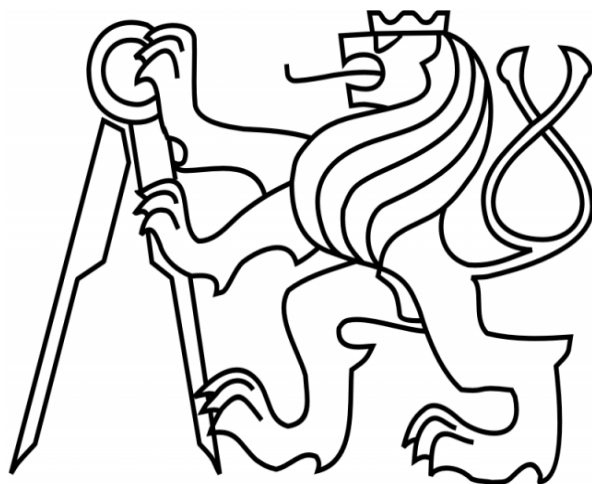


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE FAKULTA STROJNÍ



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Návrh opatření pro snížení chybových  
nákladů ve výrobě CP4 v Bosch Diesel s.r.o  
Jihlava

Praha, 2016

Autor: KRÁL Jiří

Vedoucí práce: Doc. Ing. Vratislav Preclík, CSc. 12 134

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou diplomovou práci zpracoval samostatně a souhlasím s tím, že její výsledky mohou být dále využity dle uvážení společnosti BOSCH Diesel s.r.o. se sídlem v Jihlavě, v České Republice.

Datum.....

Podpis.....

## Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi pomáhali při vytváření této práce. Především pak vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Vratislavu Preclíkovi, CSc. za cenné připomínky a společnosti BOSCH Diesel s.r.o. za umožnění tuto práci zpracovat.

# Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou nejnákladnějších výpadků v procesu výroby vysokotlakého čerpadla CP4. Zahrnuje analýzu vzniku jednotlivých chyb na vybraných montážních pracovištích, sledování výpadků pomocí pareto analýzy a stanovení nápravných opatření včetně vyhodnocování jejich zavedení. Hlavním cílem této bakalářské práce je návrh účinných opatření vedoucích ke snížení chybových nákladů ve výrobě CP4.

# Abstract

The bachelor thesis deals with the analysis of the most costly failures in the process of manufacturing of the high pressure pump CP4. It includes analysis of the beginning of particular errors on the chosen assembly workplaces, monitoring of failures using Pareto analysis and determination of the corrective measures inclusive evaluating their implementation. The main objective of this bachelor thesis is the design of effective measures to reduce error costs in manufacturing CP4.

## Obsah:

1. Rozbor výrobního programu a sledovaného výrobku
2. Analýza vysokotlakého čerpadla CP4 a funkce v systému Common Rail
3. Analýza montáže vysokotlakého čerpadla CP4 a montážní linky
4. Sledování výpadku montážní linky (na montáži CP4)
5. Návrh opatření pro snížení chybových nákladů výrobku CP4
6. Podmínky realizace a zhodnocení

## Seznam použitých zkratk:

CRS	- Common rail system
CP1H	- Common rail pump 1. generace
CP2	- Common rail pump 2. generace
CP3	- Common rail Pump 3. generace
CP4	- Common rail Pump 4. generace
CPN5	- Common rail Pump 5. generace
KLT	- Označení pro obalový materiál ( <i>Plastová standardizovaná přepravka</i> )
WDR	- Hřídelový těsnicí kroužek
DMC	- Datamatrix kód
JhP	- Jihlavské závody Bosch
FeP	- Závod Bosch ve Feuerbachu
PHEK	- Plánované výrobní náklady
ML	- Montážní linka
i-ÜV	- Integrovaný přepadový ventil
OIS-net	- Servisní a vyhledávací program
SV	- Sací ventil
ZK	- Hlava válce

# Úvod

Společnost Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě byla založena 4. ledna 1993 jako společný podnik firmy Robert Bosch GmbH a jihlavského strojírenského závodu Motorpal a.s.. V roce 1996 se firma Robert Bosch GmbH stala jediným vlastníkem společnosti Bosch Diesel s.r.o. a zahájila svůj rozvoj v Jihlavě výstavbou nových výrobních prostor a následně rozjela výrobu vysokotlakých čerpadel.

V roce 1994 se pro společnost se 160 zaměstnanci stává hlavním výrobním programem montáž řadových čerpadel, ta byla postupně nahrazena výrobou čerpadel PDM a výrobou balících strojů. Dále se výrobní program rozšířil o sériovou výrobu rotačních čerpadel a vstřikovacích jednotek.

V roce 2000 byla odkoupena výrobní hala firmy Alfatex v Jihlavě, kde postupně vznikl současný závod II, kde se od roku 2002 vyrábějí vysokotlaké zásobníky Raily. V roce 2001 byl vybudován nový závod III na Pávově, ve kterém se začalo vyrábět vysokotlaké čerpadlo CP3. Největší výrobní hala zde byla postavena v roce 2005 a v ní se rozjela výroba čerpadel CP1H. V roce 2012 nahradil CP1H čerpadla nový typ vysokotlakých čerpadel CPN5.

V roce 2008 byla na závodě III zahájena také sériová výroba vysokotlakého čerpadla CP4. Ta je současné době stěžejním výrobním programem jihlavského závodu.

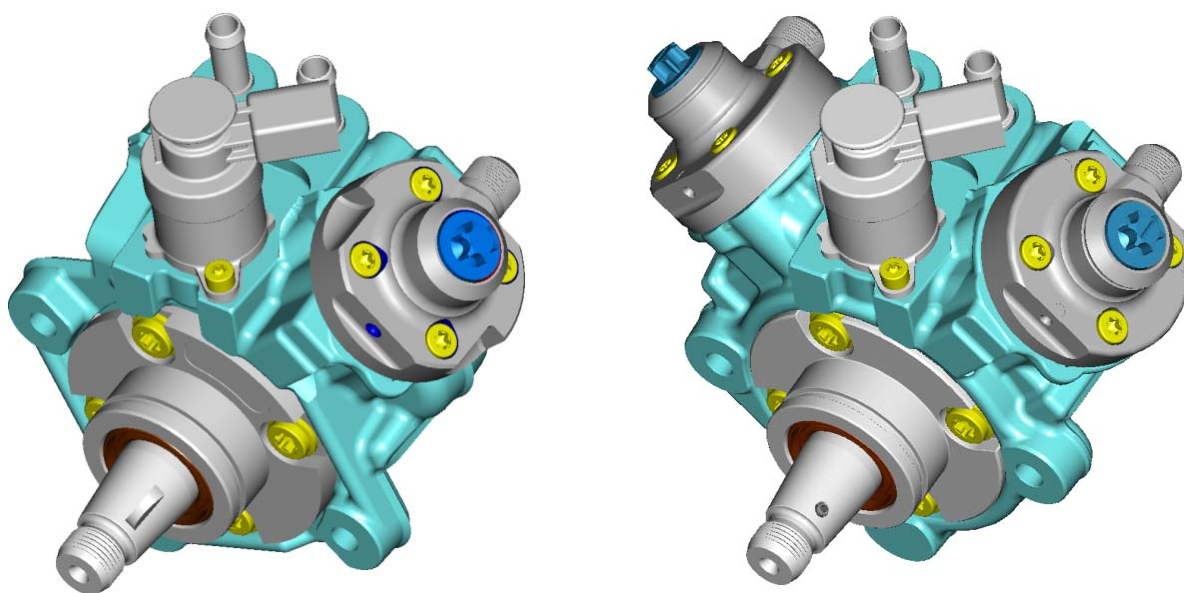
# 1 Rozbor výrobního programu a sledovaného výrobku

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

Díky důsledné modulární konstrukci je pouze těleso jediným rozdílem mezi oběma základními čerpadly, všechny ostatní díly jsou totožné.

V současné době se CP4 vyrábí pro tlak až 2200 bar a může být použito v osobních nebo užitkových vozidlech s výkonem do 350 kW. Jednou z mnohých inovací je například převodový poměr mezi otáčkami a motorem a může být až 1:1. Doposud byly většinou realizovány převody v poměru 1:2 a 2:3, kdy se čerpadlo otáčí pomaleji než motor.

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



Obr. 1.1 Modely vysokotlakého čerpadla CP4.1 a CP4.2<sup>[1]</sup>

## 1.1 Začátek výroby CP4 ve světě

Sériová výroba CP4 byla zahájena v roce 2006 ve Feuerbachu v Německu s pilotním zákazníkem BMW. Druhým a zatím posledním závodem v mezinárodní síti pro výrobu čerpadel CP4 je JhP, kde byla zahájena sériová výroba v lednu 2008 pro zákazníka Volkswagen. V současné době je spektrum zákazníků a modelů výrazně rozšířené.

## 1.2 Výroba CP4 v České republice

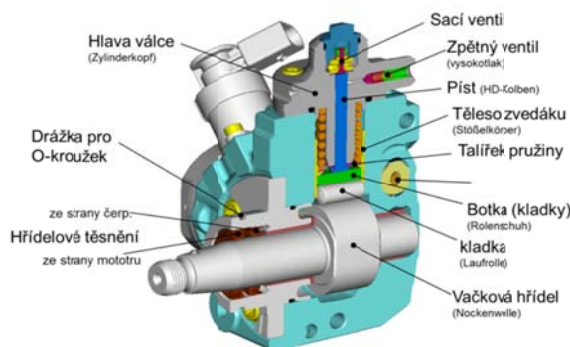
Čerpadlo CP4 se v České republice vyrábí v jednom ze tří závodů v Jihlavě, v místní části Pávov. V největší hale JhP probíhá kompletní montáž CP4 a dále se zde vyrábějí komponenty pro montáž:

- tělesa čerpadel,
- příruby,
- hlavy válců a písty.

Ostatní komponenty pro CP4 se vyrábí v jiných závodech Bosch, nebo se nakupují.

V Jihlavě se před hlavní montáží kompletují hlavy válců, zvedáků, sací ventily a přepouštěcí ventily

Na obr. 1.2 je zobrazen řez čerpadlem, na kterém jsou některé části čerpadla popsány.



Obr. 1.2 Řez čerpadlem CP4<sup>[1]</sup>



## 1.2.1 Výroba těles

Na výrobu tělesa CP4 se používá materiál EN AC-ALSi12CuNiMg, což je slitina hliníku s příměsí legujících prvků, kde hlavní legura, která zvyšuje otěruvzdornost, je křemík s obsahem 10,5-13,5%. Požadovanými vlastnostmi odlitku jsou tvrdost min. 110 HBW a pevnost v tahu  $240 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ .

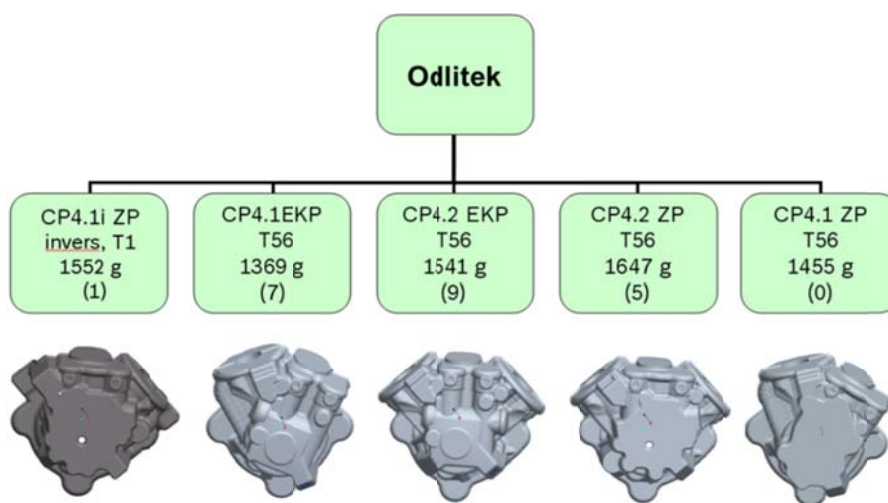
Odlitek je vyráběn tlakovým litím v permanentní formě s pískovým jádrem, temperován a chlazen ve vodě a následně probíhá proces umělého stárnutí.

Stručný přehled výrobních operací těles:

- obrábění odlitku z hliníkové slitiny
- vyražení DMC (datamatrix kód vyražený na dílci)
- zalisování ložiskového pouzdra pro vačkovou hřídel
- vysokotlaké odjehlení
- čištění ve vodní lázni

Základní rozdělení vyráběných těles:

- tělesa pro jedno a dvou válcová čerpadla na obr. 1.2.1
- varianty EKP (pomocné elektrické čerpadlo), EKPC (kompaktní čerpadlo), RPX, AZP (pumpa s pomocným zubovým čerpadlem) a DGP.



