



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

ZKOUŠKA TĚSNOSTI VYSOKOTLAKÉ ČÁSTI ČERPADLA

LEAK TEST OF THE HIGH PRESSURE PUMP PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Daniel ŠŤASTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Daniel Šťastný

který/která studuje v **magisterském navazujícím 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:

Zkouška těsnosti vysokotlaké části čerpadla

v anglickém jazyce:

Leak test of the high pressure pump part

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je implementace samostatné zkoušky těsnosti vysokotlaké části čerpadla jako součást funkčního testu. V práci bude uveden postup pro testování čerpadla jak z hlediska funkce, tak z hlediska těsnosti. Práce se bude zabývat rozбором možných alternativ pro implementaci vysokotlaké zkoušky těsnosti a s tím spojené změny výrobního taktu, snížení nákladů a zvýšení produktivity montážní linky. Pro možné alternativy bude zpracováno technicko-ekonomické zhodnocení.

Cíle diplomové práce:

1. Historie společnosti a výrobní program
2. Zhodnocení současného stavu
3. Analýza alternativních řešení
4. Technicko-ekonomické zhodnocení
5. Závěry

Seznam odborné literatury:

- DUŠÁK, K. Technologie montáže. Základy. VŠ skriptum. TU v Liberci, 2005, s. 113.
- VASILKO, K. - HRUBÝ, J. - LIPTÁK, J. : Technológia obrábania a montáže. 1.vyd. ALFA Bratislava 1991.
- TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. 1st edition. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.
- HUMÁR A.: TECHNOLOGIE MONTÁŽE, syllabus
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnMontaze.pdf>
- ZELENKA, A., PRECLÍK, V., HANINGER, M. Projektování procesů obrábění a montáží. ČVUT Praha, 1999.
- HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- DeGarmo, P.E., Black, J.T., Kohser, R.A. Materials and Processes in Manufacturing. John Wiley and Sons. 2012. 11th edition. 1184 s. ISBN-13 978-0-470-92467-9.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá rozhorem aktuální situace a metodou pro testování těsnosti vysokotlaké části čerpadla. Jsou zde analyzovány možnosti pro přenesení testu na zkušební stanice, které slouží k testování funkce čerpadla. K navrhované změně testovacího procesu jsou vykalkulovány úspory a náklady s následnou návratností investice.

Klíčová slova

vysokotlaká zkouška těsnosti, funkční test, tlak, čerpadlo

ABSTRACT

This essay discusses actual situation and method for high pressure pump part testing. Here are possibilities for moving of high pressure leakage test on test benches used for pump functional test. Savings and costs plus return on investment are calculated for testing process change.

Key words

high pressure tightness test, functional test, pressure, pump

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠŤASTNÝ, D. *Zkouška těsnosti vysokotlaké části čerpadla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 53 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Zkouška těsnosti vysokotlaké části čerpadla** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Daniel Šťastný

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavovi Piškovi, CSc. a panu Ing. Janu Sekavovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	8
1 Historie firmy bosch	9
1.1 Historie firmy Robert Bosch	9
1.1.1 Historie v ČR.....	10
1.2 Firma Bosch Diesel v Jihlavě.....	11
1.2.1 Výrobní program	11
2 Čerpadlo CP3	14
2.1 Hlavní komponenty čerpadla CP3	15
2.2 Funkce čerpadla	20
2.3 Montáž čerpadla	25
2.3.1 Operace montáže čerpadla.....	25
2.3.2 Zkušební procesy čerpadla	26
3 Analýza současného stavu	28
3.1 Funkční zkouška.....	28
3.2 Vysokotlaká zkouška	32
3.3 Analýza výpadků pro vysokotlakou netěsnost	33
4 Možnosti nalezení vysokotlaké netěsnosti	36
4.1 Vysokotlaká zkouška v průběhu zkoušky účinnosti	36
4.2 Nalezení vysokotlaké externí netěsnosti.....	38
4.3 Zastavení čerpadla	39
5 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	47
Závěry	50
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	51
Seznam použitých symbolů a zkratk	52
SEZNAM PŘÍLOH.....	53

ÚVOD

V této práci je představena historie firmy Bosch Diesel s.r.o., její vznik a následné rozrůstání. Jsou zde popsány počátky firmy v Jihlavě a její aktuální výrobní program v tomto závodě.

Práce se zabývá řešením možných způsobů nalezení netěsnosti ve vysokotlaké části čerpadla. Tento druh netěsnosti je z hlediska možných následků na funkci čerpadla považován za velmi kritický, proto je velmi důležité nalezení těchto chyb z procesu montážních linek.

Současný stav vytaktování montážní linky ukazuje, že aktuální vysokotlaká zkouška těsnosti je úzkým místem pro navýšení výtěžnosti montážní linky. Navržené změny v procesu zkoušení vysokotlaké těsnosti čerpadel mohou přinést určité klady ale i negativa, která je nutno očekávat při implementaci těchto změn do sériové výroby.

V současné situaci na trhu je důležité optimalizovat procesy výroby a montáže, aby bylo možné šetřit náklady a zvyšovat výtěžnost zařízení. K tomu je ale nutné volit změny, které současně udrží nebo navýší standard prováděných operací.

V práci jsou navrženy dvě možnosti přenesení zkoušky vysokotlaké těsnosti na stanice pro zkoušení funkčnosti čerpadla. Jednou možností je použití zkušební stanice bez jakýchkoli úprav. Při tomto způsobu však dochází ke změně testovacích parametrů a lze očekávat možné problémy při nacházení čerpadel s netěsností.

Druhý způsob umožňuje nalezení veškerých netěsností čerpadel. Testování probíhá za stejných podmínek jako aktuální test vysokotlaké těsnosti. Pro implementaci tohoto způsobu jsou ale nezbytné softwarové a hardwarové úpravy zkušebních stanic. V práci jsou vykalkulovány úspory a náklady na tyto úpravy a následné úspory při zrušení stávající zkoušky vysokotlaké těsnosti. Jsou zde i zhodnocena rizika pro nový způsob testování.

1 HISTORIE FIRMY BOSCH

Již dlouhou dobu je Bosch Group předním globálním dodavatelem technologií a služeb. V oblastech automobilové a průmyslové techniky, spotřebního zboží a techniky budov bylo v roce 2011 s více než 300 000 zaměstnanci dosaženo obratu v hodnotě 51,5 miliard euro. Bosch Group zahrnuje společnost Robert Bosch GmbH a více než 350 dceřiných společností ve více než 60 zemích světa. Pokud jsou započtena i místa prodejních a servisních partnerů, počet zemí se rozroste zhruba na 150. V roce 2011 investoval Bosch do výzkumu a vývoje 4,2 miliardy euro a přihlásil více jak 4100 patentů.^[1,2,3]



Obr. 1 Logo k 125. výročí^[1]

1.1 Historie firmy Robert Bosch

Robert Bosch otevřel svou Dílnu pro jemnou mechaniku a elektroniku 15. listopadu 1886. Náplň činnosti zprvu spočívala v konstrukci a instalaci elektrických zařízení všeho druhu. Počáteční provozní kapitál byl brzy vyčerpán a tak financování nákupů nových strojů muselo být řešeno formou úvěru. Po obtížných devíti letech se podařilo v roce 1895 dluhy splatit a podnikání v oboru elektroinstalací se začalo pomalu vyplácet. Počet zaměstnanců v následujících pěti letech vzrostl, protože firma těžila z rozvoje elektrifikace ve Stuttgartu, který s sebou přinesla průmyslová epocha.

