



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **NÁVRH KONSTRUKCE A TECHNOLOGIE VÝROBY FORMY PRO PŘESNÉ LITÍ**

THE DESIGN AND TECHNOLOGY OF A MOLD PRODUCTION FOR THE PRECISION  
CASTING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**DANIEL KOPCÍK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Daniel Kopcík

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Návrh konstrukce a technologie výroby formy pro přesné lití**

v anglickém jazyce:

### **The design and technology of a mold production for the precision casting**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh konstrukce a technologie výroby formy pro přesné lití, technologická příprava výroby, experimentální ověření.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.

Teoretický rozbor problému.

Návrh experimentálních zkoušek.

Realizace experimentů, jejich statistické vyhodnocení.

Diskuze.

Závěry.

Seznam odborné literatury:

TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. 1st edition. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

DeGarmo, P.E., Black, J.T., Kohser, R.A. Materials and Processes in Manufacturing. John Wiley and Sons. 2012. 11th edition. 1184 s. ISBN-13 978-0-470-92467-9.

Kramar, D., Kopac, J. High Performance Manufacturing Aspect of Hard-to Machine Materials. Advances in Production Engineering & Management. s. 1-14. 2009. SSN 1854-6250.

Schrader, G.F., Elshennawy A.K., Doyle, L.E. Manufacturing processes and materials. [cit. 10. listopadu 2012]. Dostupné na World WideWeb: [http://books.google.cz/books?id=Nz2wXvmkAF0C&pg=PT214&dq=metal+casting+materials+isbn&hl=cs&ei=bnLJTSD1Mlr1sgbtoejqBg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=3&ved=0CEgQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cz/books?id=Nz2wXvmkAF0C&pg=PT214&dq=metal+casting+materials+isbn&hl=cs&ei=bnLJTSD1Mlr1sgbtoejqBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CEgQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false)

Bradfield, D., Gao, J.X. A methodology to facilitate knowledge sharing in the new product development process. International Journal of Production Research, Vol. 45 No.7, pp.1489-504.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

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

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Teoretická část této práce popisuje základní charakteristiky technologie přesného odlévání metodou vytavitelného modelu. Popisuje jednotlivé fáze procesu odlévání od zadání součástky až po odlití modelu s hlavním zaměřením na výrobu forem pro voskové modely, materiály používané na formovacie zmesi a přesnost odlitkov dosahovanou při přesném odlévání. Experimentální část obsahuje návrh formy pro dvě zadané součástky zákazníkem s hlavním zaměřením na návrh odlitku, formy pro voskový model, vytvoření programu na řízení CNC stroje, na kterém bude forma vyráběná, volbu formovací zmesi formy a popis samotného odlévání. Experiment je zakončen stručným popisem zkoušky odlévání a vyhodnocením kvality a přesnosti odlitkové součástky.

### Klíčové slova

přesné odlévání, voskový model, odlitok, forma

## ABSTRACT

The theoretical part of this bachelor's thesis describes basic attributes of the lost wax casting method. The aforementioned section describes casting stages from component assignment to model casting, with the main concern of making wax model moulds, materials employed for moulding mixtures and casting accuracy achieved by precise casting. The experimental part begins with mould design for two components set by a customer, continues with focusing on design of casting and wax model mould. This is followed with creation of the CNC machine control program as well as choice of the moulding mixture and finally description of such casting. The experimental section is concluded by brief description of casting test and evaluation of the quality and accuracy of cast parts.

### Key words

precision casting, wax model, casting, mold

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPCÍK, Daniel. *Návrh konstrukce a technologie výroby formy pro přesné lití*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 48 s. 13 příloh. prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

**PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Návrh konstrukce a technologie výroby formy pro přesné lití** vypracoval(a) samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

---

21.5.2013

Dátum

---

Daniel Kopicík

**POĎAKOVANIE**

Ďakujem týmto svojmu konzultantovi prof. Ing. Miroslavovi Píškovi, CSc. za odborné vedenie, množstvo cenných rad a pripomienok pri vypracovaní bakalárskej práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PREHLÁSENIE.....	5
POĎAKOVANIE .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 PRESNÉ ODLIEVANIE .....	10
1.1 Všeobecne o odlievaní .....	10
1.2 Podstata presného odlievania.....	10
1.3 Vzorové odliatky presného odlievania .....	10
1.4 Pracovný postup výrobnéj technológie.....	11
1.5 Popis procesov presného odlievania .....	12
1.5.1 Výroba voskových modelov .....	12
1.5.2 Zostavenie voskových modelov.....	12
1.5.3 Obaľovanie modelov a tvorba škrupiny formy.....	13
1.5.4 Sušenie škrupiny .....	13
1.5.5 Vytavovanie voskových modelov.....	14
1.5.6 Žihanie škrupiny .....	14
1.5.7 Odlievanie .....	15
1.5.8 Odstraňovanie škrupiny formy .....	15
1.5.9 Oddeľovanie odliatkov z vtokovej sústavy a oddeľovanie vtokov z odliatkov..	16
1.5.10 Dokončovacie operácie a kontrola.....	16
1.6 Výroba foriem na voskové modely.....	17
1.6.1 Výroba obrábaním .....	17
1.6.2 Tvorba 3D modelov .....	19
1.6.3 Programovanie CNC podľa 3D modelov .....	20
1.7 Materiály formovacích zmesí .....	20
1.7.1 Formovacie piesky .....	21
1.7.2 Spojivá .....	22
1.7.3 Pomocné formovacie látky .....	22
1.8 Presnosť odliatkov odlievajúcich metódou vytaviteľného modelu .....	23
1.8.1 Presnosť odlievania všeobecne .....	23
1.8.2 Presnosť metódy vytaviteľného modelu .....	24
2 NÁVRH FORMY PRE DANÉ SÚČIASTKY .....	25
2.1 Cieľ experimentu .....	25

2.2	Zadanie súčiastok.....	25
2.3	Návrh odliatkov podľa zadanej súčiastky.....	25
2.3.1	Voľba technologických rádiusov a prídavkov.....	25
2.3.2	Určenie vtokov odliatkov.....	27
2.4	Konštrukcia formy na voskový model.....	29
2.4.1	3D modely odliatkov.....	30
2.4.2	Vonkajšie rozmery formy.....	31
2.4.3	3D model formy na voskový model.....	31
2.5	Výroba formy na voskové modely.....	34
2.5.1	Úprava polotovaru na základný rozmer.....	35
2.5.2	Program pre riadenie CNC obrábacieho centra.....	35
2.5.3	Obrobenie doplnkových prvkov formy.....	36
2.5.4	Montáž formy.....	36
2.5	Odstrekovanie voskových modelov.....	36
2.6	Výroba škrupiny formy.....	37
2.7	Odlievania.....	38
3	VYHODNOTENIE NÁVRHU FORMY A KONTROLA ODLIAKOV.....	40
3.1	Odlievania.....	40
3.2	Kontrola odliatku.....	40
3.2.1	Kontrola geometrickej presnosti.....	40
3.2.2	Kontrola vnútorného stavu.....	41
4	DISKUSIA.....	42
4.1	Porovnanie technológií výroby.....	42
4.2	Zhodnotenie navrhovaných technológií výroby.....	43
4.3	Výber najvhodnejšej technológie výroby.....	44
	ZÁVER.....	45
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....	46
	ZOZNAM PRÍLOH.....	47



## ÚVOD

Technológia odlievania patrí už od dávna medzi najdôležitejšie technológie výroby. Poskytuje možnosť výroby najrôznejších tvarov z najrôznejších materiálov a zároveň umožňuje rýchlu a kvalitnú výrobu veľkého množstva rovnakých súčiastok. Počas mnohoročného vývoja sa postupne rozvíjala do rôznych druhov, ktoré sa zameriavali na špecifickejšie tvary, materiály alebo kvality.

Jednou z nich je aj technológia presné odlievanie metódou vytaviteľného modelu, ktorá je jednou z najpresnejších z technológií odlievania. Historické korene vytaviteľného modelu siahajú až do starej Číny, Egypta a iných krajín s dlhou históriou. Ich základom bol ručne vyrábaný model z včelieho vosku, ktorý tiež ručne obaľovali formovacími hmotami, najčastejšie vypaľovanými hlinami. Z dávnych spôsobov používania voskových modelov sa však využíva len základný princíp. Postupne sa časom jednotlivé kroky spôsobu výroby zdokonaľovali. Začali sa používať kvalitnejšie voskové zmesi, presnejšie voskové modely, modely sa začali obaľovať do kvalitných žiaruvzdorných zmesí a pod. Tým bolo umožnené odlievať viac druhov materiálu a odlievať zložitejšie tvary. Kvalita a presnosť sa mnohonásobne oproti prvotným spôsobom zlepšila a vďaka dosahovaným presnostiam nahrádza niektoré spôsoby z trieskových technológií obrábania.

Veľký význam má aj pokrok vo výrobe foriem na voskové modely, ktorý priamo ovplyvňuje kvalitu voskových modelov a ďalej aj kvalitu odliatku. Je zrejmé, že na samých začiatkoch, keď sa formy na voskové modely vyrábali ručne, neboli veľmi presné a dosahované akosti povrchu boli neporovnateľne horšie s tými dnešnými. Postupne sa však z ručných metód vyvinuli dnešné metódy ako konvenčné obrábanie pre jednoduché tvary, obrábanie pomocou CNC strojov, určené hlavne pre zložité tvary alebo iné progresívne metódy, ktoré sú stále vo vývoji.