Obr. 1.2.1 Polotovary těles CP4<sup>[1]</sup>

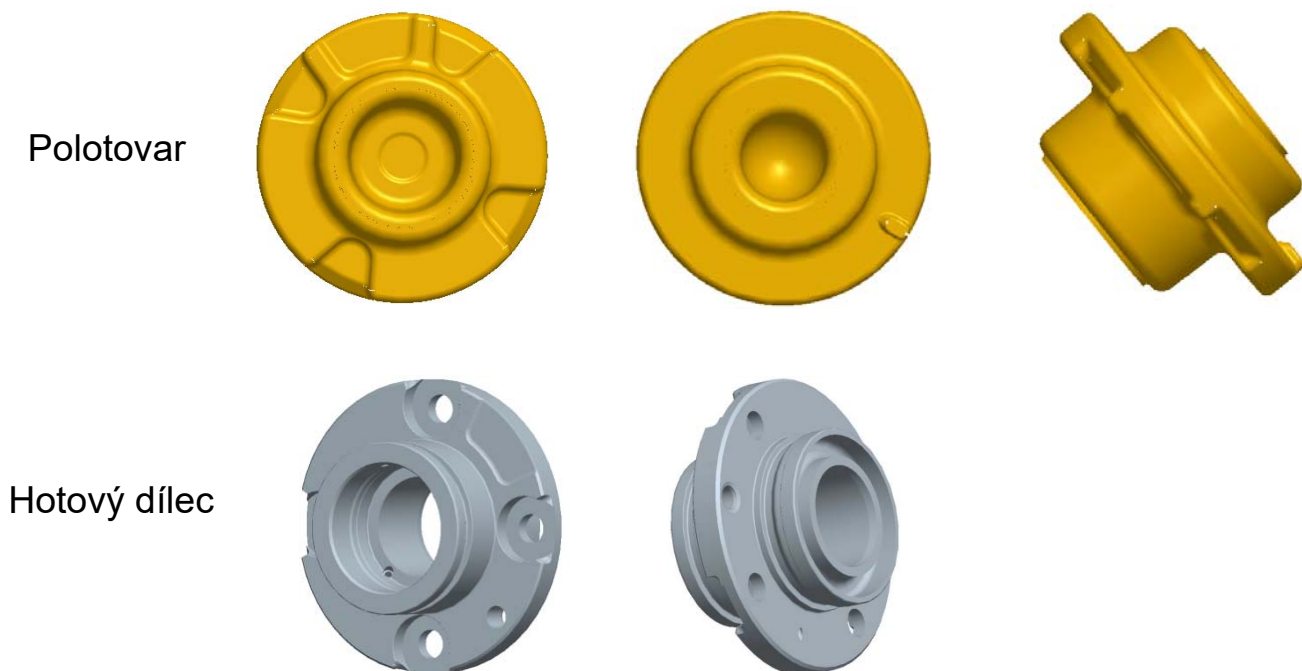
## 1.2.2 Výroba přírub

Robustní příruba obr. 1.2.2 je nástupcem původního polotovaru výkovku. Z ekonomických důvodů se v současné době používá polotovar tlakový odlitek. Materiál je popsán normou DIN EN 1706.

Stručný přehled výrobních operací přírub:

- obrábění odlitku z hliníkové slitiny na obráběcích linkách na obráběcích centrech EMAG a GROB
- dílce jsou mezi jednotlivými operacemi předávány dále ručně v pracích koších nebo na vozících
- lisování ložiskového pouzdra pro vačkovou hřídel
- vyražení DMC
- čištění ve vodní lázni

Materiál odlitku je shodný s materiálem tělesa.



Obr. 1.2.2 Příruba CP4<sup>[1]</sup>

### 1.2.3 Výroba hlavy válce

Materiál hlavy válce je ocel 100Cr6 (ložisková ocel), žíhaná k dosažení kuličkového grafitu, 100% kontrola vnitřních vad se provádí ultrazvukem a vířivými proudy. Tvrdost max. 207 HB. Požadován je vysoký stupeň čistoty.

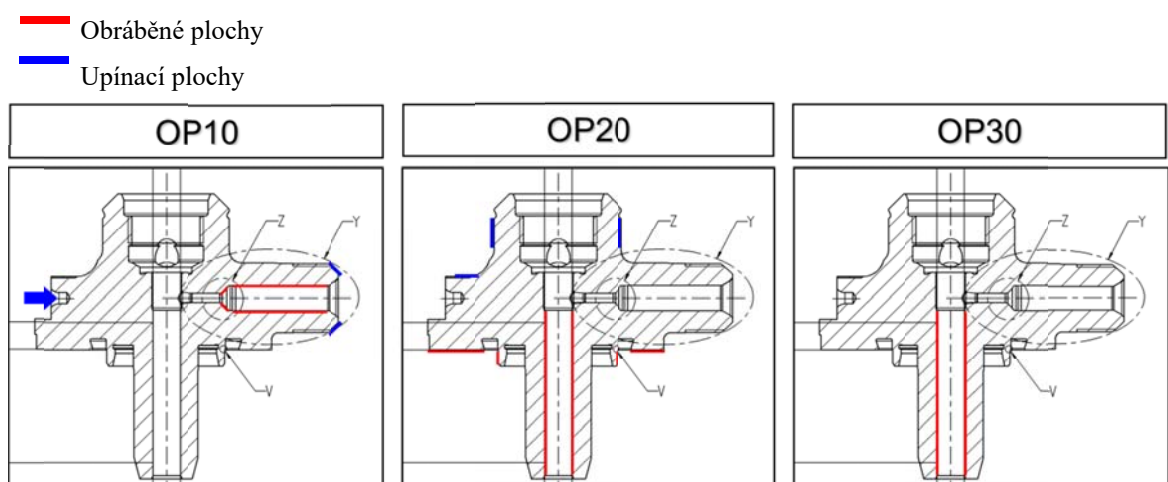
Tepelné zpracování – austenitizace v ochranné atmosféře, zakalení v solné lázni, ochlazení na vzduchu. Povrchová tvrdost  $680\pm 55$  HV10, tvrdost v jádře  $680\pm 35$  HV10, kontrola zbytkového austenitu.

Konstrukce – univerzálnost, možnost natočení vysokotlakého hrdla dle potřeby, jediný dílec čerpadla, ve kterém jsou vedeny vysokotlaké kanály (2200 barů), elektroerozivní obrábění namáhaných průniků kanálu.

Výroba pístů – píst tvoří při kompletaci část vysokotlaké hlavy válce. V Jihlavě se provádí operace broušení na kulato a rozměřování do osmi rozměrových tříd po  $0,5\mu\text{m}$ .

Výrobní proces v Jihlavě:

Provádí tzv. tvrdé obrábění obr. 1.2.3. Operace 10 – broušení otvoru RSV, operace 20 – broušení vnějších ploch a operace 30 – honování otvoru pro píst.

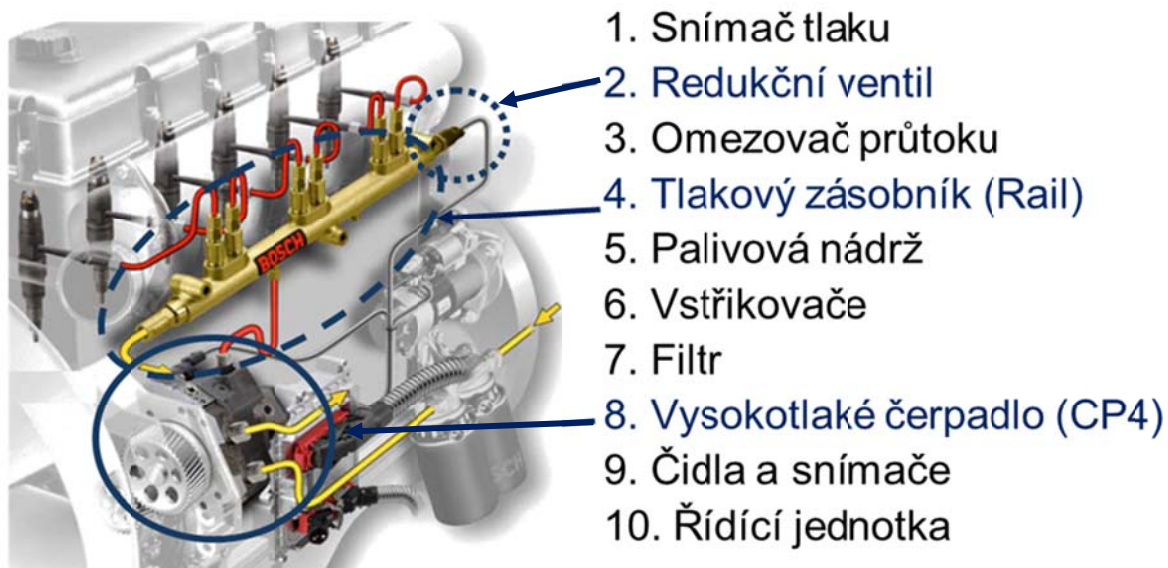
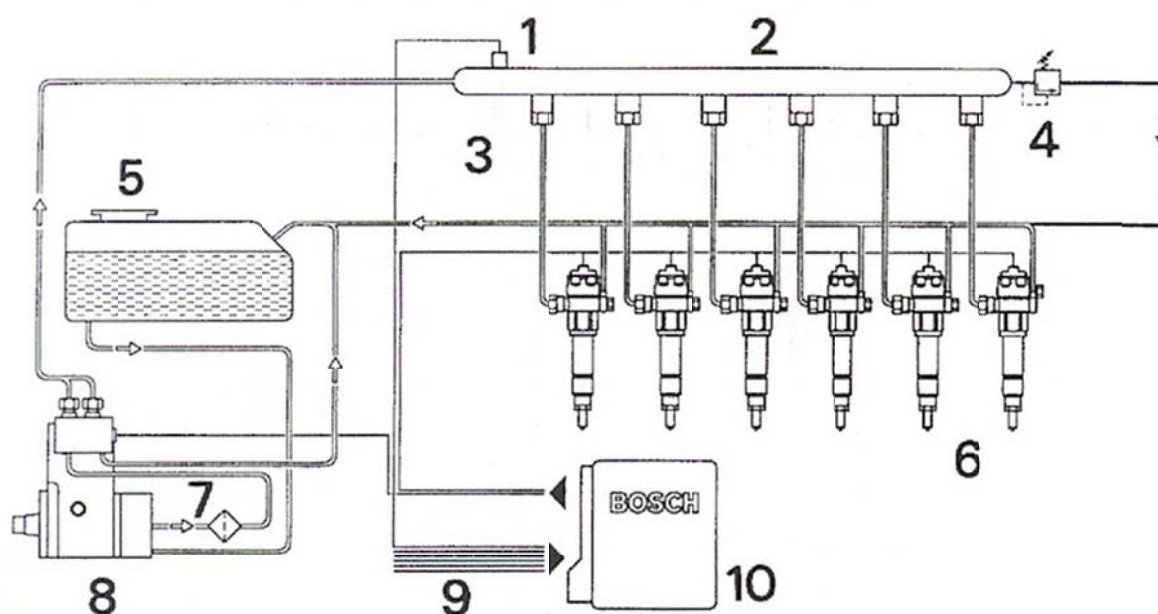


Obr. 1.2.3 výroba hlavy válce<sup>[1]</sup>

## 2 Analýza nového výrobku v systému Common Rail

### 2.1 Common Rail systém (CRS)

První systémy CRS byly do sériové výroby nasazeny v roce 1997. V současné době jsou prakticky všechny nové vznětové motory vybaveny systémy vstřikování CRS obr. 2.1.1.



Obr. 2.1.1 Common Rail systém (CRS) <sup>[1]</sup>

CRS má jednu významnou vlastnost, která jej odlišuje od všech ostatních systému vstřikování. Tvorba tlaku paliva není závislá na otáčkách motoru a velikosti vstřikované dávky. Tlak paliva je velmi důležitý parametr z hlediska jeho rozprášení. To zase ovlivňuje průběh hoření ve spalovacím prostoru a tím i vlastnosti motoru jako výkon, spotřebu a emisní chování. U všech ostatních systémů vstřikování nafty, ať už jde o řadová a rotační vstřikovací čerpadla nebo sdružené vstřikovací jednotky (PDE), pokud mluvíme o vstřikovacím tlaku, je myšlen tlak maximální, tzn. Tlak dosahovaný při jmenovitém výkonu, při vysokých otáčkách a maximální vstřikované dávce. Naproti tomu u CRS lze vstřikovací tlak prakticky libovolně regulovat nebo řídit podle potřeb provozních podmínek motoru. To je možné díky tlakovému zásobníku – railu, který dal systému jméno. Zdrojem tlaku pro rail je vysokotlaké čerpadlo. Další velkou předností CRS je možnost optimálního časování doby vstřiku a rozdělení vstřikovací dávky paliva na pilotní vstřik, respektive vstřiky, hlavní dávku a následné vstřiky (dostřiky). Díky tomu je možné dále optimalizovat spalovací proces a plnit stále přísnější emisní předpisy.

