



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE VÝROBY VYSOKOTLAKÉHO ZÁSOBNÍKU PALIVA A JEJÍ KONTROLA

ON THE TECHNOLOGY OF HIGH-PRESSURE FUEL RESERVOIR AND ITS  
INSPECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Radek ATTASEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Radek Attasek

kteřý/kteřá studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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:

### **Technologie výroby vysokotlakého zásobníku paliva a její kontrola**

v anglickém jazyce:

### **On the technology of high-pressure fuel reservoir and its inspection**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza technologie výroby vysokotlakého zásobníku paliva, její kontrola a optimalizace.

Cíle diplomové práce:

1. Úvod
2. Rozbor stávajícího stavu technologie výroby a kontroly kvality
3. Návrh nového technologického řešení
4. Experimentální ověření nové technologie
5. Technologicko-ekonomické vyhodnocení
6. Závěry pro praxi

Seznam odborné literatury:

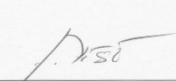
- NOVOTNÝ K., PÍŠKA M.: SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY, sylabus  
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/SpecTechnologieVyroby.pdf>  
HUMÁR A.: TECHNOLOGIE MONTÁŽE, sylabus  
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnMontaze.pdf>  
ZEMČÍK O.: TECHNOLOGICKÉ PROCESY, část obrábění, učební texty kombinovaného bakalářského studia  
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnProcesy.pdf>  
ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o. 2002. 158s. ISBN 80-214-2219-X.  
ZEMČÍK, O. Projektování výrobních procesů I. 2. vyd. Brno: VUTIUM, VUT v Brně. 1990. 162 s. ISBN 80-214-0151-6.  
HUMÁR A.: TECHNOLOGIE I, sylabus  
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/>  
KOCMAN K., PROKOP J.: TECHNOLOGIE VÝROBY II, sylabus  
[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnVyroby\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnVyroby_II.pdf)  
PÍŠKA M.: TECHNOLOGIE VÝROBY II, interaktivní text  
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/Tech.v2.pdf>  
HUMÁR: VÝROBNÍ TECHNOLOGIE II, sylabus  
[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobníTechnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobníTechnologie_II.pdf)

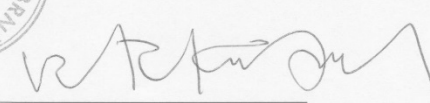
Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 20.11.2013 21:55



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Práce je zaměřena na rozbor stávajícího stavu technologie výroby a kontroly kvality vysokotlakého zásobníku paliva. Zaměřuje se zejména na makro-metalografickou zkoušku kvality a polohy svaru, možnosti jejího provedení, uspořádání pracoviště. Hledá a posuzuje alternativní metody této zkoušky. Součástí práce je návrh a realizace nového uspořádání pracoviště. Provedení experimentu s využitím alternativní metody a posouzení možnosti implementace do stávajícího procesu. Hlavním cílem je zlepšení pracovních podmínek a zkrácení času samotné zkoušky.

### **Klíčová slova**

Laserový svar, vysokotlaký zásobník paliva, výrobní takt, makro-metalografická zkouška.

## **ABSTRACT**

This thesis is focused on the analysis of current state of production technology and quality control of high-pressure reservoir. It deals mainly on the macro-metallographic test of the quality and position of the weld, the possibility of its implementation, organization of workplace. Task of this thesis is to find alternative methods of testing. Part of thesis is design and implementation of a new workplace's layout based on experiment with using of alternative method of testing and assessment of implementation to actual process. The main objective is to improve the working condition and reduction of time for testing.

### **Keywords**

Laser weld, high-pressure reservoir of fuel, production tact, macro-metallographic test.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ATTASEK, Radek. *Technologie výroby vysokotlakého zásobníku paliva a její kontrola*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 64 s. příloh 10. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Technologie výroby vysokotlakého zásobníku paliva a její kontrola** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Bc. Radek Attasek

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. z VUT Brno, Ing. Petru Hlobilovi a dalším kolegům z firmy BOSCH DIESEL s.r.o. Jihlava za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Děkuji také panu Ing. Petru Smutnému a firmě STRUERS GmbH, za vstřícnost, ochotu a pomoc při provádění experimentu. Dále bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Milanu Honnerovi Ph.D. a panu Ing. Michalu Švantnerovi Ph.D.. Práce byla řešena s využitím přístrojové techniky projektu CENTEM s registračním číslem CZ.1.05/2.1.00/03.0088, který je spolufinancován z ERDF v rámci programu MŠMT OP VaVpI. V neposlední řadě děkuji také své rodině za trpělivost a podporu, po dobu mého studia.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1    SPOLEČNOST BOSCH GROUP .....	11
1.1 Obchodní oblasti a divize.....	11
1.1.1 Automobilová technika.....	12
1.1.2 Spotřební zboží .....	12
1.1.3 Průmyslová technika.....	12
1.1.4 Energetika a technika budov .....	12
1.2 Společnost Bosch ve světě.....	13
1.3 Firma Bosch v České republice .....	14
1.4 Bosch Diesel s.r.o. Jihlava – historie a výrobní program závodu.....	15
1.5 Produkty závodu Jihlava .....	16
1.5.1 Nejstarší produkty.....	16
1.5.2 Vysokotlaké čerpadlo CP3.....	17
1.5.3 Vysokotlaké čerpadlo CP4.....	17
1.5.4 Vysokotlaké čerpadlo CPN5.....	18
1.5.5 Vysokotlaký regulační ventil DRV.....	19
1.5.6 Vysokotlaký zásobník paliva RAIL.....	19
2    SYSTÉM COMMON RAIL.....	20
2.1 Nízkotlaký okruh systému Common Rail.....	21
2.2 Vysokotlaký okruh systému Common Rail .....	21
2.3 Vstřikovače a elektronická řídicí jednotka .....	21
2.4 Common Rail systém, jeho klady a zápory .....	22
3    TECHNOLOGIE VÝROBY VYSOKOTLAKÝCH ZÁSOBNÍKŮ PALIVA - RAILŮ	24
3.1 Popis vysokotlakého zásobníku paliva .....	24
3.2 Technologie výroby railu s označením HFR .....	25
3.3 Technologie výroby railu s označením LWR.....	26
4    SVAŘOVACÍ LINKA PRO RAIL LWR.....	28
4.1 Praní polotovarů pro svařovací procesy.....	30
4.1.1 Manipulace s odpady .....	31
4.2 Svařovací linka .....	31

4.2.1	Vkládání a vykládání railů.....	32
4.2.2	Stanice pro odporové svařování.....	32
4.2.3	Stanice pro švové svařování – heftování .....	33
4.2.4	Pracoviště pro nasazování ochranných krytek.....	34
4.2.5	CO2 svařovací box.....	34
4.2.6	Vizuální kontrola a nízkotlaká zkouška.....	35
5	KONTROLA KVALITY VYSOKOTLAKÉHO ZÁSOBNÍKU PALIVA LWR .....	37
5.1	Pracoviště 3D měření.....	37
5.2	Pracoviště makro-metalografické zkoušky, stav před změnou.....	38
5.2.1	Řezání vzorků-pila Struers Axitom5 .....	39
5.2.2	Všeobecné pokyny pro vyhodnocování makro-metalografického vzorku .....	40
5.2.3	Broušení a leštění vzorku.....	41
5.2.4	Leptání vzorku .....	41
5.2.5	Trhací-smyková zkouška .....	41
5.2.6	Makro-metalografické vyhodnocení výbrusu.....	42
5.3	Současné pracoviště makro-metalografické zkoušky-časy.....	44
5.4	Stávající stav pracoviště makro-metalografické zkoušky.....	44
6	NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ.....	45
6.1	Změna uspořádání pracoviště makro-metalografické zkoušky .....	45
6.2	Návrh nové varianty nedestruktivní zkoušky .....	46
6.2.1	IRNDT Ultrasound metoda.....	47
6.2.2	Fotodokumentace z měření.....	48
6.3	Návrh nové varianty makro-metalografické zkoušky.....	50
6.3.1	Elektrolytická preparace STRUERS LectroPol-5.....	50
6.3.2	Provedení experimentu .....	53
7	TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ.....	57
7.1	Hodnocení nového uspořádání pracoviště .....	57
7.2	Hodnocení navrhované metody IRNDT Ultrasound .....	57
7.3	Hodnocení metody elektrolytické preparace .....	57
7.3.1	Návratnost navrhované metody .....	59
8	ZÁVĚR .....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

## ÚVOD

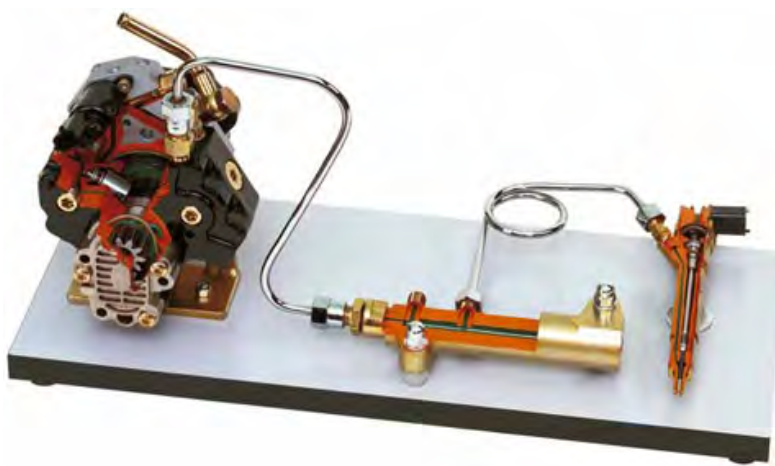
V současnosti je kladen velký důraz na životní prostředí, na využití nerostných i lidských zdrojů. Ve výrobě je znát snaha o nalezení co neefektivnějšího využití nástrojů, zkrácení výrobního cyklu, snížení spotřeby jednotlivých surovin a zdrojů a tím následně k co neefektivnější a nejekonomičtější výrobě.

Jako prostředek slouží k těmto účelům neustálé hledání nových technologií. Při snaze vylepšit stávající procesy ve zkoumaném výrobním systému je nejprve nutno vyhledat problematické místo. Shromáždit informace o dané problematice, vypracovat komplexní přehled o výrobě a jejím toku, podrobně se seznámit s možnostmi podniku, zejména z hlediska technologií a jednotlivých výrobních postupů.

Snaha o nalezení nových technologií a neustálé zlepšování a optimalizace stávajícího stavu, vede z technického i ekonomického hlediska k vytvoření stavu, který následně pomáhá udržet konkurenceschopnost na dnešním vypjatém trhu. Tím také zajišťuje další rozvoj podniku. Tento proces dále pomáhá chránit před stagnací v daném průmyslovém oboru. Velmi důležitým bodem je pak schopnost podniku ve velmi krátké časovém intervalu pružně reagovat na stále se zvyšující požadavky zákazníků a tím také zajišťuje dlouhodobě jeho silnou a pevnou pozici na trhu.

Společnost Bosch nabízí všem svým stávajícím i budoucím zákazníkům výrobky, které vyhovují dnešním vysokým technickým standardům, přičemž neustále klade silný důraz na vysokou kvalitu svých produktů i jejich šetrnost k životnímu prostředí.

Společnost Bosch se pohybuje na trzích v nejrůznějších odvětvích. Nemalá část její produkce je zaměřena na automobilový průmysl, kde si firma vybudovala pevnou pozici u zákazníků z celého světa. V České republice je vyráběn systém vstřikování paliva Common Rail (viz obr. 1.1) pro vznětové motory. Tento systém uvedla firma na trh poté, co v roce 1993 zakoupila patenty, již v roce 1997 a v roce 1999 byla zahájena sériová výroba. Název vznikl od společného tlakového zásobníku (Common Rail). Tím se odlišuje od ostatních systémů vstřikování paliva. Vytváření tlaku a samotné vstřikování je u tohoto systému odděleno. Vysokotlaké čerpadlo dodává soustavně palivo do zásobníku-Railu odkud je dopravováno k jednotlivým vstřikovacím jednotkám. Vysoký tlak je tedy neustále k dispozici. Palivo je pak do válců dopravováno pomocí řídicí jednotky a jednotlivých vstřikovačů s vysokou přesností, což má za následek snížení spotřeby, emisí i hluku celého motoru<sup>2</sup>.



Obr 1.1 Common Rail systém<sup>2</sup>.

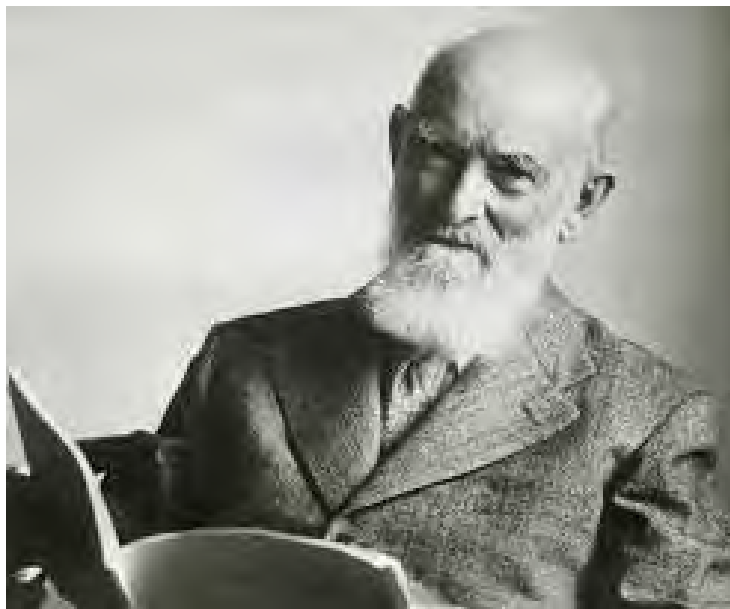
Tato práce je se systémem Common Rail úzce spjata. Zaměřuje se na samotný vysokotlaký zásobník paliva, po kterém je systém také pojmenován. Technologie umožňuje průběžnou úpravu průběhu tlaku a tím minimalizaci vzniku škodlivých látek při spalování čímž přispívá k ochraně životního prostředí a k naplnění hesla firmy: „stvořeno pro život“. Popisuje základní technologie jeho výroby. Detailně se zabývá kontrolou jeho kvality a to konkrétně svarů, vytvořených pomocí laserového paprsku.

Některá technická data firmy nejsou publikovatelná z důvodu utajení know-how.

V práci bude analyzován současný stav destruktivní testovací metody, podoba makro-metalografického pracoviště, dále budou hledány a posuzovány alternativní metody s cílem optimalizovat současný stav a navrhnout možné varianty náhrady současné technologie zkoušky.

## 1 SPOLEČNOST BOSCH GROUP

Dne 15. listopadu 1886 obdržel Robert Bosch (1861 – 1942), na obrázku 1.2, povolení k otevření své „dílny pro jemnou mechaniku a elektrotechniku“.



„Vždy jsem jednal podle pravidla: raději ztratit peníze než důvěru. Nedotknutelnost mých slibů, víra v hodnotu mého zboží a mého slova mají pro mě vyšší hodnotu než přechodný zisk.“

Obr 1.2 Robert Bosch<sup>3</sup>.

Společnost Bosch Group je významným nadnárodním dodavatelem v mnoha oblastech, ať už technologií nebo služeb. Celosvětově má v současnosti 281 000 zaměstnanců. V roce 2013 dosáhla obratu 46,4 miliard eur. Společnost vynakládá nemalé prostředky na výzkum a vývoj. Celosvětově činily výdaje za rok 2013 více jak 4,5 miliard eur. Bylo také podáno 4964 patentových přihlášek. Společnost má více jak 350 dceřiných a regionálních společností, ve více než 50 zemích světa a servisní partnery ve zhruba 150 zemích. Významně tedy přispívá k celkovému rozvoji naší společnosti<sup>3</sup>.

### 1.1 Obchodní oblasti a divize

Společnost Bosch má svoje aktivity v těchto oblastech:

- automobilová technika,
- spotřební zboží,
- průmyslová technika,
- energetika a technika budov<sup>3</sup>.

### 1.1.1 Automobilová technika

Je složena z následujících divizí:

- automobilová technika – aftermarket, v rámci automobilové techniky se zabývá logistikou a prodejem náhradních dílů a příslušenství od společnosti Bosch, v oblasti diagnostiky poskytuje testovací technologie a vybavení autoservisů, software, školení a další služby, spadá sem také „Bosch Car Service“,
- automobilová elektronika, vyvíjí, vyrábí a prodává mikroelektroniku nejen pro automobilový průmysl,
- Car Multimedia, poskytuje řešení, která umožňují integraci zábavy, navigace, telematiky a asistenčního systému ve vozidle,
- podvozkové systémy, zabývá se vývojem a výrobou výrobků, systémů a funkcí pro pohodlnou a bezpečnou jízdu,
- dieselové systémy, vyvíjí a vyrábí v mezinárodní spolupráci moderní systémy vznětových motorů, díky kterým jsou vozidla výkonnější, úspornější a šetrnější k životnímu prostředí,
- elektrické pohony, zabývá se vývojem a výrobou mechatronických komponent a systémů pro karoserie, například řešení servopohonů, komponentů a systémů pro chlazení motoru, klimatizace a čištění skel,
- benzínové systémy, zde je rovněž hlavním cílem nižší spotřeba paliva, snížení emisí a zvyšování výkonu, jsou hledány vztahy, mezi jednotlivými dílčími komponenty,
- startéry a generátory, výrobní program zahrnuje startéry pro zážehové i vznětové motory, dále produkty pro úsporné start/stop systémy snižující množství vypouštěného CO<sub>2</sub>, v neposlední řadě jsou vyvíjeny a vyráběny komponenty pro hybridní vozidla,
- systémy řízení, tyto systémy jsou vyráběny ve spolupráci s ZF Friedrichshafen AG s padesáti procentním kapitálovým podílem<sup>3</sup>.

### 1.1.2 Spotřební zboží

Zde stojí vedle sebe dvě základní oblasti, domácí spotřebiče a elektrické nářadí. Domácí spotřebiče jsou vyráběny s ohledem na dlouhou životnost a vysokou užitkovost, přinášející komfort všem uživatelům. Ve výrobě elektrického nářadí se společnost řadí ke špičkám ve svém oboru. Patří sem nářadí pro kutily, nářadí pro profesionální použití a zahradní technika. Ročně je na trh uváděno více než 100 nových modelů<sup>3</sup>.

### 1.1.3 Průmyslová technika

Technologie řídicích a ovládacích systémů. Pod značkou Rexroth jsou vyráběna standardní i specializovaná řešení pohonů a regulačních systémů pro strojírenství, průmyslovou automatizaci a mobilní aplikace. Do této oblasti spadá také obalová technika. Sídli v německém Waiblingenu a vyvíjí a vyrábí obalovou a plnicí techniku pro farmaceutický a potravinářský průmysl<sup>3</sup>.

### 1.1.4 Energetika a technika budov

Zabezpečovací systémy, termotechnika a solární energie. Zabezpečovací systémy zahrnují systémy průmyslové televize, veřejné ozvučení, elektrická požární signalizace,

zabezpečovací signalizace a konferenční systémy. Do oblasti termotechniky spadají značky Buderus, Junkers, Dakon a Bosch Průmyslové kotle. V oblasti obnovitelných zdrojů jsou vyvíjeny a vyráběny fotovoltaické solární články, moduly i solární elektrárny na klíč<sup>3</sup>.

## 1.2 Společnost Bosch ve světě

Dne 15. listopadu 1886 byla ve Stuttgartu otevřena „dílna pro jemnou mechaniku a elektroniku“ (viz obr. 1.3). Tímto krokem byla odstartována historie firmy. V roce 1897 společně se svým společníkem Arnoldem Zähringerem namontovali nízkonapěťové magnetoelektrické zapalovací zařízení (viz obr. 1.4) na motorovou tříkolku De Dion-Bouton. Bylo to poprvé, co byl tento systém použit v motorovém vozidle. Brzy poté začala společnost touto technologií zásobovat dynamicky se rozvíjející automobilový trh<sup>3</sup>.



Obr 1.3 Dílna pro jemnou mechaniku a elektrotechniku<sup>3</sup>.



Obr 1.4 Nízkonapěťové magnetoelektrické zapalovací zařízení<sup>3</sup>.

V roce 1898 byla založena první pobočka mimo Německo ve Velké Británii. Poté začaly vznikat další prodejní pobočky, v Anglii a ve Francii. V roce 1902 byl společnosti Daimler-Motoren-Gesellschaft dodán inovovaný vysokonapěťový magnetoelektrický zapalovací systém (viz obr. 1.6) vybavený namísto pákového převodu pro vytváření jisker zapalovacími svíčkami Bosch (viz obr. 1.5).



Obr. 1.5 Reklama na zapalovací svíčku Bosch<sup>3</sup>.



Obr. 1.6 Vysokonapěťové magnetoelektrické zapalovací zařízení<sup>3</sup>.

Rozvoj firmy byl výrazně zpomalen první světovou válkou. V tomto období firma ztratila velkou část svého majetku a přišla i o svá aktiva<sup>1</sup>.

V roce 1906 byla otevřena první pobočka v USA. Během velmi krátkého období získala společnost zakázky za více než milion dolarů. V roce 1921 otevřela společnost Bosch v Hamburku první servisní středisko Bosch. Nyní jsou tato střediska známa pod názvem Bosch Car Service a je jich v provozu více než 15 000. V listopadu 1927 započala výroba vstříkovacích čerpadel nafty pro nákladní automobily a zemědělské stroje.

V následujících letech vznikaly nové divize a společnost se začala zaměřovat na nejrůznější odvětví. Příkladem nové divize je termotechnika. V roce 1932 bylo představeno vrtací kladivo jako inovativní produkt. V následujícím roce 1933 společnost představila první lednici Bosch s neobvyklým bubnovým tvarem a nízkou spotřebou energie.

12. března 1942 ve Stuttgartu zakladatel společnosti Robert Bosch umírá.

V roce 1951 společnost představila na Frankfurtském autosalonu vstříkování benzínu pro dvoudobý motor. Díky tomuto systému byla výrazně snížena spotřeba paliva. Zhruba o 20% a také se zvýšil, díky přesnějšímu dávkování paliva, výkon motoru ze 17 na 21kW. Z tohoto systému se postupně vyvinul celosvětově používaný elektronický systém vstříkování paliva řízený tlakem Jetronic.

Následovaly podvozkové systémy ABS, TCS a ESP. V roce 1997 byl na trh uveden diesellový systém, známý jako Common-Rail. Tento systém představuje milník na cestě k ekologicky šetrnějším automobilům. V roce 2000 se společnost vrátila také k přímému vstříkování benzínu<sup>1,3</sup>.

### **1.3 Firma Bosch v České republice**

V České republice působí společnost Robert Bosch od konce 19. století, kdy obchodovala s firmou Laurin&Klement. V Praze byla roku 1920 otevřena první oficiální pobočka společnosti Bosch. Po roce 1947 následovala nucená 44letá přestávka, po níž byla v prosinci roku 1991 opětovně obnovena její činnost<sup>1</sup>.

Společnost Bosch Group v České republice zaměstnává v současné době 7475 zaměstnanců.

Jedná se o následující firmy: Robert Bosch odbytová s.r.o., Bosch Termotechnika s.r.o., Bosch-Siemens Hausgeräte GmbH, společnost s 50% majetkovou účastí Robert Bosch GmbH, která obchoduje s domácími spotřebiči, BSH domácí spotřebiče s.r.o., Bosch Rexroth s.r.o. a servisní centrum elektrického nářadí<sup>3</sup>.

Výrobní závody společnosti Bosch se nacházejí v celé České republice. Jedná se o závody v Jihlavě, zde sídlí Bosch Diesel s.r.o. zabývající se výrobou komponentů pro Common Rail system, v Českých Budějovicích je to Robert Bosch s.r.o., která se zaměřuje na benzínové systémy, v Brně Bosch Rexroth s.r.o., zaměřena na hydraulické systémy, v Krnově a Městě Albrechtice Bosch Termotechnika s.r.o., s výrobou kotlů Junkers, Dakon, Buderus a průmyslové kotle Bosch<sup>3</sup>.

#### 1.4 Bosch Diesel s.r.o. Jihlava – historie a výrobní program závodu

Společnost Bosch Diesel s.r.o. Jihlava byla založena 4. ledna 1993. Již předtím, od října roku 1992 byla však zahájena spolupráce s firmou Motorpal. Firma Bosch ale začala svoji historii v Jihlavě již roku 1927, kdy byl panem Josefem Poláčkem a Josefem Bindrem založen se souhlasem mateřského závodu servis, kde oficiálně prodávali a opravovali produkty firmy Bosch. Zajímavou skutečností je fakt, že vnuk Josefa Poláčka Milan Poláček pracuje dnes v jihlavském závodě. V roce 1948 došlo z důvodu politických změn k zániku tohoto servisu<sup>1,4</sup>.

V roce 1946 byl v Jihlavě založen národní podnik Motorpal, tento podnik se zabývá výrobou vstřikovacího zařízení pro vznětové motory. Firma Bosch vybudovala v roce 1993 ve spolupráci se závodem Motorpal na Humpolecké novou halu, kde se začalo vyrábět jednoválcové čerpadlo s označením PFM (viz obr. 1.7). V roce 1996 došlo k odkoupení podílu firmy Motorpal a Bosch Diesel s.r.o. se tak stal 100% vlastníkem. Firma Bosch Diesel s.r.o. se začala dynamicky rozvíjet. Nejprve došlo k vybudování závodu II-Dolina a v roce 2008 společnost otevřela nově vybudovaný závod III-Pávov. Hala na tomto závodě je největší výrobní halou společnosti na světě. V roce 1994, v době svého počátku, bylo ve firmě zaměstnáno 160 pracovníků. V roce 2012 pracovalo ve firmě Bosch Diesel s.r.o. Jihlava 4266 zaměstnanců, s tímto počtem lidí je společnost největším zaměstnavatelem v kraji Vysočina. Od svého založení v roce 1993 až do současnosti investovala společnost Bosch do svých závodů v Jihlavě částku, která překračuje 830 milionů euro<sup>1,3</sup>.



Obr. 1.7 Jednoválcové čerpadlo PFM<sup>2</sup>.

Výrobní náplní společnosti Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě jsou jednotlivé komponenty diesellového systému Common-Rail. Tyto výrobky dodává společnost mnoha významným automobilovým závodům po celém světě.

Jedná se o tyto výrobky:

- jednoválcové čerpadlo PFM, čerpadlo VP30, čerpadlo PE (výroba již byla ukončena),
- čerpadlo CP1H (výroba již byla v Jihlavě ukončena),
- čerpadlo CP3,
- čerpadlo CP4,
- čerpadlo CPN5,
- tlakové zásobníky (kované, obráběné a laserem svařované raily),
- regulační tlakové ventily DRV
- sériové opravy vstřikovacích systémů<sup>1,3</sup>.

## 1.5 Produkty závodu Jihlava

### 1.5.1 Nejstarší produkty

Jedním z nejstarších produktů, které byly vyráběny v závodě Jihlava, bylo jednoválcové čerpadlo PFM (viz obr. 1.7). Postupně se začalo vyrábět vstříkovací rotační čerpadlo s označením VP30 (viz obr. 1.8) a řadové čerpadlo PE (viz obr. 1.9). Tyto čerpadla již nejsou ve výrobním sortimentu jihlavských závodů. Výroba přešla na modernější a výkonnější systém Common-Rail, který je zároveň také šetrnější k životnímu prostředí. Jedním z prvních výrobků tohoto systému bylo vysokotlaké čerpadlo s označením CP1H (viz obr. 1.10 -11), tento systém pracuje s tlakem 1350 a 1600 barů a využívá mazání jednotlivých součástí palivem. Také tento systém se v současné době v závodě Jihlava již nevyrábí, u tohoto a předešlých systémů je ale stále prováděn jejich servis.

ROTAČNÍ



Obr. 1.8 Rotační čerpadlo VP30<sup>2</sup>.

ŘADOVÉ



Obr. 1.9 Řadové čerpadlo PE<sup>2</sup>.



Obr. 1.10 Čerpadlo CP1H<sup>2</sup>.



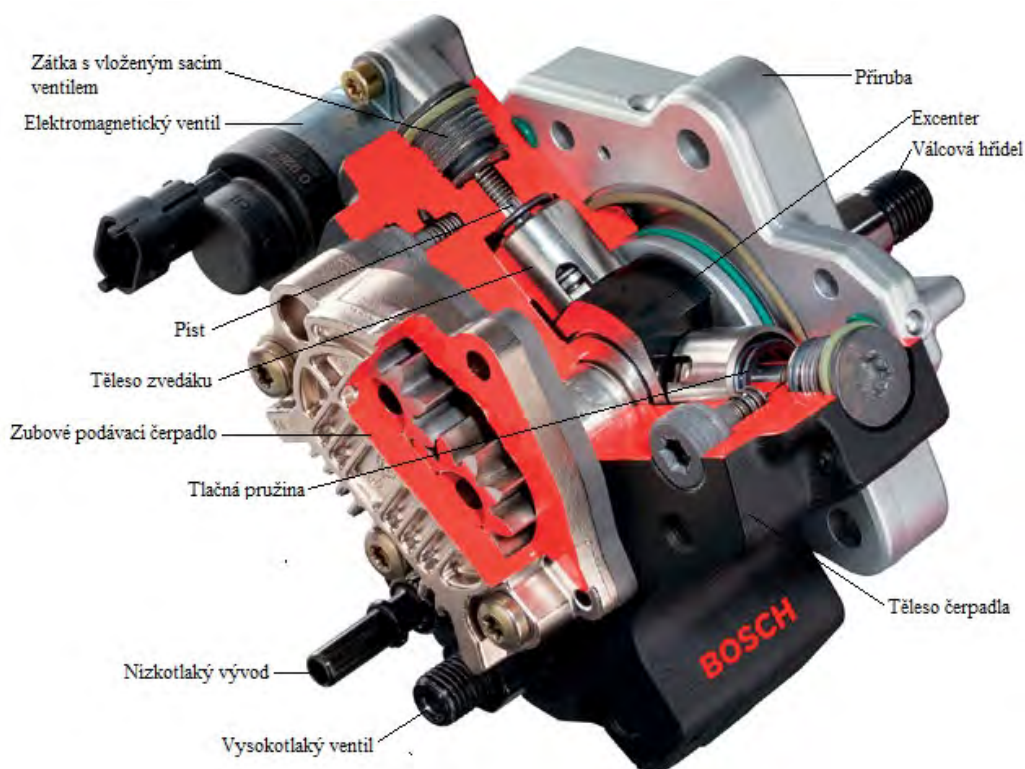
Obr. 1.11 Čerpadlo CP1H,2<sup>2</sup>.