V súčasných vyvinutých metódach sú však stále nedostatky, a pravdepodobne sa v ďalších rokoch bude stále posúvať vpred a ponúkať nové možnosti.

## 1 PRESNÉ ODLIEVANIE

### 1.1 Všeobecne o odlievaní

Výroba súčiastok odlievaním je v súčasnosti dôležitá a veľmi rozšírená. Poskytuje možnosť zvyšovať produktivitu, a zároveň znižovať výrobné náklady. Odlievanie bolo súčasťou výroby súčiastok od čias kedy bolo možné taviť jednotlivé materiály a postupom času sa stále zdokonaľovalo. V dnešnej dobe sú možnosti tejto technológie výroby veľmi široké. Dá sa povedať, že je používaná na výrobu dielov vo všetkých odvetviach či už ide o diely v rôznych špeciálnych zariadeniach v medicíne, diely používané v automobilovom alebo strojárskom priemysle alebo o bežne používané veci okolo nás, ktoré môžeme vidieť naozaj všade. Preto sa táto technológia výroby rozvinula do rôznych typov, ktoré sa od seba líšia napr. svojou komplikovanosťou, dostupnosťou, výrobnými nákladmi a pod. Použitie jednotlivých typov závisí od rôznych faktorov ako napr. veľkosť odliatku, zložitosť jeho tvarov, materiál odliatku a v našom prípade veľmi dôležitá požadovaná presnosť rozmerov odliatku, ktorú dosiahneme presným odlievaním.

### 1.2 Podstata presného odlievania

Presné odlievanie sa dá charakterizovať ako výrobná technológia, ktorá poskytuje výrobu jednoduchých, ale hlavne tvarovo zložitých súčastí. Hlavnou prednosťou tejto technológie je, že súčasti možno odliat' s vysokou geometrickou presnosťou a kvalitou povrchu. Vďaka týmto vlastnostiam už nebývajú nutné dokončovacie operácie. V prípade potreby dosiahnutia ešte väčšej presnosti a kvality povrchu sa na opracovávané plochy pridávajú prídavky na opracovanie. Tie vzhľadom na presnosť technológie bývajú malé, čo skraca dobu potrebnú na opracovanie, a tým je zároveň aj menšia spotreba nástrojov, čo má celkový vplyv na výrobné náklady [1].

### 1.3 Vzorové odliatky presného odlievania

Odliatky sú obmedzené na veľkosť. Väčšina zlievarní ponúka možnosť odlievať súčiastky približne do hmotnosti 10kg (vid' obr. 1.1).



Obr. 1.1 Príklad presného odliatku [7].

Často sa vyskytujú požiadavky na tvary, ktoré v sebe zahŕňajú vnútorné dutiny. Tieto prvky komplikujú výrobu foriem na voskové modely. Formy sa musia riešiť pomocou skladaných voskových modelov, vyplaviteľnými jadrami alebo v krajnom prípade skladaním jednotlivých častí už odliatej súčiastky (vid' obr. 1.2).



*Obr. 1.2 Príklad presného odliatku [8].*

#### **1.4 Pracovný postup výrobnéj technológie**

Pre zhotovenie kvalitného odliatku je potreba, aby jednotlivé operácie procesu boli prispôsobené tvaru odliatku, jeho materiálu, požadovanej kvalite a iným faktorom. Táto výrobná technológia spravidla pozostáva z niekoľkých základných operácií [1]. Medzi tieto operácie patrí:

- výroba voskových modelov;
- zostavenie voskových modelov;
- obaľovanie modelov a tvorba škrupiny formy;
- sušenie škrupiny;
- vytavovanie voskových modelov zo škrupiny;
- žíhanie škrupiny;
- odlievanie;
- odstraňovanie škrupiny formy;
- oddeľovanie odliatkov z vtokovej sústavy a oddeľovanie vtokov z odliatkov;
- dokončovacie operácie a kontrola [1].

## 1.5 Popis procesov presného odlievania

### 1.5.1 Výroba voskových modelov

Voskové modely sú prvým a veľmi dôležitým medzivýstupom pri výrobe formy, od ktorého sa ďalej odvíja kvalita odliatku. Sú kópiou tvaru výstupnej súčiastky. Zahŕňajú v sebe zmrštenie vosku a materiálu odliatku a obsahujú ďalšie konštrukčné prvky ako napr. vtoky, poprípade náliatky, ak sú potrebné. Odlievajú sa do vopred zhotovených foriem, ktoré sa vyrábajú obrábaním, odlievaním, modelovaním a pod. (viď obr. 1.3). Voskové modely sa odlievajú dvoma spôsobmi:

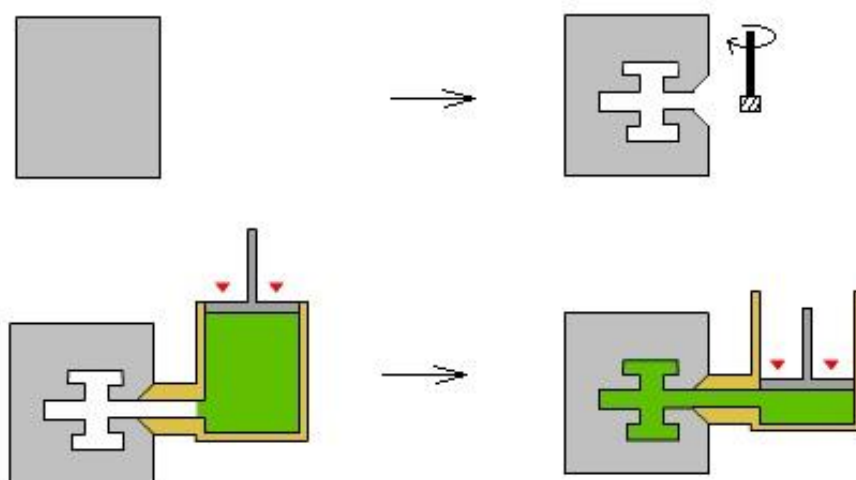
#### a) vstrekaním do formy

- je to hlavná a najpoužívanejšia metóda výroby voskových modelov.

Na vstrekovanie sa používajú špeciálne lisy;

#### b) gravitačným odlievaním do formy

- táto metóda výroby nie je už moc používaná. Používa sa hlavne na výrobu pomocných modelov ako sú napr. vtoky, náliatky a pod. [1].



Obr. 1.3 Výroba formy na voskový model a vstrekovanie vosku [1].

### 1.5.2 Zostavenie voskových modelov

Voskové modely sa vyrábajú väčšinou jednotlivo. V závislosti na veľkosti a tvare odliatkov rozlišujeme dva druhy zostavovania:

#### a) zostavenie samotných modelov

- používa sa iba pri veľkých, rozmerných odliatkoch. Na tieto modely sa zvlášť pripájajú vtokové sústavy a náliatky;

#### b) zostavenie modelov do stromčekov

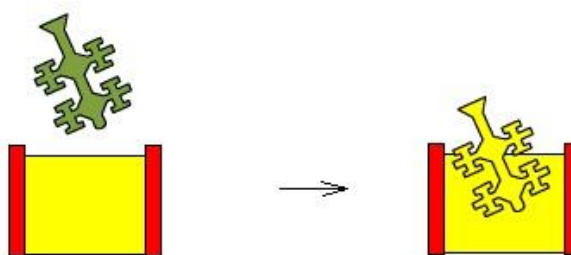
- týka sa malých súčiastok, ktoré sa pripájajú na tzv. koly. Tie majú prispôbený tvar na vlievanie kovu. Samotné voskové modely sa na koly pripájajú lepením alebo spájkovaním (viď obr. 1.4) [1].



Obr. 1.4 Tvorba vtokových sústav [1].

### 1.5.3 Obaľovanie modelov a tvorba škrupiny formy

Výroba foriem metódou vytaviteľného modelu je odlišná od ostatných druhov odlievania. Kvalitná keramická škrupina je rozhodujúcim faktorom pri presnom odlievaní. Na vytvorenie škrupiny sa používajú kašovité formovacie zmesi, ktoré sú zložené z práškovej hmoty, žiaruvzdornej hmoty (  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrSiO}_4$ ,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  ) a väzobnej kvapaliny. Pri metóde vytaviteľného modelu vzniká celistvá škrupina formy, ktorá sa zhotoví okolo celého voskového modelu stromčeku. Škrupina vzniká postupným namáčaním stromčekov do obalovej hmoty a posypávaním žiaruvzdorným materiálom (viď obr. 1.5). Cyklus obaľovania musíme opakovať dovtedy, kým nemá škrupina formy požadovanú hrúbku [1], [2].



Obr. 1.5 Výroba škrupiny formy [1].

### 1.5.4 Sušenie škrupiny

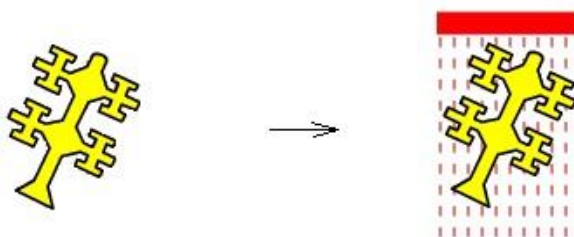
Sušenie škrupiny sa v praxi realizuje dvoma spôsobmi:

a) *klasické sušenie*

- prebieha v klimatizovaných priestoroch pri teplote 20 až 24°C a vlhkosti 50 až 70% (viď obr. 1.6);

b) *chemické tvrdenie obalu*

- je to moderný spôsob urýchlenia vysušenia formy pomocou alkalicky reagujúcich látok ( najčastejšie čpavok ) [1].



