vidět na obr. 5.2 z nádrže se napustí do komory médium, které zde zůstane určitý časový interval. V průběhu se koš s komponenty natáčí o 35° na každou stranu, přičemž se vždy při maximálním natočení zastaví na 5 sekund. Je to z toho důvodu, aby se v komponentech nezdržovala čisticí látka. Po splnění časového intervalu se látka vrací zpět přes filtr do vakuové destilace, kde se

médium zahřeje na určitou teplotu. Tím, že se zahřeje, čistá látka přejde v plynném skupenství zpět do nádrže, kde se stává opět kapalnou. Nečistoty z komponent se nemohly přeměnit do plynného stavu, takže zůstaly ve vakuové destilaci. Vzhledem k tomu, že tento proces čištění je velice účinný, tak se nádrž čistí až jeden krát ročně. Když je celý čistící proces u konce, tak se komponenty musí vysušit. To se dělá pomocí vakuového kondenzátoru. Následně je koš převezen opět na dopravník, kde projde chladicí komorou a pak se komponenty přesunou do svařovacího procesu. [1]

- médium:
  - Isopar H (izoparafinické alifatické uhlovodíky)



Obr. 5.2 Komorové uhlovodíkové čištění [1].

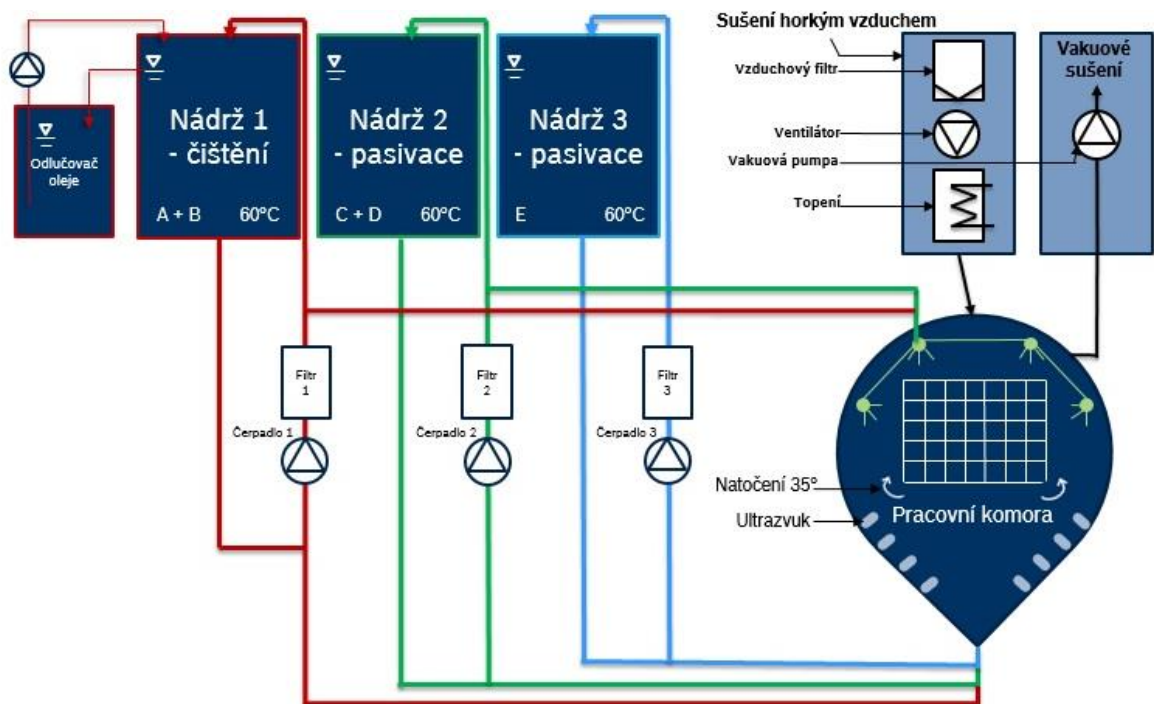
### 5.1.2 Vodní Komorové čistící přístroje

Vodní čistící přístroje se ve společnosti Bosch používají pro čištění tlakových zásobníků. Čistící proces je znázorněn na obr. 5.3. Nejprve se tlakové zásobníky naskládají do čistících košů na dopravník. Po dopravníku kusy zajedou do pracovní komory. Nádrž 1 obsahuje médium 1, které se napustí do pracovní komory, kde po určitou dobu pracuje ultrazvuk, který vyzařuje ultrazvukové vlny, čímž pomůže k odstranění nečistot ze zásobníku. Následně se médium vrací zpět do nádrže přes filtr. Poté po určitý čas probíhá injekční oplach. Oplach probíhá tak, že z nádrže 1 je přivedeno médium 1 do trysek, které se následně vrací zpět do nádrže. Pasivační nádrž 2 má stejný princip čištění, až na to, že je zde použit jiný časový interval. Dále je z nádrže 3 napuštěno do pracovní komory médium 3, to je zde ponecháno po určitou dobu. Během celého procesu se koš s komponenty natáčí o 35° na každou stranu, přičemž se vždy při maximálním natočení zastaví na 5 sekund. Je to z toho důvodu, aby se v komponentech nezdržovala čistící látka. Tímto je ukončen čistící

proces. Zásobníky se pak musí vysušit. Nejprve se suší pomocí horkého vzduchu, kdy se vzduch nasává z okolí. Vzduch musí přejít přes vzduchový filtr, ventilátor a topení. Filtr má za úkol vyčistit vzduch od nečistot a topení jej musí zahřát přibližně na 100°C. Nemáme zadanou přesnou hodnotu, na kterou musí být vzduch ohřátý, jen nesmí přesáhnout maxima, což je 155°C. Poté probíhá vakuové sušení, kdy se v komoře nastaví tlak na 20 barů a méně. Tímto se celý proces ukončil a koš je přesunut z vakuové komory na dopravník. Než se tlakové zásobníky zařadí do svařovacího procesu, tak celý koš musí projít chladicí komorou [1].

#### čisticí média [1]:

- médium 1:
  - Bonderite C-AK 5801 (Henkel), koncentrace 5 % ± 2 %
  - čisticí médium
- médium 2:
  - Bonderite S-FN 6748, koncentrace 0,5 % ± 0,2 %
  - pasivační médium (ochrana proti korozi)
- médium 3:
  - Bonderite S-FN 6748, koncentrace 0,3 % ± 0,1 %
  - pasivační médium (ochrana proti korozi)



Obr. 5.3 Vodní komorové čištění [1].

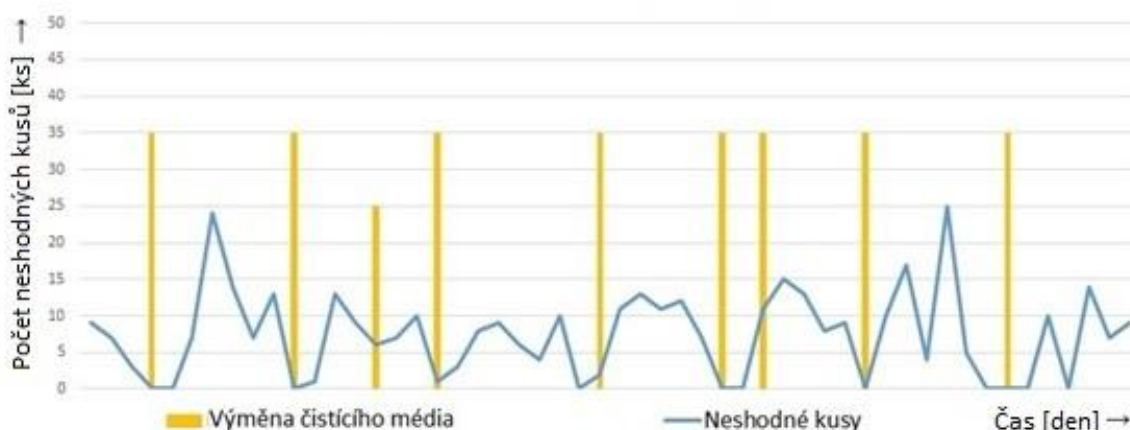
## 5.2 Výzkum čisticího procesu a jeho dopad na svarové spoje

Čisticí proces je zahájen po obrábění tlakového zásobníku. Zásobník se čistí nejprve ve vodním čisticím přístroji, kde není přítomno tolik koncentračního média a má být docíleno toho, že všechny nevhodné pozůstatky po obrábění budou odstraněny. Tento proces je založen na tom, že se tlakový zásobník v podstatě vypláchne. Pro tento proces využívá společnost Bosch čisticí stroj, který se nazývá Summa.

Dále je zásobník čištěn ve vodním komorovém přístroji. Jak už bylo řečeno, tak čisticí přístroj funguje ve 3 fázích. Každá fáze má svou vlastní nádrž s určitým médiem. Tyto média se musí kontrolovat, měnit a dolévat v určitém intervale. Vzhledem k tomu, že je to jediný proces, ve kterém se tlakový zásobník vyskytne před samotným svařováním, zaměřilo se na to, jaké mají tyto výměny a čištění nádrží dopad na vzniklé póry při svařovacím procesu.

Ve společnosti Bosch Diesel s.r.o. se každý neshodný kus a jeho důvod zaznamenává. Pracovník na 100% vizuální kontrole má za úkol každý nalezený tlakový zásobník, který nevyhovuje požadavkům správného svarového spoje, zaznamenat do tabulky. Následně jsou všechny tyto údaje přepsány do dokumentace, která se nazývá pareto analýza. Tato analýza je jedna z více záznamů, která slouží k dokumentaci, kolik chyb se vyskytlo a jaký byl jejich důvod. Dokumentace se archivuje, tudíž se kdykoliv interní zaměstnanec daného pracoviště může podívat, jak se s chybami pokročilo. Což bylo velmi nápomocné pro určení spojitosti mezi čisticím procesem před svařováním a následně vzniklými póry v průběhu svařování. Těchto neshodných kusů se v poměru z vyrobenými kusy vyskytne jen zhruba 0,15 %, ale když se vezme v potaz, kolik se tlakových zásobníků ročně vyrobí a jaká je jejich výrobní cena, tak i malé procento má v tomto případě velký význam.

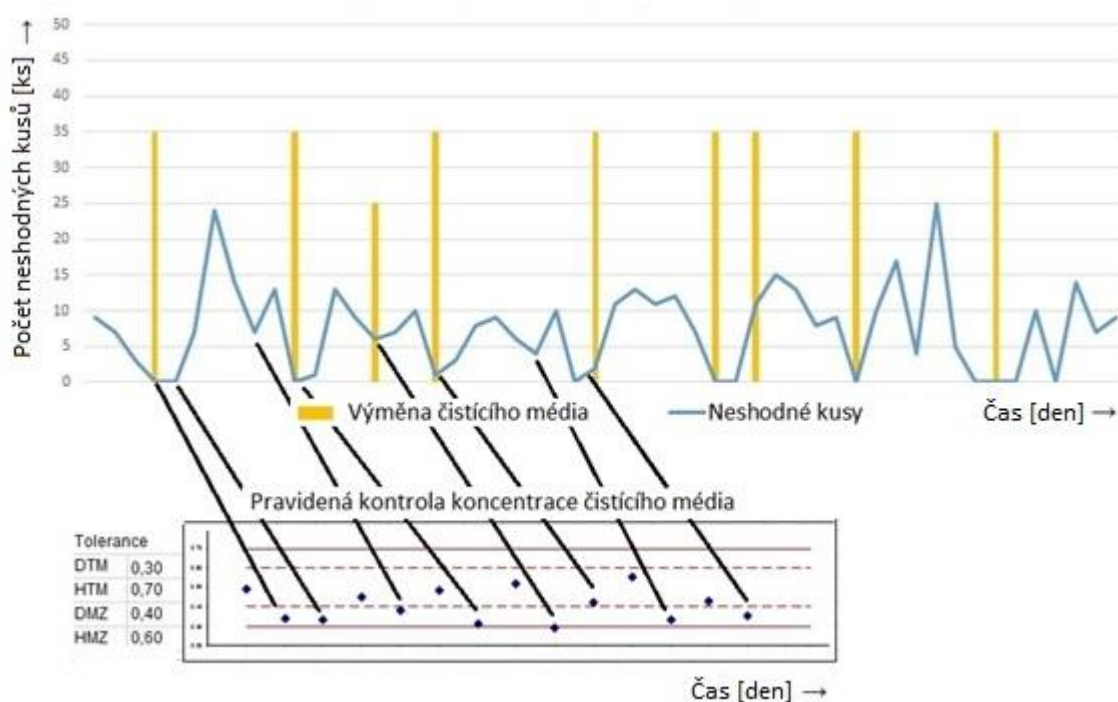
Byl tedy sestaven soubor s vloženými informacemi z pareto analýzy a k tomu byly připojeny data z výměn pracích médií. Na obr. 5.4 je vidět, že mezi čisticím procesem a vzniklými póry je spojitost. Modrá spojitá čára znázorňuje počet neshodných kusů, které byly vyřazeny, protože se na svarovém spoji našel pór a svislé čáry zobrazují výměnu pracího média.



Obr. 5.4 Čisticí proces a jeho vliv na pórovitost.

Následně bylo rozhodnuto, že se této spojitosti budeme věnovat podrobněji. V určitém intervalu je kontrolována koncentrace čisticího média. Provádí se to tak, že proškolený pracovník odebere vzorek z čisticího média, odnese ho do laboratoře, kde se změří koncentrace. Koncentrace čisticího média musí být vždy v určité toleranci, když tomu tak není, zaměstnanec upozorní nadřízeného a provede se doplnění čisticího média, aby se docílilo toho, že koncentrace čisticího média bude v normě. Tyto záznamy z kontroly koncentrací čisticího média se spojily s daty, které byly vytvořeny dříve a vznikl tento úkaz, který je vidět na obr. 5.5.

Na obr. 5.5 je znázorněno, jaká je spojitost mezi koncentrací a vzniklými póry. V dolní části obrázku jsou vidět informace z laboratoře, kde byla měřena koncentrace čisticího. V horní části obrázku je část analýzy čisticího procesu, kde modrá spojitá čára představuje počet neshodných kusů a vodorovné čáry znázorňují výměnu čisticího média. Černé spojitě přímky, které propojují tyto dvě části znázorňují, že když byla koncentrace čisticího média v daný den nižší, bylo nalezeno méně neshodných tlakových zásobníků. Tímto způsobem bylo prokázáno, že i malá odchylka od určité koncentrace je důležitá pro následný svařovací proces. Dále bylo k této analýze přidáno měření zbytkové mastnoty, které je popsáno v následující kapitole.



