



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH PROGRAMŮ VSTRÍKOVACÍCH ČERPADEL VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

OPTIMIZATION OF TEST PROGRAMS DIESEL INJECTION PUMPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ JIRKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENEK KAPLAN, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Jirka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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 bakalářské práce:

Optimalizace zkušebních programů vstřikovacích čerpadel vznětových motorů

v anglickém jazyce:

Optimization of test programs diesel injection pumps

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat optimalizací procesu testování vstřikovacích čerpadel vznětových motorů a s ní spojenou změnou výrobního taktu, snížením výrobních nákladů a zvýšením produktivity montážní linky. Pro vybrané alternativy bude zpracováno technicko ekonomické zhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je souhrn a rozbor aktuálního stavu testovacích programů vstřikovacích čerpadel vznětových motorů a následný návrh optimalního procesu. Výsledkem bude optimální postup pro testování vstřikovacích čerpadla vznětových motorů z hlediska jejich funkce.

Seznam odborné literatury:

Diesel-Engine Management, 4th Edition, Robert Bosch GmbH, 2006, ISBN:
978-0-470-02689-2.


KRÁLÍK, Jan: Bosch v českých zemích, Praha, Robert Bosch odbytová společnost, 2002.
ISBN 80-903-1320-5.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

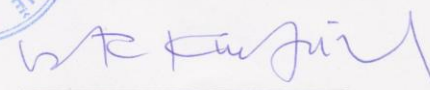
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 22.11.2013





prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



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



ABSTRAKT

JIRKA, L. *Optimalizace zkušebních programů vstřikovacích čerpadel vznětových motorů*. Bakalářská práce. Bakalářský studijní program Strojírenství, obor Stavba a provoz strojů, akademický rok 2013/2014. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, UADI odbor automobilů a traktorů, stran 40, obrázků 23, tabulek 5, příloh 2.

Bakalářská práce „Optimalizace zkušebních programů vstřikovacích čerpadel vznětových motorů“ je zaměřena na proces testování vysokotlakých vstřikovacích čerpadel CP3 z hlediska jejich správné funkce. Samotné čerpadlo, které je nedílnou součástí systému Common Rail je jedním z nosných produktů firmy Bosch Diesel Jihlava. Práce se v první části zabývá představením vlastního čerpadla, především však podrobným popisem jeho funkčního testování na zkušební stanici montážní linky. Druhá část je úzce propojena s rozborem a analýzou dat získaných během samotné funkční zkoušky jednotlivých typů čerpadel CP3. Následně jsou navrženy možnosti zkrácení délky testovacích programů, díky čemuž je možné příznivě snížit vytíženost zkušební stanice vzhledem k taktu montážní linky.

KLÍČOVÁ SLOVA

vysokotlaké čerpadlo, funkční zkouška, řídicí ventil, zkušební stanice, zkušební program, systém Common Rail

ABSTRACT

Bachelor thesis "Optimization of test programs injection pumps of diesel engines" is focused on the process of testing of proper function the high-pressure injection pumps CP3. This pump is an integral part of the system Common Rail and is one of the main products of the Bosch Diesel Jihlava company. The thesis in the first part deals with the presentation of the pump itself, and presents detailed description of the functional testing on the test station of assembly line. The second part is closely connected with the analysis of data which were collected during functional testing of each type of CP3 pumps. Following options are designed to reduce the length of test programs, making it possible to reduce the workload of test stations of assembly line.

KEYWORDS

high-pressure pump, functional test, control valve, test station, test program, Common Rail system



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JIRKA, L. *Optimalizace zkušebních programů vstříkovacích čerpadel vznětových motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 19. května 2014

.....

Lukáš Jirka



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Zdeňkovi Kaplanovi, CSc. a technologům z oddělení montáže za cenné a podmětné připomínky při zpracování daného tématu bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Bosch Diesel Jihlava s.r.o. za umožnění zpracování dané problematiky.



OBSAH

Úvod	10
1 Bosch Diesel Jihlava.....	11
1.1 Historie vzniku JhP	11
1.2 Současný výrobní program	12
1.2.1 DRV	12
1.2.2 Rail	13
1.2.3 CPN5	13
1.2.4 CP4	14
1.2.5 CP3	14
1.3 Systém Common Rail	14
1.3.1 Historie	14
1.3.2 Princip funkce.....	15
2 Čerpadlo CP3.....	16
2.1 Základní informace	16
2.2 Základní komponenty	17
2.2.1 Těleso čerpadla	18
2.2.2 Příruba	18
2.2.3 Vačková hřídel.....	18
2.2.4 Hřídelový polygon.....	19
2.2.5 Zubové čerpadlo	19
2.2.6 Řídící ventil	19
2.2.7 Píst	20
2.2.8 Sací ventil	20
2.2.9 Přepadový ventil	20
2.2.10 Vysokotlaký ventil.....	20
2.3 Kompletace a zkoušení čerpadla.....	21
2.3.1 Suchá část montážní linky	21
2.3.2 Mokrý část montážní linky	21
3 Testování čerpadla z hlediska funkce.....	22
3.1 Definování testovacích parametrů	22
3.2 Zkušební program	22
3.3 Zkušební stanice 420	22
3.3.1 Pohyb čerpadel ve zkušební stanici	23
3.3.2 Funkce operátora	23
3.3.3 Připojení čerpadla ke zkušební stanici.....	24



3.3.4	Měřené veličiny	25
3.3.5	Opravárenské pracoviště.....	26
3.4	Shrnutí a rozbor aktuálního stavu testovacích programů.....	26
3.4.1	Souhrnný popis databází dat.....	27
3.4.2	Analýza a vyhodnocení databází dat	29
4	Technicko – ekonomické zhodnocení	32
	Závěr.....	35
	Seznam použitých zkratk a symbolů	37
	Seznam obrázků a schémat.....	38
	Seznam tabulek.....	39
	Seznam příloh	40



ÚVOD

Cíle bakalářské práce definované zadavatelem jsou shrnutí a rozbor aktuálního stavu testovacích programů vstřikovacích čerpadel vznětových motorů a následný návrh optimálních zkušebních procesů. V práci je nutné uvést postup pro testování čerpadla z hlediska funkce. Dále je nutné se zabývat rozbohem možných variant zkrácení procesů testování jednotlivých typů čerpadel a s tím spojené změny výrobního taktu, snížení nákladů a zvýšení produktivity montážní linky. Nakonec je nutné vypracovat technicko-ekonomického zhodnocení pro případné navržené alternativy snížených počtů zkušebních bodů z testovacích předpisů funkčního testování.

V první kapitole je stručně popsána historie vzniku firmy Bosch Diesel Jihlava a její současný výrobní program. Ten stojí na pěti hlavních produktech, z nichž vysokotlaké čerpadlo CP3 a zejména jeho funkční testování, je hlavní náplní této bakalářské práce. Současně je zde popsán princip systému Common Rail, který je v širokém měřítku využíván pro přímý vstřik nafty do spalovacího prostoru mnoha typů motorů.

Další kapitola obsahuje základní informace o výrobě a použití tohoto produktu společně s popisem jeho hlavních komponentů. V závěru této kapitoly je stručný popis postupu při kompletaci a následném zkoušení čerpadla na montážní lince.

Třetí kapitola je již úzce zaměřena na testování čerpadla z hlediska jeho funkce. Je zde podrobně popsán celý proces funkčního testování, který v prvopočátku začíná definováním testovacích parametrů. Ty zpravidla definuje zákazník a následně je sestaven testovací předpis. Poté je nutné vytvořit testovací program určující průběh testování na zkušební stanici. V této části kapitoly jsou podrobně popsány pohyby čerpadel, povinnosti obsluhy zkušební stanice, připojení čerpadla k vlastní testovací stanici i výčet měřených veličin během funkční zkoušky. Na konci kapitoly je provedeno shrnutí a rozbor aktuálního stavu vybraných typů čerpadel a jejich testovacích programů. Tato čerpadla byla vybrána především na základě plánované produkce pro rok 2014 a kompletního zkušebního programu, který dává možnost některé body odstranit z procesu funkčního testování.

Ve čtvrté kapitole je následně zpracováno technicko-ekonomické zhodnocení pro možné alternativy odstranění daných zkušebních bodů z funkčního testování. Pro jednotlivé typy čerpadel, kterých se případné změny počtu zkušebních bodů týkají, je vypracována úvaha nad teoretickou změnou vytíženosti zkušebních stanic vzhledem k taktu montážní linky.

V poslední kapitole dochází k hodnocení jednotlivých bodů zadání.



1 BOSCH DIESEL JIHLAVA

1.1 HISTORIE VZNIKU JHP

Počátek novodobého působení firmy Robert Bosch v Jihlavě se datuje od podepsání smlouvy o joint venture (forma spolupráce dvou či více podniků) mezi místní jihlavskou továrnou Motorpal a společností Robert Bosch dne 2. října 1992. K podepsání této smlouvy vedla potřeba technicky vyspělého partnera ze strany Motorpalu a zkušeností s východoevropským trhem ze strany Robert Bosch. Po tomto aktu byla následně založena dne 4. ledna 1993 dceřiná společnost Bosch Diesel Jihlava (zkratka JhP). Následně začala okamžitě stavba haly v oblasti Humpolecká, pojmenovaná jako závod I (Obr. 1). Díky velmi rychlému rozšíření výroby, a především díky kvalitě produktů, se společnost dostala v brzké době do podvědomí zákazníků. Po odkoupení podílu ve společnosti (od firmy Motorpal) se stal Bosch Diesel jediným majitelem [1].

V roce 1999 si společnost Bosch Diesel pronajala bývalé výrobní prostory Alfatex, jinak také nazývané Na Dolech. Po nutných opravách zde začala výroba vysokotlakých zásobníků. Tento nově zrekonstruovaný závod byl pojmenován jako závod II (Obr. 1). V roce 2001 Bosch Diesel prostory odkoupil a rozšířil výrobu o tlakové regulační ventily DRV [1].

Poslední ze tří závodů, označovaný jako závod III (Obr. 1), byl postaven v roce 2001 v městské části zvané Pávov. Tentýž rok zde byla spuštěna montážní linka pro výrobu vysokotlakého čerpadla CP3. Po necelých třech letech v roce 2004 opustilo výrobní závod III již pětimiliontější vysokotlaké čerpadlo CP3. Z důvodů uspokojení poptávky po výrobcích Bosch Diesel bylo nutné započít stavbu další haly na závodě III. Tato hala byla slavnostně otevřena 21. října 2005 a stala se tak jednou z největších hal svého druhu ve společnosti Bosch vůbec [1].



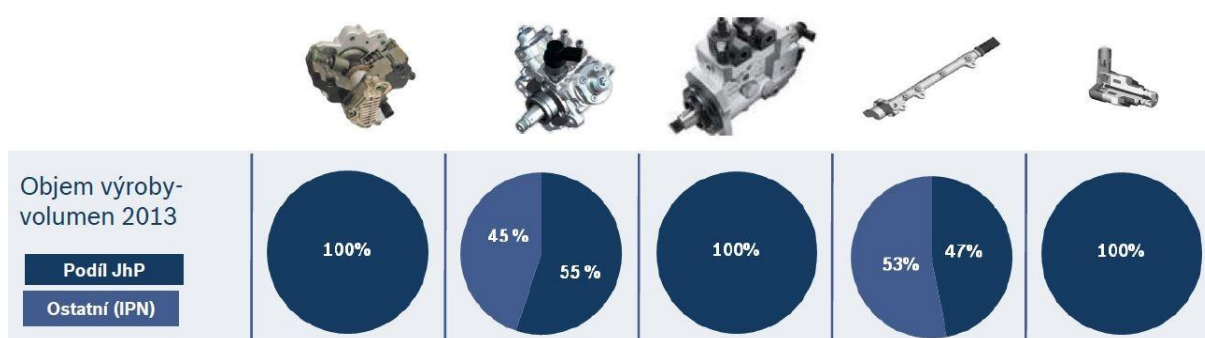
Obr. 1 Výrobní závody JhP, [3]



1.2 SOUČASNÝ VÝROBNÍ PROGRAM

V současné době stojí výrobní program na pěti hlavních produktech (Obr. 2):

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



Obr. 2 Objem výroby v JhP v porovnání s ostatními závody; zleva: CP3, CP4, CPN5, Rail, DRV, [3]

1.2.1 DRV

Vysokotlaký regulační ventil DRV (Obr. 3) reguluje tlak paliva mezi vysokotlakým čerpadlem a motorem. Tento ventil je součástí systému Common Rail a vyrábí se ve dvou základních typech, DRV1 a DRV2. Počátek výroby DRV1 spadá do roku 2002 a montáž samotného výrobku byla prováděna na čerpadlo CP1 nebo Rail. Zahájení výroby druhého typu započalo v roce 2004 a od té doby je montáž prováděna výhradně na Rail [4].

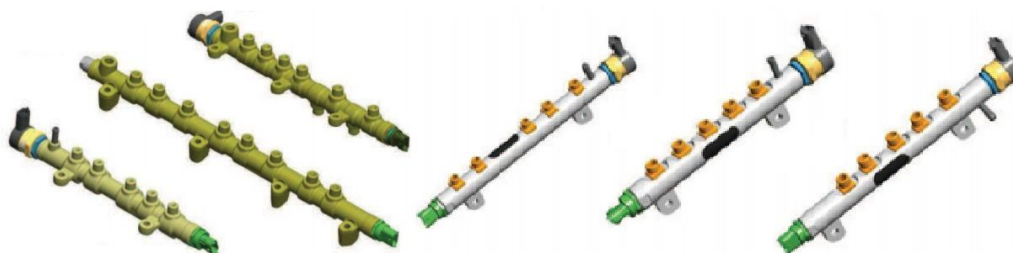


Obr. 3 Vysokotlaký regulační ventil; DRV1 vlevo, DRV2 vpravo [3]



1.2.2 RAIL

Jedná se o vysokotlaký zásobník, který je další součástí systému Common Rail. Díky zásobníku jsou zásobovány injektory v tomto systému motorovou naftou. V JhP probíhá výroba těles malé i velké série a úplná montáž jednotlivých komponentů pro motory obsahující 3, 4, 5, 6 nebo 8 válců. V základu se dělí tělesa Railů (Obr. 4) na dva základní typy dle varianty polotovaru. První typ má jako polotovar výkovek (odtud kovaný Rail). Polotovar je obráběn a následně je provedena montáž komponentů dle specifikace. Druhý typ má jako polotovar tyč, která se dělí na potřebnou délku, následně obrábí, a poté se na ní navařují úchyty a jednotlivé vývody (odtud svařovaný Rail). Na svařenec jsou následně namontovány komponenty dle dané specifikace [4].