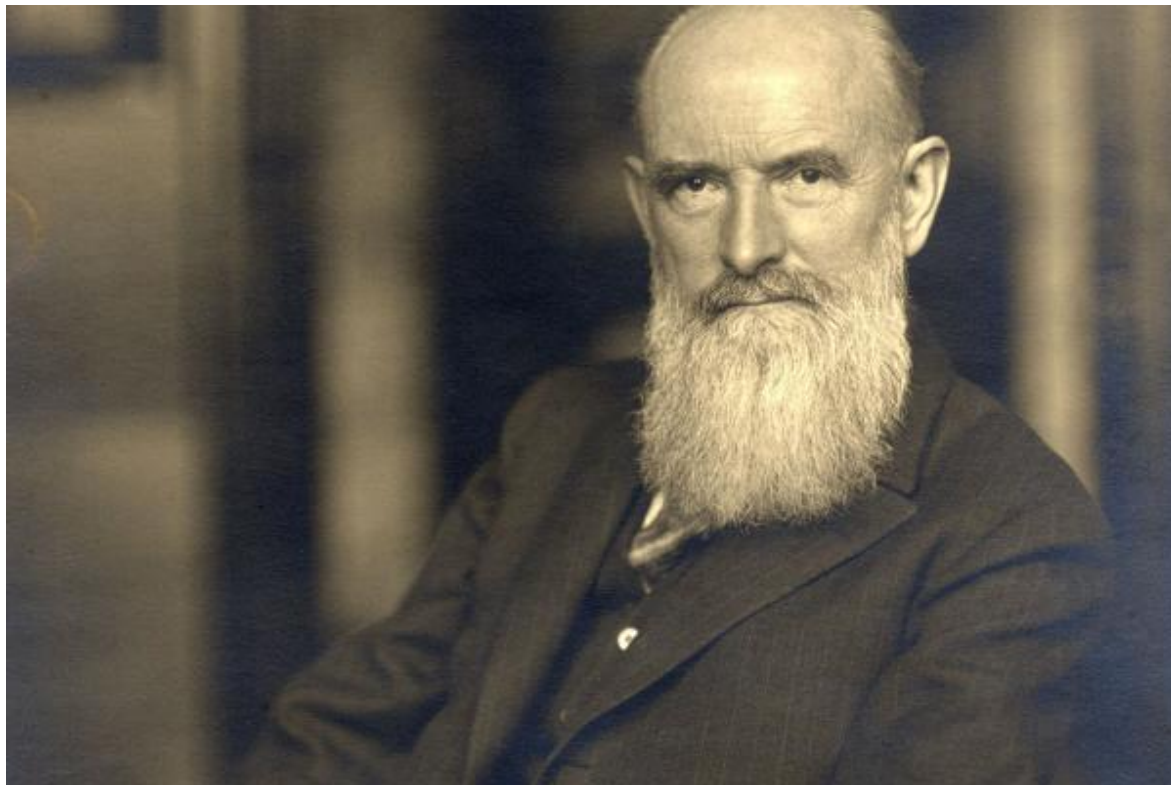
Nejdůležitějším milníkem historie firmy se stalo magnetoelektrické zapalování. Bosch v jeho konstrukci provedl několik zásadních změn a tento výrobek mu přinesl první ekonomický úspěch.

Další fáze společnosti se datuje mezi roky 1900 a 1925, kdy již byla firma pevně zakotvena v oblasti automobilového průmyslu. V tomto období vznikaly i pobočky a výrobní provozy mimo Německo. V těchto letech do vývoje firmy promluvila i 1. světová válka. Bosch byl v tuto dobu již globální firmou, celých 88% obratu pocházelo ze zahraničí.

Po roce 1925 byly zakládány nové obchodní jednotky a pole působnosti se rozrůstalo i mimo automobilovou techniku. V této době se Robert Bosch stáhl z aktivního působení v podniku a položil základy stanov, které platí dodnes.

Zaváděním rozsáhlých reforem se Bosch začal měnit na globální technologickou skupinu. Postupně začali vznikat divize Elektrické nářadí, Balicí technika a Automatizační technika. V období mezi rozčleněním na divize se přineslo do společnosti několik významných inovací produktů. Řadí se mezi ně řízený

vstříkovací systém pro zážehové motory D-Jetronic, protiblokovací brzdový systém ABS, elektronické řídicí jednotky EDC pro vznětové motory, navigační systém Blaupunkt TravelPilot a elektronický program stability ESP.^[1,2,3]



Obr. 2 Robert Bosch v roce 1928 ^[8]

1.1.1 Historie v ČR

Přítomnost společnosti Robert Bosch na českém území se datuje od konce 19. století, kdy začala obchodovat nejen s firmou Laurin & Klement. Oficiální pobočka byla založena v Praze roku 1920, kam se po nucené 44 let dlouhé přestávce roku 1989 opět vrátila.^[1,2,3]

V České republice sídlí několik nezávislých dceřiných firem. Obchodní aktivity zajišťují společnosti v Praze (Robert Bosch odbytová s.r.o., Bosch Termotechnika s.r.o.) a Brně (Bosch Rexroth s.r.o.). Výrobní závody se nacházejí v Jihlavě (Bosch Diesel s.r.o.) v Českých Budějovicích (Robert Bosch, spol. s r.o.) a v Krnově a Městě Albrechtice (Bosch Termotechnika s.r.o.). Za své působnosti na českém trhu si Bosch vybudoval image významného výrobce a investora. Celé spektrum výrobků Bosch je dnes součástí nejen domácností, ale i spousty automobilových, servisních a průmyslových podniků. Momentálně je v České republice pod hlavičkou Bosch Group zaměstnáno okolo 7700 pracovníků a celkový obrát Bosch Group v ČR byl v roce 2011 1,2 miliardy euro.^[1,2,3]

1.2 Firma Bosch Diesel v Jihlavě

Na počátku roku 1993 vznikla v Jihlavě společnost Bosch Diesel s.r.o., prvotně jako společný podnik s jihlavským strojírenským závodem Motorpal. V Jihlavě tak začal velkorysý projekt, kterým byla odstartována nová historie výroby pro vznětové motory. Bosch je stoprocentním majitelem společnosti od října 1996, kdy odkoupil podíl od Motorpalu. V témže roce vznikla i tříletá spolupráce s Automotive Lighting (italská Magnetti Marelli), firmou montující automobilové světlomety.^[1,2,3]



Obr. 3 Interní logo jihlavského závodu ^[6]

S novou technologií vstřikování paliva Common Rail pro vznětové motory se změnila perspektiva jihlavského závodu. Značka Bosch je nyní jedničkou ve svém oboru a udává tón. Princip Common Rail, který je znám od konce 60. let, dnes pracuje při tlacích až 1800 barů (čerpadla CP3). V kombinaci s užitím elektronicky ovládaných vstřikovacích jednotek se palivo do válce vstřikuje velmi přesně a rychle. Tím systém dosahuje optimálního rozprášení paliva ve spalovacím prostoru a tím lepšího hoření. Dosahuje se tak nižší spotřeby, emisí a hladiny hluku. Dnes tento systém využívají prakticky všechny významné automobilky.