U čerpadel z řady CP1H je dobře patrný trend, který je stále aktuální a to snaha o nalezení jednoduchého kompaktního řešení a využití modulárních prvků, což se příznivě projevuje na ceně celé sestavy. Výrobky jsou také výrazně menší a tím dochází k úspoře materiálu a snížení hmotnosti. Přičemž je však díky neustálému vývoji zvyšován jejich výkon a užité vlastnosti. Všechny tyto znaky jsou důležité pro dobré postavení na trhu.

Tyto snahy jsou nejvíce patrné v automobilovém a leteckém průmyslu. Důvody vycházejí z následujících požadavků: zmenšování rozměrů součástí, vysoké požadavky na jakost výrobků, zmenšování tolerancí a vyšší výrobní přesnost, snižování výrobních nákladů a snižování hmotnosti výrobků. Dochází také k integraci technologií, využití informačních technologií v oblasti plánování, simulací a rychlého konstruování<sup>5</sup>.

### 1.5.2 Vysokotlaké čerpadlo CP3

Vysokotlaká čerpadla systém Common-Rail s označením CP3 (viz obr. 1.12). Tato řada čerpadel pracuje s tlaky 1600 barů a k mazání využívají podle typu buďto palivo nebo mají samostatný olejový okruh. V závodě III-Pávov se nyní nachází dvě inovované montážní linky. V době největšího rozkvětu to byly čtyři montážní linky. Vzhledem ke stále vyšším nárokům došlo postupně k zavedení mnoha technických opatření a linky byly optimalizovány, byly použity nové technologie, změnilo se uspořádání jednotlivých stanic. Tím došlo i ke snížení počtu pracovníků na jednotlivých linkách a současně ke zvýšení produkce. Byly také integrovány některé samostatné procesy přímo do výrobních linek. Například výroba sacích a přepadových regulačních ventilů.



Obr. 1.12 Čerpadlo CP3 Common Rail<sup>2</sup>.

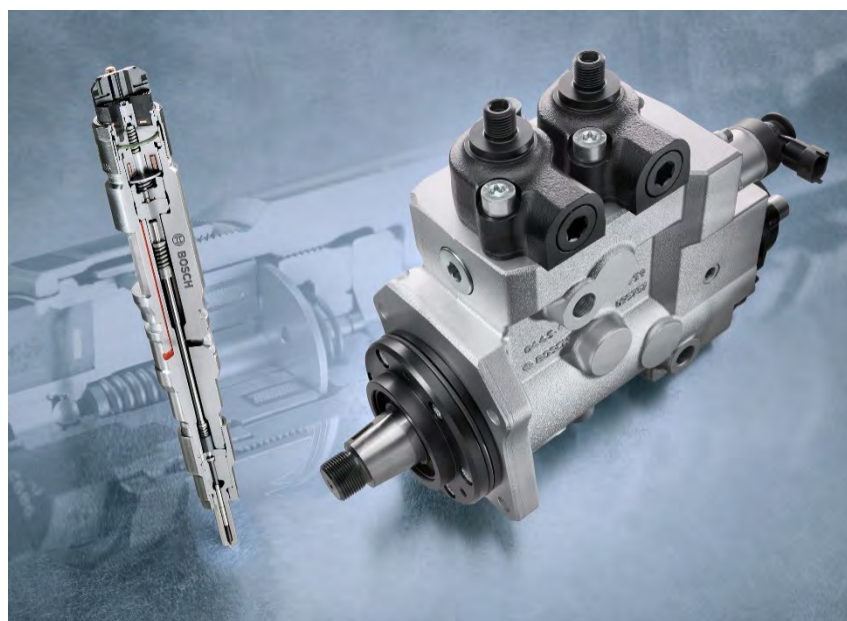
### 1.5.3 Vysokotlaké čerpadlo CP4

V současnosti tvoří jeden z hlavních nosných prvků výroby vysokotlaké čerpadlo s označením CP4 (viz obr. 1.13-14). Toto čerpadlo je vyráběno ve dvou základních variantách. Jako dvouhlavé nebo jednohlavé, tedy jedno nebo dvou pístové. Jsou využívána jak pro osobní, tak pro užitková vozidla. Pracují s tlaky až 2100 barů. Základem je těleso ze slitiny hliníku. V čerpadle CP4 je inovativně použita dvojitá vačka, což umožňuje během jedné otáčky dva podávací zdvihy. Došlo také k navýšení převodového poměru otáček hřídele čerpadla a samotného motoru vozidla. Dřívější poměr byl 1:2 nebo 2:3, čerpadla CP4 pracují v poměru 1:1. V závodě III-Pávov je v současnosti v provozu šest montážních modulů včetně výroby těles, hlav sacích ventilů, přírub a dalších komponentů. Jihlavský závod v roce 2013 produkoval 55% objemu výroby čerpadel CP4<sup>2</sup>.

Obr. 1.13 Dvouhlavé čerpadlo CP4<sup>2</sup>.Obr. 1.14 Jednohlavé čerpadlo CP4<sup>2</sup>.

#### 1.5.4 Vysokotlaké čerpadlo CPN5

Toto čerpadlo je určeno pro nákladní vozidla, stavební stroje a jinou těžkou techniku. Z celé skupiny jehlavských výrobků je proto největší a nejtěžší. Jeho provozní tlak dosahuje 2500 barů. Pro toto čerpadlo jsou v jihlavském závodě montovány pouze jednotlivé podsestavy, jako je sací ventil a tlakový regulační ventil. Jsou zde dokončovány hřídele a vysokotlaké elementy broušením a superfinišováním. Dále je zde prováděna montáž elektromagnetického ventilu. Polotovary jsou většinou dodávány ze závodů v Německu. Čerpadlo je společně se vstřikovačem vyobrazeno na obrázku 1.15.

Obr. 1.15 Vysokotlaké čerpadlo CPN5<sup>2</sup>.

### 1.5.5 Vysokotlaký regulační ventil DRV

V systému Common Rail slouží vysokotlaký regulační ventil s označením DRV (viz obr. 1.16) k regulaci tlaku paliva mezi motorem a čerpadlem. V jihlavském závodě se vyrábějí dvě verze DRV1, určeno pro čerpadla CP1 a DRV2 určeno pro čerpadla CP3. Regulační ventil je vždy namontován na tlakovém zásobníku paliva-Railu<sup>2</sup>.

### 1.5.6 Vysokotlaký zásobník paliva RAIL

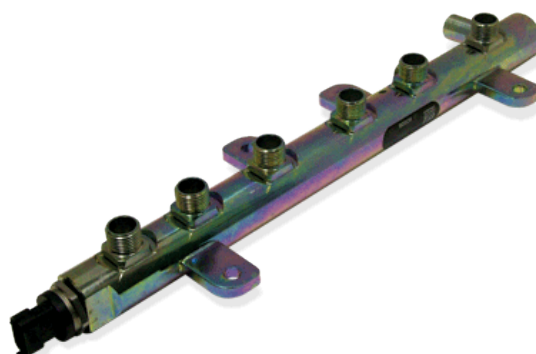
V jihlavském závodě II-Dolina jsou vyráběny vysokotlaké zásobníky paliva-raily, pro 3,4,6 a 8mi válcové motory. Tyto zásobníky slouží k akumulaci paliva pod vysokým tlakem a jeho udržení na přibližně stejné hodnotě, dále tlumí tlakové kmity, které vznikají od čerpadla. Postupně byly vyvinuty čtyři generace tlakových zásobníků. Raily jsou v jihlavském závodě vyráběny dvěma odlišnými technologiemi. První technologie nese označení HFR (viz obr. 1.17). Zde je tlakový zásobník vyráběn z polotovaru, kterým je výkovek kovaný za tepla. Druhou technologií je svařovaný rail s označením LWR (viz obr. 1.18). Zde je polotovarem válcovaná tyč, na kterou jsou po opracování jednotlivé komponenty navařeny odporově a pomocí laserového paprsku. Touto technologií je vyráběna většina produkce. Tato práce se dále zabývá technologií výroby LWR a zaměřuje se hlavně na zkoušku kvality zásobníku, respektive jednotlivých svarů<sup>2</sup>.



Obr. 1.16 Vysokotlaký regulační ventil DRV<sup>2</sup>.



Obr. 1.17 Rail vyrobený technologií HFR<sup>2</sup>.



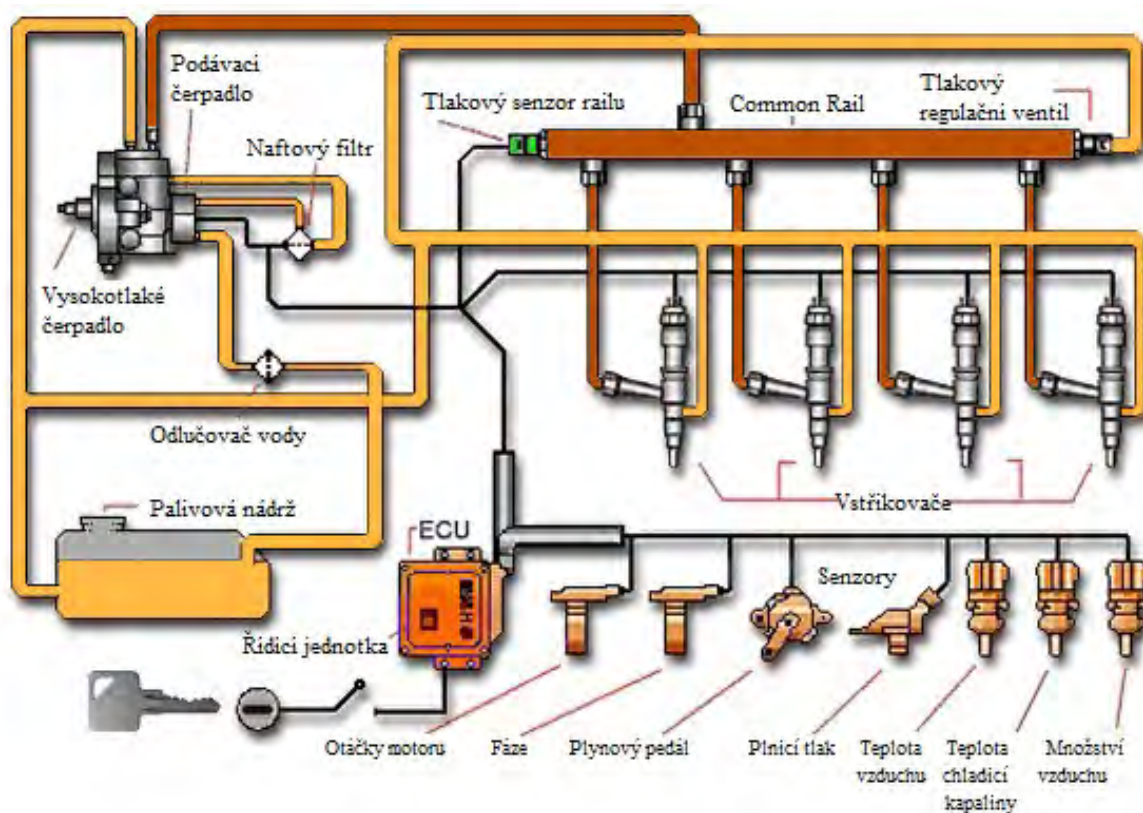
Obr. 1.18 Rail vyrobený technologií LWR<sup>2</sup>.

## 2 SYSTÉM COMMON RAIL

Název Common Rail je tvořen od společného zásobníku paliva.

Vývoj systému započal Robert Huber ze Švýcarska koncem šedesátých let minulého století, od roku 1976 do roku 1992 pokračovala ve vývoji Spolková vysoká škola technická Curych. V devadesátých letech spolupracovala na vývoji firma Magneti Marelli a výzkumné centrum Fiat. V roce 1993 společnost Robert Bosch GmbH odkoupila patenty a dokončila vývoj systému. V roce 1999 byla spuštěna sériová výroba.

Od běžných systémů, kde je palivo dopravováno z nádrže čerpadlem nízkotlakým potrubím do vysokotlakého čerpadla a z něho dále vysokotlakým potrubím přímo ke vstřikovačům, je v systému Common Rail (viz obr. 2.1) palivo za vysokotlakým čerpadlem vedeno do zásobníku tlaku-Railu, který je společný-Common, pro všechny válce motoru. Teprve z něho je palivo pod tlakem dopravováno k jednotlivým vstřikovačům ve válcích motoru. Zásobník tlaku se zde stará o to, aby byl neustále k dispozici konstantní tlak paliva, který není závislý na otáčkách motoru a zároveň také tlumí hydraulické rázy, které vznikají při chodu čerpadla. Systémy Common Rail společnosti Bosch pracují s tlaky 1350 až 2500 barů. Celý proces je řízen elektronicky, pomocí elektromagnetických ventilů na vstřikovačích. Díky tomu je dosaženo snížení spotřeby, zvýšení výkonu a také motor má tišší chod. V současné době se jedná o nejrozšířenější systém využívaný pro vznětové motory<sup>6</sup>.



Obr. 2.1 Schéma systému Common Rail<sup>7</sup>.

System Common Rail lze zjednodušeně rozdělit do třech základních částí:

- nízkotlaká část, stará se o zásobování systému palivem,
- vysokotlaká část, stará se o vytvoření a udržení vysokého tlaku,
- elektronická regulace ECU a vstřikovací jednotky<sup>6</sup>.

### **2.1 Nízkotlaký okruh systému Common Rail**

Úkolem této části je dopravit palivo přes filtraci do čerpadla, kde je vytvářen vysoký tlak. Tato část je tvořena palivovou nádrží, filtrem paliva, podávacím čerpadlem (například zubové), tlakovým regulačním ventilem a nízkotlakým potrubím<sup>6</sup>.

Palivová nádrž je zásobníkem paliva (nafty), musí být dokonale těsná a korozivzdorná.

Filtr paliva má za úkol zachytit pevné částice, které mohou být rozptýlené v naftě a mohly by, v případě jejich proniknutí do systému způsobit jeho poškození, zvýšit opotřebení jednotlivých částí, případně i vyřadit celý systém z provozu.

Podávací čerpadlo dopravuje palivo do vysokotlakého čerpadla. Může být zubové, elektrické nebo tandemové.

### **2.2 Vysokotlaký okruh systému Common Rail**

V této části je vytvářen a udržován vysoký tlak. Pohybuje se v rozpětí 1350 až 2500 barů. Na prvním místě je čerpadlo, kde dochází k vytvoření požadovaného tlaku, za ním následuje společný tlakový zásobník, ten zajišťuje konstantní tlak paliva bez závislosti na otáčkách motoru a na konci stojí vstřikovač. Všechny komponenty jsou navzájem propojeny vysokotlakým vedením.

V současné době jsou vyráběna vysokotlaká čerpadla common pump označovaná CP3 (viz obr. 1.12), CP4 (viz obr. 1.13) a CPN5 (viz obr. 1.15)

Vysokotlaký zásobník paliva HFR (viz obr. 1.17), vyráběný obráběním z odlitku a vysokotlaký zásobník LWR (viz obr. 1.18) vyráběný za pomoci svařovacích technologií. Rail musí být dostatečně pevný, aby byla zajištěna dokonalá těsnost při neustálém vysokém tlaku a musí odolávat hydraulickým rázům. Součástí railu je elektromagnetický regulátor tlaku DRV a snímač tlaku.

### **2.3 Vstřikovače a elektronická řídicí jednotka**

Vstřikovače jsou montovány přímo do hlav jednotlivých válců (viz obr. 2.4). Vstřikovací tlak je řízen na základě údajů z jednotlivých senzorů pomocí elektronické řídicí jednotky (viz obr. 2.1). Vstřikovače mohou být elektromagnetické (viz obr. 2.2) nebo piezoelektrické (viz obr. 2.3). Ve vstřikovači je integrován spínací ventil, který je ovládán řídicí elektronickou jednotkou. Množství vstřikovaného paliva je dáno tlakem v systému a dobou otevření ventilu. Vzhledem k současným požadavkům na snižování emisí výfukových plynů, zvyšování výkonu motoru a jeho tišší chod, je potřeba dosáhnout optimálního složení spalované směsi, co nejpřesnějšího dávkování a dokonalý rozptyl ve spalovacím prostoru válce. Pro dosažení tohoto cíle se využívá několikanásobný vstřik. V současnosti umožňují některé vstřikovače až 8 vstřiků (ve fázích předstřik, hlavní vstřik a následné vstřiky). Piezoelektrický vstřikovač pracuje na principu tlaku vyvíjeného na krystal, například křemen, který v něm vyvolává napětí. Tento jev funguje i obráceně. Přivedením napětí na krystal je vyvolána deformace, čímž dojde k otevření trysky ve vstřikovači. Lze tak dosáhnout velmi krátké doby otevření a velmi přesného dávkování paliva<sup>6</sup>.

Obr. 2.2 Elektromagnetický vstříkovač<sup>2</sup>.Obr. 2.3 Piezoelektrický vstříkovač<sup>2</sup>.Obr. 2.4 Umístění vstříkovače v hlavě válce<sup>2</sup>.

#### 2.4 Common Rail systém, jeho klady a zápory

Skutečnost, že se podíl automobilů s dieslovým motorem vybaveným systémem Common Rail neustále zvyšuje, vypovídá sama o sobě o tom, že klady tohoto systému převyšují jeho zápory. V současné době je v Evropě poměr benzínových a dieslových motorů zhruba 1:1. Oproti tomu byl podíl aut s dieslovým motorem před zavedením systému Common Rail v roce 1997 v Evropě pouze 22%<sup>2</sup>.

Výhody systému<sup>8,9</sup>:

- výrazné snížení emisí, zapříčiněné dokonalejším rozprášením paliva ve válci motoru, což je umožněno díky vysokému tlaku vstříkování,
- jednodušší konstrukce a také menší nároky kladené na nízkotlakou část systému, která pracuje s nižšími tlaky,
- snížení hluku motoru díky přesnějšímu vstříkování paliva,
- vícenásobné vstříkování (předstřík, vstřík a dostřiky) napomáhají snižování spotřeby.

Nevýhody systému<sup>8,9</sup>:

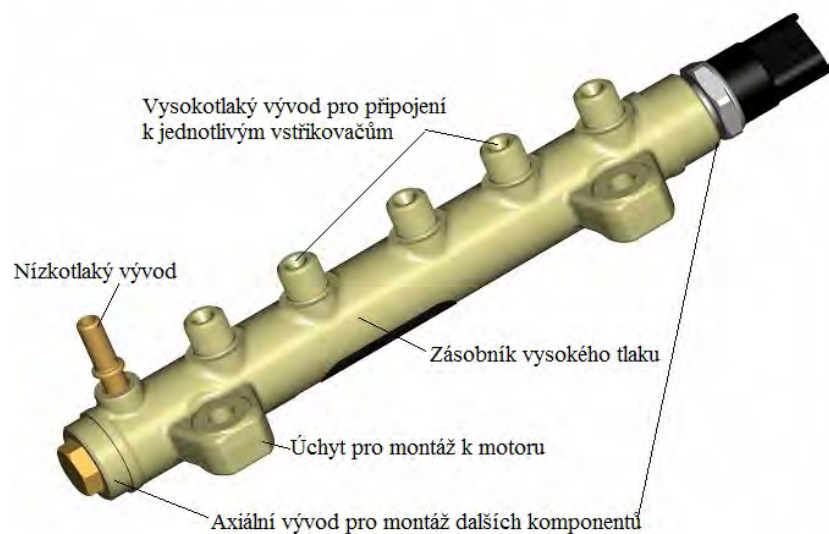
- dochází ke snižování účinnosti motoru z důvodu udržování neustálého vysokého tlaku paliva v zásobníku,
- v případě poruchy vstřikovacího ventilu dojde k neustálému protékání paliva do spalovacího prostoru,
- v případě nečistot v palivu může docházet k vyššímu opotřebení součástí systému a tím ke zkrácení životnosti.

Společností Bosch jsou investovány nemalé prostředky do vývoje a výzkumu a proto je systém neustále zdokonalován a vylepšován. Zejména z pohledu snižování emisí, hluku a spotřeby paliva. Technologie Common Rail má proto neustálý potenciál ke zvyšování využitelnosti dieselových motorů ve všech segmentech trhu<sup>2</sup>.

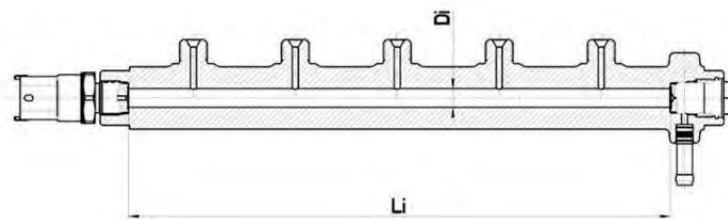
### 3 TECHNOLOGIE VÝROBY VYSOKOTLAKÝCH ZÁSOBNÍKŮ PALIVA - RAILŮ

#### 3.1 Popis vysokotlakého zásobníku paliva

Schematický obrázek 3.1 popisuje jednotlivé části vysokotlakého zásobníku paliva-railu. Úkolem railu je konstantní zajištění dostatku paliva pod požadovaným tlakem pro jednotlivé vstřikovače. Jeho cílem je také eliminace hydraulických rázů, které jsou generovány při činnosti vysokotlakého čerpadla-Common Pump. Důležitým faktorem je samotný objem railu (viz obr. 3.2), který musí být dostatečně velký, aby bylo zajištěno splnění výše zmiňovaných podmínek, ale zároveň ne moc velký, aby při startu bylo garantováno rychlé naplnění a rychlý nárůst tlaku v zásobníku.



Obr. 3.1 Vysokotlaký zásobník paliva-Rail<sup>2</sup>.



Obr. 3.2 výpočet objemu tělesa railu.

Pro výpočet objemu je použit vzorec (1) vycházející ze strojnických tabulek<sup>16</sup>.

$$V_{Railu} = L_i \cdot \left( \frac{D_i^2 \cdot \pi}{4} \right) = V_{Hlavního\ vrtání} \quad (1)$$

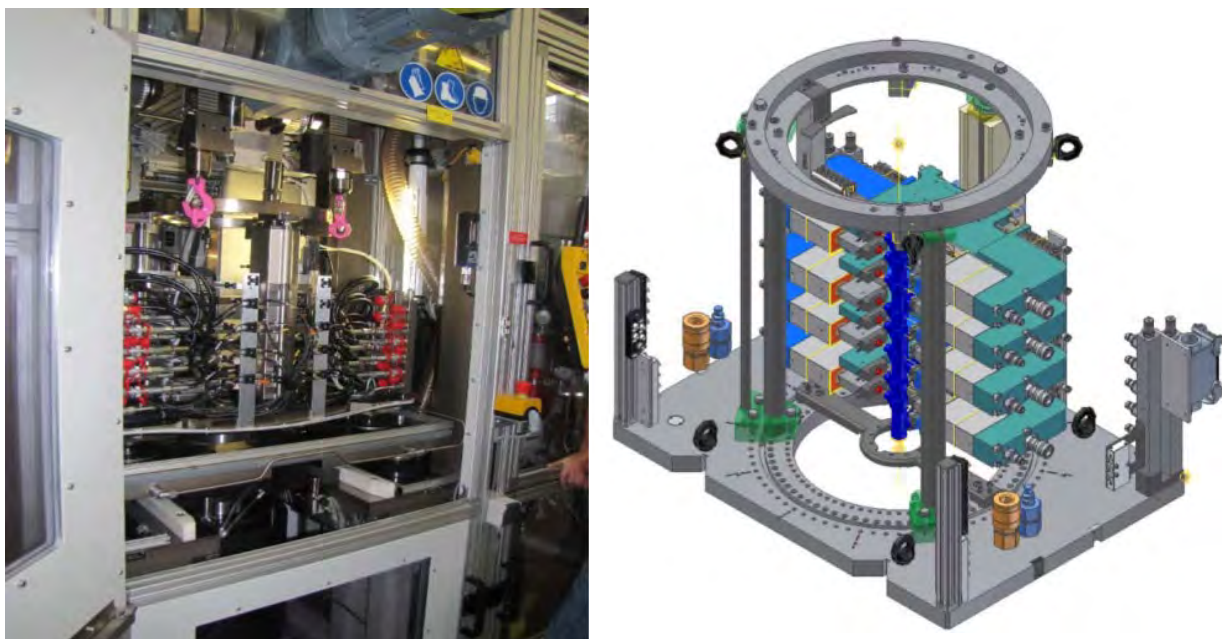
kde:  $V_{Railu}$  – objem [l]  
 $L_i$  – délka hlavního vrtání [dm]  
 $D_i$  – průměr hlubokého vrtání [dm]  
 $\pi$  – Ludolfovo číslo [-]

### 3.2 Technologie výroby railu s označením HFR

Zkratka HFR vznikla z prvních písmen **H**ot **F**orged **R**ail. Polotovarem tohoto výrobku je výkovek vzniklý tlakovým kováním za tepla, který má již základní tvar hotového výrobku. Materiálem je feriticko-perlitická ocel 38MnVS6. Rail vyrobený technologií HFR je zobrazen na obrázku 1.17.

Technologie výroby je členěna na několik základních operací. Patří sem:

- hluboké vrtání, je prováděno na CNC strojích TBT, jedná se o šestivřetenové stroje s olejem jako procesní kapalinou, pracovním nástrojem je vrták pro hluboké vrtání, stroj je vybaven spádovým dopravníkem, pro hluboké vrtání se také používají stroje Mollart,
- axiální a radiální obrábění, sem patří vrtání, frézování, vystružování, obrábění nebo tváření vnitřních a vnějších závitů, tyto operace jsou prováděny na CNC strojích Hüller Hille, stroj obrábí jedním vřetenem ve třech osách, je vybaven otočným stolem a nástrojovým zásobníkem se třiceti šesti pozicemi, polotovary pro obrábění jsou zakládány do stroje v přípravnících, dalšími stroji používanými pro výrobu jsou například Chiron, Mazak nebo Stama<sup>7</sup>,
- kartáčování, protahování otvoru po hlubokém vrtání a následné praní,
- výstupní kontrola za pomoci třmenových a závitových kalibrů, hloubkoměrů, pneumatických měřidel a endoskopu,
- autofretáž, princip spočívá ve vyvolání pružně plastických deformací uvnitř railu, po kterých ve vnitřní stěně railu vznikají zbytková napětí, která zvyšují cyklickou pevnost až o 30%, pro tuto technologii jsou vhodné materiály s vysokou tažností, těleso railu je upnuto pomocí přípravků, jsou dotěsněny jednotlivé vývody (viz obr. A 3.3), do tělesa railu je pak nárazově přiveden tlak, který mnohonásobně překračuje tlak systémový, čímž dojde ke zpevnění, tlak dosahuje 8000 barů, pomocí toho je zabráněno v šíření mikro a makrotrhlin v materiálu, které by se mohly dále šířit vlivem pulzního tlaku přívodu paliva, tato technologie výrazným způsobem zlepšuje vlastnosti výrobku a snižuje riziko vzniku vad<sup>8</sup>,
- lisování nízkotlakých vývodů,
- poslední operací před samotnou montáží je galvanické pokovování NiZn, případně silnovrstvý pasivovaný zinek, tato vrstva chrání těleso railu před vlivy prostředí a před korozí, tato operace je prováděna v kooperaci.

Obr. 3.3 Stanice pro autofretáž a detail založení railu<sup>2</sup>.

Po povrchové úpravě následuje vstupní kontrola a poté jsou do vysokotlakých vývodů nalisovány tlumiče a celý rail je na montážních linkách zkompletován. To znamená vybaven komponenty, dle specifikace a dle požadavků zákazníků. Jsou jimi například snímač tlaku RDS (**R**ail **D**ruck **S**enzor) (viz obr. 3.4), regulační tlakový ventil DRV1, DRV2 (**D**ruck **R**egel **V**entil) (viz obr. 3.5 a 3.6), omezovací tlakový ventil DBV (**D**ruck **B**egrenzung **V**entil)<sup>2</sup>. Zkompletovaný vysokotlaký zásobník-Rail je poté přezkoušen, vizuálně zkontrolován a dle balicích předpisů zabalen. Dále je předáván do skladu, odkud je distribuován zákazníkům.

Obr. 3.4 RDS snímač<sup>2</sup>.Obr. 3.5 DRV1<sup>2</sup>.Obr. 3.6 DRV2<sup>2</sup>.

