



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ANALÝZA VLIVU MATERIÁLU A TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ NA PROCES LISOVÁNÍ TĚSNICÍHO KROUŽKU A JEJICH OPTIMALIZACE

ANALYSIS OF THE MATERIAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON
THE INSERTION OF A SEALING RING AND THEIR OPTIMIZATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Ondřej MUNDUCH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

BRNO 2013

Zadání....

Zadání.....

ABSTRAKT

Tento projekt řeší problematiku lisování hřídelového těsnicího kroužku do příruby. Vliv změny materiálu příruby na statickou netěsnost mezi přírubou a těsnicím kroužkem při zachovaných procesních parametrech. Návrh optimálního použití procesních kapalin za účelem eliminace netěsností.

Klíčová slova

Příruba, hřídelový těsnicí kroužek, lisování, olej, CP4

ABSTRACT

This project addresses the issue of pressing sealing shaft ring in the flange. Effect of flange material changes to static leakage between the flange and the sealing ring, the surviving process parameters. An optimal use of process fluids to eliminate leaks.

Key words

Flange, sealing shaft ring, stamping, oil, CP4

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MUNDUCH, O. *Analýza vlivu materiálu a technologických parametrů na proces lisování těsnicího kroužku a jejích optimalizace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 59 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Analýza vlivu materiálu a technologických parametrů na proces lisování těsnicího kroužku a jejich optimalizace** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Ondřej MUNDUCH

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto rodině, přátelům, vedoucímu diplomové práce a pracovníkům ze společnosti Bosch Diesel s. r. o. v Jihlavě za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH	8
ÚVOD	10
1 FUNKCE A SLOŽENÍ VYSOKOTLAKÉHO ČERPADLA CP4.....	11
1.1 Výroba CP4 ve světě	12
1.2 Výroba CP4 v České Republice.....	12
1.2.1 Výroba těles	13
2 HŘÍDELOVÉ TĚSNICÍ KROUŽKY	13
2.1 Definice a popis hřídelových těsnicích kroužků.....	13
2.1.1 Princip těsnosti	14
2.1.2 Výroba těsnicích hřídelových kroužků	15
3 ANALÝZA KOMPONENT	15
3.1 Výroba přírub a jejich materiál.....	15
3.1.1 Popis „standardní“ příruby	16
3.1.2 Popis „robustní“ příruby.....	17
3.1.3 Popis hřídelového těsnicího kroužku WDR.....	19
4 MONTÁŽNÍ PROCES.....	21
4.1 Lisované spoje a výpočet.....	22
5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU PROCESU	25
5.1 Proces obrábění Ø37H7.....	25
5.2 Procesní předpis lisování ⁶	25
5.3 Nastavení lisovacího procesu na stroji	28
5.3.1 Současné nastavení strojů	29
5.4 Statistické vyhodnocení sledovaných rozměrů.....	34
6 NÁVRH A PROVEDENÍ TESTŮ	37
6.1 Úprava procesu obrábění přírub	37
6.2 Úprava procesu mazání	39
6.2.1 Testy vlivu polohy mazacího přípravku vůči přírubě	40
6.2.2 Proces optimalizace času čekání na odjezd přípravku	43
6.2.3 Test ověření vlivu časové prodlevy mezi rotačními pohyby	44
6.2.4 Testy s cílem snížit množství spotřebovaného oleje	45
7 ZHODNOCENÍ VYBRANÉ VARIANTY	50

7.1 Ekonomické vyhodnocení současné varianty nastavení	50
7.2 Vyhodnocení spotřeby oleje vybrané varianty	51
7.3 Porovnání stavů před a po změně.....	51
7.3.1 Porovnání z pohledu nastavení	51
7.3.2 Porovnání z pohledu ekonomického.....	53
ZÁVĚR	55
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
Seznam použitých symbolů a zkratk	58
SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Tento diplomový projekt vznikl ve společnosti Bosch Diesel s. r. o. v Jihlavě. Postupným vývojem výroby vysokotlakých čerpadel CP4 došlo k optimalizaci montáže, ale i přidružených výrob. Zákazník požaduje nejvyšší jakost za nejnižší cenu. To vede společnost k optimalizaci výrob, směrem k co nejnižším výrobním nákladům, při zachování stávající jakosti. Jednou z částí optimalizace výroby byla i změna technologie výroby a montáže příruby čerpadla, spojená se změnou materiálu příruby.

V tomto projektu bude popsána změna materiálu a důsledky této změny na montážní proces. Následně budou realizovány testy vedoucí k optimalizaci množství procesních kapalin v průběhu montážního procesu, a také navržení optimální jakosti dodávaných přírub. V projektu se budou místy objevovat díly čerpadel označené jen německými názvy. Půjde o komponenty, pro které se tyto názvy běžně používají, firma nepoužívá jejich český ekvivalent. Označování těchto komponentů není pro projekt důležité a není třeba ho řešit.

Společnost Bosch Diesel s. r. o. v Jihlavě byla založena 4. ledna 1993 jako společný podnik jihlavského strojírenského podniku Motorpal a. s. a německé firmy Robert Bosch GmbH ve Stuttgartu. V roce 1996 se stává výhradním vlastníkem této společnosti firma Robert Bosch GmbH a začíná budovat vlastní výrobní prostory.

Nosným produktem se stala v roce 1994 řadová čerpadla, jejichž výroba byla nahrazována výrobou PDM čerpadel a balicích strojů. Následně se program rozšířil o sériové opravy rotačních čerpadel a vstřikovacích jednotek.

V roce 2000 byla koupena výrobní hala firmy Alfatex, kde vznikl druhý jihlavský závod pro výrobu railů (tlakový zásobník paliva). V roce 2001 byl postaven třetí jihlavský závod, ve kterém se od roku 2002 vyrábí čerpadlo CP3 ve dvou výrobních halách. Třetí výrobní hala byla postavena v roce 2005 a začala s výrobou čerpadel CP1H, které v roce 2012 nahradila čerpadla CPN5.

Od roku 2008 začala sériová výroba čerpadel CP4, která jsou v současnosti stěžejním produktem jihlavského závodu.

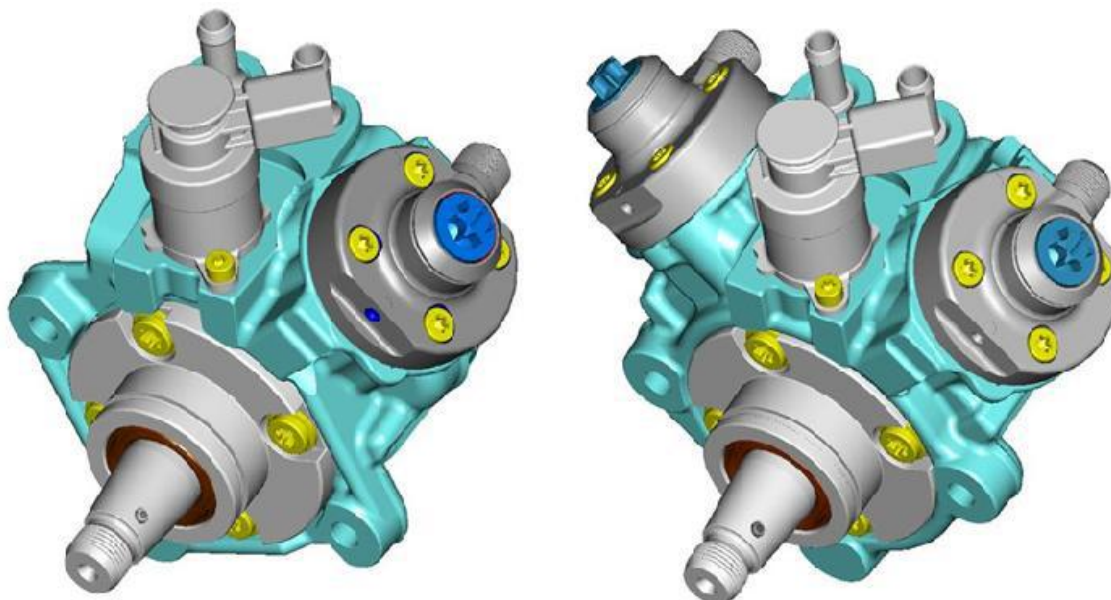
1 FUNKCE A SLOŽENÍ VYSOKOTLAKÉHO ČERPADLA CP4

Pro čerpadlo CP4 je charakteristický pohon vačkovou hřídelí. CP4 se nabízí ve dvou základních variantách, jejichž modely jsou zobrazeny na obr. 1.1 CP4.1 s jednou vysokotlakou hlavou válce a CP4.2 se dvěma vysokotlakými hlavami válce.

Díky důsledné modulární konstrukci je těleso jediným rozdílným komponentem mezi oběma základními čerpadly, ostatní díly jsou stejné.

V současné době se CP4 vyrábí pro tlak až 2000 bar a může být použito jak v osobních, tak v užitkových vozech s výkonem do 350 kW. Další z mnohých inovací je například převodový poměr mezi otáčkami čerpadla a motoru, který může být až 1:1. Doposud byly realizovány převody v poměru 1:2 a 2:3, přičemž čerpadlo se otáčí pomaleji než motor.

CP4 je navíc navrženo s dvojitou vačkou. Zatímco dříve byl možný pouze jeden podávací zdvih na jednu otáčku čerpadla, mohou se dnes na jednu otáčku vykonat dva podávací zdvihy pro každou hlavu čerpadla.



Obr. 1.1 Modely vysokotlakého čerpadla CP4.1 a CP4.2¹

1.1 Výroba CP4 ve světě

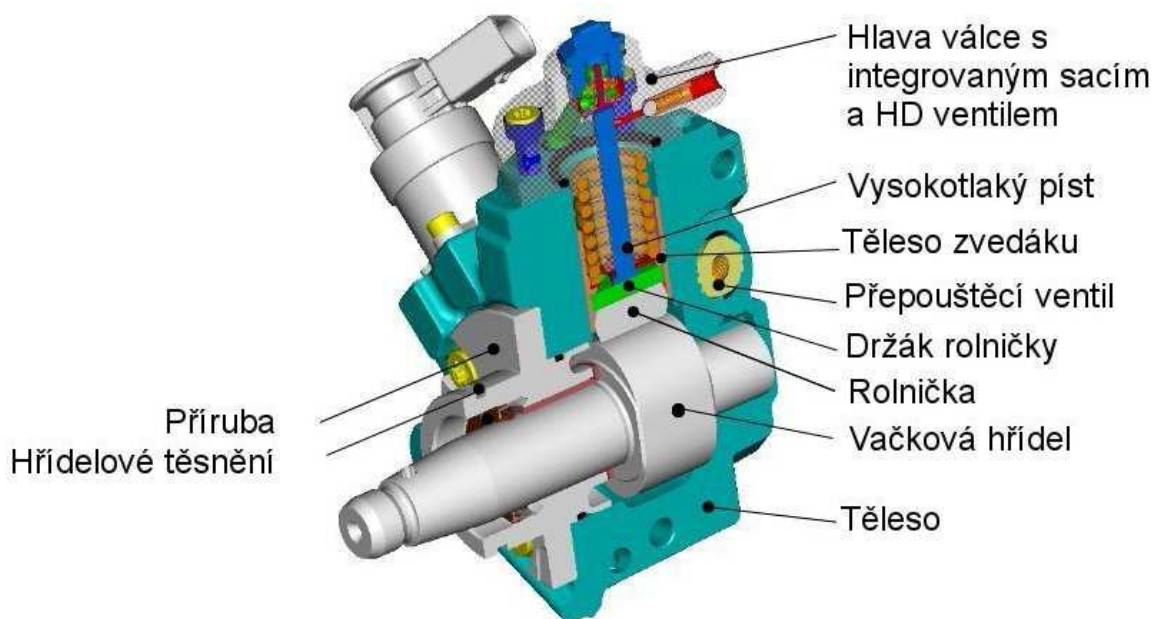
Sériová výroba CP4 začala v roce 2006 ve Feuerbachu v Německu s pilotním zákazníkem BMW. Druhým závodem v mezinárodní síti pro výrobu čerpadel CP4 je Jihlava, která zahájila sériovou výrobu v lednu 2008 pro Volkswagen. V současné době je spektrum zákazníků a modelů výrazně rozšířeno.

1.2 Výroba CP4 v České Republice

Čerpadlo CP4 se v České Republice vyrábí v jednom ze tří závodů Bosch Diesel v Jihlavě, v místní části Pávov.

V Jihlavě probíhá kompletní montáž CP4 a dále se zde montují a obrábí komponenty pro montáž. Na obr. 1.2.1 je zobrazen řez čerpadlem, na kterém jsou některé části čerpadla označeny. Vyrábí se zde tělesa čerpadel, příruby, písty a hlavy válců. Z komponentů, které se v Jihlavě před vlastní montáží kompletují, jsou hlavy válců (dále ZK – Zylinderkopf, německý název dílce, zvedáky (dále RS – Rollenstössel, německý název dílce), sací (dále SV – Saughventil, německý název dílce) a přepouštěcí ventil (dále Üv – Überstromventil, německý název dílce).

Ostatní komponenty se vyrábí v jiných závodech Bosch nebo se nakupují.



Obr. 1.2.1 Řez čerpadlem CP4¹

1.2.1 Výroba těles

Stručný přehled výrobních operací:

- obrábění odlitku z hliníkové slitiny,
- vyražení datamatrix kódu (DMC - vyražené označení dílce),
- lisování ložiskového pouzdra pro vačkovou hřídel,
- vysokotlaké odjehlení,
- čištění ve vodní lázni.

Materiál odlitku – AlSi12CuNiMg, slitina hliníku s příměsí legur (legující přísada), hlavní legura Si (10,5 – 13,5%) pro zvýšení otěruvzdornosti, dále Fe, Cu, Mn, Mg, Ni.

Výroba odlitku – přesné lití v permanentní formě s pískovým jádrem, odlitek temperován a chlazen do vody a následné umělé stárnutí.

Vlastnosti odlitku – tvrdost min. 110 HBW, pevnost v tahu $240 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$.