Od roku 1993 investovala skupina Bosch do jihlavského závodu téměř 700 milionů euro a aktuálně zaměstnává více jak 4000 zaměstnanců.

1.2.1 Výrobní program

Výrobní program jihlavského závodu je situován do tří výrobních závodů:

- Závod I. – Humpolecká,
- Závod II. – Alfatex,
- Závod III. – Pávov (obr. 4).



Obr. 4 Jihlavský závod na Pávově ^[9]

V těchto prostorách je vyráběno pět produktů:

- vysokotlaký ventil DRV,
- vysokotlaký zásobník (Rail),
- vysokotlaké čerpadlo CP3,
- vysokotlaké čerpadlo CP4,
- vysokotlaké čerpadlo CPN5.

Vysokotlaký ventil DRV

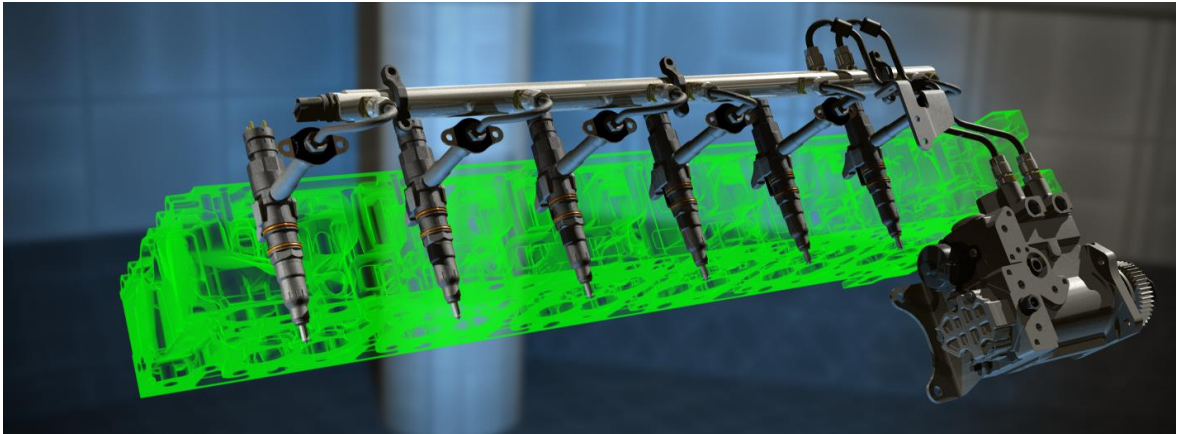
Vysokotlaký ventil DRV je součástí Common Rail. Ventilem DRV je plněna funkce regulátoru tlaku paliva ve vstříkovacím systému mezi čerpadlem a motorem. Je vyráběn ve dvou variantách DRV1 (od roku 2002, pro čerpadla CP1 nebo Rail) a DRV2 (od roku 2004, pro Rail s čerpadlem CP3). Výroba zahrnuje montáž, praní dílců, broušení kuželového sedla ventilu a výrobu filtrů.

Vysokotlaký zásobník

Vysokotlakým zásobníkem Rail je rozváděno palivo proudící pod tlakem od čerpadla k jednotlivým vstříkovacím jednotkám. V Jihlavě probíhá výroba velké a malé série těles Railu a kompletní montáž komponentů (senzory, omezovací a ochranné ventily apod.). Jsou zde vyráběny typy pro 3, 4, 5, 6 a 8mi válcové motory pro zákazníky celého světa.

Vysokotlaké čerpadlo CPN5

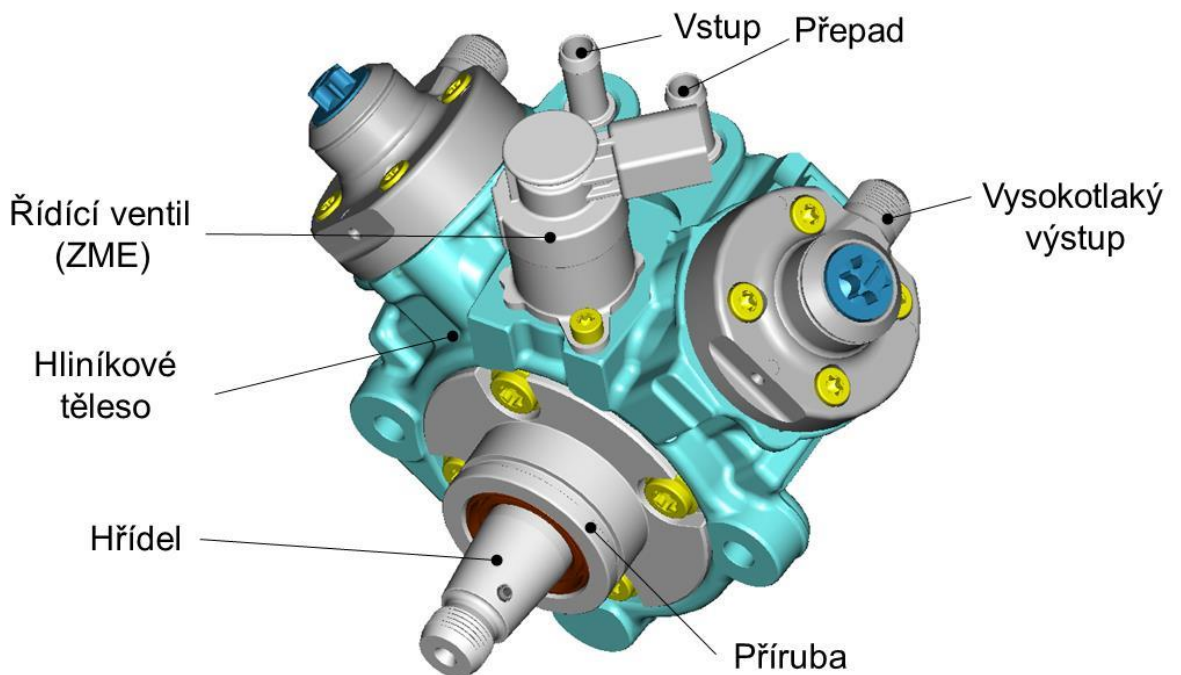
Čerpadlo CPN5 je řadové čerpadlo s písty. Aktuálně existují čtyři generace čerpadel pro systémy CRSN3.3 a CRSN4.2 (systém se zesilovači tlaku ve vstříkovačích). Uplatnění pro tyto čerpadla je hlavně pro těžká užitková vozidla střední třídy. Těmito čerpadly budou ve středním horizontu nahrazena všechna čerpadla pro užitkové vozy střední třídy v Evropě. Od roku 2014 bude Jihlava mateřským závodem pro CPN5 a jediným výrobním evropským závodem. Pro zákazníka Daimler je plánována montáž na dvou montážních linkách.