### 3.3 Technologie výroby railu s označením LWR

Zkratka LWR vznikla z prvních písmen **L**aser **W**elded **R**ail. Polotovarem tohoto výrobku je ocelová válcovaná tyč. Tyče jsou standardně dodávány v délkách 6 metrů a o průměru 30 nebo 33 mm. Příprava přířezů je řešena kooperací s externí firmou, která polotovary nařeže na požadované rozměry s přídavkem pro obrábění. Nejběžněji používaným materiálem je nízkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel s obsahem uhlíku 0,2% s označením 20MnCrS5+HH<sup>7</sup>.

Tab. 3.1 Přehled vlastnosti oceli 20MnCrS5

Přehled vlastností oceli 20MnCrS5									1.7147 (1.7449)
Druh oceli	Nízkolegovaná mangan-chromová ocel určená k cementování								
TDP	ČSN EN 10084								
Dřívější označení	označení podle DIN 17210-20MnCr5 (20MnCrS5), označení podle ČSN-14 221								
Hmotnostní podíl v %	C	Si max.	Mn	P max	S max	Cr	Mo	Ni	Al
	0,17	0,40	1,10	0,035	0,035	1,00	-	-	0,015
	-		-			-			-
	0,22		1,40			1,30			0,050

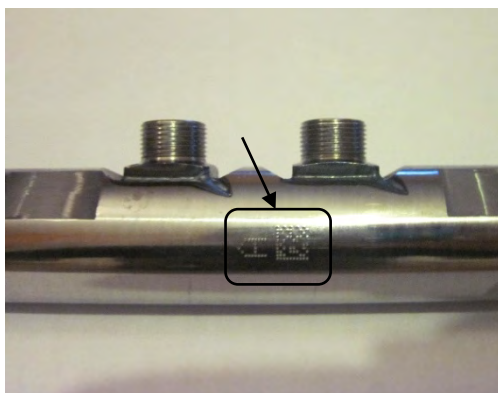
Technologie výroby je členěna na několik základních operací:

- začíná stejně jako u tlakově kovaných railů obráběním, první operací je zde hluboké vrtání na CNC strojích TBT, díky vybavení šesti současně pracujícími vřeteny vrtá stroj s vysokou efektivitou,
- axiální a radiální obrábění, probíhá podobně, jako u HFR railů, polotovar po hlubokém vrtání dopraven v plastových blistrech na vozících k CNC obráběcím stanicím Hüller Hille a ELHA vybavenými přípravkem otočným kolem horizontální osy, při obrábění koná pohyb polotovar, nástroje jsou rozmístěny po stranách a každý má vlastní vřeteno, čímž odpadá čas pro výměnu nástroje během obrábění. Rozdíl oproti HFR railům je hlavně v obrábění vysokotlakých vývodů, samotný těsnicí kužel je velmi podobný, ale horní část není vytvořena z materiálu obrobku, ale je dále navařována za pomoci svařovacích technologií, vysokotlaký vývod na railu HFR je vyobrazen na obrázku 3.7 a obrázek 3.8 zobrazuje vysokotlaký vývod na railu LWR,

Obr. 3.7 Vysokotlaké vývody HFR<sup>2</sup>.Obr. 3.8 Vysokotlaké vývody LWR<sup>2</sup>.

- kartáčování, výstupní kontrola za pomoci třmenových a závitových kalibrů, hloubkoměrů, pneumatických měřidel a endoskopu,
- autofretáž, je prováděna za stejných podmínek, jako u railů vyráběných technologií HFR, detailní popis je proveden v kapitole 3.2, výsledné zpevnění je ale vzhledem k použitému materiálu odlišné, autofretáž je prováděna pouze na některých konkrétních typech railů, dle požadavků zákazníků, protože se některé typy liší právě

pouze autofretáží, je na rails, které tímto procesem prošly, vyražen DMC kód a proto, aby bylo možné rozlišit je také vizuálně ještě doplněno písmeno „A“ (viz obr. 3.9)<sup>2</sup>,

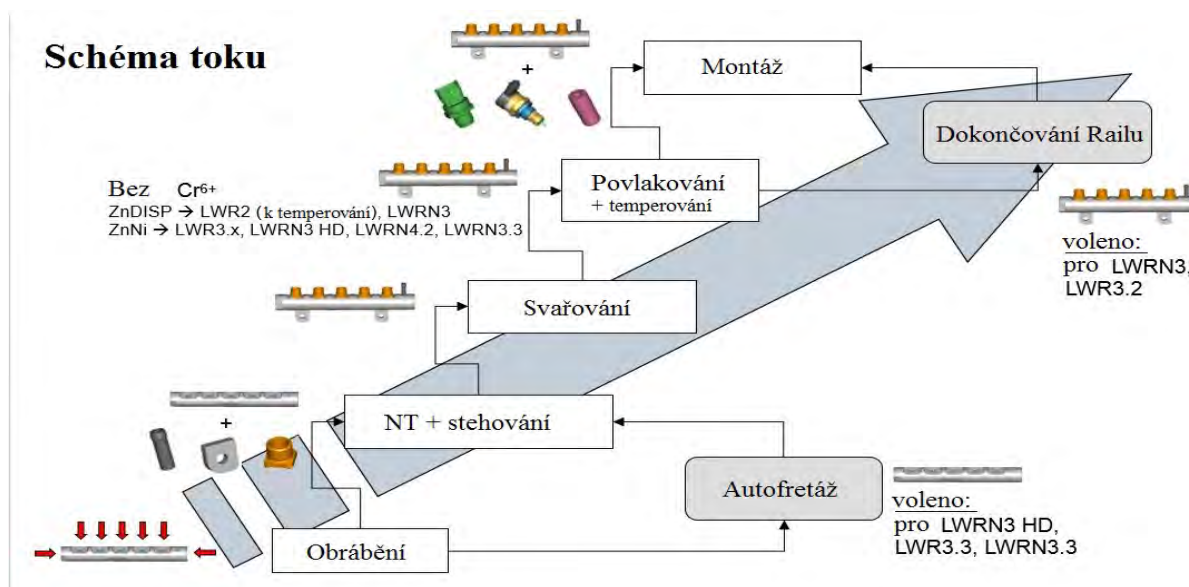


Obr. 3.9 DMC kód a značka autofretáže<sup>2</sup>.

- poslední operací před počátkem svařovacích procesů je praní a pasivace dílů proti korozi, je důležité dokonalé odmaštění, aby nedocházelo k defektům při svařování, jako jsou například póry.

#### 4 SVAŘOVACÍ LINKA PRO RAIL LWR

Následující obrázek 4.1 přibližuje schematicky tok materiálu při výrobě LWR Railu.



Obr. 4.1 Tok materiálu při výrobě LWR Railu.

V Jihlavském závodě II jsou v současnosti vyráběny čtyři generace svařovaných railů.

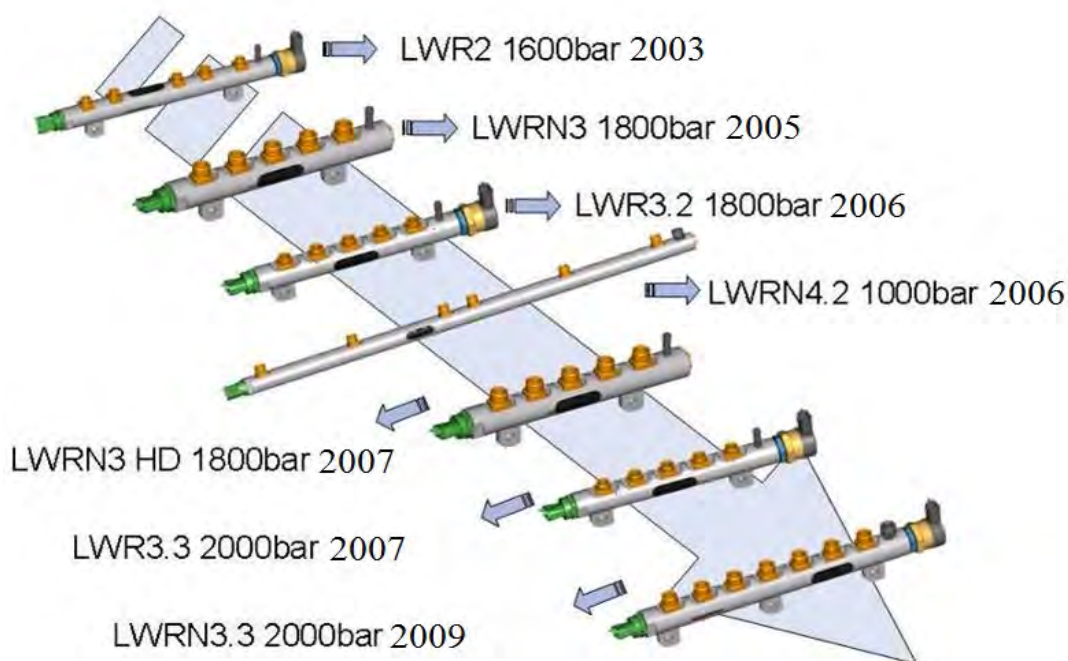
První generace byla uvedena na trh již v roce 1997. Její pracovní tlak byl 1350 barů a pracovala společně s vysokotlakým čerpadlem CP1. Tlak byl ovládán elektromagnetickým ventilem a samotné vstřikovače byly solenoidové. Již v této generaci byl použit systém předstřiku, který umožnil snížit rostoucí tlak při spalování paliva ve válci<sup>2</sup>.

Druhá generace se začala na závodě II vyrábět v roce 2001. Její pracovní tlak byl 1600 barů a kromě čerpadel CP1H se zde již začalo používat vysokotlaké čerpadlo CP3, které má tři písty. Tlak byl řízen stejně, jako u předešlé generace elektromagnetickým regulačním ventilem a solenoidovými vstřikovači. Oproti předešlé generaci, kde byly dvě fáze vstřikování (předstřík a hlavní vstřík), bylo použito také třetí fáze (dostřík). Toto řešení umožnilo plnit náročné limity stále se zvyšujících norem pro emise výfukových plynů a spalin. Došlo tím také k dalšímu růstu výkonu motoru a také ke snížení spotřeby paliva a hlučnosti samotného motoru<sup>2</sup>.

Třetí generace se začala vyrábět v roce 2003. Její pracovní tlak činí 1600 barů a využívá vysokotlakého čerpadla CP3. Po spuštění výroby vysokotlakých čerpadel CP4 v roce 2008 se začalo používat také toto čerpadlo, které je vyráběno ve dvou základních variantách, jako jednohlavé, které pracuje s tlakem 1800 barů a dvouhlavé, pracující s tlakem 2000 barů. Došlo také ke změně technologie vstřikovačů. Začaly se používat piezoelektrické vstřikovače na bázi krystalu, které pracují podstatně přesněji a rychleji než solenoidové. Reakční čas byl zkrácen na cca jednu čtvrtinu původního času. Díky dalšímu navýšení tlaku oproti starším generacím došlo k dalšímu zvýšení výkonu a snížení spotřeby paliva a následně emisí<sup>2</sup>.

Čtvrtá generace se začala vyrábět v roce 2008. U této generace došlo ke snížení tlaku ve vysokotlakém zásobníku na 1350 barů. Celkový tlak vysokotlaké části je však vyšší než u předešlých generací. Další navýšení vysokého tlaku umožnily nové piezoelektrické vstřikovače se systémem Hadis (**H**ydraulically **A**mplified **D**iesel **I**njection **S**ystem) hydraulický zesilovač dieselového vstřiku paliva. Ten využívá pístu, pomocí kterého je zvyšován systémový tlak paliva až na 2500 barů<sup>2</sup>.

Vývoj jednotlivých generací LWR railů, jejich pracovní tlaky a rok uvedení do výroby popisuje následující obrázek 4.2<sup>2</sup>.



Obr. 4.2 Historie generací LWR Railu.

#### 4.1 Praní polotovarů pro svařovací procesy

Před samotnými svařovacími procesy je na svařovacích linkách začleněn proces praní. U polotovaru, který vstupuje do dalších procesů, je nutné zajistit jeho dokonalé odmaštění a očištění. Je to nutné k tomu, aby bylo zabráněno defektům, které by následně na svařovacích procesech vznikaly.

Samotné těleso-rail je čištěno v zakládacích koších v pračkách Dürr Ecoclean (viz obr. 4.3). Jako prací médium je použit roztok P3Upon 5801 a vody, dle stanovené koncentrace. Tato koncentrace je průběžně sledována laboratoří pomocí odběru vzorků. Zde je kontrolována koncentrace a znečištění roztoku. Při samotném procesu praní jsou využívány trysky a ultrazvuk. Na konci cyklu je již vypraný polotovar zaplaven z poslední nádrže roztokem vody a přípravku Prevox 6748. Zde dochází k pasivaci (polotovar je chráněn proti korozi). Následuje sušení za pomoci horkého vzduchu a vytvoření vakua. Součástí pračky je také dopravník, na jehož konci dochází ke chlazení polotovarů vzduchem. Celý proces je plně automatizován. Obsluha pouze zakládá a vykládá polotovary do a z pracích košů. Vodní roztoky jsou v současnosti hodně využívány, protože jsou šetrné k životnímu prostředí. Pračky fungují jako zařízení se systémem trysek. Pracují s jednou nebo více pracími komorami, které jsou zaplavovány pracím médiem. Celý proces praní je většinou podpořen použitím ultrazvuku<sup>2,10</sup>.



Obr. 4.3 Pračka Dürr Ecoclean<sup>10</sup>.



Obr. 4.4 Pračka Karl Roll<sup>11</sup>.

Drobné komponenty jsou čištěny rovněž v pracích koších. Pro proces čištění je použito zařízení firmy Karl Roll (viz obr. 4.4). Pracím médiem je zde uhlovodíková směs modifikovaných alkoholů. Tyto směsi jsou vysoce hořlavé a vztahuje se na ně směrnice o hořlavých kapalinách, jejich bod vzplanutí je 55°C. Hrozí zde nebezpečí výbuchu, které je vyloučeno pomocí vakua. Polotovar je za využití zvýšených teplot, opakujících se cyklů a ultrazvuku odmaštěn a zbaven případných nečistot<sup>2,11</sup>.

Dílce jsou k jednotlivým stanicím dodávány vnitřním zásobovačem v pravidelných cyklech. Je využíván systém karet, zvaný KANBAN, aby nedocházelo k prostojům. U každé stanice jsou označené prostory, do kterých zásobovač umístí vozík s polotovary v plastových zásobnících. Obsluha si je následně odebírá po další operace. Tento systém je nazýván řízením výroby spotřebou a zároveň umožňuje udržovat štíhlou zásobu rozpracované výroby.

### 4.1.1 Manipulace s odpady

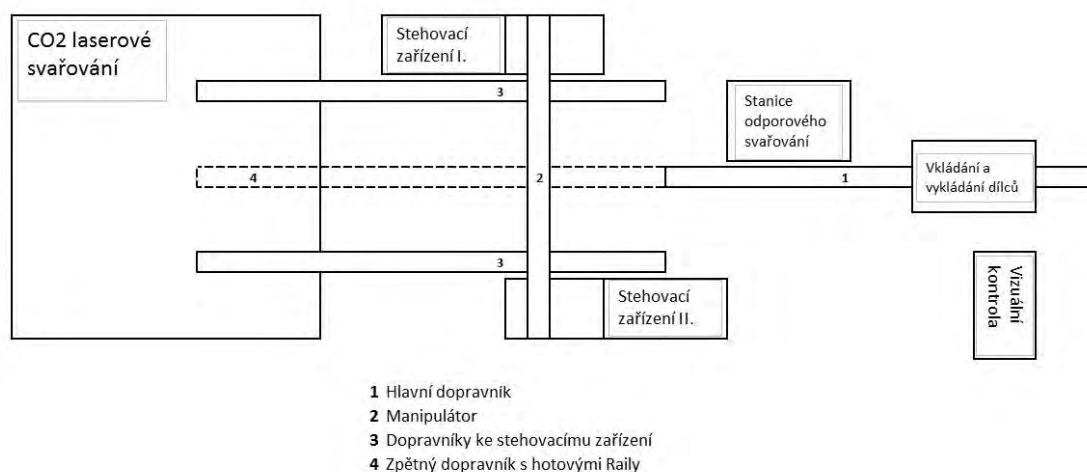
Firma Bosch klade značnou váhu na to, aby její výrobní činnosti měly co možná nejmenší negativní dopady na životní prostředí. Zároveň se také zaměřuje na to, aby i pro své zaměstnance ve výrobních provozech vytvářela čisté a zdravotně nezávadné prostředí. Svě zaměstnance vede také k tomu, aby důsledně třídili veškeré odpady, vznikající při výrobě a umožnili tak, v co možná nejvyšší míře, jejich recyklaci.

O manipulaci s odpady a dalšími nebezpečnými látkami se stará, v souladu s interními Bosch normami pro stroje, zařízení a vybavení, pro manipulaci s látkami ohrožujícími vodní zdroje a management odpadů externí firma<sup>2</sup>.

V závodě je během výroby vyprodukován značný objem odpadních látek. Jedná se o různé kaly, znečištěné řezné emulze, zkušební oleje a další média hlavně na bázi ropných produktů. Příkladem může být prací médium, které je po použití recyklováno, filtrováno a vraceno zpět do výrobního procesu. Při obrábění vzniká velké množství ocelových třísek, které jsou znečištěny řezným olejem. Tento olej je gravitačně odfiltrován a zbylé třísky jsou vraceny do hutí k opětovnému roztavení a vrací se v podobě nových polotovarů.

### 4.2 Svařovací linka

Svařovací linka (viz obr. 4.5) je tvořena několika stanicemi, které jsou navzájem propojeny dopravníkovým pásem. Úzké místo, kde by docházelo ke zpomalení toku je vyřešeno zdvojením problematické stanice. Naopak v CO<sub>2</sub> svařovacím boxu je pouze jedna svařovací hlava a s polotovary během procesu svařování manipulují dva roboty. V překrytém čase, kdy jeden robot provádí ve spolupráci se svařovací hlavou finální laserový svar, druhý robot manipuluje se svařeným kusem k dopravníku, kde rail odloží, uchopí další a připraví se do pozice pro svařování. Tímto dochází k eliminaci manipulačních časů. V závodě II se nacházejí čtyři automatické svařovací linky této konstrukce a jedna poloautomatická linka, která je využívána spíše pro menší výrobní dávky, protože její přestavba na další typ zabere méně času. Nemá dopravník, manipulace s kusy je prováděna výlučně ručně a proto klade vyšší nároky na obsluhu .



Obr. 4.5 Schematické znázornění svařovací linky.

#### 4.2.1 Vkládání a vykládání railů

Na tomto pracovišti celý výrobní proces začíná a také končí. Obsluha založí polotovaro-  
obrobený rail na vozík a tento posune na dopravníkový pás. Pás je dvoupatrový, v horním  
patře putují polotovary celým výrobním procesem a ve spodním patře se vrací finální  
výrobky. Z druhé strany dopravníku, za pomoci výtahu přijíždějí na toto pracoviště svařené  
vysokotlaké zásobníky-raily. Obsluha uchopí kus z vozíku a sejme všechny ochranné krytky  
z navařených komponentů. Rail vizuálně zkontroluje dle stanovaného předpisu. Kontrolují se  
svary, poškození a také se kusy přikládají na šablonu, pomocí které se kontroluje například  
rovinnost úchytů. Kus po vizuální kontrole odloží do plastového zásobníku na spádovém  
dopravníku dle balicího předpisu. Po zaplnění plastového zásobníku je tento obsluhou odeslán  
na stanici vizuální kontroly a zkoušky nízkotlakého vývodu.

#### 4.2.2 Stanice pro odporové svařování

Na stanici pro odporové svařování je navařován nízkotlaký vývod. Jedná se o kruhovou  
součástku, která se svým tvarem výrazně liší od ostatních komponentů, proto není jako ostatní  
navarována laserovou technologií. Drapák odebere z vozíku na dopravníku polotovar (rail),  
upne ho do čelistí a přemístí na prisma. Ze zásobníku jsou pomocí vibrační lišty dopravovány  
nízkotlaké vývody. Ty jsou pomocí trnu dopraveny do svařovací hlavy, sevřeny elektrodami  
a přitlačeny na těleso railu. Následně je proveden svar pomocí odporového svařování (viz obr.  
4.6 a 4.7). Teplo potřebné k roztavení materiálu vzniká za pomoci střídavého proudu  
s vysokou intenzitou (desítky kA) a nízkého napětí (jednotky V). Množství tepla lze vypočítat  
pomocí Jouleova–Lenzova zákona:

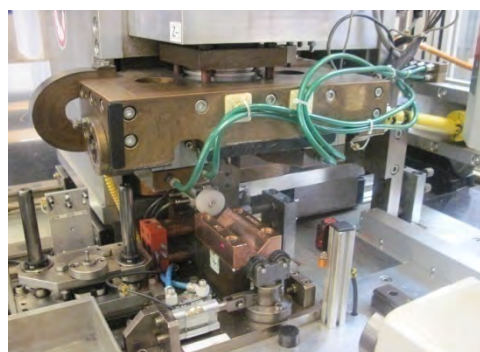
$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad (2)$$

kde: Q – množství tepla [J]  
R – celkový odpor svařovaného spoje [ $\Omega$ ]  
I – svařovací proud [A]  
t – čas svařování [s]

Na navařovaném komponentu jsou výstupky, které se při vzniku svaru roztaví, do místa svaru  
není přidáván další materiál. Proto se tento svar nazývá výstupkový. Kvalita tohoto svaru je  
důležitá, aby byla zajištěna dokonalá těsnost celého railu, proto je na konci linky vykonána  
zkouška těsnosti. Další zkouška spočívá ve smykovém namáhání ND vývodu až do jeho  
utržení. Je snímána a vyhodnocena síla nutná k odtržení vývodu a také je vizuálně  
kontrolován přetržený svar. Tato zkouška je součástí metalografického pracoviště a bude dále  
popsána.



Obr. 4.6 Nízkotlaký vývod<sup>2</sup>.



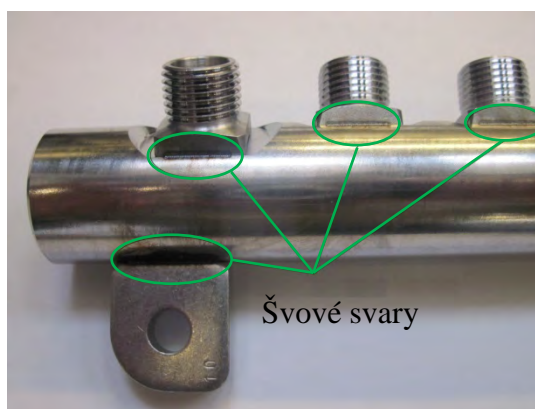
Obr. 4.7 Prisma a svařovací hlava<sup>2</sup>.

### 4.2.3 Stanice pro švové svařování

Na této stanici jsou na polotovary, přesně umístěny a přichyceny vysokotlaké vývody a úchyty. Svar vzniká za pomoci pevnolátkového laseru Nd:YAG firmy Triumpf. Zde je médiem tyčinka z yttrium aluminium granátu, který je obohacen o ionty neodymu. Elektrická energie je transformována na elektrické vlnění o jedné vlnové délce – monochromatické světelné záření. Toto záření je uzavřeno mezi dvěma zrcadly rezonátoru, z nichž jedno je zcela nepropustné a druhé propouští část záření ven. Tento druh laseru umožňuje pracovat jak v pulzním, tak v kontinuálním režimu. Při výrobě je využíván pulzní režim. Nespornou výhodou pevnolátkového laseru je možnost vést částečně zfokusovaný paprsek pomocí světelného kabelu a to umožňuje umístění zdroje laseru mimo linku a šetří tak místo pro další technologie. Vlnová délka tohoto laseru  $\lambda=1,064\mu\text{m}^{12}$ . Jednotlivé komponenty (viz obr. 4.8) mají přesně opracované dosedací plošky a svařování probíhá bez přidání dalšího materiálu. Stanice má několik sázecích hlav, k nim jsou pomocí vibračních lišt přiváděny jednotlivé vývody a úchyty. Ze zásobníku-bubny putují HD vývody ke stoperu, kde jsou nabrány a sevřeny kleštinou sázecí hlavy. Touto hlavou prochází středící trn, ten je vysunut do těsnicího kuželu ve vysokotlakém vývodu railu, čímž dojde k dokonalému vystředění celé sestavy. Potom je pneumaticky přitlačen HD vývod na těleso railu a laserovým paprskem dojde k vytvoření svaru (viz obr. 4.9). Úchyty jsou do stanice také přiváděny ze zásobníku vibrační lištou ke stoperu a otočnému válečku, kde je úchyt sevřen do kleštin, vsazen na těleso railu a navařen. Pro dodržení výkresových dokumentací je třeba, aby seřizovač při nastavování stanice postupoval velmi pečlivě. Dokonalé seřízení jednotlivých částí výrazně ovlivňuje celkovou geometrii svařeného railu. Celý tento proces je jedním z nejpomalejších v celém výrobním postupu, proto jsou na svařovací lince tyto stanice v páru. Při přestavbě na další typ-uvolnění svařovací linky a v pravidelném intervalu jsou jednotlivé svary kontrolovány na kvalitu a pozici na metalografickém pracovišti. Tuto zkoušku detailněji popisuje tato práce ve své další části.



Obr. 4.8 Příklady navařovaných komponentů<sup>2</sup>.



Obr. 4.9 Svary vytvořené Nd-YAG laserem v pulzním režimu<sup>2</sup>.

#### 4.2.4 Pracoviště pro nasazování ochranných krytek

Na tomto pracovišti, které je ruční je po příjezdu vozíku nejprve kontrolován navařený nízkotlaký vývod zkušebním kalibrem. Jedná se o trn, který je volně spuštěn do otvoru v ND vývodu a je tak kontrolována nejen správná pozice nízkotlakého připojení vůči otvoru, ale také jeho průchodnost. Dále je uchopen obsluhou rail do rukou a vizuálně zkontrolována přítomnost a kvalita švových svarů. Na navařené vývody jsou nasazeny ochranné krytky, aby se nedostávaly nečistoty při svařování na těsnicí plochy těchto HD a ND vývodů. Polotovary je vrácen zpět na vozík a stiskem tlačítka odeslán k dalšímu procesu.

#### 4.2.5 CO<sub>2</sub> svařovací box

Do uzavřeného CO<sub>2</sub> boxu vstupují polotovary po dvou souběžných dopravníkových pásech. Uvnitř boxu pracují dva průmyslové roboty firmy Stäubli (viz obr. 4.10), které provádějí manipulaci s raily ke svařovacímu zařízení firmy Trumpf (viz obr. 4.11). Společnost Trumpf je jedním z největších výrobců laserových technologií. Laserový paprsek má mnoho možností využití. Umožňuje kovy řezat, svařovat, ale také kalit. Při procesu řezání je nespornou výhodou velmi čistý řez bez okují, minimální prořez a vysoká rychlost práce. Při procesu svařování je i zde výhodou velmi úzký svar s minimální tepelně ovlivněnou oblastí a možnost svařovat bez potřeby vytvoření vakua, jen v jednoduché ochranné atmosféře.

Laser (**L**ight **A**mplifikation by **S**timulated **E**mession of **R**adiation), světelné zesílení skrze stimulovanou emisi záření.

Vlastnosti laserového světla:

- koherentní – časově a prostorově ve fázi,
- monochromatické – jedna vlnová délka,
- malá divergence (astigmatismus) – rozbíhavost paprsku,
- vysoká intenzita paprsku,
- možnost ultrakrátkých světelných pulzů.

Laser je tvořen třemi základními oddíly. Jedná se o aktivní prostředí, rezonátor a zdroj energie. U CO<sub>2</sub> laseru je aktivním prostředím směs plynů, tvořená CO<sub>2</sub>, dusíkem a heliem. Ze zdroje energie je do média dodávána energie, ta vybudí elektrony z aktivního prostředí ze základní hladiny na vyšší energetickou hladinu, tento proces se nazývá excitace. Při přechodu elektronu zpět na nižší energetickou hladinu dojde k vyzáření (emisi) fotonů, které se následně srážejí s dalšími elektrony a tím dojde k stimulované emisi fotonů o stejné frekvenci a stejné fázi. Plyny se v rezonátoru postupně zahřívají a dochází k jejich degradaci, je potřeba je neustále obměňovat. Proto jsou součástí CO<sub>2</sub> laseru také lahve se stlačenými plyny. Plyny jsou umístěny mimo linku a ke stanici jsou vedeny potrubím. Aktivní oddíl laseru je umístěn v rezonátoru, který je tvořen zrcadly. Mezi těmito zrcadly se fotony odráží, stimulují stále více elektronů a dochází tak k nasycení prostředí. Stejně, jako u pevnolátkového laseru jsou zde rozdílná zrcadla, jedno je zcela nepropustné, ale na opačném konci, je zrcadlo, které část fotonů po nasycení propouští ven. Uvnitř rezonátoru je však stále dostatek dalších pro kontinuální provoz. Paprsek nemůže být veden optickým kabelem, je veden soustavou zrcadel. Tato zrcadla jsou chlazena vodou. Jedno je vypuklé, nazývá se autolas a poloměr zakřivení je řízen tlakem vody. Ten mění prohnutí zrcadla a tím dochází ke změně ohniska laseru. Vlnová délka tohoto laseru  $\lambda=10,6\mu\text{m}$ . Protože laserové zařízení může představovat určité

riziko pro člověka, lasery se na základě svého výstupního výkonu a tím podle svého potenciálu ohrožení člení podle normy EN 60825-1 na různé třídy. Přitom odpovídá třída 4 nejvyššímu a třída 1 nejnižšímu ohrožení. Lasery Nd-YAG a také lasery CO2 spadají do třídy 4. Během provozu jsou však všechny oddíly a také všechny otvory, kudy by mohlo dojít k proniknutí paprsku uzavřeny, čímž se mění třída nebezpečí na třídu 1<sup>2</sup>.



