

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

**Bakalářská práce**

**Porovnání procesu  
vstřikování plastů na dvou  
typech vstřikovacích strojů**

---

**Arnošt Valta**

vedoucí práce: Ing. Arnošt Sekanina

**České Budějovice 2015**

## Anotace:

**Teoretická část** práce se zabývá porovnáním dvou typů vstřikovacích strojů, hlavně porovnání jejich vstřikovacích jednotek. V práci je popsána základní konstrukce a rozdíly v pohonu jednotlivých částí vstřikovacích jednotek a měření jednotlivých parametrů vstřikování. Zjednodušeně je popsán proces vstřikování plastů s ohledem na díly vyráběné ve společnosti Robert Bosch s.r.o. Cílem práce je doporučit typ vstřikovacího stroje podle potřeb výrobního oddělení a s ohledem na vyráběné díly.

**Praktická část** práce je zaměřena na výrobu plastových vzorků příruby a hrnce, které jsou součástí palivového čerpadla. Oba výrobky byly vyrobeny jak na hybridním, tak i hydraulickém vstřikovacím stroji. Následná rozměrová a CT analýza zhodnotila kvalitativní hledisko výrobku.

Celá práce je doplněna obrázky pro lepší pochopení problematiky vstřikování plastů.

## Annotation:

**The theoretical part** deals with the comparison of two types of injection molding machines, especially comparison of the injection units. In thesis is described the basic structure and differences in various parts of the drive unit of injection units and measurement of individual injection parameters. In short is described the injection molding process with regard to parts manufactured at Robert Bosch, spol. s r. o. The aim of the thesis is to recommend the type of injection molding machine with respect to the production components and according to the needs of the production department.

**The practical part** is focused on the production of plastic samples of flanges and pots which are parts of the fuel pump module. Both products were made on both type of injection molding machines, such as the hybrid and also the hydraulic injection molding machine. Dimensional and CT analysis evaluated the qualitative aspect of the products.

The whole thesis contents pictures for a better understanding process of the injection molding.

## Bibliografické údaje

Valta A., 2015: Porovnání procesu vstřikování plastů na dvou typech vstřikovacích strojů

[Comparison of injection molding process for two types of injection molding machines. Bc. Thesis, in Czech.] – 41 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

*Datum: 22. 4. 2015*

*Arnošt Valta*

#### Poděkování:

Chtěl bych poděkovat za konzultace a pomoc s praktickou realizací mému vedoucímu práce Ing. Arnoštu Sekaninovi. Dále mé poděkování patří kolegům z oddělení TEF22, MOE13, kteří se podíleli na vzorkování výrobků a kolegům z QMM, kteří provedli rozměrové měření a CT analýzu.

# Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>Teoretická část.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>1 Vysvětlení pojmů technologie vstřikování .....</b>	<b>- 3 -</b>
1.1 Vstřikování všeobecně .....	- 3 -
1.2 Vstřikovací cyklus stroje .....	- 3 -
1.3 Ovládací panel a řídicí jednotka .....	- 6 -
<b>2 Popis systému vstřikovacího stroje .....</b>	<b>- 8 -</b>
2.1 Konstrukce .....	- 8 -
2.1.1 Popis hybridní vstřikovací jednotky .....	- 9 -
2.1.2 Popis hydraulické vstřikovací jednotky .....	- 12 -
2.1.3 Schémata jednotlivých systémů.....	- 14 -
<b>3 Popis měřících systémů a software .....</b>	<b>- 16 -</b>
3.1 Měření hodnot na vstřikovacím stroji.....	- 16 -
3.1.1. Nastavení osciloskopu a sběr dat.....	- 18 -
3.2 Měřicí systémy v RBCB.....	- 20 -
3.2.1 CT analýza.....	- 21 -
<b>4 Výroba v praxi.....</b>	<b>- 22 -</b>
4.1 Kritéria pro posouzení vstřikovacích procesů, nastavení parametrů .....	- 23 -
4.2 Porovnání procesu vyráběných dílů .....	- 24 -
4.3 Výsledky vstřikování.....	- 25 -
4.4 Porovnání zaznamenaných parametrů vstřiku.....	- 25 -
4.4.1 Parametry při výrobě příruby.....	- 25 -
4.4.2 Parametry při výrobě hrnce .....	- 28 -
<b>5 Výsledky rozměrových a CT analýz.....</b>	<b>- 30 -</b>
5.1 Výsledky rozměrových zkoušek příruby .....	- 31 -

5.2 Výsledky rozměrových zkoušek hrnců.....	- 33 -
5.3 Výsledky CT analýz.....	- 35 -
<b>6 Výběr vstřikovacího stroje .....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>7 Závěr.....</b>	<b>- 40 -</b>
<b>8 Literatura.....</b>	<b>- 41 -</b>

**Seznam zkratk:**

RBCB – Robert Bosch, spol. s r.o.

CT - Computed Tomography, výpočetní tomografie

NOK – Not OKay, není v pořádku

HP – Horse power, koňská síla

ESD – Elektronický sběr dat v RBCB

QMM - Quality Management & Methods, název oddělení RBCB

TEF - Technical Functions, název oddělení v RBCB

MOE - Manufacturing Operations and Engineering, název oddělení v RBCB

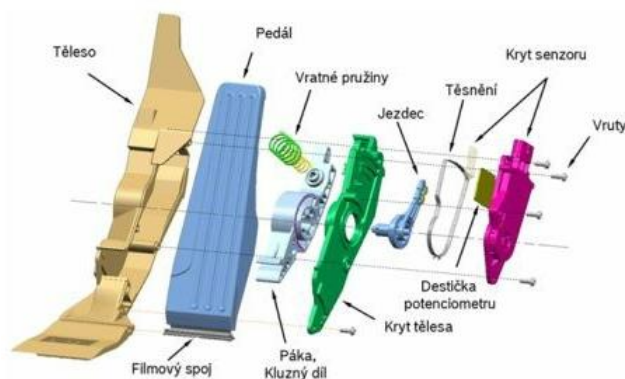
PLC - Programmable Logic Controller, řídicí systém



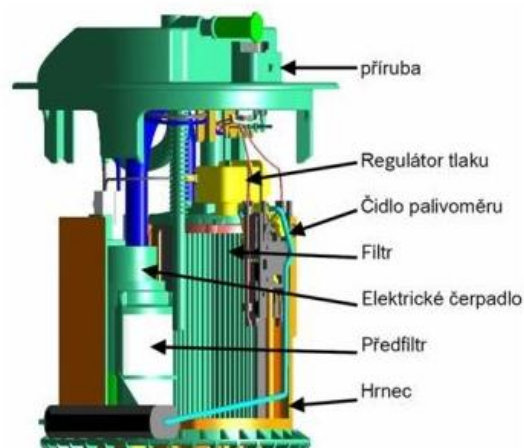
## Úvod

Firma Robert Bosch GmbH se zabývá výrobou automobilových součástek a komponent více než 125let. Již od počátku se klade důraz na kvalitu, technologii zpracování a bezpečnost vyráběných dílů. Závod Robert Bosch, spol. s r.o. v Českých Budějovicích (RBCB) byl založen v roce 1992 a zabývá se výrobou automobilových komponent pro dopravu paliva z palivové nádrže do motoru. Produktové portfolio je od čerpadlového modulu, víceúčelových čerpadel přes palivové hadice, kabelové napájení elektrických čerpadel po plynové pedály.

**Elektronický plynový pedál (APM)**



**Nádržový čerpadlový modul (FPM)**



**Obr. 1 Výrobky Robert Bosch spol. s r.o. [1]**

Náplní mé práce v RBCB je technická údržba vstříkovacích strojů, na kterých se denně vyrobí průměrně 70 000 ks různých plastových výlisků. V současné době má RBCB k dispozici na 70 kusů vstříkolisů odlišných velikostí a technických parametrů. Pro budoucí pořizování nových vstříkolisů pro výrobu velkosériových dílů vznikla potřeba porovnat a najít hlavní rozdíly dvou standardních typů vstříkolisů, hydraulického a hybridního.

Cílem práce je popsat základní teorii vstříkovacího procesu, konstrukce vstříkovacích jednotek a popsat měřicí systémy v RBCB. V praktické části provést analýzy a vyhodnocení procesu vstříkování plastového výrobku Tankflansch (příruba, víko nádržového modulu) a Topfgehäuse (hrnec nádržového modulu), na dvou typech vstříkovacích strojů, hydraulickém

a hybridním vstřikolisu. Na základě provedeného vyhodnocení doporučit vhodný vstřikovací stroj pro výrobu uvedených dílů.

Postup vedoucí ke splnění cíle práce:

- Popis a porovnání konstrukce, mechanického ústrojí a řízení strojů s uvedením rozdílů mezi dvěma zmíněnými typy vstřikovacího ústrojí
- Stanovení kritérií pro posuzování procesu vstřikování
- Měření dosahovaných parametrů při procesu vstřikování dílů
- Porovnání procesu vstřikování vyráběných dílů
- Provedení kvalitativní analýzy výsledného výrobku v relaci s použitým druhem vstřikovacího stroje
- Výběr vstřikovacího stroje dle zjištěných technicko-ekonomických parametrů

Při náběhu projektu nového výrobku je definován jeho tvar, hmotnost a rozměry. Následně jsou osloveny firmy vyrábějící formy, aby připravily studie vstřikování nového dílu. Na základě těchto studií jsou připraveny pro výrobce vstřikolisů potřebná data, která určují typ, velikost a vybavení vstřikolisu. Do technického listu jsou vyplněny definované parametry a následně je tento dokument postoupen zástupcům prodeje vstřikolisů, kteří vypracují nabídku. Při pořizování nového vstřikolisu jsou zohledněny požadavky jednotlivých technických a výrobních oddělení. Částečně se berou v potaz technické požadavky servisního oddělení a ekonomické potřeby na budoucí náklady oprav.

## Teoretická část

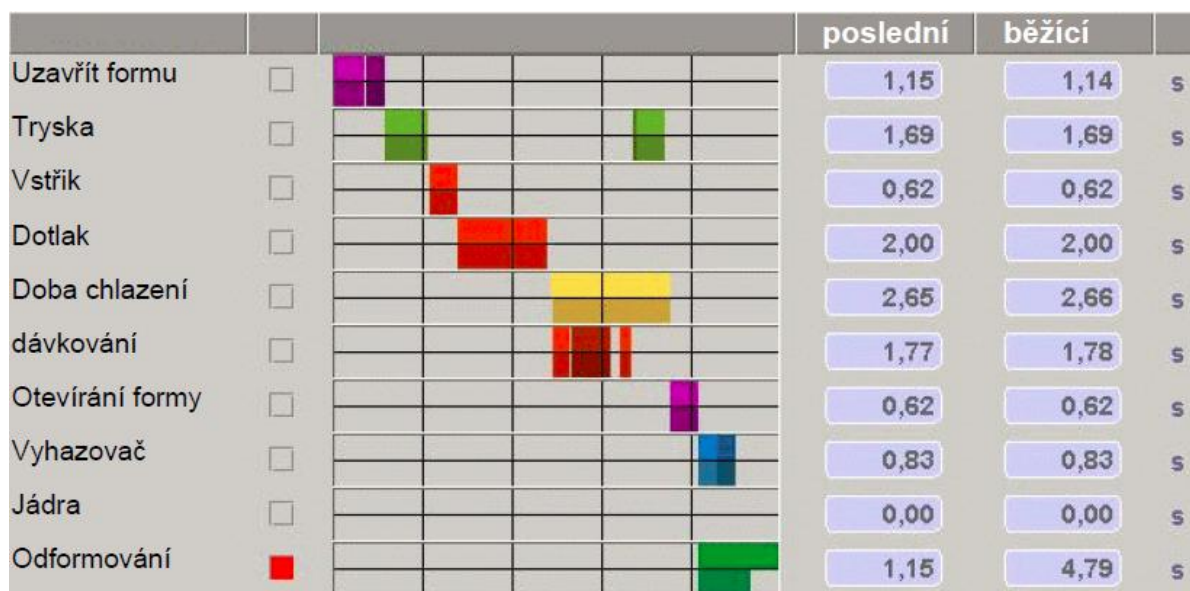
### 1 Vysvětlení pojmů technologie vstřikování

#### 1.1 Vstřikování všeobecně

Vstřikovací stroj je konstruován pro automatickou dopravu materiálu do formy za přesně předem definovaných podmínek. Předem definovaná technologie vstřikování plastů je metoda pro výrobu plastových výrobků. Technologie vstřikování je proces, který přetvoří plastový materiál na hotový díl. Plastový materiál je syntetická sloučenina, která je ke zpracování dodávána ve formě prášku či granulátu.

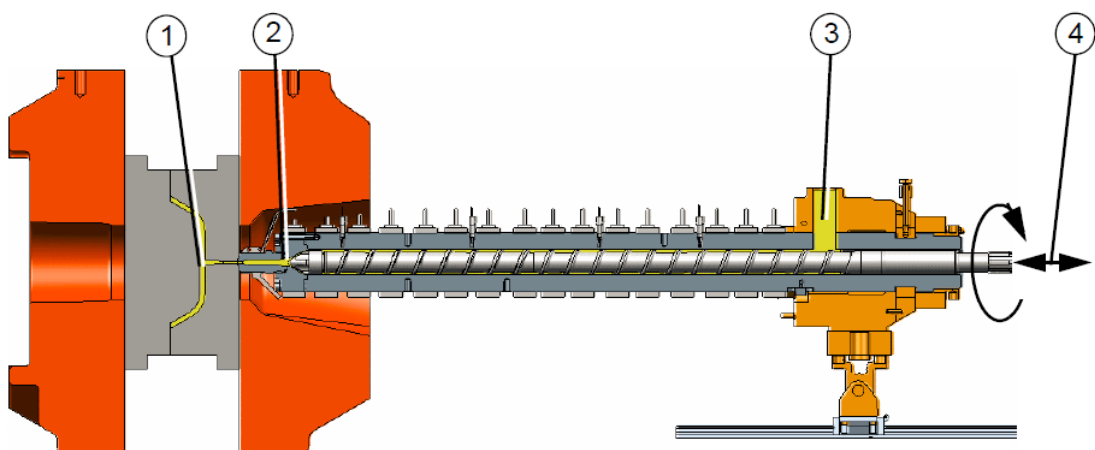
#### 1.2 Vstřikovací cyklus stroje

Stroj provádí řadu po sobě jdoucích pracovních úkonů podle nastaveného výrobního programu, kroků a zadaných parametrů vstřiku. Jednotlivé kroky vstřikování se mohou překrývat. Všechny kroky dohromady vyjadřují vstřikovací cyklus. Každý výrobek, dle složitosti, má jinou strukturu a celkový čas vstřikovacího cyklu. Na Obr. 2 jsou zobrazeny jednotlivé kroky cyklu stroje.