Obr. 1.6 Sušenie škrupiny formy [1].

### 1.5.5 Vytavovanie voskových modelov

Po dosiahnutí požadovanej hrúbky škrupiny, jej stuhnutí a vysušení je nutné odstrániť vosk z jej dutiny (viď obr. 1.7). Vytavenie modelov musí prebehnúť rýchlo, aby sa zabránilo rozťahovaniu modelu, čo by mohlo spôsobiť popraskanie škrupiny formy.

Na vytavovanie voskových modelov sa používa niekoľko spôsobov:

a) *v autokláve*

- vytavovanie tepelným šokom prehriatou parou. Je to výhodný spôsob vytavovania, a to z dôvodu menších strát modelového vosku a menšieho počtu popraskaných škrupín foriem;

b) *za vysokých teplôt*

- za teploty 900 až 1000°C. Dochádza k stratám vosku 10 až 15%. Vďaka teplote je spojené vytavenie a vypálenie formy;

c) *za nízkej teploty v rovnakej hmote ako je hmota samotného modelu;*

d) *dielektrický ohrev pomocou poľa vysokofrekvenčných oscilácií [1].*



Obr. 1.7 Odstraňovanie vosku z dutín vytavovaním [1].

### 1.5.6 Žihanie škrupiny

Formy sa po vložení do pece ohrejú na teplotu 600°C. Zbytky vosku sa vypaľujú už pri teplote 350 až 450°C. Ďalším ohrevom na teplotu 900 až 1050°C sa ohrieva forma na teplotu, pri ktorej sa aj súčiastky odlievajú. Ohrev na túto teplotu by mal byť čo najrýchlejší.

Žihanie škrupiny formy sa robí z troch hlavných dôvodov:

a) *odstránenie zbytkov vosku a ostatných nežiadúcich látok;*

b) *zhutnenie štruktúry materiálu formy a dosiahnutie požadovanej pevnosti ;*

c) *predhriatie škrupiny pred samotným liatím [1], [2].*

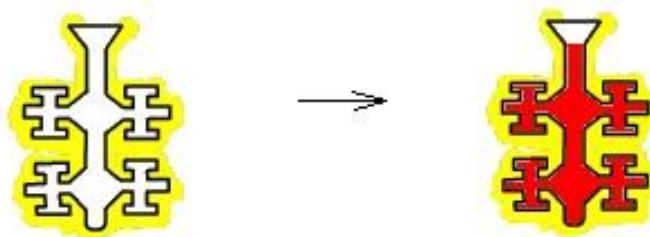


Obr. 1.8 Vytvrdzovanie škrupiny žihamím [1].

### 1.5.7 Odlievanie

Odlievanie súčiastok nasleduje spravidla hneď po žíhaní formy, kým je ešte škrupina rozpálená (viď obr. 1.9). Zabraňuje sa tým vznik vnútorných pnutí v škrupine, čím sa zníži nebezpečenstvo prasknutia.

Vo väčšine prípadov sa na roztavenie materiálu používajú elektrické indukčné pece, jadrové, bezjadrové alebo vákuové [1].



Obr. 1.9 Odlievanie súčiastky [1].

### 1.5.8 Odstraňovanie škrupiny formy

Po stuhnutí odliateho materiálu sa škrupina odstráni buď mechanicky, chemicky alebo abrazívne (viď obr. 1.10). V prvej fáze sa škrupina odstráni nahrubo mechanicky, najčastejšie vibračným oklepávaním, ktoré býva veľmi hlučné a prašné. Na odstránenie zvyškov škrupiny po hrubom čistení sa používajú procesy ako:

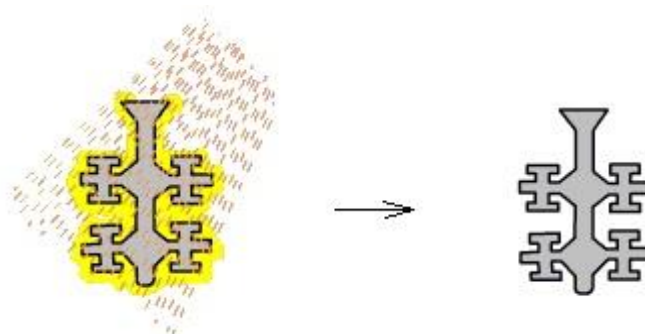
*a) chemické odstraňovanie*

- na odstraňovanie sa používajú fluorovodíkové kyseliny, častejšie však žieravé soli a soli v roztavenej forme. Používajú sa hlavne dve metódy:

- kúpeľ s rozpustenou soľou;
- horká vodná žieravá kúpeľ;

*b) abrazívne metódy odstraňovania*

- tlakové tryskanie: na odstraňovanie škrupiny sa používa vysokotlakový vodný prúd;
- tryskanie bez použitia vzduchu: ako abrazívne častice sa používajú napr. oceľové broky alebo keramické drviny, ktoré sú vrhané lopatkovým kolesom [1].

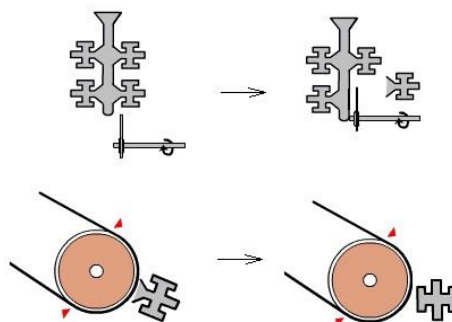


Obr. 1.10 Odstraňovanie škrupiny formy [1].

### 1.5.9 Oddelovanie odliatkov z vtokovej sústavy a oddelovanie vtokov z odliatkov

Spôsob oddelovania závisí na niekoľkých faktoroch ako napr. materiál odliatku, spôsob vtokovania alebo zostavovania modelov. Najčastejšie sa používajú hlavne: vibračné odstraňovanie, urážanie, rozbrusovanie, odstraňovanie pílou, odstraňovanie sústružením a mnohé ďalšie spôsoby.

Na následné odstraňovanie jednotlivých zbytkov vtokov z odliatych súčiastok sa používa široký výber brúsiacich zariadení ako napr. horizontálne, vertikálne, zapichovacie a iné brúsky (viď obr. 1.11) [1].

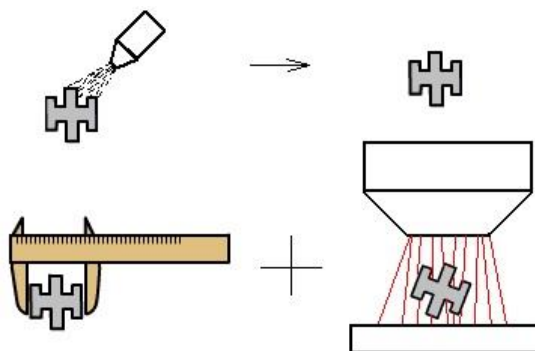


Obr. 1.11 Oddelovanie odliatkov a vtokov [1].

### 1.5.10 Dokončovacie operácie a kontrola

Po stuhnutí materiálu majú odliatky primárnu štruktúru, t. j. majú hrubé primárne zrná, dendritický sloh, vnútornú nehomogénnu stavbu a zhoršené mechanické vlastnosti materiálu. Z tohto dôvodu sa musia odliatky po odliatí tepelne spracovať, aby získali požadované vlastnosti, potrebné pre použitie alebo ďalšie spracovanie a obrobenie. Najčastejšie sa tieto vlastnosti dosahujú normalizačným žihaním a žihaním na mätko.

Kontrola odliatkov závisí hlavne na výkrese súčiastky a na sprievodných dokumentoch od zákazníka. Rozmerovú kontrolu prevádzame pomocou mikrometrov, posuvných meradiel, optických meracích prístrojov alebo pomocou automatizovaných meracích prístrojov. Na kontrolu kvality povrchu existuje tiež mnoho metód. Medzi najbežnejšie patrí vizuálna kontrola, chemické leptanie, magnetická skúška, optická alebo laserová kontrola. Veľmi dôležitou kontrolou, hlavne pri mechanicky namáhaných súčiastkach, je kontrola vnútorných väd. Používajú sa hlavne nedeštruktívne metódy ako vizuálna, penetračná, magnetická, ultrazvuková, röntgenová a metóda vírivých prúdov (viď obr. 1.12) [1], [2].



Obr. 1.12 Dokončovacie operácie a kontrola odliatkov [1].



## 1.6 Výroba foriem na voskové modely

Výroba foriem na voskové modely je jedna z prvých operácií procesu presného odlievania. Kvalita formy ovplyvňuje kvalitu voskového modelu, čo sa ďalej odzrkadľuje na kvalite odliatku. Pri navrhovaní konštrukcie formy na voskové modely musíme brať do úvahy viacero faktorov ako sú napr. celkový a čiastočný počet vyrábaných kusov, požadovaná presnosť a kvalita odliatku. Tie ovplyvňujú napr. počet rovnakých dutín v jednej forme, spôsob výroby a dosahovanú akosť povrchu formy. Veľký význam pri dosahovaní vysokej kvality a dlhej životnosti má materiál foriem. Najčastejšie sa používajú formy z hliníkových zliatin, oceľové, z nízko-taviteľných zliatin, zinkových zliatin, plastické, sadrové alebo kaučukové (viď obr. 1.13 a obr. 1.14).