Obr. 4.10 Robot Staubli<sup>13</sup>.



Obr. 4.11 Svařovací hlavice Trumpf<sup>2</sup>.

Kvalita svarů je sledována vizuálně na dalším pracovišti a dále je vždy při přestavbě na další typ nebo při uvolnění linky a v definovaném intervalu prováděna zkouška na měřicím zařízení 3D Zeiss a také makro-metalografická zkouška. Pracoviště této zkoušky bude popsáno samostatně.

Po provedení finálního svaru robot odloží kus na vozík, ten sjede výtahem do spodního patra dopravníkového pásu a po něm odjíždí na první pracoviště (vkládání a odebírání railů), odkud jsou kusy odesílány na pracoviště vizuální kontroly a kontroly těsnosti nízkotlakého vývodu.

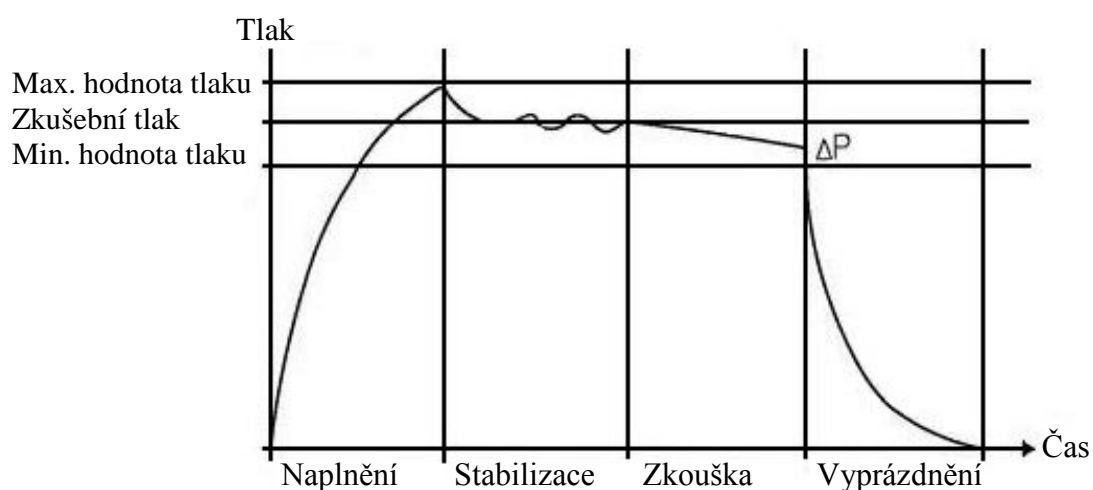
#### 4.2.6 Vizuální kontrola a nízkotlaká zkouška

Na tomto pracovišti je prováděna vizuální kontrola svařeného vysokotlakého zásobníku-railu. Obsluha sleduje jednotlivé svary na všech komponentech, zaměřuje se na nalezení neshodných dílců, na kterých se mohou vyskytovat vady. Svary mohou být zúžené, mohou v nich vznikat póry případně mohou být krátké nebo nevhodně umístěné. Například leží příliš vysoko v navařovaném komponentu. Dále jsou kontrolovány případné okuje po svařování, nesmí se nacházet v těsnicím kuželu vysokotlakého vývodu a nad soklem navařeného komponentu. Těsnicí kužely jsou kontrolovány také na možná poškození zapříčiněná například vylomením břitu nástroje při obrábění. Vzhledem k vysokým pracovním tlakům je kvalitní povrch těsnicí plochy důležitým faktorem. Zde má obsluha k dispozici také lupu. Lupa usnadní obsluze rozhodování v případě nejistoty. Je osvětlená a díky tomu jsou dobře vidět detaily. Dále jsou kontrolovány závity na poškození. Navařované komponenty jsou před vstupem na svařovací linky kontrolovány oddělením kvality, není proto potřeba závity přeměřovat. V případě nejistoty má obsluha možnost použít závitový kalibr, kterým závit zkontroluje. Dalším kontrolovaným komponentem je nízkotlaký vývod, který je navařován odporově. Tento vývod je také kontrolován na kvalitu svaru a možná poškození těsnicí plochy. Jako poslední krok je prováděna zkouška těsnosti tohoto svaru. Kus je založen do vidliček a do otvoru nízkotlakého vývodu je spuštěn těsnicí kolík, který zároveň funguje jako

kalibr. Musí otvorem volně projít. Poté je rail pneumaticky upnut a do axiálního otvoru je zasunuta těsnicí hlava. Následně je celý systém natlakován vzduchem a po přesně definované době je měřen pokles tlaku pomocí měřicího zařízení Ateq F520 (viz obr. 4.12). Těsnost tohoto vývodu je důležitým faktorem. V případě netěsnosti hrozí únik paliva, který by mohl způsobit v případě kontaktu uniklého paliva s blokem motoru požár. V případě, že je kus vyhodnocen jako správný, je na něj ručně pneumatickou raznicí vyražen důlek, který svědčí o provedení této zkoušky. Obdobný test je prováděn i na montážní lince po zkompletování railu a namontování DBV ventilu. Pro ověření těsnosti je tato zkouška zásadní a je nedílnou součástí kontroly kvality vysokotlakého zařízení.



Obr. 4.12 Měřicí zařízení Ateq F520<sup>14</sup>.



Obr. 4.13 Princip měření přístrojem Ateq<sup>14</sup>.



hodnota CL (Central Line) a meze zásahu. Horní UCL (Upper Control Line) a dolní regulační meze LCL (Lower Control Line), které jsou určeny výpočtem. Tento systém je firmou Bosch hojně využíván, protože umožňuje sledovat trend jednotlivých měřených veličin a přijmout nápravná-preventivní opatření ještě dříve, než se proces odchýlí od standardu. Pomocí SPC diagramu je totiž dobře patrný vývoj sledované veličiny. Díky použití SPC regulačních diagramů, odpadá nutnost stoprocentně přeměřovat každý vyrobený kus a přesto je možno se spolehnout s vysokou pravděpodobností na to, že všechny vyrobené kusy splňují předepsané parametry. Výroba probíhá v dávkách, které určuje logistické oddělení. Během samotné produkce jsou dávky rozčleněny na menší úseky a vždy po dosažení tohoto intervalu jsou po jednom vyjmuty kusy z robota A, B a je provedeno jejich měření. Tyto intervaly jsou nastaveny tak, aby se měření navzájem nepřekrývalo. Celá dávka je po dobu zkoušky zablokována a je uvolněna teprve v případě potvrzení správnosti procesu. V případě nalezení neshodného kusu se provádí zpětně kontrola tří kusů, a dávka se v případě roztrídí tak, aby přeměřované množství bylo co možná nejmenší – například problém nastal pouze na robotu A. Následně je nutno provést stoprocentní přeměření kusů. Pokud dostane seřizovač na základě informací z regulačního diagramu zprávu o tom, že se proces blíží k mezi zásahu, zadá korekce a výroba pokračuje dále. Pokud se měřené kusy nacházejí mimo toleranci, je výroba okamžitě zastavena a jsou prováděna opatření k odstranění příčiny. Proces uvolnění je poté zpuštěn znovu od místa nalezení problému. V rámci zeštíhlení výroby bude toto pracoviště do budoucna sloučeno s měrovým oddělením a vzniklé místo bude využito pro další výrobu, případně jako skladovací prostory. Samotný proces zkoušky zůstane zcela zachován.

## 5.2 Pracoviště makro-metalografické zkoušky, stav před změnou

Pracoviště makro-metalografické zkoušky se nachází přímo ve výrobní hale. Toto řešení není zcela standardní. Většinou se tato pracoviště nachází ve speciálně vybavených a klimatizovaných laboratořích. Pro potřeby výroby, kdy je nutná, co možná nejkratší reakční doba je toto řešení velmi přínosné. Současné uspořádání představují zjednodušeně tři řady stanic. První dvě jsou postaveny zadní stranou k sobě (viz obr. 5.2 a 5.3) a třetí (viz obr. 5.4) se nachází podél stěny. Toto řešení znamená pro obsluhu poměrně časté přecházení mezi jednotlivými pracovišti a vzhledem k tomu, že se na pracovišti zpracovávají během jedné směny desítky vzorků, znamená to i značné množství času vynaloženého jen na přesun mezi pracovišti.



Obr. 5.2 Pila, broušení a leštění<sup>7</sup>.



Obr. 5.3 Trhací zkouška<sup>7</sup>.

Pracoviště makro-metalografické zkoušky se skládá z pily Struers, velká dělicí pila Axitom 5, vybavená pohyblivým pracovním stolem. Pila je vybaveny samostatným filtračním zařízením. Vedle pily Axitom jsou dvě dvou-kotoučové brusky / leštičky Phoenix (viz obr. 5.2). Zrcadlově k těmto zařízením je umístěna trhací stanice Zwick / Roell a vyhodnocovací zařízení (viz obr. 5.3). Poslední řadu tvoří stůl s mikroskopem a počítačem, kde je vyhodnocovací software pro makro-metalografický výbrus svaru. Bruska / leštička Phoenix a druhá pila Struers Discotom 6, vybavena menším a pevným stolem. Kolmo k těmto třem řadám je umístěno ještě jedno pracoviště s mikroskopem. Posledním pracovištěm je stůl pro naleptání výbrusu (viz obr. 5.5).



Obr. 5.4 Pracoviště vyhodnocení zkoušky<sup>7</sup>.



Obr. 5.5 Pracoviště pro leptání vzorků<sup>7</sup>.

### 5.2.1 Řezání vzorků-pila Struers Axitom5

Jedná se o plně automatické zařízení, které je určené k dělení i velmi tvrdých materiálů (viz obr. 5.6). Klade důraz na jednoduché ovládání a komfort pro obsluhu. Má tři základní řezné režimy, což umožňuje dosahovat velmi kvalitního povrchu hned po řezu, aby byly minimalizovány další operace, nutné pro makro-metalografickou zkoušku. Pila má velký pracovní prostor a dvoudílný stůl pohyblivý ve dvou osách. Rameno pily má kontrolovaný přítlak. Pro pohodlí obsluhy je ovládání pomocí joysticku a multifunkčního tlačítka. Parametry stroje jsou součástí přílohy č. 1. Pro dělení se používá dělicí kotouč Struers 20A35 (viz obr. 5.7), rozměry 350x2,5x32 mm otáčky 63 m/s. Tyto kotouče jsou speciálně konstruované pro řezání za mokra. Jejich struktura je nerovnoměrná, směrem od okraje ke středu se postupně mění složení kotouče. Proto se nemění jejich řezné vlastnosti, ani se zmenšujícím se průměrem kotouče a tím se změnou obvodové rychlosti. Jejich využití je podpořeno ještě tím, že po opotřebení, když už jejich průměr pro práci v pile Axitom-5 nedostačuje, je možné, je ještě využít v dělicí pile Discotom-6<sup>15</sup>.

Funkce a vlastnosti:

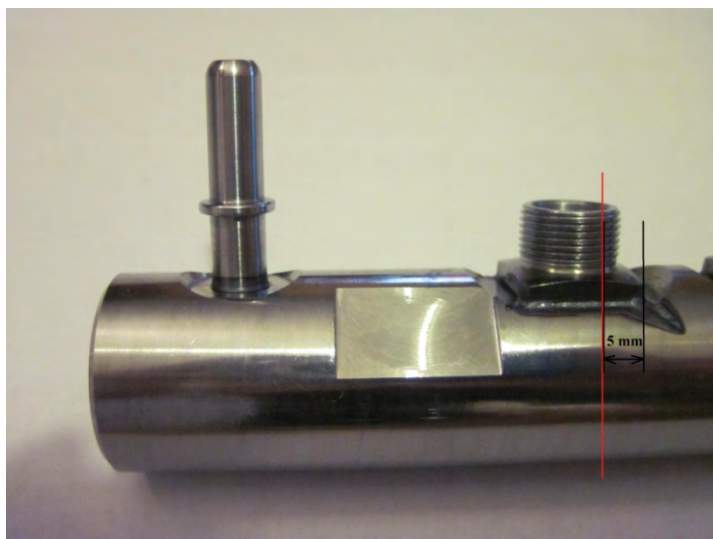
- ExciCut-snadné dělení i nejtvrdějších materiálů,
- OptiFeed-inteligentní program kontroly rychlosti řezu,
- AxcioCut-programovatelný dělicí modul,
- MultiCut-automatizované sériové dělení paralelních řezů,
- AxioWash-automatizovaný program na čištění vnitřního dělicího prostoru<sup>15</sup>.

Obr. 5.6 Dělicí zařízení Struers Axitom-5<sup>7</sup>.Obr. 5.7 Dělicí kotouč Struers a rychloupínací přípravek<sup>7</sup>.

Při dělicím procesu je rychlost otáček 3440 rpm, rychlost posuvu kotouče 0,95 mm/s, přítlak ramene 90N. Součástí dělicího zařízení je také přípravek pro upínání (viz obr. 5.7). Je konstruován tak, aby upnutí obrobku bylo velmi rychlé a jednoduché. Tento přípravek je při řezání obrobku velmi namáhán a v intervalu cca 3 měsíců dochází k jeho prasknutí.

### 5.2.2 Všeobecné pokyny pro vyhodnocování makro-metalografického vzorku

Svary se posuzují na základě výsledku příčného řezu. Tento řez je umístěn cca 5 mm od okraje navařeného komponentu (viz obr. 5.8), pohled na řez je na obrázku 5.9<sup>7</sup>.



Obr. 5.8 Umístění řezu.



Obr. 5.9 Detail řezu.

Interval vyhodnocení je stanoven provozním předpisem. První měření probíhá při změně typu, při náběhu nového typu, opětovném uvolnění po odstávce větší než 24 hodin. Další sériové měření probíhají dle definovaného postupu a to první kus z robota A, následně kus z robota B v intervalech stanovených provozním předpisem. Následující směna vždy pokračuje opačným robotem, než předešlá směna skončila. V případě přestavby na další typ v průběhu směny je stanoven zkrácený interval. První odběr z robota A respektive B je odebírán kus po

jedné třetině intervalu, následně kus z robota B respektive A. Dále je postupováno dle standardu.

Pro samotnou makro-metalografickou zkoušku se použije v případě švového svaru jeden HD vývod přibližně ze středu railu, a jeden úchyt. V případě CO<sub>2</sub> svaru se rail nařeže kompletně, tzn. všechny HD vývody a všechny úchyty.

### 5.2.3 Broušení a leštění vzorku

Po uříznutí vzorku dle předpisu, je prováděn výbrus a leštění povrchu. Každý kus má díky navařeným komponentům odlišný tvar a upínání je velmi problematické. Proto je broušení a následné leštění prováděno ručně. Nejprve je obsluhou sražena ostřina, vznikající po oddělení kusu, na ocelové podložce, za pomoci kladiva, aby nedocházelo k protržení brusného kotouče. Pro broušení je určena jednokotoučová bruska Phoenix 4000, na kterou je lepen brusný papír Sic Grit 180 / P180 a dvoukotoučová bruska Phoenix 2000 (viz obr. 5.2). Na prvním kotouči je brusný papír Apex DGD 70  $\mu$  a na druhém lešticí plátno Trident, na který je nanášena diamantová suspenze Metadi 3 $\mu$ .

### 5.2.4 Leptání vzorku

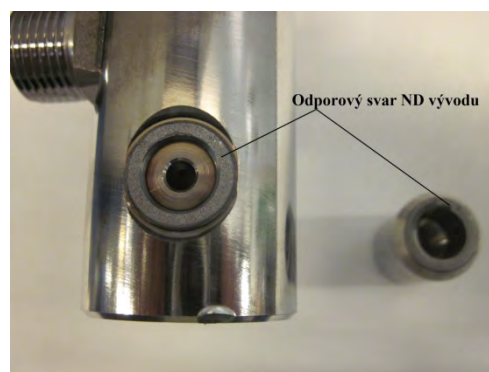
Po samotném procesu broušení a leštění je povrch řezu velmi kvalitní, ale není dobře rozeznatelná tepelně ovlivněná oblast a také jednotlivé svary. Proto je vorek nejprve opláchnut vodou, zbaven nečistot a následně je v kleštích ponořen do tříprocentního roztoku Nitalu-kyselina dusičná a metanol (viz obr. 5.5), Po naleptání je vzorek oplachován vodou a v uzavřeném boxu je vyfoukáván zbytek vody. Vzorek je dále předáván na pracoviště s mikroskopem, kde dochází k samotnému vyhodnocení kvality svaru.

### 5.2.5 Trhací-smyková zkouška

Pomocí této zkoušky je vyhodnocován odporově vytvořený svar na ND vývodu. Zkouška je prováděna na trhacím zařízení Zwick / Roell (viz obr. 5.10). Je sledována a zaznamenávána síla, nutná k oddělení navařeného vývodu. Nejprve jsou dle aktuálně svařovaného typu vybrány přípravky, umístěny do stanice, do nich je zakládán kus a poté sjíždí hlavice na ND vývod až do doby, než se ND vývod oddělí. Data jsou vyhodnocena vizuálně, křivka průběhu síly viz příloha č. 3 a zaznamenána do sledovací karty. Pro jednotlivé typy vývodu jsou definovány meze, které se pohybují v rozsahu 5-10 kN. Je sledován vzniklý lom (viz obr. 5.11), vyhodnocován pod mikroskopem a je kontrolována šířka provaření. Interval pro provádění zkoušky je stanoven dle provozního předpisu. Výjimku tvoří přestavba na další typ, kdy je interval pro první tři kusy zkrácen a dále je postupováno dle standardu.



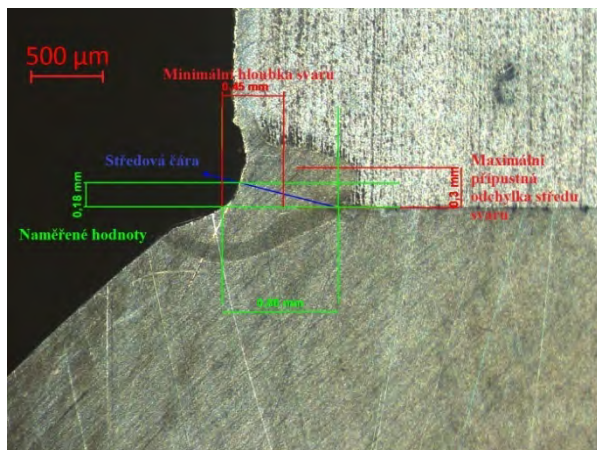
Obr. 5.10 Stanice Zwick / Roell<sup>7</sup>.



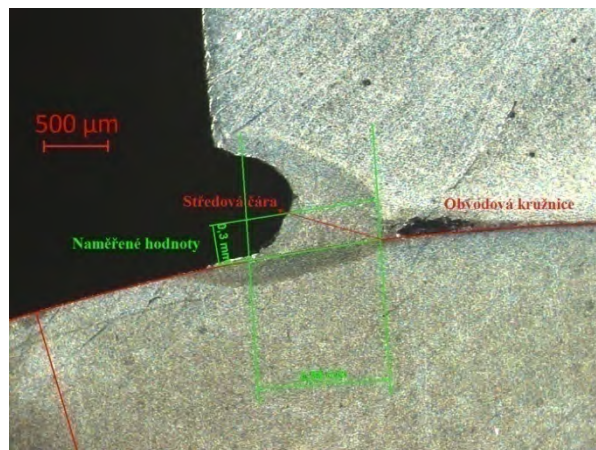
Obr. 5.11 Oddělený ND vývod<sup>7</sup>.

### 5.2.6 Makro-metalografické vyhodnocení výbrusu

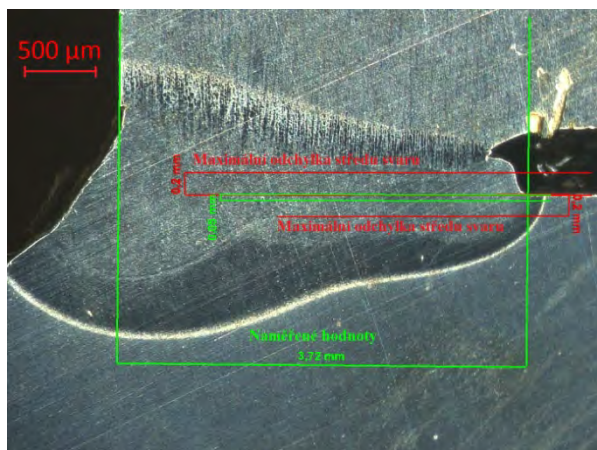
Pracoviště pro vyhodnocení makro-metalografické zkoušky jsou dvě, nenacházejí se v těsné blízkosti. Vyhodnocení je prováděno na mikroskopech Zeiss. Jsou přesně definována toleranční pole. Je určována poloha středu svaru, hloubka provaření, u úchytů propojení svarů. Dále jsou sledovány možné vady svarů. Trhliny, které jsou nepřípustné a také póry, které jsou do maximálně 0,3 násobku tloušťky svaru přípustné. Na obrázcích 5.12 až 5.15 jsou znázorněny sledované parametry na jednotlivých komponentech navařovaných Nd-YAG nebo CO2 laserem. Fotografie dalších vzorků jsou součástí přílohy č. 2.



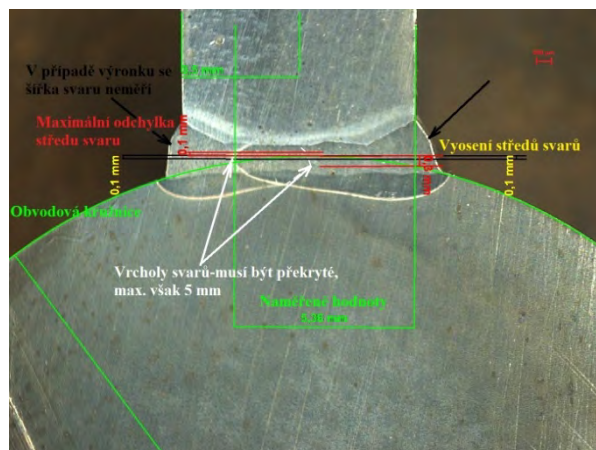
Obr. 5.12 HD vývod navařený Nd-YAG<sup>7</sup>.



Obr. 5.13 Úchyt navařený Nd-YAG<sup>7</sup>.



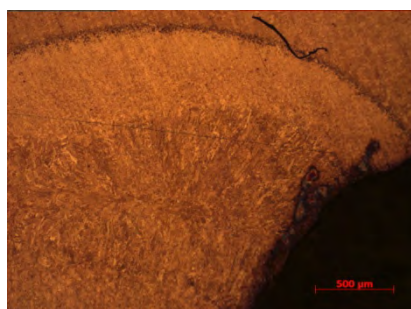
Obr. 5.14 HD vývod navařený CO2 laserem<sup>7</sup>.



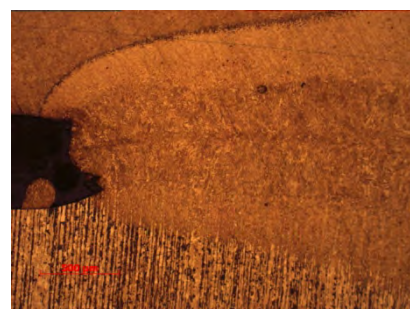
Obr. 5.15 Úchyt navařený CO2 laserem<sup>7</sup>.

Při samotném vyhodnocování makro-metalografického výbrusu je důležitá také zkušenost obsluhy. Jednotlivé osy pro vyhodnocení jsou zadávány subjektivně na základě uvážení pracovníka. Proto platí pravidlo, že v případě pochybností je prováděna tzv. kontrola čtyř očí. Svar je posouzen dvěma pracovníky, případně je přivolán také směnový mistr. Fotografie výbrusů se ukládají do jednotlivých složek, aby byla zajištěna zpětná dohledatelnost. Název souboru je složen tak, aby na první pohled bylo vidět, o jaký typ railu se jedná, kdy a na které lince byl svařován a také, který robot, případně která stahovací stanice svar vytvořila. Byly provedeny metalografické výbrusy (viz obr. 5.16) na specializovaném pracovišti, aby byla vidět struktura svarů a jednotlivých svařovaných komponentů. Je patrná odlišná struktura na

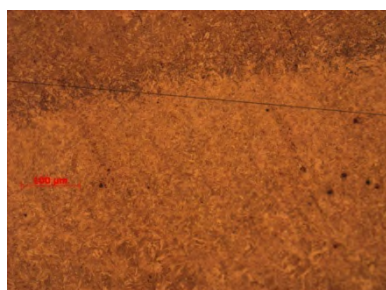
navařovaném komponentu, který byl vytvořen kovááním, na základním polotovaru, který byl vytvořen válcováním a v místě samotného svaru.



Zvětšení 5x - vnější strana svaru.



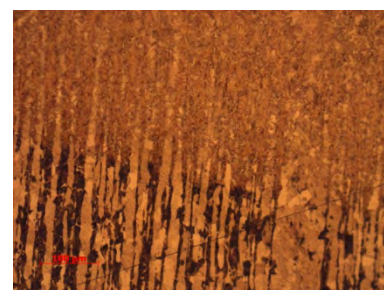
Zvětšení 5x - vnitřní strana svaru.



Zvětšení 20x - základna.



Zvětšení 20x - svar.



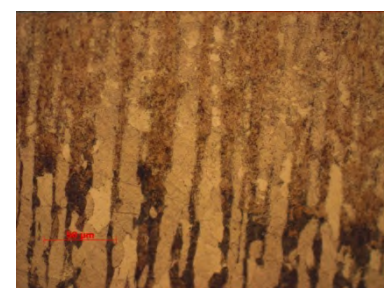
Zvětšení 20x - komponent.



Zvětšení 50x - základna.



Zvětšení 50x - svar.



Zvětšení 50x - komponent.



Zvětšení 100x - základna.



Zvětšení 100x - svar.



Zvětšení 100x -komponent.

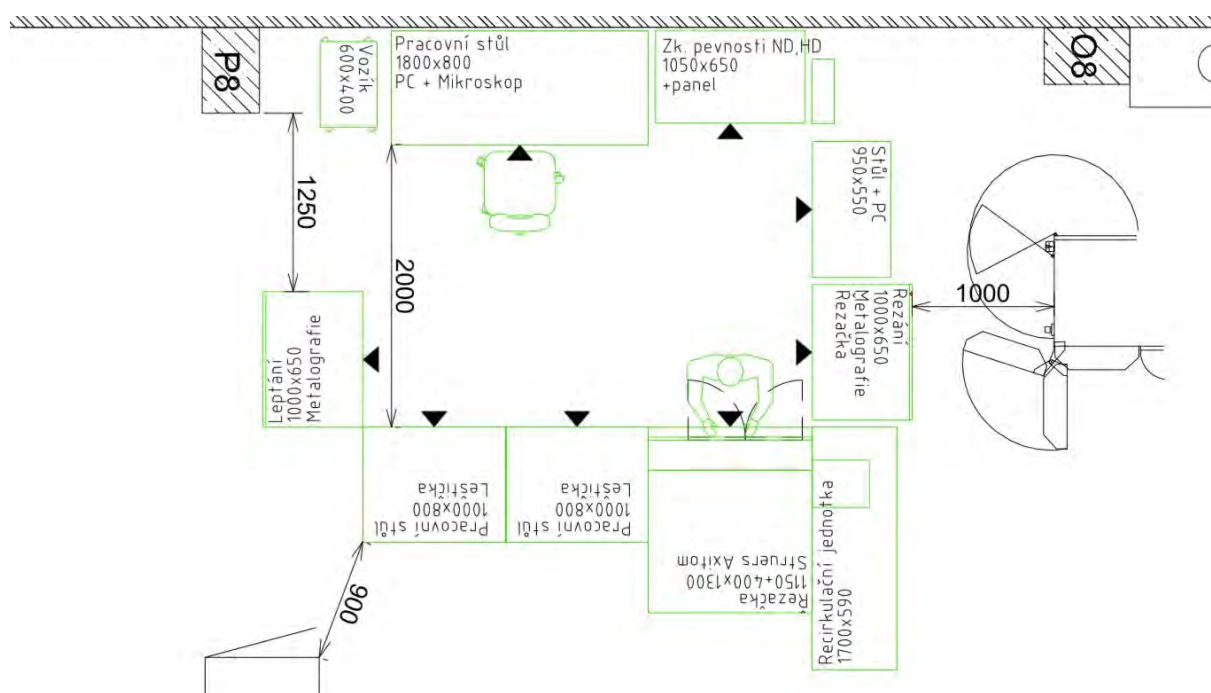
Obr. 5.16 Fotografie z metalografického výbrusu v různých stupních rozlišení.