Obr. 2: Příklad jednotlivých kroků vstřikování [2]

- Prvním krokem vstřikovacího cyklu je uzavření formy. Pokud má výrobek otvory, najíždějí jádra formy. Následně je vybudována uzavírací síla formy dle typu výrobku.
- V druhém kroku přijede vstřikovací jednotka zakončena tryskou k formě, opře se o vtokový otvor formy, kde je přidržována přítlačnou silou po definovaný čas. Nadávkovaný materiál ve formě taveniny je připravený ke vstříknutí do formy.
- Třetím krokem je vstřik taveniny a dotlak. Šnek tlačí podle nastaveného profilu a stupňů rychlosti taveninu do jednotlivých kavit formy. Tuhnutí materiálu začíná při vstupu taveniny do formy. Při tuhnutí materiálu dochází v důsledku ochlazování ke smršťování taveniny a zmenšování jejího objemu. Aby se zamezilo vzniku dutin či propadu materiálu, přepíná stroj po naplnění formy na dotlak. Při dotlaku šnek doplňuje taveninu a po uplynutí doby dotlaku pokračuje proces chlazením.
- Čtvrtým krokem je dávkování. Šnek je umístěn v zahřátém válci a granulát je dopravován otáčením šneku vpřed, směrem k trysce. Z násypky je granulát natažen nabírací zónou šneku, třecí síly v granulátu mezi otáčejícím se šnekem a horkým válcem způsobí přeměnu granulátu na homogenní taveninu. Jakmile je dosažena definovaná dávka materiálu, potřebného k naplnění formy, šnek se přestane točit.

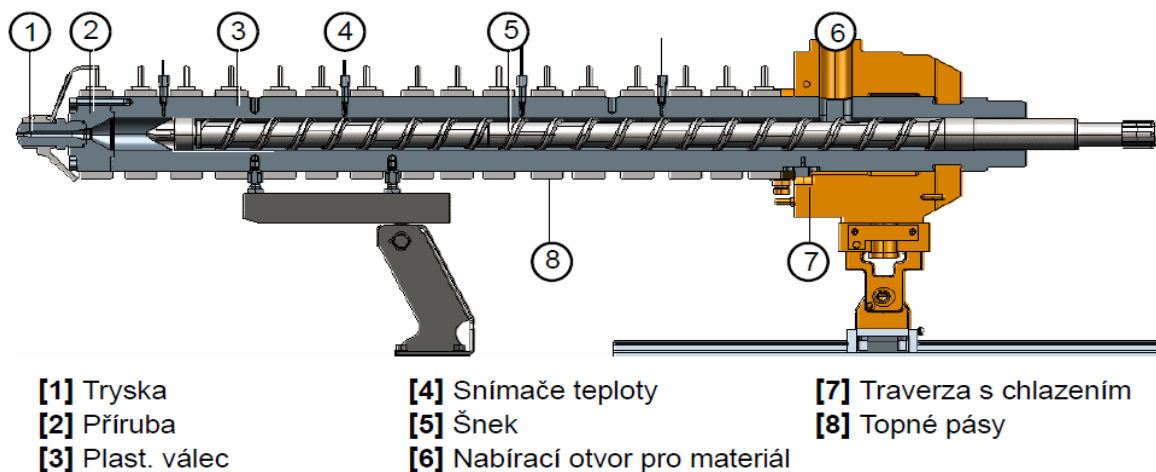


- [1] Naplněné kavity
- [2] Prostor před šnekem pro taveninu (specifický zpětný tlak)
- [3] Prostor pro natažení materiálu
- [4] Regulace zpětného tlaku

**Obr. 3: Vstřik taveniny, dotlak [2]**

- Pátý krok závisí na konstrukci formy a na tvaru trysky. Dále probíhá chlazení vylisku. U některých konstrukcí dochází k odjezdu trysky, u jiných zůstává tryska přitlačena na formu. Vyjíždí jádra ve formě, aby bylo možné formu otevřít.
- Šestým krokem je odformování ochlazeného výrobku. Dochází k odbudování uzavírací síly formy. Podle nastavené rychlosti se otevírá forma a vylisek zůstává v jedné polovině formy. Pomocí vyhazovačů je vylisek vyhozen na pás, nebo odebrán obsluhou či robotem. Po splnění všech požadovaných kroků programu je cyklus dokončen.

Pohled do vstřikovací komory s uložením šneku a popisem jednotlivých částí je na Obr. 4.



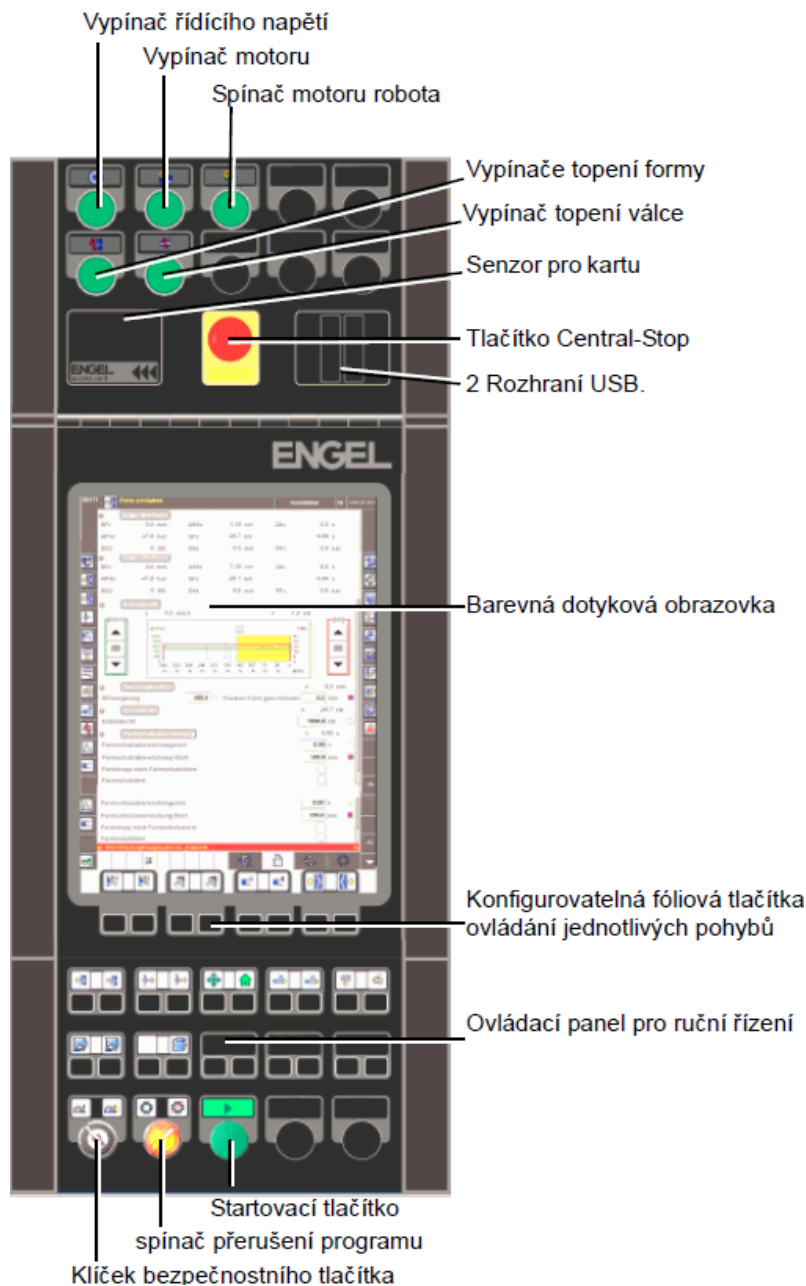
**Obr. 4: Vstřikovací jednotka [2]**

V režimu AUTOMAT pokračuje celý cyklus od začátku. Stroj se zastaví až po splnění celkového požadavku na počet kusů daného výrobku. Do celkového počtu se nezapočítávají výrobky, u kterých nebyly dodrženy nastavené vstřikovací parametry výrobního procesu.

Kompletní cyklus stroje je delší. Obsahuje i čas potřebný k odložení dílu robotem na dopravník, který díl doveze až k obsluze. Tento čas však neovlivňuje čas vstřikovacího cyklu.

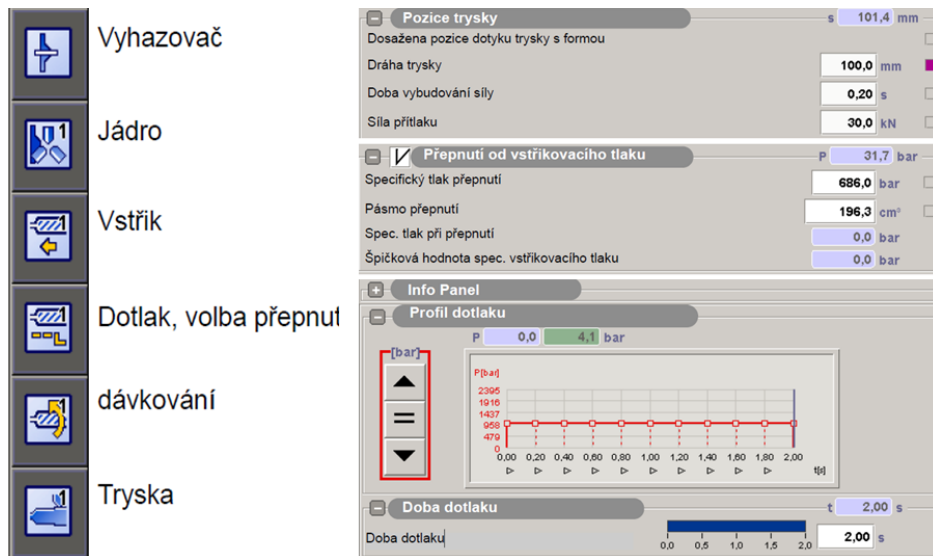
### 1.3 Ovládací panel a řídicí jednotka

Vstříkovací stroj se ovládá pomocí dotykového panelu, který je propojen s výkonnou řídicí jednotkou. Veškeré parametry vstříkování se nastavují v jednotlivých obrazovkách, které souvisí s jednotlivými cykly vstříkovacího procesu. Na Obr. 5 je zobrazen kompletní výklopný ovládací panel vstříkolisu. Konfigurace panelu se liší podle vybavení a typu stroje.

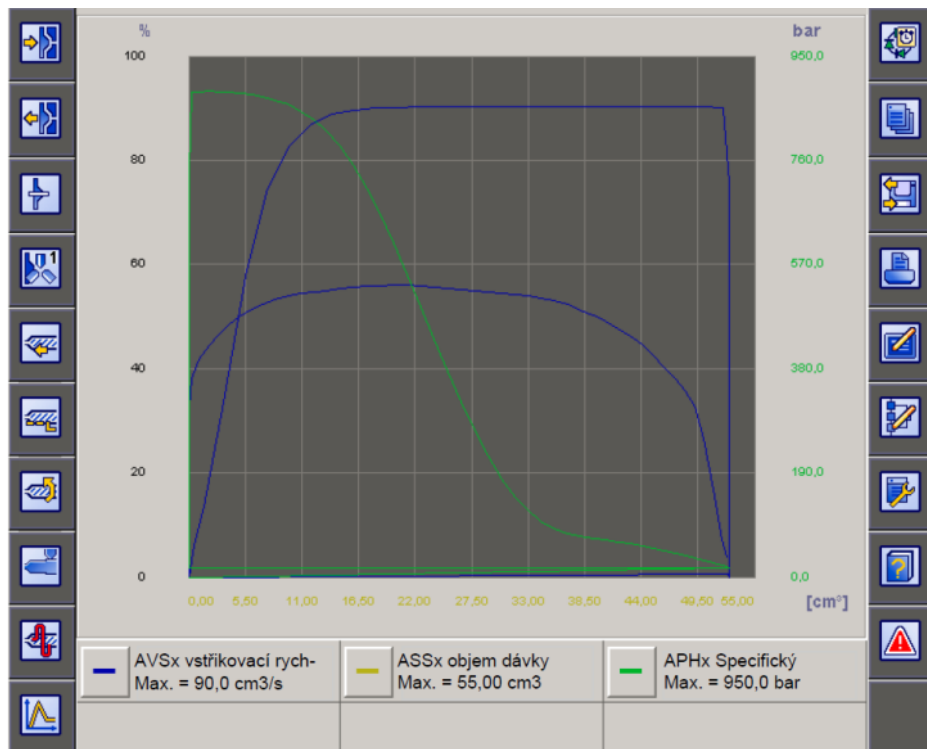


Obr. 5 Dotykový panel řídicí jednotky [2]

Řídicí systém je tvořen počítačem s procesorem Intel Atom a operačním systémem založeným na jazyku Java. V reálném čase dochází ke zpracování údajů z měřících prvků a výpočtům potřebným k vyhodnocení vstřikovacích parametrů a porovnání s nastavenými hodnotami. Výsledky měření a výpočtů lze zobrazit jako hodnoty, nebo je možné vykreslit graficky. Výřezy z technologických obrazovek jsou na Obr. 6 a Obr. 7.



Obr. 6: Konfigurace cyklu stroje [2]



Obr. 7: Vykreslování grafů [2]

## 2 Popis systému vstřikovacího stroje

V následující kapitole je popsán rozdíl mezi hydraulickou a hybridní vstřikovací jednotkou.

### 2.1 Konstrukce

Vstřikolisy, jak hybridní, tak hydraulický vypadají na první pohled stejně. Hlavním rozdílem je použitý pohon šneku a dávkování granulátu. Hybridní vstřikolis využívá k pohonu šneku, tj. dávkování, vstřikování a dotlaku výkonné asynchronní krokové motory, které přes mechanické ústrojí a pomocí spojky zvyšují krouticí moment motorů. U hybridního stroje je více elektrických rozvaděčů a jejich velikost je také výrazně větší díky použitým servoměničům. Dále je objemnější elektrická kabeláž, díky připojení jednotlivých motorů, kdy průřezy kabelů mají hodnotu až  $4 \times 25 \text{ mm}^2$ , dle jmenovitého proudu krokového motoru. Hydraulický vstřikolis používá k pohonu vstřikovací jednotky, šneku, dávkování a vstřikování hydraulické čerpadlo a soustavu ventilů, včetně proporcionálních.

V následující tabulce můžeme vidět všeobecné porovnání mezi přenášením síly a energie pomocí mechanické, elektrické a hydraulické formy.

Tabulka 1 Porovnání způsobu přenosu síly a energie [2]

Způsob přenosu, přenášené veličiny	mechanicky	hydraulicky	elektricky
Přenosna velké vzdálenosti	špatná	Dobry	velmi dobrá
Řiditelnost	špatná	Dobry	Dobry
Bezpečnost	všechny přibližně stejně dobré		
Účinnost	Dobry	špatná	špatná
Dostupnost, flexibilita v konstrukci, nabídka součástek	špatná (drahá)	dobrá (drahá)	velmi dobrá (levná)

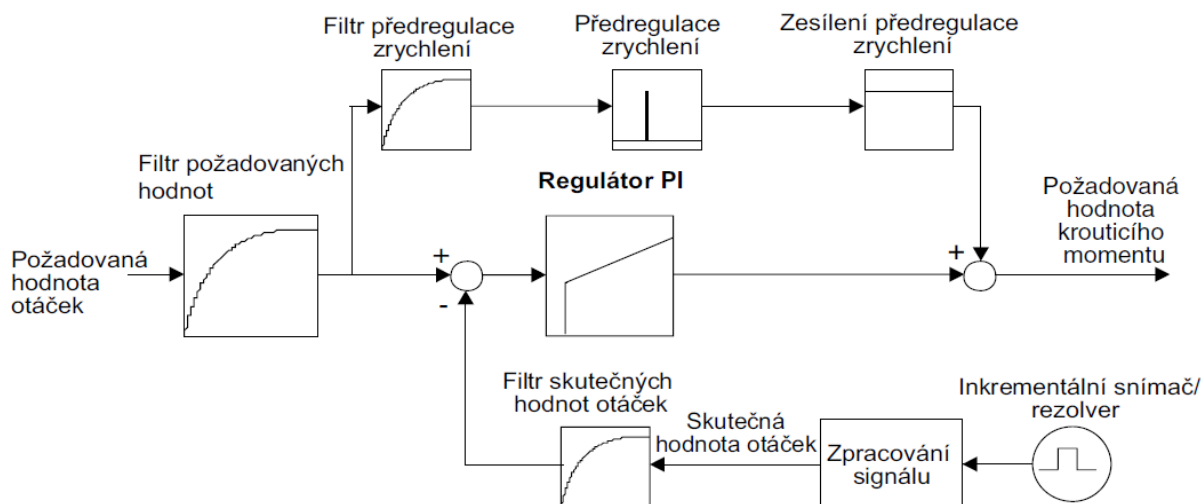


### 2.1.1 Popis hybridní vstřikovací jednotky

Hybridní vstřikovací jednotka využívá dvojici nebo trojici výkonných asynchronních motorů. První motor o výkonu 40kW je používán pro pohon šneku při dávkování. Další motor, nebo dva motory podle velikosti vstřikovací jednotky, jsou využívány ke vstřiku roztaveného materiálu a k následnému dotlaku. Motory s převodovkou jsou schopny vyvinout tlak na taveninu až 2300 bar. Pro řízení motorů jsou použity servoměniče MOVIAXIS od firmy SEW. Řídící jednotka vstřikolisu komunikuje se servoměniči pomocí sběrnice EtherCAT.