*Obr. 1.13 Forma na voskové modely*



*Obr. 1.14 Forma na voskové modely.*

### 1.6.1 Výroba obrábaním

Obrábanie dutín formy sa používa hlavne pri veľkosériovej výrobe. Obrábané formy majú dlhú životnosť a dajú sa nimi dosiahnuť tie najvyššie presnosti. Na druhej strane je však tento druh výroby nákladný a pri zložitejších tvaroch je potreba výroby výsuvných jadier, ktoré musia byť presne dolícované, čo opäť zvyšuje náklady na výrobu.

Ako materiály sa pri obrábaní používajú hlavne hliníkové zliatiny, ktoré sú ľahko a rýchlo obrábateľné alebo ocele, ktoré zase majú dlhšiu životnosť a menšiu náchylnosť k poškodeniu a v prípade poškodenia sú vzhľadom na lepšiu zvárateľnosť výhodnejšie.

Medzi najpoužívanejšie druhy obrábanie foriem patria:

c) *trieskové obrábanie*

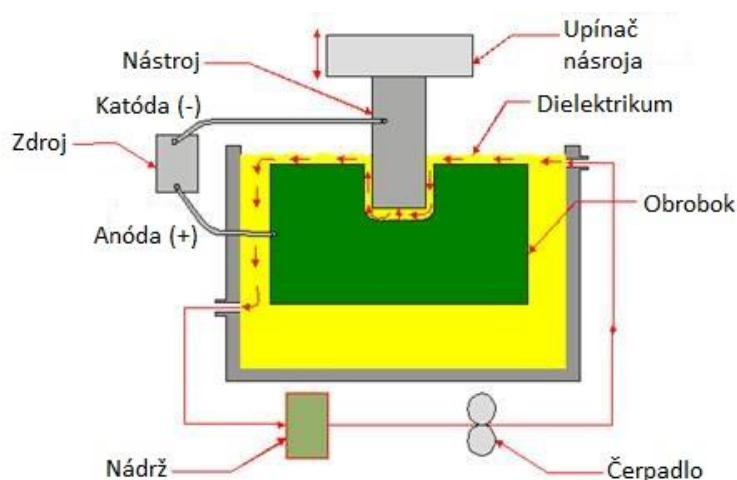
- je najrozšírenejším spôsobom výroby obrábaním pre svoju dostupnosť. Pri jednoduchých formách sa používa frézovanie na klasických frézkach kombinované s vŕtaním prípadne s brúsením. Častejšie sa však možno v praxi stretnúť so zložitými tvarmi odliatok, z čoho vyplýva, že aj tvar formy na voskové modely bude zložitejší. Pri takýchto formách sa využíva automatizovaný spôsob výroby pomocou CNC strojov (viď obr. 1.15);



Obr. 1.15 Trieskové obrábanie formy na CNC frézke [9].

d) *elektro-erozívne obrábanie*

- princíp tohto obrábania spočíva v tom, že nástroj, katóda, sa vnára do materiálu formy. Pri priblížení elektród vznikajú krátkodobé el. výboje, ktoré narušujú materiál. Nedochádza preto k priamemu kontaktu jednotlivých elektród. Erodovalý kov je odplavovaný kvapalným dielektrikom, ktoré taktiež napomáha k ionizácii (viď obr. 1.16) [4], [5].



Obr. 1.16 Schéma elektro-erozívneho obrábania, podľa [10].

### 1.6.2 Tvorba 3D modelov

Pri odliatkoch, ktoré majú zložitejší tvar a dutinu, nie je možné vyrobiť formu na voskový model pomocou ručného programovania CNC strojov. Je potrebné vytvoriť virtuálny model formy na voskový model, ktorý je ďalej používaný v CAM systémoch na vytvorenie programov.

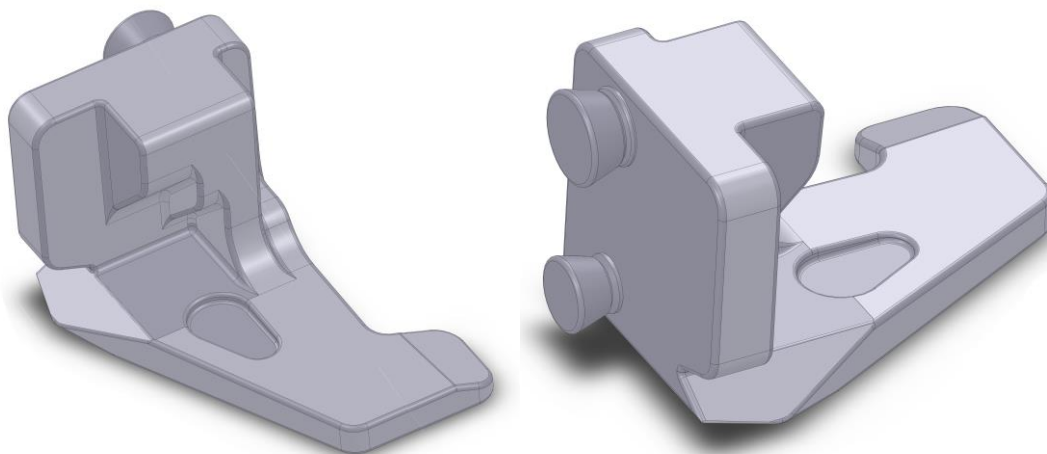
Vstupným objektom pri tvorbe virtuálnej podoby formy bývajú najčastejšie výkresy hotovej obrobenej súčiastky alebo priamo výkres požadovaného odliatku.

Pri zadaní výkresu hotovej obrobenej súčasti sa ďalej postupuje návrhom odliatku, vtokov, zahrnutím zmrštenia do modelu, otláčením modelu odliatku do formy, čím vznikne dutina formy a konečným návrhom konštrukčných prvkov formy ako sú vstrekové kanáliky, vyhadzovanie voskového modelu, poprípade chladenie a upínanie formy. Jednotlivé fázy vytvárania modelov môžeme podrobnejšie popísať takto:

#### a) návrh odliatku a vtokov

- zahŕňa stanovenie technologických a konštrukčných prvkov ako sú rádiusy, prídavky na opracovanie a pri presnom odlievaní zriedkavo aj technologické skosenia. Rádiusy sú pri formách dôležité, pretože zaručujú kvalitné odliatie voskového modelu. Nie sú však nutné vzhľadom na vysoké tlaky, ktorým je vosk vstrekovaný do dutiny formy.

Vtoky, ktorými sa voskový model spája s voskovým kolom majú dôležitú funkciu, pretože musia zabezpečiť dostatočný prístup a priestor vtečeniu materiálu do dutín škrupiny formy (*vid' obr. 1.17*);



*Obr. 1.17 Model odliatku s technologickými rádiusmi, s vtokmi a prídavkami na opracovanie.*

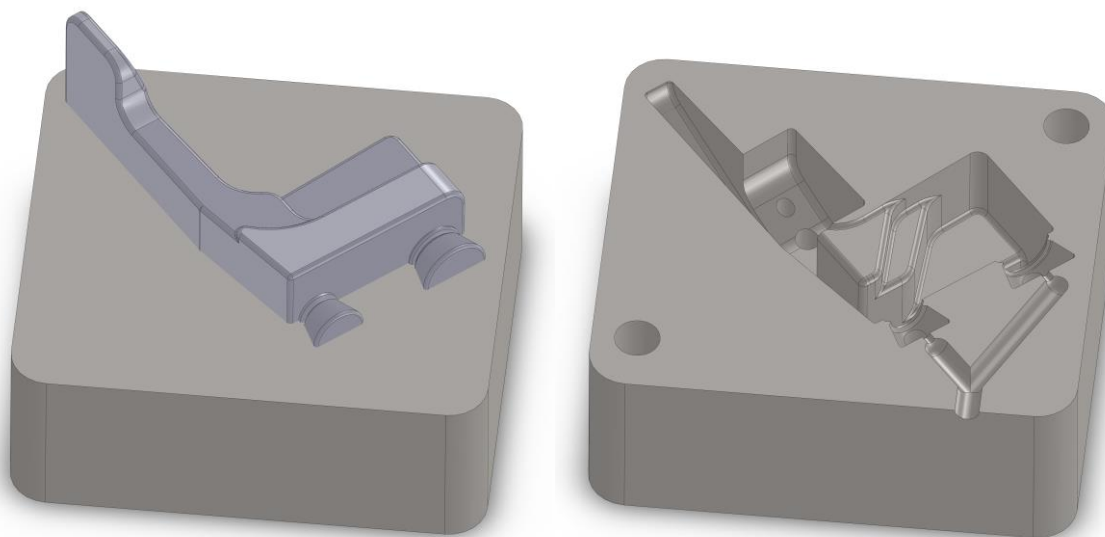
#### b) vytvorenie dutiny formy

- po vytvorení modelu so všetkými potrebnými prvkami a úpravami je potrebné navrhnuť deliacu rovinu, ktorá bude rozdeľovať model vo forme. Presný postup návrhu deliacich rovín nie je možné stanoviť, pretože takmer každá súčiastka vyžaduje zvolenie inej deliacej roviny. Pri jednoduchých súčiastkach býva deliaca rovina rovinná čím sa proces formy výrazne uľahčuje. Pri zložitejších súčiastkach môže byť deliaca rovina tvarovaná podľa potreby. Niekedy však ani zložitá deliaca rovina nemusí postačovať na vytvorenie formy na voskový model. Vnútorne tvary odliatku

ako napr. otvory, drážky a odľahčenia, ktoré nie sú kolmé na deliacu rovinu musia byť vytvárané pomocou jadier. Tie môžu byť po odliatí ručne, mechanicky alebo automaticky odstraňované pri zatvorenej, otvárajúcej alebo otvorenej forme.