Obr. 5 Common Rail systém s čerpadlem CPN5 ^[6]

Vysokotlaké čerpadlo CP4

V současnosti je čerpadlo CP4 jedním z hlavních produktů v Jihlavě. Jsou jím splňovány požadavky zákazníků a předností jsou jeho kompaktnost, váha, výkon a malý rozměr. Čerpadla jsou vyráběna ve dvou variantách (jednohlavé a dvouhlavé) a dosahují tlaků až 2100 barů. V Jihlavě je vyráběno těleso a příruba čerpadla a je zde prováděna montáž.



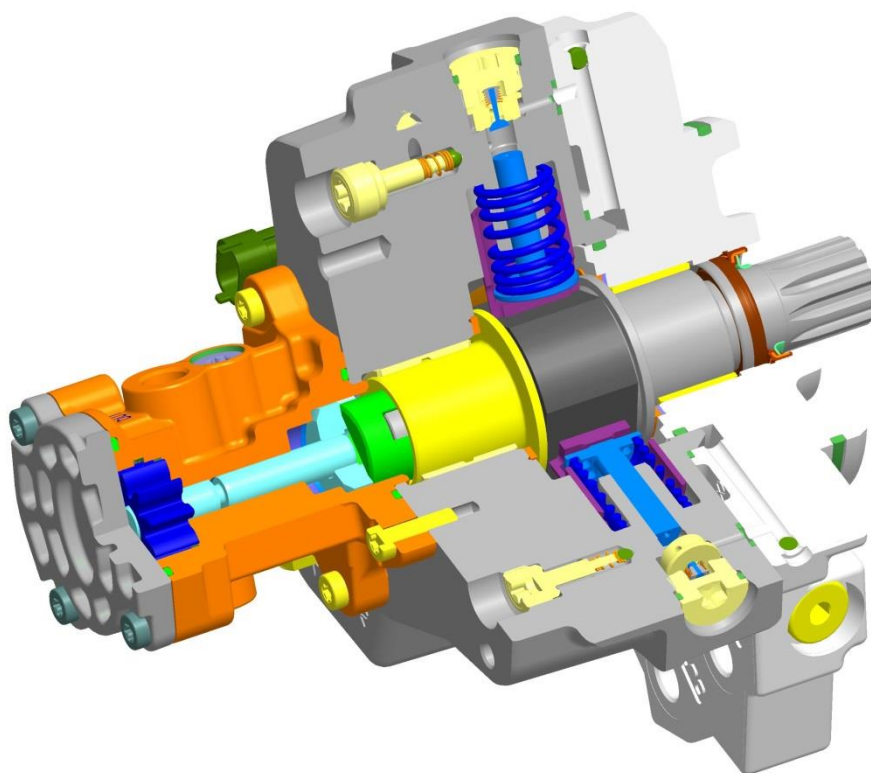
Obr. 6 Čerpadlo CP4 ^[6]

Vysokotlaké čerpadlo CP3

Čerpadla CP3 mají v Jihlavě dlouholetou výrobní a montážní historii a nyní je Jihlava jediným závodem, kde jsou tyto čerpadla vyráběna. Čerpadla jsou montována v mnoha variantách pro tlaky 1600 nebo 1800 barů na třech montážních linkách. Dále jsou zde 4 výrobní linky na výrobu těles, 3 kompletní výrobní linky na výrobu drobných dílců (excentrická hřídel, píst, hřídelový polygon) a jedna malosériová montážní linka.

2 ČERPADLO CP3

Čerpadla CP3 jsou v Jihlavě vyráběna od roku 2000. Až do roku 2009 se v Jihlavě vyráběla zhruba polovina celosvětové produkce. Ostatními závody, které se podílely na produkci, byly závody v Bari (Itálie), Charlestonu (USA) a Feuerbachu (Německo). V roce 2009 byla do Jihlavy přesunuta výroba z Bari a Charlestonu a v roce 2010 z Feuerbachu. V roce 2010 bylo také vyrobeno 15 milionů čerpadel. Díky týmu CP3 a správné implementaci výrobních principů Bosch se produkce CP3 stala jedním z hlavních pilířů Common Rail dieselových vstřikovacích systémů z hlediska kvality a inovací. V současné chvíli je plánováno vyrábět zhruba 1 milion čerpadel ročně. Toto čerpadlo může být použito jak pro osobní tak i pro nákladní automobily.



Obr. 7 Řez čerpadlem CP3 MAN ^[6]

2.1 Hlavní komponenty čerpadla CP3

Čerpadlo se skládá z deseti základních komponent. Patří mezi ně těleso čerpadla, příruba, excentrická hřídel, hřídelový polygon, píst, sací ventil, řídicí ventil, přepadový ventil, vysokotlaký ventil a zubové čerpadlo.

Těleso čerpadla

Výrobní proces tělesa začíná měkkým obráběním, jehož polotovarem je výkovek. Zde jsou obráběny plochy a otvory nutné pro funkci čerpadla. Probíhají zde operace frézování, vrtání a odjehlení výbuchem a pastou. Po následném tepelném zpracování přichází na řadu tvrdé obrábění. Zde je cílem zlepšení vlastností povrchu. Honováním jsou pak dokončeny otvory pro písty. Kvalita otvorů má vliv na účinnost a životnost.

Obr. 8 Těleso po vrtání ^[6]

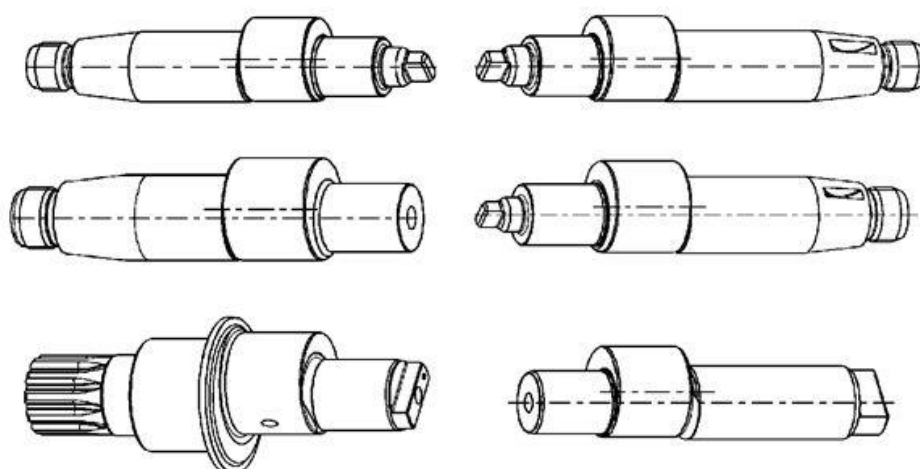
Příruba

Příruby jsou dodávány od externích dodavatelů. Jejich design je uzpůsoben dle potřeb zákazníka. Hliníková příruba slouží jak k vedení paliva tak i k uchycení celého čerpadla k motoru vozu. Přes přírubu proudí palivo tělesem k zubovému čerpadlu přes řídicí a přepadový ventil. Palivo je přiváděno od nádrže vozu technologickým konektorem do příruby. V některých případech obsahuje příruba i přepadový výstupní konektor.