Obr. 4 Druhy Railů; kované vlevo, svařované vpravo, [3]

1.2.3 CPN5

Vysokotlaké vstřikovací čerpadlo CPN5 (Obr. 5) je druh čerpadla (radiální pístový hydrogenerátor) určený pro systém Common Rail nákladních automobilů. Toto čerpadlo nahradí v horizontu několika let všechna čerpadla pro užitkové vozy střední třídy v Evropě. JhP je od roku 2014 jediným výrobním závodem, který tato čerpadla vyrábí. Čerpadlo CPN5 je schopné vyvinout tlaky až do výše 2500 barů [4].



Obr. 5 Vysokotlaké čerpadlo CPN5, [3]



1.2.4 CP4

Vysokotlaké vstřikovací čerpadlo CP4 (radiální pístový hydrogenerátor) je určené pro systém Common Rail osobních automobilů. JhP započal vyrábět tento typ roku 2008, přičemž se tak stal jedním z největších výrobců tohoto typu v celé Diesel divizi Bosch. V JhP se obrábí těleso, příruba a provádí se zde kompletní montáž. Produkce probíhá ve dvou variantách jako dvouhlavé (Obr. 6) a jednohlavé provedení. Čerpadlo CP4 je schopno vyvinout tlaky okolo 2100 barů [4].



Obr. 6 Vysokotlaké čerpadlo CP4, [3]

1.2.5 CP3

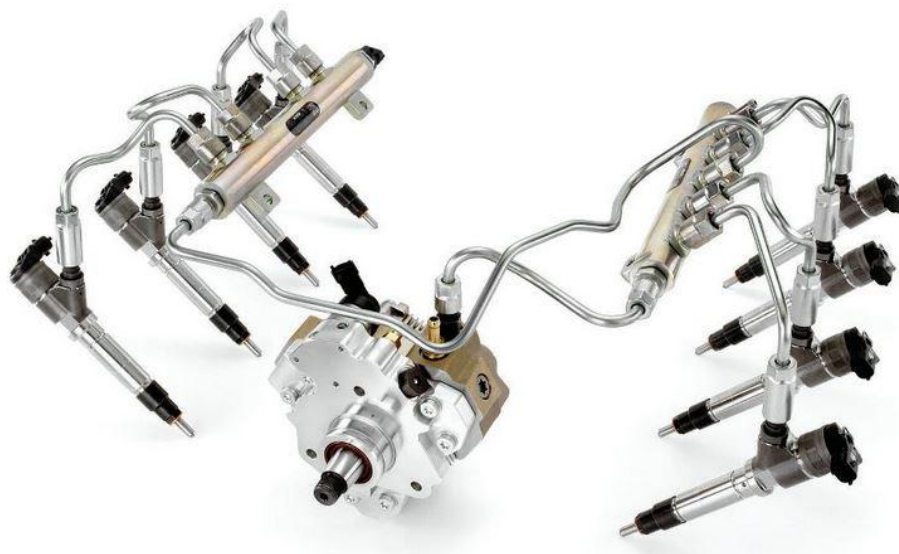
Tento typ čerpadla je popsán v kapitole 2.

1.3 SYSTÉM COMMON RAIL

1.3.1 HISTORIE

Tento princip je známý od konce 60. let, kdy znamenal revoluci pro naftový průmysl. Během posledních desetiletí umožnil tento systém stavět motory, které jsou schopné vydržet vyšší vstřikovací tlaky, než tomu bylo v minulosti. S využitím elektronicky ovládaných vstřikovacích jednotek je možné dávkovat palivo do válce velmi přesně, rychle a až v pěti dávkách během jednoho plnicího cyklu. V neposlední řadě poskytuje výhody jako nižší spotřebu i emise, tišší chod motorů a poskytnutí více energie než jeho předchůdci [1].

Tento systém plnění byl nejprve využit u nákladních automobilů. Do prvních osobních automobilů byl instalován v roce 1997. Automobily, ve kterých byl tento systém poprvé použit, byly Alfa Romeo 156 JTD 1.9 a Mercedes E 220 CDI. V roce 2010 tato technologie umožnila minimalizovat hodnotu jedovatých zplodin o více než 96% v porovnání se základní podobou tohoto systému v roce 1990. V dnešní době je tento systém využíván téměř všemi automobilkami i výrobci lodních motorů a motorů pro kolejová vozidla [1].

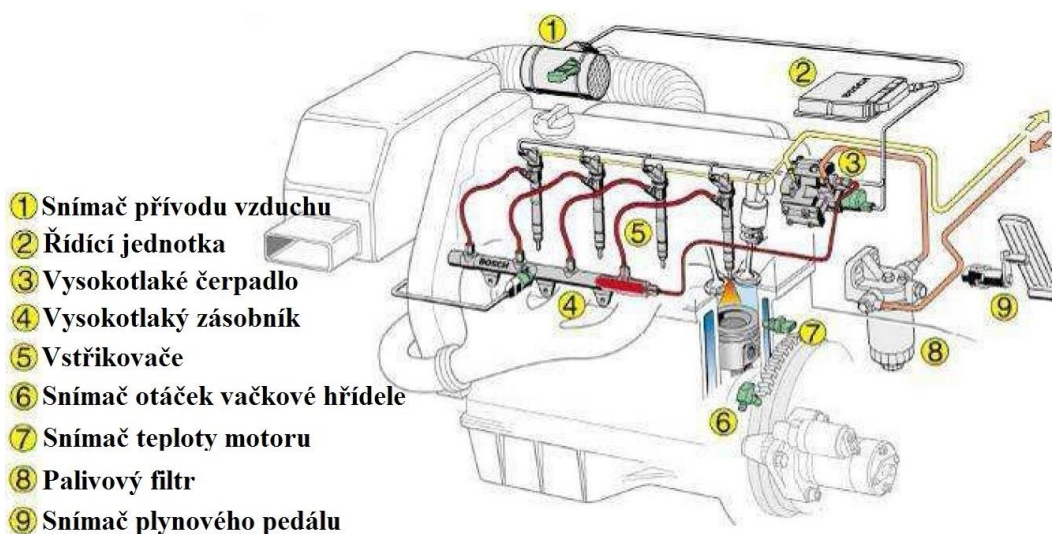


Obr. 7 Vysokotlaký okruh systému Common Rail pro osmiválcový motor; dvojice svařovaných čtyřvývodových Railů v kombinaci s vysokotlakým čerpadlem CP3 a piezoelektrickými vstřikovači, [5]

1.3.2 PRINCIP FUNKCE

V této části je vysvětlen princip funkce systému Common Rail (Obr. 8).

Po sešlápnutí plynového pedálu vyšle snímač plynového pedálu (9) signál do řídicí jednotky (2). Tato jednotka následně vyšle řídicí signál do snímače přívodu vzduchu (1) a do vysokotlakého čerpadla (3). Toto vysokotlaké čerpadlo pomocí zubového nebo přidavného elektrického čerpadla nasaje palivo z palivové nádrže přes palivový filtr (8). Tento filtr palivo čistí a zabraňuje zanesení systému nečistotami. Tato část systému se nazývá nízkotlaký okruh. V čerpadle se palivo stlačí a přepustí do vysokotlakého zásobníku (4). Z vysokotlakého zásobníku je palivo jednotlivými vývody přiváděno do vstřikovačů (5), pomocí kterých je rozprašováno do spalovacích komor motoru. Tato část systému se nazývá vysokotlaký okruh. Pro správnou funkci celého systému je zapotřebí snímačů teploty motoru (7) a otáček vačkové hřídele (6).



Obr. 8 Schéma systému Common Rail, [3]



2 ČERPADLO CP3

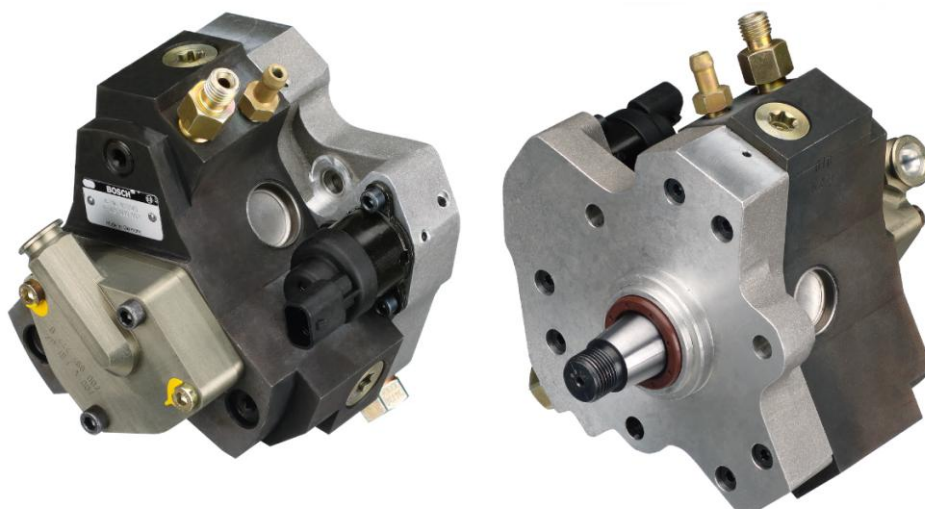
2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Varianta systému Common Rail, obsahující vysokotlaké čerpadlo CP3 (Obr. 9), se s úspěšností využívá v nejrůznějších typech aplikací. Tento systém je možné vidět u osobních, užitkových a nákladních automobilů, autobusů, těžkých pracovních strojů a dokonce i lodí. Různé modifikace čerpadla CP (3.2, 3.3, 3.4, 3.4H+, aj.) umožňují dosáhnout pracovního tlaku v rozmezí 1350 bar až 1800 bar. Výtlak se pohybuje mezi 667 až 1432 mm³ na otáčku a točivý moment čerpadla od 28 do 110 Nm. Zajímavostí může být, že průměr pracovního pístu čerpadla se přitom pohybuje v rozmezí 6,5 až 8,0 mm [3].

Čerpadlo (radiální pístový hydrogenerátor) má za úkol zajistit potřebnou dodávku paliva do vysokotlakého zásobníku v systému Common Rail. Existují dvě schémata přívodu paliva do čerpadla. Ty se rozlišují dle způsobu dopravy paliva z nádrže do čerpadla. První varianta zahrnuje přívod paliva pomocí zubového čerpadla, které je namontováno přímo na CP3. U této varianty je palivo natlačováno zubovým čerpadlem na hodnotu 5 barů. Druhá varianta obsahuje externí elektrické čerpadlo, které výrobce automobilů umísťuje přímo k nádrži dopravního prostředku. Obě varianty realizují potřebný vstupní tlak do vysokotlakého čerpadla [2].

Výroba tohoto čerpadla v Bosch Diesel Jihlava se datuje od roku 2000. V minulosti byl tento typ vyráběn ještě ve Feuerbachu (Německo), v Bari (Itálie) a Charlestonu (USA). Mezi lety 2009 až 2010 byla však celá výroba přesunuta do JhP a v současné době je tento závod jediným výrobním závodem tohoto typu v celé Diesel divizi Bosch. Přesunutí výroby bylo důsledkem inovací a především vynikající kvality jihlavských produktů. Od počátku výroby čerpadla v JhP do nynější doby se vyrobilo zhruba 18 milionů čerpadel. Za předpokladu, že by probíhala nepřetržitá výroba, pak toto číslo představuje zhruba 2736 čerpadel za den, 912 čerpadel za směnu, 114 čerpadel za hodinu a necelá dvě čerpadla každou minutu! Ekonomický ředitel Hermann Butz prohlásil, že v současné době má zhruba každý desátý diesellový automobil na světě součástky z Jihlavy [2].

V JhP jsou pro výrobu čerpadel CP3 umístěny dvě montážní linky, jedna malosériová montážní linka, čtyři výrobní linky na výrobu těles a tři výrobní linky na výrobu drobných dílců.