## 6 NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ

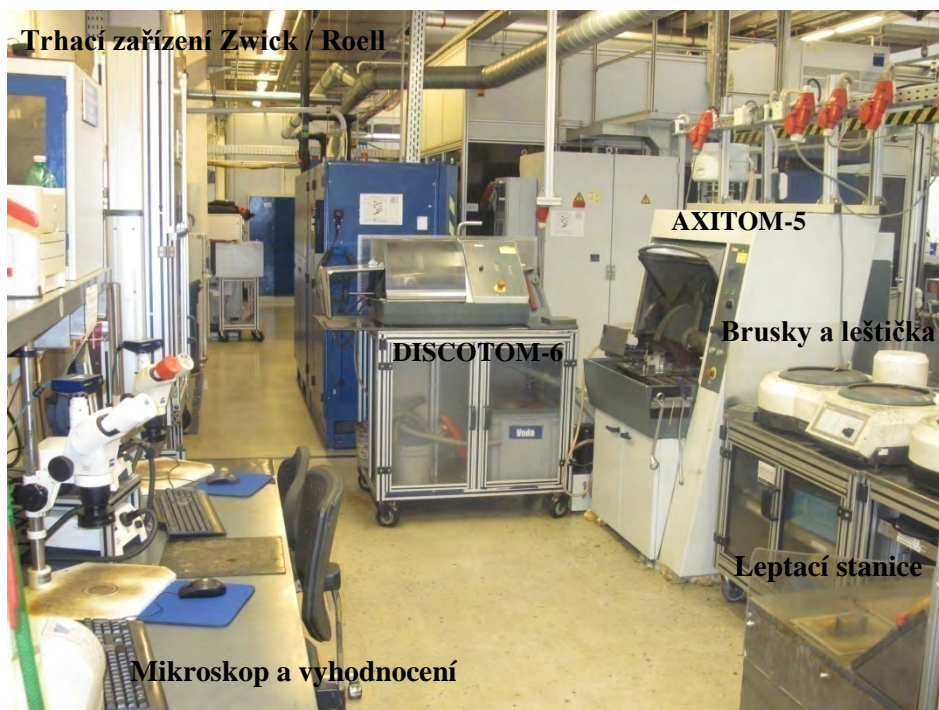
### 6.1 Změna uspořádání pracoviště makro-metalografické zkoušky

Základem nového pracoviště bylo rozmístit stanice tak, aby přechod mezi jednotlivými operacemi byl co nejkratší. Byla zvolena varianta podobná montážním linkám. Bylo vytvořeno hnízdo, kde je vše lehce dosažitelné, zároveň byl kladen důraz na dodržení předepsaných vzdáleností, k zajištění bezpečnosti provozu. Do projektu byly zapracovány také připomínky jednotlivých pracovníků. Pracoviště se nachází v zadní části za svařovacími automaty a v letních měsících je zde špatná cirkulace vzduchu. Proto byly nad pracovišti ve starém uspořádání rozmístěny stropní ventilátory. Docházelo však k tomu, že když bylo rozsvíceno umělé osvětlení, tak lopatku větráků, které byly níže než světla, způsobovaly pro oči nepříjemné blikání. V novém řešení byly proto pozice světel upraveny a nyní jsou pod úrovní lopatek a nezpůsobují rušení. Také vzhledem k maximálnímu využití místa byly sloučeny pracovní stoly, obsluhy tak mají vše po ruce. Byla využita možnost používat pro více počítačů jednu klávesnici, jeden monitor a jednu tiskárnu. Tímto se šetří nejen prostor, ale také náklady na elektrickou energii. Byly také vytvořeny nové záchytné vany pod pilami, aby se zabránilo úniku provozních kapalin na zem a bylo sníženo riziko uklouznutí a poranění. Filtrační zařízení, které bylo dříve využíváno pouze pro hlavní pilu AXITOM-5 je nově využíváno také pro pilu DISCOTOM-6. Dříve byly tyto provozní kapaliny svedeny do sběrné nádoby a řešeny samostatnou recirkulací. Nové řešení umožnilo použití pouze jednoho recirkulačního zařízení. Zde došlo také k úspoře místa a elektrické energie. Nové pracoviště je již vybudováno a uvedeno do provozu. Nové uspořádání je patrné z obrázku 6.1.



Obr. 6.1 Nové uspořádání pracoviště<sup>7</sup>.

Na obrázku 6.2 je fotografie z nového uspořádání pracoviště po provedení přestavby a po odladění prvotních problémů<sup>7</sup>.



Obr. 6.2 Nové uspořádání pracoviště<sup>7</sup>.

## 6.2 Návrh nové varianty nedestruktivní zkoušky

Náklady na technologické kusy, které jsou během procesu zkoušky rozřezány a posouzeny představují značné finanční zatížení. Tyto technologické kusy tvoří nezanedbatelnou část z objemu výroby. Proto se tato práce zabývá také možností, nahradit používanou destruktivní zkoušku jinou variantou. Nejlépe takovou, která by byla nedestruktivní a neznamenal nevratné poškození testovaného kusu. Nejprve byli osloveni kolegové, kteří pracují na oddělení již delší dobu. Od nich bylo zjištěno, že již dříve byla testována varianta testu svaru pomocí ultrazvuku, která se ukázala, jako neefektivní. Byly osloveny různé organizace s cílem nalézt vhodnou variantu testu. Jako možná varianta byla vybrána metoda označená IRNDT (**I**nfrared **N**on **D**estructive **T**esting) infračervené nedestruktivní testování. Princip této metody spočívá v tom, že na sledovaný objekt je vysílána energie-například ve formě ultrazvukových vln. Tato energie vstupuje do sledovaného objektu a se zvětšující se vzdáleností od povrchu je postupně absorbována. Pokud narazí na oblast se změněnou strukturou, částečně se odrazí. Odražená část zasahuje do vlny na povrchu a vznikají interference ve vznikajících tepelných vlnách. Vyhodnocením amplitudy a fáze potom dostaneme informaci o vnitřní struktuře testovaného vzorku. Každá část generuje teplo jinak, protože má odlišné fyzikální vlastnosti, změna struktury v místě svaru, vměstek, dutina. Svar se tak dá prohlédnout do hloubky, aniž by bylo nutné ho rozříznout<sup>17</sup>.

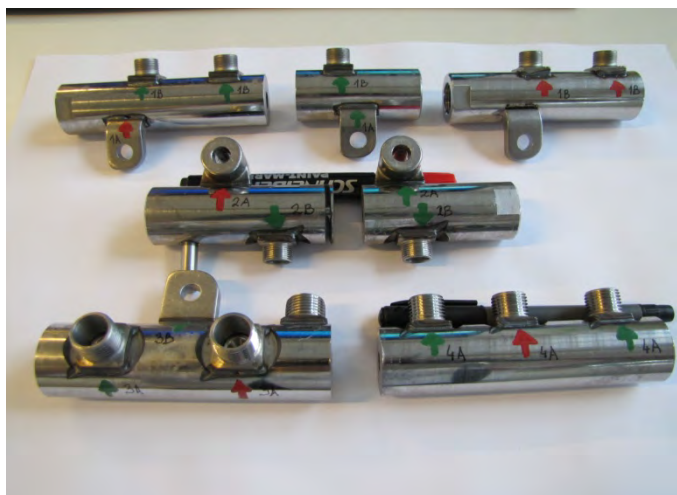
Pro samotné buzení lze využít všechny známé metody:

- Lock-In thermography-vytvoření tepelné vlny na povrchu testovaného objektu,
- pulse thermography-pulsní termografie, analyzuje složky pomocí chování materiálu s tepelnou expozicí na základě rozdílné absorpce tepla vstupujícího do testovaného vzorku,

- transient thermography-energie vnášena ve formě záření,
- vibro thermography-energie vstupuje do vzorku ve formě vibračních vln,
- thermal stress analysis-mechanické ovlivnění vzorku, které vyvolává změnu teploty<sup>17</sup>.

Vyhodnocení je pak u všech použitých buzení prováděno pomocí infračervené kamery, která v krátkých pulsech snímá sledovaný vzorek a následně dojde k vyhodnocení pomocí software.

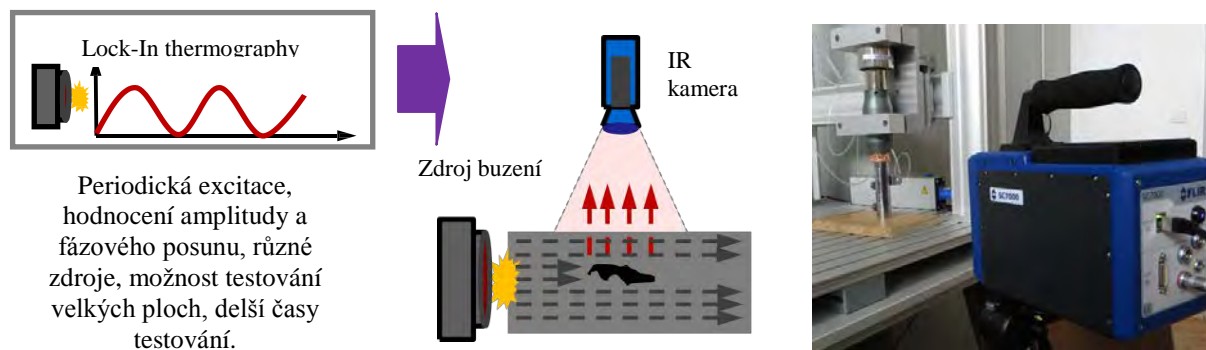
O spolupráci při testování byly požádána Západočeská univerzita v Plzni, Výzkumné centrum Nové technologie, odbor Termomechanika technologických procesů. Jako optimální k danému testu byla vybrána metoda IRNDT ultrasound. Byly provedeny základní testy a ověření metody infra-červeného nedestruktivního testování (IRNDT) pomocí ultrazvukového buzení měřeného vzorku. Testy byly provedeny na vzorcích vysokotlakého zásobníku (RAIL) pro diesellové motory (viz obr. 6.3).



Obr 6.3 Vzorky pro IRNDT testování.

### 6.2.1 IRNDT Ultrasound metoda

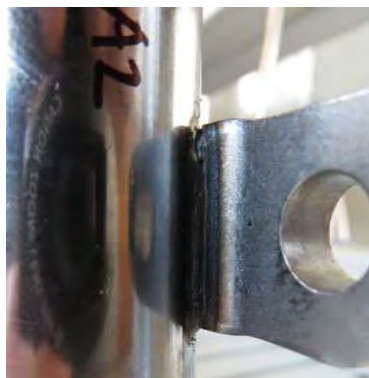
Testovaný objekt je buzen pomocí externího ultrazvukového zdroje. Na defektech dochází ke tření a vzniká zde teplo. Toto ovlivnění v podobě tepelného zdroje se projevuje na povrchu testovaného objektu ve změně jeho vyzařování-IR spektru (odezva). K detekci odezvy testovaného vzorku se využívá IR kamera (na základě konkrétních požadavků lze vybrat různé druhy kamer) schéma testu je znázorněno na obrázku 6.4<sup>18</sup>.



Obr. 6.4 Schematické vyobrazení testu<sup>18</sup>.

### 6.2.2 Fotodokumentace z měření

Na obrázcích 6.5,6,7,8 je zachycena metoda IRNDT Ultrasound v praxi.



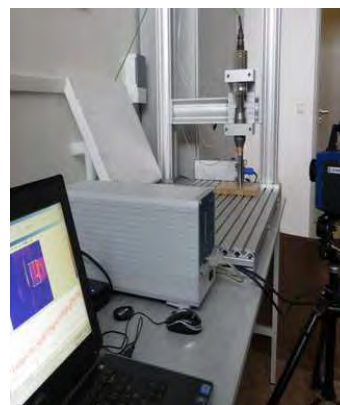
Obr. 6.5 Testovaný svar.



Obr. 6.6 Upnutí vzorku pod budicí hlavou<sup>18</sup>.



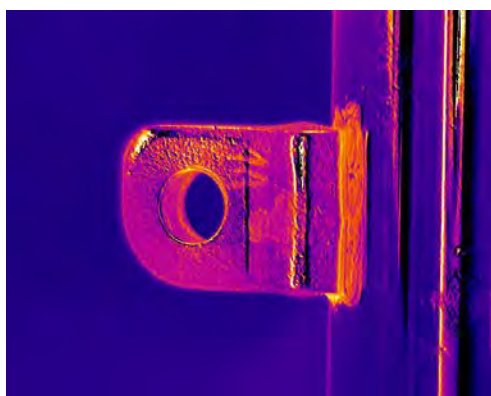
Obr. 6.7 Snímací IR kamera<sup>18</sup>.



Obr. 6.8 Pracoviště vyhodnocení<sup>18</sup>.

Pro samotný test byly vybrány vzorky A1,2, B1,2, C1,2 (viz obr. 6.3).

**Vzorek A1** (viz obr. 6.9,10). Z vyhodnocení je patrné výrazné místo na konci svaru - toto místo je identifikováno při analýze z druhé strany součásti (A2). Pór ve svaru nepůsobí, jako trhlina a touto metodou ho nelze identifikovat

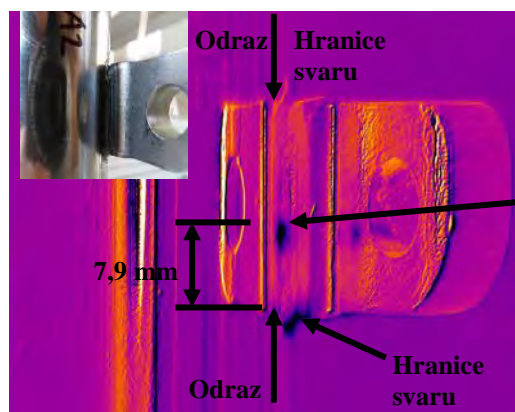


Obr. 6.9 Úchyt A1 nasnímaný IR kamerou<sup>18</sup>.

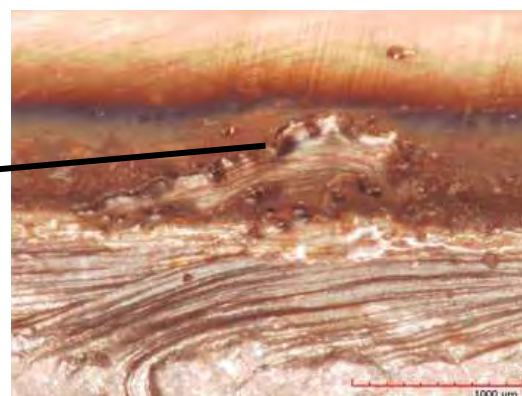


Obr. 6.10 Úchyt s pórem ve svaru.

**Vzorek A2** (viz obr. 6.10). Z vyhodnocení jsou zřejmá místa, kde navařovaný komponent není zcela spojený se základním materiálem. Jedná se o kraje a konce svaru. Na obrázku 6.11 je mikroskopický snímek oblasti, která byla identifikována pomocí IRNDT analýzy.

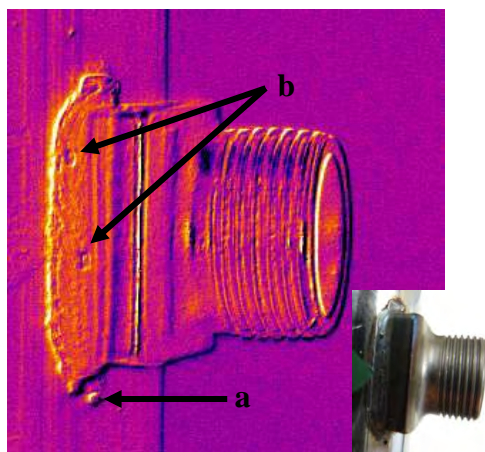


Obr. 6.10 Úchyt A2 nasnímaný IR kamerou<sup>18</sup>.

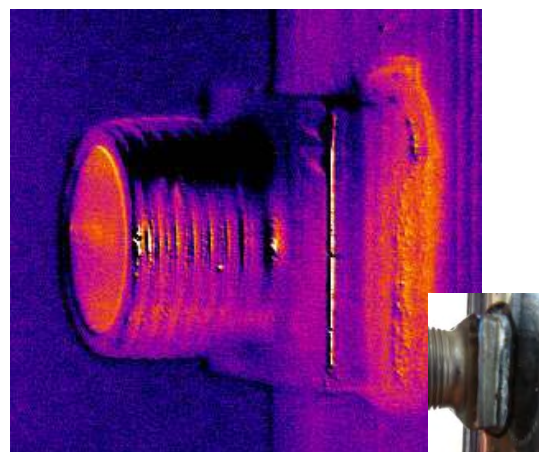


Obr. 6.11 Oblast vybraná pomocí IRNDT analýzy<sup>18</sup>.

**Vzorek B1** (viz obr. 6.12) a **vzorek B2** (viz obr. 6.13). Z vyhodnocení těchto vzorků jsou patrná místa, kde zůstaly zbytky svařové taveniny mimo svar (na obrázcích označeno **a**) nebo patrná nehomogenní oblast (na obrázcích označeno **b**).

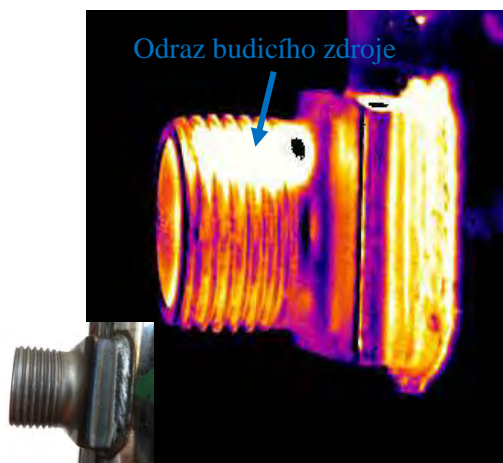
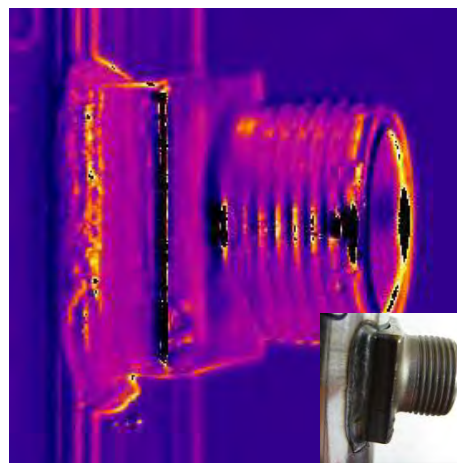


Obr. 6.12 Vzorek B1<sup>18</sup>.



Obr. 6.13 Vzorek B2<sup>18</sup>.

**Vzorek C1** a **vzorek C2**. Na těchto vzorcích nebyly žádné viditelné vady. Svary byly vytvořeny s přidáním svařovacího drátu. Na vyhodnocení vzorku C1 je patrný silný efekt odrazu budícího zdroje, což bylo zapříčiněno chybou v konfiguraci měření. Naměřené výsledky jsou obdobné, jako u všech předcházejících vzorků. Výsledky těchto testů zachycuje obrázek 6.14 pro vzorek C1 a 6.15, pro vzorek C2.

Obr. 6.14 Vzorek C1<sup>18</sup>.Obr. 6.15 Vzorek C2<sup>18</sup>.

Ze všech provedených testů a vyhodnocení jsou dobře patrná místa okrajů svarů, roztavené a přilepené materiály mimo svar a nehomogenní místa ve svarech i komponentech.

Ve spolupráci s panem Ing. Michalem Švantnerem, Ph.D a panem Doc. Ing. Milanem Honnerem, Ph.D. je ještě plánován test přímo ve výrobě. Jeho náplní bude experiment, kdy bude namísto budicího zdroje využito zbytkové teplo, vznikající při procesu svařování. Tento test nebude v době odevzdání práce dokončen. Nadále však tato metoda skrývá potenciál, pro řešení problematiky. K problematice je však třeba přistupovat citlivě, protože náklady na pořízení této testovací metody přesahují částku 3 000 000 Kč.

### 6.3 Návrh nové varianty makro-metalografické zkoušky

Jako další alternativní řešení byla hledána varianta optimalizace stávajícího stavu s ohledem na zkrácení taktu samotné zkoušky, snížení spotřeby místa, snížení spotřeby energií a také snížení nákladů na spotřební materiál. Jako úzké místo v procesu bylo vybráno pracoviště broušení, následně leštění a leptání vzorků.

#### 6.3.1 Elektrolytická preparace STRUERS LectroPol-5

Po prozkoumání možností byla vybrána metoda elektrolytické preparace, která je schopna tyto kroky plně nahradit. K pomoci s řešením byla vyzvána firma STRUERS GmbH. Ve spolupráci s panem Ing. Petrem Smutným byly v laboratořích firmy Struers provedeny experimenty s využitím této metody. Principem této metody je řízená koroze. Vzorek je umístěn do preparačního zařízení na plastovou šablonu s definovaným otvorem, na jeho opačný konec je přiložena elektroda, poté je čerpadlem dopravován elektrolyt do plastové šablony a kontakt elektrolytu a testovaného vzorku tvoří druhý pól. Probíhá zde elektrochemická reakce, při níž jsou postupně odplavovány vrstvy materiálu. Nespornou výhodou této metody je, že nehrozí spálení zkoumané struktury, jako je tomu například u leptání roztokem nitalu. Při delší době je pouze odplaveno větší množství materiálu. Navíc lze tuto metodu na stejném vzorku libovolně opakovat. Čas tohoto procesu je ve srovnání s několika stupni broušení, leštění a leptání výrazně zkrácen.

LectroPol-5 (viz obr. 6.15) je plně automatické, mikroprocesorem řízené zařízení pro elektrolytické leštění a leptání metalografických vzorků. Má vestavěnou funkci pro skenování procesu a nastavení parametrů, je vybaveno řadou bezpečnostních prvků a má také databázi metod pro různé materiály<sup>15</sup>.

Obr. 6.15 STRUERS LectroPol-5<sup>15</sup>.

Bylo připraveno 12 různých vzorků (viz obr. 6.16), tyto vzorky byly dokončeny za využití různých metod, aby bylo dosaženo odlišné kvality povrchu. Byly broušeny brusnými plátny o rozdílné zrnitostmi, některé byly leštěny a část vzorků byla ponechána pouze po oddělení na řezacím automatu. Cílem testu bylo zjistit, jak vysokou kvalitu potřebujeme k dosažení požadovaného výsledku a hlavně, v jakém časovém horizontu je možné provést vyhodnocení.

Dělení bylo prováděno za shodných podmínek, jako v samotném výrobním procesu viz kapitola 5.2.1 Řezání vzorků-pila Struers Axitom5 (viz obr. 6.17).



Obr. 6.16 Vzorky pro testy.

Obr. 6.17 Řezání vzorků pro testy<sup>19</sup>.

Pro zajištění objektivitu byly dokončené vzorky analyzovány na pracovišti mikroskopu v Jihlavě.

Popis dokončení jednotlivých vzorků po dělení na pile:

- vzorek1- broušen pouze plátnem silikon karbid P180(stejné jako ve výrobě), broušení trvalo 1 minutu,
- vzorek 2- broušen plátnem P500, doba broušení 1 minuta,

- vzorek 3- broušen plátnem P500, doba broušení 1 minuta,
- vzorek 4- broušen plátnem P500 a dokončen plátnem P2400, každé broušení trvalo 1 minutu, celkový čas broušení byl 2minuty plus čas na manipulaci,
- vzorek 5- broušen plátnem P180 po dobu 1 minuty, dokončen leštěním diamantovou suspenzí po dobu 10 minut, celková doba přípravy 11 minut,
- vzorek 6- broušen plátnem P500 po dobu 1 minuty, dokončen leštěním diamantovou suspenzí po dobu 5 minut, celková doba přípravy 6 minut,
- vzorek 7- broušen plátnem P500, doba broušení 1 minuta,
- vzorek 8- broušen plátnem P180 po dobu 1 minuty.

Pro další pokračování testů byly vybrány čtyři vzorky (viz obr. 6.18) s rozdílným designem a tyto vzorky byly podrobeny elektrochemickému leštění bez dokončování broušením a leštěním.



Obr. 6.18 Vzorky **A,B,C,D** pro elektrochemické leštění<sup>19</sup>.

Aby byly nasimulovány různé nestandardní situace při procesu byl vzorek **A** elektrochemicky leptán ve třech po sobě jdoucích pracovních cyklech trvajících 40 vteřin. Vzorek **B** má dva komponenty, úchyt a HD vývod, tak velkou plochu naráz nelze leptat, proto byl proces rozdělen do dvou cyklů po 40 sekundách. Vzorek **C** klasické leptání po dobu 40 sekund. Vzorek **D** byl také leptán standardně po dobu jednoho cyklu, trvajících 40 sekund. Všechny takto získané vzorky byly analyzovány v jihlavském závodě II, z důvodu výpadku software na zkušebním mikroskopu v laboratoři STRUERS. Čas, který byl nutný na transport kusů z laboratoří v Roztokách do Jihlavy cca 3,5 hodiny se negativně projevil na kvalitě testované plochy. Přes snahu kusy ochránit nastala na povrchu oxidace. Přesto bylo možné kusy bez větších problémů i po takto dlouhé době bez pochybností o výsledcích vyhodnotit a porovnat se stávajícím procesem. Kusy, které by byly broušeny, leštěny a leptány klasickou technologií by byly po takovémto časovém intervalu znehodnocené.

Pro proces leštění je důležité složení elektrolytu. Firma Struers nabízí řadu dvanácti základních elektrolytů. Každý z nich je určen pro několik konkrétních materiálů. Některé materiály je možno leštit a leptat několika různými elektrolyty a je důležité experimentálně ověřit, který z nich je pro daný materiál nejvhodnější. Pro samotný test byl podle materiálu tělesa railu vybrán elektrolyt s označením A2. Tento elektrolyt je určen pro hliník, antimon, berillium, nikl, stříbro, nerezovou ocel, ušlechtilou ocel, cín a titan<sup>15</sup>. Kompletní list elektrolytů je součástí přílohy č. 5. V praxi by bylo možné upravit i chemické složení elektrolytu, případně poměr jednotlivých složek.

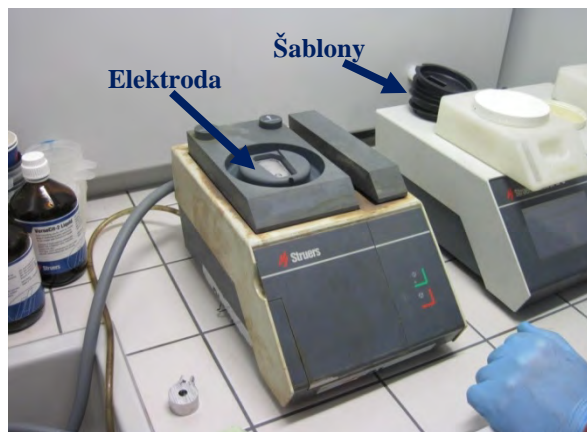
Chemické složení elektrolytu A2 je: 90 ml destilovaná voda, 730 ml ethanol (ethyl alkohol), 100 ml ethylen glycol monobutyl ether, 78 ml kyselina chloristá<sup>15</sup>.

### 6.3.2 Provedení experimentu

Samotné zařízení pro elektrochemické leptání je složeno ze dvou jednotek (viz obr. 6.15). Levá část je vyhodnocovací zařízení a pravá část je samotná leptací stanice. Protože se pracuje s kyselinou a při procesu vznikají výpary, je třeba zajistit odsávání par, například digestoř. Pro obsluhu je nutné použití ochranných gumových rukavic. Nejprve je nutno vysunout leptací hlavu s chladicí spirálou a založit do zařízení nádobku s roztokem (viz obr. 6.19) a zařízení uzavřít (viz obr. 6.20). Chlazení je důležité proto, aby podmínky procesu byly neustále konstantní.



Obr. 6.19 Založení nádrčky s elektrolytem<sup>19</sup>.



Obr. 6.20 Zkompletované zařízení<sup>19</sup>.

Dále je vybrána vhodná šablona (viz obr. 6.21) je vhodné vybírat vhodný tvar šablony, maximálně možná leptaná plocha je  $5 \text{ cm}^2$ . Při volbě menší šablony je nižší spotřeba elektrolytu. Rozhodující je, jak velkou oblast je třeba leptat. V dalším kroku jsou zadány parametry leštění/leptání. Pro experiment byly zvoleny následující parametry: Mód-leštění, plocha- $5 \text{ cm}^2$ , teplota  $20^\circ\text{C}$ , elektrolyt-A2, napětí 20V, průtok-12, voleno na stupnici bez jednotek 1 až 12, byl vybrán maximální, vzhledem k ploše, čas-po úpravě 40 sekund (viz obr. 6.22)<sup>19</sup>.

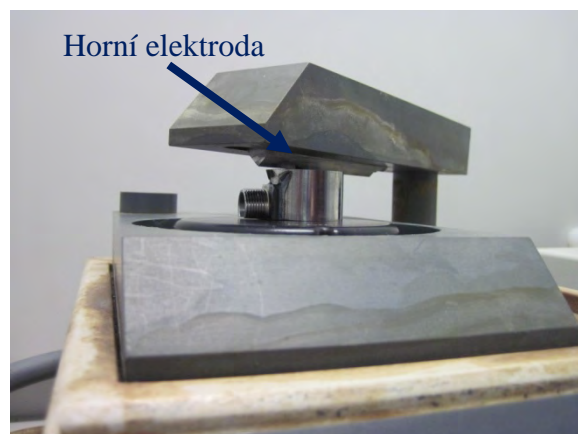


Obr. 6.21 Šablony pro leštění<sup>19</sup>.