Obr. 5.5 Propojení pravidelné kontroly koncentrací čisticího média s výskytem neshodných kusů.

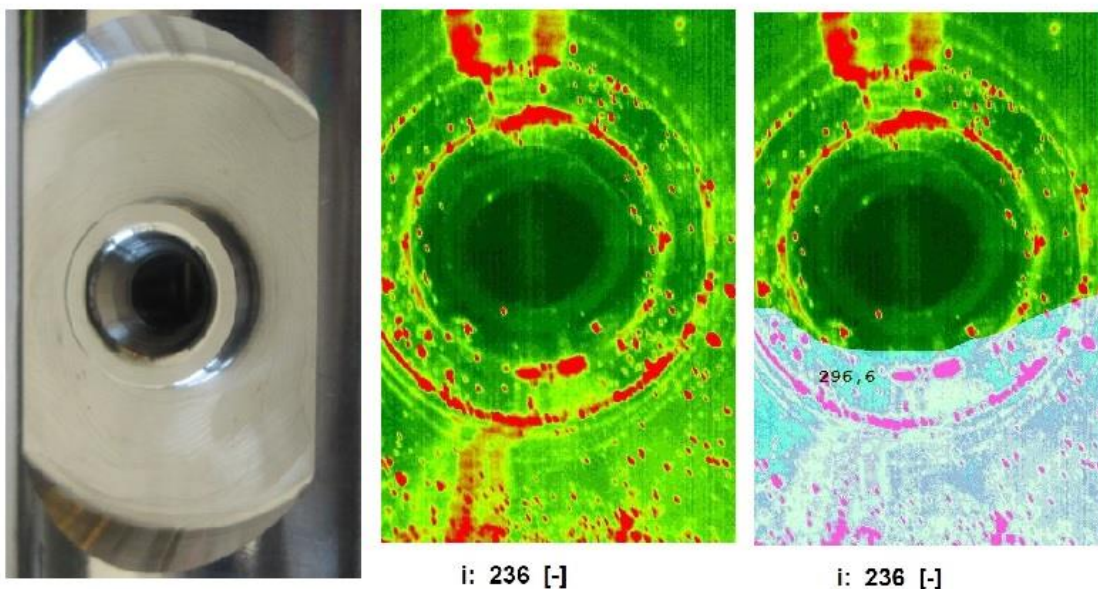
## 6 ANALÝZA ZBYTKOVÉ MASTNOTY NA SVAŘOVACÍCH PLOCHÁCH

### 6.1 Stručný popis přístroje Recognoil

Analýza zbytkové mastnoty na svařovacích plochách se vyhodnocovala pomocí přístroje Recognoil, což je elektronický analyzátor fluorescence se zaměřením na detekci mastných látek. Většinou se používá pro kontrolu, jak dobře je daný povrch odmaštěn [38].

Je poměrně lehký a dá se přenést na jakékoliv místo, protože k němu potřebujete jen připojený notebook. Vyhodnocení mastnoty povrchu trvá 3 až 5 sekund. Následně nám Recognoil do notebooku převede analyzovaný prostor ve formátu, v kterém ho můžeme snadno upravovat. Dále můžeme provádět analýzu mastnoty povrchu v reálném čase tak, že přiložíme kameru na povrch a budeme s ní posouvat tam, kde potřebujeme zjistit, jak je povrch odmaštěn [38].

Hodnotu mastnoty povrchu znázorňuje veličina I. Čím větší je I, tím je povrch více zamaštěný a naopak. Pomocí Recognoilu můžeme tedy upravovat proces čištění, tak abychom dosáhli požadovaného odmaštění. Recognoil se dá také používat na sledování nanesené vrstvy oleje, nebo kam nanesený olej vnikl a v jakém množství, protože digitální výstup nám umožňuje sledovat, kde se mastnota nachází a v jaké vrstvě. Příklad vyhodnocení pomocí přístroje Recognoil je vidět na obr. 6.1, kde je nejprve vidět zkoumaný vzorek a poté jeho vyhodnocení. Velkou výhodou je, že tato metoda je bezkontaktní, nedestruktivní a neovlivňuje vlastnosti zkoumaného povrchu. Princip Recognoilu funguje na detekci mastnoty pomocí UV záření a vyhodnocení obrazu intenzit jejich fluorescence [1, 39].



Obr. 6.1 Princip vyhodnocení pomocí Recognoil [1].

Současná doba klade vysoké nároky na kvalitu předúpravy povrchu a nedodržení dokonale odmaštěné svařovací plochy může vést k mnohonásobným defektům v průběhu dalšího zpracování. Proto je tento přístroj vhodný pro průběžnou kontrolu ve výrobním procesu, či využití pro obhajobu zlepšujícího návrhu současného stavu výroby. Recognoil je přenosná kamera, tudíž lze měřit zbytkovou mastnotu na jakémkoliv místě. Dále patří mezi jeho přednosti rychlé zpracování informací, vizuální zobrazení nynějšího stavu zbytkové mastnoty a ukládání těchto informací do počítače na pozdější zpracování. Jedinou nevýhodou přístroje je, že se každému procesu měření musí stavit individuálně, jelikož veličina, kterou tento přístroj používá je bezrozměrné číslo a nikde není známo kolik jednotek veličiny I představuje nevhodnou zbytkovou mastnotu pro další zpracování. Proto se musí naměřené hodnoty vždy porovnávat mezi sebou, nebo pro měření, které se vykonává v různých časových intervalech navodit co nejvíce identické provozní podmínky. Recognoil se používá především pro detekci na kovových materiálech, dá se ale využít i pro měření zbytkové mastnoty na skle, plastu a keramice. V následující tabulce jsou viděny parametry přístroje. Přístroj Recognoil je zobrazený na obr 6.2 [38, 40].

Tab. 6.1 Parametry přístroje Recognoil [38].

Název	parametry	jednotky
Rozlišení snímacího čipu	512 x 768	Px
Velikost vyhodnocené plochy	12 x 18	Mm
Maximální elektrické napětí	9	V
Výkon	1000	mV
Výdrž baterie	1000	Detekcí bez dobití
Hmotnost	500	g
Provozní teplota	10 až 30	°C
Skladovací teplota	5 až 40	°C
Rozměry (Š x V x H)	130 x 210 x 45	mm



Obr. 6.2 Přístroj Recognoil [41].

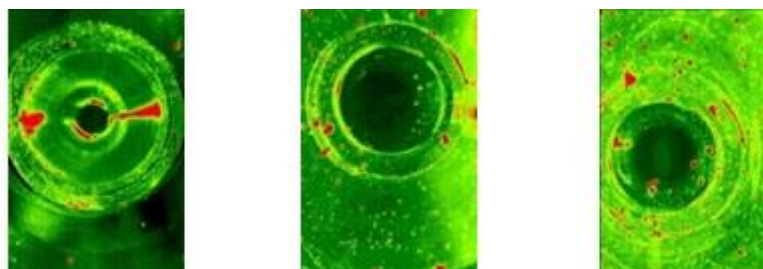
## 6.2 Proces vyhodnocování pomocí přístroje Recognoil

Pro tuto analýzu bylo nejprve použito 12 tlakových zásobníků s 4 svařovacími plochami. Vyhodnocení s 12 tlakovými zásobníky bylo vykonáno především z důvodu zjištění současného stavu odmaštění před svařovacím procesem. Těchto 12 kusů bylo nejprve analyzováno po vyčištění v přístroji Summa, dále byly kusy měřeny po vyčištění v přístroji Durr. Kusy jsou čištěny dvakrát z toho důvodu, že přístroj Summa má za úkol tlakový zásobník vyčistit od různých nečistot po obráběcích procesech, kdežto přístroj Durr má za úkol dokonalé odmaštění. Kusy byly následně převezeny na autofretáž, kde mají být zdokonaleny pevnostní charakteristiky a hned poté byly vyprány v přístroji Durr. Kusy se opět a naposledy analyzovaly a předaly do procesu svařování.

Dále bylo použito 5 kusů jiného typu s 11 svařovacími plochami. Na další analýzu byl použit jiný typ tlakového zásobníku, avšak podstata výroby je pro každý typ railu stejná. Tato dávka kusů se prala v nové čisticí médium označována jako DST. Čisticí médium bylo pro tento test použito v přístroji Durr, bez předchozího předčištění v přístroji Summa. Přístroj Summa má primární podstatu pouze zásobníky „vyplavit“ od nečistot, avšak s tímto čisticím médiem vykazovaly kusy také dobré odmaštění.

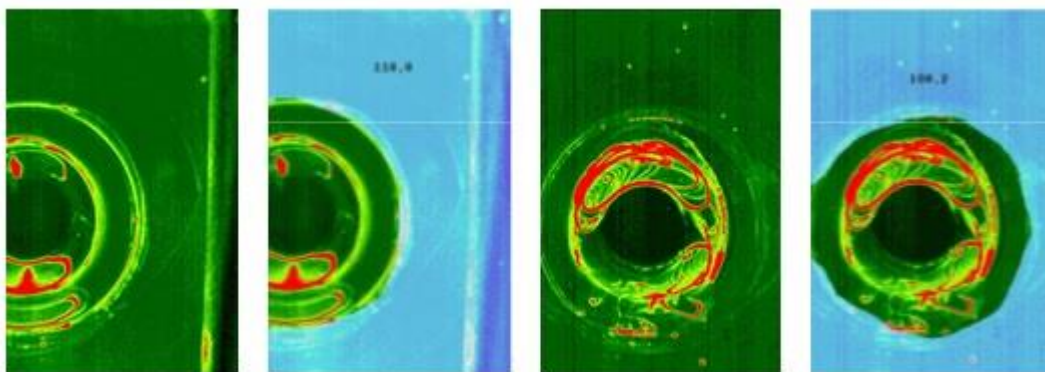
Naposledy se použilo dvakrát 18 kusů s 9 svařovacími plochami, přičemž prvních 18 kusů se odmašťovalo v přístroji Durr, kde bylo použito čisticí médium, které se ve společnosti využívá a označuje jako čisticí médium Bonderite. Po tomto procesu čištění se na kusech měřila zbytková mastnota. Následně bylo v pracím přístroji Durr prací médium změněno na médium DST, kde se odmašťovala další dávka s 18 kusy, které se poté analyzovaly pomocí přístroje Recognoil. Tento postup měření se vykonal, protože čisticí médium DST vykazovalo velmi příznivé odmašťovací schopnosti a tím pádem se jevílo jako vhodné potenciální čisticí médium, které nahradí chemii Bonderite.

Kusy byly měřeny vždy neprodleně po čisticím procesu. Postup měření byl následující. Kus se vždy uchopil za tu část, kde se nevyskytovala svařovací plocha. Každý tlakový zásobník byl měřen od úchyťů po koncovou část. Přístroj byl přiložen na svařovací plochu a následně byla vytvořena fotografie s daným vyhodnocením. Snímky byly sloučeny do jednoho pdf (*portable document format*) souboru, aby bylo přehledné, jakou hodnotu každá svařovací plocha představovala. Jak už bylo řečeno v předchozí kapitole, výslednou analýzu ovlivňuje prostředí, ve kterém se aktuálně mastnota vyhodnocuje, proto byla pro každou část zvolena místnost s přitímým světlem, aby byly výsledky co nejpřesnější. Každé měření může vyvodit jiné výsledky, proto jsme se snažili nastavit pro každé měření co nejpodobnější podmínky, jak jen to bylo možné. Pro měření byly používány čisté ochranné rukavice, aby nebyly výsledky znehodnoceny zásahem našich rukou. Příklad vyhodnocené plochy je vidět na obr. 6.3.



Obr. 6.3 Příklad vyhodnocení zbytkové mastnoty.

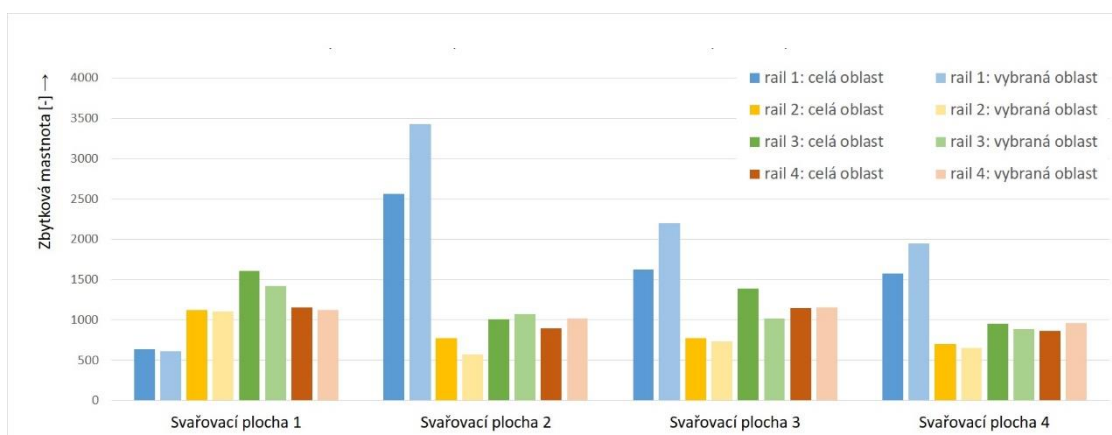
Obr. 6.3 na předchozí straně zobrazuje zbytkovou mastnotu celé snímané fotografie. Pro analýzu se používaly i hodnoty, které se získaly v programu, který podporuje formát snímaných fotografií přístrojem Recognoil. Postup vyhodnocení je velmi jednoduchý. Plochu, na které chceme vyhodnotit zbytkovou mastnotu, „vykreslíme“ pomocí nástroje v programu a ten nám na této ploše zobrazí číselnou hodnotu zbytkové mastnoty. Příklad takto vyhodnocené plochy je znázorněn na obr. 6.3. Vykreslování určité plochy a její příslušné hodnoty se provádělo kvůli tomu, že svařování neprobíhá na celé ploše, ale právě především na části vykreslené snímané plochy. Celá plocha však ve vyhodnocení zůstala, pro zanalyzování současného stavu odmaštění pomocí čisticích přístrojů.