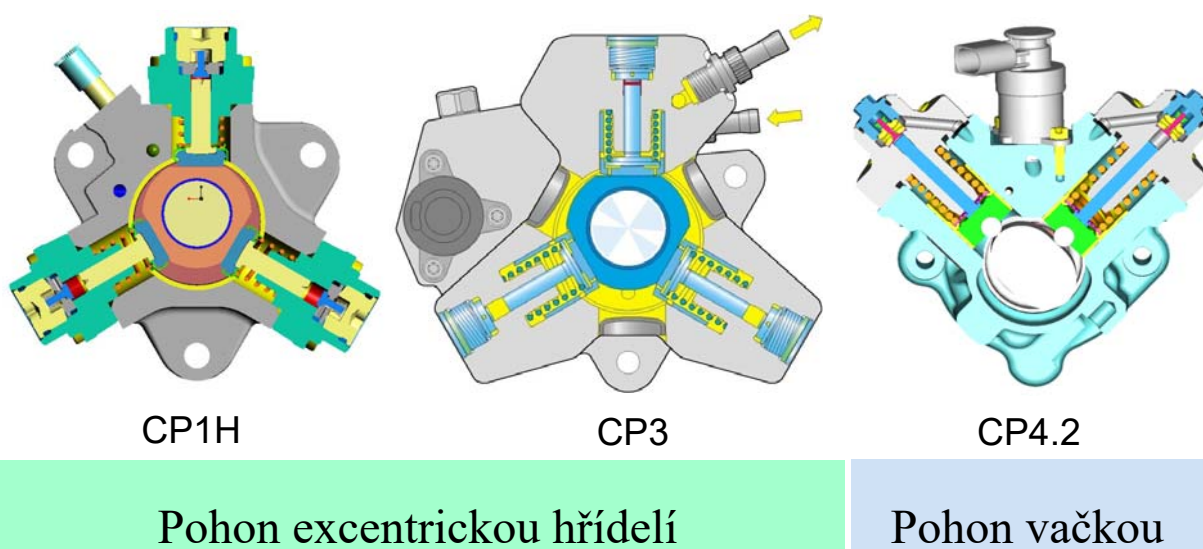
## 2.2 Vývoj CRS

CRS a jejich komponenty se samozřejmě vyvíjejí a řada změn je i pro odborníky těžko postřehnutelná. Vysokotlaké čerpadlo CP4 se od svých předchůdců rovněž výrazně odlišuje. Poprvé bylo použito v motorech BMW typu N47D v modelové ročníku 2007. Nyní je použito u motorů pro více než 20 druhů vozidel např. Audi, VW, Hyundai, Peugeot nebo Škoda.

U systémů s čerpadly třetí generace CP3 a modifikovaných čerpadel CP1H byly požadavky na příkon sníženy zavedením dávkovací jednotky (ZME). Tou se reguluje množství paliva do válců vysokotlakého čerpadla. Stlačuje se pouze objem paliva potřebný pro dosažení požadovaného tlaku v railu a

současně se snižuje potřebný příkon pro pohon čerpadla a tím i spotřeba paliva. Zamezuje se také zbytečnému ohřívání paliva a není tedy nutné používat chladič paliva.

Pro názorné určení rozdílů v konstrukci vysokotlakých čerpadel jsou na obr. 2.2.1 příklady vývoje čerpadel Bosch. Kromě řady CP2, pro motory užitkových vozidel, vždy šlo o tříválcová čerpadla s radiálním uspořádáním válců do hvězdy. Písty byly poháněny trojbokou kladkou unášenou výstředníkem na hnací hřídeli. Systémy s první generací čerpadel CP1 měly regulaci tlaku v railu jen na vysokotlaké straně. To znamenalo, že se stlačoval plný objem paliva na maximální tlak a následně odpouštěl na tlak požadovaný podle režimu motoru. To vyžadovalo zbytečně vysoký příkon vysokotlakého čerpadla a navíc se odpouštěním do nádrže ohříval její obsah.



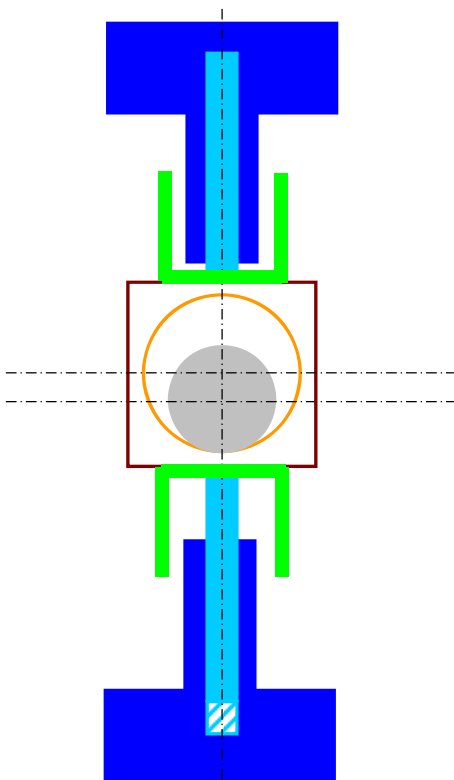
Obr. 2.2.1 Rozdíly pohonu čerpadel CPx<sup>[1]</sup>

## 2.3 Princip pohonu vysokotlakého čerpadla

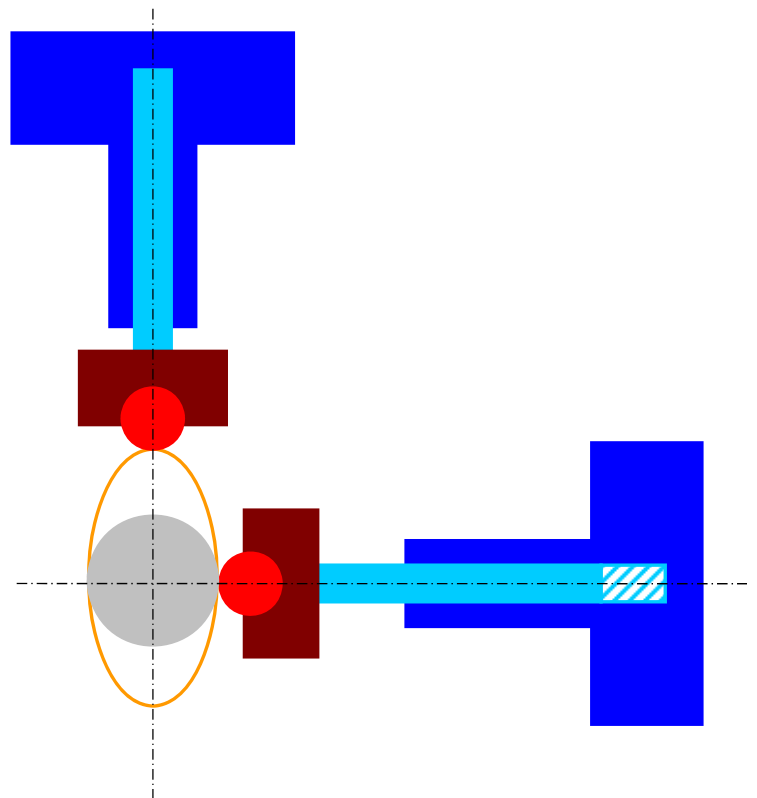
V konstrukci CP4 je zahrnuto mnoho inovací. Například převodový poměr mezi otáčkami čerpadla a motoru může být až 1:1. Doposud byly většinou realizovány převody v poměru 1:2 a 2:3, přičemž se čerpadlo otáčí pomaleji než motor.

Při pohonu excentrickou hřídelí je počet podávaných zdvihů na 1 otáčku pouze jeden obr. 2.3.1.

Při pohonu vačkovou hřídelí je výkon dodávaného množství paliva dvojnásobný než při pohonu excentrickou hřídelí obr. 2.3.2.



Obr. 2.3.1 Pohon excentrickou hřídelí<sup>[1]</sup>



Obr. 2.3.2 Pohon vačkovou hřídelí<sup>[1]</sup>

## 2.4 Konstrukce čerpadla CP4

Nová generace vysokotlakých čerpadel přebírá výhodné vlastnosti od předchozích generací, jako je regulace tlaku prostřednictvím dávkovací jednotky na nízkotlaké straně čerpadla, dále potom chlazení a mazání palivem. Tady ale podobnost končí. Konstrukce čerpadel nové řady je podřízena dosažení maximálních tlaků a vysoké spolehlivosti. V současnosti je dosahovaný systémový tlak 2200 barů s potenciálem až 3000 barů. Nová konstrukce minimalizovala počet spojů a různých konstrukčních zátek na straně vysokého tlaku. Z toho vyplynulo sloučení válce, hlavy válce a přípojovacího hrdla do jediného ocelového obrobku. Čerpadla se vyrábí v jedno a dvouválcovém provedení. Jednoválcové pro čtyřválcové motory a dvouválcové pro pěti- a víceválcové motory do osobních vozidel. Písty jsou poháněny vačkami na hnací hřídeli přes zdvihátko s kladkou. Na píst tak nejsou přenášeny žádné boční síly, které zachytávají zdvihátko. Vačka má vždy dva palce, to znamená, že každý píst vykoná dva pracovní zdvihy za jednu otáčku čerpadla. Otáčky jsou vyšší než u předchozích generací (v poměru 1:1 s klikovou hřídelí motoru).

Výhodou konstrukce s kladkou je spolehlivé mazání. Čím jsou otáčky vyšší, tím je vtahováno více paliva mezi kladku a vačku a tím je zaručeno lepší mazání. Další výhodou synchronních otáček vysokotlakého čerpadla a klikové hřídele je možnost sladění doplňování tlaku paliva v railu s úbytky tlaku způsobenými jednotlivými vstříky. Takto se sníží kolísání tlaku v railu. Zvýšení tlaků bylo dosaženo i úpravou ventilů. Sací ventil má zlepšené vedení pro optimální proudění z hlediska opotřebení. U výtlačného ventilu byla kulička nahrazena kalotou – kuželkou s přesným válcovým provedením a polokulovou těsnicí hlavou.

Z vnějšího pohledu vypadá čerpadlo jednoduše a jednoduché opravdu je. Všechny konstrukční díly jedno- i dvouválcových čerpadel jsou shodné



s výjimkou tělesa z hliníkové slitiny. Nízký počet dílů a hliníkové těleso je důvod nízké hmotnosti. Proti srovnatelným čerpadlům předchozí generace má čerpadlo CP4 téměř poloviční hmotnost. Snižování hmotnosti konstrukčních dílů přispívá ke snížení spotřeby paliva a současně i emisí CO<sub>2</sub>. Pro dopravu paliva z nádrže mohou být použita elektrická podávací čerpadla nebo integrovaná zubová čerpadla.

Základní části čerpadla na obr. 2.4.1.