Výhodou hybridního ústrojí je možnost paralelních pohybů k ostatním pohybům stroje. Tím se snižuje celkový čas cyklu. Dále je o dva řády za desetinnou čárkou větší přesnost v dávkování a vstřiku materiálu, tím je dosažena vysoká přesnost hmotnosti výrobku. Elektrický pohon je zároveň úspornější ve spotřebě elektrické energie.

Na obrázku Obr. 8 je zobrazeno blokové schéma regulátoru motoru, který je součástí servoměniče. Servoměnič pracuje dle svého interního programu a má svou vlastní řídicí jednotku. Tato jednotka dostává pokyny od řídicí jednotky lisu a na jejich základě reguluje pohon motoru.



Obr. 8 Blokové schéma obvodu pro regulaci otáček a krouticího momentu [3]

Každý z použitých servomotorů je osazen inkrementálním snímačem, který snímá požadované parametry motoru a komunikuje se servoměničem. Na základě vyhodnocení těchto parametrů se reguluje chod motoru.

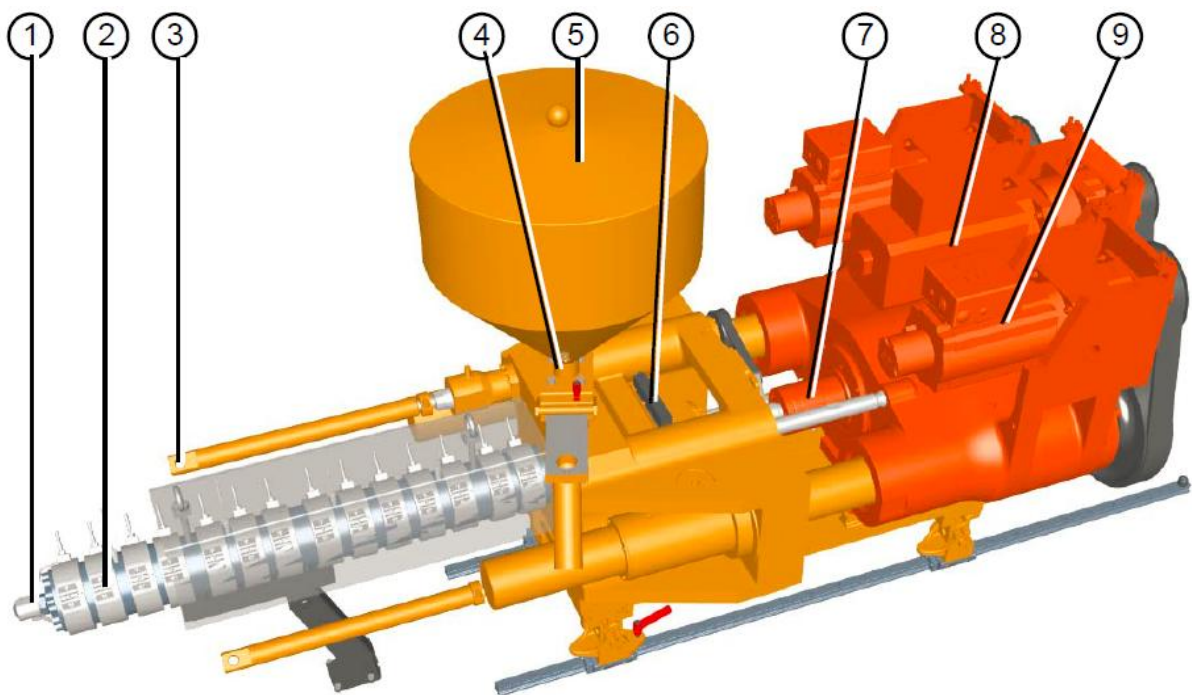
Parametry inkrementálního snímače polohy motoru:

- rozlišení snímače dle maximálních otáček motoru až 12bit
- počet dílků v rozsahu  $2^6$ - $2^{12}$  [dílků/otáčku]
- aktualizace každou 1ms
- 64-1024 dílků, otáčky bez omezení
- 2048 dílků, otáčky maximálně 5221 [ $\text{min}^{-1}$ ]
- 4096 dílků, otáčky maximálně 2610 [ $\text{min}^{-1}$ ]

V některých elektrických vstřikolisech se nově používá i technologie rekuperace brzdící energie. Rekuperace přeměňuje kinetickou energii na elektrickou energii. Tato energie se ukládá ve vysokokapacitních kondenzátorech a následně je využívána k pohonu.

Z důvodu menšího počtu hydraulických válců ubývá i potřeba hydraulických ventilů na vstřikolise. Ventilový blok je pouze jeden a to na uzavírací straně vstřikolisu. Jediná část vstřikovací jednotky, která používá hydraulické válce, je k posunu vstřikovací jednotky. Dále se tyto válce využívají k vybudování přitlačné síly trysky na formu. Je to síla, která při vstřikování tlačí trysku proti formě a její velikost je až 70kN.

Na obrázku Obr. 9 je zobrazena hybridní vstřikovací jednotka. Velikost mechanického ústrojí je větší než u hydraulického stroje. Důvodem je mechanické ústrojí ozubených kol, které přenáší pomocí řemenů tah motorů na pohon šneku a pohon vstříku.



- |     |                                       |     |                                       |
|-----|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|
| [1] | Elektricky vytápěná tryska            | [2] | Elektricky vytápěný plastikační válec |
| [3] | Tyč přítlaku - upevnění k rámu stroje | [4] | Chlazená zóna pod násypkou            |
| [5] | Násypka                               | [6] | Zámek plast. válce                    |
| [7] | Spojka šneku                          | [8] | Pohon šneku dávkování                 |
| [9] | Pohon vstříku                         |     |                                       |

**Obr. 9: Hybridní vstřikovací jednotka [2]**

## 2.1.2 Popis hydraulické vstřikovací jednotky

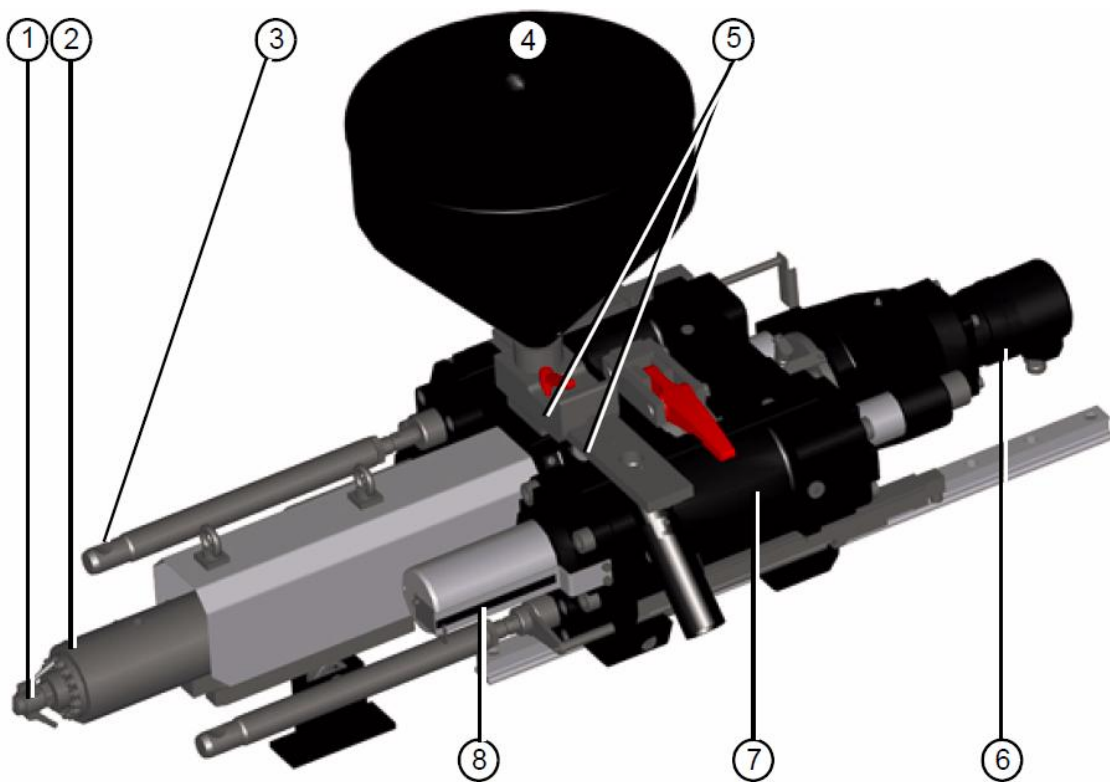
Hydraulická vstřikovací jednotka používá pro pohon šneku, tj. dávkování hydraulický motor. Pro vstřík a dotlaku se používá dvojice hydraulických válců. K posunu vstřikovací jednotky a vybudování přítlačné síly je použit třetí válec s hydraulickými zámky. Pro dopravu hydraulického oleje do válců a hydromotoru se využívá vřetenové čerpadlo s regulací tlaku. Při použití jednostupňového čerpadla se jednotlivé cykly vstříku musí vykonávat postupně, nelze vykonat paralelní pohyby tak, jak je tomu u hybridního ústrojí.

Součástí hydraulických vstřikolisů jsou objemné nádoby na olej. Množství oleje závisí na velikosti vstřikolisu a pohybuje se od 250 – 1600 litrů. Z olejové nádrže je hydraulický olej dopravován čerpadlem pod definovaným tlakem do jednotlivých hydraulických obvodů. Jednotlivé měřené tlaky není potřeba převádět pomocí mechanických převodníků jako je tomu u hybridní jednotky, měří se přímo tlak oleje. U hydraulického stroje jsou dva i více ventilových bloků. Bezpečnostní ventily je potřeba použít u každého hydraulického bloku. Tím vzniká více rizikových míst, které jsou nákladnější na opravu celého hydraulického systému.

Hydraulické čerpadlo dokáže vyvinout kontinuální tlak až 350bar při 1500 otáček [ $\text{min}^{-1}$ ]. Čerpadlo je poháněno třífázovým motorem o výkonu 30kW. Při vytváření vysokého tlaku dochází k ohřívání oleje a je nutné jej chladit pomocí chladicí kapaliny, která je přivedena z externího zdroje do vstřikolisu.

Hydromotor použitý pro pohon šneku má výkon 80HP při 400 otáčkách za minutu. Nevýhodou hydropohonu je vyšší nepřesnost a pomalejší reakce na změny parametrů při vstřikování, které jsou způsobené zpožděnou reakcí proporcionálních ventilů. Ztráty oleje a stlačitelnost způsobují, že hydromotor neudrží kapalinu pod tlakem delší dobu. Proto se vyskytují při použití dvou nebo více pohonů s rozdílnou mírou zatížení problémy se synchronizací jejich chodu. K řízení souběžnosti je potřeba přesné regulace.

Na obrázku Obr. 10 je zobrazení hydraulické vstřikovací jednotky s popisem jednotlivých komponent. Celkové ústrojí hydraulické jednotky je menší než u hybridního stroje. Odpadá zde nutnost převádět tah motorů pomocí převodovek a ozubených řemenů.

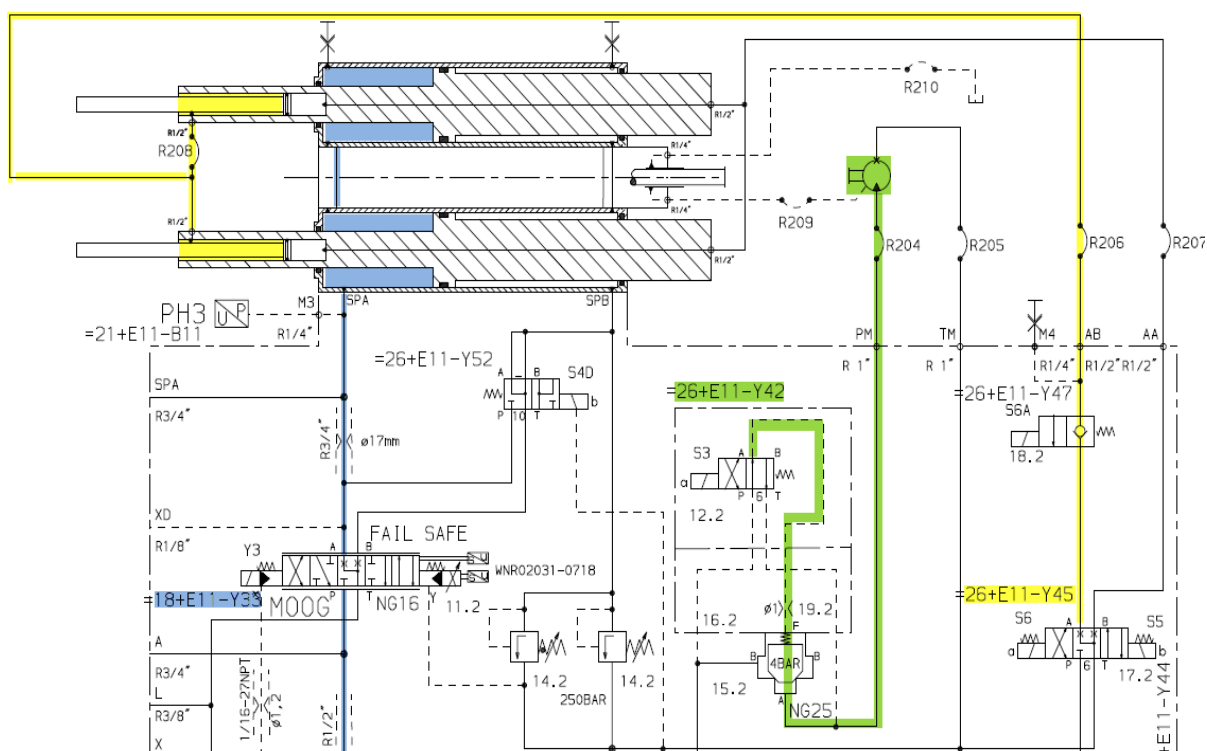


- [1] Elektricky vytápěná tryska [2] Elektricky vytápěný plastikační válec
- [3] Upevnění pístnice na rámu stroje [4] Násypka
- [5] Chlazené nabírací zóna (Traverza) s teploměrem
- [6] Hydromotor pro pohon šneku [7] Hydraulický vstřikovací válec