Obr. 6.4 Příklad vyhodnocení zbytkové mastnoty.

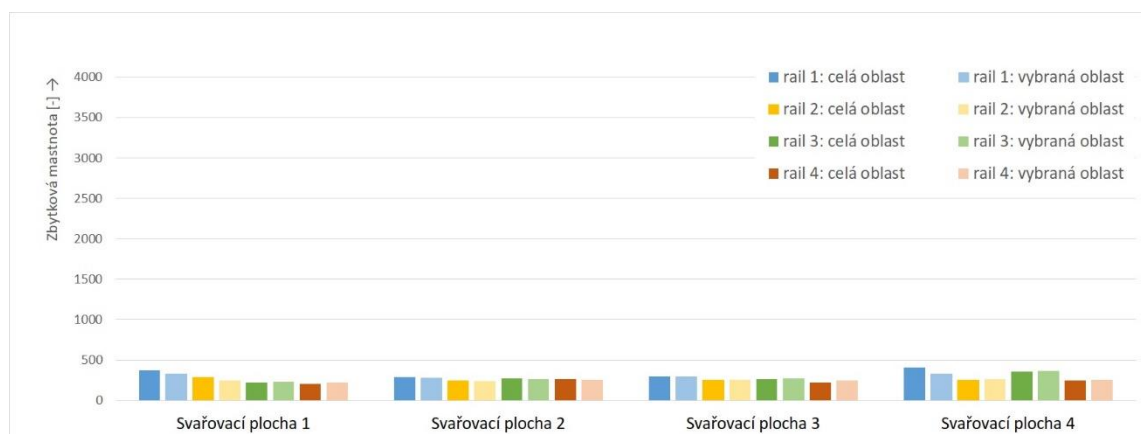
### 6.2.1 Měření zbytkové mastnoty na tlakovém zásobníku

První část představovalo vyhodnocení zbytkové mastnoty čisticího procesu po obrábění. Tento čisticí proces se dá označit za před čisticí operací, protože se kusy mají především „vypláchnout“ od nečistot, které se do railu dostanou při obráběcím procesu. Pro tuto část je použito médium, jehož hlavní složka je voda. Dá se předpokládat, že výsledky zbytkové mastnoty budou podstatně horší než výsledky po hlavním čisticím procesu. Výsledky tohoto měření jsou vidět na obr. 6.5. Vertikální osa představuje hodnotu zbytkové mastnoty, horizontálně jsou pak znázorněny jednotlivé svařovací plochy. Z této části je vidět, že některé svařovací plochy jsou horší a některé lepší, bohužel ale zatím není dostatek dat, pro porovnání všech čisticích procesů v průběhu svařování. V předchozí kapitole je napsané, že se pro měření použilo 12 kusů zásobníků. Aby byl graf dostatečně přehledný, jsou zde znázorněny výsledky ze 4 railů. Kompletní výsledky jsou k vidění v příloze 1.



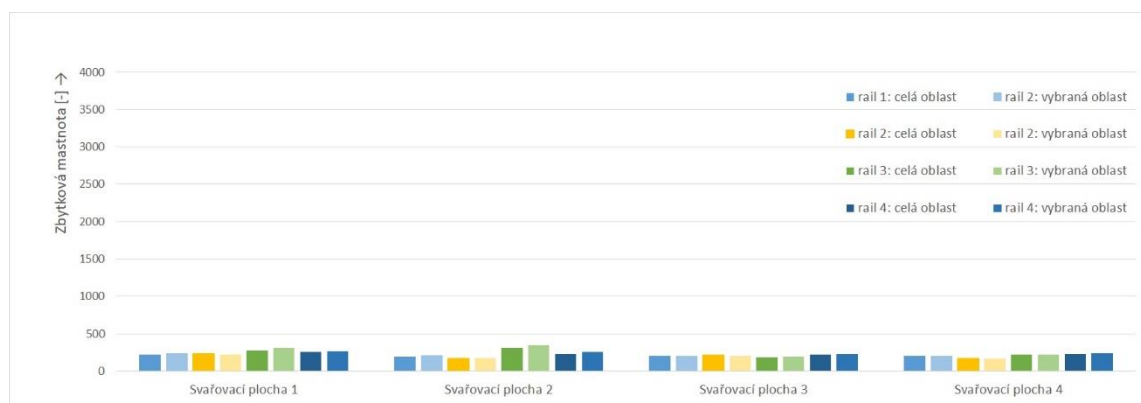
Obr. 6.5 Zbytková mastnota po použití před čisticího média Bonderite.

Postup měření byl v každé části identický. Měření probíhalo na stejném místě a v podstatě při stejném světle a teplotě, proto jsme zhodnotili, že podmínky pro další měření jsou ideální. Další část zahrnovala shodné kusy, které prošli čisticím procesem v přístroji Durr. V přístroji Durr mají být kusy dokonale odmaštěny a vyčištěny. Přístroj Durr používal jako čisticí médium označované Bonderite. Je to médium, které se aktuálně ve společnosti používá v čisticích přístrojích, jejichž podstata je kusy precizně odmastit. Po čisticím procesu byly tlakové zásobníky změřeny přístrojem Recognoil. Výsledky jsou vidět na obr 6.6. Vertikální osa představuje hodnotu zbytkové mastnoty, horizontálně jsou pak znázorněny jednotlivé svařovací plochy. Zde je patrné, že odmaštění bylo několikanásobně lepší, než v před čisticím procesu. Kompletní výsledky jsou vidět v příloze 2.



Obr. 6.6 Zbytková mastnota po použití čisticího média Bonderite.

Dále tyto kusy byly převezeny na autofretáž, která slouží k docílení lepších pevnostních charakteristik. Po skončení procesu autofretáž byly kusy převezeny zpět do čisticího přístroje Durr. Po čisticím procesu bylo opět provedeno měření přístrojem Recognoil. Měření probíhalo za stejných podmínek. Výsledky jsou vidět na obr. 6.7. Vertikální osa představuje hodnotu zbytkové mastnoty, horizontálně jsou pak znázorněny jednotlivé svařovací plochy. Z grafu je patrné, že hodnoty zbytkové mastnoty jsou téměř identické jako hodnoty z předchozího měření. Kompletní výsledky jsou vidět v příloze 3.

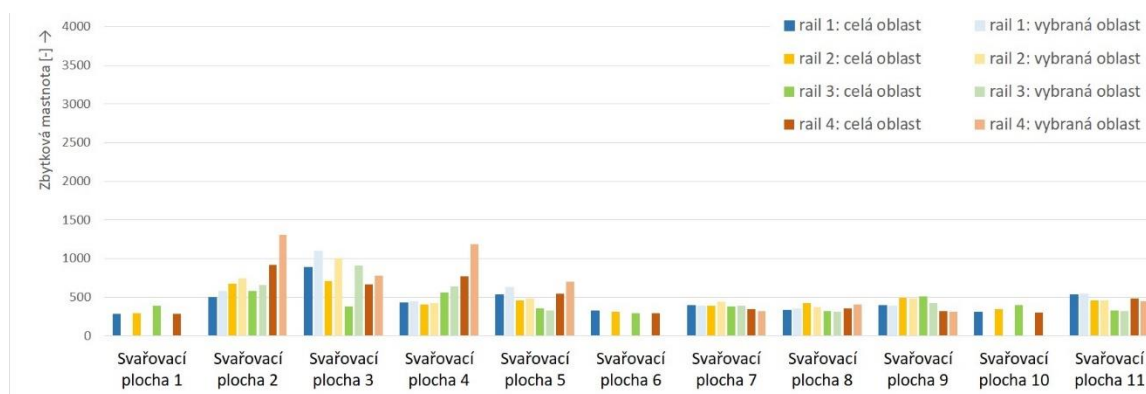


Obr. 6.7 Zbytková mastnota po autofretáži po použití čisticího média Bonderite.

### 6.2.2 Měření zbytkové mastnoty po použití nového čisticího média

Dále se měření přístrojem Recognoil aplikovalo na čišťené kusy v přístroji, kde byla použita nová prací chemie, pro vyzkoušení, jak budou kusy v této chemii vyčištěny od mastnoty a veškerých jiných nečistot. Kusy se čistily v přístroji pro hlavní čištění, avšak bez předchozího před čištění v přístroji Summa. Nové čisticí médium se ve společnosti označuje jako DST. Má podobnou strukturu jako současné medium Bonderite s tím, že má rozdílné poměry použitých látek. Výsledky z měření jsou vidět na obr. 6.8, přičemž vertikální osa představuje hodnotu zbytkové mastnoty, horizontálně jsou pak znázorněny jednotlivé svařovací plochy.

V grafu byly pro osu zbytkové mastnoty nastaveny stejné hodnoty, aby byly výsledky co nejpřehlednější. Pro měření v nové chemii se použil jiný typ tlakového zásobníku. Proces výroby je pro tento tlakový zásobník stejný, jen se jich pro měření použilo 5 kusů s 11 svařovacími plochami. V grafu jsou zobrazeny pouze 4 tlakové zásobníky. Kompletní měření je zobrazené v příloze 4. Při tomto měření byl záměr vyzkoušet chemii, která by byla vhodnější pro čisticí proces s docílením lepších výsledků. Toto měření bylo prováděno hned po procesu obrábění, tudíž je z grafu patrné, že výsledky jsou podstatně lepší, než při čištění ve stávající chemii, a proto bylo prodiskutováno zařazení nové chemie do procesu čištění.



Obr. 6.8 Zbytková mastnota po použití čisticího média DST.

### 6.3 Zhodnocení výsledků

Z celkového procesu sledování zbytkové mastnoty v průběhu celého procesu, který předchází svařování jednotlivých tlakových zásobníků, je patrné, že odmaštění při použití čisticího média Bonderite je dostačující. Avšak analýza zbytkové mastnoty na svarových plochách při použití nového čisticího média s označením DST dokazuje, že toto médium by mohlo mít velmi dobré predispozice pro ideální předúpravu svařovacích ploch. Bylo rozhodnuto, že se provede podrobnější měření zbytkové mastnoty s použitím celkem 36 kusů tlakových zásobníků.

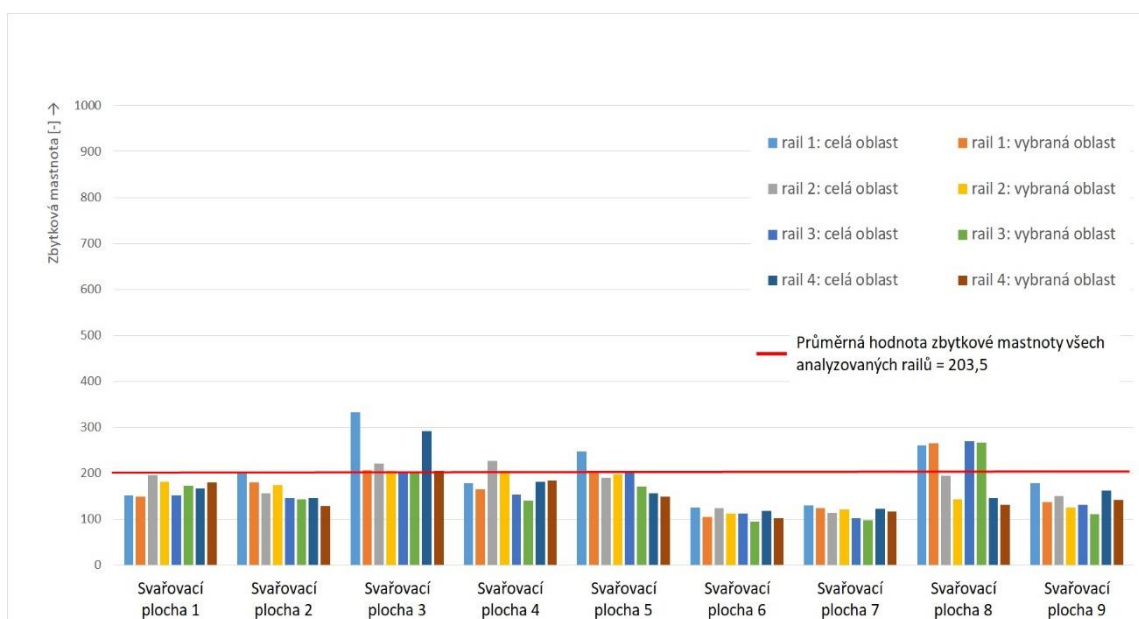
### 6.4 Předpokládané cíle

Podrobnější vyhodnocení se bude provádět s cílem určit, které z použitých médií při čisticím procesu bude mít lepší odmašťovací schopnosti. Další z cílů je určit pomocí CT vyhodnocení, které čisticí médium má vhodnější složení pro předúpravu svařovacích ploch a zabraňuje tak vzniku pórů ve svarovém spoji. V neposlední řadě je cíl určit, které z těchto médií bude prospěšnějších pro společnost z hlediska celkových vynaložených nákladů.