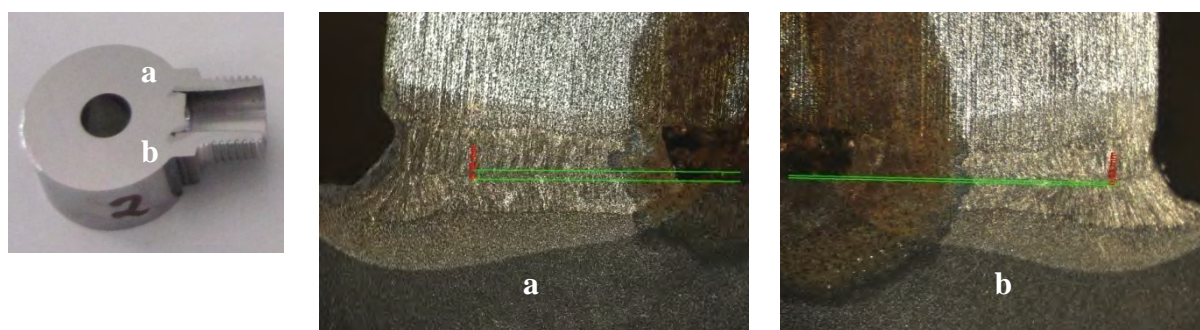


Obr. 6.22 Nastavené parametry<sup>19</sup>.

Na šablonu v zařízení se založí testovaný vzorek (viz obr. 6.23), a je přitlačen ramenem, které tvoří druhou elektrodu (viz obr. 6.24). Následně je spuštěn proces, při kterém je vyplavován elektrolyt a při kontaktu se vzorkem odplavuje postupně jednotlivé vrstvy vzorku.

Obr. 6.23 Založení vzorku na šablonu<sup>19</sup>.Obr. 6.24 Upnutí vzorku horní elektrodou<sup>19</sup>.

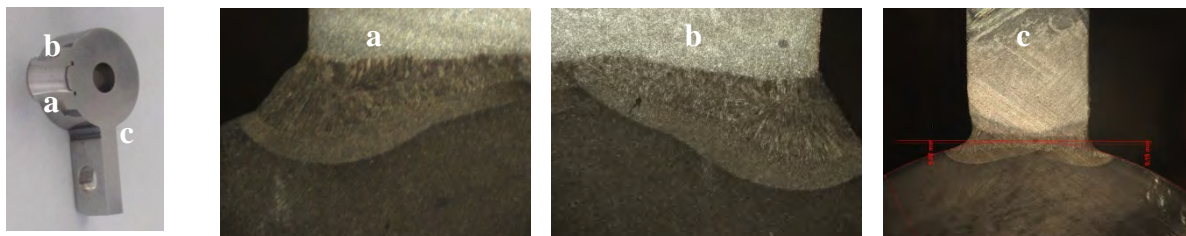
U vzorku A (viz obr. 6.25) bylo provedeno opakované leptání. Důvodem bylo dokázat, že není možné delším působením způsobit popálení vzorku a znehodnocení struktury. Na vzorku je v řezu navařený HD vývod. Jedná se o nejčastěji testovanou oblast. Dále je patrná oxidace, kterou způsobil zbytek elektrolytu v meziprostoru a čas do provedení vyhodnocení vzorku v Jihlavě.

Obr. 6.25 Leptaný vzorek A a jeho vyhodnocení<sup>19</sup>.

U vzorku B (viz obr. 6.26) bylo provedeno leptání dvakrát, protože má navařeny dva komponenty, úchyt a HD vývod, do tohoto svaru je také přidáván drát, což je patrné z obrázku, kde je zřetelný výronek v oblasti svaru.

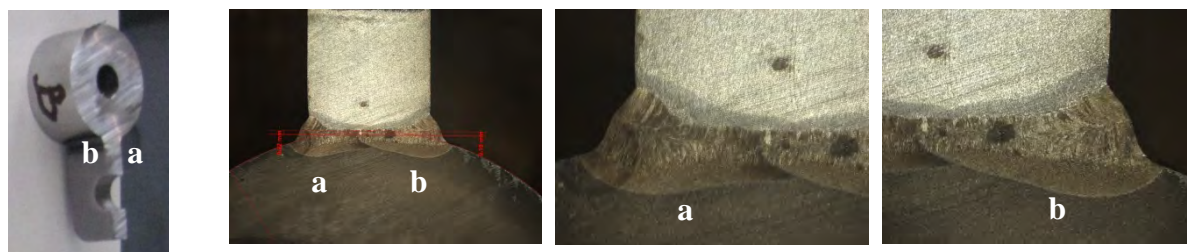
Obr. 6.26 Leptaný vzorek B a jeho vyhodnocení<sup>19</sup>.

U vzorku C (viz obr. 6.27) bylo provedeno leptání pouze jednou, vzhledem ke vzájemné poloze úchyty a HD vývodu bylo možné leptat obě testované plochy v jednom pracovním kroku.



Obr. 6.27 Leptaný vzorek C a jeho vyhodnocení<sup>19</sup>.

U vzorku D (viz obr. 6.28) bylo provedeno také pouze jedno leptání, vorek má navařen pouze úchyt, byl leptán s použitím menší šablony.

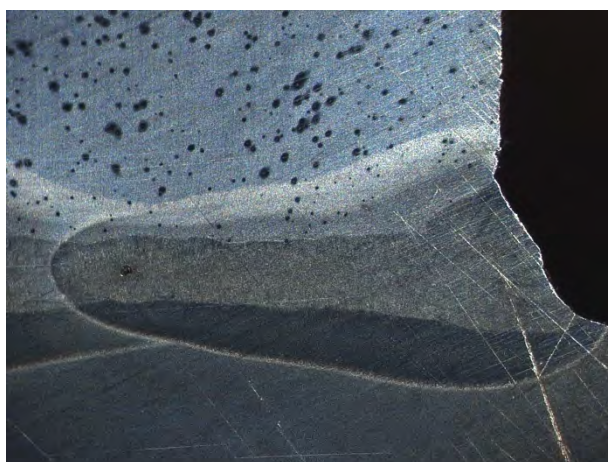


Obr. 6.28 Leptaný vzorek D a jeho vyhodnocení<sup>19</sup>.

Bylo provedeno porovnání navrhované metody a metody stávající na dvou vzorcích. První vzorek (viz obr. 6.29) pochází z testu v laboratoři STRUERS. Jeho tmavší zabarvení je způsobeno časovou prodlevou mezi provedením testu a následným vyhodnocením. Druhý vzorek (viz obr. 6.30) pochází ze sériové výroby v závodě II Jihlava. Z vyhodnocení je jasné patrné, že nová metoda plně vyhovuje požadavkům, které jsou kladeny na vzorek pro vyhodnocení.



Obr. 6.29 Vzorek z laboratorního testu<sup>19</sup>.



Obr. 6.30 Vzorek ze sériové výroby<sup>19</sup>.

Vzorky č. 1 až č. 8 byly naleptány a vyhodnoceny až v Jihlavě. Na těchto vzorcích bylo testováno, jak změni výsledek zkoušky rozdílné dokončení povrchové vrstvy a byly poté porovnávány se standardními výsledky, ze sériové výroby.

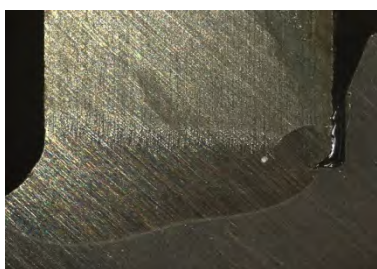
Vzorky 1, 8-broušeny plátnem silikon karbid P180 (stejně, jako ve výrobě), poté plátnem o zrnitosti P500 a dokončeny plátnem P2400. Každé broušení trvalo 1 minutu. Celkový čas broušení byl 3minuty plus časy na manipulaci. Následně byly leptány 3% roztokem nitalu. Výsledek vyhodnocení je na obrázku 6.31. Z výsledku nelze stanovit střed svaru, je patrná pouze teplotně ovlivněná oblast. Tento postup zkoušky se ukázal, jako nevyhovující.

Vzorky 2, 3, 7-broušeny plátnem P500. Doba broušení 1 minuta. Naleptány 3% roztokem nitalu. Výsledek vyhodnocení je na obrázku 6.32a, 6.32b. Z výsledku nelze u HD vývodu stanovit oblasti svaru, na úchytu jsou částečně viditelné oblasti. Tento postup zkoušky je také nevyhovující.

Vzorek 4- broušen plátnem P500 a dokončen plátnem P2400. Každé broušení trvalo 1 minutu. Celkový čas broušení byl 2minuty plus čas na manipulaci. Naleptán 3% roztokem nitalu. Výsledek vyhodnocení je na obrázku 6.33. Velký rozdíl mezi plátny a krátký čas pro broušení plátnem P2400 způsobil, že byly pouze sraženy výstupky a povrch nebyl dokončen dostatečně, aby bylo možné provést vyhodnocení. Tento postup je také nevyhovující.

Vzorek 5- broušen plátnem P180 po dobu 1 minuty, dokončen leštěním diamantovou suspenzí po dobu 10 minut. Celková doba přípravy 11 minut. Naleptán 3% roztokem nitalu. Výsledek vyhodnocení je na obrázku 6.34. Vzorek byl pro vyhodnocení vyhovující. Čas pro dokončení povrchu je ze všech testovaných postupů nejdelší. Tento postup byl vyhodnocen, jako neefektivní.

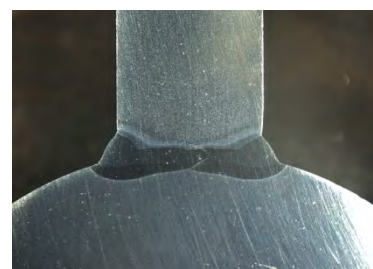
Vzorek 6- broušen plátnem P500 po dobu 1 minuty, dokončen leštěním diamantovou suspenzí po dobu 5 minut. Celková doba přípravy 6 minut. Naleptán 3% roztokem nitalu. Výsledek vyhodnocení je na obrázku 6.35. Vzorek byl pro vyhodnocení vyhovující. Čas pro dokončení byl druhý nejdelší. Tento postup byl hodnocen jako neefektivní.



Obr. 6.31 Vzorek č. 1.



Obr. 6.32a Vzorek č. 2.



Obr. 6.32b Vzorek č. 7.



Obr. 6.33 Vzorek č. 4.



Obr. 6.34 Vzorek č. 5.



Obr. 6.35 Vzorek č. 6.

## 7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

### 7.1 Hodnocení nového uspořádání pracoviště

Po změně uspořádání pracoviště byly sledovány časy na přechod mezi jednotlivými částmi makro-metalografické zkoušky. Předpokládaná úspora času se v měřitelných hodnotách neprojevila. Pouze dotazy vznešenými na obsluhu bylo zjištěno, že současná podoba pracoviště jim umožňuje práci ve větším klidu. Tato skutečnost znamená větší možnost soustředit se na provedení samotné zkoušky a zároveň je sníženo riziko možné chyby, vzniklé prací v časové tísni. Subjektivně vnímají toto uspořádání jako přínos pro jejich práci. Přínosem je také spojení pracovišť vyhodnocení, kde je umožněna vzájemná komunikace, rychlá reakce na problém a dělba práce mezi jednotlivé pracovníky.

Novým rozložením bylo ušetřeno 2m<sup>2</sup> prostoru, které je možno využít pro potřeby montáže.

Pod obě pily byly vytvořeny záchytné vany, čímž byla zvýšena bezpečnost pracoviště. Při občasném úniku provozních kapalin hrozilo uklouznutí a zranění. Použitím jednoho filtračního zařízení pro recirkulaci provozních kapalin se zjednodušila práce obsluhy. Nemusí čistit dvě zařízení a využití filtrační zařízení je také efektivnější než původní, které bylo určeno pouze pro pilu Discotom-6.

### 7.2 Hodnocení navrhované metody IRNDT Ultrasound

Tato metoda byla zkoumána, jako možná alternativa k současné destruktivní zkoušce, kdy je testovaný vzorek znehodnocen a nemůže být použit pro další výrobu.

Po provedených testech bylo zjištěno, že tato metoda velmi dobře zobrazí vnitřní defekty v samotném svaru, jsou viditelné špatně provařené oblasti, jsou dobře patrná místa okrajů svarů, roztavené a přilepené materiály mimo svar a nehomogenní místa ve svarech i komponentech. Nelze však spolehlivě určit oblasti jednotlivých materiálů ve svaru a vyhodnotit střed samotného svaru. Tento údaj je velmi zásadní, protože nám poskytne dostatek údajů o kvalitě svaru. Jedná se o to, aby svar nebyl umístěn z větší části do komponentu nebo základního tělesa. Hrozila by nedostatečná pevnost při dynamickém namáhání a případně prasknutí svaru.

Cena této testovací metody by přesáhla částku 3 000 000 Kč. Rovněž by bylo pravděpodobně problematické zařadit tuto zkoušku do sériové výroby tak, aby byly 100% testovány všechny kusy. Jednalo by se tak pouze o doplňkovou zkoušku.

Vzhledem k těmto skutečnostem nebyla tato metoda vybrána jako vyhovující alternativa. Je vhodná spíše pro jedinečnou výrobu, kdy není možné poškodit vyrobený kus. Pro potřeby velkosériové výroby vysokotlakého zásobníku paliva nevyhovuje.

### 7.3 Hodnocení metody elektrolytické preparace

Metoda elektrolytické preparace pomocí zařízení LectroPol-5 od firmy Struers nenabízí sice nedestruktivní testování, má však velký potenciál vzhledem k velmi krátkému času provedení samotné zkoušky. Byla proto testována velmi důkladně a výsledky srovnávány se stávajícím stavem.

Jednou z testovaných veličin byl čas zkoušky. Elektrochemickým leštěním bylo provedeno celkem 7 leptacích testů s časem cyklu 40 sekund. Průměrná doba na manipulaci, tedy upnutí a následné vyjmutí dílu po ukončení zkoušky trvalo v průměru 15 sekund. Celkový čas cyklu tedy činil 55 sekund. Tento čas lze porovnat s časem stávající zkoušky, respektive broušení, leštění a následného leptání, který činí 135 sekund. Rozdíl tedy činí 80 sekund na jednom

pracovním cyklu. Celkový počet cyklů za směnu činí 145. Rozdíl v čase za směnu činí tedy 11 600 sekund, tedy 193 minut. Při provádění broušení a leštění musí obsluha celou dobu držet opracováváný kus v ruce. Při elektrochemickém leštění získává 40 sekund volného času, který lze využít například k výměně kusu v dělicím zařízení a dále tak zkrátit čas samotné zkoušky. Budeme-li uvažovat, že počet upnutí za směnu činí 145 (je roven počtu cyklů), je možno tento čas přičíst k uspořenému času za směnu. 11 600 sekund plus 145 krát upínání-tedy 30sekund = **15 950 sekund**, tedy 265,8 minuty, což činí **4,4 hodiny za směnu**.

Celkový efektivní čas pracovní doby jednoho pracovníka za směnu činí 8 hodin – 0,5 hodiny na přestávky, to je  $7,5 \cdot 3600 = 27\,000$  sekund. Úspora činí 15 950 sekund.  $15\,950 / 270 =$  **59,07%**.

Při pracovní směně trávající 7,5 hodiny lze tedy uspořit až 59% času jednoho pracovníka za směnu.

Protože testy byly prováděny s normalizovaným roztokem, je pravděpodobné, že pomocí experimentu by bylo možné upravit koncentraci, případně chemické složení a dále tak zkrátit čas samotné zkoušky.

Dále bylo provedeno srovnání provozních nákladů. Byla zjištěna částka, která byla spotřebována na brusné a lešticí plátina za rok 2013. Tato částka činila **1 230 720 Kč**.

Při třísměnném provozu bylo v roce 2013 k dispozici 252 pracovních dnů. Pracovní doba byla 7,5 hodiny denně. Celkem bylo k dispozici 5670 hodin jednoho pracovníka. Navrhovaná metoda by umožnila úsporu **3349,5 hodiny jednoho pracovníka**.

Náklady na jeden testovaný vzorek současnou metodou činily: Náklady na spotřební materiál děleno (počet pracovních dnů · směnnost · počet kusů za směnu).

Náklady na jeden standardně testovaný kus:  $1\,230\,720 / 252 \cdot 3 \cdot 145 =$  **11,23 Kč/ks**.

Náklady na jeden vzorek vytvořený novou metodou nebylo možné, vzhledem k malému testovanému množství spolehlivě určit. Prostřednictvím firmy STRUERS byly dotazovány firmy, které tuto technologii využívají, bylo zjištěno, že z jedné náplně elektrolytu je průměrně vyhotoveno 500 až 800 vzorků, při použití šablony  $5\text{cm}^2$ , která by vyhovovala většině našich vzorků. Bylo uvažováno 650 vzorků, objem nádržky 0,75l a cena jednoho litru roztoku 45,32Eur = dle kurzů ČNB ze dne 26.04.2014:  $27,46 \cdot 45,32 = 1244,49$  Kč/litr. Cena náplně jedné nádržky činí:  $0,75 \cdot 1244,49 =$  **933,4 Kč**.

Náklady na jeden testovaný vzorek navrhovanou metodou činí:  $933,4 / 650 =$  **1,44 Kč/ks**.

Byla porovnána cena stávající a navrhované metody. Stávající ceny činí 11,23 Kč/ks a navrhovaná cena byla vypočtena 1,44 Kč/ks. Výpočtem bylo zjištěno, že nová metoda je o  $11,23 - 1,44 =$  **9,79 Kč/ks** levnější, než metoda stávající.

Při počtu kusů 109 620 za rok ( $145\text{vzorků za směnu} \cdot 3\text{ směnnost} \cdot 252\text{ pracovních dnů}$ ) byla vypočtena úspora **1 073 180Kč** za rok ( $109620\text{ kusů} \cdot 9,79\text{Kč/ks}$ ).

Celkové náklady na spotřební materiál činily 1 230 720 Kč/rok, navrhovaná technologie by uspořila 1 073 180 Kč/rok, což činí **87,2% ročních nákladů**.

Firma Struers byla požádána o cenovou nabídku. Nabídka obsahuje: Preparační a lešticí zařízení LectroPol-5, sadu šablon  $0,5/1/2/5\text{ cm}^2$ , nádobku na elektrolyt, chladič jednotku WKL 1000, jeden litr elektrolytu a instalaci na místě. Tato sestava je nabízena za částku **18 464,38 Eur**. Dle kurzu ČNB ze dne 26.04.2014:  $27,46 \cdot 18\,464,38 =$  **507 032 Kč**. Tato nabídka je součástí přílohy č. 8.

### 7.3.1 Návratnost navrhované metody

Při výpočtu návratnosti investice do navrhovaného zařízení pro elektrochemické leptání bylo vycházeno pouze z nákladů na spotřební materiál stávající metody, od kterých byly odečteny náklady na spotřební materiál navrhované metody. Nebyla uvažována uspořená doba práce jednoho zaměstnance.

Úspora byla určena výpočtem v části práce 7.3 Hodnocení metody elektrolytické preparace, činí 1 073 180 Kč.

Náklady na pořízení zařízení STRUERS LectroPol-5 a příslušenství, včetně instalace, vychází z cenové nabídky viz příloha č. 8 a činí 507 032 Kč.

Náklady na novou metodu podělíme průměrnou uspořenou částkou nákladů na jeden měsíc a tím získáme dobu návratnosti v měsících.

$507\,032 / (1\,073\,180 / 12) = 5,7$  měsíce.

K navrácení investice tedy dojde v případě zavedení od ledna již v prvním roce provozu ve druhé polovině měsíce června.

Navrhované řešení by přineslo také úsporu místa. Bylo by možné zrušit pracoviště broušení a leštění a stanici pro leptání roztokem nitalu nahradit navrhovaným zařízením (viz obr. 6.1) a získat tak 1,6 m<sup>2</sup> prostoru.

Firma Bosch se snaží neustále snižovat emise CO<sub>2</sub> ve všech svých provozech. Při stávajícím stavu je použito dvou brousicích zařízení a jednoho lešticího. Jedná se tedy o tři elektromotory, které spotřebovávají energii. Navrhovaná metoda má pouze jedno malé chladicí zařízení a při provozu pracuje s minimálním množstvím elektrické energie. Metoda elektrochemického leštění by byla vhodná pro zařazení do tohoto projektu.

Tato metoda splňuje všechny cíle, které byly požadovány. Přináší úsporu času, místa a nákladů na spotřební materiál. Návratnost investice činí 5,7 měsíce.

## 8 ZÁVĚR

Tato práce se zaměřuje na jihlavskou pobočku Bosch Diesel s.r.o., popisuje výrobní program a objasňuje systém Common-Rail, včetně jeho funkce.

Detailní analýzou současného stavu výrobního procesu byl popsán jeden z důležitých komponentů tohoto systému vysokotlaký zásobník paliva rail. Byl analyzován celý výrobní postup, se zaměřením na makro-metalografickou zkoušku laserového svaru. Byly hledány a posuzovány možné alternativy této zkoušky, včetně možnosti provádět tuto zkoušku nedestruktivní metodou.

Stávající uspořádání pracovišť bylo shledáno jako neefektivní, proto byl vytvořen návrh nového rozmístění pracovišť. Po připomínkování byl tento návrh realizován. Nové uspořádání pracovišť přineslo úsporu 2m<sup>2</sup> prostoru. Zvýšilo bezpečnost pracoviště, poskytlo, dle hodnocení obsluh, větší klid na práci, což umožňuje větší soustředění na prováděný úkon a snižuje riziko chyby. Rovněž je usnadněna vzájemná komunikace a dělba úkolů.

Zkoumáním nedestruktivní metody IRNDT Ultrasound bylo zjištěno, že touto metodou lze velmi dobře detekovat defekty, nelze však jednoznačně určit střed svaru. Bylo by problematické začlenění do stávajícího provozu tak, aby bylo umožněno využít tuto metodu pro 100% testování všech kusů. Náklady na pořízení by přesáhly 3 000 000 Kč. Vzhledem k těmto skutečnostem byla tato metoda zavrhnuta. Je vhodná spíše pro jedinečnou výrobu, kdy není možné poškodit vyrobený kus. Pro potřeby velkosériové výroby vysokotlakého zásobníku paliva nevyhovuje.

Další testovanou metodou byla metoda elektrochemického leštění pomocí zařízení STRUES LectroPol-5. Tato metoda poskytuje výraznou úsporu času při provádění testu. Neuvažujeme dělení materiálu, které je u stávající i navrhované metody totožné. Testy byly zaměřeny na čas broušení, leštění a leptání stávající zkoušky oproti času elektrochemického leštění navrhované metody. Stávající zkouška má čas 135 sekund, navrhovaná metoda 55 sekund. Úspora času činí 80 sekund na jeden kus. Lze ušetřit 59,07% času jednoho pracovníka. Při třisměnném provozu se jedná o 3349,5 hodin za jeden rok.

Byly testovány náklady na jeden kus zhotovený současnou metodou, výpočtem zjištěno 11,23 Kč/ks a náklady na jeden kus zhotovený navrhovanou metodou činily 1,44 Kč/ks. Úspora činí 9,79 Kč/ks. Roční úspora byla vyčíslena na částku 1 073 180 Kč za rok.

V poslední části byla počítána návratnost navrhované metody v případě začlenění do procesu. Návratnost činí 5,7 měsíce. V případě pořízení zařízení v lednu, by došlo k navrácení investice v druhé polovině měsíce června téhož roku.

Metoda elektrochemického leštění se po provedení experimentu a následně po technologicko-ekonomickém vyhodnocení jeví, jako vhodná alternativa ke stávajícímu procesu. Její zavedení by bylo přínosem z hlediska úspory času a prostoru, především by však přineslo úsporu v provozních nákladech. Poskytla by jihlavskému záводу Bosch zvýšení konkurenceschopnosti, snížení nákladů na výrobu a tím by přispěla i k udržení dobré pozice na trhu. Nepřímo by tak přispívala i k udržení zaměstnanosti v jihlavském regionu.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. KRÁLÍK, Jan a Robert Bosch GmbH. *Bosch v České republice*. 2007. Praha, BB Partner, s.r.o., neprodejné.
2. Bosch Diesel Jihlava spol. s.r.o. *Firemní a školicí materiály*.
3. BOSCH: *Bosch v Česku* [online]. [vid. 2014-03-08]. Dostupné z: <http://www.bosch.cz/content/language1/html/index.htm>
4. Robert Bosch GmbH. *Global Impressions of Bosch*. 2011. Stuttgart, Corporate Communications Robert Bosch GmbH, ©2011, neprodejné.
5. PÍŠKA, Miroslav a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. Vysoké učení technické v Brně, CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
6. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., 1. vyd. Praha: 2005. 96 s. ISBN 80-903132-7-2.
7. Bosch GmbH. *interní materiály*.
8. Ing. CHLUP, M. *Systém vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem Common Rail*. Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., Praha – 1999. ISBN 80-902585-6-5.
9. Ing. HANÁK, S. *Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory*. Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., Praha – 2005. ISBN 80-903132-7-2.
10. Dürr Ecoclean: *Průmyslové čištění dílů* [online]. [vid. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://durr-ecoclean.com/cz/vyrobky/prumyslove-cistení-dílu>
11. Karl Roll: *Roll-reinigungssysteme* [online]. [vid. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://roll-reinigungssysteme.de/contao/index.php/mehrkammer-tauchanlagen.html>
12. Trumpf: *Laserová technika* [vid. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika.html>
13. Stäubli: *Robotová-divize* [vid. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.staubli.cz/cz/robotova-divize/prumyslove-roboty/>
14. Ateq: *Pneumatická měření* [vid. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.ateq.cz/mereni-poklesu-tlaku.html>
15. Stuers: *Metalografie a Testování* [vid. 2014-04-04]. Dostupné z: [http://www.struers.com/default.asp?top\\_id=3&doc\\_id=282](http://www.struers.com/default.asp?top_id=3&doc_id=282)
16. LAINWEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky čtvrté doplněné vydání*. Praha, Albra, 2008, ISBN 978-80-7361-051-7.
17. IRNDT: *IRNDT thermography systém* [vid. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.automationtechnology.de/cms/en/thermography/ndt.html>
18. Západočeská univerzita v Plzni-NTC. *Aanalýza svarů na vysokotlakém zásobníku RAIL*. Výzkumné centrum Nové technologie Plzeň, březen.2014.
19. STRUERS GmbH: *Experimentální elektrochemické leštění vzorků*. Laboratoř Roztoky u Prahy, 18.03.2014.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
<b>ABS</b>	[-]	protiblokovací systém
<b>CNC</b>	[-]	číslicové řízení
<b>CP1H, CP3, CP4, CPN5</b>	[-]	Common Pump n-té generace
<b>DBV</b>	[-]	omezovací tlakový ventil
<b>DMC</b>	[-]	datový maticový kód
<b>DRV</b>	[-]	vysokotlaký regulační ventil
<b>ESP</b>	[-]	elektronický stabilizační program
<b>HADIS</b>	[-]	hydraulický zesilovač diesellového vstříku paliva
<b>HD</b>	[-]	vysokotlaký vývod
<b>HFR</b>	[-]	obráběný rail kovaný za tepla
<b>IRNDT</b>	[-]	infračervené nedestruktivní testování
<b>LWR</b>	[-]	laserem svařovaný rail
<b>ND</b>	[-]	nízkotlaký vývod
<b>PE</b>	[-]	řadové čerpadlo
<b>PFM</b>	[-]	jednoválcové čerpadlo
<b>RAIL</b>	[-]	vysokotlaký zásobník paliva
<b>RDS</b>	[-]	snímač tlaku
<b>SPC</b>	[-]	statistická regulace procesu
<b>TCS</b>	[-]	protiprokluzová regulace se zásahem brzd a motoru
<b>VP30</b>	[-]	rotační čerpadlo

Symbol	Jednotka	Popis
<b><math>D_i</math></b>	[dm]	průměr hlubokého vrtání
<b><math>I</math></b>	[A]	svařovací proud
<b><math>L_i</math></b>	[dm]	délka hlubokého vrtání

<b>Q</b>	[J]	množství tepla
<b>R</b>	[ $\Omega$ ]	celkový odpor svařovaného spoje
<b>V<sub>Hlavního vrtání</sub></b>	[l]	objem hlavního vrtání
<b>V<sub>Railu</sub></b>	[l]	objem railu
<b>t</b>	[s]	čas svařování
<b><math>\pi</math></b>	[-]	Ludolfovo číslo

**SEZNAM PŘÍLOH**

- |            |  |
|------------|--|
| Příloha 1  | Parametry dělicí pily Struers Axitom-5.                |
| Příloha 2  | Makro-metalografické vzorky.                           |
| Příloha 3  | Protokoly ze smykové zkoušky.                          |
| Příloha 4  | Parametry zařízení STRUERS LectroPol-5.                |
| Příloha 5  | List nabízených elektrolytů.                           |
| Příloha 6  | Fotografie vzorků z testů elektrochemického leptání.   |
| Příloha 7  | Náklady na spotřební materiál za rok 2013.             |
| Příloha 8  | Cenová nabídka firmy STRUERS.                          |
| Příloha 9  | Souhlas s využitím dat z experimentu STRUERS.          |
| Příloha 10 | Souhlas s využitím dat z experimentu IRNDT Ultrasound. |

## PŘÍLOHA 1



# Axiotom-5



### **A fully automatic cut-off machine, designed for maximum user-friendliness**

**Axiotom-5 is designed for 350 mm / 14" dia. cut-off wheels, equipped with a powerful motor, 2 automatic cutting tables and the advanced ExciCut feature. All functions are controlled by only two keys, making operation extremely user-friendly.**



### **Spacious cutting chamber with LED lighting 2 automatic cutting tables**

**User-friendly operation** with 3-axes joystick and multi-function knob

**ExciCut** - for faster cutting or cutting of harder materials without heat damage

**AxioCut** - for cutting of extra deep workpieces

**MultiCut** - for automatic serial cutting of parallel sections

**OptiFeed** - optimised feed for fastest cutting without damage to sample or wheel

**AxioWash\*** - automatic cleaning program to clean the inside of the machine

**Database function** - for saving up to 10 cutting methods

\* Patent EP 19694781



## Axitom-5 cutting modes

### Direct Cut -the classic cutting mode

Direct Cut is the classic cutting mode, where the cut-off wheel moves straight down into the workpiece using the pre-set feed speed.