### 1. Těleso a Příruba

### 2. Pohonné ústrojí:

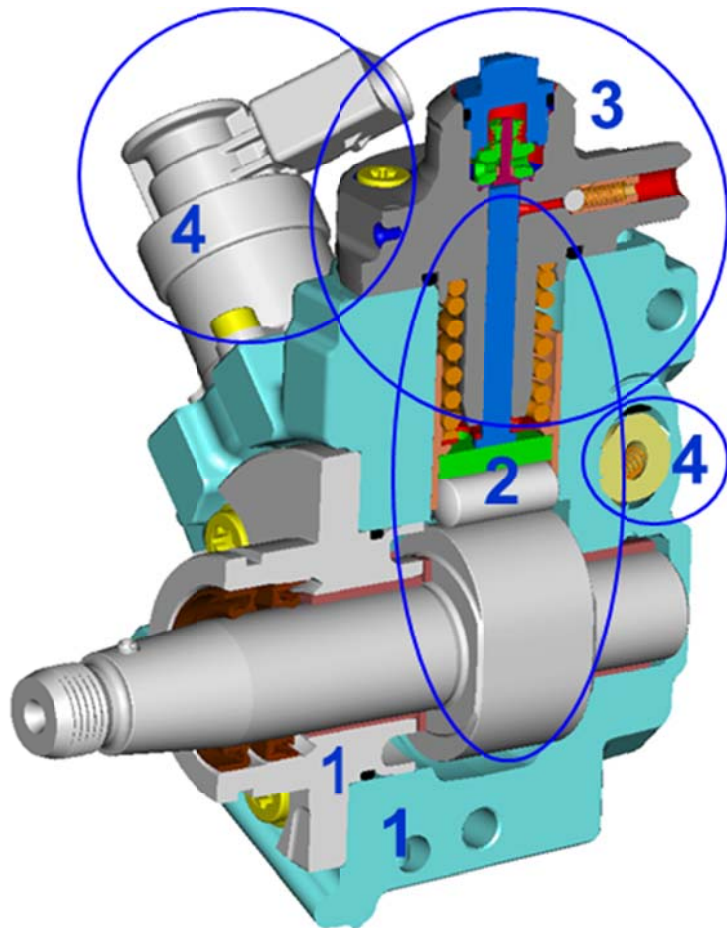
- vačková hřídel
- kladka
- zvedák
- pružina
- píst

### 3. Hlava válce:

- sací ventil
- zpětný ventil

### 4. Regulační prvky:

- Přepouštěcí ventil
- Dávkovací jednotka



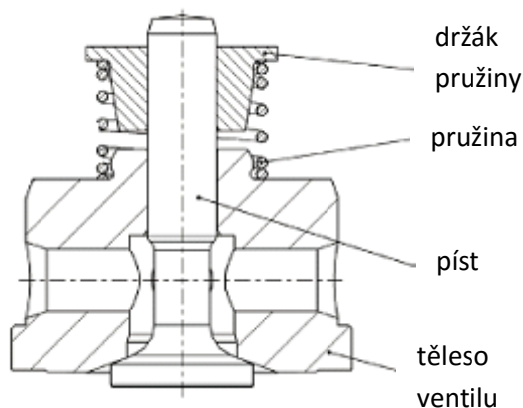
Obr. 2.4.1 Základní části čerpadla<sup>[1]</sup>

### 3 Analýza montáže vysokotlakého čerpadla CP4 a montážní linky

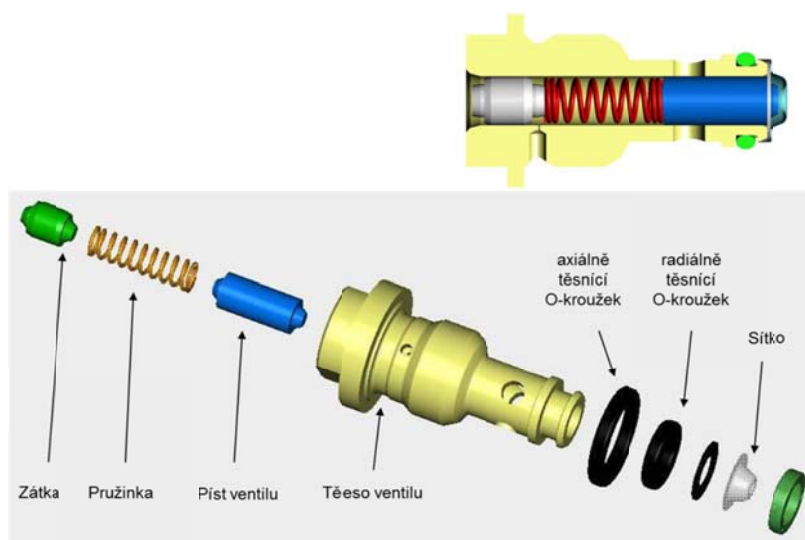
Úkolem analýzy montáže a jednotlivých montážních stanic je zmapování procesů výrobních činností při kterých dochází k výpadkům.

#### 3.1 Předmontáž sacího a přepadového ventilu (SV a ÜV)

Na středisku SKG (zkratka třech procesů Saugventil, KÜV, Gleitmo) se provádí montáž sacího obr. 3.1.1 a přepadového ventilu obr. 3.1.2. Výroba v klimatizované místnosti je mimo prostory hlavní montáže. Sací ventil se montuje do ZK v následujícím procesu na předmontáži ZK, přepadový ventil na hlavní montáži.



Obr. 3.1.1 Sací ventil<sup>[1]</sup>

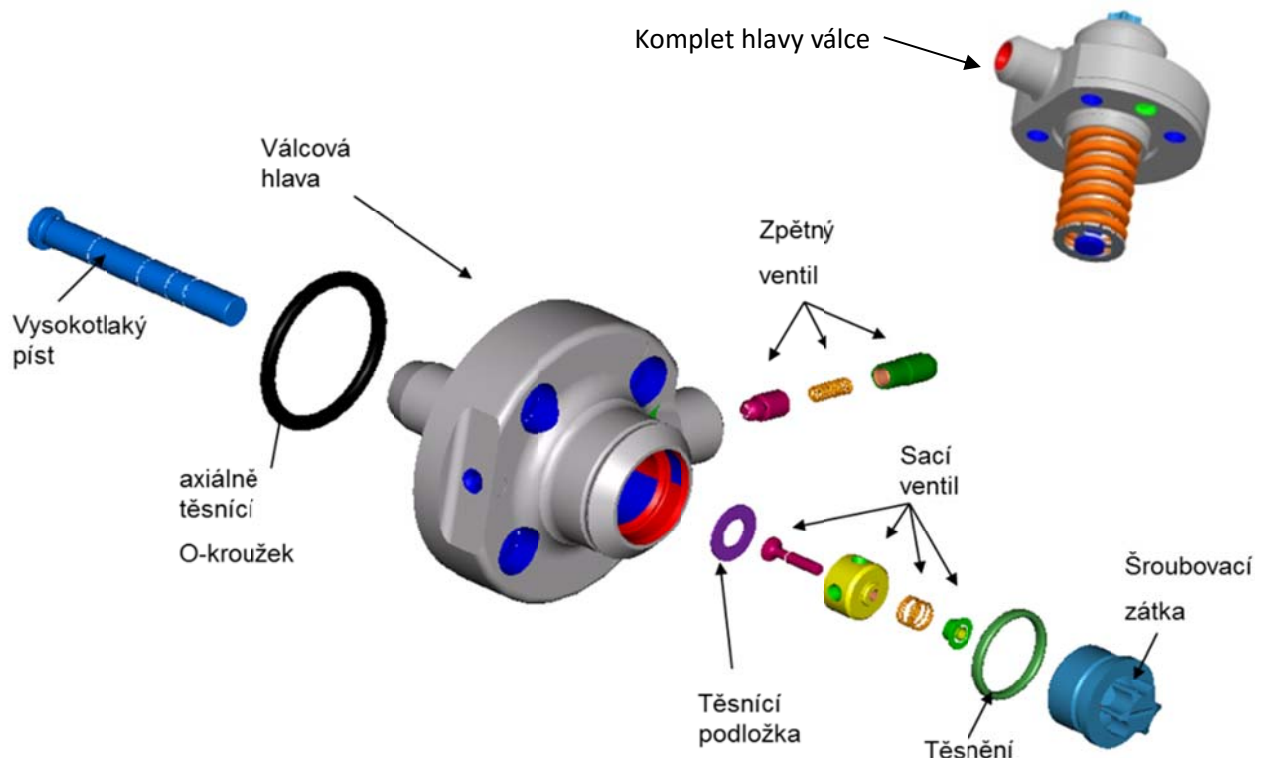


Obr. 3.1.2 Přepadový ventil<sup>[1]</sup>

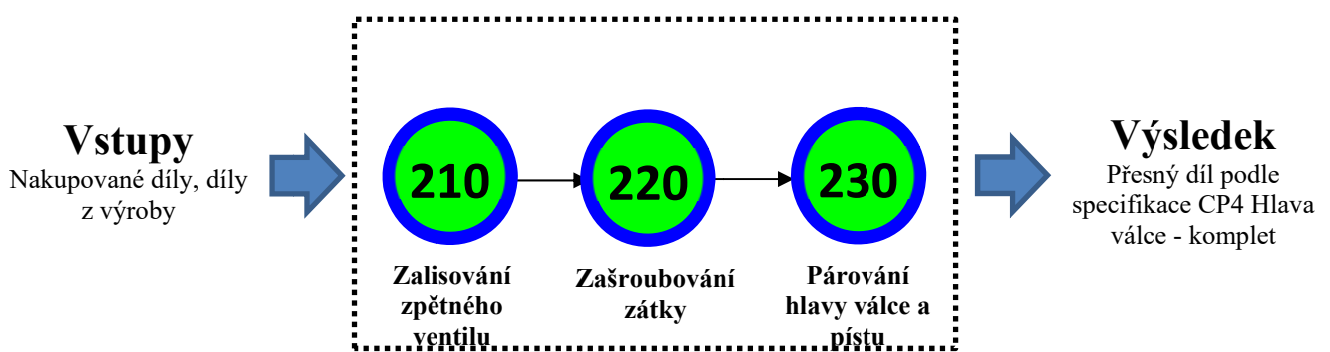
#### 3.2 Předmontáž hlavy válce (ZK)

Centrální předmontáž se nachází v klimatizovaném prostoru mimo hlavní montáž. Na předmontáži se ZK montuje z několika dílů hlava válce obr. 3.2.1

tak, aby se mohla jednoduše v hlavní montáži na stanici 110 a 120 namontovat do čerpadla. Montáž probíhá na třech montážních stanicích. V současné době na šesti předmontážích, které zásobují osm montážních linek. Na obr. 3.2.2 je zobrazen jednoduchý náčrt předmontáže ZK s vyznačeným směrem toku materiálu.



Obr. 3.2.2 Hlava válce – komplet<sup>[1]</sup>



Obr. 3.2.2 Tok materiálu předmontáže ZK

### **3.2.1 Stanice 210**

Na stanici se lisuje vysokotlaký vývod hlavy válce. Po načtení datamatrix kódu (DMC) se těleso hlavy vloží do lisovacího přípravku. Do vysokotlakého vývodu se vloží kalota a pružina. Držák pružiny se nasadí na lisovací trn a spustí se lisovací proces.

### **3.2.2 Stanice 220**

Na stanici 220 se kompletuje prostor sacího ventilu. Smontovaná hlava ze stanice 210 se vloží do stanice 220. Do hlavy se vloží podložka, sací ventil a otvor se uzavře zátkou opatřenou těsnícím kroužkem. Obsluha zavede zátku na závit a spustí automatické šroubování. Hotovou hlavu odloží do přípravku, odkud si jí odebere pracovník ze stanice 230.

### **3.2.3 Stanice 230**

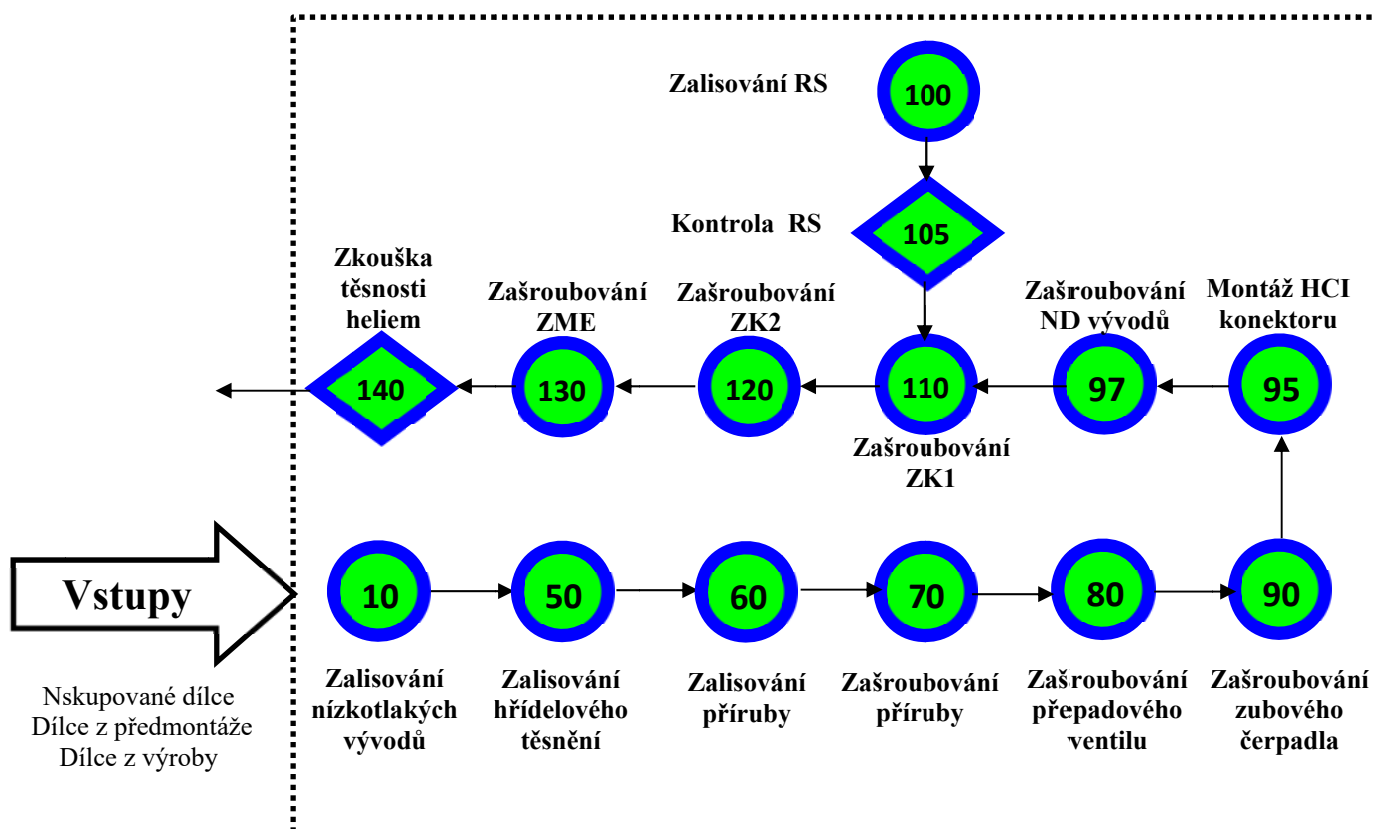
Na stanici 230 se změří v měřícím zařízení otvor pro píst. Podle rozměrů otvoru ZK (rozměry jsou rozděleny do tříd) je automaticky určena správná velikost pístu, který se spolu s pružinou a podložkou vloží do hlavy. Obsluha následně a odloží hlavu do blistru (plastový výlisek s přesnými otvory dle tvaru dílce) v dopravníku. Blistry skládá milkrun (označení pro zásobovače, navažeče) na vozíky, které odveze do drah vedoucích k montáži (supermarket).