### 6.5 Podrobnější měření zbytkové mastnoty na tlakovém zásobníku

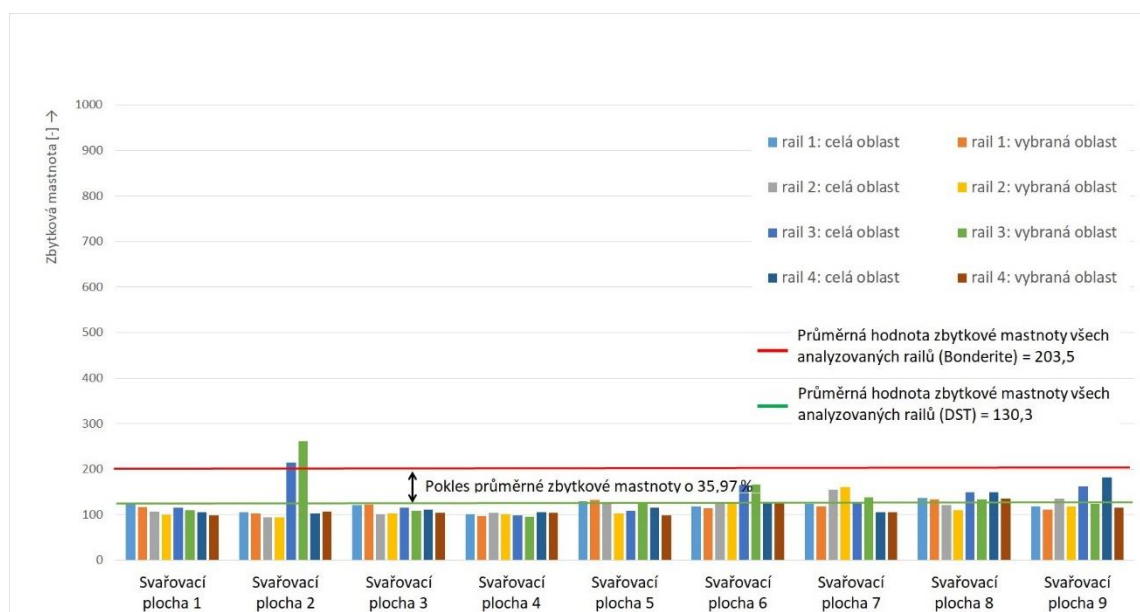
Podrobnější analýza zbytkové mastnoty zahrnovala dvakrát 18 kusů tlakových zásobníků. Nejprve se po obráběcích procesech použilo čisticí médium Bonderite. Pro měření byl použit tlakový zásobník s devíti svařovacími plochami, což je sice odlišný typ tlakového zásobníku, než se použil v předchozím měření, avšak podstata svařovacího procesu je pro každý typ stejná. Výsledky jsou zobrazeny na obr. 6.9. Vertikální osa představuje hodnotu zbytkové mastnoty, horizontálně jsou pak znázorněny jednotlivé svařovací plochy. V grafu jsou vidět výsledky pouze ze 4 railů. Kompletní měření je možno k vidění v příloze 5. V grafu je zobrazena pomocí červené vodorovné úsečky průměrná hodnota zbytkové mastnoty, která se rovná číslu 203,5 jednotek.

Vzhledem k tomu, že pomocí podrobnější analýzy zbytkové mastnoty bylo cílem určit, které čisticí médium má lepší odmašťovací schopnosti, měření probíhalo v rozdílné laboratoři, která nám mohla umožnit prostředí téměř bez světla. Důvodem bylo, že přítomné světlo může měření přístrojem Recognoil ovlivnit. Na grafu byla na ose zbytkové mastnoty vybrána podstatně menší maximální hodnota, kvůli přehlednosti zanalyzovaných výsledků.



Obr. 6.9 Zbytková mastnota po použití čisticího média Bonderite.

Další a zároveň poslední část analýzy zahrnovala taktéž 18 kusů tlakových zásobníků. Na svařovacích plochách se měřila zbytková mastnota po obráběcích procesech. Raily se čistily v přístroji, které obsahovalo nové čisticí médium s označením DST. Kusy se měřily ve stejné laboratoři, v které se měřilo předchozích 18 kusů čištěných v médiu Bonderite. Teplota místnosti v průběhu měření byla identická jako v předchozí části, tudíž podmínky pro analýzy byly zhodnoceny jako přijatelné. Výsledky měření jsou vidět na obr. 6.10. Vertikální osa představuje hodnotu zbytkové mastnoty, horizontálně jsou pak znázorněny jednotlivé svařovací plochy. Analýza zobrazuje pouze 4 raily, kompletní měření jsou z důvodu přehlednosti v příloze 6.



Obr. 6.10 Zbytková mastnota po použití čisticího média DST.

Průměrná hodnota zbytkové mastnoty při použití nového čisticího média označované jako DST se dle zobrazených výsledků rovná hodnotě 130,3 jednotek. Což představuje zlepšení průměrného odmaštění o 35,97 %. Zlepšení průměrného odmaštění se vypočítalo pomocí rovnice, která je dána vztahem (6.1):

$$\frac{X - Y}{X} \cdot 100 = \frac{203,5 - 130,3}{203,5} \cdot 100 = 35,97 \% \quad (6.1)$$

kde:

$X$  ... průměrná hodnota zbytkové mastnoty po čisticím procesu, při kterém bylo použito čisticí médium Bonderite

$Y$  ... průměrná hodnota zbytkové mastnoty po čisticím procesu, při kterém bylo použito čisticí médium DST

Výsledky, které vyplynuly z měření dokazují, že čisticí médium DST lépe odmašťuje než čisticí médium Bonderite.

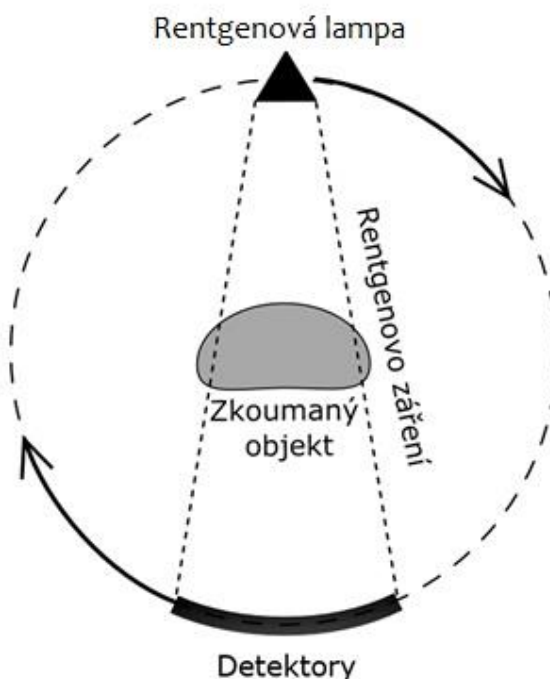
## 7 CT VYHODNOCENÍ

### 7.1 Historie CT vyhodnocení

Tomografie vznikla následkem využívání rentgenografie v praxi, a to nejen hlavně v lékařství, ale také v průmyslu. Důvod, respektive očekávání od tomografického záznamu bylo, aby bylo možné zachytit řez objektu. Objekt je nejčastěji obalen v nějaké hmotě, která obklopuje tento předmět tak, aby v tomto řezu byl jasný tvar obrysu tohoto objektu. Více řezů objektu nám pak dokáže vytvořit představu o skutečném tvaru. První tomografy využívaly princip kývavého pohybu rentgenové lampy spolu s kazetou s rentgenovým filmem, které byly na společné ose. Princip byl takový, že pomocí kývání došlo k rozmazání všeho, co se nacházelo pod a nad rovinou procházející osou kyvu. Naopak zůstalo ostré to, co se nacházelo v rovině, kterou osa kývání procházela. Pomocí posunováním objektu bylo možné postupně zobrazit více rovin řezů. Ostrost zobrazení se odvíjelo od pohybů rentgenové lampy [42, 43].

Elektronické snímače velmi razantně nahradily rentgenový film, co se týče zaznamenávání. Díky tomu se otevřela možnost pracovat s větším rozlišením, větší citlivostí a také rychlejším zpracování a sdílení záznamu. Toto znamenalo vyvinutí výpočetní tomografie (CT – *Computed Tomography*), která se využívá v lékařství a také v průmyslu [44].

Místo původního kývavého pohybu rentgenové lampy a snímače, který byl různě složitý se začal využívat kruhový pohyb. Díky tomuto pohybu je možné zkoumaný objekt rozřezat na více vrstev a tyto řezy poté spojit a vytvořit vícerozměrné zobrazení [45]. Princip je zobrazený na obr. 7.1.



Obr. 7.1 Pohyb rentgenové lampy [45].

## 7.2 Vývoj CT vyhodnocení

Prudký vývoj CT je datován počátkem šedesátých let 20. století díky prudkému pokroku ve výpočetní technice. Výkonnější počítače, větší kapacity disků a detekce ionizujícího záření umožnilo rozvoj této technologie [42].

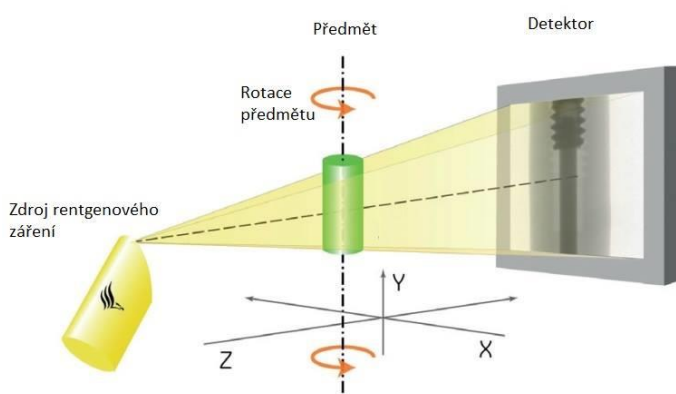
V první generaci CT byly využity tenké svazky rentgenového záření, které byly zaměřeny na jeden nebo dva detektory. Jednotlivá zobrazení se získávaly posunutím společného rámu rentgenové lampy a scintilačního detektoru přes vyšetřovaný objem, kdy pro každou vertikální pozici rámu bylo nutné pořídit několik snímků. Opakováním postupu se zajistily všechny zobrazení pro vyšetřovaný objem. Bylo nutné udělat přibližně až 160 měření, takže tento postup byl zdlouhavý [44].

Druhá generace vznikla na základě potřeby zrychlit celý proces zobrazení objektu. Využíval stejný princip, ale s větší rychlostí díky více detektorům. Tvar svazku se změnil na částečně vějířovitý. Také bylo třeba pootočit systém rentgenová lampa-detektory pro získání zobrazení [42].

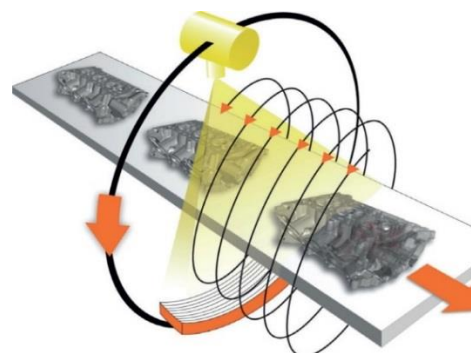
Třetí generace již využívala vějířovitý svazek. Bylo možné obsáhnout celý průřez objemu, takže nebylo nutné translačního pohybu detektorů. Soustava detektorů bylo umístěna na stejné ose, jako rentgenová lampa. Detektory byly uspořádány do oblouku. Projekce byly získány například velmi rychlým vzorkováním signálu detektorů. Třetí generace CT potřebovala několik desítek minut pro získání projekcí [46].

## 7.3 Princip CT vyhodnocení

V první řadě jde vlastně o nasnímání objektu (předmětu) v rentgenovém záření z více směrů. V průmyslovém použití se využívá hlavně rotace předmětu, kdy jde o snímání v kuželovém svazku (*Cone Beam CT*) viz. obr. 7.2. Zatím co v medicíně se využívá rotace okolo pacienta, který leží (*Helical CT*) viz. obr. 7.3. Řešení *Helical CT* je ale uvedeno do praxe i v průmyslovém prostředí. Po získání 2D snímků, je pak pomocí matematiky zrekonstruován 3D model. Model tvoří tzv. voxely (prostorové body). Voxely mají svůj rozměr a uchovávají informaci o stupni šedi ve svém daném prostoru. Rozměr voxelu je důležitým parametrem pro maximální rozlišení objektu [47].

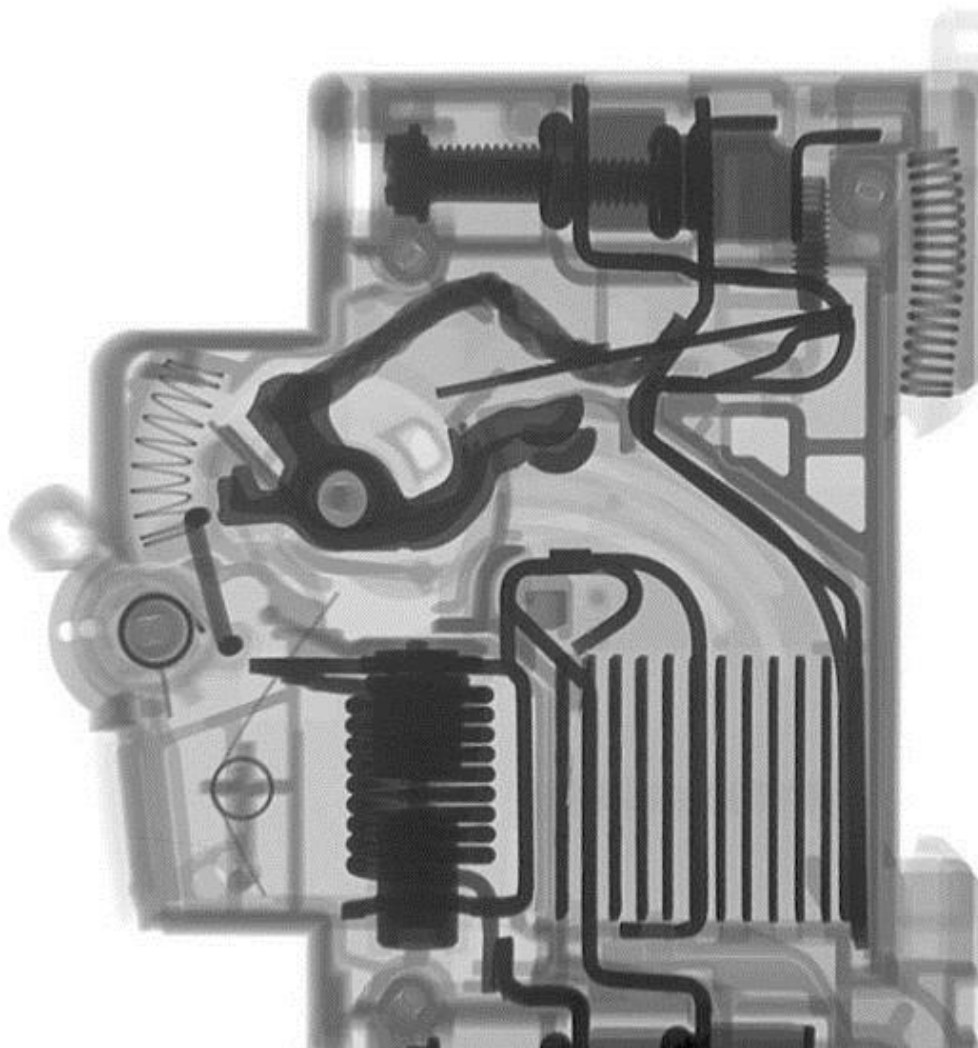


Obr. 7.2 Cone Beam CT [47].