Obr. 9 Příruba ^[6]

Excentrická hřídel

Funkce celého čerpadla je způsobena otáčením hřídele, na jejímž excentrickém průměru je nasazen hřídelový polygon. Tvarová zakončení hřídele jsou závislá od požadavku zákazníka na technologické připojení k motoru a také zda je hřídel montována do čerpadla se zubovým čerpadlem nebo bez něj. Typy zákaznického připojení mohou být s kónusem (18x1,5 mm nebo 14x1,5 mm) pomocí závitů, s drážkou pro pero, drážkované spojky nebo spojky s unašečem.

Obr. 10 Typy hřídelů ^[6]

Hřídelový polygon

Funkcí hřídelového polygonu (dále jen polygon), umístěného na excentrickém průměru hřídele, je přenos rotačního pohybu hřídele na přímočarý pohyb pístu. V Jihlavě je prováděno soustružení vnitřního průměru polygonu a broušení čel a povrchu. Následné C2 povlakování probíhá u externího dodavatele. Po návratu dílce do jihlavského závodu je zde prováděno lisování pouzdra do vnitřního průměru polygonu, popřípadě i kompletace na hřídel.

Obr. 11 Postup výroby polygonu ^[6]

Píst

Pístem je při jeho přímočarém pohybu nasáváno nebo stlačováno palivo v prostoru nad ním. Palivo je nasáváno přes sací ventil, který je podtlakem v prostoru nad pístem otevírán. Po nasátí paliva dojde ke změně orientace pohybu pístu, sací ventil je s rostoucím tlakem zavírán a palivo je dodáváno do vysokotlakého okruhu čerpadla.

Sací ventil

Funkcí sacího ventilu je zajištěno požadované naplnění prostoru nad pístem při sacím zdvihu a těsnosti při kompresním zdvihu. Ventilem je dosahován stabilní otevírací tlak po dobu životnosti CP3.

Obr. 12 Modely pístu a sacího ventilu ^[6]

Vysokotlaký ventil

Vysokotlakým ventilem je zabraňováno zpětnému úniku paliva z vysokotlaké části čerpadla zpět do nízkotlakého okruhu. Ventil je tvořen ocelovou nebo keramickou kuličkou \varnothing 5 nebo \varnothing 6 milimetrů, která dosedá na sedlo vybroušené v tělese.

Obr. 13 Proudění paliva přes sací a vysokotlaký ventil ^[6]

Přepadový ventil

Přepadovým ventilem je zajišťován konstantní tlak v systému. Při změně požadavku na dodávané množství, které je regulováno řídicím ventilem, dochází ke změně tlaku v celém systému. Přepadovým ventilem je tento tlak regulován tak, aby změna režimu neovlivňovala podmínky pro řídicí ventil, tedy pro správné dodávání paliva. Tímto ventilem je také zajišťováno mazání čerpadla (minimálně 25 l.hod^{-1}) a také podpora k odvodu odvětrání čerpadla při náběhu.

Obr. 14 Funkce přepadového ventilu v aplikaci se zubovým čerpadlem ^[6]

Řídicí ventil

Řídicím ventilem je pomocí změny proudu regulován průtok paliva v nízkotlaké části čerpadla. Tím je také regulována dodávka do vysokotlaké části čerpadla.

Obr. 15 Řez řídicím ventilem

Zubové čerpadlo

Zubový čerpadlem je vytvářen potřebný vstupní tlak pro čerpadlo. U čerpadel CP3 jsou rozlišovány dva druhy zubových čerpadel. Rozdílností je přítomnost přetlakového ventilu, kde je zubové čerpadlo samo schopno regulovat přetlak již před vstupem paliva do nízkotlaké části čerpadla.

Obr. 16 Schéma toku paliva a model zubového čerpadla bez regulačního ventilu ^[6]

2.2 Funkce čerpadla

Úkolem čerpadla v systému Common Rail je zajištění dodávky paliva do tlakového zásobníku. Jsou rozlišována dvě základní schémata systému a to z hlediska přívodu paliva z nádrže k čerpadlu CP3. Palivo může být do čerpadla přiváděno jednak samotným čerpadlem CP3, a to tehdy, pokud je jeho součástí zubové čerpadlo (ZP application – Zahnradpumpe, Gear Pump), anebo externím elektrickým čerpadlem (EKP application – Elektrokraftstoffpumpe, Electric feeding pump), které je výrobcem automobilu umístěno přímo u nádrže vozu. Tím je určen potřebný vstupní tlak do čerpadla.

V systému se zubovým čerpadlem je potřebný tlak pro správný chod čerpadla vytvářen právě zubovým čerpadlem. Nemusí tedy být dosaženo velkého tlaku před samotným čerpadlem CP3. Tlak se pohybuje okolo 0,1 baru. Zubovým čerpadlem je následně tlakováno palivo na 5 barů.

Obr. 17 Schéma se zubovým čerpadlem ^[6]

V systému EKP je nutno přivádět do čerpadla palivo pod tlakem 3,7 barů, který je tvořen elektrickým čerpadlem za nádrží vozu.

Obr. 18 Schéma bez zubového čerpadla ^[6]

Tok paliva je v čerpadle rozdělován do tří linií a to na nízkotlaký, vysokotlaký a mazací okruh.