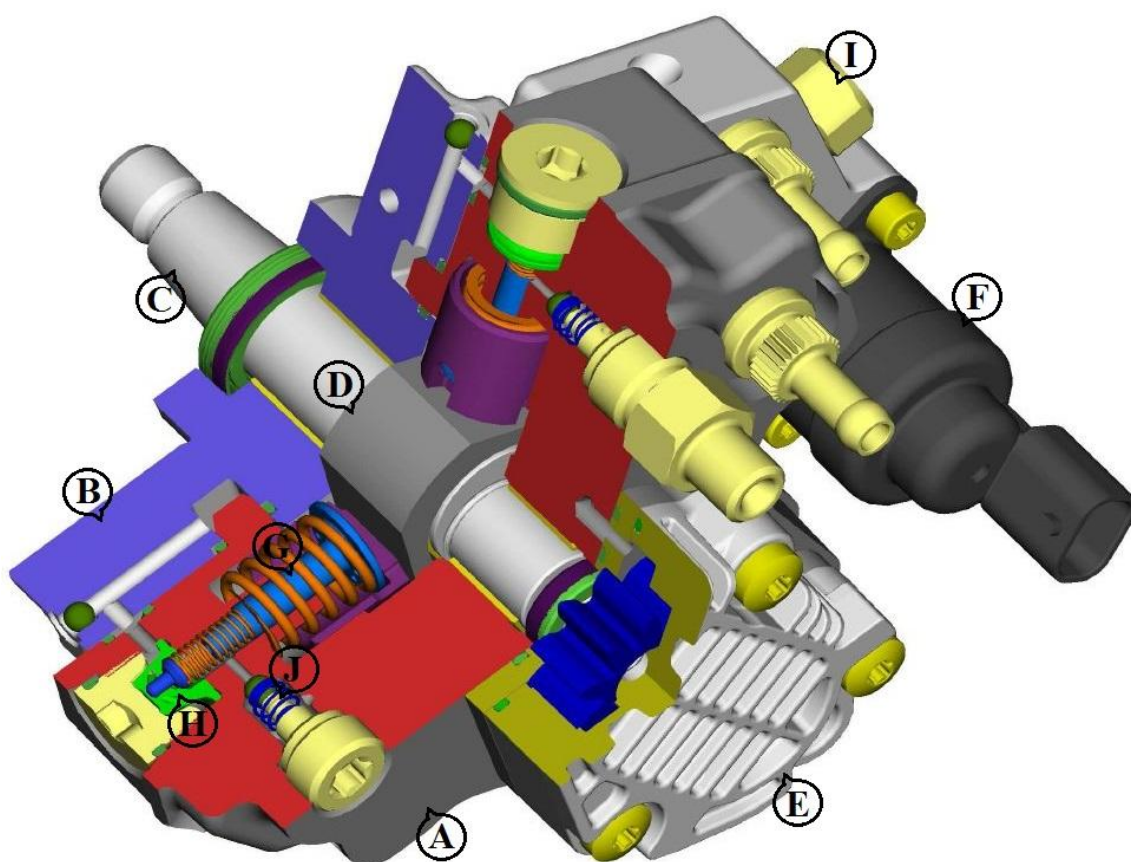
Obr. 9 Vysokotlaké čerpadlo CP3, [4]



2.2 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY

Čerpadlo CP3 se sestává z deseti základních komponentů:

- těleso čerpadla (A)
- příruba (B)
- vačková hřídel (C)
- hřídelový polygon (D)
- zubové čerpadlo (E)
- řídicí ventil (F)
- píst (G)
- sací ventil (H)
- přepadový ventil (I)
- vysokotlaký ventil (J)

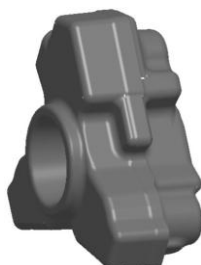


Obr. 10 Řez čerpadlem CP3 s vyznačenými hlavními komponenty, [3]



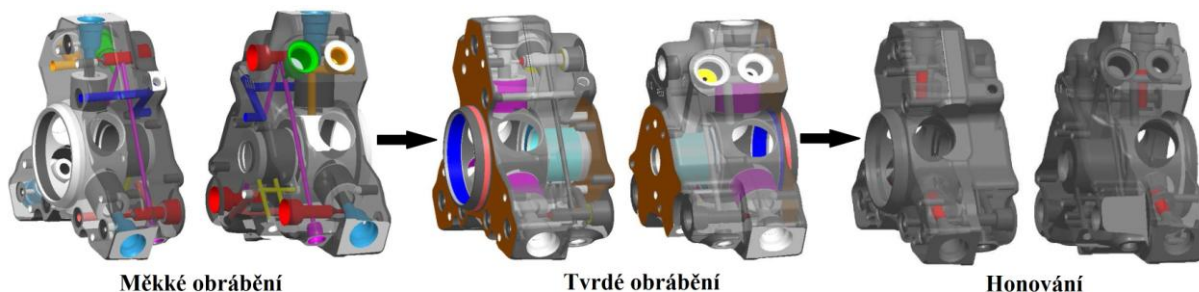
2.2.1 TĚLESO ČERPADLA

Samotné těleso čerpadla je poměrně složitá součást, jejímž polotovarem (Obr. 11) je výkovek. Materiál pro zápusťkové kování (20MnCrS5, 23MnCrMo5) dodává německá firma Saarstahl a následné kování provádí rovněž německá firma Neumayer. Po dodání výkovků do JhP začíná proces obrábění (Obr. 12) [3].



Obr. 11 Výkovek CP3 od externího dodavatele, [3]

První fáze je měkké obrábění. Při této operaci dochází k vytváření potřebných funkčních otvorů a ploch dle výkresové dokumentace. Tato fáze obrábění zahrnuje frézování, vrtání a odjehlování (pastou a výbuchem). Další fází je tepelné zpracování, při němž dochází ke zlepšení mechanických vlastností a struktury povrchové vrstvy. Po tepelném zpracování nastává fáze tvrdého obrábění. Při tomto procesu dochází k úpravě kvality povrchu dle výkresové specifikace. Poslední fází je honování. Při této dokončovací operaci se zlepšuje kvalita otvorů pro písty [3].



Obr. 12 Fáze obrábění výkovku CP3, [3]

2.2.2 PŘÍRUBA

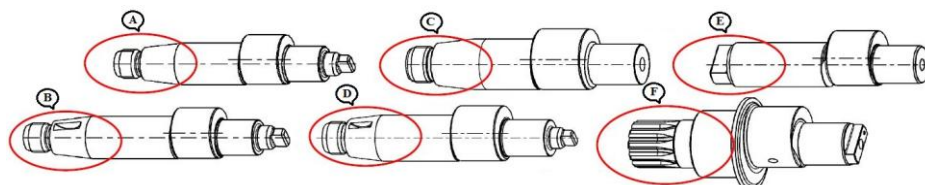
Příruba je rovněž jako těleso čerpadla dodávána od externích dodavatelů v podobě hliníkového výkovku. V JhP dochází k jejímu obrábění, při kterém se vytváří potřebné kanály pro průtok paliva. Tyto kanály slouží pro přívod paliva z nádrže přes samotnou přírubu k zubovému čerpadlu, přes řídicí a přepadový ventil, které jsou instalovány v tělese čerpadla. Design příruby je modifikován dle potřeb jednotlivých zákazníků. Příruba má mimo vedení paliva také za úkol uchycení celého čerpadla k bloku motoru [3], [4].

2.2.3 VAČKOVÁ HŘÍDEL

Podstata funkce celého čerpadla spočívá v otáčení vačkového hřídele (Obr. 13) připojeného k motoru. Na excentrickou vačku je posléze umístěn hřídelový polygon. V JhP probíhá proces kompletního broušení funkčních ploch (průměry pro kluzná ložiska, axiální povrch excentru, aj.) a následného dokončování dle výkresové specifikace. Polotovary dodává německá firma Schmiedag [3].



Zakončení obou konců vačkového hřídele závisí na technologickém připojení čerpadla k motoru, a zda čerpadlo obsahuje nebo postrádá zubové čerpadlo. Pro připojení k motoru se používá kužel se závitem 14 x 1,5 mm (A) nebo 18 x 1,5 mm (C), kužel se závitem 14 x 1,5 mm nebo 18 x 1,5 mm a drážkou pro pero (B, D), spojka s unašečem (E) nebo drážkový konec (F) [3].



Obr. 13 Varianty připojení vačkových hřídelů CP3 k motoru, [3]

2.2.4 HŘÍDELOVÝ POLYGON

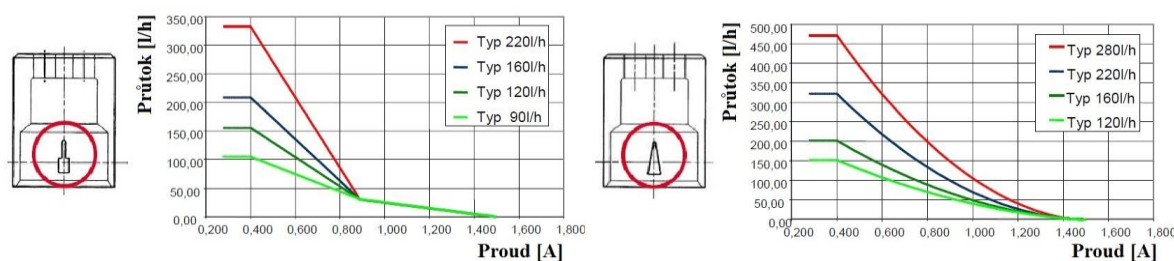
Hlavním úkolem hřídelového polygonu je změna rotačního pohybu vačkového hřídele na přímočarý pohyb pístu. Proces obrábění polotovaru od firmy Erkert začíná v JhP jemným soustružením vnitřního průměru. Následně je prováděno broušení obvodových ploch hřídelového polygonu. Poté je dílec odeslán k externímu dodavateli k povlakování. Po návratu dílce do JhP je nutné zkontrolovat správné přilnutí napovlakované vrstvy a především správný rozměr vnitřního průměru. V důsledku zbytkového austenitu základního polotovaru se totiž mohl vnitřní průměr polygonu změnit. Po kontrole dochází k zalisování pouzdra kluzného ložiska a následná kompletace s vačkovým hřídelem [3].

2.2.5 ZUBOVÉ ČERPADLO

Umístění zubového čerpadla (zubový generátor s vnějším ozubením) na vysokotlaké čerpadlo CP3 je podmíněno následnou aplikací v systému Common Rail (viz. 1.3.2). V případě, že je umístěno na vysokotlaké čerpadlo, vytváří tak potřebný vstupní tlak pro správnou funkci celého systému. Existují dva druhy zubových čerpadel. Rozlišují se v přítomnosti nebo absenci přetlakového ventilu. Pokud zubové čerpadlo obsahuje tento ventil, je schopné samočinné regulace přetlaku již před vstupem do nízkotlakého okruhu čerpadla [3], [4].

2.2.6 ŘÍDÍCÍ VENTIL

Funkce řídicího ventilu (ZME) spočívá v regulaci průtoku paliva v nízkotlaké části čerpadla. Rovněž je regulována dodávka paliva do vysokotlaké části čerpadla. Nastavení průtoku ZME odpovídá implicitně průtoku čerpadla. Ovládání tohoto ventilu je umožněno pomocí změny vstupního proudu. Tvar pístu (Obr. 14) řídicího ventilu je dvojího druhu. Obdélníkový tvar odpovídá lineární závislosti průtoku na vstupním proudu. Lichoběžníkový tvar pak nelineární závislosti průtoku na vstupním proudu [3], [4].



Obr. 14 Tvar a průtoková charakteristika pístu řídicího ventilu, [3]

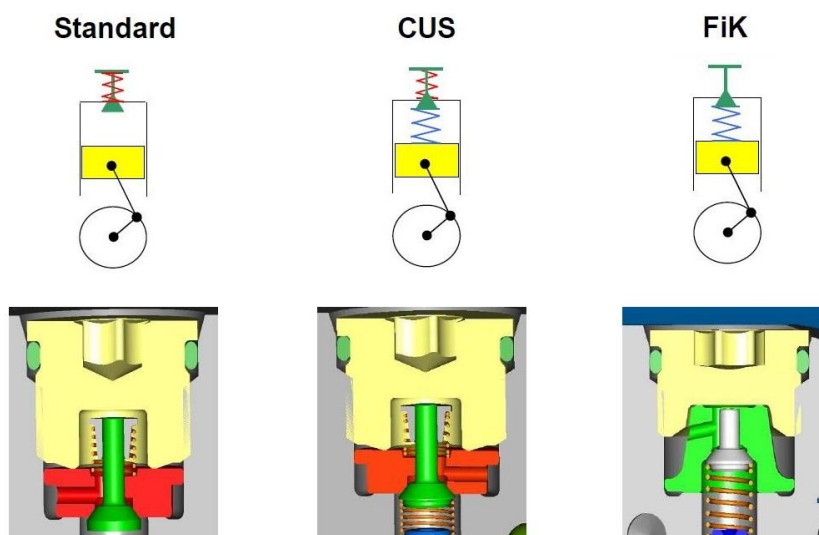


2.2.7 PÍST

Píst koná přímočarý vratný pohyb. Díky jeho pohybu z horní do dolní úvratě dochází k nasávání paliva přes sací ventil. Po dosažení dolní úvratě dochází k vratnému pohybu, při kterém je sací ventil s rostoucím tlakem uzavírán a palivo je přepouštěno do vysokotlaké části čerpadla. V JhP probíhá proces broušení funkčních ploch dle výkresové dokumentace. Polotovary pro píst dodávají firmy Berger a Hutzel [3].

2.2.8 SACÍ VENTIL

Na sací ventil jsou kladeny dva hlavní požadavky. Umožnění naplnění prostoru nad pístem dle specifikace při pohybu pístu z horní do dolní úvratě. Dále také těsnost při přepouštění nasátého paliva do vysokotlaké části čerpadla. Pomocí ventilu je dosaženo stabilního otevíracího tlaku. Existují tři základní typy (Obr. 15) sacího ventilu (Standard, CUS – Coupled Upper Spring, FiK – Feder im Kolben) [3].



Obr. 15 Typy Sacích ventilů, [3]

2.2.9 PŘEPADOVÝ VENTIL

Díky přepadovému ventilu je umožněno dosáhnout konstantního tlaku v systému Common Rail. Pokud dojde ke změně požadovaného množství paliva, dojde i ke změně tlaku v celém systému. Díky přepadovému ventilu je tlak regulován tak, aby nedocházelo ke změně podmínek pro řídicí ventil. Zabraňuje se tím nesprávnému množství dodávaného paliva. Další funkce toho ventilu jsou mazání čerpadla v problematických místech a případné odvodušnění při rozběhu čerpadla [3].

2.2.10 VYSOKOTLAKÝ VENTIL

Vysokotlaký ventil zabraňuje zpětnému úniku paliva z vysokotlakého do nízkotlakého okruhu čerpadla. Ventil má jednoduchou konstrukci, skládající se z ocelové nebo keramické kuličky dosedající na broušené sedlo v tělese čerpadla [3].



2.3 KOMPLETACE A ZKOUŠENÍ ČERPADLA

Kompletace a následné zkušební procesy čerpadla se provádí na jednotlivých pracovištích (stanicích) montážní linky. Tato montážní linka je rozdělena na dvě hlavní části, které se interně nazývají „suchá“ a „mokrá“ část.

2.3.1 SUCHÁ ČÁST MONTÁŽNÍ LINKY

V suché části montážní linky se provádí vlastní montáž a úplná kompletace čerpadla. Na konci tohoto úseku dochází ke zkoušce nízkotlaké části. Zkouška je prováděna pomocí hélia v hermeticky uzavřené komoře, ve které je umístěn testovaný kus. Z celé komory a testovaného kusu se vysaje vzduch a následně je do čerpadla pod tlakem přivedeno helium. Posléze je měřen únik hélia případnými netěsnostmi. Tato zkouška slouží především k ověření těsnosti nízkotlaké části testovaného čerpadla. Po přezkoušení postupuje testovaný kus do mokré části.