Všeobecne však treba pri navrhovaní dutiny formy dodržiavať: jednoduchosť deliacej roviny, rozdelenie súčiastky tak aby model po otvorení ostal v spodnej časti formy, natočenie modelu vo forme tak aby bol počet potrebných jadier čo najmenší a bolo možné jednoduché vyberanie voskového modelu z formy.

Po zvolení deliacej roviny a umiestnenia modelu vo forme sa model otláči, čím vznikne základná dutina formy. Nakoniec sa doplnia konštrukčné prvky ( vstrekové kanály, otvory na polohovacie kolíky a pod.) (viď obr. 1.18).



Obr. 1.18 Forma pred a po otláčení modelu.

### 1.6.3 Programovanie CNC podľa 3D modelov

Po zhotovení modelu konštrukcie formy nasleduje výroba. Vzhľadom na zložitosť odliatkov sa najčastejšie na obrobenie dutín foriem používajú CNC stroje. Ich programovanie je možné aj ručným spôsobom, priamym zadávaním programu do stroja. Vzhľadom na to, že programy nie sú jednoduché a tvorí ich veľké množstvo údajov, nebolo by efektívne a väčšinou pre zložitosť ani možné zadávať ručne, používajú sa na programovanie softwary, ktoré pracujú buď s 2D nákresom alebo priamo s 3D modelom formy. Medzi tieto programy patrí napr. Catia, SolidCAM, EdgeCAM a veľa ďalších. Výhodou týchto softwarov je, že vytvorený program možno otestovať skôr ako vojde do výroby, čím sa dá vyhnúť prípadným chybám a kolíziám. Ďalšou výhodou je zvýšenie produktivity vďaka tomu, že počas programovania nemusí stroj stáť, čím by vznikali aj nákladové straty. Po vytvorení programu software vygeneruje zdrojový kód pre daný typ stroja a jeho ovládací systém.

### 1.7 Materiály formovacích zmesí

Základom škrupinových foriem sú formovacie piesky (ostrivá), spojivá s požadovanými vlastnosťami a k nim pridávané pomocné látky. Voľba jednotlivých

zložiek formovacej zmesi ovplyvňuje fyzikálne, chemické a technologické vlastnosti škrupiny formy.

Medzi najdôležitejšie fyzikálne vlastnosti škrupiny patrí hlavne tepelná vodivosť, ktorá ovplyvňuje odvod tepla formou a tepelná rozťažnosť, ktorá ovplyvňuje rozmerovú zmenu formy pri odlievaní.

Medzi chemické vlastnosti škrupiny, ktoré majú najväčší vplyv na kvalitu odliatku je reaktivnosť škrupiny s odlievaným materiálom. Reaktivnosť sa prejavuje hlavne pri zatekaní ( penetrácii ) roztaveného materiálu medzi zrná škrupiny. Je potrebné navrhnuť zmes tak aby bolo zatečenie čo najmenšie, a tým zvýšiť kvalitu povrchu a znížiť nepodarkovosť odlievania.

Technologické vlastnosti, ktoré sú dôležité pri odlievaní sú napr.: adhézne priliehanie, rozmerová presnosť, životnosť, priedušnosť, schopnosť rozpadávať sa a pod. [6].

### 1.7.1 Formovacie piesky

Tvoria najhmotnejšiu časť formy. Medzi najpoužívanejšie patria kremenné piesky, ale taktiež aj kryštalický kremeň, magnezit a chróm-magnezit, šamot a iné špeciálne ostrivá. Formovacie piesky sú charakterizované zrnitosťou, chemickou čistotou a reaktivitou, tvarom zrna a objemovými zmenami. Medzi základné a najpoužívanejšie typy patria:

*a) kremenné piesky*

- hlavnou súčasťou je oxid kremičitý  $\text{SiO}_2$ , ktorého teplota tavenia je  $1700\text{ }^\circ\text{C}$ . Používa sa preto pri odlievaní väčšiny odlievaných zliatin. V prírode je veľmi rozšírený, teda aj cenovo prijateľný. Nepriaznivá vlastnosť kremenných pieskov je prítomnosť polymorfných premien s objemovou zmenou pri odlievaní a reaktivita so zásaditými zložkami. Pri presnom odlievaní sa požívajú v amorfnej a kryštalickej forme;

*b) kryštalický kremeň*

- najvýznamnejšia pre presné odlievanie je premena kryštalického kremeňa pri teplote  $573\text{ }^\circ\text{C}$ , kedy sa mení rozmer škrupiny približne o 1,4% čo často spôsobuje tvorbu trhlín a pripečenie škrupiny na odliatku;

*c) magnezit a chróm-magnezit*

- vzniká rozdrvením magnezitu. Výhodou je jeho vysoká žiaruvzdornosť až nad teplotu  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ . Používa sa hlavne pre odliatky s väčšou hmotnosťou;

*d) šamot*

- vyrába sa vypaľovaním žiaruvzdorného ílu, ktorý obsahuje min. 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Nachádza sa v ňom taktiež  $\text{SiO}_2$ . Je vhodný pre väčšie odliatky zo zliatin železa;

*e) špeciálne ostrivá*

- sú určené pre špeciálne spôsoby odlievania s vysokou kvalitou povrchu, vysokou presnosťou a s vnútornou homogenitou. Patria sem mletý korund, molochit, zirkón, grafit a kovové ostrivá [6].

### 1.7.2 Spojivá

Hlavnou úlohou spojív je spájanie ostriva a zaistenie súdržnosti, takej aby škrupina odolala kombinovanému namáhaniu počas odlievania a manipulácii. Spojivá delíme na anorganické a organické. Najpoužívanejšie sú íly, vodné sklo, spojivá na bázy umelých živíc, olejové a hydrofilne spojivá a bližšie ich môžeme popísať nasledovne:

#### a) íly

- patria sem zeminy, ktoré obsahujú minimálne 50% íloviny. Musia mať dobrú súdržnosť, spracovateľnosť a dobré tepelné vlastnosti. Íl, ktorý obsahuje viac ako 80% montmorillonitu označujeme ako bentonit. Tento druh ílu má vysokú absorpciu, schopnosť pučať a má veľmi vysokú väznosť.

V zlievarenstve môžeme íly rozdeliť na:

- kaolínové – najmenej vhodné;
- illitové – prirodzená súčasť všetkých prírodných pieskov v zlievarenstve;
- montmorillonitové – najvýznamnejšie spojivá v zlievarenstve;

#### b) vodné sklo

- je jedným z najvýznamnejších spojív. Je to vodný roztok kremičitanu sodného;

#### c) spojivá na bázy umelých živíc

- používajú sa hlavne na škrupinové formy, samotvrdnúce formy, sušené formy, formy tuhnuce v horúcich jadrovníkoch a s ovládaným tuhnutím za studena.

Medzi najpoužívanejšie druhy umelých živíc patria:

- fenol-formaldehydové živice;
- močovino-formaldehydové živice;
- furánové živice;
- kombinované živice;

#### d) olejové spojivá

- nie sú veľmi používané. Nahrádzajú sa spojivami na báze živíc. Pre svoju nízku pevnosť sa používajú len na málo namáhané jadrá. Ich hlavnou zložkou sú rastlinné a živočíšne tuky spolu s ďalšími prísadami ako prírodné živice, propanasfalt a iné. Ich vytvrdzovanie prebieha pri teplote približne 200°C vďaka polymerizácii a oxidácii;

#### e) hydrofóbne spojivá

- sú riedené vodou a vytvrdzovanie je spôsobné hlavne vyparovaním vody[6].