## **3.3 Hlavní montáž**

Čerpadlo CP4 je kompletně sestavováno na hlavní montáži. Montáž se provádí na první části – tzv. suchá část. Testy a dokončení se provádí na mokré části.

### 3.4 Hlavní montáž – suchá část

První částí montáže je montážní linka obr. 3.3.1, kde se čerpadlo smontuje do stavu, ve kterém lze provádět hlavní funkční test čerpadla. Do montáží linky vstupuje obrobené těleso čerpadla, do kterého jsou postupně montovány součásti. Montáž začíná stanicí 10 a po stanici 130 je čerpadlo připraveno na kontrolu těsnosti stanice 140, která je poslední před výstupem ze suché části montážní linky. Pro zajištění neměnných klimatických podmínek jsou výrobní prostory suché části montážní linky klimatizovány.



Obr. 3.3.1 Montážní linka – suchá část

### **3.4.1 Stanice 10**

Na stanici 10 se lisují nízkotlaké vývody do tělesa. Nejdříve se na těleso namontuje transpondér, který slouží k identifikaci tělesa v následujících montážních stanicích a těleso se vloží do čtecího zařízení. Na lisovací trn se nasadí příslušné vývody a spustí se lisovací proces. Hotové těleso se odešle na následující stanici.

### **3.4.2 Stanice 50**

Lisování hřídelového těsnění (WDR) do příruby. Na připravenou přírubu se nasadí těsnící kroužek v automatickém přípravku. Na přírubu se nasadí WDR a spustí se lisovací proces. Těleso i příruba se odešlou na následující stanici.

### **3.4.3 Stanice 60**

Lisování příruby do tělesa. Po vložení tělesa do přípravku se do tělesa vloží vačková hřídel. Na hřídel se pomocí přípravku nasadí příruba a spustí se lisovací proces. Po zalisování se smontované těleso na další stanici.

### **3.4.4 Stanice 70**

Zašroubování příruby. Po založení tělesa do upínacího přípravku se nasadí šrouby do magnetických držáků a spustí se proces zašroubování. Poté se vyjme smontované těleso a odešle se na další stanici.

### **3.4.5 Stanice 80**

Zašroubování přepadového ventilu. Po vložení tělesa do upínacího přípravku se předšroubuje přepadový ventil na jeden závit do tělesa a poté se pomocí šroubováku zašroubuje na nastavený utahovací moment. Smontované těleso se vyjme z přípravku a odešle na následující stanici.

### **3.4.6 Stanice 90**

Zašroubování zubového čerpadla. Těleso se vloží do přípravku a pomocí polohovacího přípravku se vačková hřídel nastaví do požadované polohy. Poté se na hřídel vloží křížová spojka a na těleso se nasadí zubové čerpadlo. Po zašroubování do zubového čerpadla se těleso odešle na další stanici.

### **3.4.7 Stanice 100**

Lisování zvedáků. Zvedák se nasadí do lisovacího trnu a botka se vloží do mazacího zařízení a kladka se vloží do botky. Botka se vloží do lisovacího přípravku pod lisem. Spustí se proces lisování. Po nalisování se botka vloží do skenovacího zařízení.

### **3.4.8 Stanice 105**

Kontrola smontovaného zvedáku. Kompletní zvedák se vyjme ze skenovacího zařízení a vizuálně se zkontroluje kladka pod lupou. Zvedák se vloží do přípravku na kontrolu valivého odporu a spustí kontrolní proces.

### **3.4.9 Stanice 110**

Montáž kompletu ZK do tělesa. Komplet ZK se nasadí do montážní hlavy. Malý těsnící o-kroužek se nasadí do tělesa a velký těsnící o-kroužek se nasadí na přípravek. Ruční pákou se zalisuje komplet ZK do tělesa. Do ZK se vloží 4 šrouby a spustí se šroubovací proces. Stanice 120 se používá stejně jako stanice 110 v případě montáže dvouhlavých čerpadel, aby byl dodržen takt linky.

### **3.4.10 Stanice 130**

Montáž a šroubování dávkovací jednotky (ZME). Dopravní vozík se posune do montážní pozice a těleso se natočí do montážní polohy. Po odlepení ochranné nálepky se nasadí ZME do tělesa. Nasadí se šrouby do závitů a spustí se šroubovací proces. Vozík s čerpadlem se odešle na další stanici.

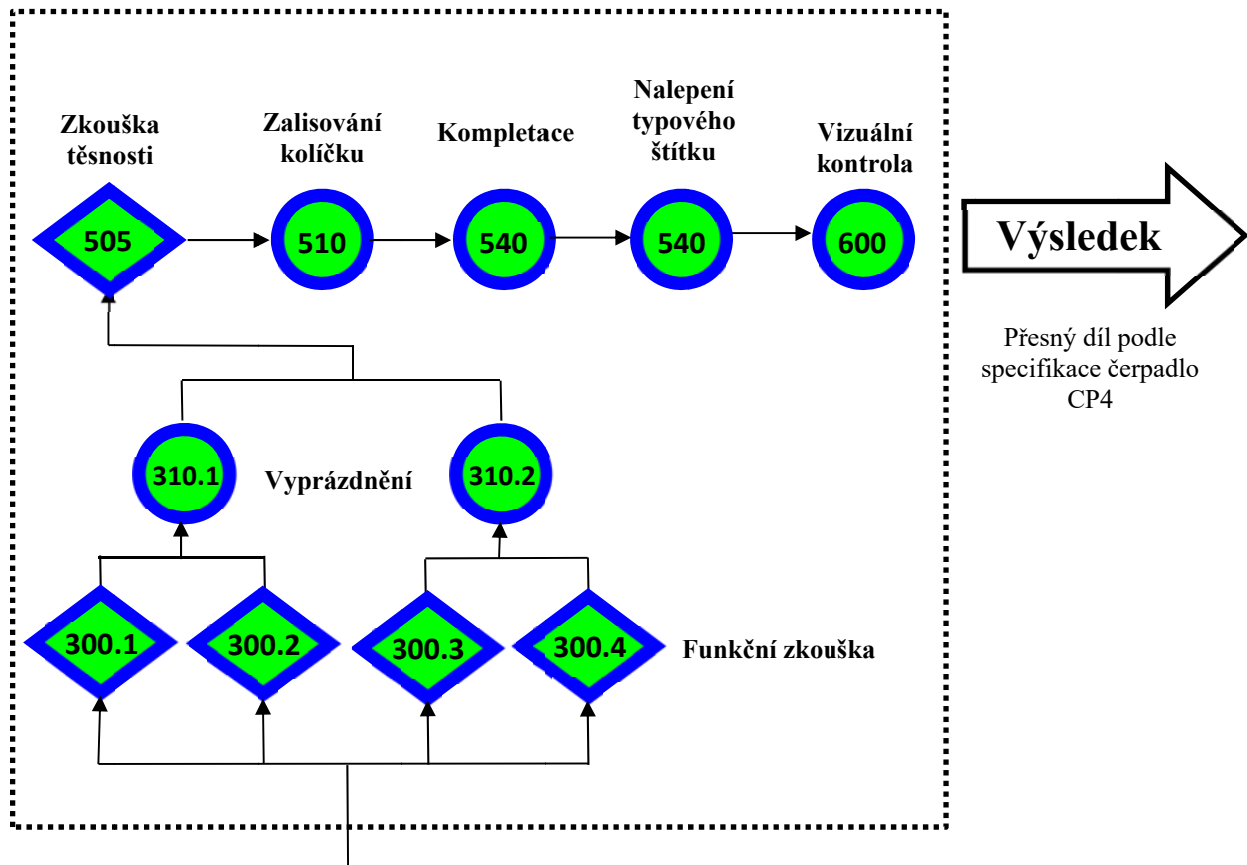
### **3.4.11 Stanice 140**

Zkouška těsnosti heliem. Čerpadlo se uvolní z vozíku usadí se do přípravku. Nasadí se kontaktní adaptéry a spustí se proces kontroly. Po kontrole se odešle čerpadlo na další stanici na mokrou část výrobní linky.

## **3.5 Funkční test a dokončení – mokrá část**

Z klimatizovaného prostoru montážní linky přejede smontované čerpadlo na dokončovací linku - mokrá část montážní linky obr. 3.3.2. Na dokončovací lince probíhají zkušební testy čerpadla, dokončovací operace (lisování kolíčku do vačkové hřídele, zakrytkování vývodů, nalepení výrobního štítku) a vizuální kontrola. U některých typů čerpadel se montují ještě další komponenty (ozubené kolo, příruba, spojky). Na konci dokončovací linky se vkládá čerpadlo do KLT (plastový box na šest až osm čerpadel). KLT se vkládají na vozík expedují se do skladu.





Obr. 3.3.2 Montážní linka – mokrá část

### 3.5.1 Stanice 300

Funkční test čerpadla. Čerpadlo se z dopravníku umístí na prázdný vozík u zkušební stanice a po dráze se posune do zkušební stanice. Čerpadlo se přes adaptéry připojí ke stanici a spustí se funkční test čerpadla. Po ukončení testu a odpojení se čerpadlo posune po dráze k následující stanici.

### **3.5.2 Stanice 310**

Vyprázdnění čerpadla a test těsnosti. Čerpadlo se zasune do stanice, připojí se všechny adaptéry a spustí se proces. Po ukončení procesu a odpojení se čerpadlo posune po dráze k následující stanici.

### **3.5.3 Stanice 505**

Test těsnosti potopením čerpadla. Čerpadlo se kontaktuje a spustí se test na těsnost. Kontroluje se, zda se na čerpadle neobjeví vzduchové bubliny. Po ukončení testu se odpojí adaptéry a čerpadlo se odešle na další stanici.

### **3.5.4 Stanice 510**

Zalisování kolíčku. Čerpadlo se vloží do lisovacího přípravku, kolíček se vloží do lisovacího trnu a spustí se lisovací proces. Hotové čerpadlo se posune po dopravníku na další stanici.

### **3.5.5 Stanice 540**

Dokončení čerpadla. Na čerpadlo se nasadí krytky na vývody a na dávkovací jednotku. Na hlavu válce se nalisuje plastová krytka. Na přírubu se nasadí okroužek. Potvrdí se proces kompletace stisknutím zeleného tlačítka a čerpadlo se odešle na další stanici.

### **3.5.6 Stanice 550**

Nalepení typového štítku. Z čerpadla se odebere transpondér a na těleso se nalepí typový štítek. Poté se štítek naskenuje a čerpadlo se odešle na poslední stanici.