2.3.2 MOKRÁ ČÁST MONTÁŽNÍ LINKY

V tomto úseku montážní linky jsou prováděny další zkušební procesy zkompletovaného čerpadla. Celé zkoušení je prováděno na třech pracovištích.

Na prvním pracovišti (stanice 420) se ověřuje správná funkce čerpadla tzv. funkční zkouška (viz. kap. 3). Čerpadlo je připojeno ke zkušební stanici a posléze probíhá ověřování jeho správné funkce. Pokud vyhoví, postupuje k druhému pracovišti.

Na druhém pracovišti se provádí test vysokotlaké části. Čerpadlo je rovněž připojeno ke zkušební stanici a následně proběhne proces testování dle specifikace. Ten spočívá v přivedení tlakového vzduchu, a pozdějším sledování poklesu jeho tlaku v závislosti na čase. Pokud vyhoví i na této stanici, postupuje čerpadlo k poslední zkušební stanici.

Na třetím pracovišti se znovu prověřuje nízkotlaká část. Princip zkoušení spočívá v připojení ke stanici, následném přivedení tlakového vzduchu do nízkotlaké části a ponoření čerpadla do isokapaliny (tzv. Bubble test). Poté se sledují případné netěsnosti (únik bublinek). Hlavním důvodem pro opětovné zkoušení nízkotlaké části je fakt, že během předchozího zkoušení mohlo dojít ke změně stavu těsnosti. Tato skutečnost mohla být způsobena změnou teploty zkoušeného čerpadla (během zkoušení se ohřívá a následně zase chladne). V neposlední řadě mohlo dojít k utěsnění nežádoucími nečistotami nebo mazacími prostředky. Ty mohly při prvním nízkotlakém zkoušení těsnit jinak netěsnící čerpadlo a test by tak nebyl průkazný. Pokud i zde čerpadlo vyhoví, postupuje k poslednímu pracovišti.

Na posledním pracovišti je provedena vizuální kontrola. Poté je čerpadlo opatřeno ochrannými koncovkami, které brání proti vniknutí nečistot. Po zabalení je převezeno do skladu.



3 TESTOVÁNÍ ČERPADLA Z HLEDISKA FUNKCE

3.1 DEFINOVÁNÍ TESTOVACÍCH PARAMETRŮ

Před samotným testováním je nutné definování parametrů pro funkci čerpadla zákazníkem. Následně jsou tyto parametry aplikovány pro funkční zkoušku v JhP. Zákazníci udávají jaké dodávané a přepadové množství paliva má čerpadlo dodávat a za jakých podmínek má být testováno. Mnozí však nevyžadují definování podmínek testování a spokojí se např. s parametry dodávky paliva nebo maximální účinností čerpadla.

Po specifikaci požadavků je v JhP sestaven testovací předpis pro zkoušení daného typu čerpadla. V tomto předpisu jsou definovány jednotlivé parametry a podmínky, za kterých bude provedena funkční zkouška. Parametry udané zákazníkem a posléze zpracované pro funkční zkoušku se liší v podstatě minimálně. Nižší tolerance parametrů pro funkční zkoušku zajišťují stoprocentní správnost naměřených hodnot. Při případné kontrole u zákazníka tak nemůže dojít k nalezení neshodného kusu, jenž neodpovídá jeho požadované specifikaci.

Po sestavení testovacího předpisu je následně v softwaru vytvořen testovací zkušební program.

3.2 ZKUŠEBNÍ PROGRAM

Zkušební program pro testování čerpadel je vytvářen ve víceúčelovém softwaru OiS.net. Tento program umožňuje nastavit základní parametry testování celého čerpadla a až patnáct jednotlivých zkušebních bodů dle testovacího předpisu. Pro každý zkušební bod se nastavují jednotlivé parametry. Běžně se u čerpadla CP3 testuje 7 bodů. Do základních parametrů se zařazuje nastavení pro plnění čerpadla při spuštění testování. Tento parametr je pro celou typovou řadu CP3 stejný. Dalším základním parametrem je kalibrace řídicího ventilu. Ta je blíže specifikována dle jednotlivých modifikací typové řady (počet opakování kalibrace a délka setrvání u jednoho bodu, způsob přechodu mezi jednotlivými body). Průběh samotného kalibrování je v podstatě jednoduchý. Na řídicí ventil je připojen konektor. Následně je do konektoru přiváděn proud (0,4 A, 0,7 A, 1,0 A, 1,4 A), který způsobuje pohyb pístu řídicího ventilu (pohyb přes 4 kalibrační body). Samotná kalibrace probíhá z důvodu sladění ZME se spektrem testovací oblasti před samotným testováním. Popis zkušebního programu (základní parametry testování čerpadla, parametry zkušebního bodu) je obsažen v Příloze 1.

Jak bylo zmíněno dříve (kap 2.3.2.), správnost funkce celého čerpadla se testuje na prvním pracovišti zkušební části montážní linky. Jedná se o již zmiňovanou stanici 420.

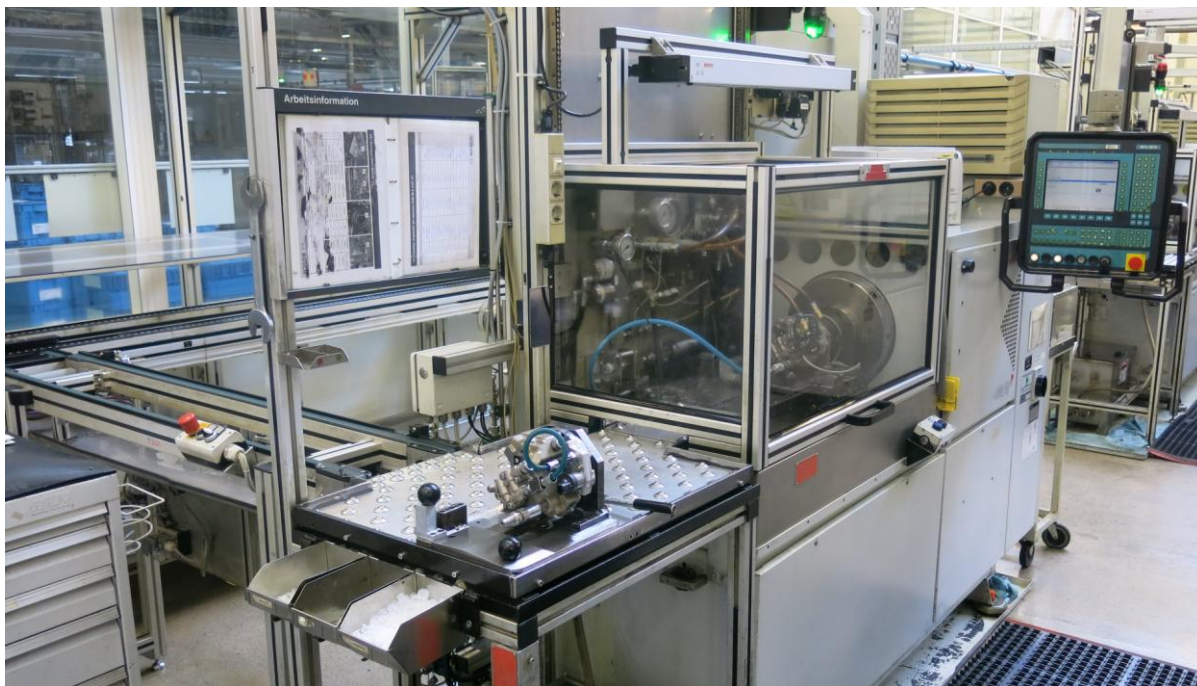
3.3 ZKUŠEBNÍ STANICE 420

Po úspěšném absolvování nízkotlaké zkoušky těsnosti čerpadlo opouští suchou část montážní linky a směřuje ke zkušební stanici 420 (Obr. 16). Před samotným vstupem do stanice je čerpadlo namontováno na přípravek (vozík). Díky tomu je schopné se pohybovat na plně automatizovaném dopravníkovém pásu. Po umístění na vozík je následně naskenován štítek (datamatrixový kód), který je nalepený na tělese čerpadla. Tento kód obsahuje veškeré informace o předchozích procesech výroby. Po načtení jsou tato data nahrána na ID vozíku.



Posléze putuje čerpadlo na operaci proplachování. Tato fáze probíhá 60 sekund a zajišťuje stoprocentní čistotu čerpadla před samotnou funkční zkouškou. Poté již pásový dopravník rovnoměrně rozděluje cestu čerpadel k jednotlivým testovacím stanicím, kde se provádí samotné funkční testování.

V současné době velkosériová výroba čerpadla CP3 zahrnuje 2 montážní linky. První obsahuje 5 a druhá 6 zkušebních stanic. Na každé lince pracují v tomto úseku dva pracovníci (operátoři), kteří obsluhují 2 až 3 stanice zároveň (tzv. vícestrojová obsluha).



Obr. 16 Zkušební stanice 420; fáze, kdy otestované čerpadlo opustilo prostor stanice

3.3.1 POHYB ČERPADEL VE ZKUŠEBNÍ STANICI

Během procesu testování jsou na stanici přítomna vždy 3 čerpadla. První je připraveno na testování (1), druhé je aktuálně testováno (2) a třetí čeká na konci pásu (3). Po dokončení testu je otestované čerpadlo (2) vyjmuto ze stanice, do testovacího prostoru je vloženo čerpadlo (1) a je zapnut zkušební program. Poté je z čerpadla (2) demontován vysokotlaký konektor, který je následně namontován na čerpadlo (3). Otestované čerpadlo (2) posléze opouští pás zkušební stanice a následně se připojuje na hlavní dopravníkovou větev směřující k dalším stanovištím. Posléze přijede ke stanici další čerpadlo od předchozí operace (proplachu). Po otestování čerpadla (1) a vložení čerpadla (3) do testovacího prostoru se proces opakuje.

3.3.2 FUNKCE OPERÁTORA

Pracovník má za úkol jak kontrolu výsledků funkční zkoušky, tak veškeré manipulační úkony s čerpadly (montáž a demontáž vysokotlakého konektoru, vkládání a vyjímání čerpadla z testovacího prostoru, připojování a odpojování hadic, aj.). Po proběhnutí funkčního testu zkontroluje na obrazovce výsledek testování a proces potvrdí tlačítkem. Pokud je výsledek špatný, nevyjímá otestované čerpadlo z testovacího prostoru, ale spustí test znovu. Dle testovacího předpisu je možné test opakovat pouze jednou. V případě dvojnásobného

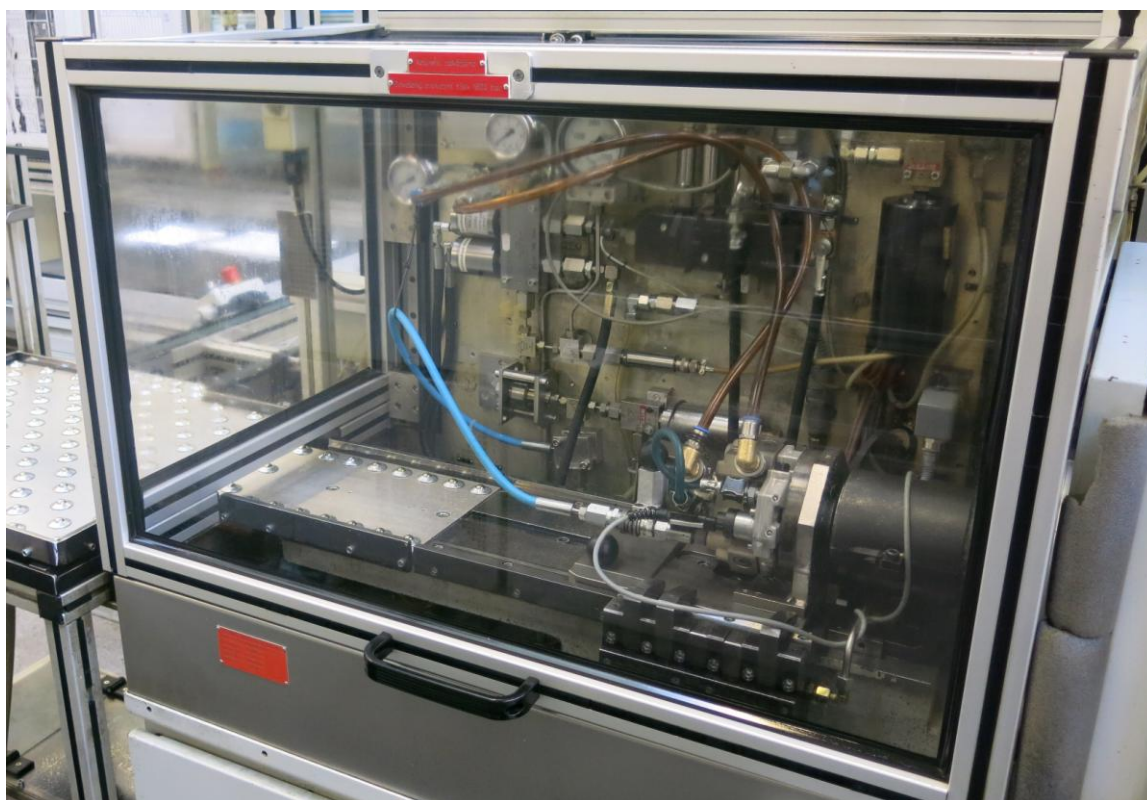


špatného výsledku je čerpadlo vyjmuta z testovacího prostoru a vloženo na dopravní pás. Pokud otestované čerpadlo vykazuje dobrý výsledek, vyjme ho pracovník z testovacího prostoru a rovněž je vloženo na pás. Poté pracovník umístí nový kus do testovacího prostoru stanice. Pomocí senzorů umístěných v blízkosti pásu je při pojezdu na dopravním pásu kontrolován ID vozíku. Ten je naskenován a následně je rozhodnuto, zda bude čerpadlo odesláno na opravárenské pracoviště, nebo bude pokračovat na další zkoušení. Po splnění úkonů (Obr. 17) postupuje operátor k dalšímu pracovišti, kde se vše opakuje. Podrobný popis instrukcí obsluhy zkušební stanice je v příloze 2.