Základní rozdělení těles:

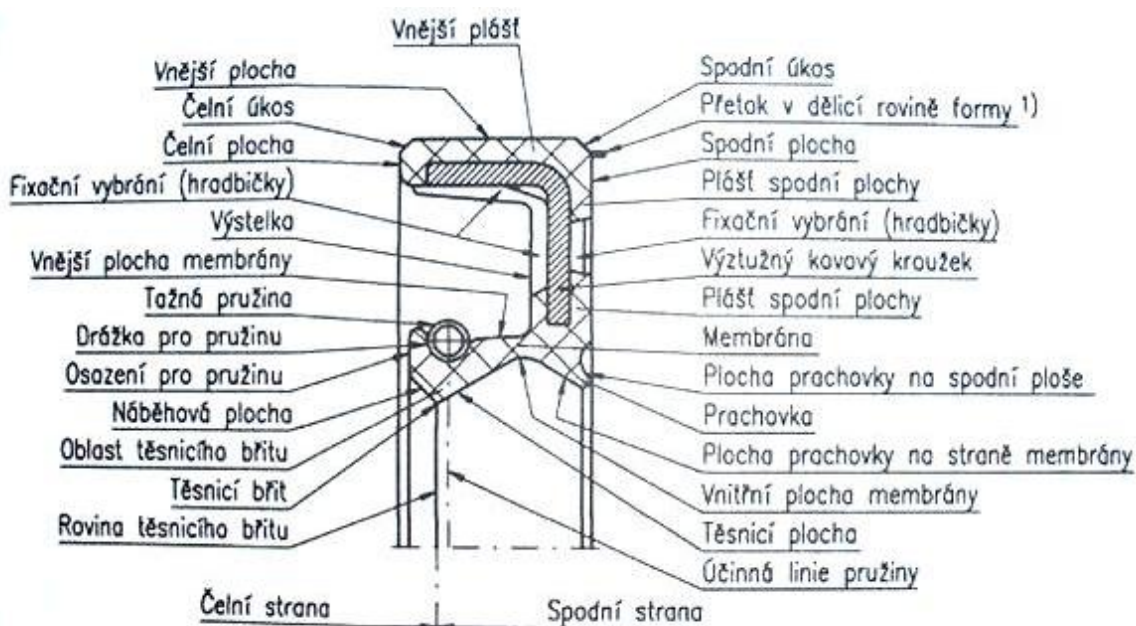
- tělesa pro jedno a dvou válcová čerpadla,
- varianty EKP (pomocné elektrické čerpadlo), EKPC (kompaktní čerpadlo), RPX, AZP (pumpa s pomocným zubovým čerpadlem) a DGP.

2 HŘÍDELOVÉ TĚSNICÍ KROUŽKY

2.1 Definice a popis hřídelových těsnicích kroužků

Hřídelové těsnicí kroužky GUFERA (HTK) jsou dotykové těsnicí prvky určené pro utěsnění otáčejících se hřídelů a dalších strojních součástí. Svou funkcí zabezpečují těsné oddělení dvou prostředí stejného nebo různého charakteru s malým tlakovým spádem. Stupeň utěsnění závisí na provozních podmínkách těsněné součásti a požadavcích na životnost těsnění³.

Na obr. 2.1.1 je základní provedení HTK GUFERA. Další konstrukční řešení jsou normalizovány dle PN 02 9403 – Hřídelové těsnicí kroužky – GUFERO, rozměry a technické požadavky v ČSN 02 9404 – Hřídelové těsnicí kroužky, zkoušení³.

Obr. 2.1.1 Základní provedení HTK³

HTK je tvořen zpravidla výztužným kovovým kroužkem, pryžovými částmi a tažnou pružinou. V některých případech může být HTK bez kovového výztužného kroužku nebo bez pružiny. Popis jednotlivých částí je uveden na obr. 2.1.1.

Kovový kroužek je zavulkanizovaný ve vnější části těsnění a umožňuje správnou montáž a následné utěsnění v úložné díře.

K vyztuženému kovovému kroužku je přivulkanizována membrána přecházející v těsnicí břit. Na vnějším obvodu těsnicího břítu je vytvořena drážka pro umístění tažné pružiny. Při použití HTK v prašném nebo jinak znečištěném vnějším prostředí slouží k ochraně těsnicího břítu prachovka, která je umístěna na spodní ploše těsnění.

2.1.1 Princip těsnosti

Hřídelový těsnicí kroužek zajišťuje dvojí těsnost statickou v uložení a dynamickou těsnost na úrovni kontaktu břítu a hřídele.

Statická těsnost je zajištěna přesahem vnějšího průměru HTK proti uložení díry. Tento přesah po nalisování zajišťuje těsnost kroužku za přítomnosti navulkanizované pryže.

Dynamická těsnost spočívá ve vytvoření těsnicí spáry mezi povrchem hřídele a těsnicím břitem. Aby nedocházelo vlivem tření mezi břitem a hřídelem k pálení břitu, vzniká mezi nimi během otáčení mazací film, který je vytvořen z procesní kapaliny uvnitř čerpadla.

2.1.2 Výroba těsnicích hřídelových kroužků

HTK mají vysoké požadavky na výrobní přesnost, což vyžaduje velké znalosti a zkušenosti v mnoha disciplínách výroby, gumárenský průmysl, chemie, strojírenství a další.

Výztužné kovové kroužky se vyrábějí na výstředníkových lisech. Pečlivá povrchová úprava kovových dílců je nesmírně důležitá, stejně jako nanášení speciálních spojovacích prostředků k zajištění soudržnosti mezi kovem a pryží.

Velké série jsou vyráběny na vstřikolisech a menší série na poloautomatických etážových lisech.

Dokončovací operace spočívají v odstranění přetoků pryže, případném vytvoření náběhové plochy a v montáži tažné pružiny.

3 ANALÝZA KOMPONENT

3.1 Výroba přírub a jejich materiál

Na počátku produkce čerpadel CP4 existoval pouze jediný postup výroby přírub. Polotovarem byl přesný výkovek, který byl po přepravě od dodavatele obroben a připraven pro montáž tzv. standardní příruba. Vlivem tlaku na snížení výrobních nákladů, bylo rozhodnuto přistoupit k změně polotovaru. Nyní je polotovarem tlakový odlitek a příruba se nazývá robustní. Touto změnou došlo k redukci nákladů na polotovar přírub a snížení počtu obráběcích operací. Oba zmíněné faktory vedou k redukci celkových výrobních nákladů.

Stručný přehled výrobních operací:

- obrábění výkovku (odlitku) z hliníkové slitiny,
- vizuální kontrola obráběných částí,
- lisování ložiskového pouzdra pro vačkovou hřídel,
- vyražení DMC kódu,
- čištění ve vodní lázni.

3.1.1 Popis „standardní“ příruby

Standardní příruba je příruba, jejímž polotovarem je přesný výkovek, který je následně opracován. Materiál je popsán normou DIN EN 573.

Chemické složení dle normy je popsáno v tabulce 3.1. Fotografie obrobené příruby viz obrázek 3.1.1.1.

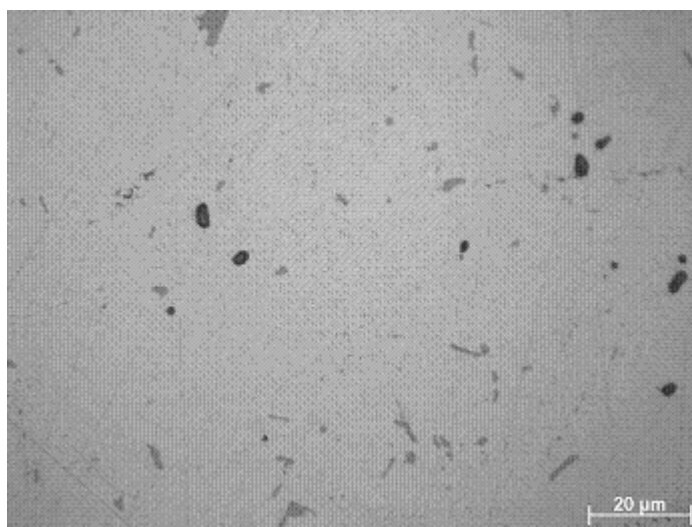
Tab. 3.1 Chemické složení⁴

Prvky slitiny a přípustné odchylky			
Hmotnostní podíl v %		Hmotnostní podíl v %	
Si	0,70 až 1,30	Cr	max. 0,25
Fe	max. 0,50	Zn	max. 0,20
Cu	max. 0,10	Ti	max. 0,10
Mn	0,40 až 1,00	Al	zbytek
Mg	0,60 až 1,20		
Ostatní přísady: samostatně max. 0,05; celkem max. 0,15			



Obr. 3.1.1.1 Standardní příruba¹

Tento materiál má dobrou odolnost proti korozi, velmi dobrou svařitelnost a používá se pro tváření, díky dobrým hodnotám tvařitelnosti a středně vysoké mezi únavy. Jak je viditelné na obrázku 3.1.1.2 tento materiál obsahuje velmi malé množství příměsí. Jde převážně o čistý hliník fáze α s minimem precipitátů. Díky této struktuře a vlastnostem materiálu je tento materiál pro lisování velice vhodný a riziko poškození přírub během lisování minimální.



Obr. 3.1.1.2 Metalografický výbrus

3.1.2 Popis „robustní“ příruby

Robustní příruba je příruba, jejímž polotovarem je tlakový odlitek, který je následně opracován. Vlivem redukce obráběných ploch došlo k snížení strojního času obrábění. Materiál je popsán normou DIN EN 1706.

V tabulce 3.2 je znázorněno chemické složení dle normy. Na obrázku 3.1.2.1 je fotografie obrobené robustní příruby.

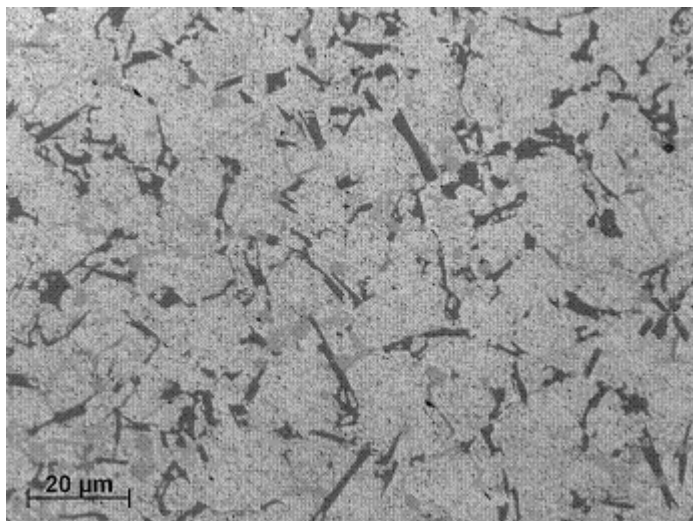
Tab. 3.2 Chemické složení⁵

Prvky slitiny a přípustné odchylky			
Hmotnostní podíl v %		Hmotnostní podíl v %	
Si	10,50 až 13,50	Ni	0,70 až 1,30
Fe	max. 0,70	Zn	max. 0,35
Cu	0,80 až 1,50	Ti	max. 0,25
Mn	max. 0,35	Al	zbytek
Mg	0,80 až 1,50		
Ostatní přísady: samostatně max. 0,05; celkem max. 0,15			

Obr. 3.1.2.1 Robustní příruba¹

Takový materiál je označován jako eutektická slitina hliníku a křemíku. Siluminy mají vysokou zabíhavost, nedosahují mechanických vlastností jako materiály tvářené a značně závisí na způsobu odlévání. Největší pevnost v tahu je kolem 250 MPa. Při tlakovém odlévání vzniká jemná struktura a mechanické vlastnosti jsou lepší než u metody lití do pískové formy.

Eutektikum v binárních siluminech představuje směs tuhého roztoku α krystalů téměř čistého křemíku, na obrázku 3.1.2.2 jsou tyto krystaly zřetelné. Tyto částice křemíku zvyšují odolnost proti otěru, to má za následek zvýšené riziko poškozování přírub a WDR během procesů lisování. Přestože tento materiál má na lisování prokazatelně negativní vliv, vzhledem k úsporám výrobního času je v současné době používán pro 99 % produkce přírub.



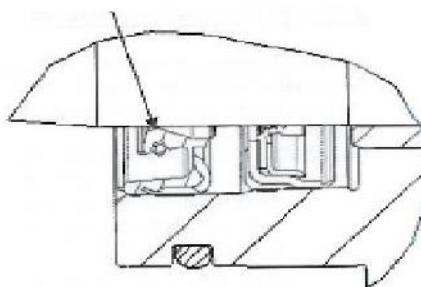
Obr. 3.1.2.2 Metalografický výbrus

3.1.3 Popis hřídelového těsnicího kroužku WDR

Hřídelový těsnicí kroužek a jeho popis, včetně požadavků na dodávky je popsán interním předpisem firmy Bosch.

Požadavky se týkají radiálního WDR ke straně k motoru pro CP4 CR čerpadla i radiálního WDR na straně čerpadla, viz obr. 3.1.3.1.

RWDR s pružinou



Obr. 3.1.3.1 Montáž RWDR¹

Tzv. vnější WDR slouží k zabránění úniku motorového oleje, a tím znečištění okolí a případnému poškození funkčnosti čerpadla.

Fotografie vnějšího WDR je na obrázku 3.1.3.2.

Předepsané konstrukční podmínky pro hřídel:

- materiál	100 Cr6
- průměr	Ø 24.945 ± 0.01 mm
- Rz _{max}	1÷3 µm
- kruhovitost	0.0035 mm
- tvrdost	730 ± 50 HV
- hloubka zakalení	celý průměr
- poslední operace výroby	broušení

Předepsané konstrukční podmínky pro přírubu:

- materiál (slitina hliníku)	AC4800 / AW6082
- průměr pro lisování kovového kroužku	Ø 37 H7
- Rz _{max}	3 ÷ 10 µm
- souosost	0.05 µm

Radiální WDR musí být provozuschopný během celkové doby životnosti čerpadla.

Předepsané provozní podmínky RWDR:

- doba životnosti čerpadla (jmenovitý počet otáček)	750 000 km / 15000h
- oblast teploty (prostředí a pohonná látka) v provozu:	- 40 ÷ 140 °C
- min. teplota (prostředí a pohonná látka) mimo provoz:	- 50 °C
- tlak (min. / max.)	0.6 bar / 1.5 bar
- axiální vůle v ložisku	0.4 mm
- radiální vůle v ložisku	0.140 mm

Popis materiálu WDR od dodavatele Kaco:pogumování:

obchodní název	SYGUMIN FP 75 616
barva	hnědá
rozměry:	Ø 37,3±0,1 mm

ocelová část WDR:

ocel

DIN EN 10 130 DC01

ochrana před korozí:

fosfátování

rozměry:

Ø 37,15±0,05 mm.

Dle dodacích podmínek musí být povrch hladký a rovnoměrný bez spojů a švů. Struktura materiálu musí být homogenní, pečlivě odjehlená a gumové části pečlivě vulkanizované.

Obr. 3.1.3.2 Fotografie WDR¹

4 MONTÁŽNÍ PROCES

Charakteristickým znakem montážních procesů je spojování dvou nebo více součástí do montážních celků. Pro spojování jsou obvykle využívány takové technologie, které zabezpečují přímé spojení bez přídavných součástí nebo materiálů⁸.

Spoj je základem montážního procesu a je místem pohyblivého nebo nepohyblivého styku minimálně dvou součástí.

Tento styk může být realizován:

- volbou tvaru spojového uzlu,
- silovými vazbami součástí,
- přídatným materiálem (pájky, lepidla)⁸.

Všechny druhy spojů jsou charakterizovány různými technologickými, konstrukčními a ekonomickými faktory, mezi které zejména patří:

- stupeň vzájemného pohybu,
- možnost rozebírání součástí,
- technologičnost montáže a demontáže,
- druh kontaktu ploch,
- pevnost, chemická stálost⁸.

Dále se spoje člení na rozebíratelné a nerozebíratelné.

4.1 Lisované spoje a výpočet

Při lisování se spojení realizuje působením pružných a plastických deformací materiálu spojovaných objektů. Svým charakterem spadá tento druh spoje mezi spoje nepohyblivé, nerozebíratelné, příp. obtížně rozebíratelné.