**Obr. 10: Hydraulická vstřikovací jednotka [2]**

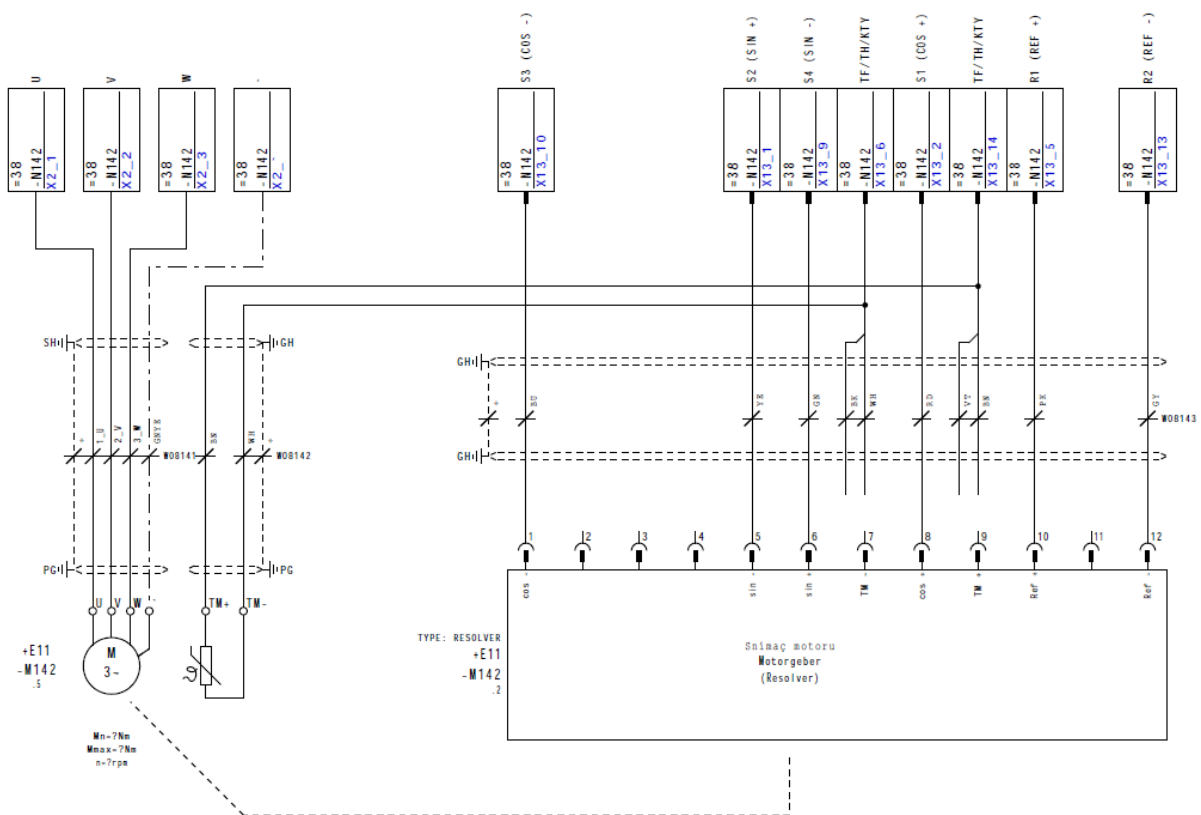
### 2.1.3 Schémata jednotlivých systémů

Na Obr. 11 je výřez z hydraulického schématu. Hydraulický vstříkovací stroj pro posuv vstříkovací jednotky využívá ventil 26-Y45 (označen žlutě), pro vstřík taveniny a dotlak se používá proporcionální ventil 18-Y33 (označen modře). Ovládání hydromotoru je realizováno pomocí proporcionálního ventilu Y42.



Obr. 11: Část schéma hydraulického vstříkolisu [3]

Na Obr. 12 je výřez z elektrického schématu připojení servomotoru na vstřikovací jednotce k řídicí jednotce a k napájení 3x400V. Každý z motorů využívá stejné připojení. Servomotor pro dávkování a dotlak využívá navíc brzdny odpor, který zajišťuje rychlé snížení otáček motoru. Při rychlém snížení otáček motoru se setrvačná energie mění na elektrickou energii a ta zpříčiňuje zvýšení napětí na vyrovnávacích kondenzátorech. Může dojít k odpojení zátěže, aby se zabránilo zničení měniče. Při zapojení brzdny odporu se setrvačná energie přemění teplo.



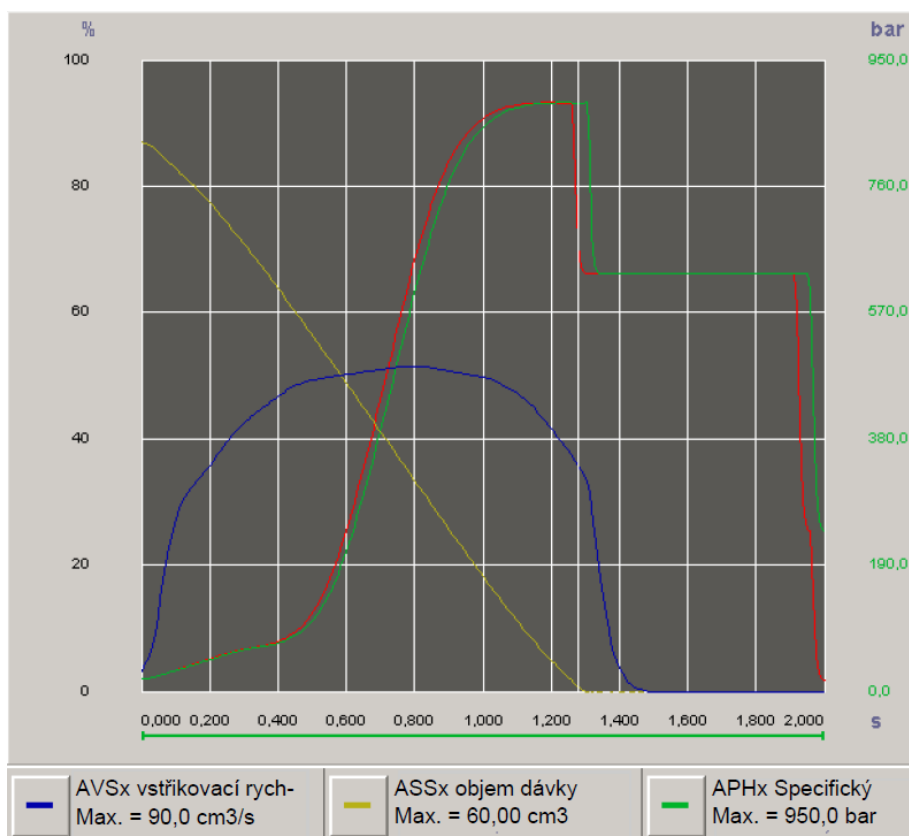
Obr. 12: Schéma zapojení motoru hybridního vstřikovacího systému s brzdny odporem. [3]

### 3 Popis měřících systémů a software

Kvalita vyrobených dílů je sledována již při vstřikování taveniny do formy, dále pak různými měřeními po vychladnutí dílu. Při vstřikování se sledují parametry vstřiku, následně pak rozměrové parametry, které jsou definovány výkresem.

#### 3.1 Měření hodnot na vstřikovacím stroji

Při vstřikování taveniny do formy dochází k měření několika základních fyzikálních veličin, těmi jsou: délka, čas, teplota a elektrický proud. Odvozené fyzikální jednotky měřené na stroji jsou: síla, tlak, výkon a elektrické napětí. Tyto fyzikální veličiny jsou změřeny a jejich hodnoty jsou porovnávány s parametry vstřikovacího procesu a vyhodnocovány řízením. Pokud nějaký parametr překročí nastavené meze, je výrobek označen jako vadný (NOK) a vyhozen do zmetků. Obr. 13 zobrazuje obrazovku stroje, osciloskop, kde jsou vykreslené křivky zobrazující základní parametry vstřiku.



Obr. 13 Měření hodnot v reálném čase [2]



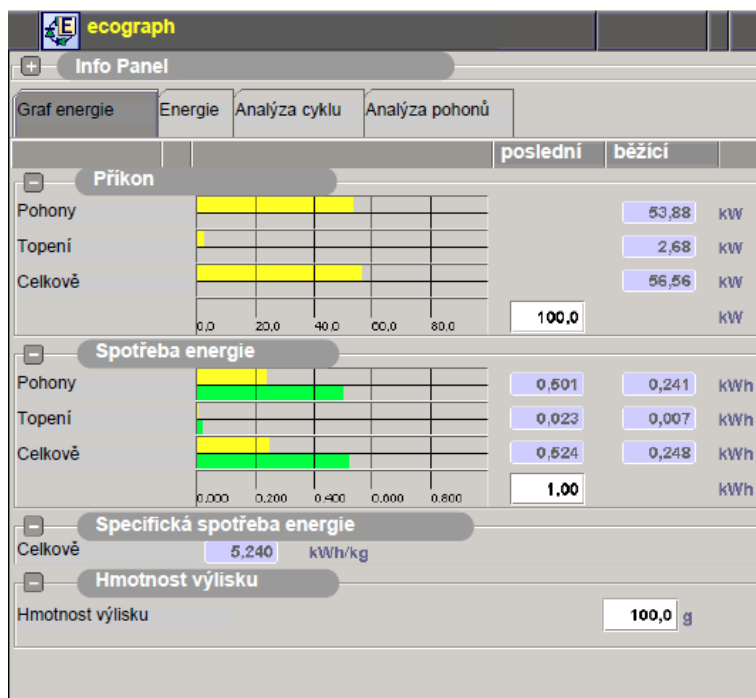
Pro měření fyzikálních veličin se využívají elektronické měřicí prvky, které jsou standardně dostupné. Například:

- délka – odporová dráha s výstupním napětím 0-10V
- čas – reálné hodiny řídicí jednotky
- teplota – odporové senzory PT100, tenkovrstvý platinový odpor 100 $\Omega$  při 0°C
- elektrický proud – na snímacím rezistoru je zaznamenán úbytek napětí

Změřené analogové hodnoty jsou převáděny pomocí analogově-digitálních převodníků do řídicí jednotky k dalšímu zpracování.

Základním rozdílem pro měření síly a tlaku mezi hybridní a hydraulickou vstřikovací jednotkou jsou použité snímače. U hydraulické jednotky je možno měřit přímo tlak hydraulického oleje. Nevýhodou je vyšší nepřesnost snímačů, dosahuje hodnot až  $\pm 0.5$  % jmenovitého rozsahu. Tím dochází ke zkreslení dalších vypočítávaných hodnot parametrů. U hybridního stoje je nutnost měřit mechanickou sílu. Ta se měří na hřídeli šneku pomocí patentovaného tenzometrického členu. Stejně tak krouticí moment servomotorů se měří pomocí tenzometrů. Spojení servomotorů a tenzometrů nabízí rychlejší reakce na změnu vstřikovacích parametrů než je tomu u hydraulických vstřikolisů. U hybridních vstřikolisů jsou použity tenzometry s vyšší přesností,  $\pm 0.05$  % jmenovitého rozsahu.

Ecograph Obr. 14 slouží k měření a detailnímu zobrazení spotřeby energie. Tuto možnost nám dává pouze hybridní stroj. Vypočítává se z dat motorů, topení a výrobních dat. Zobrazení příkonu a spotřeby energie posledního cyklu (zelený sloupek) a aktuálního cyklu (žlutý sloupek). Další zobrazení specifické spotřeby energie vztažené k celkové spotřebě energie a nastavené hmotnosti vylisku.



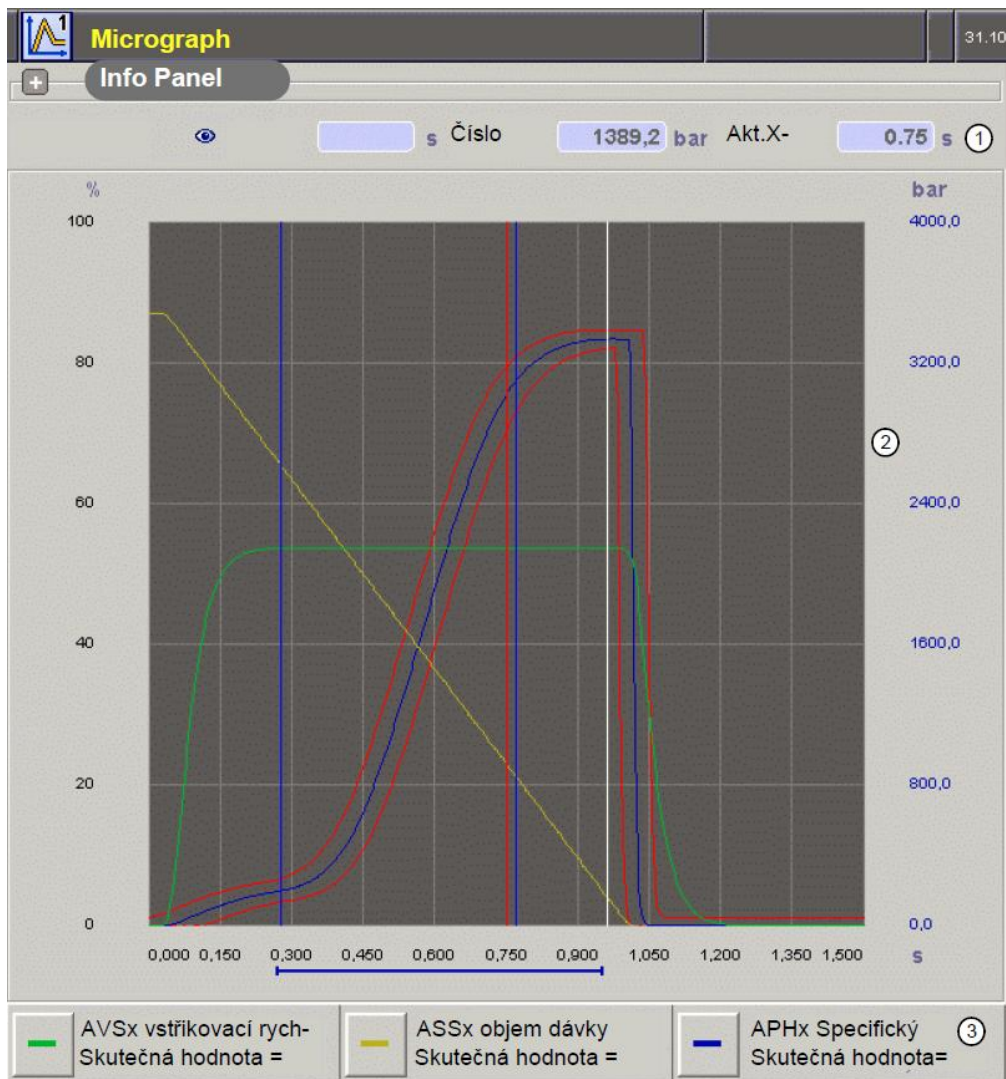
Obr. 14 Okno Ecograph [2]

### 3.1.1. Nastavení osciloskopu a sběr dat

Pro sledování a následné zpracování parametrů vstřiku bylo potřeba nastavit osciloskop. Výběr a nastavení sledovaných parametrů se provádí v liště 3 Obr. 15. Zde se nastaví i rozsah hodnot a časová osa snímaných parametrů. Data jsou postupně zaznamenána pomocí aplikace ESD (elektronický sběr dat) a uložena na serveru.