Obr. 7.3 Helical CT [45].

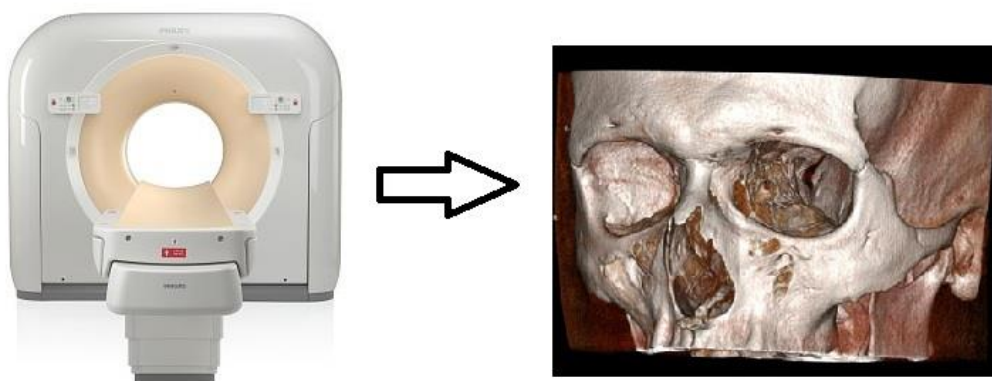
Na základě zkoumání jednotlivých 2D snímků je následně možné získat 3D objekt. Během měření se objekt otočí o 360°. Snímání 2D obrazu se provádí v jednotlivých úhlových polohách, podle nastavených hodnot. Kvalita dat, které jsou pořízeny, vychází z ostroty rentgenových snímků, takže i celkový výsledek je tím ovlivněn. Toto se odvíjí od přesnosti a stability manipulačního zařízení a také na kvalitě zdroje rentgenu a detektoru. Čím je tedy efektivnější CT systém, tím je výsledek přesnější a snazší pro rekonstrukci. Prostorová data objektu jsou generována pomocí metody rekonstrukce filtrované zpětné projekce. Aby byly výsledky měření co nejpřesnější, algoritmus pro rekonstrukci by měl brát v úvahu zesílení rentgenového záření, kruhové artefakty, lineární posuny a další. Tyto jevy jsou totiž získávány při snímání také a ovlivňují následnou rekonstrukci. Při požadavku na metrologická měření geometrie objektu, je důležité získat povrch objektu. Určený povrch je pak jako společný ASCII mrak bodů nebo STL povrch použit pro vlastní měření geometrie. Při vyhodnocení lze se získanými 3D objekty libovolně manipulovat. Například provádět řezy, rozlišit materiály pomocí barev a další, aniž bychom zničili reálný předmět zkoumání. Může se jednat například o porovnání aktuálních hodnot mezi povrchem a CAD modelem s barevným zvýrazněním odchylek. Příklad CT vyhodnocení je vidět na obr. 7.4 [48, 49].



Obr. 7.4 Příklad CT vyhodnocení [50].

### 7.3 Použití CT vyhodnocení

Výpočetní tomografie je nejčastější metoda pro nedestruktivní testování. Lze ji využít v různých oborech a odvětvích. Vyhodnocení se však nejčastěji využívá v lékařství (viz. obr. 7.5), strojírenském průmyslu a stavebnictví. Uplatnění lze ale najít i v oblasti elektroniky při kontrole pájeních spojů nebo v oblasti umění. Mimo tyto nejčastější využití lze výpočetní tomografii využít také v oblasti reverzního inženýrství a v dalších oblastech. Je možné analyzovat vady a odchylky například na povrchu materiálu (praskliny, póry, změny tloušťky materiálu, vnitřní strukturu). Také lze prostorové vady a defekty kvantifikovat a vyhodnotit pomocí 3D barevného vyhodnocení, kontroly odchylek, 3D kótování, 2D kótování a další. Dále se dá použít k určení orientace vláken v kompozitních materiálech, testování tloušťky stěny materiálu, testy kvality spojů a kloubů nebo komplexní kontrola dílu. Protože rentgenové záření neovlivní vzorek, je možné využití také pro kontrolu potravin nebo při opravě uměleckých děl. Další oblasti využití jsou dále objeveny. S výpočetní tomografií jsou ale také spojeny určité nevýhody, jako například maximální rozměr objektu, který lze měřit. To závisí na velikosti a možnostech tomografu. Také zde hraje roli výkon rentgenové lampy při použití různých materiálů měřeného objektu. Vhodné materiály pro měření jsou například plast, hliník nebo lehké slitiny [49].



Obr. 7.5 Použití CT v lékařství: Přístroj výpočetní tomografie [51], vyhodnocení [52].

### 7.4 Analýza pomocí CT vyhodnocení

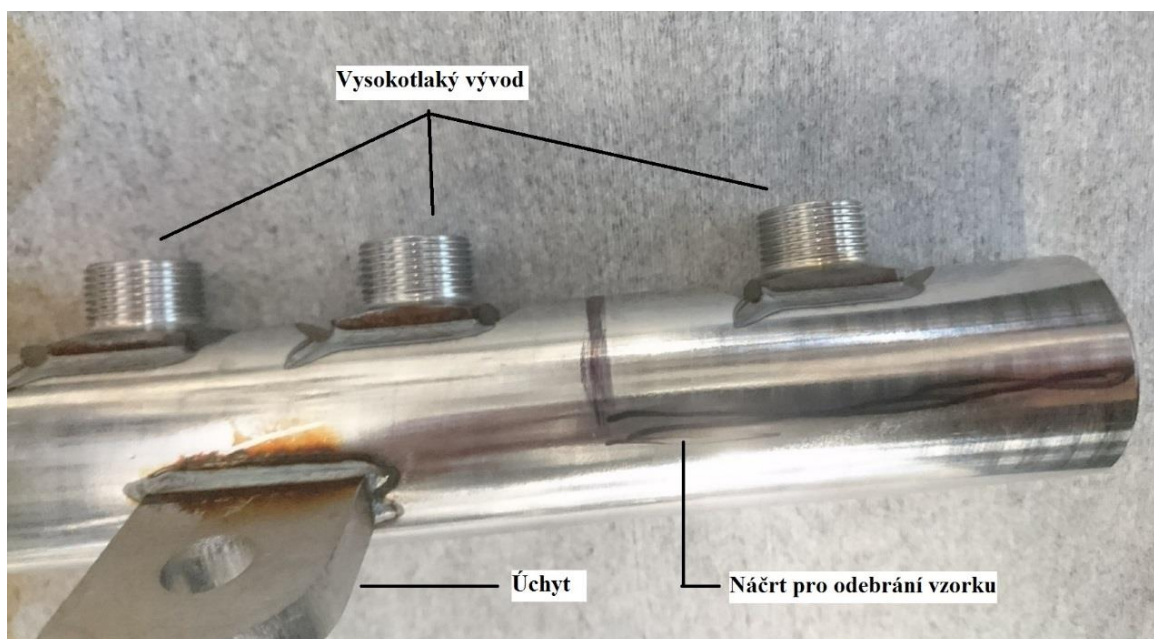
CT analýze předcházelo měření zbytkové mastnoty pomocí přístroje Recognoil. Na měření se vybralo 18 kusů tlakového zásobníku po vyčištění ve starém čisticím médiu a 18 kusů tlakového zásobníku, které se čistily v novém čisticím médiu. Z těchto dohromady 36 kusů se vybralo 10 tlakových zásobníků, které vyšly „nejhůře“, tedy byla na nich zjištěna větší zbytková mastnota, než na ostatních kusech. Z těchto 10 kusů se na test připravilo 10 vzorků. Vzhledem k tomu, že CT vyhodnocení je velmi náročné jak na čas, tak na energii, byly na analýzu vybrány jen určité vysokotlaké vývody. Jeden vzorek se rovnal vždy druhému vysokotlakému vývodu, tedy z každého kusu byl odebrán druhý vysokotlaký vývod tak, aby bylo CT vyhodnocení co nejefektivnější. Příprava vzorku je popsána v další kapitole.

#### 7.4.1 Příprava vzorku pro CT vyhodnocení

Pro vyhodnocení CT bylo vybráno celkem 10 nejhorších výsledků z měření zbytkové mastnoty pomocí přenosné kamery Recognoil. Prvních 5 výsledků představuje svařovací plochy, které byly před upravovány v čisticím médiu Bonderite a zbývajících 5 výsledků představuje svařovací plochy, které byly před upravovány v čisticím médiu DST. Měřila se zbytková mastnota na jednotlivých svařovacích plochách, kam byl následně pomocí svařovacího procesu navařen vysokotlaký vývod, nízkotlaký vývod, nebo úchyt. Experimentální měření probíhalo za co nejvíce ideálních podmínek, aby jednotlivé měření nebyly ovlivněny rozdílnými podmínkami v průběhu zkušebnímu procesu, jak bylo popsáno v předchozí kapitole.

Po vybrání svařovacích ploch, které byly nejhůře odmaštěny, bylo rozhodnuto, že tyto části tlakového zásobníku půjdou po navaření jednotlivých komponentů na CT vyhodnocení. Avšak z těchto jednotlivých dílů se musely tyto vzorky připravit. Každý tlakový zásobník, kde se nacházela svařovací plocha, na které bylo vyhodnoceno, že její zbytková mastnota před svařováním byla nejhorší, se musel najít, podle zvláštního označení mezi dalšími kusy a vyndat z blistru. Blistr je označení pro speciálně navrženou přepravku přímo pro tlakové zásobníky. Následně se tyto kusy, kde se nacházely nejhůře odmaštěné plochy před svařováním, převezly na stanoviště, kde se z těchto částí staly jednotlivé vzorky.

CT vyhodnocení je velmi časově a energeticky náročný proces, jak už jednak pro samotné rentgenové snímání vzorků, tak pro jednotlivé vyhodnocování a celkové upravování těchto informací, které dostaneme z přístroje, který snímání prováděl. Proto je velmi důležité, aby byly jednotlivé vzorky kvalitně připraveny. Tudíž se dle předem domluvených parametrů na tlakový zásobník nakreslil lihovou tužkou náčrt, jak by měl konečný vzorek vypadat. Tento náčrt je vidět na obr. 7.6. Parametry byly pro každý vzorek stejné a byly po domluvě s obsluhou CT vybrány tak, aby vyhovovaly následnému vyhodnocení.

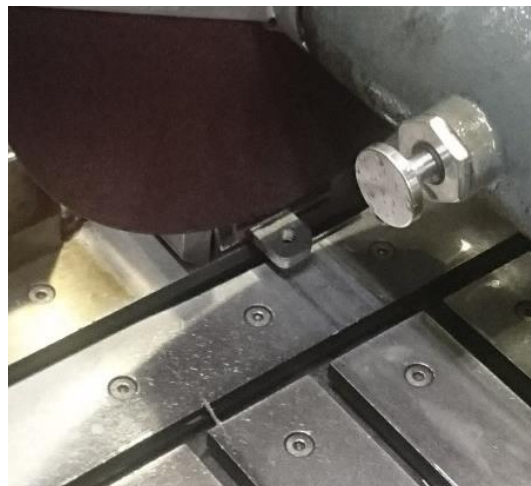


Obr. 7.6 Návrh vzorku.

Dle náčrtu byl kus předán proškolenému pracovníkovi, aby tento vzorek oddělil z tlakového zásobníku. Ve společnosti jsou velmi přísné normy, jak má obsluha zacházet s jednotlivými stroji, proto řezání vzorku musela provádět proškolená osoba. Zaměstnanec použil ochranné pomůcky, které jsou nezbytné pro ovládání řezací pily Axitom 5, na které byly prováděny první dvě části oddělení vzorku. Nejprve se oddělila část tlakového zásobníku (viz. obr. 7.7), kde se nachází svařovací plocha s nejhrošími výsledky z měření zbytkové mastnoty. Dále se odstranily úchyty (viz obr. 7.8).

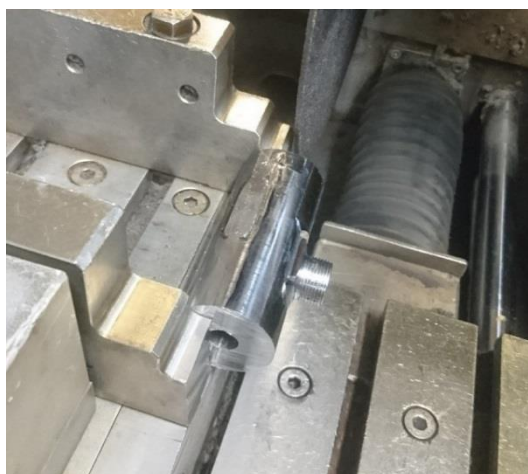


Obr. 7.7 Oddělení vzorku.



Obr. 7.8 Oddělení úchyty.

Následně se oddělila „polovina“ tlakového zásobníku, tedy ta část, kde neprobíhalo navaření komponentu, a tudíž tam nebylo potřeba sledovat výskyt vnitřních pórů. Hlavním důvodem ale je, aby vyhodnocení CT bylo rychlejší a zpracování veškerých údajů jednodušší. Tento konečný řez byl prováděn proškolenou obsluhou na řezací pile Discotom. Po dokončení řezu bylo na vzorku použito konečné ruční broušení na brusce Pheonix, pro odstranění dořezů a celkové zbroušení ostrých hran. Tento postup přípravy vzorku pro CT vyhodnocení byl použit pro každý vzorek. Konečný řez na pile Discotom je vidět na levé straně obr. 7.9, v pravé části je vidět konečný vzorek (viz obr. 7.10), který byl použit pro následné CT vyhodnocení.



Obr. 7.9 Oddělení nepotřebné části vzorku.



Obr. 7.10 Výsledný vzorek.

#### 7.4.2 Výsledné hodnoty CT vyhodnocení

Všech 10 vzorků bylo vyhodnocováno na přístroji Phoenix v|tome|x m, což je 3D CT přístroj vytvořený pro metrologické a strukturální vyhodnocení. Přístroj umožňuje analýzu vzorků s váhou až do 50 kilogramů a má vysoce zlepšenou úroveň kvality snímání objektů v porovnání s konvenčním *Cone Beam CT*. Přístroj je znázorněn na obr. 7.11 [53].