### ExciCut -for cutting of the hardest materials

ExciCut uses an oscillating movement of the cut-off wheel to reduce the contact area between cut-off wheel and workpiece.



This enables cutting of very hard materials in very large sizes, and also the use of harder cut-off wheels, which increases the lifetime of the wheels, thus reducing costs. The ExciCut technology was invented by Struers more than 20 years ago, and appears on Axitom-5 in a highly refined version.

### AxioCut Step -for sectioning of extra large workpieces

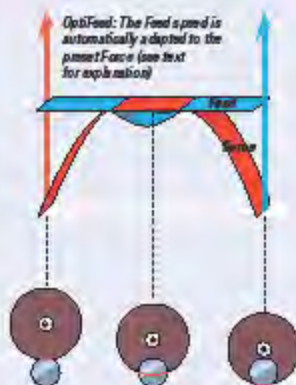
Axitom-5 uses a movement of the automatic y-table to enhance the cutting capacity. The table has a movement of 150 mm (5.9"), and the possible sample size to be cut is such increased by the same amount. We have implemented the AxioCut Step mode on the Axitom-5, offering a fast cutting mode of large workpieces.



### OptiFeed -for protection and speed

Struers has developed OptiFeed to eliminate the risk of damage to workpiece or cut-off wheel when cutting materials with varying cross-sections or composition. OptiFeed is designed to optimise the feed speed without sacrificing the quality of the cut or good wheel economy.

During cutting, Axitom-5 continuously measures the load on the cutting arm. The pre-set Feed and Force values are interpreted as maximum values. As soon as the set force limit is reached, the feed speed will be reduced to avoid damage. What is unique about OptiFeed is that it will increase the Feed rate again as soon as the Force is decreasing.



OptiFeed is ideal for cutting of workpieces with varying cross-sections or heterogeneous composition. Variations in such workpieces might otherwise require frequent changes in the feed speed setting and as such pose a problem to many operators.

## Maximum size cutting chamber

The cutting table of Axitom-5 has a size of 591 x 492 mm (23.3 x 19.4"). With the automatic tables a movement of 100 mm (4") in x-direction and 150 mm (5.9") in y-direction can be added. This allows for very large workpieces to be positioned and clamped on the cutting table of the Axitom-5.

Also the space underneath the cut-off wheel is very large. Workpieces up to 200 mm (8") high can be placed underneath a new cut-off wheel.

The available space below the cut-off wheel not only allows for clamping of very high samples, it also makes possible to place additional clamping tools in the cutting chamber and still allow to cut the maximum size of workpiece that the cut-off wheel can handle.

The Cutting Diagram under Technical Data shows the maximum possible sample size that can be cut without and with the automatic y-table.

## MultiCut -for demanding customers

With the automatic x-table we open up for unseen possibilities. A total of 4 MultiCut modes are available on Axitom-5 machines equipped with the automatic table.

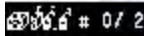
MultiCut-1 is the standard cutting mode where slices of equal thickness can be programmed. Additionally the thickness of the cut-off wheel is saved so no calculations are necessary. Simply enter the thickness and the



Perfect user-friendliness. The cut-off wheel and the two automatic cutting tables are positioned through an easy to use 3-axis joystick.

number of slices and press Start. Because of the AutoStop function Axiom-5 will stop after the workpiece has been cut through and continue to the next cut automatically. The display will indicate how many slices of the pre-set number are cut, and of course it will not be possible to program thicker slices or higher numbers than the actual travel of the x-table allows.

**MultiCut-2** is the same as above, apart from the possibility of programming slices of different thickness. When testing demands slices of different thickness then that is the perfect solution.



**MultiCut-3** is something completely new. Instead of programming the thickness of a slice, a certain position is programmed.



This is used for the cutting of manufactured items that have to be examined in certain fixed positions. Instead of calculating the distance between one cut and the next, simply enter the positions on the workpiece from a technical drawing starting from a common 0-point.

**MultiCut-4** is the most intuitive and user-friendly MultiCut mode. Simply clamp the workpiece on the cutting table, use the joystick to position the workpiece correctly under the wheel and the wheel in the correct distance above the workpiece and press Enter to record the cutting position. Go to the next position, press Enter, and continue doing so for the other positions as well. Then simply press Start and all cuts are carried out in their correct succession.



This mode is also called: Learning Mode. As also the distance of the cut-off wheel to the workpiece is recorded, very irregular parts can be cut in the shortest possible time.

Together with the built-in database function MultiCut-4 allows for fast changes between cutting programs for different work pieces and thus high productivity.

All cutting parameters can be seen on the display. Here showing the unique MultiCut-4, also called the Learning Mode

## User-friendly controls

Two well-proven controls are used on the Axiom-5:

- **The joystick** is very robust, designed for production environments. It can be moved in 3 different axes, controlling the cut-off wheel and both the x- and y-table. Positioning the cut-off wheel and the cutting tables is very easy and controlled by one single control.
- **The Multi-function knob** is used for setting all cutting parameters, and can be operated even with working gloves.

## Large graphical display

On Axiom-5 we introduce a new, large graphical display with a resolution of 640 x 480 pixels. This allows us to display even more information in an easy to read manner, making sure that all necessary data is right where it should be.

All the cutting parameters can be seen on the display at one glance, and are easily accessible through the multi-function knob.

The graphic display of the cutting conditions during the cutting process makes it possible even from a distance to see if everything is working correctly.



## AxioWash



We know from experience that maintenance and cleaning are two of the most difficult issues for the users of our equipment. Therefore we have now built an automatic cleaning function into Axiom-5. This pioneering cleaning function is called AxioWash (pat. pend.).

After the automatic cleaning is finished the user only has to clean the horizontal surfaces inside the chamber and the machine is ready for the following day. When AxioWash is used every day, only a minimum of effort is needed to keep the machine in perfect shape.



Simply select AxioWash, set the required time and leave the machine to clean itself. In this way AxioWash releases operator time.



## Database function

Up to 10 different cutting methods can be saved with all the individual cutting parameters.

These programs can be recalled at any time, and especially with MultiCut-4 this provides many advantages.

With MultiCut-4, all cutting positions, with both X- and Z-values, are saved. That allows for rapid changing between cutting programs of differently shaped work pieces without having to reprogram all parameters and positions.

While the automatic X-table moves the work piece into the correct X-position, the cut-off wheel is moving into the correct starting height before each cut, saving a lot of precious cutting time.

CUTTING METHOD: 1	
Date:	MULTICUT 4 2008
Feed:	Sample 2: 32.57 32mm
Spd:	Sample 3: 56.17 18mm
Feed:	Sample 4: 69.07 74mm
Height:	Max table X-position: 69.3mm
Height:	X-table start pos: 9.5mm
Height:	No. of cuts: 4
Height:	Smart pos. / Clean off / New tool.

In MultiCut-4 both X- and Z-values for all cutting positions are recorded.

Struers Axiom-5 Version 2.01	
SERVICE INFO	
Total operation time:	2900 h
Time since last service:	1400 h
Time until next service:	100 h
SPM connected:	Yes

Axiom-5 contains software offering valuable information to the user about the status of the machine.



## Bandfilter unit

With Axiom-5, an advanced band filter unit, Coolimat-200, is offered. This recirculation cooling system offers a combination of unprecedented safety features, high capacity and maximum flexibility.

With the Coolimat-200, swarf is automatically separated from the coolant. It offers a choice between high or medium volume pump to cater for various cutting volumes. A second pump can be connected in order to serve two cutting machines with a single Coolimat-200. An emergency stop button and cover safety switch have been added to maximize safety. Other features include: left/right side configuration, water level indicator and optional magnetic filter.

Additionally, Coolimat-200 comes with a large 200 l tank and 500 m filter paper roll. As a result, the Coolimat-200 is a high capacity and low-maintenance machine that requires only the occasional change of filter paper and coolant replacement.

Please see separate brochure for more information.

## Maintenance monitoring

Axiom-5 is equipped with software offering monitoring functions to inform the user about the status of the machine. At every power-up of the Axiom-5 the total operation time, the time since and until the next service are displayed. This is valuable information for the operator. Regular service extends the total lifetime and ensures the uptime of the machine.



Coolimat-200 for Axiom-5, equipped with 200 l tank, band filter and Cooli-2 control unit.



## Clamping tools

Struers designs solid and easy to use clamping tools to meet any purpose.

We offer an extensive programme of clamping tools to fit regularly as well as irregularly shaped workpieces:

- Quick-clamping tools
- Jaw blocks
- T-slot turntable
- Vertical clamping tools
- Chain spanners
- Adjustable support blocks
- Sliding rail for vertical clamping tools

Please see separate brochure for more information.



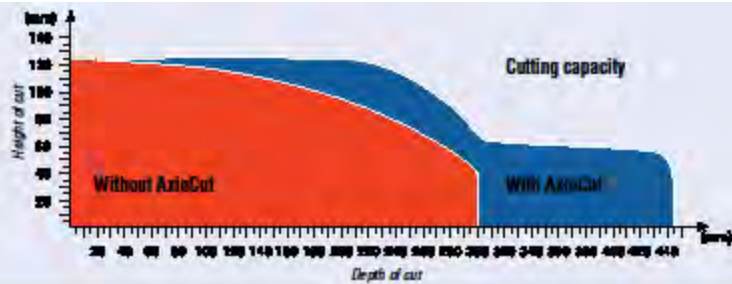
Turnable T-slot table for angular cutting, and jaw blocks for round workpieces.



Adjustable support blocks (turnable, horizontally and vertically adjustable), and vertical clamping tools (optional Arm Extension).

### Technical Data

NB: Please note that the actual cutting capacity depends on the material type and the cut-off wheel wear. It is also important to mention that the cutting capacity cannot be fully utilized when using the quick clamping devices. More flexible clamping tools have to be used to utilize the maximum cutting capacity.



Subject	Specification				
<b>CUTTING SPECIFICATIONS</b>					
<b>Metric / Imperial</b>					
<b>Workpiece Dim. (max)</b>	Height	200 mm / 7.9"			
	Width	650 mm / 25.6"			
	Depth	440 mm / 17.3"			
	Workpiece protruding cutting Chamber*				
	Height	120 mm / 4.7"			
	Depth	170 mm / 6.7"			
	*requires extension box (accessory)				
<b>Cutting Capacity (max)</b>	Max. workpiece diameter	ø125 mm / 4.9"			
	Max. size of cut for irregular workpieces	Please refer to above Cutting Diagram			
<b>PHYSICAL SPECIFICATIONS</b>					
<b>Cutting Motor</b>	Cutting power S1	5.5 - 6.5 kW			
	Cutting power S3	7.7 - 9.2 kW			
	Maximum power	11 - 13 kW			
<b>Cut-off Wheel</b>	Diameter x Thickness x Centre-hole	350 x 2.5 x 32 mm / 14 x 0.12 x 1.26"			
	Rotational speed (at rated load)	1950 rpm			
<b>Positioning &amp; Feed</b>	Positioning range (of cut-off wheel)	0-300 mm			
	Max. height of sample underneath cut-off wheel	200 mm			
	Max. positioning speed	50 mm/sec			
	Feed Speed range (adjustable in steps of)	0.05 - 5 mm/s / 0.002 - 0.2"/s (0.05 mm/s) / (0.002"/s)			
	Cutting force	50-700 N / 10-150 lbf			
<b>Cutting table</b>	Width x Depth	591 x 492 mm / 23.3 x 19.4"			
	T-slots	12 mm			
<b>Dimensions and Weight</b>	Height	1745 mm / 5' 9"			
	Width	1155 mm / 3' 9"			
	Depth	1305 mm / 4' 4"			
	Weight	758 kg / 1670 lbs			
<b>ENVIRONMENT</b>					
<b>Noise level</b>	Approx. 65 dB(A) running idle, at a distance of 1.0 m / 39.4" from the machine.				
<b>ELECTRICAL DATA</b>					
	<b>Specification</b>				
	Cutting Power at constant duty, S1	Cutting Power at Intermittent duty, S3 15%	Max. Power	Nom. Load	Max. Load
<b>Voltage / frequency:</b>					
3 x 200 V / 50 Hz	5.5 kW	7.7 kW	11 kW	24.0 A	59.0 A
3 x 200-210 V / 60 Hz	5.5 kW	7.7 kW	11 kW	22.4 A	56.5 A
3 x 220-230 V / 50 Hz	5.5 kW	7.7 kW	11 kW	20.0 A	50.3 A
3 x 220-240 V / 60 Hz	5.5 kW	7.7 kW	11 kW	19.4 A	45.8 A
3 x 380-415 V / 50 Hz	5.5 kW	7.7 kW	11 kW	11.3 A	28.6 A
3 x 380-415 V / 60 Hz	5.5 kW	7.7 kW	11 kW	11.0 A	26.0 A
3 x 460-480 V / 60 Hz	6.5 kW	9.2 kW	13 kW	11.3 A	26.6 A

## Specifications

### Autom-5

Automatic cut-off machine with ExoCut, AutoCut Step, MultiCut, Direct Cut and OptiFeed. With automatic x-table and automatic y-table. 5.5 - 6.5 kW Motor. For 350 mm dia. cut-off wheels. Cooling unit, drain and clamping tools have to be ordered separately.

Cat. no.	Voltage
06486129	3 x 200 V / 50 Hz
06486130	3 x 200 - 210 V / 60 Hz
06486135	3 x 220 - 230 V / 50 Hz
06486136	3 x 220 - 240 V / 60 Hz
06486146	3 x 380 - 415 V / 50 Hz
06486147	3 x 380 - 415 V / 60 Hz
06486154	3 x 460 - 480 V / 60 Hz

### Autom-5

Automatic cut-off machine with ExoCut, AutoCut Step, Direct Cut and OptiFeed. With automatic y-table. 5.5 - 6.5 kW Motor. For 350 mm dia. cut-off wheels. Cooling unit, drain and clamping tools have to be ordered separately.

Cat. no.	Voltage
06486229	3 x 200 V / 50 Hz
06486230	3 x 200 - 210 V / 60 Hz
06486235	3 x 220 - 230 V / 50 Hz
06486236	3 x 220 - 240 V / 60 Hz
06486246	3 x 380 - 415 V / 50 Hz
06486247	3 x 380 - 415 V / 60 Hz
06486254	3 x 460 - 480 V / 60 Hz

### Autom-5

Automatic cut-off machine with ExoCut, MultiCut, Direct Cut and OptiFeed. With automatic x-table. 5.5 - 6.5 kW Motor. For 350 mm dia. cut-off wheels. Cooling unit, drain and clamping tools have to be ordered separately.

Cat. no.	Voltage
06486329	3 x 200 V / 50 Hz
06486330	3 x 200 - 210 V / 60 Hz
06486335	3 x 220 - 230 V / 50 Hz
06486336	3 x 220 - 240 V / 60 Hz
06486346	3 x 380 - 415 V / 50 Hz
06486347	3 x 380 - 415 V / 60 Hz
06486354	3 x 460 - 480 V / 60 Hz

### Autom-5

Automatic cut-off machine with ExoCut, Direct Cut and OptiFeed. 5.5 - 6.5 kW Motor. For 350 mm dia. cut-off wheels. Cooling unit, drain and clamping tools have to be ordered separately.

Cat. no.	Voltage
06486429	3 x 200 V / 50 Hz
06486430	3 x 200 - 210 V / 60 Hz
06486435	3 x 220 - 230 V / 50 Hz
06486436	3 x 220 - 240 V / 60 Hz
06486446	3 x 380 - 415 V / 50 Hz
06486447	3 x 380 - 415 V / 60 Hz
06486454	3 x 460 - 480 V / 60 Hz

### Autom-5

Automatic cut-off machine with MultiCut, Direct Cut and OptiFeed. With automatic x-table. 5.5 - 6.5 kW Motor. For 350 mm dia. cut-off wheels. Cooling unit, drain and clamping tools have to be ordered separately.

Cat. no.	Voltage
06487329	3 x 200 V / 50 Hz
06487330	3 x 200 - 210 V / 60 Hz
06487335	3 x 220 - 230 V / 50 Hz
06487336	3 x 220 - 240 V / 60 Hz
06487346	3 x 380 - 415 V / 50 Hz
06487347	3 x 380 - 415 V / 60 Hz
06487354	3 x 460 - 480 V / 60 Hz

### Autom-5

Automatic cut-off machine with Direct Cut and OptiFeed. 5.5 - 6.5 kW Motor. For 350 mm dia. cut-off wheels. Cooling unit, drain and clamping tools have to be ordered separately.

Cat. no.	Voltage
06487429	3 x 200 V / 50 Hz
06487430	3 x 200 - 210 V / 60 Hz
06487435	3 x 220 - 230 V / 50 Hz
06487436	3 x 220 - 240 V / 60 Hz
06487446	3 x 380 - 415 V / 50 Hz
06487447	3 x 380 - 415 V / 60 Hz
06487454	3 x 460 - 480 V / 60 Hz

### Drain

Drain for Autom-5 for use with static filter.

### Cat. no.

06489908

Drain for Autom-5 for use with external cooling unit.

### Cat. no.

06489909

### Safety Extension Box for Autom-5

For cutting of long samples protruding the cutting chamber, to be mounted on the left hand side of Autom-5. For samples with a maximum size of h x w: 120 x 170 mm / 4.7" x 6.7"

### Cat. no.

06489911

### Replacement Stainless Steel Bands for Autom-5

60 x 220 mm. Set of 2

### Cat. no.

06489906

60 x 493 mm. Set of 2

### Cat. no.

06489906

Struers' equipment is in conformity with the provisions of the applicable International Directives and their appointment Standards. (Please contact your local supplier for details)

Struers' products are subject to constant product development.

Therefore, we reserve the right to introduce changes in our products without notice.

Autom-5 is protected under EP Pat no. 0743889.



Struers A/S  
Pacemstrøvej 54  
DK-2750 Ballerup, Denmark  
Phone +45 44 600 800  
Fax +45 44 600 801  
struers@struers.dk  
www.struers.com

### AUSTRALIA & NEW ZEALAND

Struers Australia  
27 Mayview Street  
Milton QLD 4064

Australia  
Phone: +61 7 3512 9600  
Fax: +61 7 3269 8200  
info.au@struers.dk

### BELOUIE (Witwaters)

Struers S.A.S.  
315, rue de Marché Rolyay  
F-34537 Champigny  
sur Marne Cedex

Telephone: +33 1 5509 1430  
Télécopie: +33 1 5509 1449  
struers@struers.fr

### BELOUM (Flanders)

Struers GmbH Nederland  
Elektraweg 5

3144 CS Maarsluis  
Telephone: +31 (0) 599 7299  
Fax: +31 (0) 599 7201  
w@struers.nl

### CANADA

Struers Ltd.  
7275 West Credit Avenue  
Mississauga, Ontario L5N 6M9

Phone: +1 905-814-8855  
Fax: +1 905-814-1440  
info@struers.com

### CHINA

Struers Ltd.  
No. 1626 Zhang Jiang Road  
Zhang Jiang Hi-Tech Park  
Shanghai 201200, P.R. China

Phone: +86 (21) 6025 3900  
Fax: +86 (21) 6025 3999  
struers@struers.cn

### CZECH REPUBLIC

Struers GmbH  
Organizační služba  
Havlíkova 561

CZ 252 63 Rudolfov u Prahy  
Phone: +420 233 317 625  
Fax: +420 233 312 640  
cz@struers@struers.dk

### DEUTSCHLAND

Struers GmbH  
Carl-Friedrich-Bauer-Strasse 5  
D-47877 Willich

Telefon: +49 (0) 2154 495 0  
Fax: +49 (0) 2154 495 222  
v@struers.de

### FRANCE

Struers S.A.S.  
315, rue de Marché Rolyay  
F-34537 Champigny  
sur Marne Cedex

Telephone: +33 1 5509 1430  
Télécopie: +33 1 5509 1449  
struers@struers.fr

### IRELAND

Struers Ltd.  
Unit 11 Evolution@ AMP  
Whitby Way, Calcotts  
Rotherham S60 5BL

Tel: +44 0845 604 6664  
Fax: +44 0845 604 6661  
info@struers.co.uk

### ITALY

Struers Italia  
Via Montebello 30/4  
20020 Anco (MI)

Tel: +39 0203232351  
Fax: +39 0203232274  
struers.it@struers.it

### JAPAN

Morimoto Struers K.K.  
Osaka 3rd Building  
18-5, Higashi-Ueno 1-chome

Tokyo-ku, Tokyo 110-0015  
Phone: +81 3 5688 2914  
Fax: +81 3 5688 2927  
struers@struers.co.jp

### NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland  
Elektraweg 5

3144 CS Maarsluis  
Telephone: +31 (0) 599 7209  
Fax: +31 (0) 599 7201  
w@struers.nl

### OSTERREICH

Struers GmbH  
Zweigabteilung Österreich  
Brettenberggasse Puch Nord 2

5412 Puch  
Telefon: +43 6045 70567  
Fax: +43 6045 70567-78  
austria@struers.de

### POLAND

Struers Sp. z o.o.  
Doktor ul. Polzna  
ul. Jamnogońska 44

31-354 Kraków  
Phone: +48 12 661 20 60  
Fax: +48 12 626 91 46  
p@struers.de

### ROMANIA

Struers GmbH  
Suzanna Sibiu  
Str. Scobai de Inel, nr. 18

RO-55000 Sibiu  
Phone: +40 269 244 558  
Fax: +40 269 244 559  
romania@struers.de

### SCHWEIZ

Struers GmbH  
Zweigabteilung Schweiz  
Welschbrunnstrasse 41

CH-8903 Stämmen  
Telefon: +41 44 777 63 07  
Fax: +41 44 777 63 00  
switzerland@struers.de

### SINGAPORE

Struers Singapore  
677A Bidadari Road,  
#07-08 Biz Tech Centre

Singapore 389842  
Phone: +65 6299 2568  
Fax: +65 6299 2561  
struers.sg@struers.dk

### SLOVAKI

Struers Smešt  
Kalkovská 43  
01180 Haličské

Púchlov  
Telefon: +38 (0)207 919 430  
Faks: +38 (0)207 919 431  
slovakia@struers.de

### SWEDEN

Struers Sverige  
Elektravägen 22  
158 69 Brönneby

Telefon: +46 (0)8 447 63 90  
Telefax: +46 (0)8 447 63 99  
info@struers.se

### UNITED KINGDOM

Struers Ltd.  
Unit 11 Evolution@ AMP  
Whitby Way, Calcotts  
Rotherham S60 5BL

Tel: +44 0845 604 6664  
Fax: +44 0845 604 6661  
info@struers.co.uk

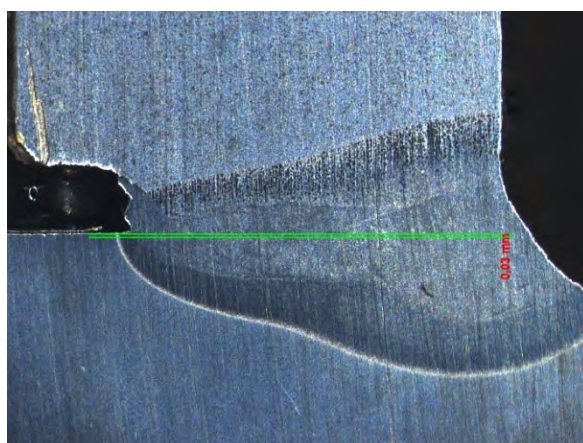
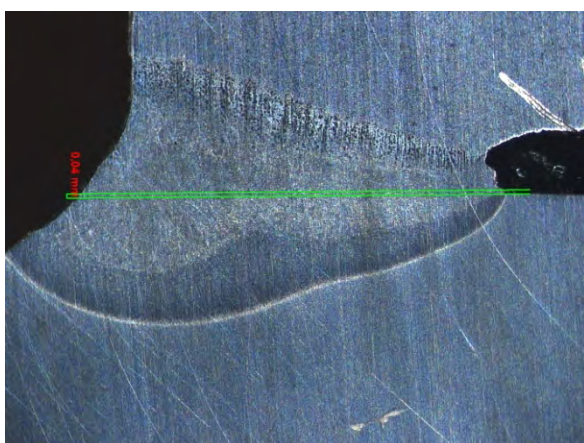
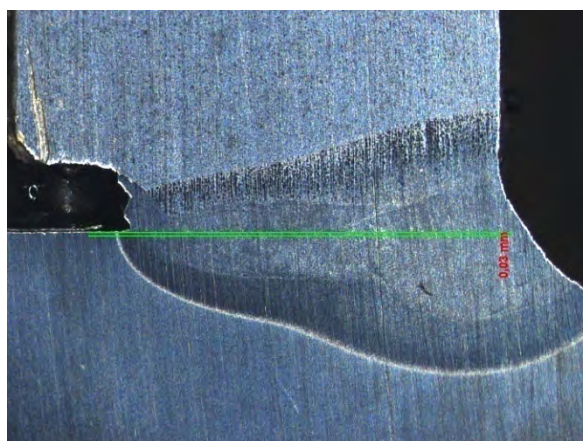
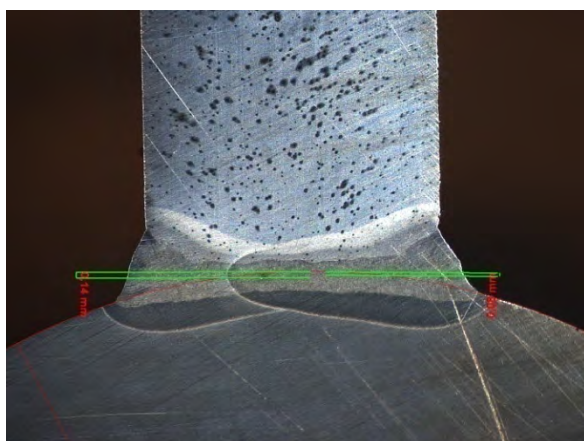
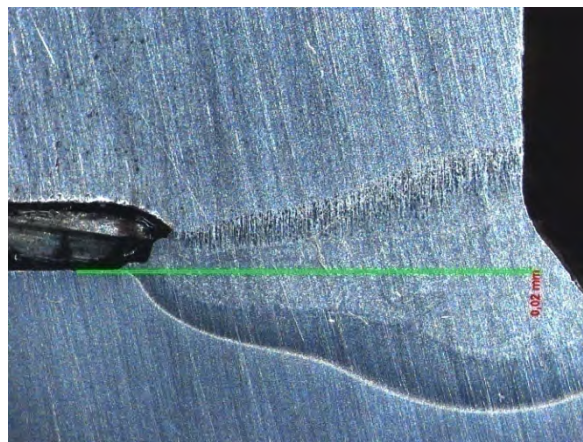
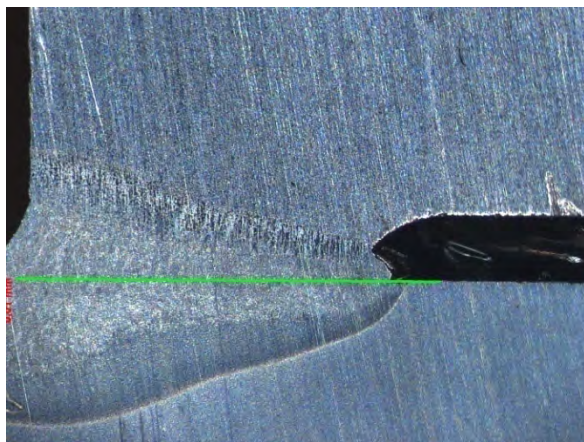
### USA

Struers Inc.  
24/66 Detroit Road  
Westlake, OH 44145-1508

Phone: +1 440 671 9271  
Fax: +1 440 671 8188  
info@struers.com

## PŘÍLOHA 2

Makrometalografické vzorky-ukázky vyhodnocení při pěti násobném zvětšení



# PŘÍLOHA 3

## Protokoly ze smykové zkoušky

Protokol

01.04.2014

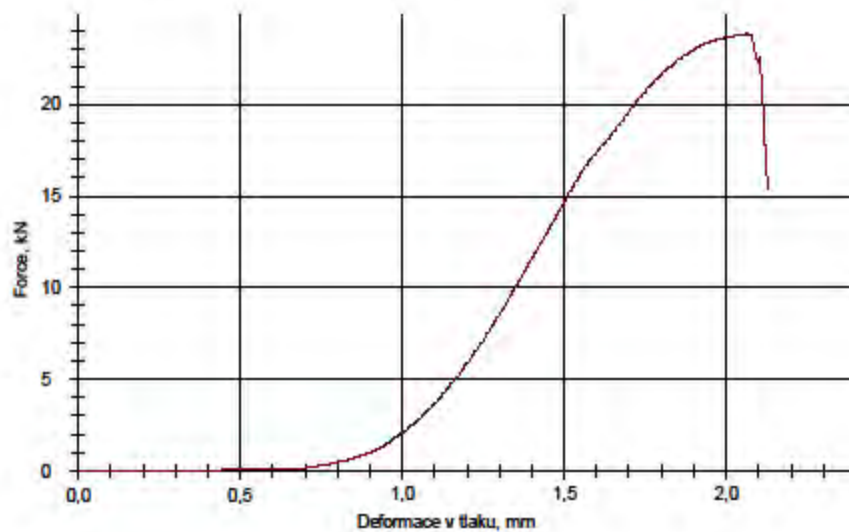
### Parametry:

Číslo objednávky	: F00R L00 1047	Zákazník	:
Sarže	:	Materiál	: L5-ND-UVOL 1
Norma	:	Průtahoměr, snímač dráhy	:
Zkoušel(a)	: HOUSEREK	Snímač síly	:
Předzatižení	: 20 N		
Rychlost předzatižování	: 10 mm/min		
Rychlost zkoušky, řídicí parametr	: 50 mm/min		

### Výsledky:

Nr	Fmax. kN
1	23,84

### Grafické záznamy zkoušek:



### Statistika:

Série	Fmax. kN
n = 1	
x	23,84
s	-
v	-

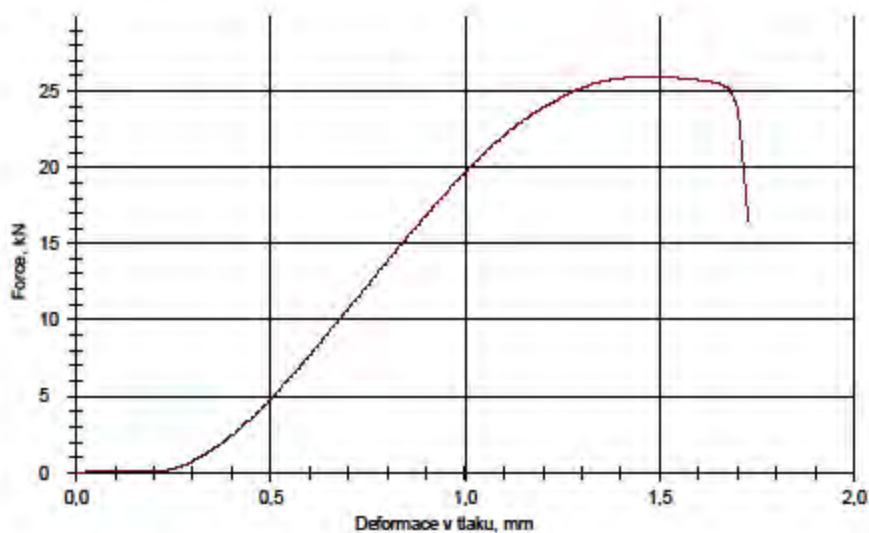
**Parametry:**

Číslo objednávky	: F00R L00 1047	Zákazník	:
Sarže	:	Materiál	: L5-ND-1
Norma	:	Průtahoměr, snímač dráhy	:
Zkoušel(a)	: PARNICKY P.	Snímač síly	:
Předzatížení	: 20 N		
Rychlost předzatěžování	: 10 mm/min		
Rychlost zkoušky, řídicí parametr	: 50 mm/min		

**Výsledky:**

Nr	Fmax. kN
1	26,00

**Grafické záznamy zkoušek:**



**Statistika:**

Série	Fmax. kN
n = 1	
x	26,00
s	-
v	-

# LectroPol-5

 **Struers**

Automatic, micro-processor controlled electrolytic polishing and etching of metallographic specimens



- Scanning function for easy determination of parameters
- Built-in safety features
- Database with methods for various materials
- Short polishing times and maximum reproducibility





Stainless Steel  
500x, DIC

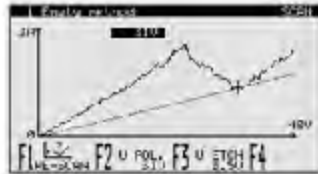


Copper  
500x, DIC

### Scanning function for easy determination of parameters

LectroPol-5 is equipped with a unique scanning function. The sample is placed on the polishing table and a pre-defined voltage range is scanned to determine the current density curve.