Základní parametry jsou následující:

- čas cyklu, čas dávkování
- vstřikovací tlak maximální, maximální tlak ve formě
- vstřikovací tlak při přepnutí na dotlak
- teplota formy, teploty vnitřních kanálů



Obr. 15: Osciloskop [2]

[1] **Stavový řádek:** Zobrazuje aktuální hodnotu podle zvolené funkce, která je momentálně zapnutá např. u nějaké kontroly přesný okamžik překročení tolerance.

[2] **Graf:** zobrazení všech grafických informací: Jednotlivé křivky a soustavy křivek ve zvolených barvách, ideální křivka vždy červená. Zobrazení pozic kolmými čarami jako např. bod přepnutí - bílá čára, skutečné hodnoty – červená čára, pozice měření tekutosti - dvě modré čáry a překročení tolerancí při zapnuté kontrole - přerušovaná modrá čára.

[3] **Legenda:** popis znázorněné křivky s možností změn specifických atributů (barva, měřítko Y, atd.). Najednou lze zobrazit až 8 křivek.

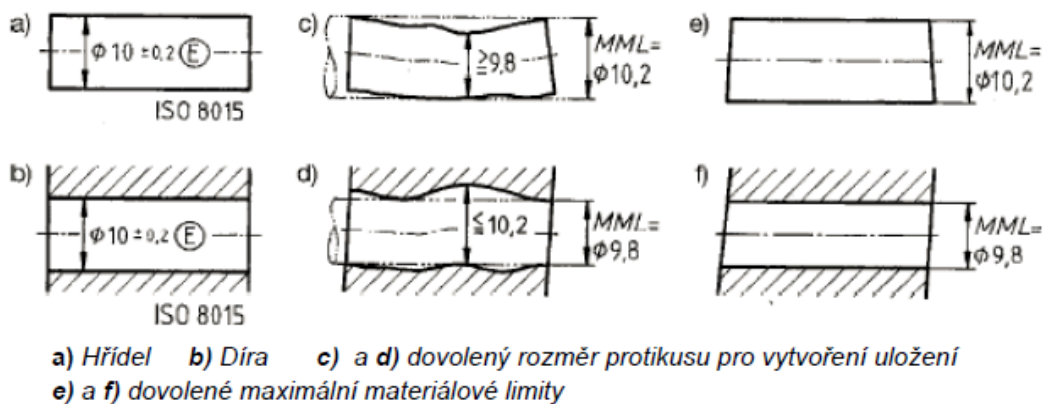
### 3.2 Měřicí systémy v RBCB

Laboratoře QMM (Quality Management & Methods) provádí měření délkových rozměrů dotykovou a optickou metodou včetně měření drsností povrchu a odchylek tvaru. V RBCB se pro měření rozměrů využívají 3D skenery od firmy DEA Global a Zeiss Prismo. Drsnoměr je od firmy Taylor Hopson.

#### Popis a metodika měření:

Měření je prováděno v čistých, bezprašných místnostech s udržovanou teplotou  $20^{\circ}\pm 2^{\circ}$  Celsia. Po přinesení výrobku do měřicí laboratoře musí výrobek zůstat ležet 16 hodin, aby se vyrovnala teplota výrobku s teplotou v laboratoři. Měření probíhá dle norem ČSN14405-1, 1445-2 - Geometrické specifikace produktu - Tolerování rozměrů. Do 3D skeneru je nahrán CAD model výrobku. Po vložení výrobku do skeneru začne samotné měření, kdy jsou porovnávány jednotlivé měřicí body na výrobku s virtuálním modelem z výkresu.

Pokud mají dva komponenty určené ke smontování tvořit uložení, musí být dodržen maximální materiálový virtuální limit pro obě součásti, aby se ověřila jeho vůle. Při měření v RBCB se využívá princip obálky (neboli Taylorův princip) Obr. 16. Prvek nesmí překročit jeho obálku, např. díra může být pouze větší a hřídel může být pouze menší, než je jeho mezní hodnota maxima materiálu. Princip obálky znamená, že požadavek obálky je platný na všechny rozměrové prvky. Rozměrovým prvkem je válec (i válcová díra), koule a protilehlé paralelní roviny. Požadavek obálky znamená, že limit maxima materiálu (horní mezní rozměr hřídele, dolní mezní rozměr díry) nesmí být překročen. Tento požadavek zajistí smontovatelnost součástek. [3]



Obr. 16 Požadavek obálek a odchylky rozměru [4]

Dle platných norem musí být u každého výsledku měření uvedena jeho nejistota měření. Nejistota je parametr přiřazený výsledku měření, označující rozptyl hodnot, který je možno přiřadit měřené veličině. Značíme jej písmenem  $U$ .

Rozšířená nejistota měření  $U$  se vypočte podle rovnice

$$U = k_p \cdot u_{\text{gesamt}} \quad (3.2.1) [4]$$

$u_{\text{gesamt}}$  je součet všech standardních nejistot  $u_i$

$k_p$  je rozšiřující faktor pro stupeň důvěryhodnosti  $p$ .  $k_p$  je faktor závislý na počtu stupňů volnosti  $v$ . Počet stupňů volnosti  $v$  je počet vedlejších vlivů vstupujících do měření. Pokud je počet stupňů volnosti  $v \geq 14$ , je možno počítat s přibližným rozšiřujícím faktorem  $k_p = 2$  (stupeň důvěryhodnosti cca 95,45%), a není nutno používat přesnou hodnotu  $k_p$ . V metrologii je přednostně používán stupeň důvěryhodnosti 95,45% odpovídající  $k_p = 2$ .

Výsledkem měření je elektronický protokol a graf, který je exportovaný do elektronického systému chy.stat pro sběr veškerých dat o výrobku.

### 3.2.1 CT analýza

Výpočetní tomografie neboli CT scanner, který se v RBCB využívá, je od firmy General Electric V/TOME/X 300. Výpočetní tomografie je radiologická metoda, která pomocí rentgenového záření umožňuje zobrazit vnitřní struktury výrobků a odhalit tak vady vznikající při špatně nastavených parametrech vstřikování. [5]

CT skener využívá 3D CAD výkres, který je proložený výslednými snímky, a jsou vyhledány rozdíly. Vyhledávány jsou zejména dutiny v materiálu, které zapříčiňují praskání výrobků při následné montáži.

Výsledkem je série fotografií, které poskládané za sebou tvoří film, na kterém je vidět vnitřní strukturu výlisku. Výsledek je reportován v elektronickém dokumentu s popisem odhalených vad. Výsledky CT analýzy je k dispozici v kapitole 5 Výsledky rozměrových a CT analýz

## 4 Výroba v praxi

S výrobním oddělením bylo naplánováno vzorkování výrobků. Kolegové z dalších oddělení TEF23 (nastavení procesu vstřikování) a MOE13 (výrobní oddělení) pomohli s nastavením a přeseřizováním vstřikolisů. Na samotnou výrobu byly potřeba dvě pracovní směny. Nejdélší dobou je čekání na chladnutí formy a následné nahřátí formy a válce na stanovené teploty. Technolog výroby MOE13 vytypoval běžnou přírubu a hrnec (runner), které se vyrábějí ve větších sériích. Následně jsme tyto výrobky vzorkovali nejdříve na hydraulické a posléze hybridním vstřikolise.

Standardně se pro dopravu granulátu k jednotlivým lisům používá sofistikovaný systém od firmy Wittmann, který pomocí PLC řízení, podtlakových vývěv a potrubí dopravuje správný granulát ze zásobníků do násypek. Tento granulát je vysušený a má přesně stanovenou vlhkost. Z důvodu vzorkování pouze 30 kusů, jsme zásobníky naplnili ručně přiměřeným množstvím správného granulátu.

Vzhledem k váze forem, která je u formy pro přírubu 880kg a u formy pro hrnec 1850kg, bylo potřeba použít jeřáb. Manipulaci s jeřábem může vykonávat pouze osoba pověřená, což jsou kolegové z výrobního oddělení. Forma je uchycena na vstřikolisu pomocí magnetických desek. Po přiložení formy na magnetickou desku je dán povel k zmagnetování a pomocí několika permanentních elektromagnetů je forma držena na magnetických deskách vstřikolisu.

Při návrhu a výrobě plastového dílu bereme v úvahu základní podmínky na budoucí výrobek. **Funkčnost** – výrobek musí splňovat všechny funkce, které požadujeme. Funkčnost součástí musí být zajištěna po celou dobu životnosti plastového dílu (přibližně 5 let, podle druhu výrobku), neboť porušené plastové díly lze obtížně nebo vůbec vyměnit či opravit. **Technologičnost** – tímto pojmem nazýváme zásady dodržení co nejrychlejšího a nejplynulejšího naplnění dutiny formy taveninou, při kterém dochází k prudkým změnám tlaku a teploty. Je nutné vyvarovat se ostrých hran, přechodů, velkých změn průřezů, apod., aby nedocházelo k vnitřnímu pnutí, smršštění, víření proudu taveniny, atd. [6]

## 4.1 Kritéria pro posouzení vstřikovacích procesů, nastavení parametrů

Podle vstřikovací karty sériového výrobku byly nastaveny parametry cyklu. Pro každý vstřikolis jsou tyto parametry odlišné. Tyto parametry jsou v počátku výroby definovány podle vstřikovací studie. Tato studie spočívá v postupném plnění kavity formy a jednotlivé výlisky jsou postupovány k analýze. Podle analýz se určí, které vstřikovací parametry budou nadále používány pro sériovou výrobu. Na obrázku Obr. 17 jsou vidět některé z parametrů použitých při výrobě příruby.

Pro posouzení výsledků vstřikovacích procesů byla stanovena následující kritéria:

- změřené hodnoty vstřikovacích parametrů reportované systémem ESD
- výsledné rozměrové analýzy reportované systémem ESD
- CT analýzy reportované systémem ESD

Pro potřeby bakalářské práce byl kolegy z oddělení TEF23 vytvořen nový testovací program, aby nebylo zasahováno do sériových výrobních programů. Celkem byly vytvořeny čtyři programy, dva pro přírubu a dva pro hrnce.

Index zn.	Text ke znaku	Jedn.	Jmen.h	DTM	HTM	Pozn.
VK0720	Dekomprese před dávkováním	mm	0,00			
VK0730	Dekomprese po dávkování	mm	8,00	2,00	10,00	
VK0740	Teplota válce (od trysky k násypce) 1	°C	205,00	197,00	213,00	
VK0750	Teplota válce (od trysky k násypce) 2	°C				
VK0760	Teplota válce (od trysky k násypce) 3	°C	210,00	202,00	218,00	
VK0770	Teplota válce (od trysky k násypce) 4	°C	205,00	197,00	213,00	
VK0780	Teplota válce (od trysky k násypce) 5	°C	200,00	192,00	208,00	
VK0790	Teplota válce (od trysky k násypce) 6	°C	195,00	187,00	203,00	
VK0840	Teplota válce tolerance v řízení vstrikolisu	°C	10,00			kontrola
VK0850	Čas vstřiku	s	2,00	1,60	2,40	
VK0860	Čas dávkování	s	10,80			informativní
VK0870	Čas cyklu	s	62,00			informativní
VK0880	Teplota taveniny	°C	206,00			informativní
VK0890	Kontrola tlaku v dutině formy	%		-6,00	12,00	ANO (jen u funkčního tlakového cidla)
VK0910	Kontrola vstřikovacího tlaku	%		-8,00	10,00	ANO
VK0920	Hmotnost dílce 1.1	g	128,62	127,33	129,91	
VK1400	Hmotnost vtoku	g	8,57			informativní
VK1480	Připojení HK zona 8	°C	205,00	190,00	220,00	tryska
VK1490	Připojení HK zona 9	°C	205,00	190,00	220,00	kriz
VK1500	Připojení HK zona 10	°C	205,00	190,00	220,00	"hubicka"
VK0210	Prepnutí od tlaku ve formě	bar	200,00	180,00	220,00	PRIORITNE
VK0220	Prepnutí pozice šneku	mm	15,00	13,50	16,50	

Obr. 17 Příklad parametrů ze vstřikovací karty pro přírubu. [3]

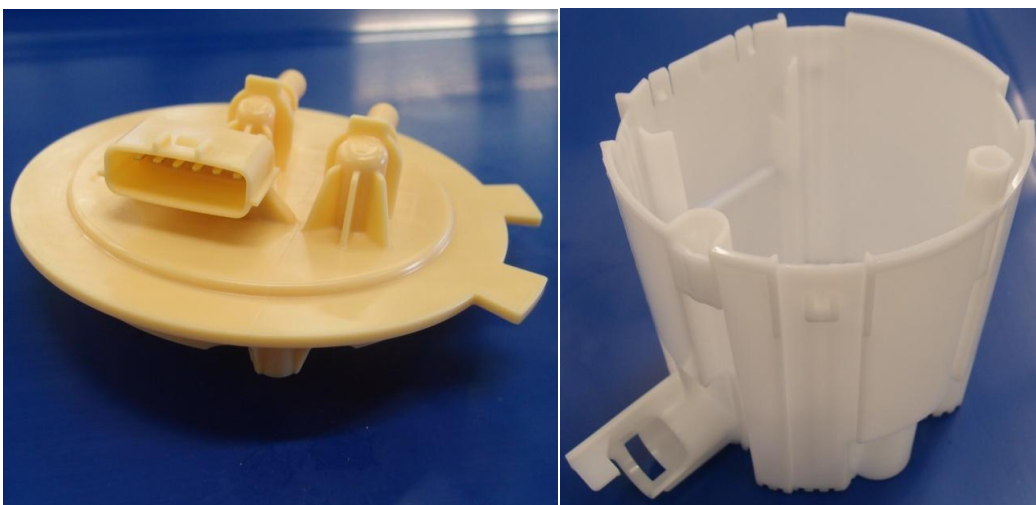
## 4.2 Porovnání procesu vyráběných dílů

Hlavním rozdílem mezi výrobou příruby a hrnce je nutnost vložení jádra s osazenými piny u výroby příruby Obr. 18. Příruba má na horní straně zákaznickou zásuvku, do které se připojuje konektor pro napájení čerpadla a další senzorů. Při sériové výrobě se stará o založení pinů robot a celý proces je tak automatizovaný. Pro naše potřeby byly piny založeny do formy ručně. Nepřítomnost jádra a pinů ve formě by zapříčinila zastříknutí formy. Tavenina by zatekla do míst, kde mají být umístěné piny. Následně by bylo nutné formu poslat do nástrojárny na opravu.

Výroba hrnce je jednodušší, jelikož se jedná o čistě plastový výrobek a není nutné používat žádná vkládaná jádra. Rovnou bylo možné spustit automatický cyklus s nastavenou dávkou 30 kusů hrnců. Na Obr. 19 jsou vidět výsledné výrobky, příruba a hrnec.



Obr. 18 Vkládané jádro se založenými piny



Obr. 19 Foto vyrobené příruby a hrnce



### **4.3 Výsledky vstřikování**

Z každého vstřikolisu byla vyrobena série 30 kusů vík a hrnců. První tři vystříknuté kusy byly vyhozeny, protože první výpadové kusy bývají nedostříknuté kvůli rozdílným teplotám jednotlivých zón kavity. Zároveň je potřeba aby se ustálil celkový vstřikovací proces, zejména teploty a tekutost materiálu. S přibývajícím cykly se teploty vyrovnají a vyrobené díly již lze použít. Vystříknuté díly byly po kontrole dle návodky pro obsluhu odvezeny do skladu na chladnutí. Hrnce bylo možné ihned po vychladnutí odeslat na rozměrové zkoušky. U tohoto výrobku není potřeba dalších zkoušek.