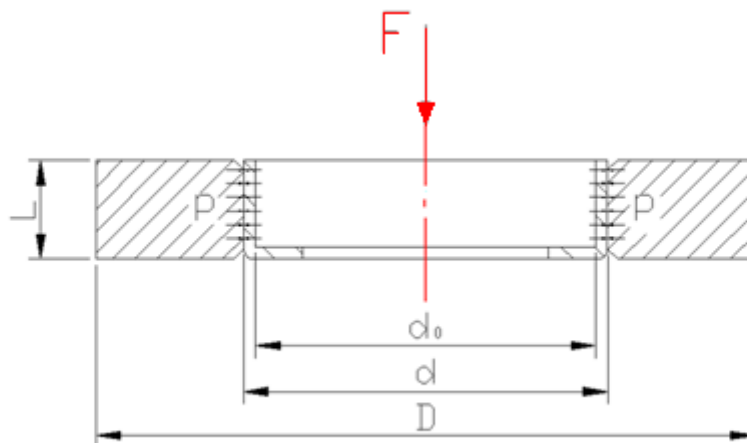
Dělení lisovacích procesů dle směru působení síly:

V podélném směru:

- přesah vzájemného uložení lisovaných objektu je překonán silou ve směru podélné osy,
- statickou osovou silou, impulsně vibrační, nastřelením (explozivně, pneumaticky).

V příčném směru:

- objekty se do sebe zasunou ve směru osy s vůlí, vlastní proces lisování proběhne změnou rozměru ve směru kolmém k této ose,
- smrštěním (ochlazením), roztažením (ohřev), kombinované (ohřev, ochlazení)⁹.

Výpočet lisovací síly pro lisování v podélném směru:**Obr. 4.1.1 Schéma zalisovaného spoje⁹**

Potřebný přesah při uvažování drsnosti povrchu⁸.

$$\delta = \Delta d + 1,2(R_{z1} + R_{z2}) \quad (4.1)$$

Lisovací síla pro montáž:⁸

$$F = \pi \cdot d \cdot L \cdot p \cdot f \quad (4.2)$$

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right)} \quad (4.3)$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_1 \quad (4.4)$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 \quad (4.5)$$

kde:

δ - potřebný přesah při uvažování drsnosti,

F - lisovací síla,

Δd - nominální přesah,

R_{z1}, R_{z2} - výška nerovností,

p - měrný tlak ve spoji,

f - koeficient tření při lisování,

- d, L - rozměry styčné plochy,
 E_1, E_2 - moduly pružnosti obepínané a obepínající součásti,
 C_1, C_2 - rozměrové konstanty,
 μ_1, μ_2 - Poissonovo číslo.

Určení síly při lisování hřídelového těsnicího kroužku:

vnější průměr WDR:

$$d_1 = 37,1^{+0,05}_{-0,05} \text{ mm},$$

maximální vnější průměr WDR:

$$d_{1\max} = 37,15 \text{ mm},$$

vnitřní průměr příruby:

$$d_2 = 37H7 = 37^{+0,025}_{-0} \text{ mm},$$

minimální vnitřní průměr příruby:

$$d_{2\min} = 37 \text{ mm},$$

maximální možný přesah při lisování:

$$\Delta d = d_{1\max} - d_{2\min} = 37,15 - 37 = \underline{0,15} \text{ mm}.$$

Výpočet lisovací síly:

$$\delta = \Delta d + 1,2(R_{z1} + R_{z2}) = 150 + 1,2(7,51 + 3,61) = 163,3 \text{ } \mu\text{m} = 0,163 \text{ mm}$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_1 = \frac{37^2 + 35,8^2}{37^2 - 35,8^2} - 0,3 = 30$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{49,94^2 + 37^2}{49,94^2 - 37^2} + 0,31 = 3,74$$

Měrný tlak ve spoji:

$$p = \frac{1}{37} \cdot \frac{163 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{30}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{3,74}{7,5 \cdot 10^4}\right)} = \frac{1}{37} \cdot \frac{163 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-4}} = 22,82 \text{ MPa}$$

Síla:

$$F = \pi \cdot d \cdot L \cdot p \cdot f = \pi \cdot 37 \cdot 9,7 \cdot 22,82 \cdot 0,1 = \underline{2,57 \text{ kN}}$$

Tento výpočet lisovací síly platí pro případ, kdy je lisován do válcové příruby jiný válcový prstenec.

V případě lisování radiálního hřídelového těsnicího kroužku, kdy jde o prstenec z profilu „L“ je nutné uvažovat případné plastické a elastické deformace prstence v podélném a příčném směru.

5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU PROCESU

5.1 Proces obrábění Ø37H7

Uvedený Ø37H7 je obráběn technologií soustružení na soustružnickém centru a celý průměr je obráběn od hrubovacích po dokončovací operace jedním nožem s vyměnitelnou břitovou destičkou.

Otáčky $n = 5000$ ot/min, posuv $f = 0,14$ mm/ot. Posuv je určen dle požadavků na parametry drsnosti povrchu.

5.2 Procesní předpis lisování⁶

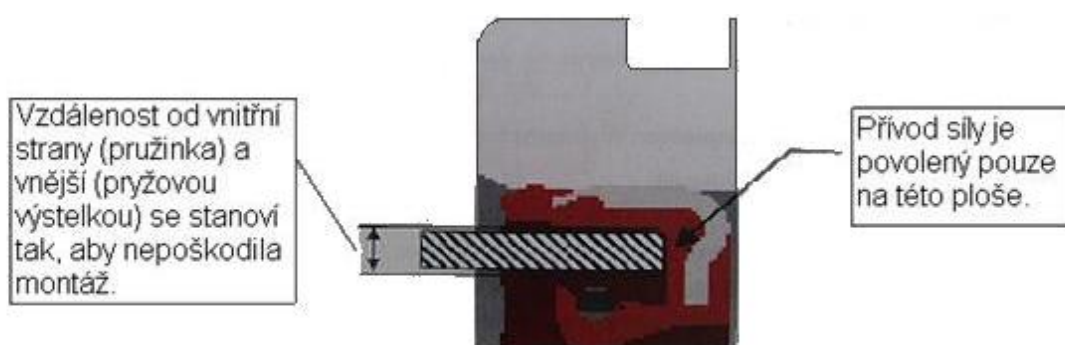
Procesní předpis řeší stav vstupních dílců, přípravky a průběh lisovacích sil. Tento předpis zůstal společný pro oba typy přírub.

Příprava dílců:

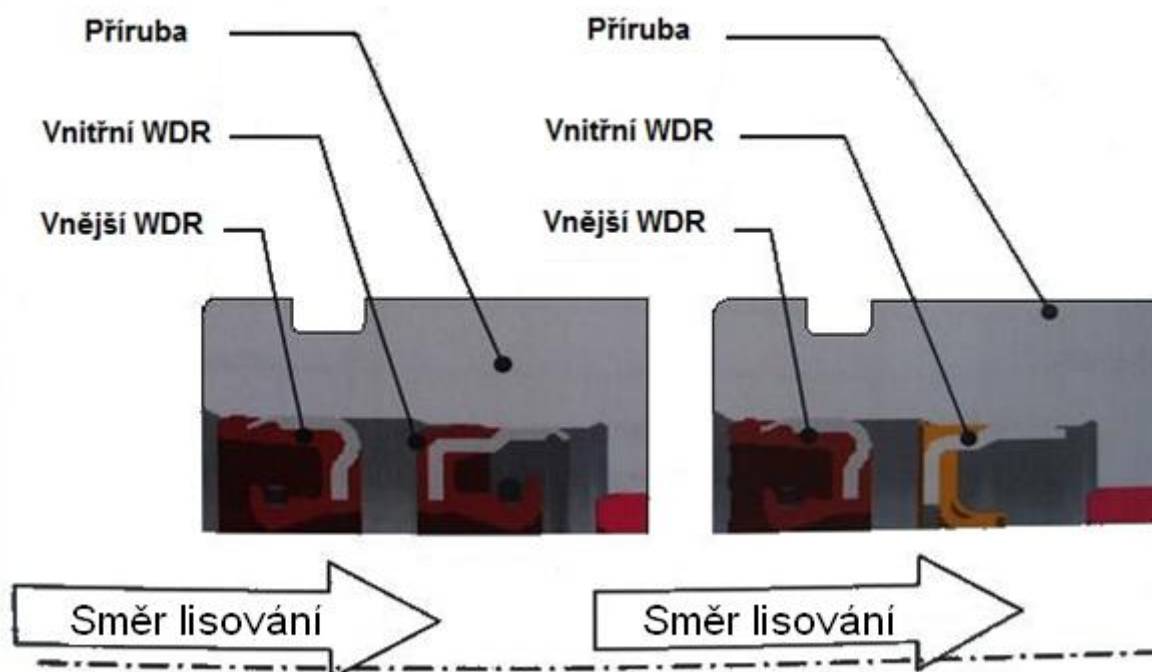
- všechny dílce se musí očistit od nečistot a špon,
- kontaktní plochy na přírubě jsou zcela naolejované,
- radiální těsnicí kroužek ke straně čerpadla je již nalisován.

Přípravek:

- není povoleno žádné poškození / ostré hrany na lisovníku,
- lisovník musí být vyhotovený tak, aby se při montáži nepoškodil vnější průměr radiálního těsnicího kroužku.

Obr. 5.2.1 Mezní podmínky lisovníku⁶Postup zalisování:

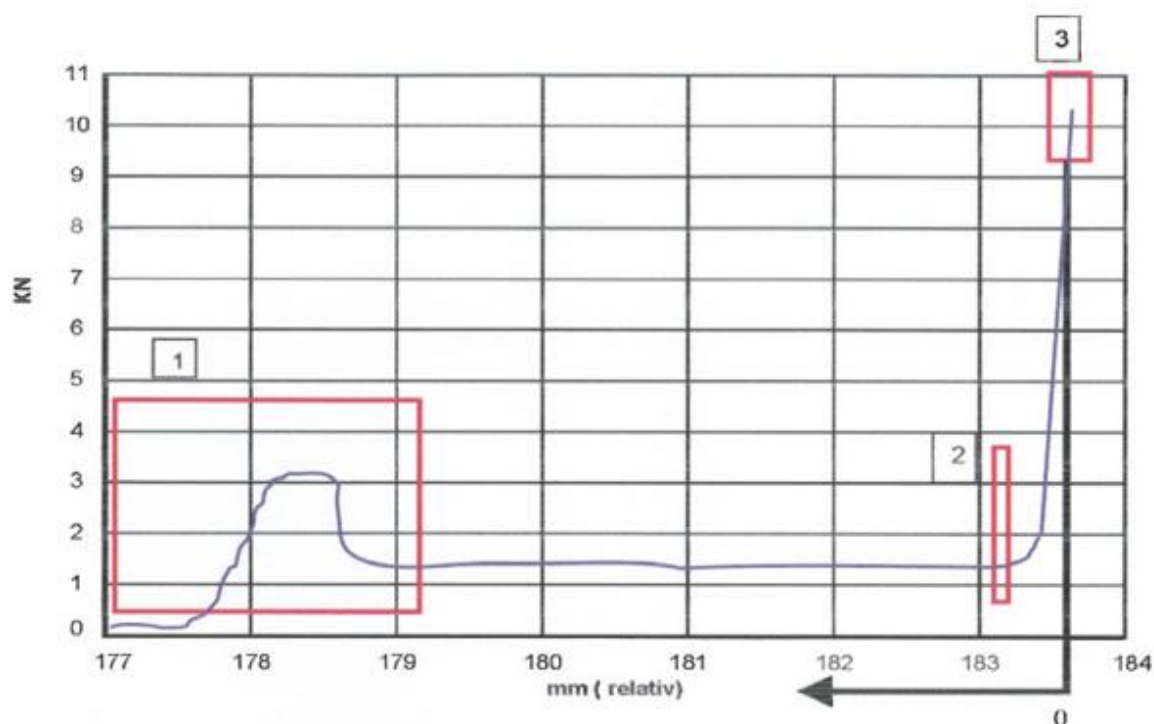
- těsnící kroužek vložit ve správné poloze do lisovníku (viz obrázek 5.2.1),
- lisovník a příruba jsou zarovnány do středu.

Obr. 5.2.2 Náskres montáže⁶

Zalisování těsnícího kroužku (WDR) kontrolované silou a dráhou:

- rychlost zalisování 10 mm/s,
- konečná poloha vnějšího WDR viz výkres,

- příčná poloha vnějšího WDR max. 0,2 mm,
- není povoleno žádné poškození WDR.

Obr. 5.2.3 Průběh síly při zalisování⁶Tab. 5.1 Hodnoty síly k zalisování vnějšího WDR⁶

číslo okna	hodnoty síly [N]	hodnoty dráhy [mm]
1	500 - 4500	- 7 ÷ - 4,2
2	850 - 3500	- 0,4 ÷ - 0,3
3	9500 - 11000	- 0,15 ÷ + 0,15

Výsledek:

- postup zalisování i.o. - > uvolněno pro další pracovní postup,
- postup zalisování n.i.o - > likvidace těsnícího kroužku (RWDR),

RWDR je třeba dostatečným způsobem olejovat pro další průběh montáže a kontroly, průběh na sucho není povolený.

5.3 Nastavení lisovacího procesu na stroji

Pro popis současného nastavení mazání je nutné nejdříve popsat strukturu daného nastavení. Existují dva způsoby, jak se dají parametry procesu nastavit.

- Typová data.
- Staniční data.

Typová data jsou vztažena ke konkrétnímu typu montovaného čerpadla. Při přeseřizení na jiný typ se data automaticky změní, což výrazně usnadňuje samotné přeseřizení a zároveň zkracuje čas nutný k této změně.

V typových datech lze nastavit:

- požadované komponenty pro montáž,
- dráha a rychlost lisování,
- dráha a rychlost nájezdu,
- čas otevření olejového ventilu,
- „mrtvý čas“ (čas zpoždění oleje),
- čas otevření vzduchového ventilu,
- „mrtvý čas“ (čas zpoždění vzduchu).

Správa typových dat probíhá ze strany technologie ve speciálním systému CDM, kde je každá změna evidována pod jménem konkrétního uživatele. Do tohoto systému je přístup omezen na několik uživatelů. Typová data jsou společná pro všechny montážní linky.

Staniční data mají funkci tzv. offsetu, jsou vztažena ke konkrétnímu stroji. Zde je možné vyrovnávat rozdíly mezi jednotlivými montážními linkami, proto je využívají seřizovači. Staniční data lze nastavit přímo na stroji a není nutné využívat systému CDM.

V datech staničních jsou možnosti nastavení omezené a jejich struktura není tak podrobná jako u dat typových.

Ve staničních datech lze nastavit:

- čas otevření olejového ventilu,
- „mrtvý čas“ (čas zpoždění oleje),
- čas otevření vzduchového ventilu,
- „mrtvý čas“ (čas zpoždění vzduchu),
- čas zpoždění odjezdu mazacího přípravku do základní polohy.

Výsledné nastavení je „součtem“ těchto dvou nastavení tzn. časy otevření vzduchových ventilů a olejových ventilů se sčítají.