Průchod paliva čerpadlem:

- (1) přítok paliva z palivové nádrže do příruby přes filtr (obr. 19),
- (2) otvor pro vstup paliva do tělesa čerpadla (obr. 19),
- (3) vstup paliva z příruby do tělesa (obr. 20, 21. 22),
- (4) výstup paliva z tělesa a vstup do zubového čerpadla (sání zubového čerpadla) (obr. 20, 21. 22),
- (5) komprese paliva zubovým čerpadlem na 5 barů a výstup ze zubového čerpadla do tělesa (obr. 20, 21. 22),
- (6) palivo vystupuje z tělesa a vstupuje do příruby (obr. 20, 21. 22),
- (7) tímto otvorem se palivo dostává pod tlakem 5 barů zpět do příruby (obr. 19),
- (8) rozdělení paliva na dva proudy. Prvním proudem je přiváděno k přepadovému ventilu. (obr. 19),

Obr. 19 Vrtání pro průchod paliva v přírubě ^[6]

- (9) cesta paliva druhým proudem k regulačnímu ventilu (obr. 19),
- (10) vpouštění paliva regulačním ventilem (dle potřeby kanálem ve spodní hladině) do kruhového rozvodu (obr. 19),
- (11) spojení kruhového rozvodu se sacím kanálem (ve třech místech) (obr. 19),
- (12) proudění paliva sacím kanálem k sacímu otvoru v tělese (pozice 13) (obr. 19),
- (13) vstup paliva v tělese k sacím ventilům. Zde dochází ke kompresi paliva (obr. 20, 21. 22),
- (14) proudění paliva pod vysokým tlakem. Zde začíná vysokotlaký okruh (obr. 20, 21. 22),
- (15) vysokotlaké kanály spojující stlačené palivo ze tří kompresních míst (obr. 20, 21. 22),

Obr. 20 Cesty paliva v tělese ^[6]

- (16) palivo určené pro Rail je dopravováno kanálem z tělesa (obr. 20, 21. 22),
- (17) palivo je dodáváno přes vysokotlaký konektor (není zakreslen) do Railu (obr. 20, 21. 22),
- (18) přepadovým ventilem je po překročení tlaku 5 barů dodáváno palivo určené pro mazání do tělesa mazacím kanálem (obr. 19),
- (19) přes tento otvor je palivo přiváděno k jstícímu členu Zero Delivery (nulová dodávka) (obr. 19),
- (20) vstup do mazacího kanálu uvnitř tělesa (obr. 20, 21. 22),
- (21) mazací kanál (obr. 20, 21. 22),
- (22) výstup paliva z mazací oblasti v tělese (obr. 20, 21. 22),

Obr. 21 Cesty paliva v tělese ^[6]

- (23) výstup paliva z tělesa do přepadového hrdla (obr. 20, 21. 22),
- (24) cesta paliva přes přepadové hrdlo zpět do nádrže (obr. 20, 21. 22),
- (25) pokud není palivo pouštěno přepadovým ventilem pro mazání, veškeré palivo je dodáváno na vstup a dále do zubového čerpadla (obr. 19),

Obr. 22 Cesty paliva v tělese ^[6]

2.3 Montáž čerpadla

Montáž čerpadla je prováděna na montážní lince. Montážní linka je fyzicky i technologicky rozdělena na dvě části. Na první části (tzv. suchá část montážní linky) je prováděna samotná montáž čerpadla, kdy na jednotlivých stanovištích (operacích) na montážním páse, probíhá montáž jednotlivých komponentů. Na druhé části (tzv. mokrá část montážní linky) se provádí testování čerpadla z hlediska funkčnosti a těsnosti. Mokrá část montážní linky je zakončena vizuální kontrolou a balením.

2.3.1 Operace montáže čerpadla

Při montáži čerpadla na suché části montážní linky je logisticky přiváděno do procesu mnoho dílců, ze kterých se čerpadlo skládá. Vzhledem k velkému typovému spektru čerpadel CP3 se jedná o stovky komponent. V současné chvíli dochází v průběhu roku k montáži více než 150 typů čerpadel. V některých případech se jedná o vizuálně totožné typy, které se liší pouze v několika odlišných komponentech.

Obr. 23 Procesní krajina montážní linky ^[6]

2.3.2 Zkušební procesy čerpadla

Zkušební procesy čerpadla jsou prováděny na čtyřech stanovištích. Zde je testována těsnost nízkotlaké části čerpadla, těsnost vysokotlaké části čerpadla a zkouška funkce čerpadla.

Prvním testem těsnosti nízkotlaké části je zkouška heliem (obr. 24). Tento test je umístěn po dokončení montážního procesu ještě na suché části linky a slouží nejen k ověření těsnosti čerpadla, ale také k ujištění, že montážní proces proběhl správně. Test je prováděn v uzavřené komoře, kde je, po odsátí vzduchu z prostoru komory a z čerpadla, čerpadlo tlakováno heliem a je měřen únik helia případnými netěsnostmi čerpadla do prostoru komory. Tímto testem je ukončena suchá část montážní linky.

Funkčním testem je ověřena jeho správná funkce. Čerpadlo je připojeno ve zkušební stanici a odzkoušeno daným funkčním testem, který odpovídá předpisu pro daný typ. Zkušební program obsahuje 5 až 8 zkušebních bodů.

Správně fungující čerpadlo je dále podrobeno testem vysokotlaké těsnosti. Dle předpisu a specifikace daného čerpadla je odzkoušeno ve statickém stavu při 1600 nebo 1800 barech.

Během posledního testu je opět odzkoušena nízkotlaká těsnost čerpadla. V tomto případě je čerpadlo tlakováno vzduchem a ponořeno do isokapaliny (Bubble test) (obr. 25) Důvodem tohoto testu je, že následkem předchozího testování čerpadla může docházet ke změně stavu těsnosti vlivem zahřátí a zchladnutí čerpadla při funkční zkoušce a také k vyplavení mazadel nebo nečistot, kterými mohlo dojít k utěsnění při předchozím testu na heliu.

Obr. 24 Helium test

Obr. 25 Bubble test

3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V současné chvíli je montáž čerpadel CP3 prováděna na třech montážních linkách. Na 17 zkušebních stanicích je čerpadlo testováno na správnou funkci za obsluhy šesti pracovníků. Vysokotlaká těsnost je testována taktéž na 17 strojích s obsluhou tří pracovníků. Za současného stavu času taktu montážní linky (obr. 26) je vysokotlaký test těsnosti čerpadla (stanice 500) kritickým místem. Vzhledem k požadovanému objemu výroby montážní linky je výrazným blokem ke zlepšení výtěžnosti.

Obr. 26 Taktovací diagram montážní linky ^[6]

3.1 Funkční zkouška

V průběhu funkční zkoušky je ověřována správná funkce čerpadla dle předpisu pro daný typ. Čerpadlu je předepsáno, za jakých podmínek má být zkoušeno a jaké objemy dodávaného a přepadového množství musí čerpadlo dodávat. Parametry testu jsou prvotně dány zákazníkem, který má pro daný typ motoru určité požadavky (obr. 27).

Obr. 27 Zákaznické požadavky pro čerpadlo CP3 ^[6]

Obr. 28 Zkušební parametry čerpadla CP3 Cummins 122 ^[6]

Od těchto požadavků se odvíjí nastavení podmínek pro samotnou funkční zkoušku (obr. 28). Parametry dané zákazníkem a parametry pro funkční zkoušku jsou prakticky odlišné pouze v procentuální odchylce, kdy je počítáno s odchylkou měřicího zařízení na montážní lince oproti měření u zákazníka. Znamená to tedy, že pro parametry pro testování na montážní lince jsou dány užší tolerance dodávaného množství paliva. V mnoha případech jsou zákaznickou dokumentací dány například pouze parametry pro maximální dodávku, účinnost a start.