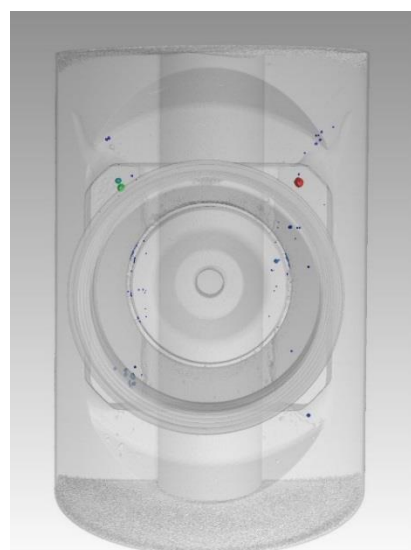


Obr. 7.11 Phoenix v|tome|x m [54].

Jeden vzorek představoval vždy druhý vysokotlaký vývod, na kterém vyšla zbytková mastnota hůře než na ostatních railech. Jako výsledek vyhodnocení bylo rozhodnuto, že bude nejvíce vypovídající počet vyskytujících pórů a objem póru, v jednotkách milimetr krychlový, tudíž veškeré propočty a grafy navazující na CT vyhodnocení vycházely z objemu nalezených pórů. CT vyhodnocení nabízí rozsáhlou škálu možností které parametry lze vyhodnocovat, avšak pro tuto diplomovou práci byl vybrán pouze počet a objem jednotlivých pórů, které se ve vzorku vyskytly. Příklad vyhodnocení vzorku je vidět na obr. 7.12, obr. 7.13, kde je na levé části znázorněn použitý vzorek a jeho struktura, na pravé části jsou vidět i jednotlivé póry obsažené ve vzorku.



Obr. 7.12 Příklad CT vyhodnocení.

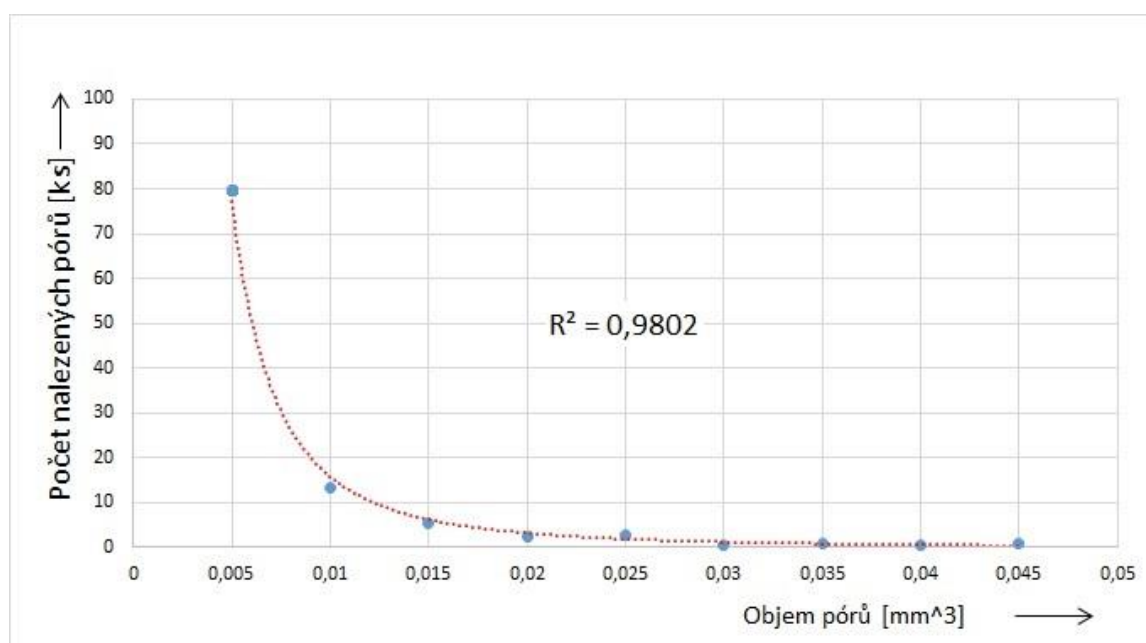


Obr. 7.13 Příklad CT vyhodnocení.

Vyhodnocení počtu pórů a jejich objemů bylo k dostání v excelové podobě. Pomocí sešitu excel byly taktéž vyhodnoceny jednotlivé grafy. Nejprve se analyzovaly vzorky, které se čistily v médiu Bonderite. Výsledky se musely seskupit, aby z nich bylo dobře vidět, jaká byla pórovitost po vyčištění v médiu Bonderite a DST. Proto se vytvořil rozsah od největšího vyskytlého pórů po nejmenší a následně se pomocí vzorce „ČETNOSTI“ vytvořil počet jednotlivých pórů v daném rozsahu. Tento postup se aplikoval na každý vzorek. Ze vzorků prané v čistícím médiu Bonderite a jejich výsledných četností pórů se udělal průměr. Průměr se pomocí bodového systému vykreslil na graf. Body se poté v každém grafu propojily mocninou křivkou, aby bylo lépe vidět kde se póry nejvíce vyskytovaly a jak se výskyt stupňoval. Horizontální osa představuje objem pórů, vertikální osa představuje počet nalezených pórů. Hodnota spolehlivosti  $R^2$  představuje shodu daného modelu s daty, tedy čím více se blížíme k hodnotě 1, tím je výsledek spolehlivější. Graf je vidět na obr. 7.14.

Z grafu je patrné, že převážné množství vyskytujících pórů zastupují póry s objemem do  $0,005 \text{ mm}^3$ . Vztah četnosti, který byl použit pro seskupení výsledků z tomografického vyhodnocení, počítá četnost v určitém rozsahu a vztahuje hodnotu k nejbližší vyšší hodnotě. Například kdybychom měli hodnotu 0,5; 1,5; 2 a měli bychom rozsah od 1 do 3, považovalo by to za správné připsat hodnotu 1,5 a 2 k hodnotě 3. Tudiž by číslo 3 představovalo výslednou četnost s hodnotou 2 a číslo 1 by představovalo výslednou četnost s hodnotou 1. Dá se tedy říct, že převážné množství pórů představuje téměř nulový objem.

Zbylé velikosti pórů představují většinou jen jeden, nebo nulový výskyt. Avšak je dokázáno, že kvalitu svaru ovlivňují i tak malé póry, ne však jejich velikostí, ale počtem. Potom pak ve svaru může vzniknout navazující prasklina, která byla způsobena spojením vysokého provozního tlaku, a právě vyskytlých pórů.

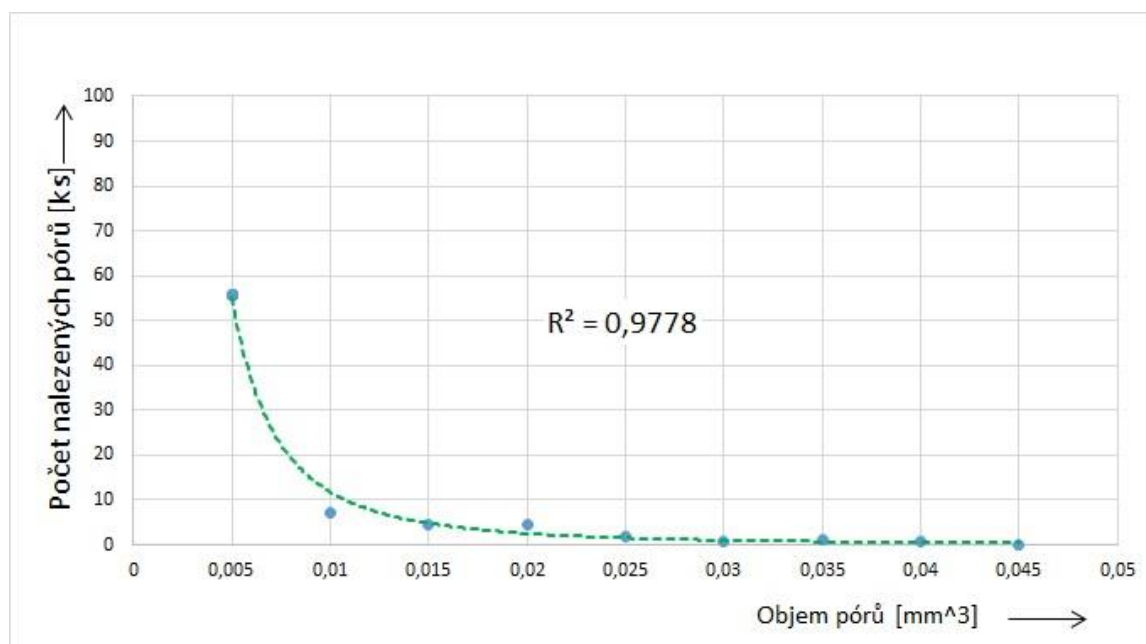


Obr. 7.14 Pórovitost ve vzorcích po použití média Bonderite při čistícím procesu.

Následně se pomocí výpočetní tomografie analyzovaly vzorky z railů, které se čistily v médiu DST. Tyto vzorky byly vybrány na základě měření zbytkové mastnoty pomocí přístroje Recognoil. Nové prací médium vykazovalo podle výsledků zbytkové mastnoty, že dokáže raily lépe vyčistit. Předpokládalo se, že výsledky CT analýzy budou lepší než u čistícího média DST. Výsledky jsou vidět na obr. 7.15.

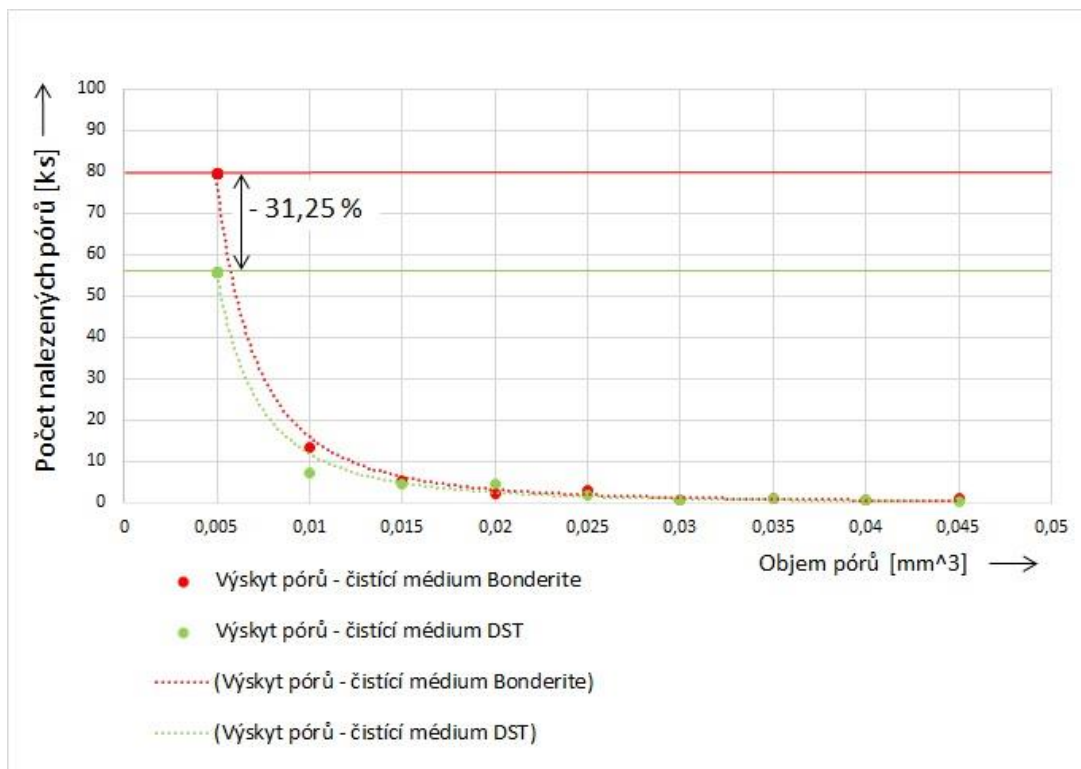
Postup vyhodnocování výsledků byl totožný s vyhodnocováním výsledků čistícího média Bonderite, bralo se tedy v potaz počet vyskytlých pórů a jejich objem. Výsledky se seskupily pomocí vzorce „ČETNOSTI“ a dále se tyto hodnoty vykreslily do grafu pomocí bodového systému. Body byly propojeny mocnino křivkou, aby byl lépe znázorněn jejich průběh.

Graf vykresluje průběh výskytu pórů ve zkušebním vzorku. Horizontální osa představuje objem póru, vertikální osa představuje počet nalezených pórů. Hodnota spolehlivosti  $R^2$  představuje shodu modelu s daty. Na ose, kde je znázorněn počet pórů, byla použita stejná maximální hodnota, jako v předchozím grafu. Pro vztah četnosti byl použit stejný rozsah jako v předchozí analýze čistícího média Bonderite. Je patrné, že se horní hranice vyskytujících pórů zmenšila.



Obr. 7.15 Pórovitost ve vzorcích po použití média DST při čistícím procesu.

Aby byly výsledky jednotlivých analýz lépe viditelné, byly hodnoty vloženy do jednoho grafu.



Obr. 7.16 Porovnání výskytu pórů.