Dále se bude v projektu pracovat pouze s parametry, které nejsou pevně dány lisovacím procesem.

5.3.1 Současné nastavení strojů

Nastavení typových dat:

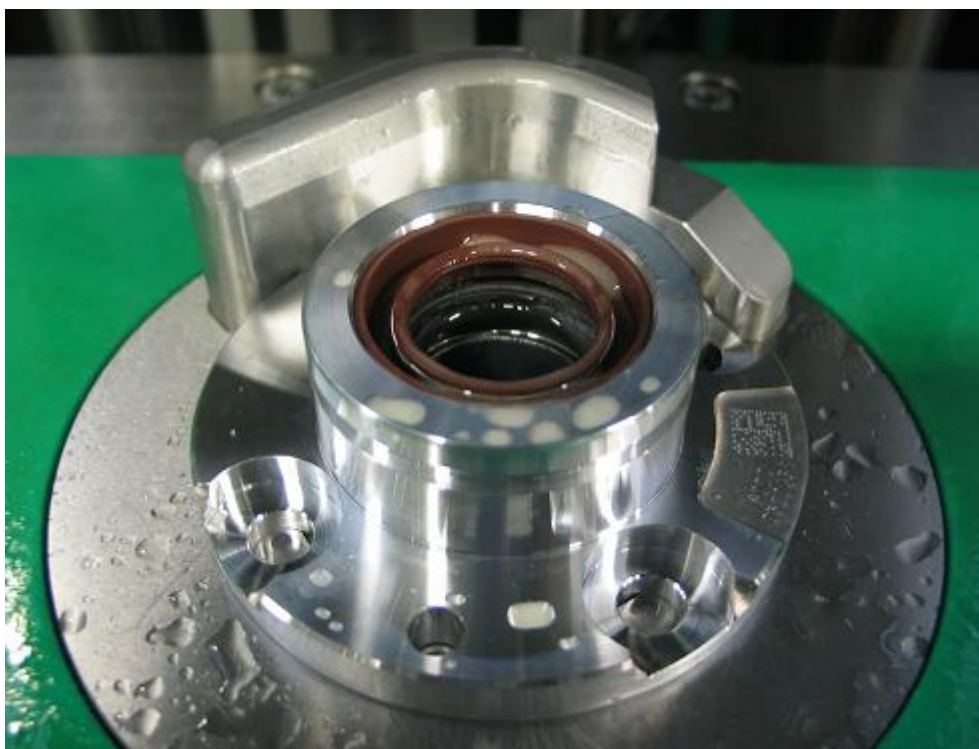
- | | |
|-------------------------------------|---------|
| • čas otevření olejového ventilu | 700 ms, |
| • mrtvý čas“ (čas zpoždění oleje) | 0 ms, |
| • čas otevření vzduchového ventilu | 400 ms, |
| • mrtvý čas“ (čas zpoždění vzduchu) | 300 ms. |

Nastavení staničních dat:

- | | |
|--|----------|
| • čas otevření olejového ventilu | 1000 ms, |
| • mrtvý čas“ (čas zpoždění oleje) | 0 ms, |
| • čas otevření vzduchového ventilu | 500 ms, |
| • mrtvý čas“ (čas zpoždění vzduchu) | 0 ms, |
| • čas čekání na odjezd maz. přípravku do základu | 2000 ms. |

Tlak oleje v systému je nastaven: 3 bar.

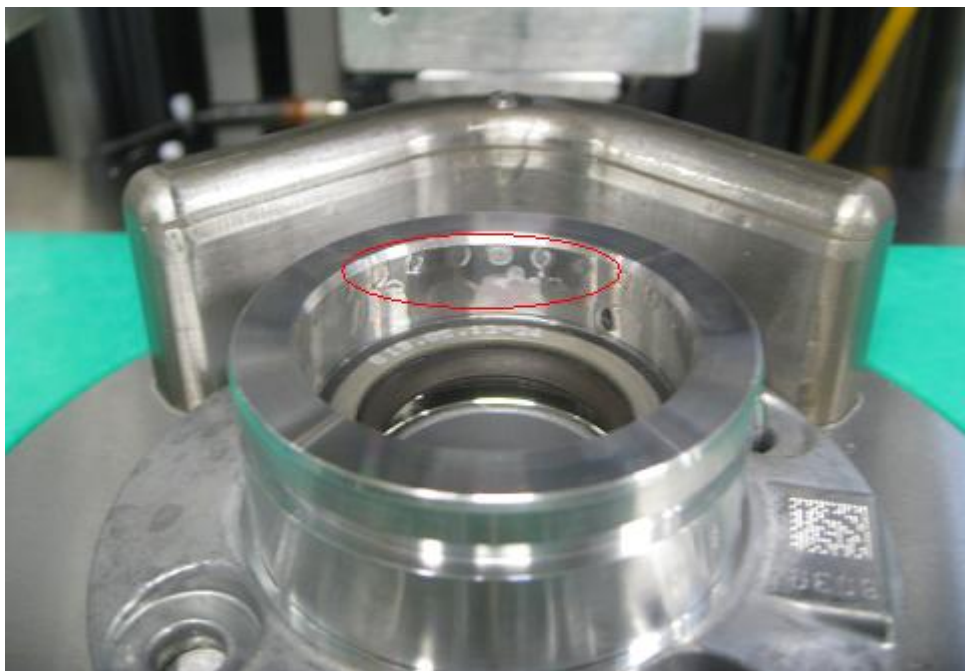
Současné nastavení strojů vzniklo z důvodů změny mazacího přípravku, konceptu mazání a je výrazně předimenzováno. Množství oleje je nastaveno na základě zkušeností tak, aby byl zajištěn stabilní lisovací proces a minimalizovány výpadky na následné kontrole těsnosti vnějšího WDR. Úkolem diplomového projektu je optimalizovat spotřebu tohoto média, z důvodu zvýšených nákladů spojených se spotřebou oleje. To má negativní vliv na navazující procesy jako je kontrola těsnosti čerpadla, která je vlivem velkého množství oleje ve spojích částečně zkreslena a také znečištění montážního zařízení přebytečným olejem viz obr. 5.3.1.1.



Obr. 5.3.1.1 Množství oleje na přírubě po zalisování WDR

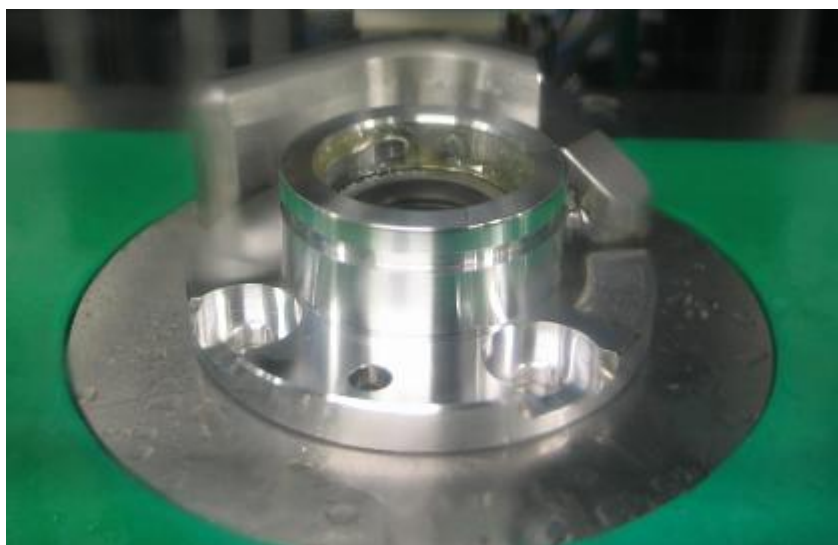
Prvotní mazací přípravek pracoval na principu mazání olejovou mlhou. Do mazacího přípravku byl přiváděn olej z tlakové lahve a při současném přivedení vzduchu do systému, došlo k nanesení olejového filmu na povrch příruby. Po změně materiálu příruby se tento způsob mazání ukázal jako nevhodný. Během procesu docházelo k nerovnoměrnému rozložení olejového filmu a porušení olejového filmu v místech vstříku olejové mlhy obr. 5.3.1.2. Tento jev byl způsobený vyprázdněním zásoby oleje v přípravku, následně přivedený vzduch způsobil „vyfouknutí“ suchého místa, to má za následek že u příruby vyrobené

z polotovaru odlitku vznikají v těchto místech mechanická poškození příruby během lisování WDR a následně netěsnost mezi přírubou a WDR.



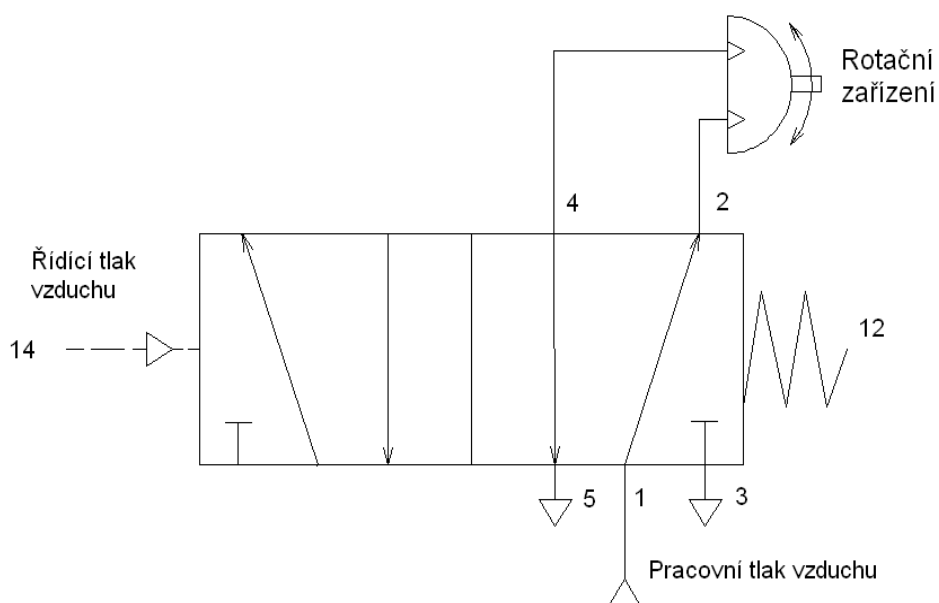
Obr. 5.3.1.2 Vadné nanesení olejového filmu včetně suchých míst

Současný mazací přípravek pracuje na principu rotačního rozstřikování oleje. Olejový film je nanesen na přírubu pouze působením odstředivé síly způsobené rotačním pohybem mazací hlavičky o 270° oběma směry. Do systému je přiváděn pouze olej z tlakové nádoby. Tlakový vzduch slouží jako pohon rotačního zařízení. Nový mazací přípravek umožňuje nastavení časové prodlevy mezi krokem nanesení olejového filmu a odjetím přípravku do základní polohy, což umožňuje ucelení nanesené vrstvy oleje a její natečení na hranu příruby obr. 5.3.1.3.



Obr. 5.3.1.3 Nanesený olejový film novým mazacím přípravkem

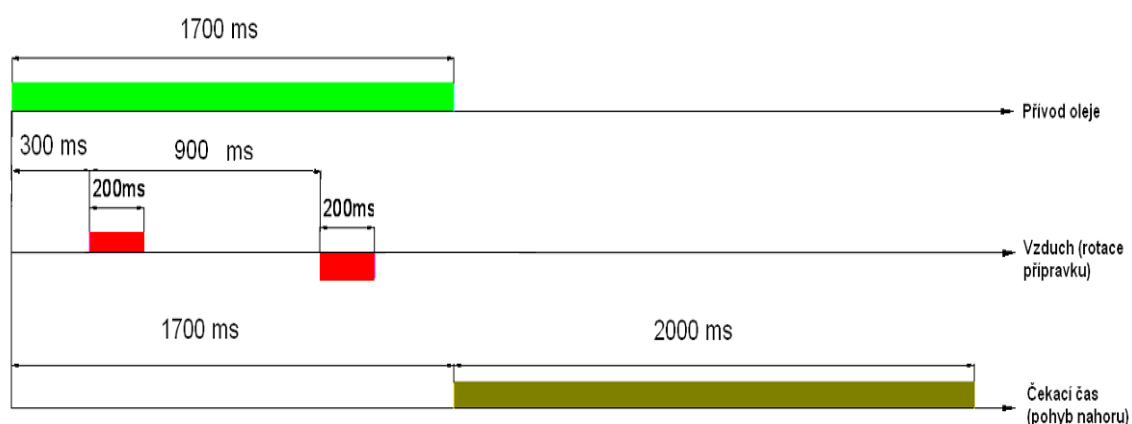
Dle specifikace výrobce pneumatického rotačního pohonu je čas potřebný pro otočení jedním směrem při tlaku 5 bar a bez zatížení 80 ms. Z pokusů vyplynulo, že pro dané použití je nutné přivést tlak 5 bar po dobu 200 ms pro otočení jedním směrem a dalších 200 ms pro navrácení do výchozího stavu. Jak znázorňuje obrázek 5.3.1.4 zapojení rotačního pohonu je realizováno pomocí pneumatického ventilu 5/2. V klidové poloze bez přívodu řídicího tlaku je pracovní tlak trvale přiveden na jednu stranu rotačního pístu, přípravek je držen ve výchozí poloze. Přivedením řídicího tlaku je přiveden pracovní tlak na druhou stranu rotačního pístu, a tím dojde k otočení přípravku o 270°. Po uplynutí nastaveného času se řídicí tlak vzduchu vypne, pružina přesune ventil do původní pozice a mazací přípravek je otočen o 270° do výchozí polohy.



Obr. 5.3.1.4 Schéma zapojení ventilu

Vzhledem k technickým požadavkům rotačního zařízení je zřejmé, že přípravek využije 200 ms přívodu vzduchu pro otočení a zbylý čas způsobí prodlevu mezi rotací zpět. Tato prodleva umožní naplnění mazací hlavičky olejem pro tento zpětný pohyb.

Pro názornost bylo zpracováno grafické znázornění návazností jednotlivých časů olejování, přívodu vzduchu a také čekacího času.



Obr. 5.3.1.5 Grafické znázornění časů

Na obrázku 5.3.1.5 je zřejmé, že nejdelší časový úsek tvoří čekací čas odjetí mazacího přípravku do základní polohy. V okamžiku startu procesu se začne plnit mazací přípravek olejem a teprve po uplynutí nastaveného času „mrtvého času vzduchu“ je přiveden vzduch, který způsobí rotaci přípravku nejdříve v jednom a po časové prodlevě následně v druhém směru. Po ukončení doby plnění oleje nastává i čas čekání, kdy mazací přípravek zůstává v pracovní pozici a vlivem viskozity oleje dojde k ucelení naneseného olejového filmu. Po uplynutí časového intervalu mazací přípravek odjíždí do základní pozice, čímž se olejová vrstva nanese i na vrchní hranu příruby a následuje proces lisování.