Funkční zkouška se skládá z několika bodů. V softwaru OiS.net, který je používán k tvorbě programů, lze nastavit parametry (typová data) až pro 15 zkušebních bodů a pro základní parametry testování. V základních parametrech jsou nastaveny hodnoty pro plnění čerpadla při startu testu a parametry kalibrace řídicího ventilu. Hodnoty pro plnění čerpadla jsou dány pro celé spektrum čerpadel jednotně, ale parametry kalibrace řídicího ventilu jsou dány dle typu čerpadla. Průběh kalibrace je proveden přechodem řídicího ventilu přes čtyři kalibrační body (0,4A, 0,7A, 1,0A a 1,4A). Rozdíly mezi čerpadly jsou dány v četnosti opakování (1÷3 opakování) a v časových intervalech setrvání v jednotlivých krocích kalibrace a přechodu mezi jednotlivými body.

Pro samotný testovací bod je možno nastavit parametry, za jakých bude zkouška probíhat (obr. 29). V softwaru je zadáván typ zkušebního bodu (PositionType), otáčky čerpadla a jejich gradient (Speed, Speedgradient), tlak v Railu (Railpressure), nastavení řídicího ventilu (ZMECurrent), čas vyhodnocení zkušebního bodu (WaitingTime), přívodní a přepadový tlak (InletPressure, BackflowPressure), objem dodávaného a předadového množství paliva (Volumeflow, Backflow), měřicí systém (MeasurementSystem - dle objemu dodávaného paliva) a teplotu vstupního paliva (InletTemperature).

Obr. 29 Typová data v OiS.netu pro Cummins 122 Kennlinie 1 ^[6]

Obr. 30 Průběhy parametrů zkušebního programu

3.2 Vysokotlaká zkouška

Vysokotlakou zkouškou je ověřována těsnost vysokotlaké části čerpadla. Čerpadlo je připojeno za vysokotlaký konektor do zkušební stanice a po natlakování je sledován pokles tlaku v průběhu času. Zkouška je rozdělena do dvou fází. V první fázi je tlakováno čerpadlo a okolní systém. Zde dochází k viditelnému poklesu tlaku. Důvodem je utěsňování a dosedávání těsnících ploch systému. Následná kontrola slouží k odhalení velké netěsnosti. Druhá fáze probíhá po opětovném tlakování, kdy je již systém připraven k vlastní kontrole těsnosti čerpadla (Obr. 31).

Parametry zkoušky jsou opět nastaveny dle specifikace čerpadla na 1700 barů (u 1600 barových čerpadel) nebo 2000 barů (u 1800 barových čerpadel). Limitní únik tlaku je 2,5 baru za 20 sekund.

Obr. 31 Průběh standardního testovacího programu na stanici Georgii ^[6]

3.3 Analýza výpadků pro vysokotlakou netěsnost

Pro zhodnocení aktuálního stavu je žádoucí zhodnocení příčin a četnosti výpadků z minulých let. Databáze výpadků je spravována oddělením DNA, které shromažďuje a posléze analyzuje veškeré výpadky čerpadel z procesů montážních linek.

Maticí jsou výpadky rozdělovány na dvě skupiny. Skupinou HD01 jsou označovány výpadky z důvodu vnější netěsnosti. Jedná se o netěsnosti, při nichž dochází k úniku paliva z čerpadla do okolního prostředí. Druhou skupinou HD02 jsou netěsnosti vnitřní, tedy ty, při nichž dochází k přechodu tlaku a paliva z vysokotlaké části čerpadla zpět do části nízkotlaké.

HD01 VNĚJŠÍ

HD01. 1.01 Nízký utahovací moment

HD01. 1.02 Neodpovídá kusovníku

HD01. 2.01 Poškozená těsnící hrana

HD01. 2.02 Nepravidelný otlak těsnící hrany

- HD01. 2.03 Koroze, nečistota, tříška na těsnící hraně
- HD01. 2.04 Poškozený závit HD konektoru, vysokotlakého ventilu
- HD01. 2.05 Poškozené sedlo HD konektoru
- HD01. 2.06 Tříška v závitě HD konektoru, vysokotlakého ventilu
- HD01. 3.01 Poškozená těsnící plocha v tělese
- HD01. 3.02 Opravovaná těsnící plocha v tělese
- HD01. 3.03 Nepravidelný otlak těsnící plochy v tělese
- HD01. 3.04 Házení těsnící plochy
- HD01. 3.05 Prasklina
- HD01. 3.06 Temperle
- HD01. 3.07 Drsnost mimo toleranci
- HD01. 3.08 Vytrhaný materiál
- HD01. 3.09 Tříška na těsnící ploše
- HD01. 3.10 Koroze, nečistota na těsnící ploše
- HD01. 4.01 Hloubka závitu v tělese mimo toleranci
- HD01. 4.02 Poškozený závit v tělese
- HD01. 4.03 Tříška v závitě v tělese
- HD01. 4.04 Chyba nenalezena
- HD01. 4.05 Nedostatečné mazání
- HD01. 4.06 Porezita dílce

HD02 VNITŘNÍ

- HD02. 1.01 Chybí kulička vysokotlakého ventilu
- HD02. 1.02 Kulička - deformovaná
- HD02. 1.03 Kulička - koroze, nečistota
- HD02. 1.04 Kulička - rýha
- HD02. 1.05 Kulička - tříška
- HD02. 1.06 Dvě kuličky
- HD02. 1.07 Kulička - chybějící materiál
- HD02. 1.08 Jiný průměr kuličky
- HD02. 2.01 70°sedlo - rýha
- HD02. 2.02 70°sedlo - kruhovitost mimo toleranci
- HD02. 2.03 70°sedlo - koroze, nečistota
- HD02. 2.04 70°sedlo - prasklina
- HD02. 2.05 70°sedlo - tříška
- HD02. 2.06 70°sedlo - neopracované
- HD02. 2.07 70°sedlo - vytrhaný materiál
- HD02. 2.08 70°sedlo - hloubka mimo toleranci
- HD02. 3.01 Chyba nenalezena

Oddělením DNA bylo v letech 2009 až 2012 analyzováno 65 467 čerpadel, z nichž pouze u 1923 byla příčina výpadku na montážní lince vysokotlaká netěsnost.

U těchto čerpadel byla chyba potvrzena a nalezena pouze v 31 případech. V ostatních případech nebyla chyba potvrzena nebo nalezena příčina netěsnosti. V těchto případech se jedná o „pseudo“ netěsnosti. Tedy netěsnosti, které nebyly opakovaně potvrzeny.

Tabulka 1 Nalezené vysokotlaké netěsnosti

Z hodnot v tabulce 1 je možno analyzovat, že poměr netěsností k počtu montovaných čerpadel je velice nízký. Kritickým se může jevit rok 2009, kdy byl výskyt netěsností větší. Viditelné je zde také to, že chyby z roku 2009 se v dalších letech nevyskytovaly. Jedná se o chyby, které byly způsobeny hlavně nečistotami a korozí z důvodu neoptimálního odjehlovacího procesu na obráběcí lince. Příčinu je také možno vidět v objemu produkce. V tomto roce docházelo k velkým výkyvům montovaných čerpadel a mohlo docházet k narušení plynulosti toku materiálu.