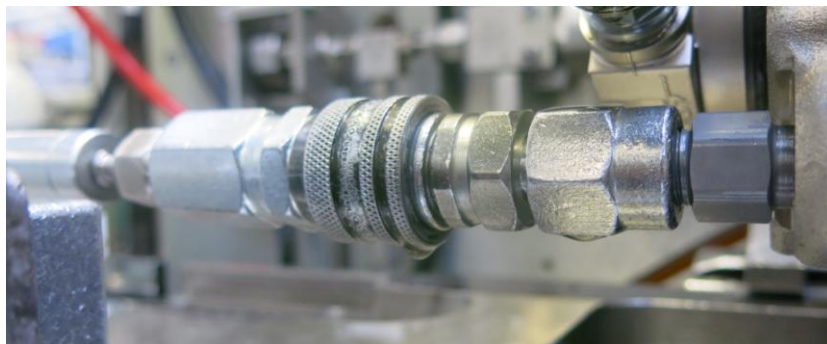
3.3.3 PŘIPOJENÍ ČERPADLA KE ZKUŠEBNÍ STANICI

Po umístění čerpadla do testovacího prostoru zkušební stanice a zafixování jeho polohy operátorem, je nutné připojit veškeré konektory. Připojení simuluje skutečné zapojení v systému Common Rail. K čerpadlu je nutné připojit pomocí konektorů vždy minimálně 3 hadice, které zajišťují správnou funkci testovaného čerpadla. První hadice poskytuje přívod paliva do příruby. V reálu se jedná o přívod paliva z nádrže. Druhá poté realizuje přepad. Některé modifikace čerpadel mají například dva přepady, proto je nutné použít přepadovou vidlicovou hadici do tvaru Y. Další možnost je, že jeden přepad jde v reálu přímo do nádrže, a proto se neměří. Třetí hadice je vždy určena pro dodávku paliva a zajišťuje tak požadované množství paliva do vysokotlakého zásobníku.

Další variantou CP3 jsou modifikace obsahující zubová čerpadla. Ta buď obsahují, nebo postrádají vývody. V druhém případě palivo putuje přes přírubu a těleso do zmíněného zubového čerpadla. V neposlední řadě jsou zastoupena i olejová čerpadla, která vždy obsahují zubové čerpadlo. Ta nejsou mazána palivem, ale mají vlastní olejový okruh, který je napojen přes vozík, takže jsou nutné dvě další hadice k realizování tohoto propojení (viz. Obr. 19).

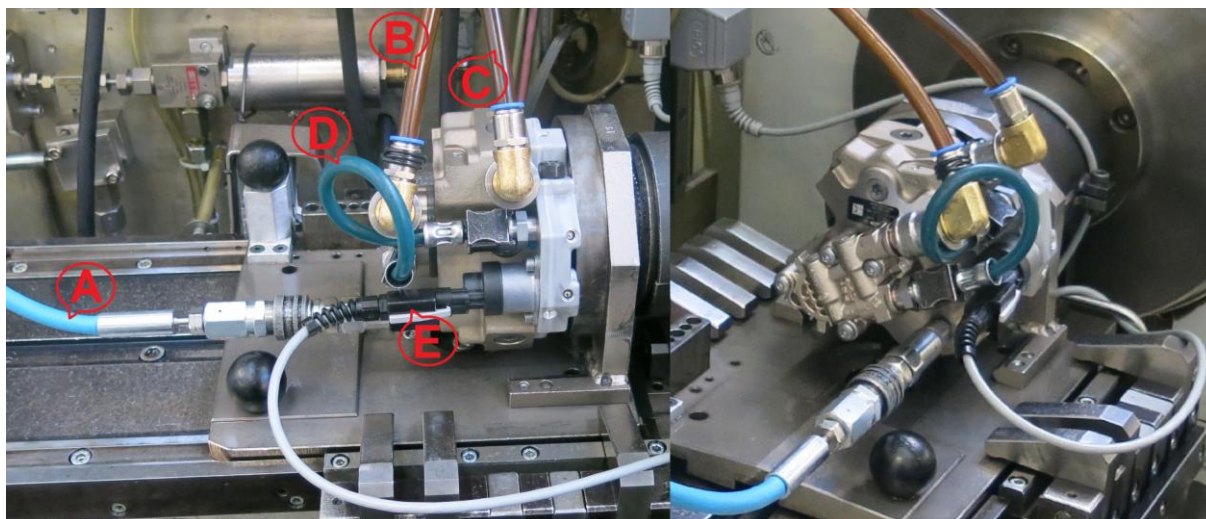


Obr. 17 Čerpadlo CP3 připravené na spuštění funkční zkoušky



Obr. 18 Detail vysokotlakého připojení na zkušební stanici

První hadice (dle Obr. 19 světle modrá barva, pozice A) náleží vysokotlaké dodávce připojené pomocí vysokotlakého konektoru (Obr. 18). V reálu by toto spojení představovalo připojené vysokotlaké potrubí směřující z čerpadla do Railu. Druhá a třetí hadice (hnědá barva) náleží přívodu (dodávce) a přepadu paliva. Hadice přívodu paliva (dle Obr. 19 hnědá hadice vlevo, pozice B) je pomocí konektoru připojena vždy do příruby, případně do zubového čerpadla dle typové modifikace čerpadla. V tomto případě se jedná o modifikaci čerpadla obsahující zubové čerpadlo s vlastními vývody. Zde není přívodní hadice připojená k přírubě, ale k zubovému čerpadlu, které je propojeno s přírubou (tmavě modrá hadice, pozice D). Hadice přepadu paliva (dle Obr. 19 hnědá hadice vpravo, pozice C) je napojena pomocí konektoru většinou do tělesa čerpadla, v některých případech (dle typové modifikace) i do příruby. Po připojení hadic je nutné nakonec propojit elektrický konektor (černý konektor a šedý vodič, pozice E) s řídicím ventilem (ZME). Díky tomuto propojení je možné pomocí ovládacích proudů testovat jednotlivé zkušební body.



Obr. 19 Čerpadlo CP3 připojené ke zkušební stanici

3.3.4 MĚŘENÉ VELIČINY

Zkušební stanice měří značné množství veličin v různých místech vně, na vstupu i výstupu čerpadla. Celkový počet měřených hodnot je přesně 34. K nejdůležitějším patří tlaky, teploty a průtoky zkušební kapaliny. Stanice je také schopna automaticky některé naměřené veličiny přepočítat. Hlavní důvod k přepočítávání spočívá v účelnějším vyjádření naměřených hodnot. Například u průtoků, které jsou naměřeny v kilogramech za hodinu, probíhá pomocí koeficientu dané zkušební kapaliny přepočet na litry za hodinu.



Pro daný typ čerpadla je hlavním vstupním parametrem vstupní tlak. Celý funkční test musí probíhat za teploty vstupní kapaliny 40 stupňů celsia. Tuto podmínku je třeba důsledně dodržovat. Objem kapaliny, který projde vstupem, se nikterak nezjišťuje. Tento parametr závisí především na vlastní potřebě čerpadla. Po vstupu do čerpadla je palivo v první řadě dodáváno do části vysokotlaké dodávky (tzn. do Railu). Velikost dodávky primárně řídí ZME dle nastavených parametrů (otáčky, tlaky, řídicí proud ZME a tlak v Railu). Dodávka závisí především na velikosti tlaku v Railu. Malý tlak v Railu je signálem problému a tudíž nedostatečné dodávky. V této části je také měřen objem průtoku. Část paliva, kterou není aktuálně zapotřebí dodávat do vysokotlaké části, směřuje do přepadu. V této části je regulován tlak a rovněž je zde měřen objem průtoku. Pro účel měření průtoku se využívají dva průtokoměry. První pokrývá měřící rozsah 0 až 120 a druhý 100 a více litrů za hodinu.

3.3.5 OPRAVÁRENSKÉ PRACoviŠTĚ

Po funkčním testu je do ID vozíku nahrán status výsledku funkční zkoušky. Pokud čerpadlo neprojde poslední testovací zkouškou a to nejenom funkční (řazeno dle času zkoušení), dostane vozík přidělen status NOK. Dále je k čerpadlu přiložen dokument v tištěné podobě, který zřetelně ukazuje, jaký problém nastal.

Poté vozík odjíždí na opravárenské pracoviště. Díky tomuto dokumentu pracovník na opravárenském pracovišti okamžitě vidí důvod NOK zkoušky. Dle přiloženého dokumentu jsou poté podniknuty další kroky při opravě čerpadla. Pokud byla vyhodnocena chybná dodávka, dojde k výměně řídicího ventilu. V případě, že byl vyhodnocen špatný přepad, dojde k výměně přepadového ventilu. Na opravárenském pracovišti je dovoleno měnit pouze tyto dva komponenty a výhradně jednou. Po provedení opravy je čerpadlo odesláno zpět na zkoušku a ZME je opatřeno barevným prstencem (Obr. 20) z důvodu rozpoznání nestandardního kusu. Pokud na toto pracoviště dorazí čerpadlo, které už jednou bylo opravováno, je automaticky odesláno na DNA pracoviště. Toto pracoviště se zabývá jak opakovanými opravami, tak i jinými druhy problémů. Zde je čerpadlo podrobně analyzováno případně dle potřeby demontováno.



Obr. 20 Čerpadlo CP3 označené barevným prstencem

3.4 SHRNUÍ A ROZBOR AKTUÁLNÍHO STAVU TESTOVACÍCH PROGRAMŮ

Pro analýzu a následné zpracování dat bylo vybráno 20 typů čerpadel (Tab. 1) produkovaných v JhP. Jedná se o čerpadla, která se v současné době vyrábí. Hlavními důvody výběru byly jejich plánovaná produkce na rok 2014, dlouhý zkušební program (funkční zkouška obsahuje všechny zkušební body) a vzájemná podobnost (čerpadla o malém počtu testovaných kusů). Po výběru dvaceti typů se naskytla otázka, v jaké podobě budou data z funkční zkoušky analyzována a vyhodnocována. První možností byla pracovat přímo



s funkčním programem. Ten je však poměrně složitý a práce s daty není pro laika úplně jednoduchá. Druhá možnost byla převedení databáze z funkčního programu vybraných typů čerpadel do tabulkového editoru. Nakonec byla vybrána druhá možnost především díky větší přehlednosti získaných dat a jejich následném rychlejší a jednodušším zpracování.

Data z funkční zkoušky se v zásadě liší v počtu zkoušených kusů jednotlivých typů a délce období, ve které bylo prováděno funkční zkoušení. Je diskutabilní, jaký minimální počet dat ze zkušební stanice potřebujeme ke správnému vyhodnocení stavů testovacích programů. Toto číslo bylo nakonec stanoveno na hranici 5000 kusů. Tento počet již dává jistý přehled o výpadech na funkční zkoušce. Menší část z dvaceti vybraných čerpadel má objem výroby a následném zkoušení za určité období nižší oproti určené hranici 5000 kusů. V tomto případě je nutné brát v úvahu jednu skutečnost. Menší objem výroby a následného zkoušení způsobuje menší vypovídací hodnotu dat získaných během funkční zkoušky. Je totiž poměrně velký rozdíl v tom, zda je daný typ vyráběn a následně zkoušen v počtu stovek nebo tisíců kusů za určité období. Naopak větší část čerpadel má dostatečný počet vyrobených kusů (nad 5000 kusů) za určité období pro potřebu zpracování a vyhodnocování získaných dat.

Všech 20 typů bylo seřazeno dle interního značení jednotlivých typů čerpadel a zaneseno do tabulky (Tab. 1). V této tabulce je ve sloupcích interní označení jednotlivých čerpadel, odběratelská společnost (zákazník), daná modifikace čerpadla (tzn. rodina), počet testovaných kusů a období testování (resp. výroby jednotlivých typů čerpadel).

Tab. 1 Přehled analyzovaných typů čerpadla CP3

pořadí	typ čerpadla	zákazník	modifikace	počet kusů	období
1.	445 010 091	MB Cars	CP3.2+	5601	14.02.13 - 10.10.13
2.	445 020 027	MFTBC Fuso (MMC)	CP3.3	6250	06.04.12 - 06.10.13
3.	445 020 028	MFTBC Fuso (MMC)	CP3.3	5420	02.07.12 - 10.11.13
4.	445 020 029	MFTBC Fuso (MMC)	CP3.3	5655	22.12.10 - 03.09.13
5.	445 020 045	CDC	CP3.3	5097	09.05.13 - 12.11.13
6.	445 020 052	MAN	CP3.4	2001	14.02.12 - 20.11.13
7.	445 020 053	MAN	CP3.4	436	18.01.12 - 14.09.13
8.	445 020 065	Yuchai	CP3.3	6533	15.10.13 - 25.11.13
9.	445 020 082	MAN	CP3.4	604	17.07.13 - 25.10.13
10.	445 020 089	KAMAZ	CP3.4	5662	02.08.13 - 09.11.13
11.	445 020 093	FPT	CP3.3NH	5541	04.09.13 - 21.11.13
12.	445 020 101	MWM	CP3.3NH	5678	08.07.13 - 25.11.13
13.	445 020 109	CDC	CP3.3NH	5292	26.06.13 - 21.11.13
14.	445 020 111	DFM Shiyan	CP3.3	4129	01.02.13 - 17.10.13
15.	445 020 113	CDC	CP3.3NH	7394	02.11.13 - 02.12.13
16.	445 020 123	CDC	CP3.3	634	26.09.13 - 06.11.13
17.	445 020 148	CDC	CP3.3NH	3323	26.03.13 - 11.10.13
18.	445 020 157	DI	CP3.3	2200	17.01.12 - 25.11.13
19.	445 020 175	FPT	CP3.3	8240	01.11.13 - 18.11.13
20.	445 020 202	MAN	CP3.4H+	5139	13.03.13 - 31.07.13

3.4.1 SOUHRNNÝ POPIS DATABÁZÍ DAT

Každá z databází měla stejnou grafickou úpravu a obsahovala mnoho informací pro jednotlivé řídicí techniky montážní linky. Pro účel zpracování a analýzy dat však postačovalo znát pouze dílčí části jednotlivých databází. Jednotlivé databáze obsahovaly v základu 3 výchozí listy: import, data a tisk.