Rozdíl je u příruby, po vychladnutí je nutné díly poslat na 100% kontrolu. Tato kontrola probíhá na automatické zkušební stanici, do které se založí postupně každý vystříknutý díl, a příruba je otestována na případný zkrat mezi jednotlivými piny pomocí vysokého napětí 1000V. Následná tlaková zkouška ukáže možné úniky vzduchu na těsnící ploše příruby a kolem pinů. Pomocí stlačeného vzduchu 50kPa je přesně definovaným objemem naplněn prostor pod přírubou a měřicím přístrojem ATEQ se změří změnu tlaku po naplnění a po ukončení zkoušky. Pokud jsou tyto zkoušky v pořádku, je možné příruby poslat na jednotlivé analýzy do měrových středisek RBCB.

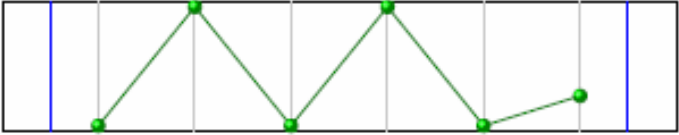






### **4.4 Porovnání zaznamenaných parametrů vstřiku**

Jednotlivé parametry vstřiku jsou u každého dílu zaznamenány systémem ESD, který dál reportuje parametry do systému chy.stat. Zaznamenává se více jak 30 parametrů vstřiku dle vyráběného výrobku.







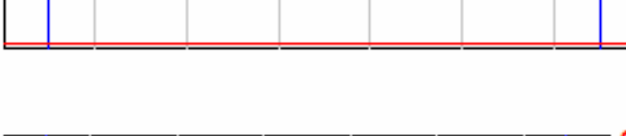
#### **4.4.1 Parametry při výrobě příruby**

Většina parametrů změřených při vstřikování příruby na hydraulickém stroji Obr. 20 se ocitla mimo nastavené meze. Elektronický systém reportuje výsledky zakreslené do grafu, a jelikož jsou hodnoty mimo meze, není zobrazen číselný rozsah. Zobrazena je pouze průměrná hodnota změřeného parametru. Důvodem špatných výsledků může být nepřesná regulace hydraulické soustavy. Změnou například teplot na válci, či změnou rychlosti dávkování nebo rychlosti vstřiku, by se parametry dostaly do správných mezí. Parametry vstřikování příruby

na hybridním stroji byly dle předpokladu v nastavených mezích. Výsledky z měření jsou na Obr. 21. Díky přesnější regulaci a rychlejší reakci servomotorů dokáže hybridní stroj rychleji a přesněji reagovat na změny parametrů.

<p>Cas davkovani skutecny</p>		<p>☹️ 6,80 s</p>
<p>Cas cyklu skutecny</p>		<p>☹️ 75,20 s</p>
<p>Vstrikovaci tlak max hodnota skutecny</p>		<p>☹️ 107,78 bar</p>
<p>Maximalni tlak ve forme skutecny</p>		<p>☹️ 520,17 bar</p>
<p>Vstrikovaci tlak pri prepnuti skutecny</p>		<p>☹️ 97,09 bar</p>
<p>Cas vstrik skutecny</p>		<p>☺️ 2,05 s</p>
<p>Prepnuti od tlaku ve forme skutecny</p>		<p>☺️ 206,76 bar</p>

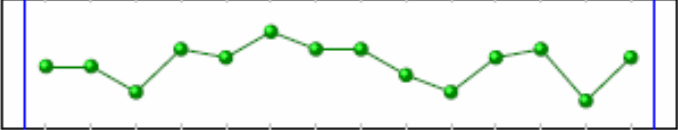
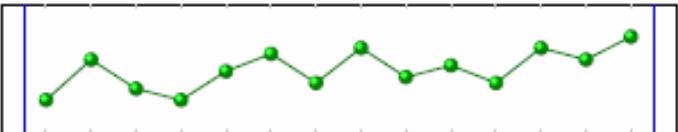
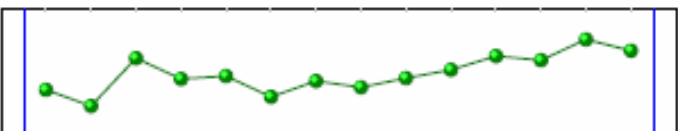
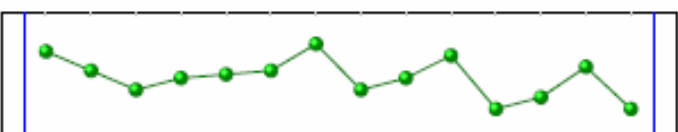
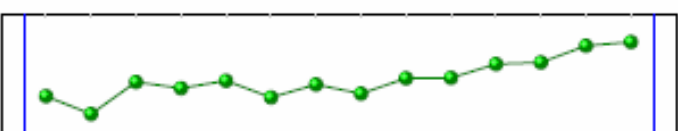
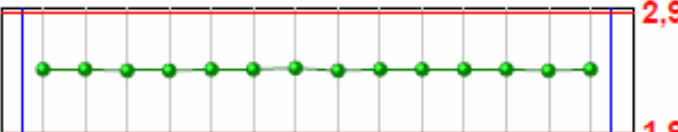

Obr. 20 Změřené parametry vstřikování příruby na hydraulickém vstřikolisu [3]

Cas davkovani skutecny		12,96 9,00 😊 10,20 s
Cas cyklu skutecny		93,00 56,00 😊 66,30 s
Vstrikovaci tlak max hodnota skutecny		112,00 60,00 😊 87,00 bar
Maximalni tlak ve forme skutecny		583,00 350,00 😊 453,40 bar
Vstrikovaci tlak pri prepnuti skutecny		91,00 49,00 😊 71,00 bar
Cas vstrik skutecny		2,40 1,60 😊 2,10 s
Prepnuti od tlaku ve forme skutecny		230,00 170,00 😊 186,00 bar

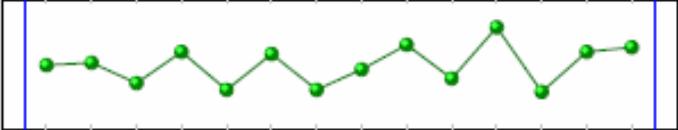

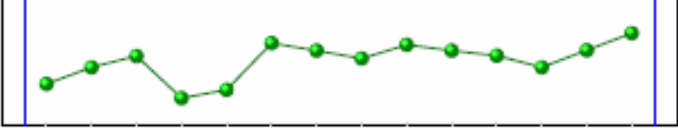
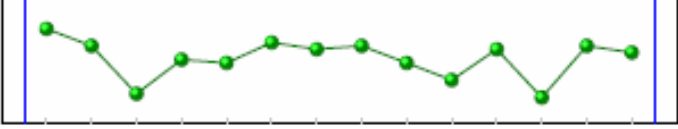
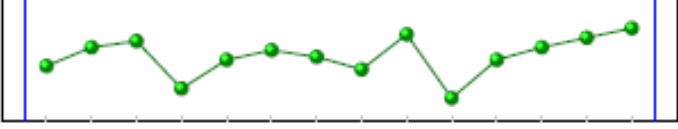
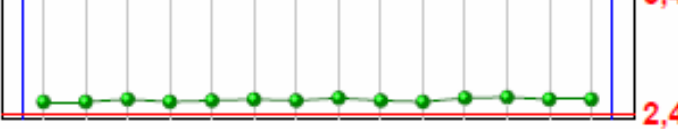
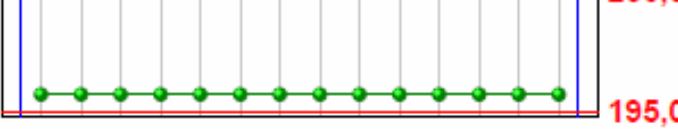
Obr. 21 Změřené parametry vstřikování příruby na hybridním vstřikolislu [3]

#### 4.4.2 Parametry při výrobě hrnce

Vstřikovací parametry při výrobě hrnce se nedostaly do stanovených mezí ani u hybridního, ani u hydraulického stroje Obr. 22 a Obr. 23.

<p>Cas davkovani skutecny</p>		<p>☹️ 9,86 s</p>
<p>Cas cyklu skutecny</p>		<p>☹️ 48,65 s</p>
<p>Vstrikovaci tlak max hodnota skutecny</p>		<p>☹️ 914,86 bar</p>
<p>Maximalni tlak ve forme skutecny</p>		<p>☹️ 519,75 bar</p>
<p>Vstrikovaci tlak pri prepnuti skutecny</p>		<p>☹️ 861,29 bar</p>
<p>Cas vstrik skutecny</p>		<p>☺️ 2,43 s</p>
<p>Prepnuti od tlaku ve forme skutecny</p>		<p>☺️ 180,46 bar</p>

Obr. 22 Změřené parametry vstřikování hrnce na hydraulickém vstřikolislu [3]

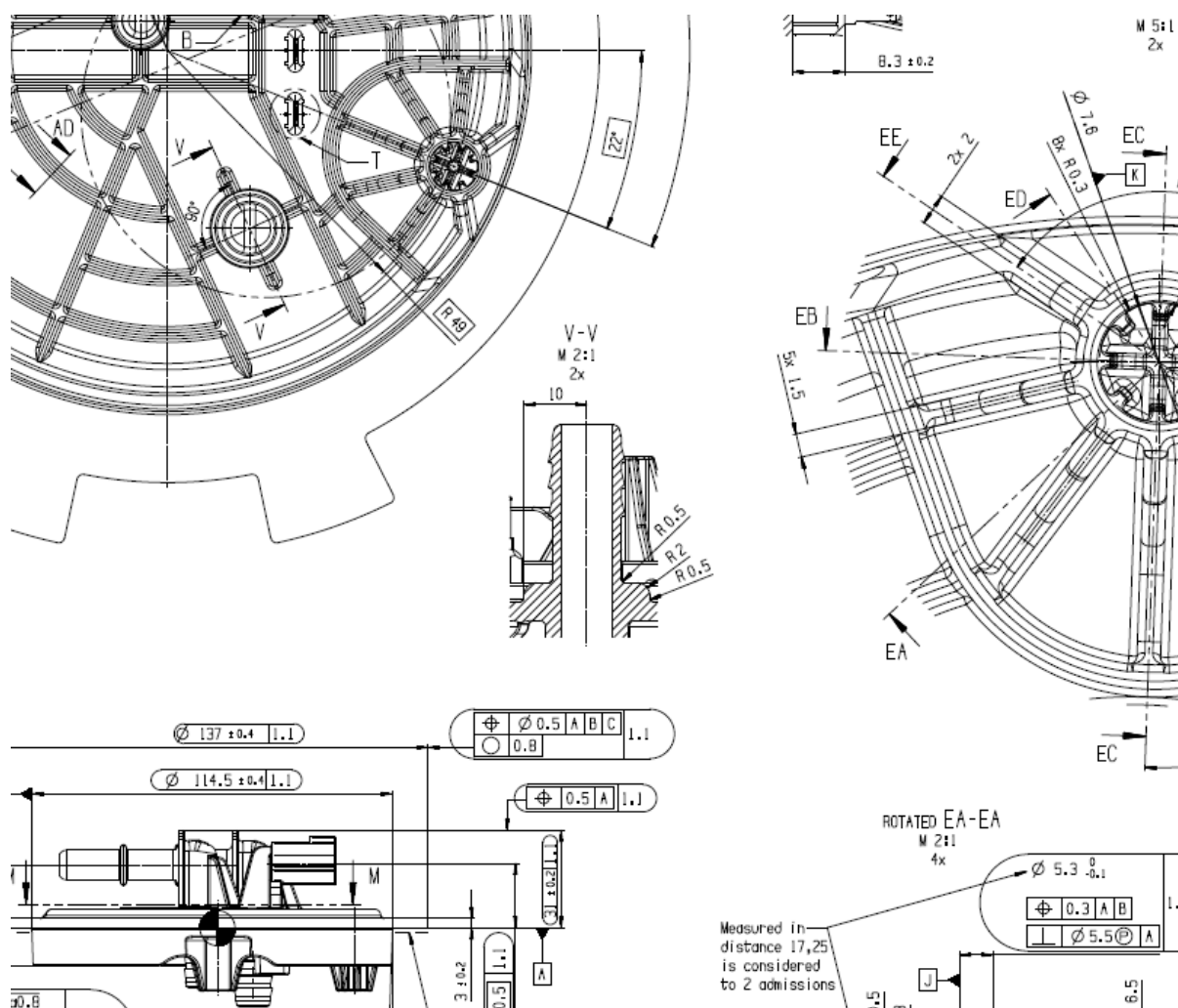
<p>Čas dávkování skutečný</p>		<p>☹️ 9,17 s</p>
<p>Čas cyklu skutečný</p>		<p>☹️ 45,82 s</p>
<p>Vstrikovací tlak max hodnota skutečný</p>		<p>☹️ 125,43 bar</p>
<p>Maximální tlak ve formě skutečný</p>		<p>☹️ 465,38 bar</p>
<p>Vstrikovací tlak při přepnutí skutečný</p>		<p>☹️ 125,43 bar</p>
<p>Čas vstřiku skutečný</p>		<p>😊 2,54 s</p>
<p>Přepnutí od tlaku ve formě skutečný</p>		<p>😊 200,03 bar</p>

Obr. 23 Změřené parametry vstřikování hrnce na hybridním vstřikolisu [3]

## 5 Výsledky rozměrových a CT analýz

Informace o rozměrech jednotlivých částí dílu jsou uvedeny ve výkresu. Výřez z výkresu je vidět na Obr. 24. Oddělení kvality QMM a zákazník definuje, které rozměry je nutné pravidelně sledovat a měřit. Tyto rozměry včetně tolerancí jsou používány ve vyhodnocovacím software. Na výkresu je uvedena odchylka, ve které se rozměr může pohybovat. Výkres obsahuje stovky rozměrů a údajů, které je potřeba dodržet zejména při výrobě formy pro daný díl.

Pro vyhodnocení našeho procesu bylo vybráno několik základních rozměrů. Výsledky rozměrových zkoušek vyrobených dílů z hydraulické i hybridním stroje jsou v mezích tolerancí. Rozdílné vstřikovací jednotky nemají zásadní vliv na rozměry příruby či hrnce.