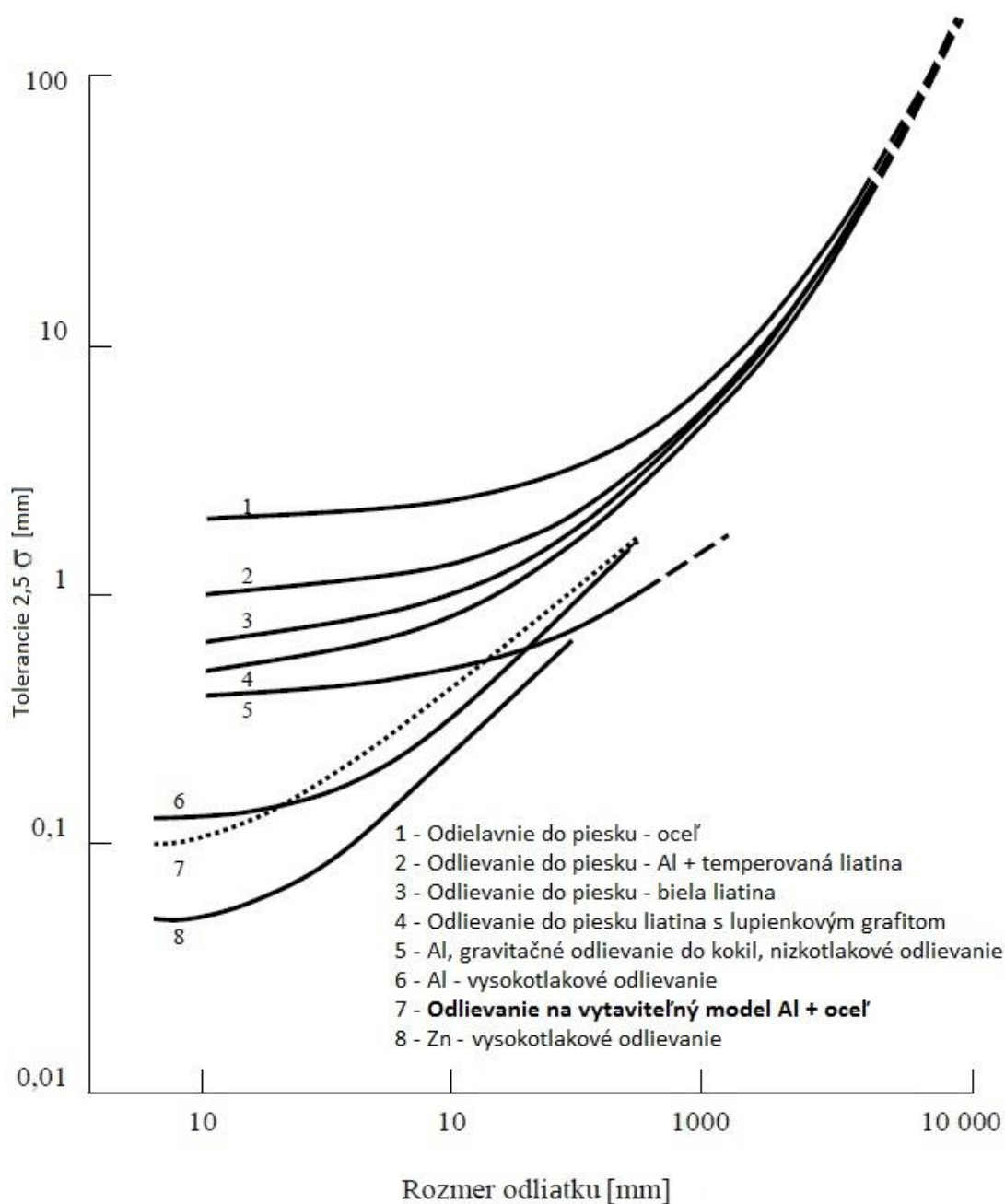
### 1.7.3 Pomocné formovacie látky

Sú to látky, ktoré zlepšujú vlastností škrupiny formy. Znižujú prašnosť zmesi, zvyšujú akosť povrchu, uľahčujú tvorbu obalených zmesí a oddeľovanie škrupiny od odliatku a pod [6].

## 1.8 Presnosť odliatkov odlievaných metódou vytaviteľného modelu

### 1.8.1 Presnosť odlievania všeobecne

Odliatky nikdy nie je možné zhotoviť dokonale vzhľadom na veľkosť a tvar. Rozmedzia, v ktorých môžu byť zhotovené preto určujú tolerancie na výkrese. Všeobecne platí že aj keď rôzne technológie odlievania zaručujú rôzne dosahované presnosti tak nepresnosti vzrastajú spolu so vzrastajúcim menovitým rozmerom. Tento vzťah približne určuje graf priemerných rozmerových tolerancií u rôznych technológií podľa Campbella (vid' obr. 1.19) [3].



Obr. 1.19 Priemerné hodnoty rozmerových tolerancií u rôznych zlievarenských technológií podľa Campbella, podľa [3].

Vzniknuté rozmerové chyby sa rozdeľujú na dva typy:

a) *štatistické chyby*

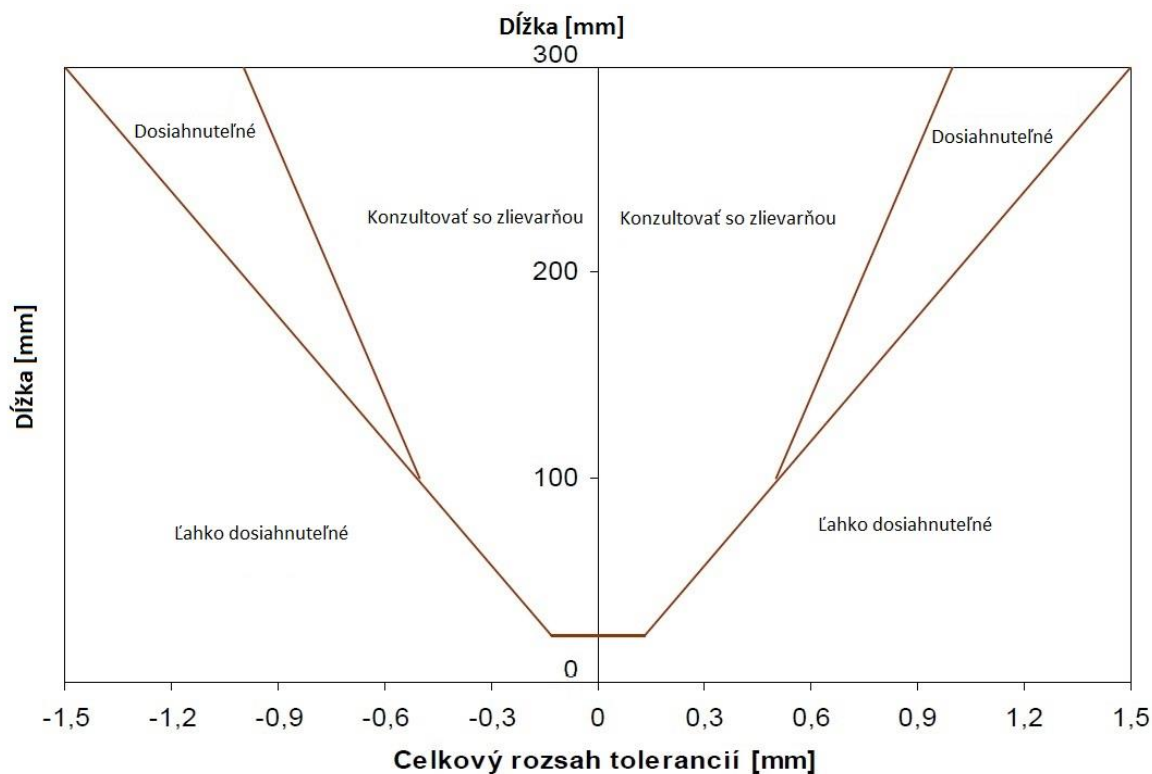
- vznikajú od nevyhnutných odchýlok premenných v procese výroby a spôsobujú odlišnosti výsledkov s normálnym rozdelením okolo strednej hodnoty;

b) *systematické chyby*

- odchýlky sú spôsobené variáciami rozmerov modelu ale hlavne sú spojené so zmršťovaním odliatku, pretože sa berú hodnoty čistého zmrštenia, ktoré nepočítajú napr. s brzdeným zmršťovaním a pod. [3].

### 1.8.2 Presnosť metódy vytaviteľného modelu

Metódou vytaviteľného modelu je možné dosahovať presnosť vo veľmi malých rozmerových toleranciách. Dosiahnuteľnosť tolerancií možno opäť znázorniť graficky (viď obr. 1.20):



Obr. 1.20 Dosiahnuteľnosť tolerancií v závislosti na rozmere súčiastky, podľa [3].

Vzťah tolerancie a rozmeru sa tiež dá vyjadriť podľa Beeleyho a Smarta rovnicou:

$$T = \pm 0,13 + 5 D / 1000 \text{ [mm]}, \quad (1.1)$$

kde  $T$  [mm] je veľkosť tolerančného poľa

$D$  [mm] je rozmer súčiastky.



## 2 NÁVRH FORMY PRE DANÉ SÚČIASTKY

### 2.1 Cieľ experimentu

Cieľom experimentu je návrh formy pred dve zadané súčiastky zákazníkom a postupný popis jednotlivých procesov so zameraním na návrh formy na voskový model.

### 2.2 Zadanie súčiastok

Vstupom pre návrh formy sú zákazníkom dodané reálne súčiastky, u ktorých upresnil požadované prídavky na opracovanie a akosť povrchu po opracovaní plôch. Súčasťou jeho požiadaviek je v prvej fáze vytvorenie výrobných výkresov, ktoré musí schváliť a následne sa budú od nich odvíjať ďalšie kroky návrhu formy.

Požiadavky pre jednotlivé súčiastky sú nasledovné:

a) *súčiastka Lopatka CH-1 s číslom výkresu 0536264 [ príloha 1 ]*

- súčiastka má tolerované tri rozmery. Všetky jej požadované tolerancie spadajú do dosiahnuteľných tolerancií odlievania, preto bude možné odliat' súčiastku na hotovo bez potrebného ďalšieho opracovania;

b) *súčiastka Lopatka WK2411 s číslom výkresu 0536270 [ príloha 2 ]*

- súčiastka obsahuje tolerované rozmery s predpísanou akosťou povrchu, ktorú nie je možné dosiahnuť priamo odliatím. Preto treba pri ďalšom postupe zahrnúť opracovanie súčiastky po odliatí.