Porovnání výskytu pórů ve vzorcích, které byly před upravovány v čisticím médiu Bonderite a vzorcích, které byly před upravovány v čisticím médiu DST je znázorněn na obr. 7.16. Z grafu je hned patrné, že výsledky pórovitosti vzorků, které byly čišťeny v médiu DST jsou značně lepší než výsledky vzorků čišťené v médiu Bonderite. Ze vztahu bylo vypočítáno relativní zlepšení horní hodnoty grafu. Hodnota X představuje nejvyšší číslo vyskytnutých pórů z čišťení tlakových zásobníků čisticím médiem Bonderite a hodnota Y představuje čišťení v médiu DST. Bylo zjištěno, že hranice nejvyššího počtu nalezených pórů se posunula o 31,25 % směrem dolů. Relativní zlepšení nejvyšší hodnoty vyskytnutých pórů bylo vypočítáno pomocí rovnice (7.1):

$$\frac{X - Y}{X} \cdot 100 = 31,25 \% \quad (7.1)$$

kde:

X ... nejvyšší hodnota vyskytnutých pórů ve vzorcích po použití média Bonderite při čisticím procesu

Y ... nejvyšší hodnota vyskytnutých pórů ve vzorcích po použití média DST při čisticím procesu

## 8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Práce se zaměřovala na kvalitu zhotoveného svarového spoje ve společnosti Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě. Bylo prováděno zkušební měření přístrojem Recognoil. Analyzovaly se přitom dvě čisticí média a jejich dopad na předúpravu svarové plochy. Nejprve se zkoušelo čisticí médium Bonderite, z kterého bylo vyvozeno, že průměrná hodnota zbytkové mastnoty na svařovací ploše je 203,5. Dále se analyzovalo čisticí médium DST, po jehož použití byla průměrná hodnota zbytkové mastnoty na svařovací ploše 130,3. Což představuje zlepšení průměrného odmaštění o 35,97 %. Výpočet byl proveden pomocí rovnice (8.1):

$$\frac{X - Y}{X} \cdot 100 = \frac{203,5 - 130,3}{203,5} \cdot 100 = 35,97 \% \quad (8.1)$$

kde:

$X$  ... průměrná hodnota zbytkové mastnoty po čisticím procesu, při kterém bylo použito čisticí médium Bonderite

$Y$  ... průměrná hodnota zbytkové mastnoty po čisticím procesu, při kterém bylo použito čisticí médium DST

Dále byly z těchto tlakových zásobníků, které prošly zkušební předúpravou ve dvou různých čisticích médiích, vytvořeny vzorky. Tyto vzorky byly vyhodnoceny pomocí výpočetní tomografie. Cílem tohoto vyhodnocení bylo zjistit, jestli má lepší odmaštění svařovací plochy vliv na následný vznik pórů ve svarovém spoji.

Na otázku, jestli má odmaštění vliv na následný vznik pórů ve svarovém spoji, bylo zodpovězeno pomocí stejné rovnice, která byla použita při určování posunu průměrné hodnoty odmaštění. Hodnota  $X_1$  představovala celkový počet pórů vyskytlých ve vzorcích z tlakových zásobníků, které byly čištěny v médiu Bonderite a hodnota  $Y_1$  znamená celkový počet vyskytlých pórů zaznamenaných ve vzorcích, které byly čištěny v médiu DST. Vztah je dán rovnicí (8.2):

$$\frac{X_1 - Y_1}{X_1} \cdot 100 = 27,27 \% \quad (8.2)$$

kde:

$X_1$  ... celkový počet pórů ve vzorcích po použití média Bonderite při čisticím procesu

$Y_1$  ... celkový počet pórů ve vzorcích po použití média DST při čisticím procesu

Z celkových počtů pórů bylo pomocí vztahu vypočítáno že se počet nalezených pórů snížil o **27,27 %**.

Celková úspora nákladů na neshodné kusy (viz tab. 8.1) byla vypočítána na základě interních dat společnosti Bosch Diesel s.r.o., avšak bohužel nemůžou být kompletně zveřejněna. Proto jsou hodnoty v tabulce uvedeny pouze v %.

**Tabulka představuje relativní změnu hodnot při použití čisticího média DST oproti použití čisticího média Bonderite.** V tabulce je hlavní položka předpokládaná roční celková úspora nákladů na neshodné kusy, která se rovná hodnotě **14,67 %**.

Tab. 8.1 Relativní změna hodnot při použití čisticího média DST oproti použití čisticího média Bonderite.

Schopnost odmaštění [%]	Výskyt pórů ve svaru [%]	Cena čisticího média [%]	Předpokládané množství vyrobených neshodných kusů [%]	Celková úspora nákladů na neshodné kusy v rámci 1 roku [%]
+ 35,97	+ 27,27	- 53,25	0,105	+ 14,67

## ZÁVĚR

Praktická část diplomové práce je zaměřena na analýzu zbytkové mastnoty po čisticím procesu, při kterém byla použita dvě různá čisticí média (Bonderite a DST). Po této předúpravě svařovacích ploch byl vyhotoven tlakový zásobník. Z analýzy zbytkové mastnoty se vyhodnotily výsledky, z kterých bylo určeno, jaká část tlakového zásobníku se stane vzorkem pro CT vyhodnocení. Z analýzy zbytkové mastnoty a CT vyhodnocení vyšlo následující:

- schopnost odmaštění v čisticím procesu, při kterém bylo použito médium DST je lepší o 35,37 %, než v čisticím procesu, při kterém bylo použito médium Bonderite,
- CT vyhodnocení použitých vzorků vypovídá, že médium DST má vhodnější složení pro předúpravu svařovacích ploch o 27,27 %, oproti médium Bonderite,
- při 27,27% snížení pórovitosti ve svarových spojích, lze očekávat menší výrobnost neshodných kusů, neshodné kusy budou představovat 0,105 % ze všech vyrobených tlakových zásobníků,
- náklady na čisticí médium DST jsou o 53,25 % vyšší, avšak při uvážení, že se neshodné kusy budou vyrábět o 27,27 % méně, lze celkové náklady na neshodné kusy snížit o 14,67 %.

Celková úspora nákladů na neshodné kusy vyšla 14,67 %, a proto doporučuji zařazení čisticího média DST do výrobního procesu. Dále doporučuji zařadit průběžnou kontrolu zbytkové mastnoty po čisticím procesu, z důvodu kontroly odmaštění svarových ploch a tím i zlepšení kvality svarových spojů.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Bosch Diesel Jihlava spol. s.r.o. *Firemní a školící materiály*
2. KRÁLÍK, Jan. *Bosch v českých zemích*. Brno: Atelier Kupka - motor journal, 2002. ISBN 80-903-0281-5.
3. *Bosch History Blog* [online]. 2016 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://blog.bosch.com/history/en/2016/11/15/from-workshop-to-global-player-the-beginnings-of-130-years-of-bosch/>
4. *Bosch History Blog* [online]. 2016 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://blog.bosch.com/history/en/2016/08/18/cutting-edge-on-two-wheels-robert-bosch-hits-the-road/>
5. *Bosch Česká republika: Bosch v České republice* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/>
6. *Bosch Česká republika: Historie společnosti* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/nase-historie/>
7. *Jihlava/Bosch Česká republika* [online]. Bosch Diesel [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/jihlava/>
8. *BOSCH CP1 PUMP REPAIR KITS* [online]. Eurodiesel [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [https://www.eurodiesel.com/en/product/bosch-cp1-pump-repair-kits\\_a1-21120\\_2922](https://www.eurodiesel.com/en/product/bosch-cp1-pump-repair-kits_a1-21120_2922)
9. *CP3 Injection Pump* [online]. Baker's diesel [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [http://www.bakersdiesel.com/index.php?id\\_product=45&controller=product](http://www.bakersdiesel.com/index.php?id_product=45&controller=product)
10. LANDHÄUBER, Felix. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. Praha: Robert Bosch, 2005. Technické vzdělávání. ISBN 80-903-1327-2.
11. DUSIL, Tomáš. *Auto.cz: Vstřikování dieselů včera a dnes: Proč máme common-rail a čerpadlo-tryska je mrtvé?* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/vstrikovani-dieselu-vcera-a-dnes-proc-mame-common-rail-a-čerpadlo-tryska-je-mrtve-105083>
12. *Common rail diesel fuel system* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.yildiz.edu.tr/~sandarci/dersnotu/AKTraining.pdf>
13. *Palivové filtry DELPHI pro vznětové motory* [online]. Agát diesel [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.agat.sk/cz/nahradni-dily/delphi-produkce/palivove-filtry/>
14. *Vstřikovací systém Common rail* [online]. eluc [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1469>
15. *Vstřikovací systém Common rail* [online]. Skola auto [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: [http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/03/Vstrikovaci\\_system\\_CommonRail.pdf](http://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/03/Vstrikovaci_system_CommonRail.pdf)
16. *Common rail* [online]. Autolexicon [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/common-rail/>
17. *Opotřebené čerpadlo* [online]. Delphi [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://dieselservisbrno.cz/opotrebene-čerpadlo/>
18. *Vstřikovače Common Rail* [online]. Motofocus [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/vyrobci/25125,vstrikovace-common-rail-podivejte-se-na-jejich-konstrukci>

19. *Common Rail* [online]. AAA Auto [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.aaaauto.cz/slovník/39507/common-rail.html>
20. *38mnvs6* [online]. ovako [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/38mnvs6/>
21. *Steel grade* [online]. Ovako, 2018 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/20mncrs5/>
22. *Přehled vlastností oceli 20MnCr5* [online]. Bolzano [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-cementovani-podle-en-10084/prehled-vlastnosti-oceli-20mncr5>
23. *Steel grade* [online]. Ovako, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/16mncrs6/>
24. *High-pressure rail* [online]. Bosch mobility solutions [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/common-rail-system-piezo/high-pressure-rail/>
25. *Pressure limiting valve* [online]. Provia [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.provia-auto.com/products/pressure-limiting-valve/>
26. *Pressure limiting valve* [online]. Hawe [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.hawe.com/en-us/products/product-search-by-category/hydraulic-valves/pressure-control-valves/pressure-limiting-valves-pre-load-valves/>
27. *Tlakový zásobník* [online]. Autorubik [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/tlakovy-zasobnik-rail-regulator-tlaku-snimac-tlaku-a-teploty-klukoveho-a-vackoveho-hriadela/>
28. PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975. Řada strojírenské literatury. ISBN 04-219-75.
29. *Odporové výstupkové svařování* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-vystupkove-svarovani>
30. *Bodové svařování a švové svařování laserem* [online]. Trumpf [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/pouziti/svarovani-laserovym-paprskem/bodove-a-svove-svarovani/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/pouziti/svarovani-laserovym-paprskem/bodove-a-svove-svarovani/)
31. *Princip CO2 laseru* [online]. Leonardo technology [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/e-learning/laser/princip-co2-laseru>
32. MICHNA, Štefan a Sylvia KUŠMIERCZAK. *Praktická metalografie*. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012. ISBN ISBN978-80-7414-503-2.
33. PODHORA, Jiří. *Destruktivní zkoušení základních materiálů a svarových spojů*. Brno: TDS Brno - SMS, 2005. ISBN 80-903-3864-X.
34. SKÁLOVÁ, Jana, Rudolf KOVAŘÍK a Vladimír BENEDIKT. *Základní zkoušky kovových materiálů*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2623-1.
35. *Tahová zkouška* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM\\_3\\_8\\_SPU\\_tahova\\_zkouska\\_2.pdf](https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_8_SPU_tahova_zkouska_2.pdf)

36. *Stanovení pevnosti oceli v tahu* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: [http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni\\_laborator/cviceni/35\\_stanoveni\\_pevnosti\\_oceli\\_v\\_tahu.pdf](http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/stavebni_laborator/cviceni/35_stanoveni_pevnosti_oceli_v_tahu.pdf)
37. *Ecoclean* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://ecoclean-group.cz/reseni/cisteni-a-odmastovani/>
38. *Recognoil* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.techtest.eu/RecognoilinfoCZ.html>
39. *Reco2W\_letak\_CZ* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: [http://www.techtest.eu/download/Reco2W\\_letak\\_CZ.pdf](http://www.techtest.eu/download/Reco2W_letak_CZ.pdf)
40. *Komplexní způsob kontroly procesu odmaštění* [online]. MMspektrum [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/komplexni-zpusob-kontroly-procesu-odmasteni.html>
41. *Recognoil* [online]. ReadGur [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://readgur.com/doc/896758/Recognoil---techtest--sro>
42. *Výpočetní tomografie neboli CT: jak fungují zobrazovací metody v medicíně II* [online]. ATOM info [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://atominfo.cz/2013/04/vypocetni-tomografie-neboli-ct-jak-funguji-zobrazovaci-metody-v-medicine-ii/?fbclid=IwAR32bEOtg2SK9IwqDsVc9hKh0aatRbIGH1U-KrJ3pZmqv5fwGMeIrZUug9U>
43. *Industrial radiography*. Morsel: Agfa-Gevaert, [1992].
44. *Počítačová tomografie* [online]. ATOM info [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [http://bio.felk.cvut.cz/~huptycm/Vyuka/X33BMI\\_prednasky/Prednaska\\_Pristroje\\_2.pdf](http://bio.felk.cvut.cz/~huptycm/Vyuka/X33BMI_prednasky/Prednaska_Pristroje_2.pdf)
45. *Vývoj průmyslové tomografie* [online]. MMspektrum [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-prumyslove-tomografie.html>
46. *Počítačová tomografie* [online]. ATOM info [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/33zsl2leto2006/slidy/ct-hozman-jk.pdf>
47. *PRŮMYŠLOVÉ CT – ŘEŠENÍ PRO NÁROČNÉ APLIKACE* [online]. ATOM info [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/3424-prumyslove-ct-reseni-pro-narocne-aplikace?fbclid=IwAR2AtNP1vQ1IE\\_0jEZgC6xIjQRRswqNjYPtPzRJ-CXyXpUbcxsXkzUMIhDg](https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/3424-prumyslove-ct-reseni-pro-narocne-aplikace?fbclid=IwAR2AtNP1vQ1IE_0jEZgC6xIjQRRswqNjYPtPzRJ-CXyXpUbcxsXkzUMIhDg)
48. KAŤUCH, Petr. *Industrial Computed Tomography in Biomedical Engineering* [online]. 2011, , 5 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [http://www.measurement.sk/M2011/doc/proceedings/314\\_Katuch-1.pdf](http://www.measurement.sk/M2011/doc/proceedings/314_Katuch-1.pdf)
49. *Kam směřuje průmyslová CT* [online]. DPS [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://www.dps-az.cz/vyroba/id:3418/kam-smeruje-prumyslova-ct?fbclid=IwAR1A5qsSK8RKTupAdwJfIdroUTHsyUPXNcLTa2\\_247NHog7CB-2VbIXdUic](https://www.dps-az.cz/vyroba/id:3418/kam-smeruje-prumyslova-ct?fbclid=IwAR1A5qsSK8RKTupAdwJfIdroUTHsyUPXNcLTa2_247NHog7CB-2VbIXdUic)
50. *Výpočetní tomografie ve strojírenství* [online]. CAD [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/7679-vypocetni-tomografie-ve-strojirenstvi.html>
51. *Počítačová (výpočetní) tomografie* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://www.jl-klinika.cz/pocitacova-tomografie/>
52. *CT výpočetní tomografie* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.nnm.cz/radiologie-info-ct>