This curve is used to define the correct voltage for both polishing and etching.



Instead of time consuming trial and error testing of parameters it is now easy to find the correct settings after a single scan of a new sample material.

Electrolytic polishing has now lost a lot of its "mystery" and is used in a more scientific way to prepare metallographic samples.

### Built-in safety features

With LectroPol-5, all functions are controlled through the advanced software. An increase in electrolyte temperature above a pre-defined limit will automatically result in either a warning or shut-down of the procedure in progress.

Also voltage and current are monitored constantly and if the limits of Lectro-Pol-5 are reached, settings are reduced automatically.

Thus maximum safety for both operator and equipment is provided.

### Database with methods for various materials

10 polishing/etching methods are included with LectroPol-5. A whole range of materials can thus be prepared immediately, without any lengthy and time consuming trials. These methods can also be used as starting point for the development of methods for other materials. 20 user-defined methods can also be saved in the database of LectroPol-5.

### Short polishing times and maximum reproducibility

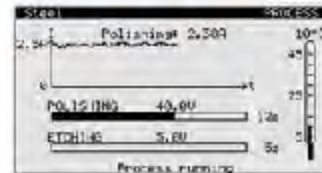
Electrolytic polishing and etching have the advantage of very short preparation times compared to normal mechanical specimen preparation.

Microprocessor control and database functions result in always the exact same parameters being used. LectroPol-5 combines both short preparation times and high reproducibility and is thus the ideal choice for fast quality control requirements.

LectroPol-5 consists of two separate units, the control unit and the polishing unit.

### The control unit

Both the power supply and the programming and monitoring functions are incorporated in the control unit. The unit is operated on the touch pad and on the backlit graphic display all parameters are presented. Upon pressing the Start button, the display



changes, and the ongoing process can be monitored. Parameters like current, electrolyte temperature and elapsed polishing/etching time are displayed. Both the display of parameters before and the display of actual values after process start provide an exceptional amount of immediately useable information. Deviations from one process to the next can be detected straightaway, and necessary measures can be taken. Required changing of electrolyte can be detected before changes of the polishing result will be noticed.

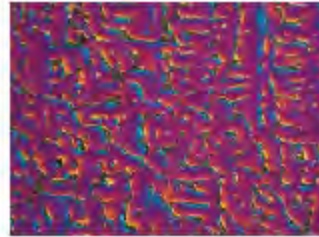
### The polishing unit

The design as a separate unit makes it possible to place the polishing unit away from the control unit. If required the polishing unit can be set up in a fume cabinet while the control unit is set up outside. With an additional start and stop key the process can also be started directly from the polishing unit. The electrolyte is stored in easily exchangeable electrolyte containers which are inserted into the polishing unit.

The pump, driven like a magnetic stirrer, and the cooling coils are lowered into the container. On the polishing table the sample is positioned and electric contact is established through the anode arm. Two different polishing units are available.



Medium  
Carbon Steel  
500x



Aluminium  
alloy cast  
200x, DIC

#### With advanced cooling control

LectroPol-5 is equipped with a built-in measuring and control system, constantly monitoring the electrolyte temperature. As soon as a pre-set temperature is reached, a solenoid valve in the polishing table is activated, allowing water from the water mains or liquid from an external cooling unit to run through the cooling coil in the electrolyte container. This saves precious resources as the flow of cooling water is limited to the periods where the electrolyte temperature is above a pre-set limit.

If no water or cooling unit is connected, or the electrolyte temperature for some other reasons increases further, a warning can be displayed and eventually LectroPol-5 will shut off the process automatically.

#### For polishing at sub-zero temperatures

With this unit, the stainless steel cooling coils are led directly to the back of the polishing unit. There they can be connected to an external cooling unit. The external cooling unit takes over the temperature control and regulation of the electrolyte. With this set-up, materials can be polished at sub-zero temperatures.

#### External etching

LectroPol-5 is also prepared for external etching. This is often used when different electrolytes have to be used

for polishing and etching. Also with external etching a time can be set, and LectroPol-5 will automatically detect when the specimen is lowered into the external etching bowl. Then the countdown is running, and the voltage is terminated when the pre-set time has expired.

#### Accessories

Apart from the standard equipment, we can offer additional accessories for special applications.

#### Switchbox

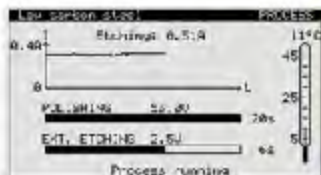
To avoid the constant cleaning when changing between different electrolytes, LectroPol-5 can be equipped with two polishing tables and a switchbox to change between these two tables.

#### Extension arm

For the preparation of high specimens an extension arm can be mounted.



The transparent masks facilitate monitoring the electrolyte level and the adjustment of the electrolyte flow.



## Technical Data

### Power Supply

50/60Hz (max. load 9.8A)	1 x 100V / 120V
50/60Hz (max. load 4.9A)	1 x 220V / 240V

### Output voltage/current

Polishing	0 - 100V	(1V steps) / 6A
Etching	0 - 25V	(0.5 V steps) / 6A
External Etching	0 - 15V	(0.5 V steps) / 1.5A

### Software and Electronics

Display	128 x 240 dots (16 x 40 characters)
Controls	Touch pad
Database	10 Struers methods + 20 user definable methods (non volatile)

## Dimensions and Weight

	Control unit	Polishing unit
Width	385 mm / 15.2"	220 mm / 8.7"
Depth	350 mm / 13.8"	350 mm / 13.8"
Height	160 mm / 6.3"	160 mm / 6.3"
Weight	18 kg / 40 lbs	6.3 kg / 14 lbs

## Specifications

### LectroPol-S

Fully automatic, microprocessor controlled electrolytic polishing and etching apparatus. Complete with control unit, polishing unit (04936201) and external etching unit (02250121). One set of masks (04936915) and two electrolyte containers (04936902) included.

Col. no.

Control unit with external etching device	04936233
Polishing unit with one set of masks (04936915) and two electrolyte containers (04936902)	04936201
Polishing unit for polishing at sub-zero temperatures, with one set of masks (04936915) and two electrolyte containers (04936902)	04936202
Switchbox for the connection of two polishing units to a LectroPol-S Control Unit.	04936911
Extension Arm, for the preparation of specimens up to 100 mm high. Can be mounted on pol. unit 04936202 and on pol. unit 04936201 from serial no. 4935250	04936909
1 set of masks (0,5, 1, 2, 5 cm <sup>2</sup> and 1 without aperture.)	04936915
1 set of 5 masks 0,5 cm <sup>2</sup>	04936916
1 set of 5 masks 1 cm <sup>2</sup>	04936917
1 set of 5 masks 2 cm <sup>2</sup>	04936918
1 set of 5 masks 5 cm <sup>2</sup>	04936919
1 set of 5 masks without aperture	04936920
Electrolyte container with lid	04936902
External etching unit	02250121

## List of Electrolytes

A2	A3	D2
Aluminium	Martensitic Steel	Brass
Iron	Molybdenum	Copper
Nickel	Stainless Steel	Gold
Silver	Titanium	
Stainless Steel	Vanadium	
Steels	Zirconium	
Tin		
Titanium		

Struers' equipment is in conformity with the provisions of the applicable International Directives and their appropriate Standards. (Please contact your local supplier for details)

Struers' products are subject to constant product development. Therefore, we reserve ourselves the right to introduce changes in our products without notice.



**Struers A/S**  
Pilestrævej 54  
DK-2750 Ballerup, Denmark  
Phone +45 44 600 800  
Fax +45 44 600 801  
struers@struers.dk  
www.struers.com

### AUSTRALIA & NEW ZEALAND

**Struers Australia**  
27 Maymown Street  
Melbourne VIC 3004  
Australia  
Phone +61 7 3612 9600  
Fax +61 7 3369 8200  
info.au@struers.dk

### BEIJING (WUJIAO)

**Struers S.A.S.**  
37/3, rue de Marché Holbay  
F-34507 Champigny  
sur Marne Cedex  
Telephone +33 1 5609 1430  
Télécopie +33 1 5609 1449  
struers@struers.fr

### BEIJING (FANDAN)

**Struers GmbH Nederland**  
Eldkruweg 5  
3144 CB Maassluis  
Telephone +31 (0) 599 7209  
Fax +31 (0) 599 7201  
netherlands@struers.de

### CANADA

**Struers Ltd.**  
7275 West Credit Avenue  
Mississauga, Ontario L5M 5M5  
Phone +1 905-814-8855  
Fax +1 905-814-1443  
info@struers.com

### CHINA

**Struers Ltd.**  
No. 1696 Zhang Hong Road  
Zhang Jiang Hi Tech Park  
Shanghai 201203, P.R. China  
Phone +86 (21) 6205 3900  
Fax +86 (21) 6205 3999  
struers@struers.cn

### CZECH REPUBLIC

**Struers GmbH**  
Organizační služba  
Havlíkova 361  
CZ-252 63 Hornáky u Prahy  
Phone +420 233 312 625  
Fax +420 233 312 640  
czechrepublic@struers.de

### DEUTSCHLAND

**Struers GmbH**  
Carl-Friedrich-Gauß-Strasse 5  
D-47677 Willich  
Telephone +49 (0) 2154 486 0  
Fax +49 (0) 2154 486 222  
verkauf@struers.de

### FRANCE

**Struers S.A.S.**  
37/3, rue de Marché Holbay  
F-34507 Champigny  
sur Marne Cedex  
Telephone +33 1 5609 1430  
Télécopie +33 1 5609 1449  
struers@struers.fr

### HUNGARY

**Struers GmbH**  
Magyarország Főváros  
Tudai utca 53  
2021 Gyermely  
Phone +36 (34) 880546  
Fax +36 (34) 880547  
hungary@struers.de

### IRELAND

**Struers Ltd.**  
Unit 11 Evolution@ AMP  
Whittle Way, Colcliffs  
Rotherham S60 5BL  
Tel. +44 0845 604 6664  
Fax +44 0845 604 6651  
info@struers.co.uk

### ITALY

**Struers Italia**  
Via Monte Grappa 80/4  
20020 Anso (MI)  
Tel. +39 02/3223281  
Fax +39 02/3223274  
struers\_italia@struers.it

### JAPAN

**Marmele Struers K.K.**  
Takara 3rd Building  
18-5, Higashi-Utsugi 1-chome  
Taka-ku, Tokyo 116-0015  
Phone +81 3 5688 2914  
Fax +81 3 5688 2907  
struers@struers.co.jp

### NETHERLANDS

**Struers GmbH Nederland**  
Eldkruweg 5  
3144 CB Maassluis  
Telephone +31 (0) 599 7209  
Fax +31 (0) 599 7201  
netherlands@struers.de

### ÖSTERREICH

**Struers GmbH**  
Zweig Niederösterreich Österreich  
Geldmühlgabel Post Nord 8  
5412 Puch  
Telefon +43 6245 76567  
Fax +43 6245 76567-78  
austria@struers.de

### POLAND

**Struers Sp. z o.o.**  
Osiedle w Polcu  
ul. Jasnogórska 44  
31-358 Kraków  
Phone +48 12 661 29 60  
Fax +48 12 626 01 46  
poland@struers.de

### ROMANIA

**Struers GmbH**  
Suceavala Sibiu  
Str. Suceavala de Nord, nr. 18  
RO-550005 Sibiu  
Phone +40 259 244 558  
Fax +40 259 244 559  
romania@struers.de

### SCHWEIZ

**Struers GmbH**  
Zweig Niederösterreich Schweiz  
Welschbrunnstrasse 41  
CH-8903 Birnschdorf  
Telefon +41 44 777 63 07  
Fax +41 44 777 63 09  
schweiz@struers.de

### SINGAPORE

**Struers Singapore**  
627A, Aljunied Road,  
#01-38 Birchbeck Centre  
Singapore 388842  
Phone +65 6299 2568  
Fax +65 6299 2561  
struers.sg@struers.dk

### SLOVENIJA

**Struers Slovenija**  
Kaleznikova 43  
10180 Ljubljana  
Phone +386 (0)20 519 430  
Faks +386 (0)20 519 431  
slovenia@struers.it

### SWEDEN

**Struers Sverige**  
Eldkruvedagen 22  
168 69 Brännåsa  
Telephone +46 (0)8 447 53 90  
Telefax +46 (0)8 447 53 99  
info@struers.se

### UNITED KINGDOM

**Struers Ltd.**  
Unit 11 Evolution @ AMP  
Whittle Way, Colcliffs  
Rotherham S60 5BL  
Tel. +44 0845 604 6664  
Fax +44 0845 604 6651  
info@struers.co.uk

### USA

**Struers Inc.**  
24756 Detroit Road  
Westlake, OH 44145-1598  
Phone +1 440 871 8071  
Fax +1 440 871 8188  
info@struers.com

## PŘÍLOHA 5



### List nabízených elektrolytů

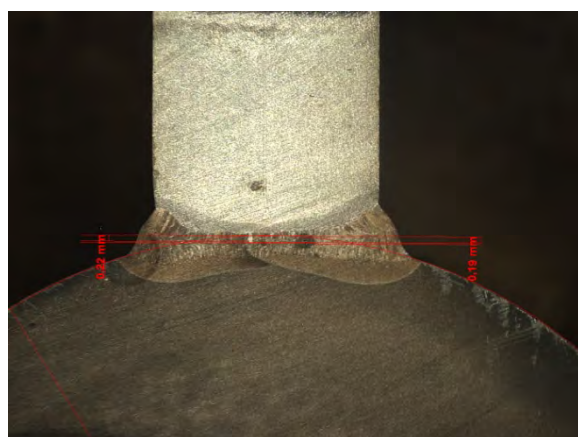
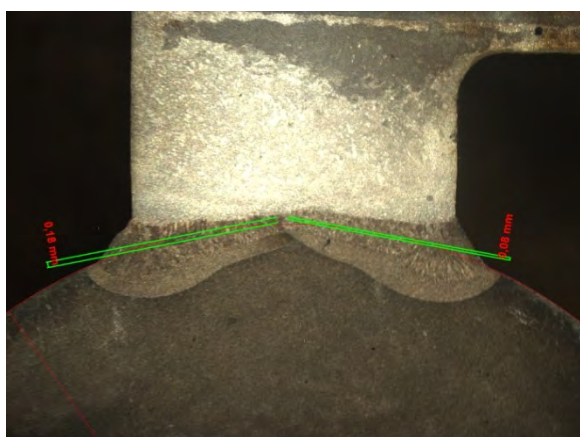
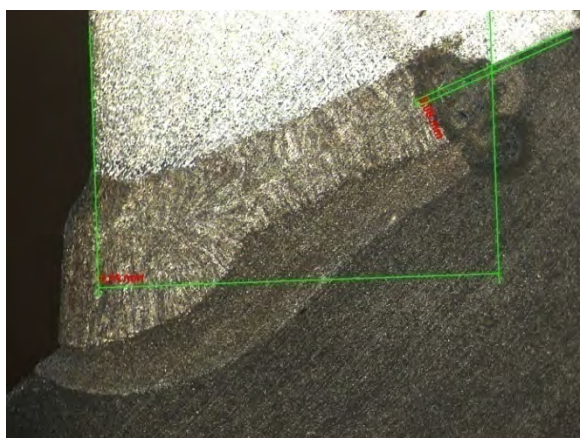
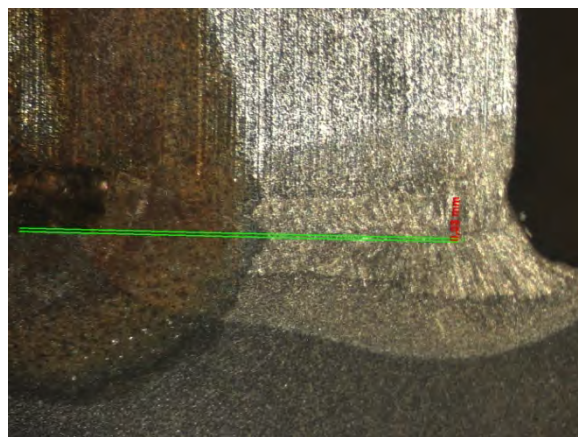
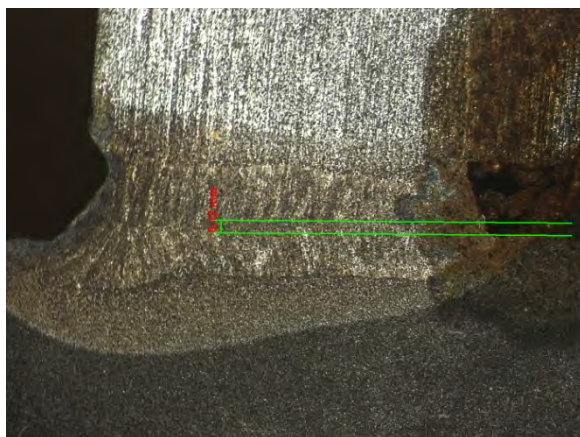
Elektrolyt	Materiál
Elektrolyt A2	Hliník Antimon Beryllium Nikl Stříbro Nerezová ocel Ocel Cín Titan
Elektrolyt A3	Martenzitická ocel Mangan Molybden Nerezová ocel, velké plochy Titan Vanad Zirkon
Elektrolyt A5	Olova Cín Uran
Elektrolyt A6	Hliník Kobalt Ocel Cín
Elektrolyt A8	Austenitická ocel Chrom Hafnium Nikl Nerezová ocel Thorium Titan
Elektrolyt AC2	Beryllium Litina Nízko uhlíková ocel Hořčík Nikl Nerezová ocel

Elektrolyt B1	Antimon Kobalt Germanium Hořčík
Elektrolyt C1	Kadmium Hořčík Olovo Zinek
Elektrolyt D2	Mosaz Měď Zlato
Elektrolyt E2	Mosazi Měď Cerium Zlato Indium
Elektrolyt E5	Mosaz Bronz Uhlíková ocel Litina Materiály s velmi odlišnými strukturálními elementy
Elektrolyt F1	Slitý křemík Vlákno

Některé materiály se mohou leštit a leptat s více než jedním elektrolytem. Správná volba závisí na kompozici materiálu, požadavku na finální výsledek a použitém zařízení.

## PŘÍLOHA 6

Fotografie vzorků z testů elektrochemického leptání



## PŘÍLOHA 7

### Náklady na spotřební materiál za rok 2013

Druh materiálu	Označení	Cena/ks	Spotřeba/měsíc	Velikost mm/počet ks	Náklady v Kč/měsíc	Zásoba	Objem m3/měsíc
Papír brusný APEX DGD70	41-5212	5450	15	330x315x20/5	81750	45	0,006
Plátno brusné 180	30-5233-180	43	150	315x325x10/100	6450	450	0,002
Plátno leštící Trident D 300 mm	40-7522	359	40	325x315x50/10	14360	120	0,02
		5852	205	150	Měsíc 102560	615	0,028
					Rok	1230720	2480

# PŘÍLOHA 8

## Cenová nabídka firmy STRUERS






BOSCH DIESEL s.r.o.

Quality control  
Radek Attasek  
Na Doloch 4a  
586 01 Jihlava  
Czech Republic

Nabídka: LectroPol-5

Číslo nabídky: 16384-24716  
Zákaznické číslo: 061000307

Datum: 19.3.2014  
kontakt: Petr Smutný  
+420 ( ) 233 312 625  
petr.smutny@struers.de

Číslo produktu	Popis produktu	Mn	Jedn. cena	%	Celkem EUR
04936133	 <b>LectroPol-5</b> Plně automatické, mikroprocesorem řízené zařízení pro elektrolytické leštění a leptání s kontrolní jednotkou (LECOP) a lešticí jednotkou (LECTA). 1 x 220-240 V / 50-60 Hz, nastavitelné na 1 x 100-120 V / 50-60 Hz 1 x 220-240 V / 50-60 Hz, changeable to 1 x 100-120 V / 50-60 Hz	1	11,616.00	10.0%	10,454.40
04936915	 <b>Masky pro LectroPol-5, 0,5, 1, 2, 5 cm2</b> Pro LectroPol-5 lešticí jednotku Sada s 0,5, 1, 2, 5 cm2 maskami a jednou bez otvoru	1	221.00	10.0%	198.90
04936902	 <b>Nádoba pro elektrolyt pro LectroPol-5</b> S víčkem. Pro LectroPol-5 lešticí jednotku. 02250121	3	140.00	10.0%	378.00

30 sask Struers - Organizační složka  
Havlíkova 381  
202 63 Pustky u Prahy  
Czech Republic

email: [cs@struers.de](mailto:cs@struers.de)  
[www.struers.com](http://www.struers.com)  
Phone: +420 ( ) 233 312 625  
Fax: +420 ( ) 233 312 640

Ústřední úřad Česká republika, s.r.o.  
IČ: 24920299  
Sídlo: Ústřední úřad Česká republika  
Číslo účtu: 44710000000000000000



Číslo nabídky: 16384-24716

1-4

Číslo produktu	Popis produktu	Mn	Jedn. cena	%	Celkem EUR
40900008	*** Elektrolyt pro LectroPol-, Polectrol, Movipol- a TenuPol-, 1 L. Hmotnost brutto Elektrolyt A2. Elektrolyt na ocel, ušlechtilou ocel, hliník a slitiny hliníku, nůž, cínu a titanu. Univerzální elektrolyt pro LectroPol-, Polectrol a Movipol- 1 L	1	54.60	17.0%	45.32
300100	Installation and Training Product Group 1	1	315.00	10.0%	283.50
			<b>mezirozet:</b>		<b>11,360,12</b>



Číslo produktu	Popis produktu	Mn	Jedn. cena	±%	Celkem EUR
	<b>Accessories in option</b>				
DE-LWG173	<b>Chladicí jednotka WKL 1000</b> K použití pro metalografické lisy, elektrolytické leštění a leptání, pro snížení nákladů. Zabraňuje přehřívání chladicí vody při větší činnosti zapékání. Rozsah -10 do +40°C Dávkovací výkon 30 l/min / 1,0 bar Chladicí výkon 20 °C, 1,0 kW Objem 12 l Napájení 1 x 230 V / 50 Hz Rozměry Š 350 x H 480 x V 600 mm	1	4,088.00	10,0%	3,679.20
04936909	<b>Extension Arm</b>	1	245.00	10,0%	220.50
			<b>meziúčet:</b>		<b>3,899.70</b>



Cena celkem bez DPH	EUR	15,289.82
DPH (21.00 %)	EUR	3,204.56
Celkem s DPH	EUR	18,494.38

hmotnost: 33

**Dodací a platební podmínky:**

Platnost nabídky do:	18.4.2014
Dodací podmínky:	CIP
Platební podmínky:	30 dní
Termín dodání:	6-8 týdnů
Záruka v letech:	2 při jednosměrném provozu
Všeobecné obchodní podmínky:	<a href="http://www.struers.com/modules/termsandconditions">www.struers.com/modules/termsandconditions</a>

Struers Brno - Organizační unit  
Havlíkova 311  
312 03 Pustky u Prahy  
Česká republika

email: [cs@struers.com](mailto:cs@struers.com)  
[www.struers.com](http://www.struers.com)  
Phone: +420 (0) 220 312 828  
Fax: +420 (0) 220 312 940

Ústředí Brno Česká republika, s.r.o.  
IČ: 24310299  
Reg. číslo: 0700 0030 0030 0700 0001  
Číslo účtu: 46730000010700



Číslo nabídky: 1034-04719

4-4

## PŘÍLOHA 9

### Souhlas s využitím dat z experimentu Struers

Petr.Smutny@struers.de

RE: Prosba

28. 4. 2014, 8:45:14

Komu: radek.attasek@seznam.cz

Dobrý den pane Attasku,  
Samozřejmě svolení máte.  
Hlavně ať to dobře dopadne.  
Mějte se.

S pozdravem / Best regards

Petr Smutny  
Sales Engineer  
Sales Czech Republic / Slovakia

#### Struers GmbH, organizační složka

Havlíčková 361  
252 63 Roztoky u Prahy  
Czech Republic

+420 739 640 003 (mobile)

[petr.smutny@struers.de](mailto:petr.smutny@struers.de)

[www.struers.com](http://www.struers.com)



---

DIC: CZ26771209

Managing Directors: Dr. Volkmar Prill, Hermann Keizers

Country Manager: David Cernický

**From:** radek attasek [mailto:radek.attasek@seznam.cz]

**Sent:** 27. dubna 2014 21:30

**To:** Smutny, Petr

**Subject:** Prosba

Dobrý den pane Smutný.  
Chtěl bych Vás touto cestou poprosit o formální povolení zveřejnit výsledky provedených testů.  
Doufám, že se mně brzy podaří prosadit zavedení do praxe.  
Děkuji za Váš čas.  
Radek Attasek

## **PŘÍLOHA 10**

### **Souhlas s využitím dat z experimentu IRNDT Ultrasound**

-----Original Message-----

From: Michal Švantner [mailto:michal.svantner@gmail.com]

Sent: Tuesday, April 29, 2014 8:24 AM

To: Attasek Radek (JhP/MFR22.2)

Subject: Publikace výsledků IRNDT

Dobrý den pane Attasku,  
v příloze posílám zprávu "IRNDT Ultrasound - analýza svarů na vysokotlakém zásobníku RAIL" s označením NTC-VYZ-14-037. Souhlasíme s využitím a publikací výsledků a fotodokumentace uvedených v této zprávě ve Vaší diplomové práci.

Do Vaší práce uveďte souhrnné poděkování ve tvaru "Práce byla řešena s využitím přístrojové techniky projektu CENTEM s registračním číslem CZ.1.05/2.1.00/03.0088, který je spolufinancován z ERDF v rámci programu MŠMT OP VaVpl."

V případě obrázků nebo fotodokumentace uveďte v popisu zdroj ve formě "Zdroj: ZČU-NTC"

S pozdravem  
Michal Švantner

-----  
Výzkumné centrum Nové technologie  
Západočeská univerzita v Plzni  
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň

tel.: 37763 4721  
mob.: 737 914978  
e-mail: msvantne@ntc.zcu.cz  
<http://ttp.zcu.cz>  
-----