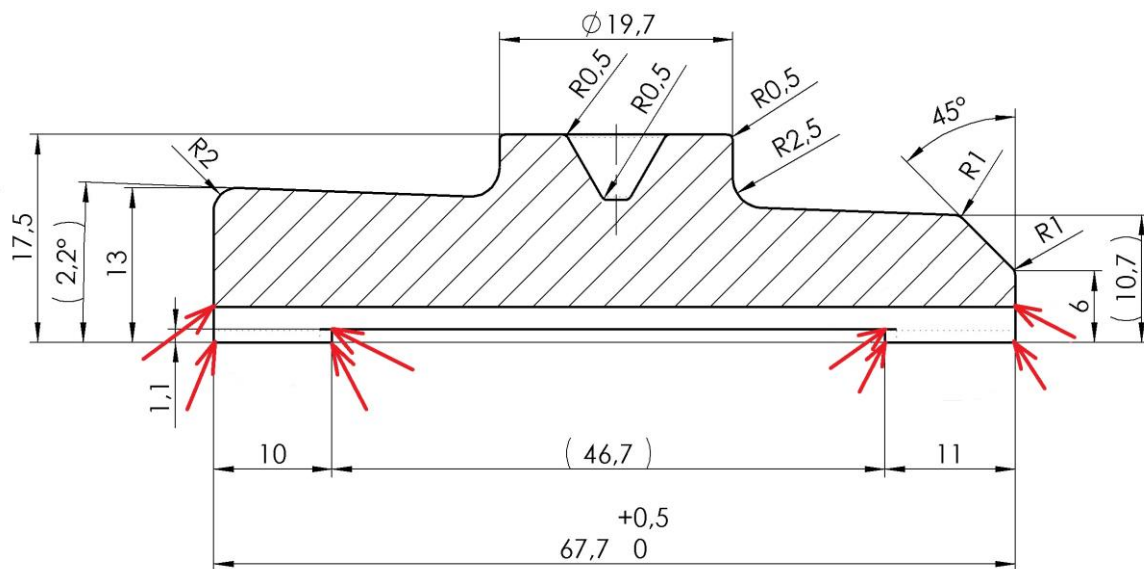
### 2.3 Návrh odliatkov podľa zadanej súčiastky

#### 2.3.1 Voľba technologických rádiusov a prídavkov

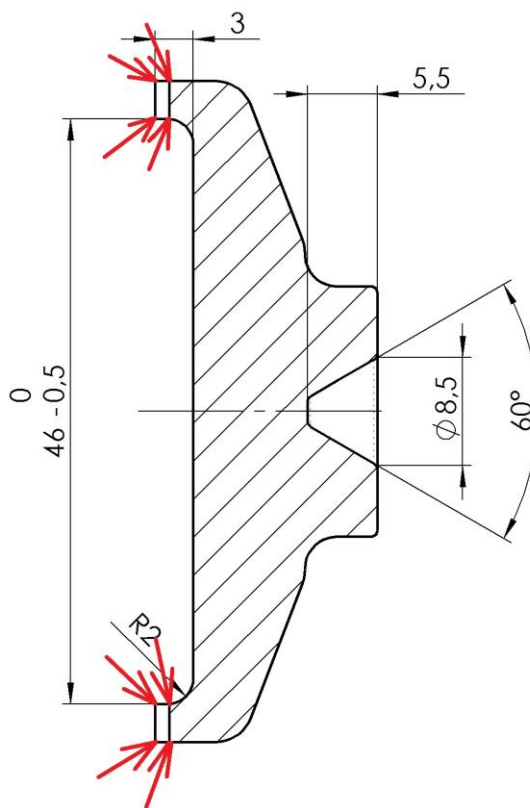
Rádiusy pri zadaných súčiastkach nie sú nutne z hľadiska zabiehania materiálu nutné a to vďaka jednoduchosti tvaru. Je však nutné zvoliť rádiusy, ktoré budú umožňovať výrobu, ktorá bude v našom prípade prevedená frézovaním na CNC frézke a to nasledovne:

a) *súčiastka Lopatka CH-1 s číslom výkresu 0536264 [ príloha 1 ]*

- pri tejto súčiastke všetky rádiusy a hrany vyplývajú z výrobného výkresu dodaného zákazníkom. Zákazník kládol dôraz na zachovanie ostrých hrán, ktoré sú označené na obrázku (viď obr. 2.1 a obr. 2.2). Zachovanie týchto hrán bude mať ďalej vplyv na voľbu deliacej roviny. Niekedy však ostré hrany vyžadujú veľké náklady na výrobu, preto vtedy treba zákazníkovi navrhnúť alternatívne riešenie. Ak sú však ostré hrany iné riešenia neprípustné a zákazník je zoznamovaný so zmenami výrobných nákladov a súhlasí s nimi, pokračuje sa ďalej pri výrobe formy. Výkres odliatku pre zadanú súčasť sa nachádza v prílohe [príloha 3];



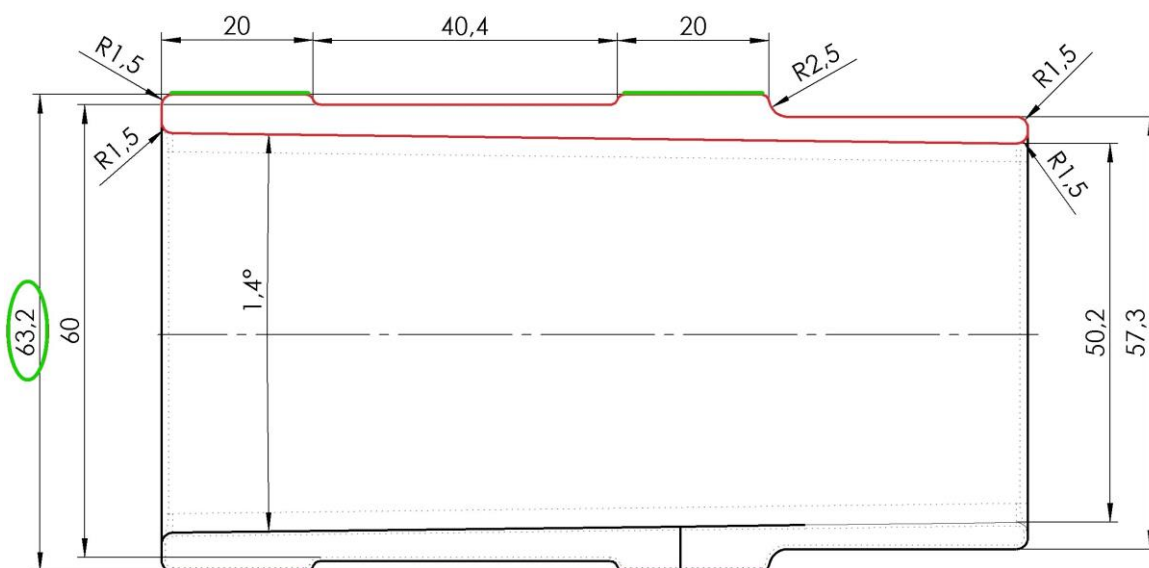
Obr. 2.1 Požadované ostré hrany – Lopatka CH-1.



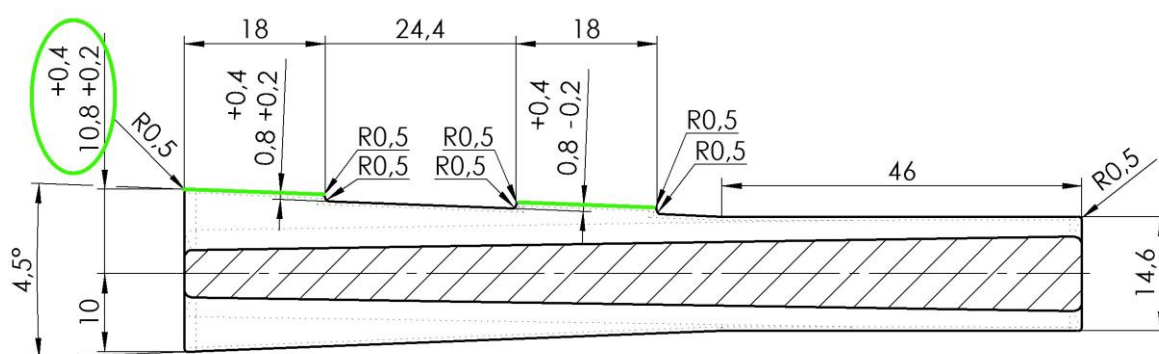
Obr. 2.2 Požadované ostré hrany – Lopatka CH-1.

b) súčiastka Lopatka WK2411 s číslom výkresu 0536270 [ príloha 2 ]

- odliatok Lopatky WK2411 obsahuje plochy, ktoré majú predpísanú vyššiu akosť ako je možné dosiahnuť odlievaním. Z tohto dôvodu je na tieto plochy zahrnutý prídavok na opracovanie po odliatí 0,8 mm, na obrázku sú prídavky označené zelenou farbou (viď obr.2.3 a obr. 2.4). Pre zjednodušenie výroby boli po dohode so zákazníkom ponechané ostré hrany ktoré sú znázornené červenou farbou (viď obr. 2.3). Výkres odliatku zadanej súčiastky sa nachádza v prílohe [príloha 4].