5.4 Statistické vyhodnocení sledovaných rozměrů

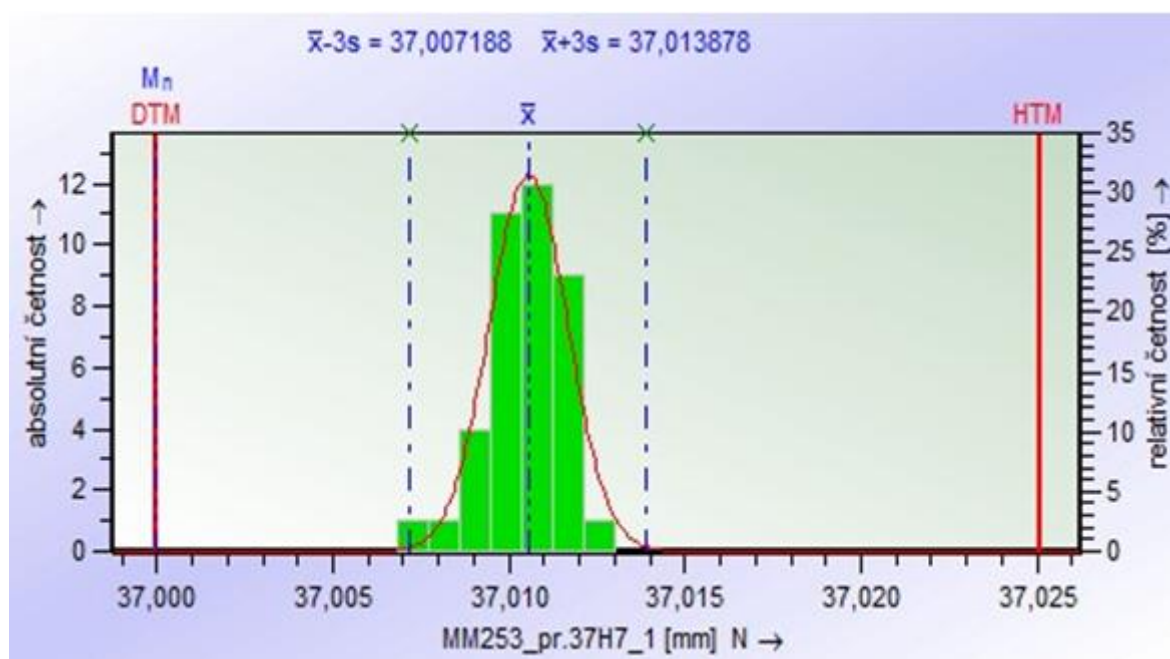
Pro nadefinování testů vedoucích k řešení tohoto projektu, bylo nutné analyzovat proces obrábění přírub z hlediska stability procesu. Byly nadefinovány dva klíčové parametry, které nejvíce ovlivňují proces lisování z hlediska povrchu příruby.

Prvním je vnitřní průměr příruby, do kterého je lisován hřídelový těsnicí kroužek, tento rozměr odpovídá $\varnothing 37H7$. Druhým je drsnost tohoto povrchu, která je dána rozmezím $R_z = 3 \div 10 \mu m$.

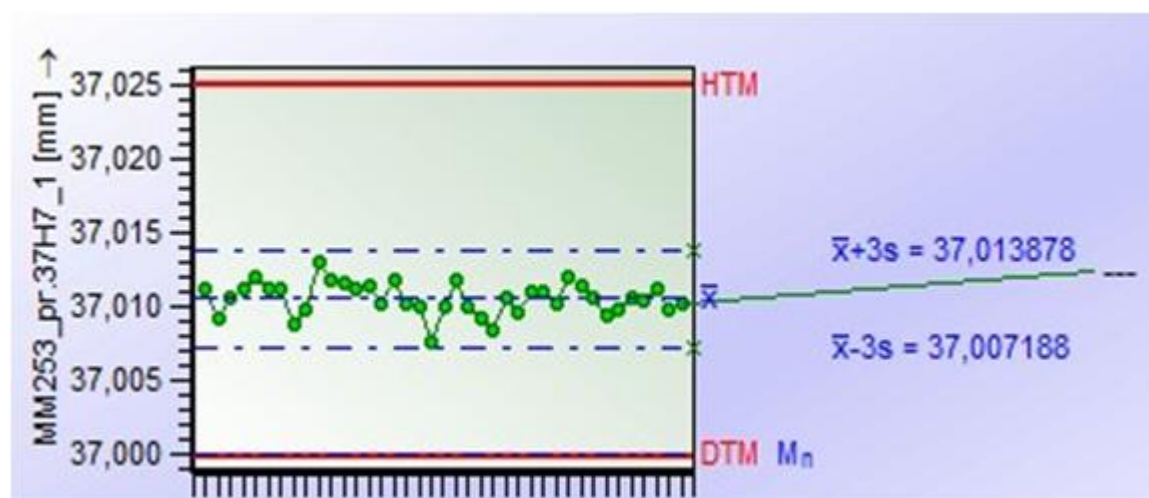
Dalším aspektem je rozměr a povrch ocelového kroužku WDR. Vzhledem k dodavatelským smlouvám nejsme schopni tyto parametry zásadně ovlivnit, a proto se projekt nezaměřuje na analýzu rozptylu a stabilitu dodávaných WDR.

Pro provedení a vyhodnocení analýz schopností procesů byla použita metodika aplikované statistiky. Pomocí softwaru qs-STAT bylo zpracováno grafické vyhodnocení datových souborů.

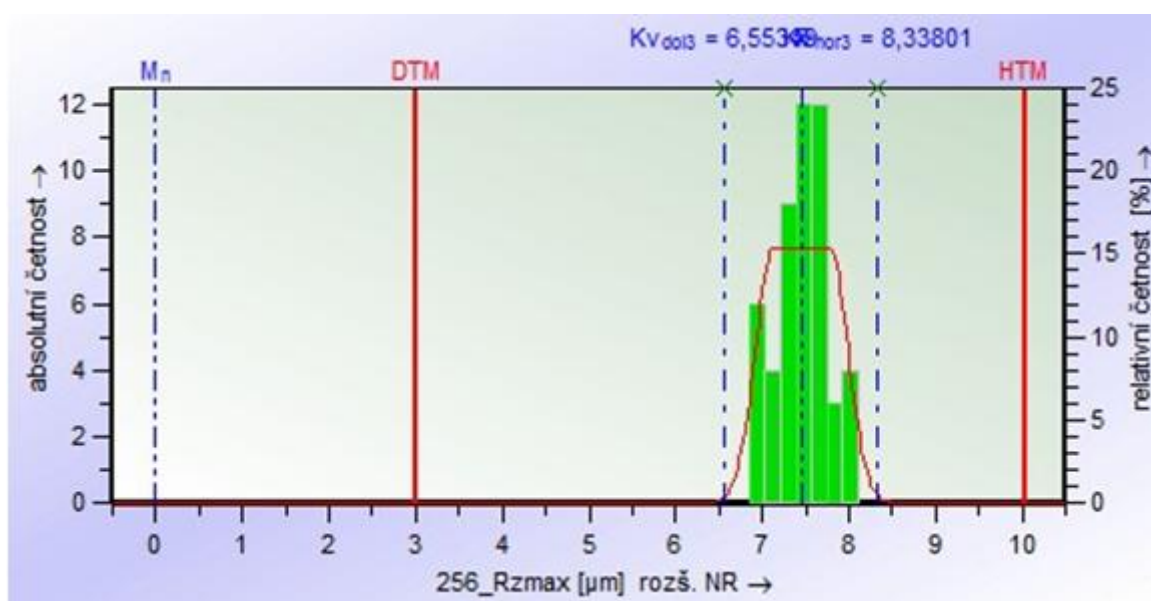
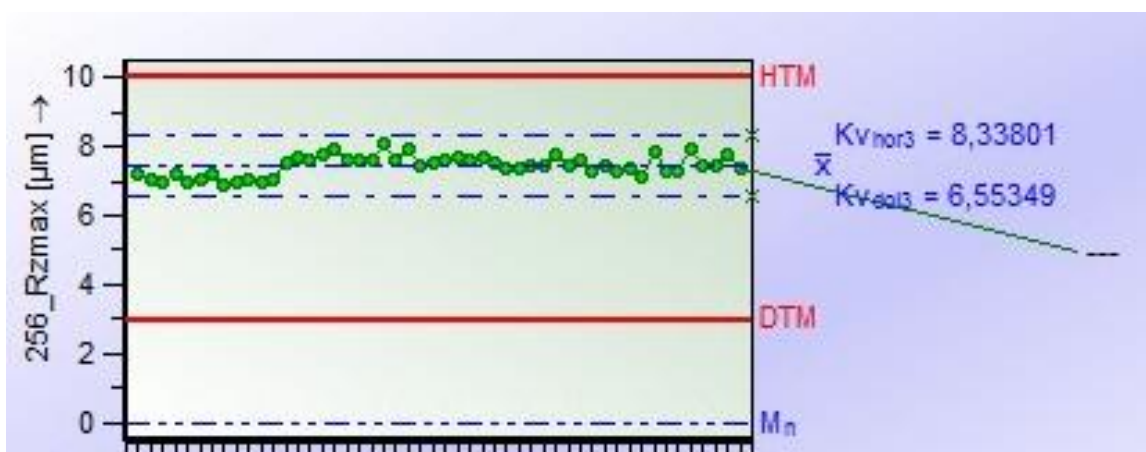
Pro obě sledované veličiny byl vytvořen soubor naměřených hodnot, který byl náhodně vybrán a naměřen ze sériové produkce v průběhu jednoho měsíce. Datové soubory jsou k dispozici v příloze 1.



Obr. 5.4.1 Histogram hodnot Ø37 H7



Obr. 5.4.2 Průběh měření hodnot Ø 37H7

Obr. 5.4.3 Histogram hodnot drsnosti R_z Obr. 5.4.4 Průběh měření hodnot drsnosti R_z

Na základě vyhodnocení provedených náměrů je zřejmé, že proces obrábění je stabilní jak z hlediska drsnosti povrchu, tak i z hlediska rozměrové přesnosti. Obráběné díly jsou produkovány v rozmezí 0,05 mm na $\varnothing 37H7$, v rozmezí 1,51 μm pro požadovanou drsnost $R_z = 3 \div 10 \mu\text{m}$.

Jak je patrné z grafického vyhodnocení naměřených hodnot, většina hodnot se blíží středu, proto tyto procesy byly vyhodnoceny jako stabilní z hlediska schopnosti výroby udržet požadovanou jakost povrchu v dlouhodobém intervalu. Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto použít pro následné testy sériové příruby.

6 NÁVRH A PROVEDENÍ TESTŮ

6.1 Úprava procesu obrábění přírub

Vzhledem ke struktuře obráběného materiálu robustních přírub, se jeví jako přínosné, optimalizovat proces obrábění vnitřního $\varnothing$ 37H7, do kterého je lisován hřídelový těsnicí kroužek. Současný proces obrábění plně vyhovuje předepsaným požadavkům, ty však nejsou definovány pro nový materiál přírub dostatečně přesně a při současné technologii výroby, nelze vytvořit povrch, který by eliminoval negativní vliv precipitátů křemíku na povrchu příruby na proces lisování, a tím zajistil podmínky pro stabilní lisovací proces.

V rámci diplomové práce bylo navrženo řešení, implementovat do obráběcího procesu, dokončovací operaci vystružování. Důvodem navrhovaného řešení byl záměr snížení lisovacích sil a předpoklad snížení rizika poškození přírub.

Bylo doporučeno použití výměnné vystružovací hlavice MT3 obsahující 3 řezné zuby a 2 vodítka, obrázek 6.1.1. Optimální rozmístění zubů a vodítek po obvodu hlavice je provedeno na základě výsledků měření řezných sil s využitím počítačového modelování procesu vystružování. Výsledkem je klidný chod bez vibrací zajišťující vysokou přesnost vystruženého otvoru (kruhovitost, válcovitost a drsnost povrchu)¹⁰.

Hlavice pro $\varnothing$ 37H7 je vyráběna s vnitřním otvorem pro přívod procesní kapaliny. U hlavic těchto rozměrů jsou do tělesa nástroje břitové destičky pájeny, je tedy možná tzn. regenerace, což obnáší opětovné pájení nových břitů a následnou kalibraci nástroje, což zajistí vysokou přesnost ustavení nástroje bez nutnosti zdoluhavého seřizování řezných segmentů.

K přednostem technického řešení vystružovací hlavice MT3 patří:

- dosahovaná přesnost vystruženého otvoru v toleranci IT5-IT6,
- dosahovaná drsnost obrobeného povrchu (standardně) **Rz = 1,6 μ m**,
- monolitní, nebo pájené (větší rozměry) provedení bez nutnosti seřizování řezných segmentů (obdobné řešení jako u VBD),

- tepelné upnutí do tělesa nástroje zajišťující vysokou tuhost, přesnost (bez nutnosti seřízení házivosti),
- optimální odvod třísek a vyprazdňování vystruženého otvoru,
- vysoká provozní spolehlivost¹⁰.

Přínosem této varianty řešení je zvýšení přesnosti na IT 6, což umožní výrobu otvoru v přesnějších rozměrech a bude možné redukovat přesah v rámci předepsaných tolerancí, který je překonáván během lisovacího procesu. To způsobí změnu lisovacích sil a také průběh těchto sil.

Výpočet lisovací síly při přesnosti otvoru IT 6 s drsností $R_z = 1,6 \mu\text{m}$:

Podrobnější popis výpočtu v kapitole 4.1.

Vnější průměr WDR:

$$d_1 = 37,1^{+0,05}_{-0,05} \text{ mm},$$

maximální vnější průměr WDR:

$$d_{1\text{max}} = 37,15 \text{ mm},$$

vnitřní průměr příruby:

$$d_2 = 37\text{H}6 = 37^{+0,016}_{-0} \text{ mm},$$

minimální vnitřní průměr příruby:

$$d_{2\text{min}} = 37 \text{ mm},$$

maximální možný přesah při lisování:

$$\Delta d = d_{1\text{max}} - d_{2\text{min}} = 37,15 - 37 = \underline{0,15} \text{ mm}.$$

Výpočet síly:

$$\delta = \Delta d + 1,2(R_{z1} + R_{z2}) = 150 + 1,2(7,51 + 1,6) = 160,9 \mu\text{m} = 0,161 \text{ mm}$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_1 = \frac{37^2 + 35,8^2}{37^2 - 35,8^2} - 0,3 = 30$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{49,94^2 + 37^2}{49,94^2 - 37^2} + 0,31 = 3,74$$

Měrný tlak ve spoji:

$$p = \frac{1}{37} \cdot \frac{161 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{30}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{3,74}{7,5 \cdot 10^4}\right)} = \frac{1}{37} \cdot \frac{161 \cdot 10^{-3}}{1,93 \cdot 10^{-4}} = 22,54 \text{ MPa}$$

Síla:

$$F = \pi \cdot d \cdot L \cdot p \cdot f = \pi \cdot 37 \cdot 9,7 \cdot 22,54 \cdot 0,1 = \underline{2,54 \text{ kN}}$$

Z provedeného výpočtu je zřejmé, že zpřesnění výroby, zvýšení přesnosti výroby na IT6 a snížení drsnosti nemá zásadní vliv na velikost lisovací síly. Rozdíl ve vypočítaných silách je 0,03 kN.