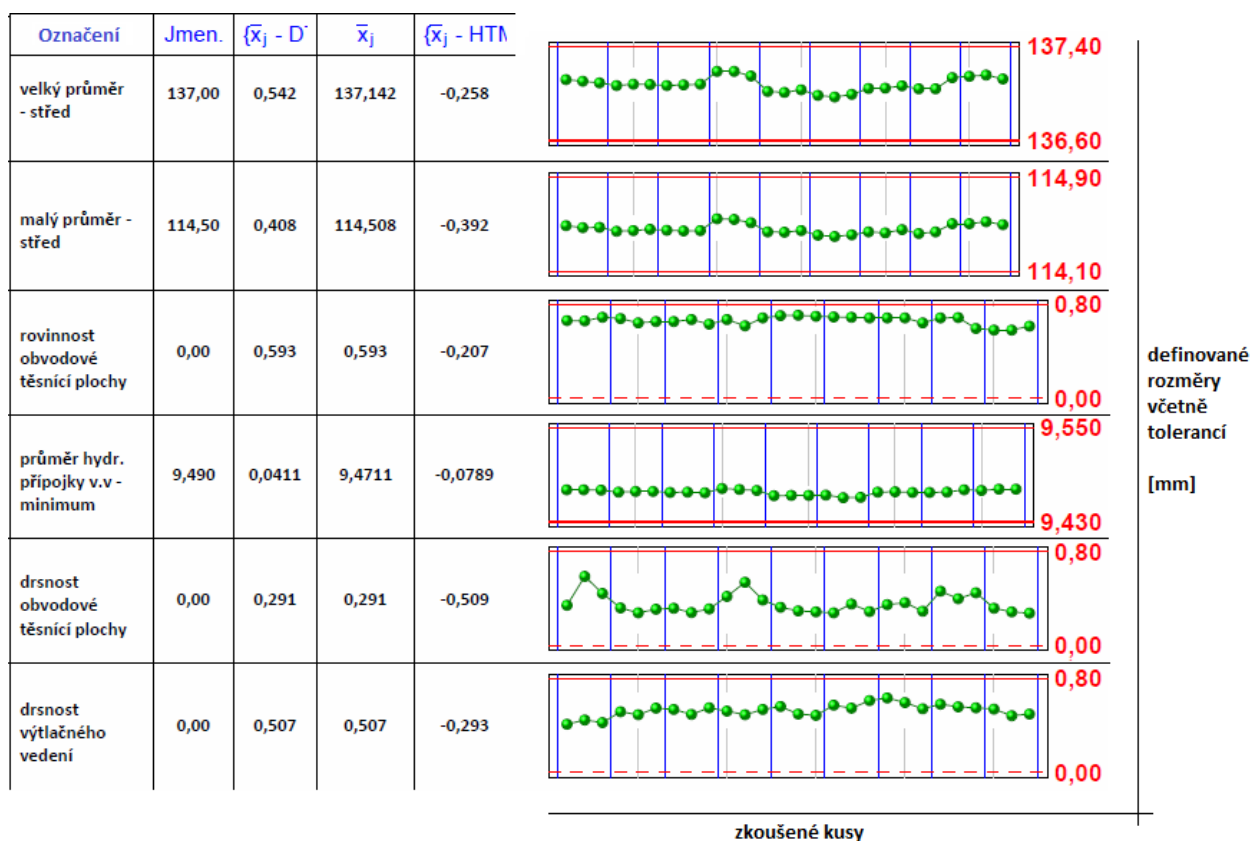
Obr. 24 Výřez z výkresu příruby. [3]

## 5.1 Výsledky rozměrových zkoušek příruby

Na obrázcích Obr. 25 a Obr. 26 jsou vidět výsledky a hodnoty z měření základních rozměrů příruby. Vyhodnocení je prováděno pomocí software chy.stat od firmy Diribet s.r.o. Všechny změřené hodnoty jsou v rámci tolerancí a jejich rozptyl je minimální. Tyto výsledky ukazují, že není zásadní rozdíl mezi oběma porovnávanými typy strojů. S ohledem na výstup ze systému sběru dat chy.stat jsou výsledky přiloženy v původních formátech.

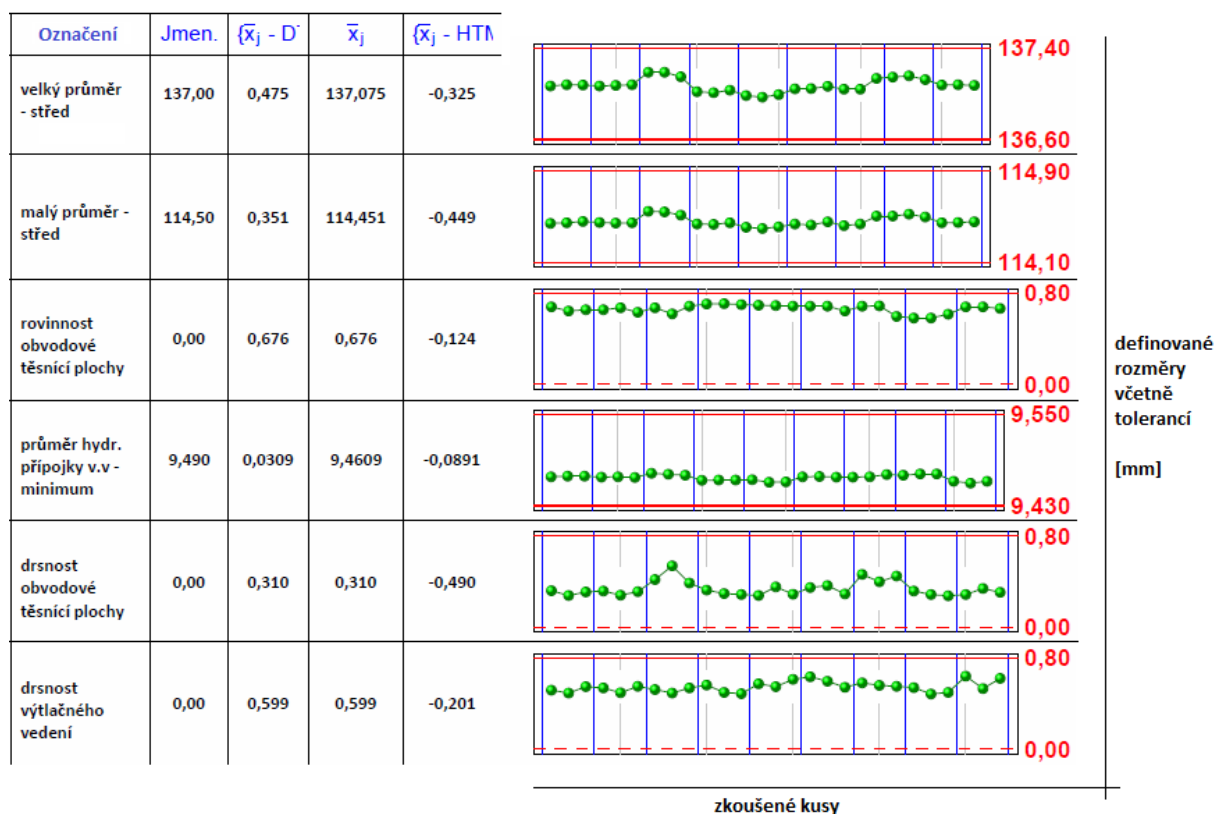
Popis sloupců:

- Označení – název měřeného rozměru
- Jmen – jmenovitá hodnota rozměru dle výkresu
- $\{\bar{X}_j - D\}$  – průměrná hodnota odchylky od dolní meze
- $\bar{X}_j$  – průměrná hodnota rozměru
- $\{\bar{X}_j - HTM\}$  – průměrná hodnota odchylky od horní meze

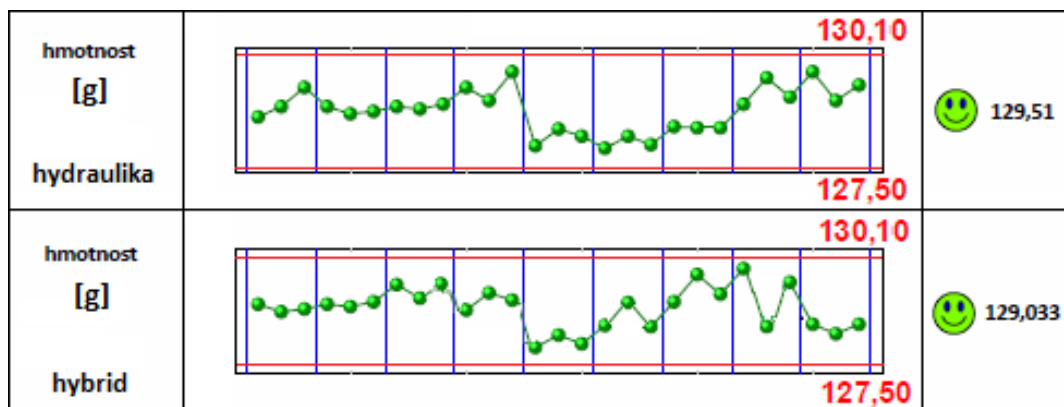


Obr. 25 Změřené rozměry příruby z hybridního stroje [3]

Změřených parametrů jsou desítky a pro naši potřebu byly vybrány jen ty, na které může mít zásadní vliv nastavení vstřikovacích parametrů. I přes nepřesné výsledky parametrů vstřiku u hydraulického stroje rozměry příruby zůstaly v nastavených mezích. Hmotnosti přírub byly také bez problémů, jak je vidět na obrázku Obr. 27



Obr. 26 Změřené rozměry příruby z hydraulického stroje [3]

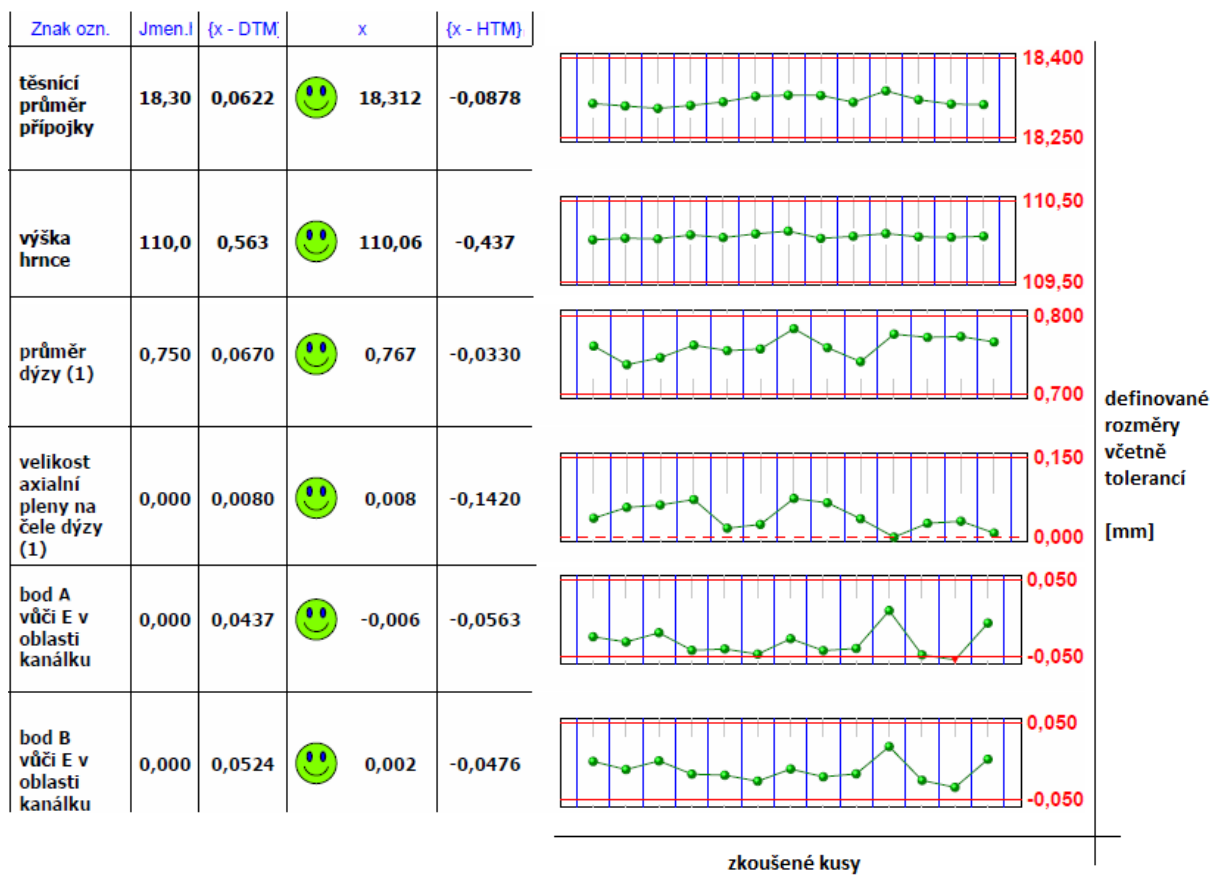


Obr. 27 Změřené hmotnosti přírub v gamech [3]



## 5.2 Výsledky rozměrových zkoušek hrnec

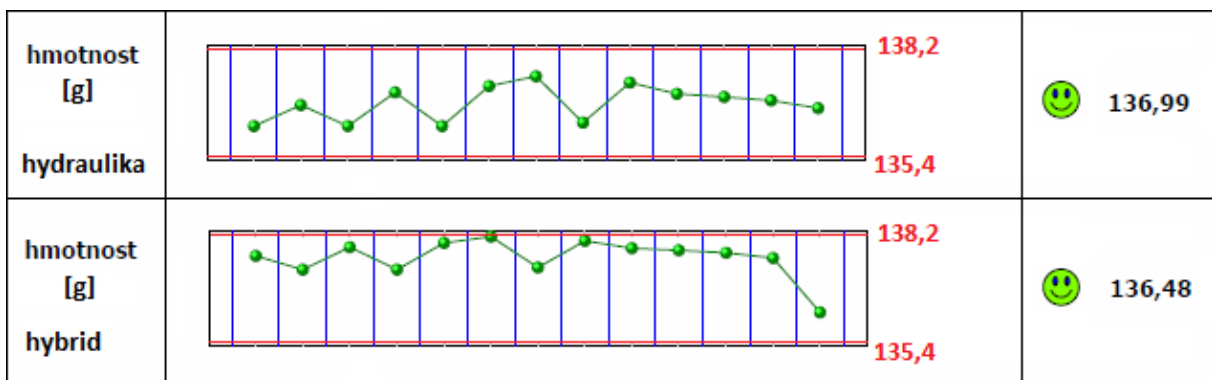
Změřené rozměry u hrnců byly v tolerancích a žádný z rozměrů nevykázal vysoký rozptyl. I přes nepřesné výsledky parametrů vstřiku na obou strojích se podařilo správně naplnit kavitu a dosáhlo se bezvadných hodnot jednotlivých rozměrů. Výsledky změřených rozměrů a hmotnosti jsou na obrázcích Obr. 28, Obr. 29 a Obr. 30. S ohledem na výstup ze systému sběru dat chy.stat jsou výsledky přiloženy v původních formátech.