### 3.5.7 Stanice 600

Vizuální kontrola. Čerpadlo se vloží do kontrolní pozice a naskenuje se typový štítek. Dle katalogu kontrolních bodů se provede vizuální kontrola čerpadla, zkontroluje se o-kroužek, poloha vačkové hřídele a čerpadlo se vloží do blistru v plastovém boxu. Čerpadlo je připraveno k odeslání do skladu.

## 4 Sledování výpadku montážní linky (na montáži CP4)

### 4.1.1 Tabulka výpadků

Všechny výpadky z jednotlivých montážních a kontrolních stanic se odesílají na analyzační centrum (DNA). Přepravu zajišťuje milkrun v označených červených KLT. Výpadky se evidují v centrální databázi obr. 4.1.1. Jednotlivé výpadky mají podle montážních stanic a operací nastavenou hranici zásahu, při jejím překročení se provede opatření podle pracovního postupu, případně je výpadek řešen s procesním specialistou a technologem.

datum zadání	KW	datum výpadku	DMO	ML	stanice	lin	IS	popis	příčina	postupná	komentář
2.1.2016 8:24	53	2.1.2016 7:12	1098560210113111	12 300.2	0445010739	1	Funkční zkouška: St. 300 - TP02-TP14 UEM	Přerušení procesu	Vráčeno na ML		
2.1.2016 8:27	53	2.1.2016 8:59	4053560190425031	3 60.1	0445010817	1	Montáž: St. 60 - Lisování Flansch	N.I.O. Lisování	Demontáž		
2.1.2016 8:42	53	2.1.2016 8:27	1098560210073111	12 550.1	0445010739	1	Interní Q-zkouška	Testy	Vráčeno na ML		Bez poškození - ax. vůle: 0,24
2.1.2016 8:49	53	2.1.2016 8:24	1098560210463111	12 300.2	0445010739	1	Funkční zkouška: St. 300 - TP02-TP14 UEM	Přerušení procesu	Vráčeno na ML		
2.1.2016 8:53	53	2.1.2016 8:25	1098560211579102	13 550.1	0445010739	1	Interní Q-zkouška	Testy	Demontáž		Bez poškození - ax. vůle: 0,23
2.1.2016 8:56	53	2.1.2016 8:10	1098560211574101	13 140.1	0445010739	1	Montáž: St. 140 - Helium-zkouška těsnosti	Pseudonetěsnost	Vráčeno na ML		
2.1.2016 9:10	53	2.1.2016 7:57	1098560211582101	13 140.1	0445010739	1	Montáž: St. 140 - Helium-zkouška těsnosti	Pseudonetěsnost	Vráčeno na ML		
2.1.2016 9:13	53	2.1.2016 8:13	1098560210457111	12 60.1	0445010739	1	Montáž: St. 60 - Lisování Flansch	N.I.O. Lisování	Demontáž		
2.1.2016 9:31	53	2.1.2016 9:19	4053560190409031	3 550.1	0445010817	1	Interní Q-zkouška	Testy	Demontáž		Bez poškození - ax. vůle: 0,23
2.1.2016 9:34	53	2.1.2016 8:44	4053560021588031	3 300.2	0445010817	1	Funkční zkouška: St. 300 - TP10-TP15 Gradient-T	Příčina nejdříve	Demontáž		Bez poškození - ax. vůle: 0,22
2.1.2016 9:37	53	2.1.2016 8:59	1098560210226112	12 310.4	0445010739	1	Funkční zkouška: St. 310 - ostatní	Přerušení procesu	Vráčeno na ML		
2.1.2016 9:40	53	2.1.2016 8:47	1098560210427102	13 300.3	0445010739	1	Funkční zkouška: St. 300 - TP02-TP14 UEM	Přerušení procesu	Vráčeno na ML		
2.1.2016 9:45	53	2.1.2016 9:09	4053560021584031	3 530.1	0445010817	1	Kompletace: St. 530 - Šroubování matky	N.I.O. Šroubování	Vráčeno na ML		
2.1.2016 9:49	53	2.1.2016 9:05	4053560190420032	3 520.1	0445010817	1	Kompletace: St. 520 - Montáž meziflansche	N.I.O. Šroubování	Vráčeno na ML		
2.1.2016 9:50	53	2.1.2016 8:54	4039560190378051	5 110.1	0445010804	1	Montáž: St. 110/120 - Šroubování ZK1/ZK2	Přerušení procesu	Vráčeno na ML		
2.1.2016 9:56	53	2.1.2016 8:20	4053560021586031	3 300.4	0445010817	1	Funkční zkouška: St. 300 - TP08-TP15 Delta-T	Přerušení procesu	Demontáž		Vše i.O., rozjezd ML
2.1.2016 9:59	53	2.1.2016 9:40	4053560190368032	3 140.1	0445010817	1	Montáž: St. 140 - Helium-zkouška těsnosti	Neúspěšnost	Vráčeno na ML		Vlas pod VSR - ZK
2.1.2016 10:01	53	2.1.2016 8:48	4053560021589032	3 300.2	0445010817	1	Funkční zkouška: St. 300 - TP08-TP15 Delta-T	Příčina nejdříve	Demontáž		Bez poškození - ax. vůle: 0,21

Obr. 4.1.1 Tabulka výpadků

## 4.1.2 OIS.Net

Po načtení DMC dílce laserovou čtečkou je výpadek prověřen v OIS.Netu (program ve kterém jsou zaznamenány jednotlivé výsledky montážních a zkušebních stanic) obr. 4.1.2. a dle jednotlivých neshod se výpadky podle pracovních postupů dále zpracovávají.

**OIS.NET Quality Data** BOSCH  
Odházení ze Systému 57:34

JK-MDA Quality Data PCD

Home | DMC | Měření | Traceability | Informace | Chyby | User | MyOIS.NET | Administration | Oblíbené | Shared Favorites

**PT01: Linkový protokol pro jednotlivý díl**

[Zpět](#) | [Route Summary](#) | [Zobrazit název měřené hodnoty](#)

Hide not Measured Results  Only Results with Description

**Informace o Dílech**

Ident. č.	1058560210113111
Sériové č.	51550121601020294
Č. TT	0445010739
Varianta	00
Batch	0
Datum výroby	2.1.2016 18:32:59
Díl, stav	OK
Č. zakázky	
Druh dílu	Serial part

**Přehled Komponent**

Třída	Ident. č.	Installation -> Production-Date	State	Č. TT	Batch	Výrobce	Díl, stav
CD	CD015160102099422129611947380	2.1.2016 6:54:40	assembled				
> Cylinderhead 1	CH02783941132174579	2.1.2016 6:58:14 21.12.2015 19:48:23	assembled	1465C53207	79	5	OK
Pump piston	PP005256016012644	21.12.2015 19:48:23	assembled	1468C60052	005256016012644	5	
Suction valve	SV500656016000303	21.12.2015 19:48:32	assembled	1467C55006	500656016000303	03	
Camshaft	CS6122359123834555	2.1.2016 6:55:27	assembled	1466C06122	55	5	
> Flange	FL8034560210563021	2.1.2016 6:54:56	assembled	1465C80034	21	0	OK
HU certificate No.	792810979	2.1.2016 18:32:59	assembled				
> CP4 Box No. (KLT)	KL515044501073900180668_7003_1601020948	2.1.2016 10:03:00 2.1.2016 10:03:01	assembled				OK
LIV Certificate No.	81097916000000090515910	2.1.2016 18:32:59	assembled				
Metering unit	MU0779560091072713	2.1.2016 6:59:50	assembled	0928400779		3	
Packaging Index	V05	2.1.2016 18:32:59	assembled				
Package No. (Pallet)	P700309000220160102182844	2.1.2016 18:32:59	assembled				
> Tappet 1	TP6020559281740033	2.1.2016 6:58:14 2.1.2016 6:43:56	assembled	1468C40023	33	0	OK
RL	RL5018000000000000	2.1.2016 6:43:54	assembled	1463C25018	5018000000000000	00	

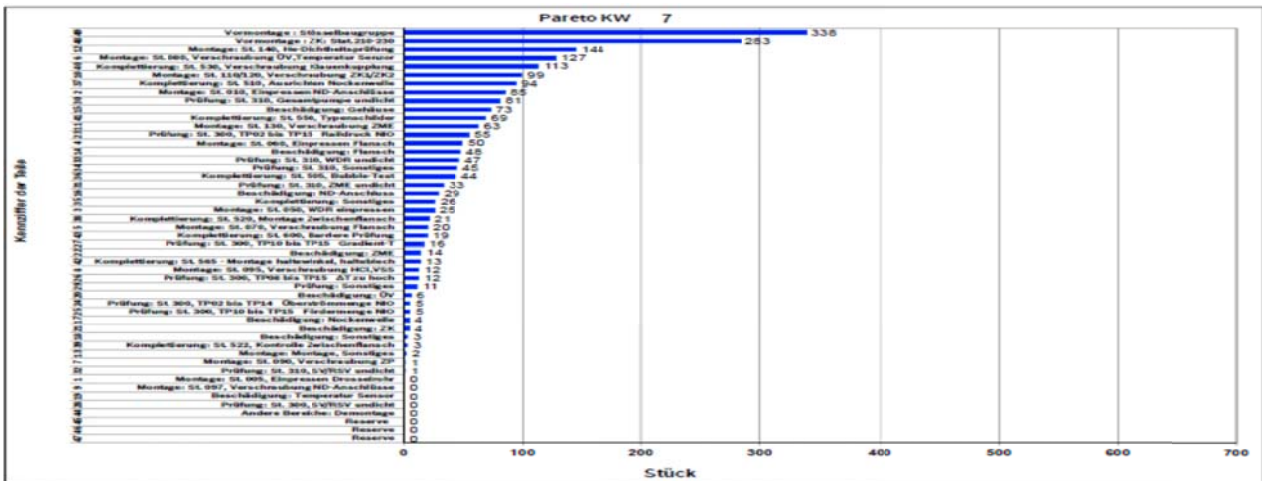
**Procesní informace**

LINE#	ST#	SI#	SI0001.FU0001.WP0001.TP0002	Stav	Výsledek	Dodatečná Úprava: 0	2.1.2016 6:54:55	OK
Name / Text popisu							Tolerance	
LINE#	ST#	SI#	SI0060.SI0001.FU0001.WP0001.TP0002	Stav	Výsledek	Dodatečná Úprava: 0	2.1.2016 6:55:27	OK
Name / Text popisu							Tolerance	

Obr. 4.1.2 OIS.Net

## 4.1.3 Pareto diagram ztrát

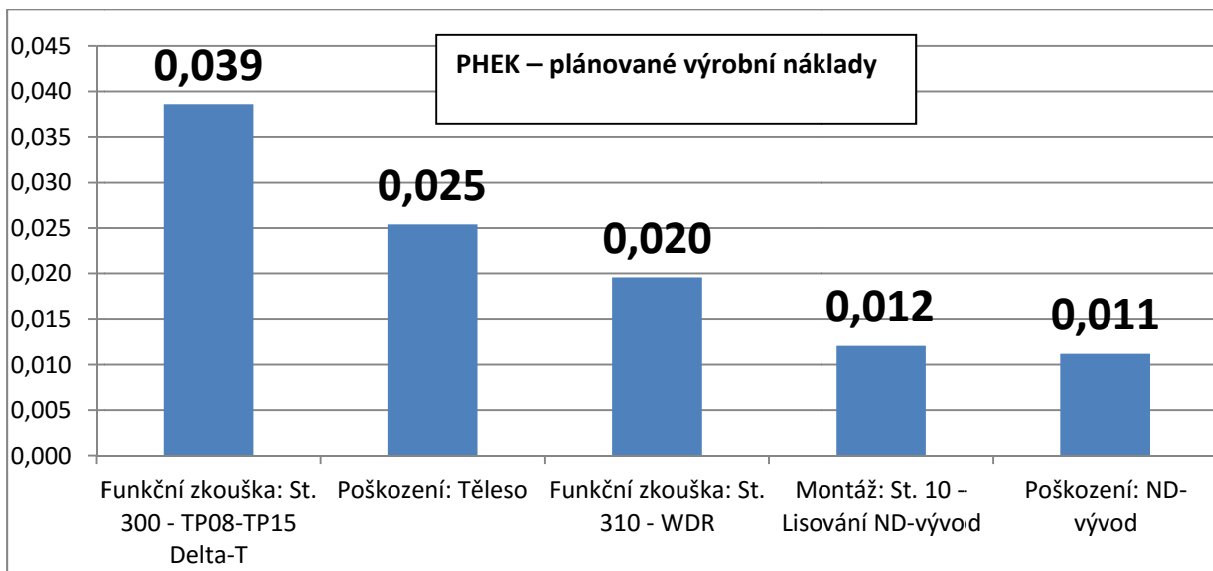
Počty výpadků se vyhodnocují pomocí pareto diagramu obr. 4.1.3 . Sledování se vyhodnocuje týdně a počty výpadků se porovnávají s výrobním závodem ve FeP.