Obr. 6.1.1 Konstrukční provedení upnutí MT3 (konstrukce pro vystružování průchozích otvorů)¹⁰

Tato varianta řešení byla pozastavena, jelikož nebyl prokázán zásadní vliv na průběh lisování. Dále z důvodu prodloužení strojních časů obrábění, nutnosti dalších investic do obráběcích nástrojů a obtížného začlenění do výrobního procesu.

6.2 Úprava procesu mazání

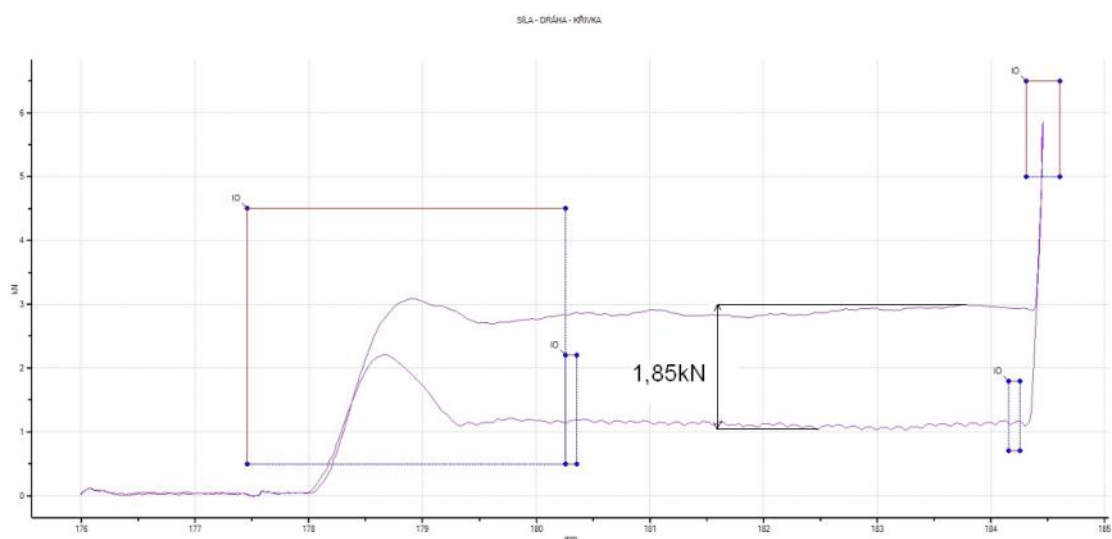
Postup optimalizace mazacího procesu pro proces lisování WDR do příruby byl stanoven následujícím způsobem:

- bude optimalizována poloha mazacího přípravku vůči přírubě,

- optimalizace času čekání na odjezd přípravku,
- časová prodleva mezi rotačním pohybem jedním směrem a následným zpětným pohybem,
- optimalizace množství přivedeného mazacího oleje.

Posuzován bude průběh lisovacích sil, spotřeba oleje a poškození přírub vlivem lisovacího procesu.

Bylo rozhodnuto postupovat nejdříve zjištěním rozpětí průběhů lisovacích sil při procesu bez namazání WDR (parametry přívodu oleje nastaveny na 0 ms) a při současném nastavení strojů, o kterém se ví, že je předimenzován viz kapitola 5.3.1, tedy mezi dvěma extrémy.



Obr. 6.2.1 Průběhy sil při extrémních nastavení stroje.

Byl zjištěn rozsah sil od 1 kN do 2,85 kN v oblastech plastické deformace.

6.2.1 Testy vlivu polohy mazacího přípravku vůči přírubě

Poloha mazacího přípravku vůči přírubě lze nastavit ve třech osách X, Y, Z, přičemž osy X a Y jsou nastaveny na střed příruby tak, aby osa středu příruby a osa středu přípravku byla totožná. Poloha v ose Z byla převzata z předchozího způsobu mazání olejovou mlhou. Cílem následujícího testu je prokázat vliv této polohy na lisovací proces a stanovit polohu, při které bude proces probíhat bez

poškození přírub a bez zbytečných ztrát mazacího oleje vlivem nesprávné polohy přípravku. Stabilita procesu bude ověřována na stanici 310 - měření těsnosti vnějšího WDR na čerpadle.

Na počátku testů byla provedena revize nastavení os X a Y, aby byl eliminován případný negativní dopad při vyosení přípravku. Zjištěná hodnota vychýlení od středu byla v osách X,Y do 0,15 mm, což je pro potřeby namazání dostatečně přesná pozice.

Test 6.2.1.1

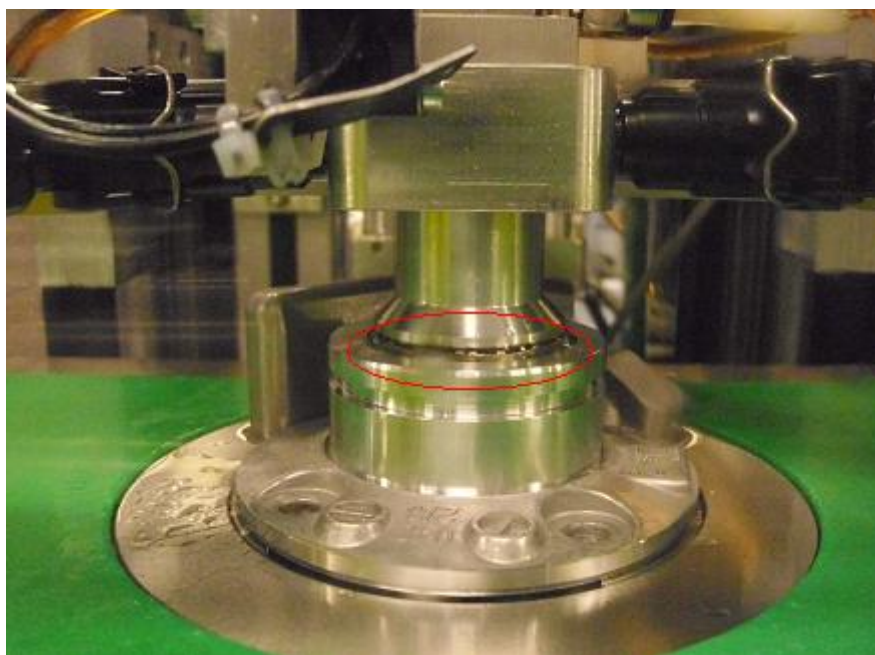
Prvním experimentem bylo mazání nastaveno v ose Z do polohy, kdy otvory mazacího přípravku byly pod horní hranou příruby. Po zhotovení 10 zalisovaných přírub byla provedena demontáž WDR a bylo zřetelné poškození, přestože množství oleje bylo v původních hodnotách, tedy předimenzováno.

Test 6.2.1.2

Na základě výsledků bylo pro druhý test navrženo umístění mazacího přípravku tak, aby se otvory mazací hlavičky během procesu mazání dělily v polovině o hranu příruby. S tímto nastavením bylo smontováno opět 10 kusů přírub, které po demontáži nevykazovaly žádné vizuální poškození. Bylo rozhodnuto takto nastavený přípravek otestovat v sériové výrobě na dobu 24 hodin. Během zkušebního provozu byl zaznamenán zvýšený výskyt netěsností v oblasti vnějšího WDR na zkušební stanici. Po demontáži postižených kusů se ukázalo poškození obdobné prvnímu testu, a tím bylo nastavení vyhodnoceno jako nevyhovující.

Test 6.2.1.3

Pro třetí pokus byl přípravek nastaven tak, aby otvory mazacího přípravku byly přibližně 0,5 mm nad hranou příruby, jak je znázorněno na obrázku 6.2.1.1.



Obr. 6.2.1.1 Nastavení polohy mazacího přípravku vůči přírubě.

S tímto nastavením bylo zalisováno 10 kusů pro následnou demontáž a zhodnocení povrchu přírub. Nebylo zjištěno žádné poškození, a proto bylo opět přistoupeno k ověření tohoto nastavení v sérii na 24 hodin. Po ukončení testovacího provozu a vyhodnocení výsledků z lisovací stanice se proces lisování ukázal jako stabilní a nastavení jako dostačující, dle požadovaných kritérií na proces.

Pro vyhodnocení výsledků ze stanice těsnosti, byly vytaženy výsledky za posledních 24 hodin a zhodnocena stabilita procesu na tomto kontrolním pracovišti. Výsledky ukázaly, že na rozdíl od předchozího pokusu, kdy v průběhu několika hodin byl zaznamenán únik, při tomto nastavení nedošlo k žádným netěsnostem, a proto byla tato poloha přípravku zvolena pro sériovou výrobu a také pro následující testy.

Grafické vyhodnocení hodnot při nastavení přípravků dle testů 6.2.1.2 a 6.2.1.3 je v příloze 2. Při jejich porovnání je zřejmé, že pokud je proces stabilní, výsledky zkoušky dosahují téměř konstantních hodnot. U testu číslo 6.2.1.2 jsou viditelné příruby s detekovaným únikem nad zásahovou hranicí.

6.2.2 Proces optimalizace času čekání na odjezd přípravku

Při současném nastavení parametru na hodnotu 2000 ms jde o poměrně znatelný parametr v samotném montážním procesu, má negativní vliv na čas stroje.

Testy probíhaly s nastavením přípravku dle testu 6.2.1.3 jelikož se s tímto nastavením počítá pro sériovou produkci.

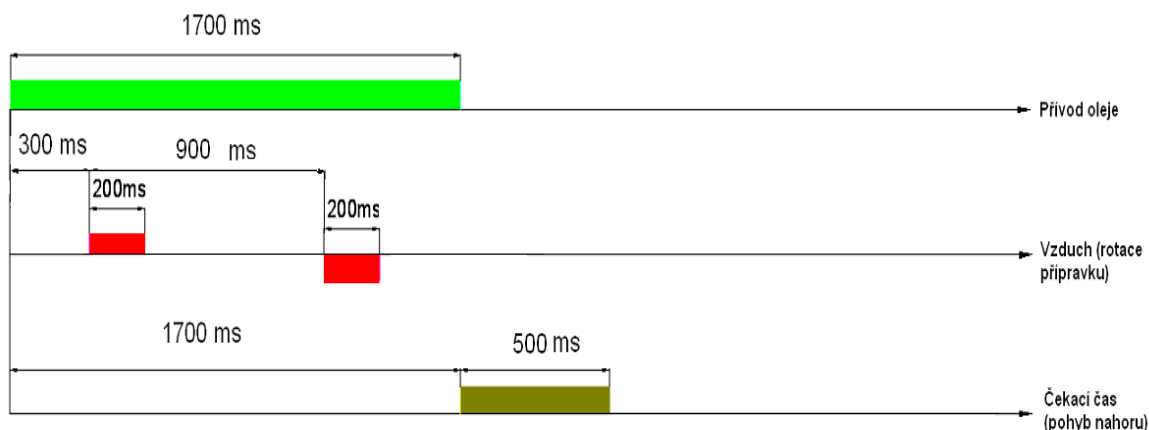
Proběhlo několik testů s nastavením tohoto parametru od 3000 ms až po 500 ms. Při hodnotách 3000 ms nebyl prokázán žádný přínosný efekt pro tento proces. Od této hodnoty bylo postupně snižováno. Při nastavení na 2000 ms byl výsledek nanesení oleje dle potřeby procesu a bylo pokračováno ve snižování časového intervalu.

Při snížení intervalu pod hodnotu 400 ms se začal projevovat tento čas jako nedostatečný pro nanesení celistvé vrstvy oleje a její natečení na hranu příruby, s tímto nastavením se po vylisování WDR z příruby na přírubách objevilo poškození, v příloze číslo 3 je tento test označen jako 6.2.2.1.

Při hodnotách 500 ms byl výsledek lisovacích křivek a povrchu přírub po vylisování bez známek poškození na všech 10 vybraných kusech. Tento pokus je v příloze číslo 3 dokumentován pod číslem 6.2.2.2.

Hlavním důvodem, proč bylo docíleno výrazného snížení tohoto časového intervalu, byla změna polohy mazacího přípravku.

Grafické znázornění po optimalizaci času odjezdu je na obrázku 6.2.2.1.



Obr. 6.2.2.1 Grafické znázornění po optimalizaci odjezdového času test 6.2.2.2

6.2.3 Test ověření vlivu časové prodlevy mezi rotačními pohyby

Cílem těchto testů bude prokázat vliv časové prodlevy mezi jednotlivými rotačními pohyby na kvalitu namazaného povrchu. Potvrdit, či vyvrátit nutnost této prodlevy a její případné odstranění.

Jak je zřejmé z grafického znázornění současného nastavení stroje viz obr. 5.3.1.5 časová prodleva mezi oběma pohyby rotačního přípravku je dána součtem hodnot nastavených jako „čas otevření vzduchového ventilu“ ve staničních a typových datech, ponížené o 200 ms, které jsou konstrukčně nutné k provedení rotačního pohybu v jednom směru.

V případě původního nastavení jde tedy o hodnotu 700 ms. Při této hodnotě je dávka oleje pro rotační pohyb oběma směry dostatečná. Během testů budeme zkoušet tuto prodlevu snížit na minimum, případně ji zcela odstranit.

Hodnoty pro dávky oleje jsou pro následující testy převzaty z původního nastavení a čas odjetí přípravku do základu je nastaven dle závěrů předchozích provedených testů na hodnotu 500 ms.

Test 6.2.3.1 byl proveden s prodlevou rovné 0 ms, aby bylo hned v počátku jasné, zda je tento parametr pro proces důležitý či nikoliv.

Na počátku testu se zdálo být vše v pořádku, po přibližně pěti zhotovených kusech začalo být zřejmé nedostačující množství přivedeného oleje pro zpětný rotační pohyb. Při následné montáži již bylo zřejmé, že není možné tento parametr zcela odstranit a interval mezi oběma pohyby je v procesu nutný k zajištění naplnění rotační hlavičky před otočením.

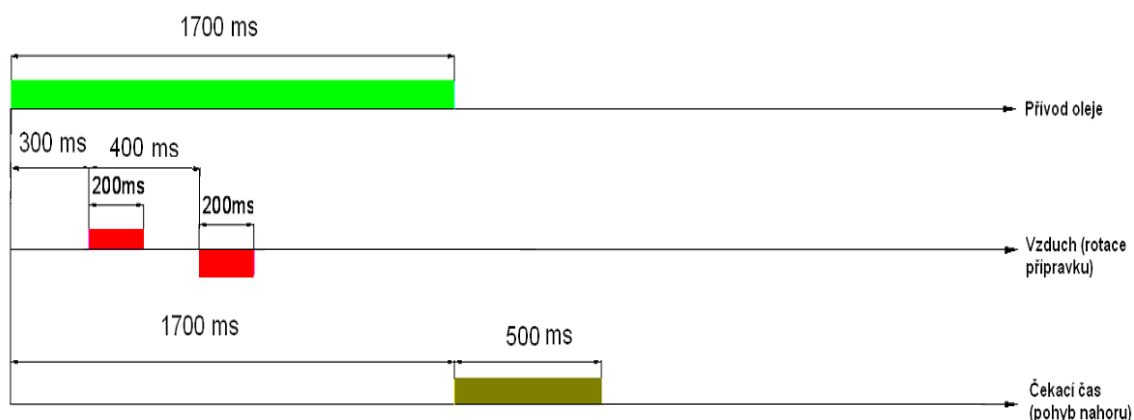
Po důkazu potřeby tohoto parametru bylo rozhodnuto tento parametr postupně snižovat z původní hodnoty 700 ms v pravidelných intervalech po 100 ms a zjišťování nejmenší možné časové prodlevy.