List „import“ (Obr. 21) obsahoval veškerá data získaná z funkční zkoušky. Tento list byl základním kamenem pro zpracovávání a analyzování dat.

Popis jednotlivých sloupců tabulky tohoto listu využitých při zpracovávání dat:

- typ čerpadla (sloupec A)
- sériové číslo čerpadla (sloupec B)
- sériové číslo ZME (sloupec C)
- přesný datum a čas zkoušení čerpadla (sloupec D)
- průběh testování (sloupec E)
- montážní linka (sloupec F)
- jednotlivé zkušební body čerpadla (sloupce G – M)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Dodávka	GPID	ZME	TIME	RESUL	LINE	0.4A	0.7A	1.0A	1.2A	1.4A	4.5 Efficiency	4.6 Start
2	0445.020.108						196.97	188.28	118.85	50.00	7.67	115.14	11.39
3	13177014952	3062132351	26.06.2013 20:51:17	1	2	199.11	188.24	116.40	51.77	7.28	113.91	11.26	
4	13177014962	3062132365	26.06.2013 20:51:55	1	2	196.23	183.12	113.08	54.70	8.61	117.10	11.63	
5	13177014942	3062132361	26.06.2013 20:53:42	1	2	197.30	187.39	119.48	54.70	11.39	115.77	11.39	
6	13177015632	3062131849	26.06.2013 20:54:02	1	2	196.49	184.11	118.89	53.71	9.90	117.92	11.39	
7	13177014932	3062121860	26.06.2013 20:56:38	1	2	196.45	185.31	118.14	53.66	9.98	116.77	11.36	
8	13177014922	3062121864	26.06.2013 20:58:16	1	2	196.56	188.08	115.41	51.51	7.67	116.14	11.25	
9	13177014982	3062132501	26.06.2013 20:58:25	1	2	193.92	183.04	114.54	52.48	9.16	114.47	11.14	
10	13177015742	3062131852	26.06.2013 20:59:31	1	2	196.67	184.64	113.60	51.24	7.00	114.63	11.20	

Obr. 21 List import

List „data“ (Obr. 22) obsahoval data udaná testovacím předpisem. Díky tomuto listu bylo možné zjistit parametry požadované zákazníkem. Dalším důležitým ukazatelem v tomto listu byly indexy způsobilosti C_p a C_{pk} .

Popis jednotlivých řádků tabulky tohoto listu využitých při zpracovávání dat:

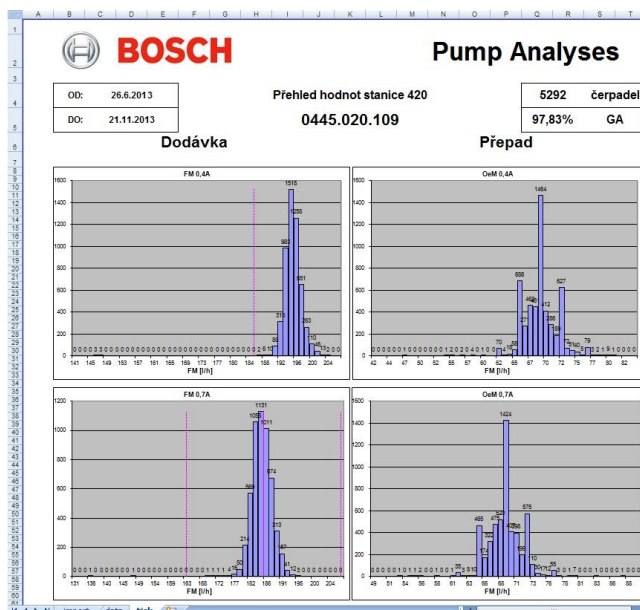
- značení jednotlivých zkušebních bodů (řádek 1)
- průměrná dodávka v [l/h] odpovídající datům z funkční zkoušky (řádek 2)
- směrodatná odchylka odpovídající datům z funkční zkoušky (řádek 3)
- nominální průtok v [l/h] odpovídající testovacímu předpisu (řádek 4)
- minimální průtok v [l/h] odpovídající testovacímu předpisu (řádek 5)
- maximální průtok v [l/h] odpovídající testovacímu předpisu (řádek 6)
- indexy způsobilosti (řádky 7 - 8)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ZME	Tp[3]Volumeflow	Tp[4]Volumeflow	Tp[5]Volumeflow	Tp[7]Volumeflow	Tp[8]Volumeflow	Tp[10]Volumeflow	Tp[11]Volumeflow
2	mean value	194.91	184.12	114.57	53.50	9.74	116.64	11.18
3	s	2.58	2.86	3.16	2.58	1.30	1.27	0.15
4	PV	187	184.5	116	54	9.5	112	10
5	PV-min	187	164	100.5	44	4.5	112	10
6	PV-max		205	131.5	64	14.5		
7	C_p	-12.06	2.39	1.63	1.29		-14.72	-10.77
8	C_{pk}	1.02	2.35	1.48	1.23	1.22	-30.66	-24.08

Obr. 22 List data



List „tisk“ (Obr. 23) poskytoval okamžité grafické vyobrazení dodávky a přepadu v [l/h] pro jednotlivé zkušební body. Průběh křivek odpovídal normálnímu (Gaussově) rozložení. Růžové střední čáry znázorňují požadovaný nominální a krajní minimální a maximální průtok dle testovacího předpisu pro dodávku. Tento list sloužil také jako dokument vhodný k tisku. Mimo grafů dále tento list obsahoval interní označení čerpadla, období testování z funkční zkoušky a počet zkoušených čerpadel, informaci o názvu zkušební stanice a parametr GA. Díky tomuto parametru jsme byli informováni, kolik procent čerpadel bylo vyhodnoceno na funkční zkoušce jako funkčně správných, případně kolik procent bylo špatných.



Obr. 23 List tisk

3.4.2 ANALÝZA A VYHODNOCENÍ DATABÁZÍ DAT

Při analyzování dat jednotlivých databází čerpadel byl princip postupu vcelku jednoduchý, i když poměrně zdlouhavý a náročný na pozornost a pečlivost. V první řadě nesmíme opomenout fakt, že pro možnou optimalizaci nejsou vhodné všechny body. Kontrolu bodu odpovídající dodávce proudu 0,4 A do řídicího ventilu vyžaduje každý zákazník. Další body, které je třeba kontrolovat u všech čerpadel, jsou pochopitelně start čerpadla (4,6 A) a hlavně jeho účinnost (4,5 A).

V prvním kroku bylo nutné veškerá data v listu „import“ seřadit podle data funkční zkoušky od nejnovějších k nejstarším. Posléze byla tato data vybrána a následně vyfiltrována dle daného kritéria (minimální počet 5000 testovaných). Některé tabulkové databáze jednotlivých čerpadel obsahovaly i desetinásobek tohoto čísla v testovacím rozmezí několika let. Při filtrování bylo také přihlédnuto k dodržení kritéria celého měsíce i přesto, že produkce některých čerpadel nezačínala prvním dnem měsíce. Bylo to především z důvodu, že výroba pružně reaguje na aktuální objednávky zákazníka. Po filtrování bylo nutné z listu „data“ získat parametry průtoků (PV - nominální hodnota průtoku, PV max – maximální hodnota průtoku, PV min – minimální hodnota průtoku) funkční zkoušky (dle testovacího předpisu mimo body, které nelze optimalizovat) a zaneš je do Tab. 2. Následně byly tyto jednotlivé parametry průtoků použity při analýze jednotlivých zkušebních bodů. Během analýzy byly veškeré počty kusů zaneseny do stejné tabulky (řádky kusy mimo toleranci).



Tab. 2 Analyzovaná data jednotlivých typů čerpadla CP3

		pořadí	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
		typ čerpadla	445 010 091	445 020 027	445 020 028	445 020 029	445 020 045	445 020 052	445 020 053	445 020 065	445020082	445 020 089	445 020 093	445 020 101	445 020 109	445 020 111	445 020 113	445 020 123	445 020 148	445 020 157	445 020 175	445 020 202
zkoušební bod	0,7 A	PV [l/h]	112,0	155,0	155,0	155,0	180,0	254,0	217,0	197,0	254,0	254,0	184,5	184,5	184,5	197,0	netestuje se	197,0	184,5	194,0	197,0	275,5
		PV min [l/h]	99,7	138,0	138,0	138,0	160,0	226,0	193,1	177,0	226,0	226,0	164,0	164,0	164,0	177,0	netestuje se	177,0	164,0	171,0	177,0	245,5
		PV max [l/h]	124,3	172,0	172,0	172,0	200,0	282,0	240,9	217,0	282,0	282,0	205,0	205,0	205,0	217,0	netestuje se	217,0	205,0	217,0	217,0	305,5
		kusů mimo tol.	3	21	44	140	18	11	0	40	4	1	18	8	2	0	netestuje se	4	0	3	0	0
	1,0 A	PV [l/h]	92,0	83,5	83,5	83,5	120,0	196,0	129,0	122,0	199,0	199,0	119,0	119,0	116,0	122,0	116,5	122,0	119,0	127,0	122,0	190,0
		PV min [l/h]	80,0	72,6	72,6	72,6	104,4	170,5	112,2	106,0	174,5	174,5	113,5	103,5	101,0	106,0	101,0	106,0	103,5	110,5	106,0	160,0
		PV max [l/h]	104,0	94,4	94,4	94,4	135,6	221,5	145,8	138,0	223,5	223,5	124,5	134,5	132,0	138,0	132,0	138,0	134,5	143,5	138,0	220,0
		kusů mimo tol.	51	68	40	224	45	308	7	6	11	517	2788	7	0	0	0	0	0	61	13	10
	1,2 A	PV [l/h]	52,5	38,0	38,0	38,0	55,0	100,0	61,0	54,0	106,0	106,0	56,0	56,0	54,0	54,0	54,0	54,0	56,0	60,0	54,0	96,0
		PV min [l/h]	44,2	31,2	31,2	31,2	45,0	80,0	51,8	45,0	87,0	87,0	46,0	46,0	44,0	45,0	44,0	45,0	46,0	49,2	45,0	76,0
		PV max [l/h]	60,8	44,8	44,8	44,8	65,0	120,0	70,2	63,0	125,0	125,0	66,0	66,0	64,0	63,0	64,0	63,0	66,0	70,8	63,0	116,0
		kusů mimo tol.	82	51	65	131	81	19	5	55	11	223	6	19	8	6	2	14	22	9	53	59
	1,4 A	PV [l/h]	10,0	5,3	5,3	5,3	10,0	24,0	11,0	10,0	24,0	24,0	10,0	10,0	9,5	10,5	9,0	10,5	10,0	13,0	10,5	19,0
		PV min [l/h]	5,0	2,6	2,6	2,6	5,0	12,0	5,5	5,5	12,0	12,0	5,0	5,0	4,5	6,5	4,0	6,5	5,0	6,5	6,5	9,5
		PV max [l/h]	15,0	8,0	8,0	8,0	15,0	36,0	16,5	14,5	36,0	36,0	15,0	15,0	14,5	14,5	14,0	14,5	15,0	19,5	14,5	28,5
		kusů mimo tol.	116	151	118	213	30	0	0	118	0	0	3	1	2	76	0	13	2	13	176	2



Po celkové analýze všech zkušebních bodů u všech čerpadel a vyplnění této tabulky bylo nutné vytipovat vhodné body k optimalizaci (vypuštění z testovacího předpisu). Jako hlavním kritériem se logicky jevil počet kusů mimo toleranci. U zkušebních bodů s nulovým výpadkem se automaticky předpokládala možná optimalizace. Tyto body byly v tabulce zvýrazněny zelenou výplní políčka. Celkově bylo takto označeno 15 zkušebních bodů u 11 typů čerpadel. Body s nízkým počtem výpadků (do 10 kusů) byly v tabulce zvýrazněny oranžovou výplní políčka. Bylo předpokládáno, že by se v některých případech mohlo jednat o vadné komponenty čerpadla (řídící ventil, sací ventil, atd.). Celkově se jednalo o 22 zkušebních bodů u 15 typů čerpadel. Po takovémto zpracování tabulky proběhla následná diskuse. Během ní proběhla kontrola všech navržených bodů. U většiny z nich byla dodávka mimo požadovanou toleranci. Z tohoto důvodu byl nakonec vybrán pouze jeden bod, který by rovněž bylo možné navrhnout k odstranění z testovacího předpisu. Jmenovitě se jednalo o bod 0,7 A čerpadla typového označení 445 020 157. U tohoto čerpadla došlo k namontování vadného řídicího ventilu. Čerpadlo následně nesplňovalo požadavky na dodávku. Tuto závadu však funkční zkouška bezpečně odhalila. Po celkovém shrnutí bylo nakonec navrženo 16 bodů týkajících se dvanácti modifikací čerpadla CP3 (zaznamenáno v Tab. 3), které by bylo možné odstranit z testovacího programu.

Tab. 3 Body navržené pro odstranění z testovacího programu

pořadí	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
typ čerpadla	445 010 091	445 020 027	445 020 028	445 020 029	445 020 045	445 020 052	445 020 053	445 020 065	445 020 082	445 020 089	445 020 093	445 020 101	445 020 109	445 020 111	445 020 113	445 020 123	445 020 148	445 020 157	445 020 175	445 020 202
zkušební bod	0,7 A						OK							OK			OK	OK	OK	OK
	1,0 A												OK	OK	OK	OK				OK
	1,2 A																			
	1,4 A					OK	OK		OK	OK					OK					

Po tomto kroku byl úkol analýzy a vyhodnocení dat považován za splněný. Po předání získaných dat následně zaměstnanec firmy vyhodnotí, které z vytipovaných bodů je skutečně možné optimalizovat. Nicméně důležitým kritériem pro výběr vhodných bodů budou indexy způsobilosti C_p a C_{pk} . V listu „data“ si je možné povšimnout rozdílnosti ve velikosti těchto hodnot. Obecně je možné konstatovat, že tyto parametry vyjadřují kvantitativní způsobilost procesu. Pod tímto pojmem je možné si představit schopnost dodržování předem stanoveného kritéria kvality. Tyto parametry jsou tedy nedílnou součástí pro plánování a zlepšení kvality nejenom funkčního testování.