Obr. 4.1.3 Pareto diagram

#### 4.1.4 TOP 5 – nejnákladnější výpadky

Při vyhodnocení výpadků se sleduje nejenom počet výpadků, ale i celkové náklady na jednotlivé chyby. Na obr. 4.1.4 jsou zobrazeny nejnákladnější chyby za období jednoho roku.

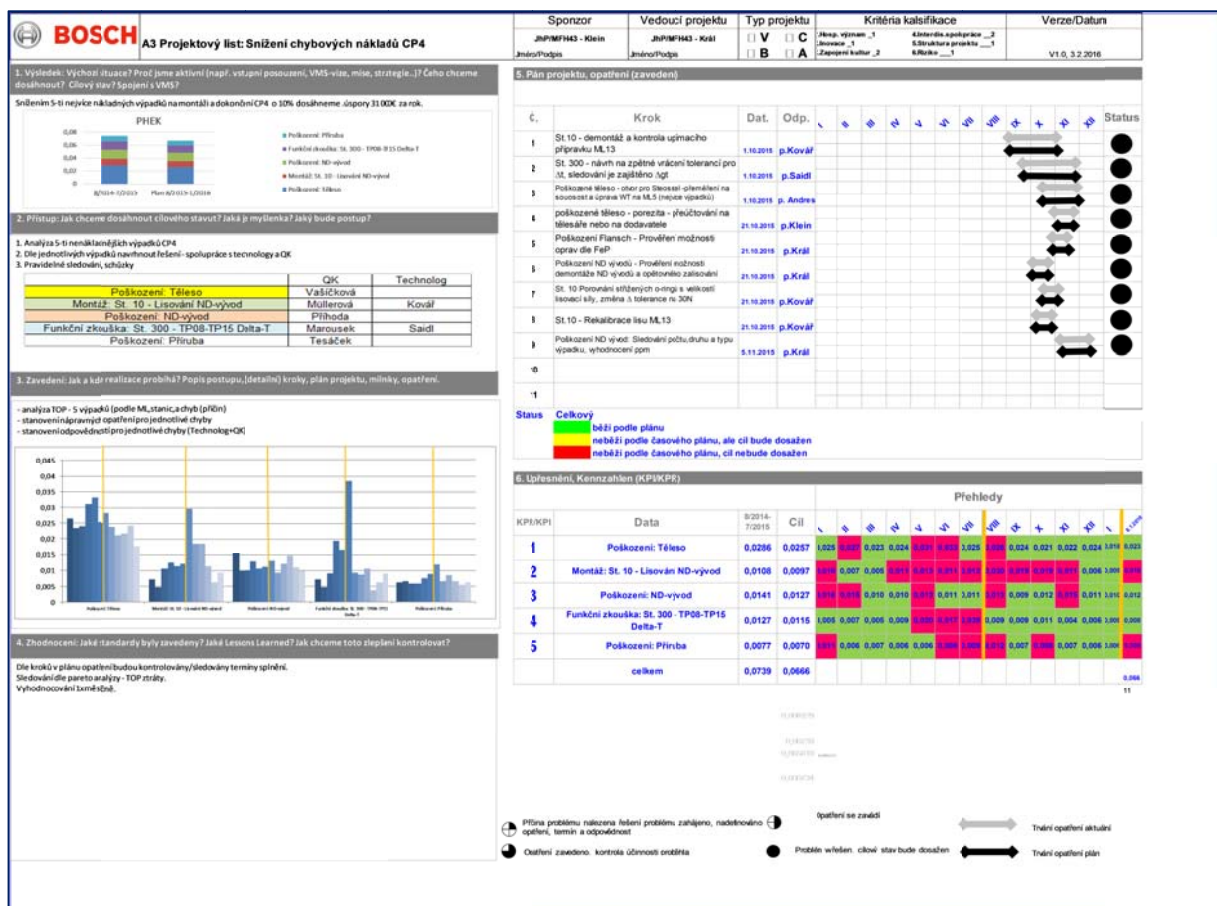


Obr. 4.1.4 TOP 5 – nejnákladnější výpadky

## 4.1.5 Sledování chybových nákladů

Na projekt snížení chybových nákladů jsem použil projektový A3 list obr. 4.1.5. Sledovat se bude 5 nejnákladnějších výpadků :

1. Poškození tělesa – výpadky ze všech montážních a zkušebních stanic
2. Stanice 10 – lisování nízkotlakých vývodů
3. Poškození ND vývodů - výpadky ze všech montážních a zkušebních stanic
4. Stanice 300 - funkční zkouška -  $\Delta t$
5. Poškození příruby - výpadky ze všech montážních a zkušebních stanic



Obr. 4.1.5 Projektový A3 list

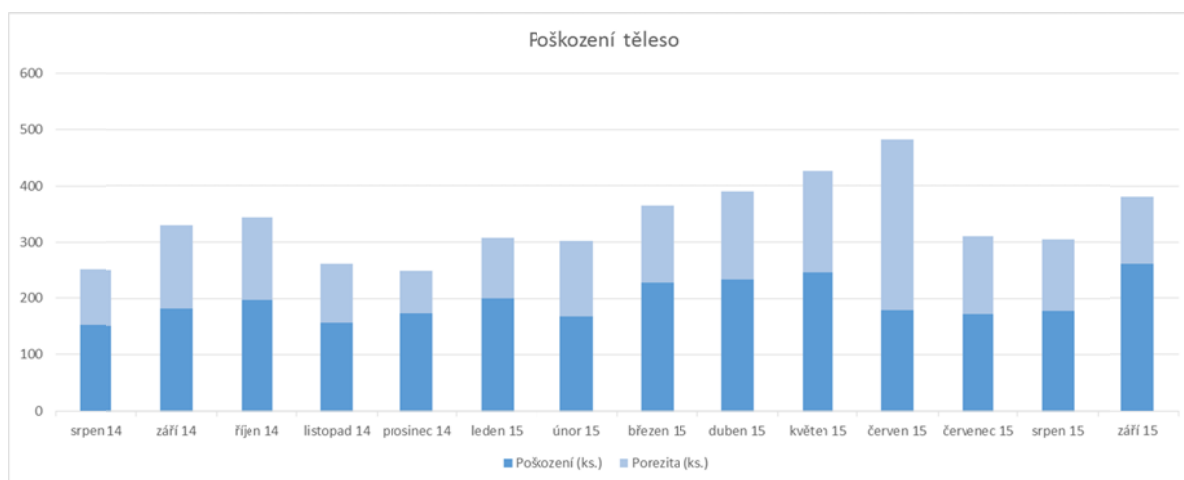
## 5 Návrh opatření pro snížení chybových nákladů výroby CP4

### 5.1 Cíl a postup vyhodnocování projektu

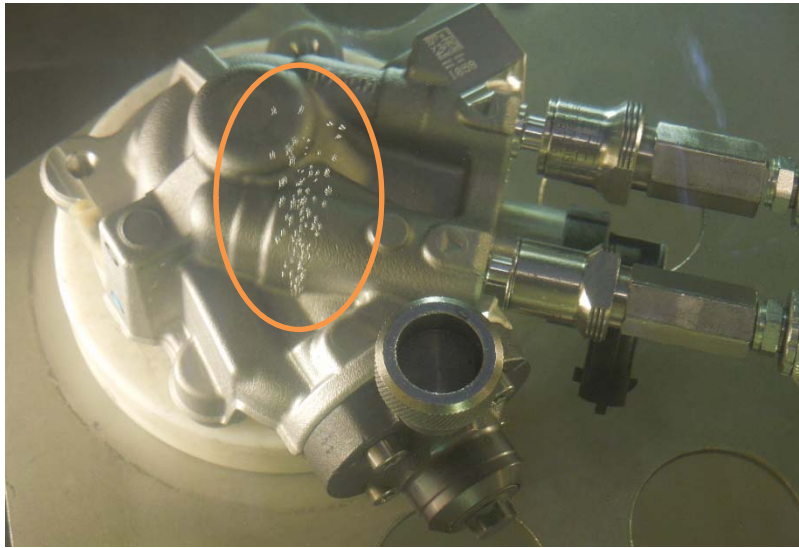
Cílem projektu je snížení plánovaných výrobní nákladů z TOP 5 o 10%. Pro jednotlivé výpadky byly stanoveni odpovědní koordinátoři kvality a technologové, kteří budou aktuální stav výpadků analyzovat a předkládat návrhy na zlepšení jednotlivých procesů. Pravidelné schůzky se budou konat 1x za 14 dní a vyhodnocování výsledků 1x měsíčně do A3 listu.

### 5.2 Poškození tělesa

Analýzou jednotlivých výpadků bylo zjištěno, že 41% této chyby je netěsnost způsobená porózitou obr. 5.2.1. Netěsnost se projevuje na stanici 140 – zkouška těsnosti heliem. Detekce místa netěsnosti se provádí potopením čerpadla do kapaliny a následné natlakování vzduchem na 6 bar. Po potvrzení netěsnosti obr. 5.2.2 se musí smontované čerpadlo demontovat. Jedná se o vnitřní vadu materiálu, která vznikne při výrobě těles litím. Výrobce garantuje 98,5 % dobrých odlitků. Pokud bude možné odepisovat a přeúčtovat tyto tělesa na dodavatele, snížíme výrazně chybové náklady.



Obr. 5.2.1 výpadky - poškození tělesa



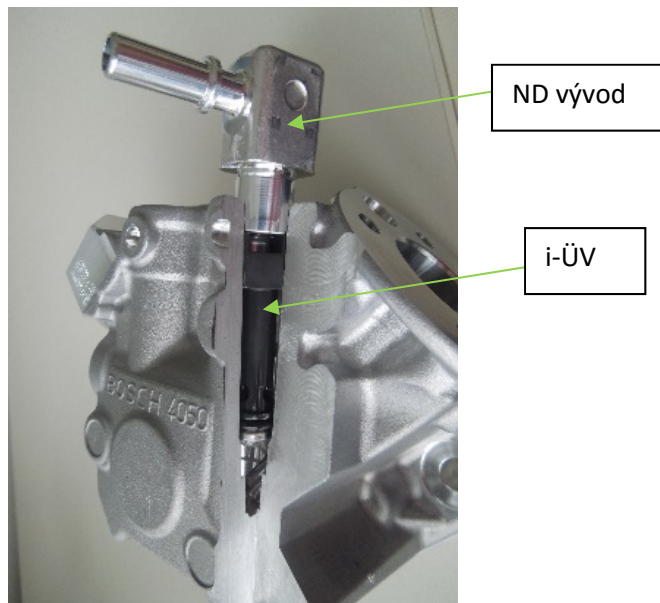
Obr. 5.2.2 netěsnost tělesa v kapalině

### 5.3 Stanice 10 - Lisování nízkotlakých vývodů

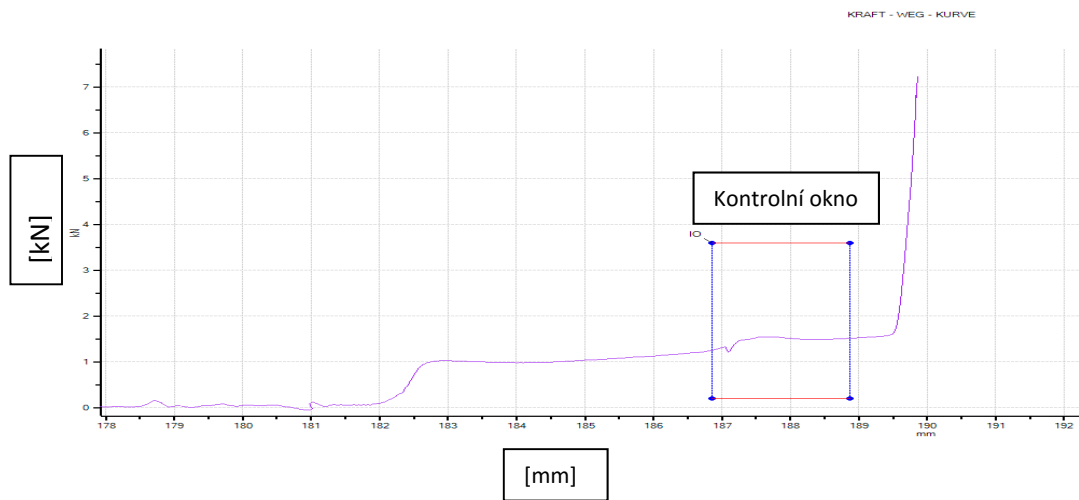
Z databáze výpadků bylo zjištěno, že nejvíce výpadků na lisovací sílu ve sledovaném období bylo na ML 13. Jednalo se o typ čerpadla s integrovaným přepadovým ventilem (i-ÜV), který se lisuje do tělesa najednou s nízkotlakým vývodem obr. 5.3.1. Přípustná rozdíl mezi vstupní a výstupní silou ve sledovaném kontrolním okně (Obr. 5.3.2) byl 20N, při jejím překročení nahlásí stanice chybu a těleso se odešle na DNA, kde se po kontrole v OIS-Netu a po analýze vyšrotuje, protože hrozí nebezpečí střížení těsnícího o-kroužku na i-ÜVu.