Během testů bylo dosaženo hranice 200 ms, která se jevila jako nejnižší možná, byla označena jako test 6.2.3.2.

Test 6.2.3.2 byl po vylisování WDR a prozkoumání povrchu přírub zvolen jako vhodné nastavení strojů pro následující postup. Poškození nebylo nalezeno na žádné přírubě, a také během procesu bylo dodávané množství oleje v obou směrech rotace dostatečné po celou dobu zkušebního provozu.

Lisovací síly a stavy vylisovaných přírub a WDR jsou zdokumentovány v příloze číslo 4.

Grafické znázornění časových intervalů po provedených dosavadních testech je na obrázku 6.2.3.1.



Obr. 6.2.3.1 Grafické znázornění po optimalizaci časové prodlevy mezi rotacemi test 6.2.3.2

Z tohoto grafu je zřejmé, že posledním parametrem, který je třeba optimalizovat je samotné množství přivedeného oleje do systému, během procesu mazání.

6.2.4 Testy s cílem snížit množství spotřebovaného oleje

Bylo rozhodnuto provést 10 testů vedoucích k plánované redukci mazacího oleje a určení optimální varianty nastavení dodávaného množství.

Dávka oleje byla systematicky snižována od výchozího nastavení 1700 ms v intervalech 100 ms. V této diplomové práci budou popsány pouze tři z deseti provedených testů, z kapacitních důvodů diplomové práce.

Zachováno bylo nastavení tlaku oleje v systému na 3 bary, čas čekání na odjezd přípravku do základní polohy byl nastaven dle testu 6.2.2.2 na hodnotu 500 ms,

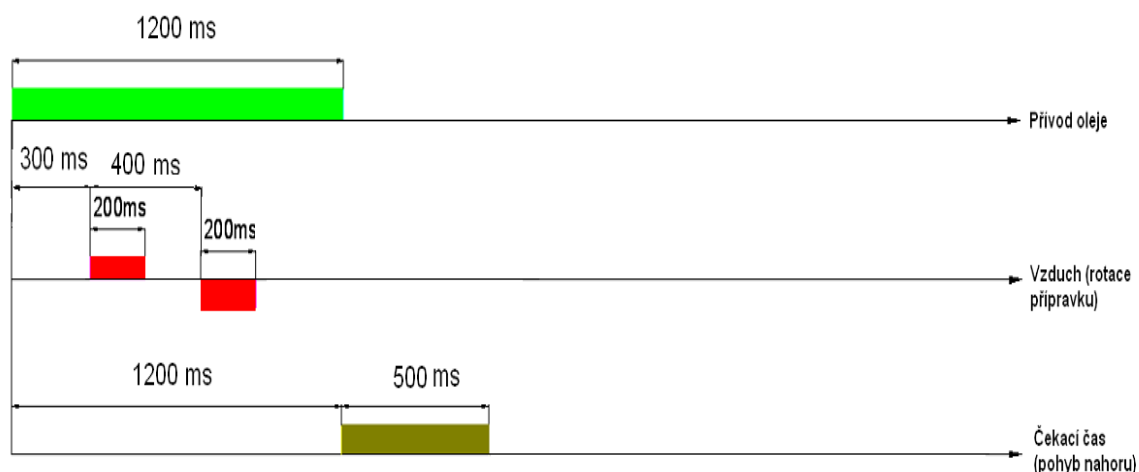
nastavení vzduchu a časové prodlevy mezi rotačními pohyby dle testu 6.2.3.2 a pozice mazacího přípravku do polohy přibližně 0,5 mm nad hranou příruby jak je stanoveno dle testu 6.2.1.3.

Test 6.2.4.1

Pro první popsany test se sníženou dávkou oleje bylo použito nastavení typových dat v původních hodnotách a množství oleje sníženo o 500 ms. Ostatní parametry jsou zadány dle předcházejících testů, viz tabulka 6.2.4.1.

Tab. 6.2.4.1 Nastavení parametrů pro test č.6.2.4.1

Nastavení typových dat:	
čas otevření olejového ventilu	700 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	400 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	300 ms
Nastavení staničních dat:	
čas otevření olejového ventilu	500 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	0 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	0 ms
čas čekání na odjezd maz. přípravku	500 ms
tlak oleje v systému	3 bar



Obr. 6.2.4.1 Grafické znázornění časů

Při tomto nastavení stroje nebylo zjištěné žádné poškození příruby po vylisování WDR. Rozložení vrstvy oleje po přírubě bylo rovnoměrné, bez přerušení celistvosti

vrstvy. Průběh lisovacích sil je stabilní a jejich poloha je dle požadavků procesního předpisu. Během tohoto testu bylo potvrzeno, že takové nastavení strojů zajišťuje dostatečnou stabilitu procesu, nezpůsobuje poškození přírub a tím netěsnosti. Množství spotřebovaného oleje však bylo stále výrazné a docházelo k rychlému znečištění stroje.

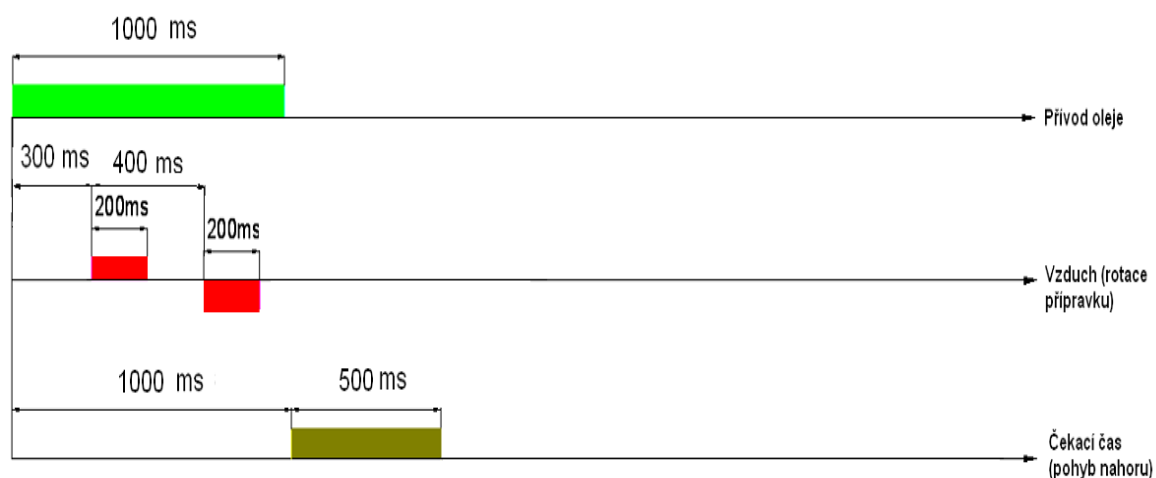
V příloze číslo 5 je grafický průběh lisovacích sil a fotografie povrchu přírub společně s WDR po jejich demontáži.

Test 6.2.4.2

Pro tento test bylo navrženo zachovat typová data v původním nastavení a optimalizovat staniční data následujícím způsobem. Proti původnímu nastavení došlo k snížení množství přivedeného oleje o 700 ms na jeden mazací proces, tedy o 41%.

Tab. 6.2.4.2 Nastavení parametrů pro test č.6.2.4.2

Nastavení typových dat:	
čas otevření olejového ventilu	700 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	400 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	300 ms
Nastavení staničních dat:	
čas otevření olejového ventilu	300 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	0 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	0 ms
čas čekání na odjezd maz. přípravku	500 ms
tlak oleje v systému	3 bar



Obr. 6.2.4.2 Grafické znázornění časů

Po demontáži WDR a následném posouzení povrchů nebylo zjištěno žádné poškození přírub ani hřídelových těsnicích kroužků. Grafické znázornění průběhů lisovacích sil bylo stabilní a spotřeba oleje výrazně nižší než při původním nastavení stroje, přesto vrstva naneseného oleje po odjetí přípravku byla rovnoměrná po celém obvodu přírub.

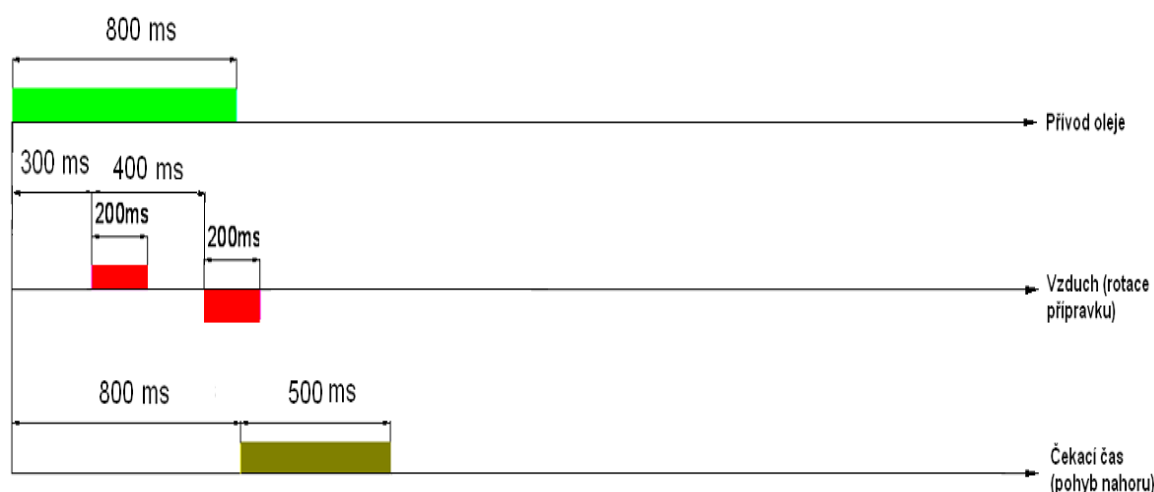
Poloha křivek a fotografie povrchu přírub a WDR po jejich vzájemném vyliisování jsou obsaženy v příloze 5 pod číslem 6.2.4.2.

Test 6.2.4.3

Třetím popsáním testem byl test, u kterého bylo pokračováno ve snižování dávky. V tomto případě již byla dávka oleje nižší, než časový interval pro vzduch. Z toho je zřejmé, že již nebude docházet k plnění hlavičky olejem po ukončení rotace, tak jako tomu bylo v předchozích případech. Dávka oleje je v tomto testu nastavena na 800 ms, ostatní hodnoty dle přiložené tabulky.

Tab. 6.2.4.3 Nastavení parametrů pro test číslo 6.2.4.3

Nastavení typových dat:	
čas otevření olejového ventilu	700 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	400 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	300 ms
Nastavení staničních dat:	
čas otevření olejového ventilu	100 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	0 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	0 ms
čas čekání na odjezd maz. přípravku	500 ms
tlak oleje v systému	3 bar



Obr. 6.2.4.3 Grafické znázornění časů

Po provedení zkušebních lisovacích procesů bylo zřejmé, že množství oleje v tomto případě již není dostačující. Průběh lisovacích sil byl zřetelně odlišný od předchozího nastavení, poškození přírub bylo po demontáži WDR také zřejmé. Při kontrole mazání byla na počátku zkušebních procesů dávka oleje dostačující, po několika kusech však během procesu mazání byla zřejmá místa, ve kterých olej nanesen nebyl, a proto je pro sériovou produkci tato varianta nevhodná.

Poloha křivek a fotografie povrchu přírub a WDR po jejich vzájemném vylisování jsou obsaženy v příloze 5 pod číslem 6.2.4.3.

Na základě všech provedených testů a jejich vyhodnocení, byla v rámci řešení diplomového projektu vybrána jako nejvýhodnější varianta nastavení, varianta 6.2.4.2.

Výsledné doporučené nastavení na základě provedených testů je znázorněno tabulkou 6.2.4.4.

Tab. 6.2.4.4 Nastavení parametrů pro doporučené nastavení

Nastavení typových dat:	
čas otevření olejového ventilu	700 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	400 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	300 ms
Nastavení staničních dat:	
čas otevření olejového ventilu	300 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění oleje)	0 ms
čas otevření vzduchového ventilu	0 ms
mrtvý čas“(čas zpoždění vzduchu)	0 ms
čas čekání na odjezd maz. přípravku	500 ms
tlak oleje v systému	3 bar
poloha mazacího přípravku vůči přírubě	0,5 mm nad hranu

7 ZHODNOCENÍ VYBRANÉ VARIANTY

7.1 Ekonomické vyhodnocení současné varianty nastavení

Při současném nastavení strojů byla roční spotřeba daného oleje **3750 litrů**. Pro potřeby tohoto projektu bylo rozhodnuto přepočítat spotřebu oleje vztaženou k jednomu stroji v intervalu 1 měsíce, tak aby byl měřitelný vývoj spotřeby oleje po zavedení navrženého nastavení do zkušebního provozu.

Pořizovací cena spotřebovaného média pro potřeby diplomového projektu nebyla společností poskytnuta. Pro vyčíslení byla použita katalogová cena, která odpovídá **89,10 Kč** za litr.

Na montážních linkách je v současné době 6 pracovišť s tímto nastavením. Z toho vychází spotřeba k jednomu stroji na **625 litrů** ročně, tomu odpovídá částka **55687,50 Kč** pro jeden výrobní stroj. Na měsíční bázi jde o spotřebu **52,1 litrů** a tedy měsíční náklady **4642,11 Kč** na jeden měsíc provozu pro jeden stroj.

Roční spotřeba při současném nastavení strojů je **3750 litrů**, což v sumě vyčíslíme na **334125 Kč** pro všechny montážní moduly. Vztaženo na bázi měsíční spotřeby jde o **312,5 litru** pro všechny montážní moduly, a to odpovídá **27852,66 Kč** měsíčně.

7.2 Vyhodnocení spotřeby oleje vybrané varianty

Při navrhovaném nastavení strojů dojde k snížení spotřebovaného oleje o přibližně **41 %**.

Pro takové nastavení je předpokládaná roční spotřeba oleje **368,4 litrů** na jeden stroj, což odpovídá nákladům **32824,44 Kč** ročně. Měsíčně jde tedy o **30,7 litrů**, respektive o **2738,84 Kč** měsíčně na jeden stroj na jedné montážní lince.