4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při definování technicko-ekonomického dopadu pro možné alternativy vypuštění daných zkušebních bodů z funkčního testování je nevhodnější vycházet z Tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty vytiženosti a taktu funkčních stanic montážních linek

pořadí	typ čerpadla	takt ML1 [s]	takt ML2 [s]	takt zkušební stanice [s]	takt zkušebních stanic ML1 [s]	takt zkušebních stanic ML2 [s]	vytiženost zkuš. stanic ML1 [%]	vytiženost zkuš. stanic ML2 [%]
1.	445 010 091	36,5	31,0	160	32,0	26,7	87,67	86,02
2.	445 020 027	45,0	31,0	140	28,0	23,3	62,26	75,27
3.	445 020 028	45,0	31,0	155	31,0	25,8	68,93	83,33
4.	445 020 029	36,9	31,0	141	28,2	23,5	76,42	75,81
5.	445 020 045	36,8	29,9	170	34,0	28,3	92,39	94,76
6.	445 020 052	36,9	0,0	175	35,0	29,2	94,85	0,00
7.	445 020 053	36,9	0,0	175	35,0	29,2	94,85	0,00
8.	445 020 065	36,8	29,9	155	31,0	25,8	84,24	86,40
9.	445 020 082	36,9	0,0	180	36,0	30,0	97,56	0,00
10.	445 020 089	36,9	0,0	180	36,0	30,0	97,56	0,00
11.	445 020 093	36,9	31,0	160	32,0	26,7	86,72	86,02
12.	445 020 101	36,8	29,9	175	35,0	29,2	95,11	97,55
13.	445 020 109	36,9	31,0	170	34,0	28,3	92,14	91,40
14.	445 020 111	36,8	29,9	155	31,0	25,8	84,24	86,40
15.	445 020 113	36,9	31,0	160	32,0	26,7	86,72	86,02
16.	445 020 123	36,8	29,9	160	32,0	26,7	86,96	89,19
17.	445 020 148	36,9	0,0	175	35,0	29,2	94,85	0,00
18.	445 020 157	36,9	0,0	150	30,0	25,0	81,30	0,00
19.	445 020 175	36,8	29,9	160	32,0	26,7	86,96	89,19
20.	445 020 202	36,9	0,0	160	32,0	26,7	86,72	0,00

První a druhý sloupec se opakuje jako u předešlých tabulek (interní označení čerpadla společně s jeho pořadím v dané tabulce). Třetí a čtvrtý sloupec (takt ML1 a ML2) obsahuje data vztahující se k taktům celých montážních linek 1 a 2 (v sekundách). Tyto údaje definují nejpomalejší článek (stanoviště) v celém montážním a zkušebním řetězci. V pátém sloupci (takt zkušební stanice) je takt jednotlivých zkušebních stanic funkční zkoušky (v sekundách). V zásadě je to čas, za který obvykle proběhne zkušební program a rovněž dojde k manipulaci s čerpadlem (výměna za nový testovaný kus, jeho následné připojení k testovací stanici operátorem a další nezbytné úkony dle manuálu obsluhy). Doba manipulace s čerpadlem je nejméně 20 sekund na jeden testovaný kus a závisí na zručnosti a případném momentálním rozpoložení operátora, především ale na typu čerpadla (různý počet připojovaných konektorů). Zbylá část tohoto taktu jednotlivé zkušební stanice je doba trvání samotného zkušebního programu, přičemž jeden zkušební bod trvá průměrně 5 sekund. V šestém a sedmém sloupci (takt zkušebních stanic ML1 a ML2) jsou uvedena data o celkovém taktu testovacích stanic. Tento údaj definuje časový interval, během kterého dochází k postupnému uvolnění otestovaných kusů z jednotlivých zkušebních stanic (pro další kontrolní úkony na montážní lince). Je nutné si uvědomit, že tento údaj vznikne podílem taktu zkušební stanice (pátý sloupec: takt zkušební stanice) a počtem jednotlivých zkušebních stanic na dané montážní lince. Jak již bylo zmíněno v kap. 3.3, ML1 obsahuje pět a ML2 šest zkušebních stanic. Rozdílná velikost těchto hodnot, pro daný typ při funkčním testování na ML1 a ML2, je způsobena samotným rozdílným počtem zkušebních stanic (tzn. na ML1 je nutný delší



časový interval pro zpracování stejného počtu čerpadel než na ML2). Nakonec v osmém a devátém sloupci (vytíženost zkušebních stanic ML1 a ML2) jsou data o využití času na zkušebních stanicích vzhledem k taktům montážních linek 1 a 2 (v procentech). Pokud jsou ve čtvrtém nebo sedmém sloupci nulové hodnoty, znamená to, že se daný typ čerpadla na ML2 nevyrobí a tedy i netestuje.

Při určování ekonomických dopadů při případném odstranění daných zkušebních bodů z testovacího programu (dle Tab. 3) v zásadě nedojde k téměř žádnému posunu. Tato skutečnost je způsobena vlastním taktem montážní linky. Je nutné si uvědomit, že i když teoreticky dojde ke snížení např. ze sedmi zkušebních bodů na pět a zvýší se tím takt zkušební stanice pro daný typ, nedojde ke změně taktu celé montážní linky. Ten je totiž limitován právě nejpomalejším členem tohoto řetězce, který zpravidla nejde urychlit pro zvýšení taktu celé montážní linky. Nicméně vypuštění některých zkušebních bodů má pozitivní a především požadovaný technologický dopad.

V kap. 3.3.5, bylo zmíněno, že pokud čerpadlo neprojde funkční zkouškou, je nutné jej odeslat na opravárenské pracoviště. Při vzniku této situace je důležitým faktorem využití času na zkušebních stanicích vzhledem k taktům montážních linek 1 a 2 (viz. sloupce vytíženost zkušebních stanic ML1 a ML2 v Tab. 4). Čím více se tyto hodnoty blíží k 100 %, tím hůře se tyto výpadky vyrovnávají. V krajním případě, kdyby využití času na zkušebních stanicích vzhledem k taktům montážních linek bylo 100 %, docházelo by při nutnosti odeslání čerpadel na opravárenské pracoviště k prodloužení výrobního taktu linky právě vlivem zkušební stanice. Díky odstranění některých zkušebních bodů z testovacích předpisů, potažmo testovacích programů, se hodnoty využití času na zkušebních stanicích vzhledem k taktům montážních linek sníží. Poté bude možné lépe vykrývat vynucené opravy čerpadel, která neprošla funkční zkouškou. Díky tomu, tak nedojde k případnému krátkodobému nechtěnému snížení taktu montážní linky, což by mělo negativní vliv na objem produkce.

Při teoretickém uvažování o snížení vytíženosti zkušebních stanic montážních linek ML1 a ML2 je nejlepší volbou vycházet z Tab. 5. Jako základní představa byla zvolena varianta, ve které bylo všech 16 zkušebních bodů navržených ke zkrácení testovacího procesu (jedná se o nepravděpodobnou variantu). Doba trvání jednoho testovacího bodu je v průměru 5 sekund. Z toho vyplývá, že teoreticky uspořený čas na jednotlivých zkušebních stanicích ML1 a ML2 pro daný typ čerpadla (čtvrtý sloupec), vychází z počtu bodů odstraněných z testovacího předpisu násobený délkou trvání jednoho bodu (5 sekund). Následný teoretický takt jednotlivých zkušebních stanic (pátý sloupec) je poté rozdílem původního taktu zkušebních stanic a teoreticky ušetřeného času. Časová úspora (šestý sloupec) vypočítaná na základě teoretického taktu zkušební stanice jasně ukazuje, že je možné docílit snížení hodnoty taktu zkušební stanice v rozmezí 2,8 až 6,5 % pro jednotlivé zkušební stanice při odstranění daných zkušebních bodů. Teoretický takt jednotlivých zkušebních stanic ML1 a ML2 (sedmý a osmý sloupec) je poté vypočten stejně jako původní takt zkušebních stanic a to podílem teoretického taktu zkušební stanice a počtu jednotlivých zkušebních stanic na dané montážní lince. Z hodnot teoretického taktu zkušebních stanic je následně vypočítána teoretická vytíženost zkušebních stanic (devátý a desátý sloupec), která při zvýšení taktu jednotlivých pracovišť ML1 a ML2 oproti původním taktům klesá. Následný přehled teoretického snížení vytížeností na zkušebních stanicích ML1 a ML2 (jedenáctý a dvanáctý sloupec) zřetelně ukazuje, že při odstranění daných zkušebních bodů z testovacího předpisu je možné dosáhnout snížení vytížeností od 2,7 do 5,6% pro jednotlivé modifikace CP3. Díky této skutečnosti by tedy bylo možné lépe vykrývat případné komplikace při funkčním testování zmíněné v kap. 3.3.5.



Tab. 5 Teoretické hodnoty vytiženosti a taktu funkčních stanic montážních linek

pořadí	typ čerpadla	počet bodů navržených k optimalizaci [-]	teor. uspořené čas na zkušební stanici [s]	teoretický takt zkušeb. stanice [s]	časová úspora z taktu zkušební stanice [%]	teor. takt zkušeb. stanic ML1 [s]	teor. takt zkušeb. stanic ML2 [s]	teor. vytiženost zkušeb. stanice ML1 [%]	teor. vytiženost zkušeb. stanice ML2 [%]	teor. snížení vytiženosti ML1 [%]	teor. snížení vytiženosti ML2 [%]
1.	445 010 091	0	0	160	0,00	32,0	26,7	87,67	86,02	0,00	0,00
2.	445 020 027	0	0	140	0,00	28,0	23,3	62,22	75,27	0,00	0,00
3.	445 020 028	0	0	155	0,00	31,0	25,8	68,89	83,33	0,00	0,00
4.	445 020 029	0	0	141	0,00	28,2	23,5	76,42	75,81	0,00	0,00
5.	445 020 045	0	0	170	0,00	34,0	28,3	92,39	94,76	0,00	0,00
6.	445 020 052	1	5	170	2,86	34,0	0,0	92,14	0,00	2,71	0,00
7.	445 020 053	2	10	165	5,71	33,0	0,0	89,43	0,00	5,42	0,00
8.	445 020 065	0	0	155	0,00	31,0	25,8	84,24	86,40	0,00	0,00
9.	445 020 082	1	5	175	2,78	35,0	0,0	94,85	0,00	2,71	0,00
10.	445 020 089	1	5	175	2,78	35,0	0,0	94,85	0,00	2,71	0,00
11.	445 020 093	0	0	160	0,00	32,0	26,7	86,72	86,02	0,00	0,00
12.	445 020 101	0	0	175	0,00	35,0	29,2	95,11	97,55	0,00	0,00
13.	445 020 109	1	5	165	2,94	33,0	27,5	89,43	88,71	2,71	2,69
14.	445 020 111	2	10	145	6,45	29,0	24,2	78,80	80,82	5,44	5,58
15.	445 020 113	2	10	150	6,25	30,0	25,0	81,30	80,65	5,42	5,37
16.	445 020 123	1	5	155	3,13	31,0	25,8	84,24	86,40	2,72	2,79
17.	445 020 148	1	5	170	2,86	34,0	0,0	92,14	0,00	2,71	0,00
18.	445 020 157	1	5	145	3,33	29,0	0,0	78,59	0,00	2,71	0,00
19.	445 020 175	1	5	155	3,13	31,0	25,8	84,24	86,40	2,72	2,79
20.	445 020 202	2	10	150	6,25	30,0	0,0	81,30	0,00	5,42	0,00



ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na problematiku funkčního testování vysokotlakého čerpadla CP3. Cíle by se daly shrnout do dvou hlavních směrů a to podrobný popis funkčního testování a snaha o snížení vytíženosti zkušební stanice vzhledem k taktu montážní linky pro vybrané modifikace čerpadla CP3.

Dle prvního cíle došlo ke kompletnímu popisu procesu testování od počátku, kdy je nutné definovat požadované parametry čerpadla zákazníkem. Ten definuje velikost dodávky a případové množství paliva, případně účinnost čerpadla nebo podmínky, za jakých bude proveden proces testování správné funkce. Dále byl realizován popis zkušebnímu programu a především zkušební stanice, na které samotná funkční zkouška probíhá. V této části došlo k podrobnému popisu materiálového toku zkoušených čerpadel během procesu testování, popisu úkonů obsluhujícího pracovníka (operátora) zkušební stanice i umístění čerpadla do zkušební stanice a připojení jeho veškerých konektorů. Dále byl proveden výčet měřených veličin na zkušební stanici i popsán pohyb čerpadla na opravárenské pracoviště v případě, kdy čerpadlo neprojde zkouškou a dostane přidělen status NOK. Tato část může sloužit jako dokument umožňující pochopení základních principů celého funkčního testování včetně činností spojených s touto problematikou.