Na DNA bylo po dobu jednoho měsíce analyzováno více než 50 těchto výpadků a bylo zjištěno, že střížení těchto o-kroužků dochází až od hranice 35N – Obr. 5.3.3. Jako opatření ke snížení chybových nákladů bylo navrženo rozšíření tolerance z 20 N (červeně označená hranice) na 30N – zeleně označená na obr. 5.3.4 .





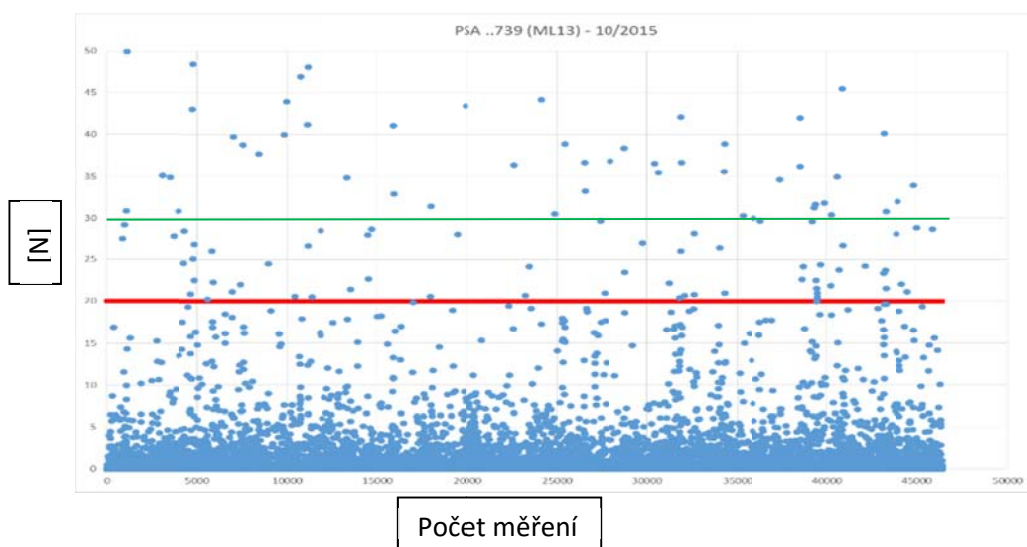
Obr. 5.3.1 Odfrezovaný otvor v tělese v prostoru i-ÜVu



Obr. 5.3.2 Křivka lisovací síly pro i-ÜV, kontrolní okno



Obr. 5.3.3 Příklady stříženého o-kroužku při zalisování



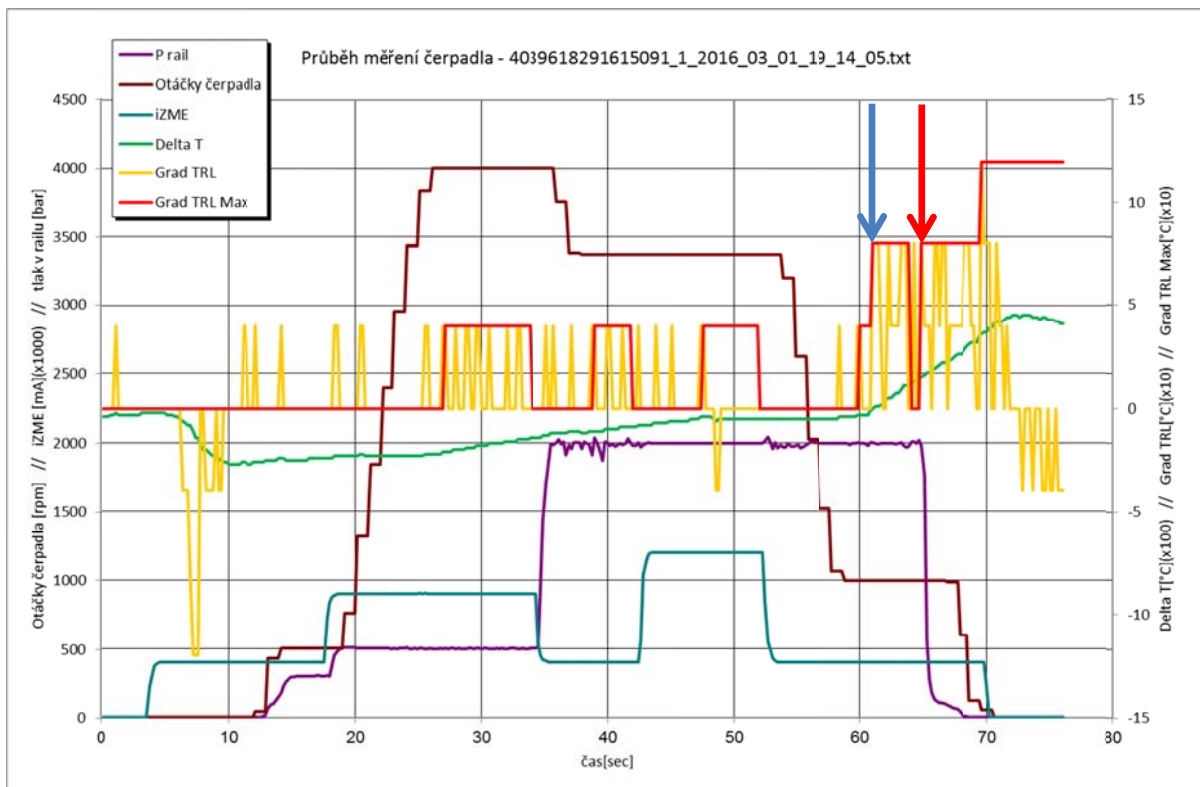
Obr. 5.3.4 Velikosti lisovacích sil v kontrolním okně

#### 5.4 Stanice 300 – Funkční zkouška – výpadky $\Delta t$

Při funkční zkoušce čerpadle je jedním z testovaných parametrů kontrola vstupní teploty zkušební kapaliny s porovnáním teploty na výstupu. Teplotní rozdíl ( $\Delta t$ ) byl nastaven na  $0,8^{\circ}\text{C}$ . Všechny tyto výpadky jsou ihned odesílány na DNA a čerpadla jsou demontována a analyzována z důvodu možného poškození dílců při kterém se zvyšuje odpor při otáčení čerpadla a tím dochází k většímu zahřívání zkušební kapaliny a čerpadla. Do zkušebního programu byl

přidán nový kontrolní bod – gradient teploty. Tento kontrolní bod částečně nahrazuje kontrolní bod  $\Delta t$ , přesnost odhalení vadného čerpadla je ale přesnější.

V letních měsících pravidelně docházelo ke zvýšeným výpadkům při funkční zkoušce na chybu  $\Delta t$ , nikoli však na nový kontrolní bod gradient teploty. Na čerpadlech nebyla nalezena po demontáži žádná vada. Důvodem těchto nepotvrzených výpadků byla zvýšená teplota vzduchu v prostoru zkušebních stanic. Jako opatření bylo navrženo rozšíření tolerance  $\Delta t$  na  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Na Obr. 5.3.5 je znázorněn průběh funkčního testu čerpadla, jedná se o případ vadného čerpadla.. Zeleně je zobrazen průběh měření teploty v čerpadle, rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou. Žlutě je zobrazen gradient teploty. Modrá šipka ukazuje na první překročení tolerance – výpadek na gradient teploty. Až poté došlo v rozmezí 5-ti sekund dalším překročením hranic tolerance -  $\Delta t$  a gradient teploty Max (červená šipka).



Obr. 5.3.5 Průběh funkčního testu čerpadla

## 6 Podmínky realizace a zhodnocení

### 6.1 Souhrn provedených opatření

- Poškození na tělese – provedeno přeměření na souosost a úprava dopravních vozíků na ML5 (nejvíce výpadků). Nejčastějším druhem výpadku je netěsnost na tělese způsobené porózitou. Pokud se podaří do budoucnosti tyto výpadky přeučtovat na dodavatele, snížíme tak náklady na tuto chybu o 41% .
- Stanice 10 – byla provedena demontáž a kontrola upínacího přípravku, recalibrace lisu na ML13. V dalším kroku byla provedena analýza výpadků při překročené lisovací síle ND vývodů s následnou změnou tolerance lisovací síly, která vedla prokazatelně ke snížení výpadků na tuto chybu.
- Poškození ND vývodu – Prověřena možnost demontáže ND vývodů a opětovného zalisování. Byl proveden test demontáže ND vývodů , proměření změn rozměrů v otvorech v tělese po demontáži a znovunalisování ND vývodů. V současné době probíhá jednání o zavedení tohoto opatření.
- Stanice 300, funkční zkouška, výpadky na  $\Delta t$  – při analýze výpadků na chybu  $\Delta t$  bylo zjištěno, že se jedná především o nepotvrzené výpadky. Byla posunuta hranice tolerance  $\Delta t$ , snížení výpadků na tuto změnu je prokazatelné.
- Poškození na přírubě – Provedena analýzy výpadků dle četnosti a podle výrobních linek. Analýza výpadků prokázala závislost poměru velikosti příruby na počtu poškození. Návrh na opravy vzniklých poškození byl zamítnut.

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat nejnákladnější výpadky ve výrobě čerpadla CP4 a stanovit účinná opatření na snížení chybových nákladů. Především pomocí dvou hlavních opatření - rozšíření tolerance lisovací síly u nízkotlakých vývodů na stanici 10 a posunutí toleranční hranice na funkční zkoušce čerpadla se podařilo stanovený cíl dosáhnout. Cíl byl dosažen ve sledovaném období od 8/2015 do 1/2016. Předpokládaná úspora výrobních nákladů je pro rok 2016 je 31000€. V případě dosavadního vývoje sledovaných ukazatelů je tato úspora výrobních nákladů reálná. Zároveň byly připraveny návrhy na další opatření vedoucí ke snížení výrobních nákladů, u kterých je v současné době vedeno jednání o jejich realizaci.

## SEZNAM ZDROJŮ:

- [1] Robert Bosch GmbH 2010 - Školení produktu CP4
- [2] Preclík, V.: Průmyslová logistika, monografie, 359 s., 108 obr., ISBN 80-01-03449-6, Vydalo České vysoké učení technické v Praze, Nakladatelství ČVUT v Praze 2006
- [3] Dušák, K. Technologie montáže. Terminologie. Liberec: TU 2003. 28 s. ISBN 80-7083-731-4.
- [4] Dušák, K. Technologie montáže. Základy. Liberec: TU 2005. 113 s. ISBN 80-7083-06-6.
- [5] Dušák, K. Prostředky automatizované montáže (druhy a dopravníky). Liberec: TU 2010. 69 s. ISBN 978-80-7372-284-5.
- [6] Dušák, K. Montážní autooperátory. Liberec: TU 2012. 133 s. ISBN: 978-80-7372-869-4.

- [7] Balátě, J a kol. Technické prostředky automatického řízení. Praha: SNL 1986. 488 s.
- [8] Chmela, F. Automatizace a robotizace I. Praha: ČVUT 1992. 125 s. ISBN 80-01-00738-3.
- [9] Chvála, B., Matička, R., Talácko, J. Průmyslové manipulátory a roboty. Praha: ČVUT: 1985. 238 s.
- [10] Chvála, B., Nedbal, J., Dunay, G. Automatizace. Praha: SNTL- ALFA 1987. 606 s.
- [11] Chvála, B., Votava, J. Přípravky a podávací zařízení. Praha: ČVUT 1980. 275 s.
- [12] Hofmann, P. Technologie montáže. Plzeň: ZČU 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [13] Pokorný, P., Dušák, K. Teorie obrábění a montáže. Část II. Liberec: VŠST 1986. 163 s. ISBN-.
- [14] Svoboda, M., Kováč, J., Štefánek, M. Tehnológia montáže. Košice: VŠT 1988. 383 s. ISBN-.
- [15] Urbánek, J. Automatizace výrobních procesů-obrábění. Brno: VÚT 1990. 165 s. ISBN 80-214-0161-3.