Obr. 28 Změřené rozměry hrnce z hybridního stroje [3]



Obr. 29 Změřené rozměry hrnce z hydraulického stroje [3]

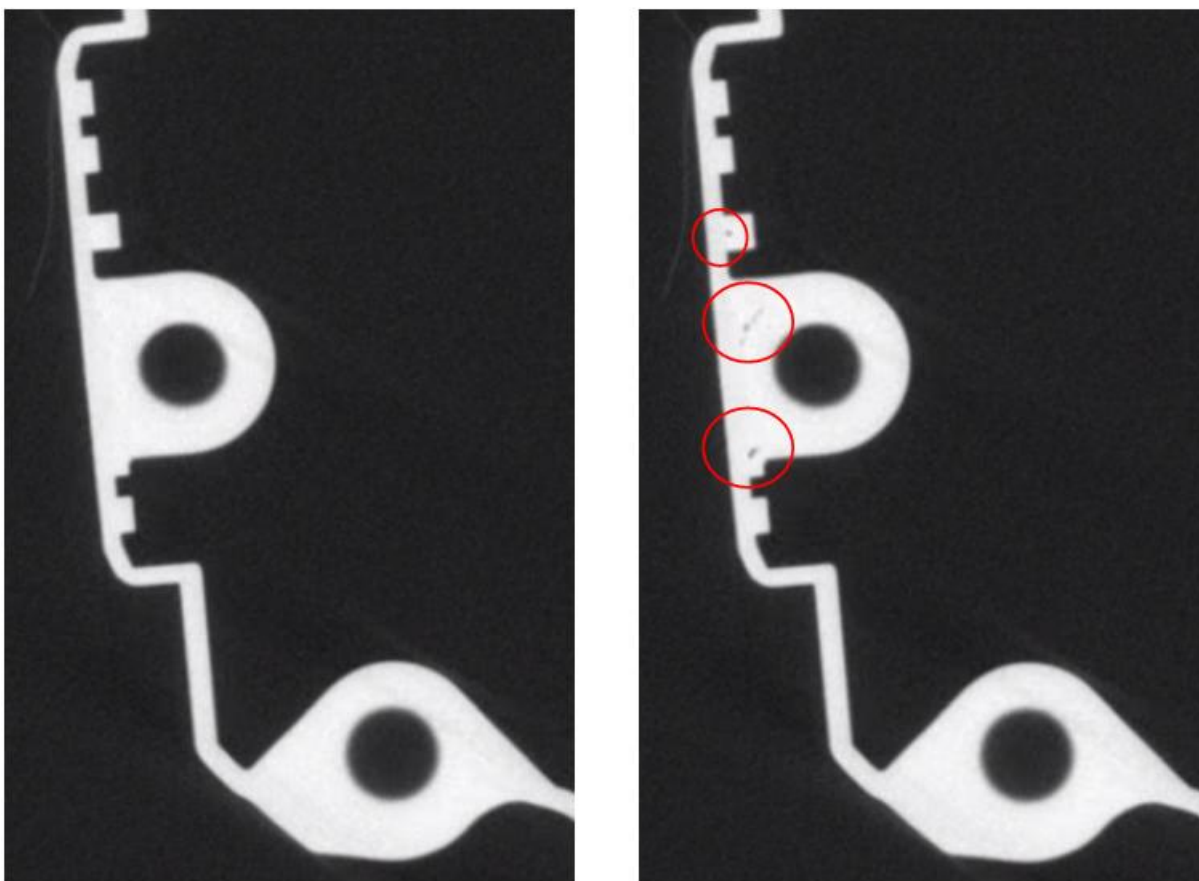


Obr. 30 Změřené hmotnosti hrnců v gramech [3]

### 5.3 Výsledky CT analýz

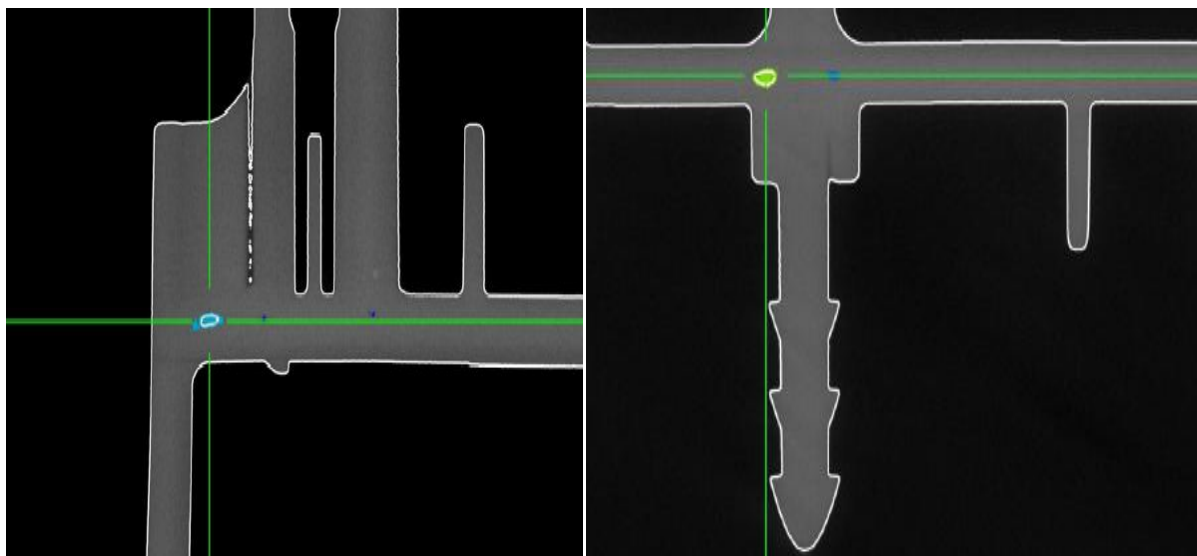
Výsledek CT analýzy hrnce ukázal na nedostatky v nedostříknutí dílů na hydraulickém stroji. Na obrázku Obr. 31 je vidět chybějící materiál okolo otvoru vodící tyče. Tento nedostatek byl způsoben nepřesnou regulací některého z parametrů vstřiku. Pokud bychom upravili při výrobě vstřikovací parametry, aby byly v nastavených mezích, tato vada by se neprojevila.

U hybridního stroje se nedostatek neprojevil, i když nebyly některé parametry vstřiku v tolerancích. U CT analýz se ukázal rozdíl v preciznosti regulace a hydraulický stroj nevyhověl stanoveným kritériím.

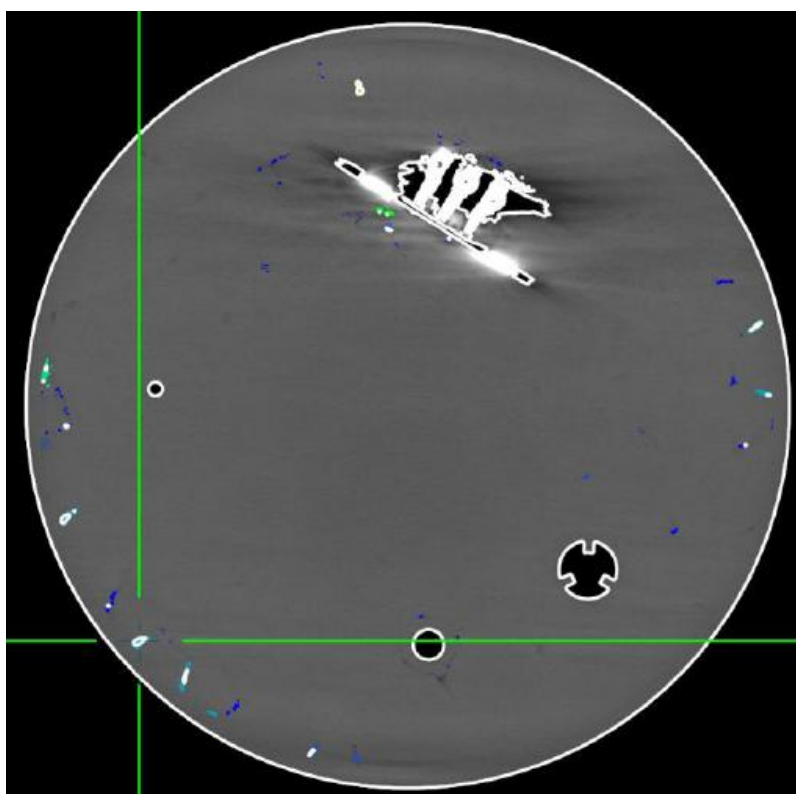


Obr. 31 Porovnání CT analýzy. Vlevo CT z hybridního stroje, vpravo CT z hydraulického stroje [3]

CT analýza příruby opět objevila nedostatky v nedostříknutí dílů na hydraulickém stroji. Na obrázcích Obr. 32 a Obr. 33 je vidět chybějící materiál u těsnící části příruby způsobený nepřesnou regulací parametrů vstřiku. U příruby vyrobené na hybridním stroji se tento nedostatek neprojevil, CT analýza byla v pořádku.



Obr. 32 CT scan příruby, chybějící materiál [3]



Obr. 33 CT scan příruby, chybějící materiál na těsnících plochách [3]

## 6 Výběr vstřikovacího stroje

Pro výběr vstřikovacího stroje je potřeba nejdříve přesně zmapovat díl, který se bude vyrábět. Na základě parametrů vyráběného dílu lze doporučit, jaký vstřikolis koupit. Pokud jde o výrobu malých dílů do hmotnosti 100g, je hybridní stroj zcela jasnou volbou. Zejména rychlá a velice přesná regulace vstřikovacích parametrů předurčuje hybridní stroj pro použití na výrobu malých a přesných výrobků. Pokud se budou vyrábět větší díly nad 100g, je otázkou pořízení stroje čistě technicko-ekonomickou záležitostí. Ceny hybridních vstřikolisů se dnes vyrovnaly cenám hydraulických lisů a díky tomu je kvůli nižším budoucím nákladům ekonomicky výhodnější hybridní stroj.

Jestliže se podíváme na porovnání strojů po stránce poruch a výměny dílů, je hybridní stroj jednodušší na opravu. Výměna servomotorů či servoměníčů je časově nenáročná a odpadá nutnost složitých kalibrací po výměně součástí. Jde o „čistou“ práci a není potřeba speciálních pomůcek. Po výměně vadných dílů je možné vstřikolis ihned používat. U hydraulického stroje je po výměně například proporcionálního ventilu potřeba jej kalibrovat a vyladit regulaci dotčeného válce. U hydraulického stroje je také díky úniku oleje při výměně porouchaných dílů potřeba následně zajistit ekologickou likvidaci vyteklého oleje a použitých znečištěných pomůcek.

Další náklady spojené s provozem vstřikolisů jsou například olejové hospodářství a nutnost pravidelných výměn hydraulických hadic v intervalu šesti let. U hybridního stroje odpadá výměna hydraulických hadic na vstřikovací jednotce a tím se šetří náklady na provoz. Spotřeba oleje u hybridního stroje je menší, tudíž není potřeba mít objemné zásoby. Na základě analýz oleje probíhá jeho výměna v rozmezí 5-10 let. U hydraulických strojů je větší množství možných úniků oleje. Ztráty oleje (lekáž) jsou nákladné, například 50 úniků s jednou kapkou za 5 sekund může způsobit roční ztrátu cca 10 000 litrů oleje.

Rozdíl je také v energetické náročnosti chlazení vstřikolisů, zejména oleje. Pro chlazení se používá externí chladicí okruh, který musí být dimenzován tak, aby zvládl uchladit všechny vstřikolisy v závodě. Čím menší bude objem chlazeného oleje, tím menší bude spotřeba energie na chlazení.

Porovnání výhod a nevýhod vstřikovacích jednotek hybridního a hydraulického stroje.

- Hybridní vstřikolis:**
- + Rychlá a přesná regulace nastavených parametrů vstřikování
  - + Přesnější dávkování, čímž se snižuje spotřeba materiálu
  - + Pouze jeden hydraulický ventilový blok, jedna olejová nádrž
  - + Méně hydraulických hadic
  - + Menší spotřeba hydraulického oleje
  - + Ekologičtější provoz
  - + Možnost rekuperace brzděné síly na elektrickou energii
  - + Sledování spotřeby energie v přepočtu na hmotnost výrobku
  - + Tichý chod stroje
- 
- Vyšší pořizovací náklady
  - Nákladnější náhradní díly na případné opravy



Obr. 34 Pohled na hybridní vstřikovací jednotku. [2]

**Hydraulický vstříkolis:**

- + Nižší prvotní pořizovací náklady
- + Dokáže pracovat s daleko vyššími tlaky
  
- Horší přesnost a rychlost v regulaci parametrů
- složitější PLC řízení, více analogových převodníků
- Nutnost bezpečnostních ventilů
- Nutnost kalibrace proporcionálních ventilů
- Velké množství oleje, více olejových nádrží
- Nákladnější opravy válců a ventilů
- Vyšší energetická náročnost
- Neekologický provoz a vysoká hlučnost



**Obr. 35** Pohled na hydraulickou vstříkovací jednotku [2]

## 7 Závěr

Technologie procesu vstřikování plastů je velice složitá a komplexní činnost. Na začátku této práce byl požadavek výrobního, technického a nákupního oddělení na porovnání výroby dvou hlavních plastových výrobků firmy RBCB, příruby a hrnce, na hybridním a hydraulickém vstřikolisu. Cílem práce bylo porovnat vstřikovací jednotky těchto lisů a proces vstřikování těchto výrobků.

V teoretické části byl všeobecně popsán vstřikovací proces a řídicí jednotka vstřikolisu. Dále pak byly popsány hlavní rozdíly mezi hybridní a hydraulickou vstřikovací jednotkou. Byly popsány měřicí metody a rozměrové analýzy, které se standardně provádějí u sériové výroby.

V praktické části byly vyrobeny díly dle zadání. Aby bylo možné porovnat vstřikování na obou strojích, vycházelo se ze základních vstřikovacích parametrů stanovených u vstřikovací studie. To umožnilo rychle vystříknout díly na obou strojích, bez nutnosti úpravy testování správných parametrů. Důsledkem bylo, že ne všechny parametry byly v mezích tolerance. Byly provedeny rozměrové a CT analýzy, které odhalily některé vady výrobků, zejména u hydraulického stroje.

Na začátku této práce nebyla v RBCB žádná podobná práce vypracována a nebyly popsány rozdíly mezi dvěma typy vstřikovacích strojů. Díky této práci vznikl dokument popisující rozdíly, které přináší hybridní a hydraulická vstřikovací jednotka. Pro správný výběr vstřikovacích strojů existuje spousta argumentů, které je potřeba na začátku projektů zohlednit. V kapitole 6 Výběr vstřikovacího stroje byly popsány hlavní výhody a nevýhody obou typů vstřikolisů. Pro potřebu výroby v RBCB je z hlediska funkčnosti lepším strojem hybridní vstřikolis. Z výsledků mé práce doporučuji nákup hybridního vstřikolis.

Lidem, kteří se s procesy zpracování plastů a konstrukcí vstřikolisů teprve seznamují, tato práce přinese první, základní náhled do této problematiky a v základní rovině oblast vstřikování plastů a vstřikovacích strojů objasní. Možností rozšíření této práce je analýza celkových finančních nákladů, které vzniknou po dobu životnosti stroje nebo výroby daného dílu.



## 8 Literatura

- [1] Robert Bosch spol. s r.o., „Robert Bosch,“ 20 4 2015. [Online]. Available: <http://www.bosch.cz/cb>. [Přístup získán 20 4 2015].
- [2] Harald Pichler, Operator Manual - Maschine ENGEL, Schwertberg, 2014.
- [3] RBCB, „Interní elektronický systém sběru dat,“ 2015.
- [4] Robert Bosch, „Interní Bosch sešit č.8,“ Stuttgart, 2001.
- [5] „Počítačová tomografie - Wikipedie,“ 43 2015. [Online]. Available: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Pocitacova\\_tomografie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Pocitacova_tomografie). [Přístup získán 3 4 2015].
- [6] V. Čížek, „Diplomová práce - Návrh a výroba plastové součásti,“ České Budějovice, 2012.
- [7] Robert Bosch, „AK204 Geometrical Product Specification - FLT-Huellprinzip\_bei\_Bosch\_CZ.docx,“ 2014.
- [8] „Pohonná technika,“ 1 4 2015. [Online]. Available: <http://www.pohonnatechnika.cz/obvykle-otazky/brzdovy-odpor>. [Přístup získán 1 4 2015].
- [9] L. Zeman, Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů, 1. vydání editor, Praha: BEN - technická literatura, 2009.
- [10] J. Kolouch, Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním, Praha: SNTL, 1986.
- [11] Maňas, M., Tomis, F., Výrobní stroje a zařízení I, Brno: VUT Brno, 1987.
- [12] Maňas, M., Helštýn, J., Výrobní stroje a zařízení II, Brno: VUT Brno, 1990.