Druhý cíl byl rovněž považován za naplněný. V první části na počátku bylo na základně plánované produkce pro rok 2014 a vzájemné podobnosti vybráno 20 typů čerpadel CP3, jenž jsou součástí produkce tohoto typu jihlavského závodu. Poté došlo k popisu databází dat, ze kterých se získávala potřebná data pro následné analyzování a vyhodnocování výsledků funkčních zkoušek. Po zjištění jednotlivých nominálních průtoků a jejich tolerancí pro dané zkušební body byla provedena analýza samotných databází. V tomto kroku byly zpracovány dané databáze jednotlivých typů čerpadel a následně bylo navrženo celkově 16 ze 139 zkušebních bodů týkajících se 12 z 20 typů čerpadel. Tyto navržené body by bylo teoreticky možné odstranit z testovacích předpisů (programů). Tento návrh byl poskytnut odpovědným osobám na montážní lince a je jenom na jejich uvážení, zda dané zkušební body odstraní. Důležitým faktorem při rozhodování budou pravděpodobně indexy způsobilosti C_p a C_{pk} , rozhodující o kvantitativní způsobilosti zkušebních procesů. V druhé části bylo zastoupeno především technické zhodnocení pro případné odstranění daných zkušebních bodů z testovacích předpisů. Při tomto posouzení bylo vycházeno z předpokladu, že všechny navržené body budou odstraněny. Následně bylo vypočítáno jednotlivé snížení vytížeností zkušebních stanic vzhledem k taktům montážních linek, které se pohybovalo v rozmezí 2,7 až 5,6 % a umožňovalo by tak lepší vyrovnaní případných komplikací při procesu funkčního testování. Samotná časová úspora z taktu jednotlivých zkušebních stanic byla v rozmezí od 2,8 do 6,5%.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KRÁLÍK, Jan a Robert BOSCH GMBH. Bosch v České republice. Praha: Robert Bosch odbytová s. r. o, 2007 Neprodejně, Všechna práva vyhrazena.
- [2] 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.
- [3] Bosch Diesel Jihlava s.r.o. *Firemní a školící materiály*. [cit. 2014-01-21].
- [4] BOSCH DIESEL s.r.o., *Intranet*, [online]. [cit. 2013-10-18]. Dostupné z: http://www.intranet.bosch.com/rbcj/plant/index_cz.asp/.
- [5] DIESEL POWER: The world's largest diesel magazine. MCGLOTHLIN, Mike. [online]. 2012-04-01 [cit. 2014-22-01]. Dostupné z: http://www.dieselpowermag.com/tech/1204dp_inside_the_bosch_cp3_injection_pump/.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Popis
CP3	[-]	Vysokotlaké čerpadlo třetí generace
CP4	[-]	Vysokotlaké čerpadlo čtvrté generace
CPN5	[-]	Vysokotlaké čerpadlo páté generace
DRV	[-]	Vysokotlaký ventil
DNA	[-]	Pracoviště zabývající se opravami čerpadel
ID	[-]	Označení (identifikace) jednotlivých přípravků
JhP	[-]	Bosch Diesel Jihlava
ML1	[-]	Montážní linka 1
ML2	[-]	Montážní linka 2
NOK	[-]	Označení pro špatný výsledek zkoušky
OK	[-]	Označení pro dobrý výsledek zkoušky
ZME	[-]	Řídící ventil



SEZNAM OBRÁZKŮ A SCHÉMAT

Obr.	Název	Strana
1.	Výrobní závody JhP	11
2.	Objem výroby v JhP v porovnání s ostatními závody	12
3.	Vysokotlaký regulační ventil	12
4.	Druhy Railů	13
5.	Vysokotlaké čerpadlo CPN5	13
6.	Vysokotlaké čerpadlo CP4	14
7.	Vysokotlaký okruh systému Common Rail pro osmiválcový motor	15
8.	Schéma systému Common Rail	15
9.	Vysokotlaké čerpadlo CP3	16
10.	Řez čerpadlem CP3 s vyznačenými hlavními komponenty	17
11.	Výkovek CP3 od externího dodavatele	18
12.	Fáze obrábění výkovku CP3	18
13.	Varianty připojení vačkových hřídelů CP3 k motoru	19
14.	Tvar a průtoková charakteristika pístu řídicího ventilu	19
15.	Typy sacích ventilů	20
16.	Zkušební stanice 420	23
17.	Čerpadlo CP3 připravené na spuštění funkční zkoušky	24
18.	Detail vysokotlakého připojení na zkušební stanici	25
19.	Čerpadlo CP3 připojené ke zkušební stanici	25
20.	Čerpadlo CP3 označené barevným prstencem	26
21.	List import	28
22.	List data	28
23.	List tisk	29



SEZNAM TABULEK

Tab.	Název	Strana
1.	Přehled analyzovaných typů čerpadla CP3	27
2.	Analyzovaná data jednotlivých typů čerpadla CP3	30
3.	Body navržené pro odstranění z testovacího programu	31
4.	Hodnoty vytíženosti a taktu funkčních stanic montážních linek	32
5.	Teoretické hodnoty vytíženosti a taktu funkčních stanic montážních linek	34



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Popis zkušebního programu

Příloha 2: Instrukce obsluhy zkušební stanice



PŘÍLOHA 1

ZÁKLADNÍ PARAMETRY TESTOVÁNÍ ČERPADLA (HEADDATA) DLE OBR. 1:

- typová modifikace (1)
- zdvihový objem (2)
- směr otáček vačkového hřídele (3)
- typ mazání kluzných ložisek (4)
- zabíhací rychlost (5)
- doba zabíhání (6)
- způsob průběhu měření (7)
- kontrola ovládání ZME (8)
- počet opakovacích cyklů bodů kalibrace (9)
- volba počtu bodů kalibrace (10)
- mezidoba mezi jednotlivými cykly (11)
- doba setrvání na jednotlivých bodech kalibrace (12)
- kalibrační body ZME (13 – 17)
- volba typu ZME (18)

Poznámky:

(4) – ložiska jsou mazána přímo palivem (naftou) nebo čerpadlo obsahuje přídavný mazací olejový okruh

(7) – dvě možnosti: celý program proběhne bez ohledu na to, jestli jsou nějaké body špatné či ne (hodnota 2) nebo při zjištění špatného bodu je tento bod překontrolován programem znovu a poté je měření zastaveno u tohoto bodu (hodnota 3)

(9) – počet opakovacích cyklů, během kterých proběhne opětovná kontrola kalibrace

(10) – je možné zvolit jeden až pět zkušebních bodů kalibrace, nezvolené body mají nulovou hodnotu



	Sel.	Parameter name	Value	Lower tol.	Upper tol.	Dim.	Tol. type
18	<input checked="" type="checkbox"/>	reserve	0,00				x
17	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckCurrent5	0,00000			A	x
16	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckCurrent4	1,41000			A	x
15	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckCurrent3	0,96000			A	x
14	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckCurrent2	0,66000			A	x
13	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckCurrent1	0,45000			A	x
12	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckStepTime	1,00000			sec	x
11	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckLoopTime	2,00000			sec	x
10	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckStep	4				x
9	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckLoop	1				x
8	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECheckControl	1				x
7	<input checked="" type="checkbox"/>	MeasurementState	3				x
6	<input checked="" type="checkbox"/>	BleedTime	2,00000			sec	x
5	<input checked="" type="checkbox"/>	BleedSpeed	200			rpm	x
4	<input checked="" type="checkbox"/>	LubricationControl	0				x
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Direction	0				x
2	<input checked="" type="checkbox"/>	PumpVolume	1,087			cm3/rpm	x
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Pumptype	CP3.3				x

Obr. 1 Základní parametry testování čerpadla

PARAMETRY ZKUŠEBNÍHO BODU DLE OBR. 2:

- typ zkušebního bodu (1)
- volba zkušebních okruhů zkušební stanice (2)
- velikost otáček vačkového hřídele (3)
- gradient otáček (4)
- tlak v Railu (5)
- nulový tlakový bod (6)
- dodávaný proud do ZME (7 - 8)
- gradient dodávaného proudu do ZME (9)
- doba setrvání na daném zkušebním bodu (10 – 12)
- vstupní teplota paliva (13)
- výstupní teplota paliva (14)



- teplota paliva v Railu (15)
- vstupní tlak paliva (16)
- vstupní množství paliva (17)
- výstupní tlak paliva (18)
- přeřadový objem (19)
- počet opakování měření přeřadového objemu (20)
- velikost průtoku (21)
- počet opakování měření velikosti průtoku (22)
- průtoková účinnost (23)
- nastavení průtokoměrů (24)
- teplota mazacího média (25)
- tlak mazacího média (26)
- velikost průtoku mazacího média (27)

Poznámky:

(1) – dvě hlavní simulace zkušebního programu: plná požadovaná dodávka paliva do Railu (hodnota 1) nebo nulová požadovaná dodávka do Railu (hodnota 2)

(2) – při větším zdvihovém objemu čerpadla by zkušební stanice nebyla schopná efektivně testovat toto čerpadlo, proto je nutné zapojit přídatný testovací okruh této stanice

(6) – podmínka určující danou toleranci tlaku paliva (při hodnotě 2) pro řádek (1) zkušebního programu

(17) – vstupní množství paliva do čerpadla se neměří, pouze se vyhodnocuje

(24) – na zkušební stanici je možné použít dva průtokoměry dle průtoku paliva daného zkoušeného čerpadla

(25 – 27) – tyto body platí pro čerpadla s přídatným mazacím olejovým okruhem

(28 – 35) - parametry se pro CP3 nevyhodnocují



	Sel.	Parameter name	Value	Lower tol.	Upper tol.	Dim.	Tol. type
35	<input checked="" type="checkbox"/>	EQPressMax	0	0		bar	x+-
34	<input checked="" type="checkbox"/>	EQPressMin	0	0		bar	x+-
33	<input checked="" type="checkbox"/>	PressurePeak3	0	0		bar	x+-
32	<input checked="" type="checkbox"/>	PressurePeak2	0	0		bar	x+-
31	<input checked="" type="checkbox"/>	PressurePeak1	0	0		bar	x+-
30	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensortemperature	0,0	0,0		°C	x+-
29	<input checked="" type="checkbox"/>	Density	0,000	0,000		g/cm3	x+-
28	<input checked="" type="checkbox"/>	Massflow	0,00	0,00		kg/h	x+-
27	<input checked="" type="checkbox"/>	Lubrifvolumeflow	0,00	0,00		l/h	x+-
26	<input checked="" type="checkbox"/>	LubrifPressure	0,00	0,00		bar	x+-
25	<input checked="" type="checkbox"/>	LubrifTemperature	0,0	0,0		°C	x+-
24	<input checked="" type="checkbox"/>	MeasurementSystem	0	0			x+-
23	<input checked="" type="checkbox"/>	VolumeflowEfficiency	0,00	0,00		%	x+-
22	<input checked="" type="checkbox"/>	NumberMeasurment2	10				x
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumeflow	220,00	40,00		l/h	x+-
20	<input checked="" type="checkbox"/>	NumberMeasurment1	10				x
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Backflow	40,00	15,00		l/h	x+-
18	<input checked="" type="checkbox"/>	BackflowPressure	0,05	0,05		bar	x+-
17	<input checked="" type="checkbox"/>	InletMassflow	0,00	0,00		l/h	x+-
16	<input checked="" type="checkbox"/>	InletPressure	0,10	0,05		bar	x+-
15	<input checked="" type="checkbox"/>	RailTemperature	0,0	0,0		°C	x+-
14	<input checked="" type="checkbox"/>	BackFlowTemperature	0,0	0,0		°C	x+-
13	<input checked="" type="checkbox"/>	InletTemperature	40,0	2,0		°C	x+-
12	<input checked="" type="checkbox"/>	WaitingTime3	0,00000			sec	x
11	<input checked="" type="checkbox"/>	WaitingTime2	0,00000			sec	x
10	<input checked="" type="checkbox"/>	WaitingTime1	5,00000			sec	x
9	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMEGradient	0,100000			A/sec	x
8	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECurrent2	0,000	0,000		A	x+-
7	<input checked="" type="checkbox"/>	ZMECurrent1	0,400	0,010		A	x+-
6	<input checked="" type="checkbox"/>	ZeroPointPressure	0	0		bar	x+-
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Railpressure	500	20		bar	x+-
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Speedgradient	250				x
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Speed	3 500	2		rpm	x+-
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Variante	0				x
1	<input checked="" type="checkbox"/>	PositionType	1				x

Obr. 2 Parametry zkušebního bodu



PŘÍLOHA 2

Popis procesu - průběh
<ul style="list-style-type: none"> → Navolit zkušební program dle typu čerpadla. → Ze všech vývodů sundat technologické krytky, včetně ochranné krytky na štekr ZME → Na čerpadlo určené ke kontrole našroubovat vysokotlaký adaptér, který se na začátku směny vyfouká vzduchem (pro vyčištění otáček závitů) a utáhne se momentovým klíčem. → Otevřít ochranný kryt stanice a WT s čerpadlem zasunout do pracovního prostoru stanice. → Upnout hydraulické upínání. → Hadici přívodu připojit pomocí rychlospojky na nízkotlakou přípojku čerpadla (na přírubě). → Hadici přepadu připojit pomocí rychlospojky na přepad čerpadla. Pokud má čerpadlo 2 přepady, musí se použít hadice ve tvaru T (dva přepady se sbíhají do jedné hadice, delší část hadice zapojit na přepad z Flanche). Nesmí se použít žádná hadice, která je připojena přímo do nádrže. → Na vysokotlaký adaptér připojit vysokotlakou hadici. → Pomocí konektoru připojit ZME a uzavřít ochranný kryt. → Spustit automatický běh. → Průběh zkoušky: potvrdit číslo čerpadla (zadání přes terminál)-Enter → Po zastavení pohonu potvrdit výsledek na terminálu-Q → Otevřít ochranný kryt stanice, odmontovat všechna připojení, uvolnit upnutí a z pracovního prostoru stanice vysunout WT s čerpadlem. → Demontovat vysokotlaký adaptér. → Nasadit techn. krytky na všechny vývody, včetně ochranné krytky na štekr ZME (na vývody směřující nahoru se nemusí nasazovat krytky) Tech.krytky jsou na více použití, po prvním použití nešrotovat. → Výsledek zkoušky I.O. „dobré“ na poprvé: čerpadlo poslat dále na pás → Výsledek zkoušky N.I.O.- „špatné“ na poprvé : provést analýzu(kontrolu na protokolu) -opakovat zkoušku (bez opravy) → Výsledek zkoušky I.O.- „dobré“ na podruhé: čerpadlo poslat dále na pás → Výsledek zkoušky N.I.O.- „špatné“ na podruhé zavěsit žlutý štítek s kódem chyby a čerpadlo poslat na „Opravy po zkoušce funkčnosti“. → Po opravě ZME nebo KŮVu: → Výsledek zkoušky I.O.- „dobré“ na poprvé po opravě čerpadlo poslat dále na pás → Výsledek zkoušky N.I.O.- „špatné“ na poprvé po opravě: provést analýzu(kontrolu na protokolu) -opakovat zkoušku (bez opravy) → Výsledek zkoušky N.I.O.- „špatné“ na podruhé zavěsit červený štítek s kódem chyby a čerpadlo poslat na pás(čerpadlo jde na DNA) • Každé čerpadlo se smí zkoušet na jedné zkušební stanici maximálně 2x na jedno upnutí !!!!! tj.jedno čerpadlo max.4x na ML.

Obr. 3 Instrukce obsluhy zkušební stanice