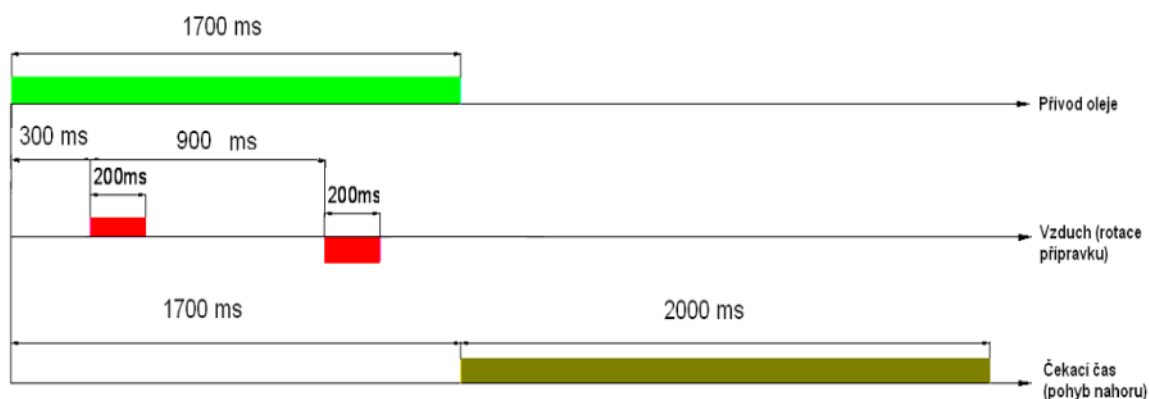
Za předpokladu zavedení navrhovaného nastavení na všechny montážní moduly linek CP4 by předpokládaná roční spotřeba oleje činila **2212,5 litrů** a tedy **197133,75 Kč**. Měsíční spotřeba by pak byla **184,38 litrů**, čemuž odpovídá měsíční náklad **16427,81 Kč** pro všechny montážní moduly.

7.3 Porovnání stavů před a po změně

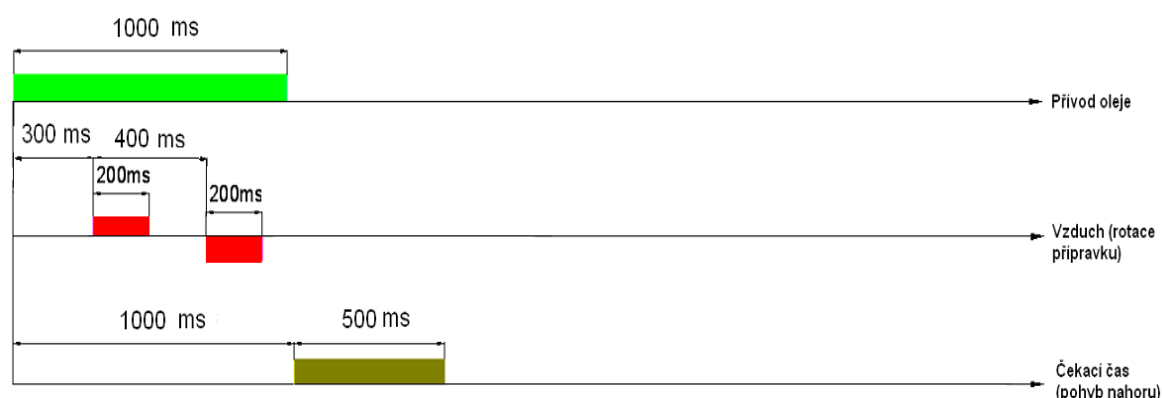
Protože byla zcela popsána navržená varianta, v této kapitole dojde k porovnání mezi stavem na počátku řešení dané problematiky a navrženého konceptu.

7.3.1 Porovnání z pohledu nastavení

Pro porovnání jednotlivých stavů z hlediska nastavených časů, bude použito grafické znázornění těchto průběhů, které bude následně stručně popsáno a vysvětleny kroky, které vedly k novému nastavení.



Obr. 7.3.1.1 Znázornění parametrů současného nastavení



Obr. 7.3.1.2 Znázornění parametrů dle zvolené varianty

Pro názornost jsou u obou průběhů použita stejná měřítka, aby bylo zřetelné, jaké změny byly zavedeny.

Na základě prováděných testů byla nejdříve upravena pozice mazacího přípravku vůči hraně příruby. Přípravek byl během procesu v nevhodné poloze, hlavním důvodem bylo převzetí této polohy z předcházející konstrukce mazacího přípravku. Špatná poloha přípravku měla za následek nutnost delšího času čekání na odjezd přípravku do základní polohy, tím bylo docíleno kvalitnějšího naneseného povrchu.

Úpravou této pozice byl umožněn následující krok, zavedení kratšího intervalu na čekání odjezdu mazacího přípravku. Z obou grafů je zřejmé, že u navržené varianty je tento čas kratší o tři čtvrtiny. To má příznivý vliv na čas stroje, vzhledem k charakteru více strojové obsluhy však tento přínos není nijak zásadní, tento čas je totiž překryt manuální činností pracovníka.

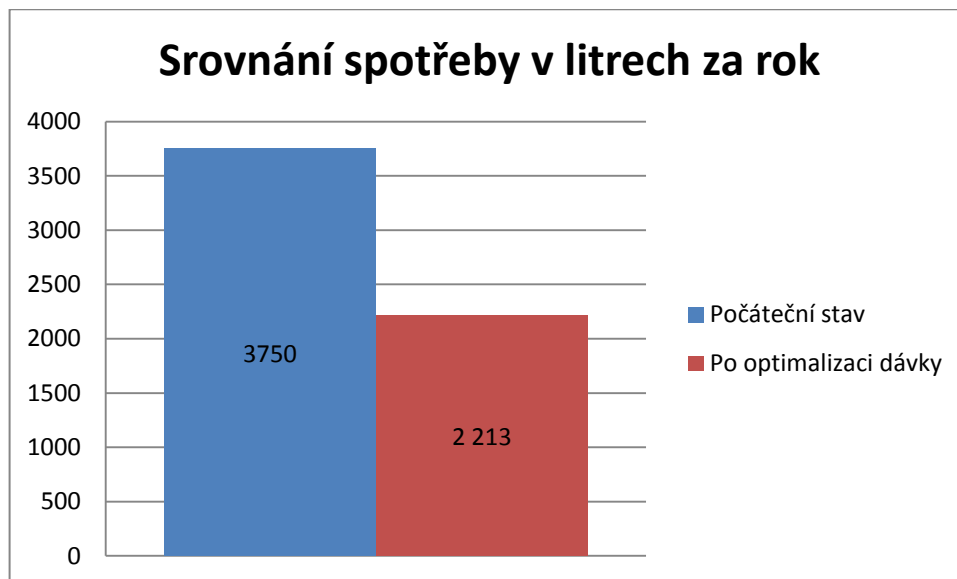
Dalším krokem bylo krácení prodlevy mezi rotačními pohyby mazacího přípravku. Během testů bylo prokázáno, že původně stanovená hodnota byla bez efektu, mazací přípravek je schopný získat potřebné množství oleje během výrazně kratšího časového úseku.

Hlavním rozdílem je pak snížení přivedeného oleje do samotného procesu mazání a tím i kratší mazací cyklus. Zde se podařilo snížit dávku z 1700 ms na 1000 ms.

7.3.2 Porovnání z pohledu ekonomického

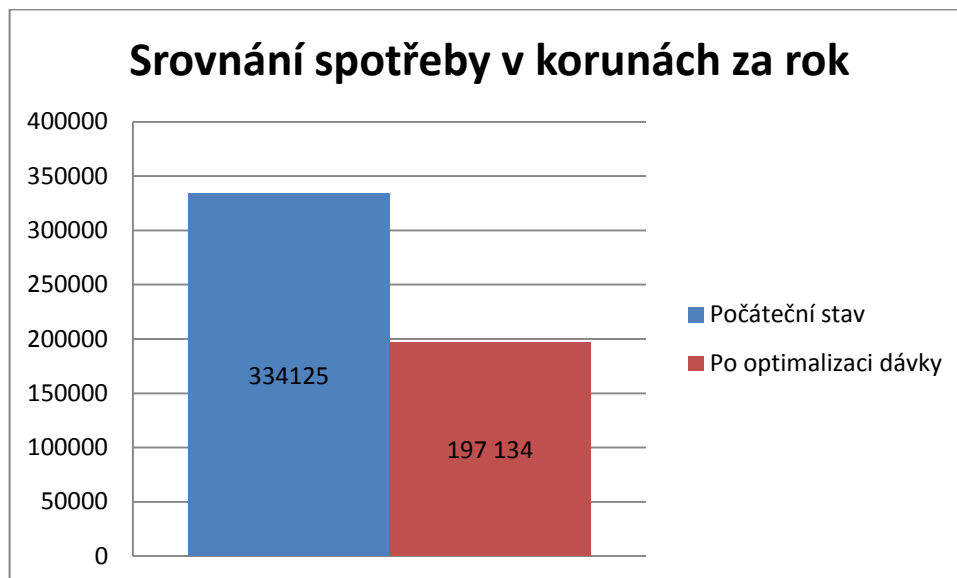
Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, přestože se podařilo snížit strojní čas o 1,5 sekundy vlivem zkrácení čekacího času na odjezd přípravku, z ekonomického pohledu nemá tato změna žádný význam, protože na celkovém času cyklu se nijak neprojeví.

Z ekonomického hlediska je největší úsporou snížení dávky mazacího oleje. Na grafu 7.3.2.1 je viditelný rozdíl v roční spotřebě tohoto média a následně, pro lepší přehlednost v grafu 7.3.2.2 je tento rozdíl přepočten na náklady spojené s pořízením roční zásoby.



Graf 7.3.2.1 Roční spotřeba v litrech

Na tomto grafu je zřejmá úspora kterou lze předpokládat při dodržení navrhovaného nastavení oleje, na roční bázi 1538 litrů, vztaženo na všech šest montážních zařízení.



Graf 7.3.2.2 Roční spotřeba v korunách

Tento graf vychází z dat, která jsou znázorněna v grafu předchozím. Jde o stejný poměr, tentokrát však vyjádřený v nákladech na pořízení oleje za rok. Předpokládaná roční úspora na pořízení olejů je 136 991 Kč.

ZÁVĚR

Tento diplomový projekt se zabývá analýzou vlivu materiálů přírub na proces lisování hřídelových těsnicích kroužků a optimalizací technologických parametrů procesu. Během projektu došlo k několika změnám, které ovlivnily celý projekt. Nejvýznamnější změna ve vývoji projektu byla změna konstrukce mazacího přípravku.

Z obou konceptů mazacího přípravku byla vybrána rotační varianta, s kterou je následně pracováno v průběhu celého projektu.

Od vypracování projektu bylo požadováno porovnání obou materiálů přírub, tak aby byla popsána jejich vzájemná odlišnost a vliv těchto rozdílů na proces lisování. Následně byla od projektu očekávána optimalizace technologických parametrů procesu lisování.

Při řešení diplomového projektu bylo dosaženo následujících výsledků:

- byla provedena materiálová analýza obou přírub. Dle materiálových norem byla zřejmá odlišnost těchto materiálů z pohledu chemického složení. Toto tvrzení bylo doplněno o metalografické výbrusy, z kterých je zcela zřejmý rozdíl obou materiálů. U přírub vyrobených technologií přesného lití jsou viditelné precipitáty křemíku, které mají negativní vliv na proces lisování,
- pokus o optimalizaci procesu obrábění přírub nebyl vyhodnocen jako vhodná varianta řešení. Nepodařilo se prokázat zásadní vliv na snížení lisovacích sil ani jiný přínos tomuto montážnímu procesu,
- po statistickém vyhodnocení z hlediska schopnosti výroby udržet požadovanou jakost povrchu v dlouhodobém intervalu, bylo na základě těchto výsledků rozhodnuto použít pro následné testy příruby vyrobené pro sériovou výrobu,
- provedením testů s různým nastavením mazání bylo dosaženo varianty, která je méně náročná na spotřebu oleje, i na výrobní čas stroje. Z hlediska nákladů se však projeví pouze spotřeba oleje, protože čas stroje je překryt manuální činností pracovníka.

Po zavedení navrženého řešení a měsíčním zkušebním provozu byla vyčíslena předpokládaná roční úspora množství spotřebovaného oleje, která odpovídá 1538 litrům. Vztaheno na náklady spojené s pořízením toho množství oleje je předpokládaná roční úspora 136991 Kč.

Přínosem tohoto projektu bylo také snížení míry znečištění okolí strojů, vlivem menšího rozstříku přebytečného oleje. Pozitivně byl také hodnocen vliv na zkoušku těsnosti čerpadel prováděné tlakem hélia. Tato stanice během procesu odsává prostor v čerpadle a jeho okolí, čímž je znečištěna přebytečným množstvím oleje a to má negativní vliv na výsledky zkušebního procesu, a s tím spojené zvýšené náklady na údržbu stroje.

Provedení projektu lze hodnotit kladně s tím, že je vhodná neustálá optimalizace pracovišť pro zlepšení všech výrobních ukazatelů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ROBERT BOSCH GMBH. *Intranet Bosch Diesel s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <https://rb-portal.bosch.com/BWSOnlineWebNew/home.seam>
2. DOLEŽAL, Jan. *Optimalizace a standardizace ve výrobě přírub pro Common Rail vysokotlakých čerpadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 57 s., 10 příloh. Doc. Ing. Miroslav Píška CSc.
3. http://www.ural.cz/download/tech_info/gufera.pdf [online]. 2013 [cit. 2013-1-21].
4. DIN EN 573 DE
5. DIN EN 1706 DE
6. Podniková norma 1469 C15 038 DE
7. Doc. RNDr. KROPÁČ Jiří, CSc. *Aplikovaná statistika*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2004. 140s.
8. HUMÁR, Anton. *Technologie montáže*. VUT FSI-ÚST. 1. vyd. Brno : ÚST, 2004. 82 s.
9. TRUTNA, Pavel. *Zařízení pro zalisování tlumiče průtoku do tělesa vstřikovacího čerpadla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 50 s., 9 příloh. prof. Ing. Milan Forejt, CSc.
10. TECHNIK, Radim. *Vystružovací nástroje s břity z cermetu a PVD povlakem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 115 s., 12 příloh. Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CP4	[-]	Common rail pump 4. generace
CP3	[-]	Common rail pump 3. generace
CP1H	[-]	Common rail pump 1. generace
CP4.1	[-]	CP4 jednohlavé
CP4.2	[-]	CP4 dvouhlavé
ZK	[-]	Zillinderkopf – označení dílce (hlava válce)
RS	[-]	Rollenstößel – označení dílce (zvedáku)
SV	[-]	Saughventil – označení dílce (sací ventil)
ÜV	[-]	Überstormventil – označení dílce (přepadový ventil)
DMC	[-]	Datamatrix kód
HTK	[-]	Hřídelový těsnicí kroužek
WDR	[-]	Německý výraz pro hřídelový těsnicí kroužek
RWDR	[-]	Německý výraz pro radiální hřídelový těsnicí kroužek
i.o.	[-]	Značka pro proces s požadovaným výsledkem
n.i.o.	[-]	Značka pro proces s neshodným výsledkem
CDM	[-]	Centrální systém pro správu dat
IT	[-]	Stupeň přesnosti
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
Rz	[μm]	maximální hodnota drsnosti
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	řezná rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Datový soubor Ø37 H7 a drsnost R_z |
| Příloha 2 | Výsledky ze zkoušky těsnosti. |
| Příloha 3 | Výsledky testu s časovou prodlevou odjezdu přípravku. |
| Příloha 4 | Výsledky testu s časovou prodlevou mezi rotačním pohybem přípravku. |
| Příloha 5 | Průběhy lisovacích sil + fotografie přírub a WDR po vylisování |