53. *Phoenix-v-tome-x-m* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:  
<https://www.pbt.cz/getattachment/bc29014b-5d2c-48ab-9a25-1919ae756354/phoenix-v-tome-x-m.aspx>
54. *Phoenix-v-tome-x-m* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:  
<https://www.pbt.cz/cz/produkty/ct/tomografy-ct/phoenix-v-tome-x-m>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>Zkratka</i>	<i>Popis</i>
<i>ASCII</i>	<i>American standard cod for information interchange</i>
<i>CAD</i>	<i>Computed aided design</i>
<i>CP1, CP2, CP3, CP4, CP5</i>	<i>Common pump n-té generace</i>
<i>CRI</i>	<i>Common rail injector</i>
<i>CT</i>	<i>Computed tomography</i>
<i>FRL</i>	<i>Fuel return line</i>
<i>HFR</i>	<i>Hot forged rail</i>
<i>LWR</i>	<i>Laser welding rail</i>
<i>PCV</i>	<i>Pressure control valve</i>
<i>PDF</i>	<i>Portable document format</i>
<i>PLV</i>	<i>Pressure limiting valve</i>
<i>SIS</i>	<i>Serien instandsetzung</i>
<i>SPC</i>	<i>Statistical process control</i>
<i>STL</i>	<i>Standard triangle language</i>
<i>UV</i>	<i>Ultra violet</i>

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
<i>A</i>	<i>%</i>	<i>Tažnost</i>
<i>F<sub>e</sub></i>	<i>N</i>	<i>Zatěžující síla</i>
<i>F<sub>max</sub></i>	<i>N</i>	<i>Maximální působící síla</i>
<i>I</i>	<i>A</i>	<i>Proud</i>
<i>I</i>	<i>-</i>	<i>Zbytková mastnota</i>
<i>L<sub>o</sub></i>	<i>mm</i>	<i>Zkoušená délka</i>
<i>L<sub>t</sub></i>	<i>mm</i>	<i>Celková délka zkoušeného tělesa</i>
<i>L<sub>u</sub></i>	<i>mm</i>	<i>Konečná délka po lomu</i>
<i>Q</i>	<i>J</i>	<i>Celkové teplo</i>
<i>R</i>	<i>Ω</i>	<i>Celkový činný odpor</i>
<i>R<sub>e</sub></i>	<i>MPa</i>	<i>Mez kluzu</i>

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
$R_m$	MPa	Pevnost v tahu
$R_{mt}$	MPa	Pevnost v tlaku
$S_o$	mm <sup>2</sup>	Příčný průřez počátečního stavu
$S_u$	mm <sup>2</sup>	Koncová plocha průřezu
$Z$	%	Kontrakce
$a_o$	mm	Tloušťka stěny trubky
$b_o$	mm	Počáteční šířka zkoušené délky
$d_i$	-	Diferenciál času
$t$	s	Čas

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Magnetoelektrické zařízení 1897 [3].	11
Obr. 1.2 Robert Bosch 1890 [4].	11
Obr. 1.3 Rozmístění závodů v Jihlavě [1].	12
Obr. 1.4 Čerpadlo CP1 [8].	13
Obr. 1.5 Zpětné vedení paliva [1].	13
Obr. 1.6 Vysokotlaký zásobník [1].	13
Obr. 1.7 Čerpadlo CP3 [9].	14
Obr. 1.8 Dvouhřávkové čerpadlo CP4 [1].	14
Obr. 1.9 Vývoj Jihlavského výrobního závodu [1].	14
Obr. 2.1 Common Rail systém [12].	15
Obr. 2.2 Palivový filtr [13].	16
Obr. 2.3 Čerpadlo [17].	16
Obr. 2.4 Regulační tlakový ventil [1].	16
Obr. 2.5 Rail [1].	16
Obr. 2.6 Vstřikovač systému Common Rail [18].	17
Obr. 2.7 Common Rail systém [19].	17
Obr. 3.1 Tlakový zásobník LWR [1].	19
Obr. 3.2 Tlakový zásobník HFR [1].	19
Obr. 3.3 Obráběcí operace [1].	20
Obr. 3.4 Zleva: rail před navařením komponentů, kompletní rail [1].	21
Obr. 3.5 Regulační tlakový ventil [24].	21
Obr. 3.6 Ventil omezovače tlaku [24].	21
Obr. 3.7 Kompletní tlakový zásobník [1].	22
Obr. 4.1 Schéma svařovací linky [1].	23
Obr. 4.2 Nízkotlaký vývod [1].	24
Obr. 4.3 Svařování CO <sub>2</sub> laserem [1].	25
Obr. 4.4 Švové svařování [1].	25
Obr. 4.5 CO <sub>2</sub> svařování [1].	25
Obr. 4.6 Metalografické vyhodnocení, faktor zvětšení 4x [1].	26
Obr. 4.7 Parametry tahové zkoušky [36].	26
Obr. 4.8 Příklady nepřípustných svarových spojů [1].	28
Obr. 5.1 Zleva: komorové, nálevové, postřikové [1].	29
Obr. 5.2 Komorové uhlovodíkové čištění [1].	30
Obr. 5.3 Vodní komorové čištění [1].	31
Obr. 5.4 Čisticí proces a jeho vliv na pórovitost.	32
Obr. 5.5 Propojení pravidelné kontroly koncentrací čisticího média s výskytem neshodných kusů.	33
Obr. 6.1 Princip vyhodnocení pomocí Recognoil [1].	34
Obr. 6.2 Přístroj Recognoil [41].	35
Obr. 6.3 Příklad vyhodnocení zbytkové mastnoty.	36
Obr. 6.4 Příklad vyhodnocení zbytkové mastnoty.	37
Obr. 6.5 Zbytková mastnota po použití před čisticího média Bonderite.	37
Obr. 6.6 Zbytková mastnota po použití čisticího média Bonderite.	38
Obr. 6.7 Zbytková mastnota po autofretáži po použití čisticího média Bonderite.	38
Obr. 6.8 Zbytková mastnota po použití čisticího média DST.	39

Obr. 6.9 Zbytková mastnota po použití čisticího média Bonderite. ....	40
Obr. 6.10 Zbytková mastnota po použití čisticího média DST. ....	41
Obr. 7.1 Pohyb rentgenové lampy [45].....	42
Obr. 7.2 Cone Beam CT [47].....	43
Obr. 7.3 Helical CT [45]. ....	43
Obr. 7.4 Příklad CT vyhodnocení [50]. ....	44
Obr. 7.5 Použití CT v lékařství: Přístroj výpočetní tomografie [51], vyhodnocení [52]. ....	45
Obr. 7.6 Návrh vzorku. ....	46
Obr. 7.7 Oddělení vzorku. ....	47
Obr. 7.8 Oddělní úchytu. ....	47
Obr. 7.9 Oddělení nepotřebné části vzorku. ....	47
Obr. 7.10 Výsledný vzorek. ....	47
Obr. 7.11 Pheonix v tome x m [54].....	48
Obr. 7.12 Příklad CT vyhodnocení. ....	48
Obr. 7.13 Příklad CT vyhodnocení. ....	48
Obr. 7.14 Pórovitost ve vzorcích po použití média Bonderite při čisticím procesu. ....	49
Obr. 7.15 Pórovitost ve vzorcích po použití média DST při čisticího procesu. ....	50
Obr. 7.16 Porovnání výskytu pórů. ....	51

**SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK**

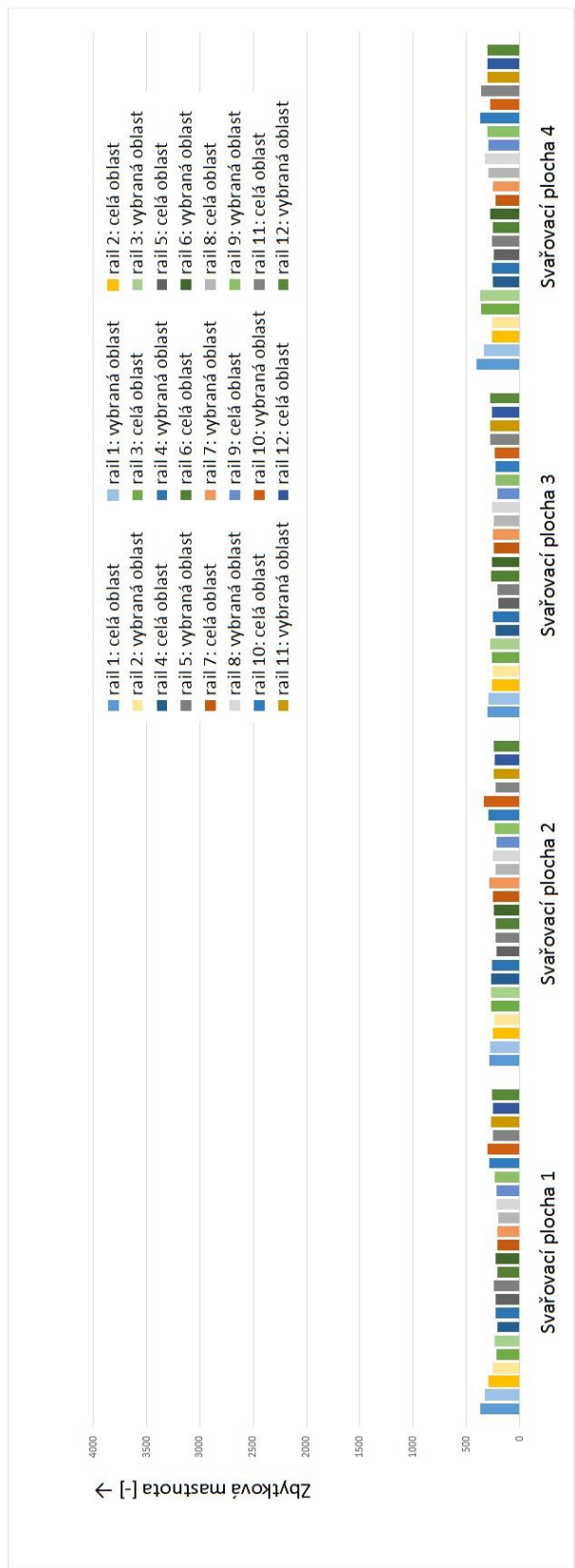
Tab. 6.1 Parametry přístroje Recognoil [38]. .....	35
Tab. 8.1 Relativní změna hodnot při použití čisticího média DST oproti použití čisticího média Bonderite. ....	53

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Zbytková mastnota po použití před čisticího média Bonderite  
Příloha 2 Zbytková mastnota po použití čisticího média Bonderite  
Příloha 3 Zbytková mastnota po autofretáži po použití čisticího média Bonderite  
Příloha 4 Zbytková mastnota po použití čisticího média DST  
Příloha 5 Zbytková mastnota po použití čisticího média Bonderite  
Příloha 6 Zbytková mastnota po použití čisticího média DST



# PŘÍLOHA 2

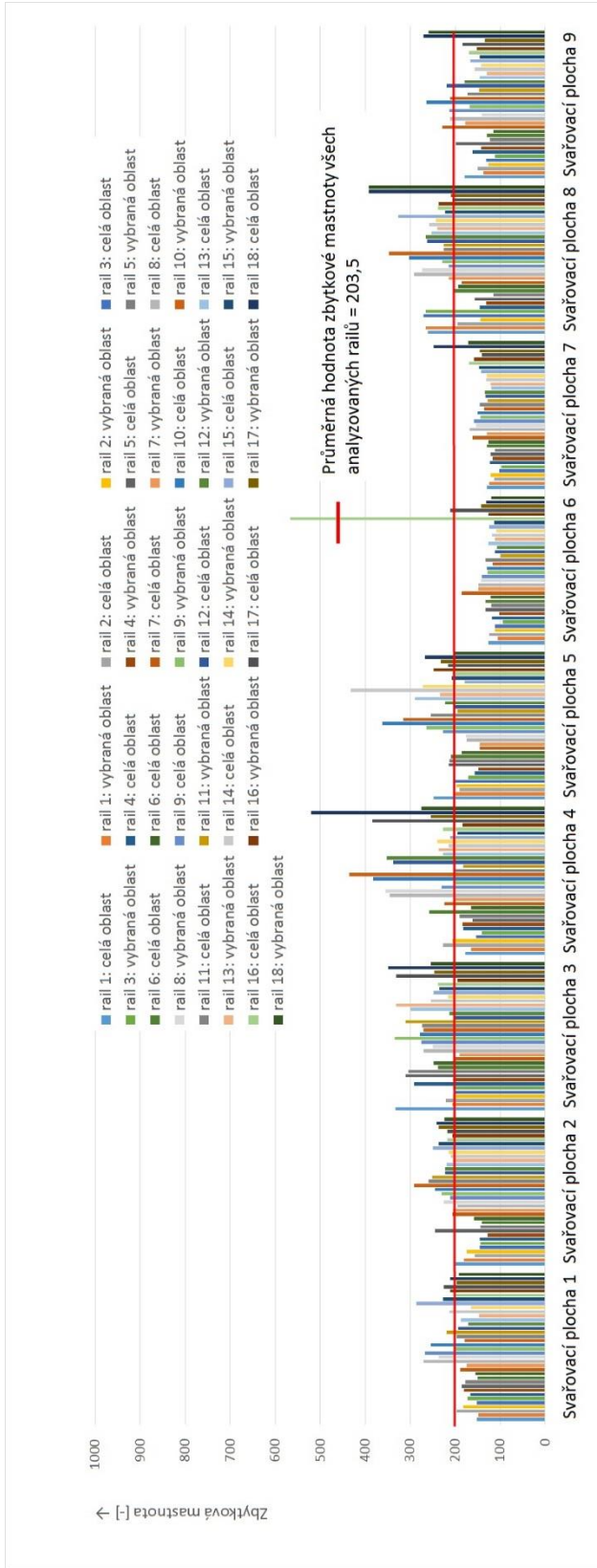


# PŘÍLOHA 3





# PŘÍLOHA 5



# PŘÍLOHA 6