Následky vysokotlaké netěsnosti mohou být rozděleny taktéž do dvou kategorií. Externí netěsnosti nemají vliv na samotný chod čerpadla. Pokud se nejedná o extrémně velký únik nafty, čerpadlo je schopno samo únik regulovat pomocí přepadového ventilu. V tomto případě není dodávka ovlivněna. Problémem je tedy (pouze) ztráta paliva. Pokud se bude jednat o interní netěsnost, následky mohou být až katastrofálního charakteru. Při zpětném vnikání paliva z vysokotlaké části čerpadla zpět do nízkotlaké části, dochází k extrémnímu zatěžování (přetěžování) komponent čerpadla. V první řadě vysoký tlak působí na píst, přes který je tlak přenášen na zvedák, polygon, hřídel a ložiska čerpadla. Životnost komponent se tímto snižuje velice razantním způsobem. Například životnost čerpadla bez kuličky ve vysokotlakém ventilu je počítána maximálně na několik desítek vteřin.

Obr. 32 Poškozené dílce následkem vysokotlaké netěsnosti (polygon, zvedák, pružina zvedáku) ^[6]

4 MOŽNOSTI NALEZENÍ VYSOKOTLAKÉ NETĚSNOSTI

Vzhledem k malému počtu chyb z důvodu vysokotlaké netěsnosti od roku 2010 a nákladnosti současného procesu na stanici Georgii, je nutno analyzovat možnosti nalezení vysokotlaké netěsnosti jiným způsobem v průběhu zkušebního procesu. Za aktuálních podmínek během zkušebních procesů na montážní lince, je jedinou možnou alternativou, kde by mohla být netěsnost nalezena, zkušební stanice. Pro nalezení netěsnosti je tato stanice schopna vytvořit požadovaný tlak a může zde být využito stávajících parametrů v průběhu standardního funkčního testu.

4.1 Vysokotlaká zkouška v průběhu zkoušky účinnosti

Obr. 33 Průběh testu na zkušební stanici

Obr. 34 Průběh stability tlaku

4.2 Nalezení vysokotlaké externí netěsnosti

Obr. 35 Rozdíly v dodávaném množství u těsných a netěsných čerpadel

4.3 Zastavení čerpadla

Obr. 36 Vývoj tlaku v Railu při zastavení otáček čerpadla

Obr. 37 Pozice pro uzavírací ventil

Obr. 38 SITEC ventil

Obr. 39 Implementované měřicí zařízení

Obr. 40 Vysokotlaká zkouška v ručním módu ^[6]

Obr. 41 Rozdílnosti v poklesu tlaku

Obr. 42 Program s vysokotlakou zkouškou těsnosti

Obr. 43 Typová data pro vysokotlakou zkoušku ^[6]

Tabulka 2 Opakovatelnost měření

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Obr. 44 Povolené podmínky pro chod čerpadel CP1 a CP1H ^[6]

Obr. 45 Vnitřní strany zvedáků

Obr. 46 Vnější strany zvedáků

Obr. 47 Dosedací plochy pístů na vnitřní strany zvedáků

Obr. 48 Plochy polygonu

ZÁVĚRY

V této práci je popsána zkouška těsnosti vysokotlaké části čerpadla. Je zde popsán aktuální stav a možné způsoby pro přenesení zkoušky na zkušební stanici jako součást zkušebního programu.

Aktuálně je vysokotlaká zkouška těsnosti prováděna na jednoúčelové stanici Georgii. Zde je z pohledu taktu montážní linky kritické místo. Proto je nutná optimalizace procesu zkoušky vysokotlaké těsnosti čerpadel.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KRÁLÍK, Jan. *Bosch v českých zemích: vydáno při příležitosti oslav deseti let obnoveného působení společnosti Bosch v českých zemích*. Praha: Robert Bosch odbytová společnost, 2002. ISBN 80-903-1320-5.
2. KRÁLÍK, Jan a Robert BOSCH GmbH. *Bosch v České republice*. Neprodejně. Praha: Robert Bosch odbytová společnost, 2007.
3. O společnosti Bosch v České republice: Bosch v České republice. *Bosch Česká republika* [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/our-company-lp.html
4. O společnosti Bosch v České republice: BOSCH DIESEL s.r.o. - Jihlava. *Bosch Česká republika* [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/jihlava_menu/jihlava_menu_uvod.html
5. O společnosti Bosch v České republice: Produkty - BOSCH DIESEL s.r.o. *Bosch Česká republika* [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/jihlava_menu/jihlava_menu_produkty/jihlava_produkty.html
6. BOSCH DIESEL s.r.o., Interní zdroje. [cit. 2013-03-20]
7. 125 years of Bosch – Invented for life. *Bosch Security - 125 years of Bosch* [online]. [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: http://www.exportme.boschsecurity.com/content/language1/html/5414_EN_U_XHTML.asp
8. *Robert Bosch 1928: Hintergrundbilder kostenlos* [online]. [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://de.listofimages.com/robert-bosch-1928/>
9. Výstava Současný český industriál je nyní v Jihlavě: Oblastní galerie v Jihlavě. *Výstava Současný český industriál je nyní v Jihlavě* [online]. [cit. 2013-02-21]. Dostupné z: <http://www.stavbaweb.cz/Vystavy-instalace/Vystava-Soucasny-cesky-industrial-je-nyni-v-Jihlave.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
GmbH	[-]	s.r.o.
KÜV	[-]	Přepadový ventil
MPROP	[-]	Řídicí ventil
ZME	[-]	Řídicí ventil
W771	[-]	Nákladové středisko montážní linky 2
HD	[-]	Vysokotlak
RSV	[-]	Zpětný ventil
OK	[-]	Označení pro dobré čerpadlo
NOK	[-]	Označení pro špatné čerpadlo

Symbol	Jednotka	Popis
rpm	[min-1]	otáčky
€	[euro]	Euro

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| Příloha 1 | Rozpad čerpadla CP3 |
| Příloha 2 | Zkušební stanice |
| Příloha 3 | Zkušební program Cummins 0445.020.122 |
| Příloha 4 | Stanice Georgii |
| Příloha 5 | Dokumentace studie vlivu tlakového poklesu zkušebních stanic |

PŘÍLOHA 1

PŘÍLOHA 2

PŘÍLOHA 3 - 1/10

PŘÍLOHA 3 - 2/10

PŘÍLOHA 3 - 3/10

PŘÍLOHA 3 - 4/10

PŘÍLOHA 3 - 5/10

PŘÍLOHA 3 - 6/10

PŘÍLOHA 3 - 7/10

PŘÍLOHA 3 - 8/10

PŘÍLOHA 3 - 9/10

PŘÍLOHA 3 - 10/10

PŘÍLOHA 4

PŘÍLOHA 5 – 1/4

PŘÍLOHA 5 – 2/4

PŘÍLOHA 5 – 3/4

PŘÍLOHA 5 – 4/4