Obr. 2.3 Požadované ostré hrany a prídavky na opracovanie – Lopatka WK2411.



Obr. 2.4 Prídavky na opracovanie – Lopatka WK2411.

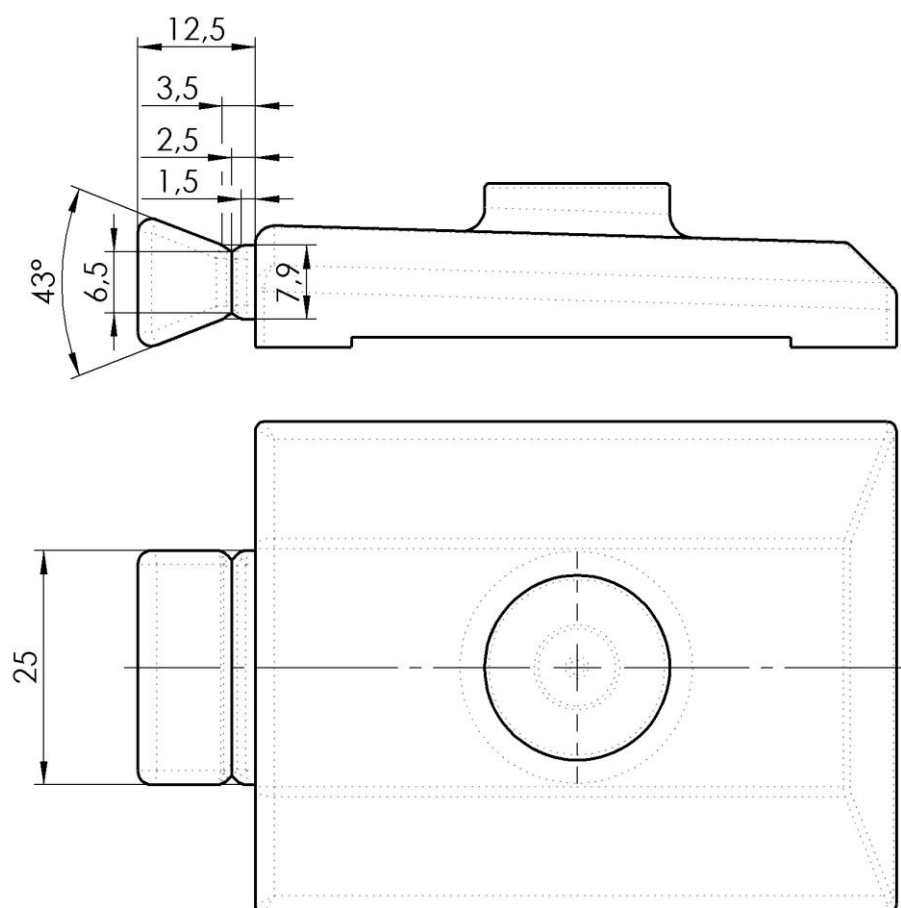
### 2.3.2 Určenie vtokov odliatkov

Vtoky pre odliatky sú vo firmách, ktoré už majú skúsenosti s presným odlievaním volené podľa odskúšaných odliatkov. Vzhľadom na veľkosť odliatkov odliavaných presným liatím nebývajú nutné prepočty prúdenia kovov pri odlievaní. Volené vtoky by mali byť v prvom rade umiestnené tak aby bol prívod materiálu čo najplynulejší, a aby zaručil rovnomerné plnenie dutiny a vznikol zdravý odliatok. Umiestnenie vtoku musí tiež brať do úvahy funkčné plochy odliatku a pohľadové plochy. Funkčné plochy sú napr. plochy, ktoré sa odlievajú na hotovo a pozostatky odstráneného vtoku by mohli narušiť

funkciu plochy. Pohľadové plochy sú plochy, ktoré sú viditeľné v prevádzkovom stave. Jedná sa hlavne o súčiastky, ktoré musia splňať aj vizuálnu funkciu. Poloha vtoku musí byť taktiež zvolená tak aby poskytovala dobré pripevnenie do vtokovej sústavy a nehrozilo odpadávanie voskových modelov z voskového kola. Zúženie vtoku je najdôležitejším prvkom vtoku pretože určuje rýchlosť plnenia, tvar a smer prúdu. Ďalšou veľmi dôležitou funkciou zúženia je poskytnutie oslabeného miesta, v ktorom sa materiál poruší pri odstraňovaní vtoku.

a) *súčiastka Lopatka CH-1 s číslom výkresu 0536264 [ príloha 3 ]*

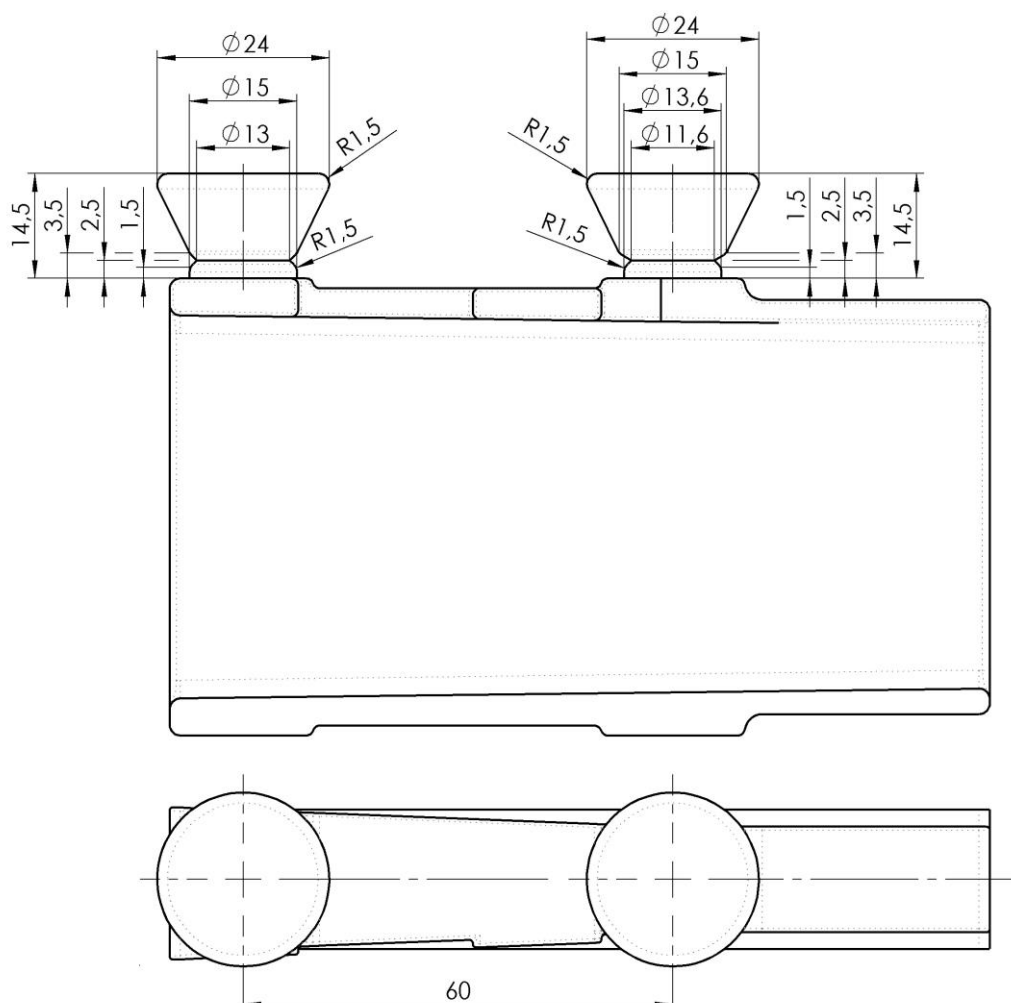
- ideálny tvar vtoku je vtok s rotačným prierezom. To však nie je vždy možné dosiahnuť. Preto treba tvar vtoku prispôbiť odliatku. V tomto prípade obmedzuje voľbu rotačného tvaru vtoku veľkosť odliatku. Pretože by nebolo možné nikde umiestniť vtok dostatočne veľký s rotačným tvarom, volím vtok so štvorhranným prierezom s rozmermi a umiestnením podľa obrázku (viď obr. 2.5). Umiestnenie je tiež vhodné pretože poskytne hustejšie oblepenie voskového kola voskovými modelmi;



Obr. 2.5 Návrh vtoku – Lopatka CH-1.

b) súčiastka Lopatka WK2411 s číslom výkresu 0536270 [ príloha 4 ]

- odliatok Lopatky WK2411 má plochy s prídavkom na opracovanie. Tá sa často využíva na umiestnenie vtokov, pretože po opracovaní nezostanú na súčiastke žiadne pozostatky vtokov. Aj pri tomto odliatku ovplyvňuje lepenie modelov na kôl polohu vtoku. Tvar odliatku umožňuje použitie vtoku s kruhovým prierezom. Pre dostatočne pevné uchytenie na voskový kôl som zvolil dva vtoky. Veľkosť rozmerov je volená podľa experimentálnych skúšok. Tvar a umiestnenie vtokov je znázornené na obrázku (viď obr. 2.6).



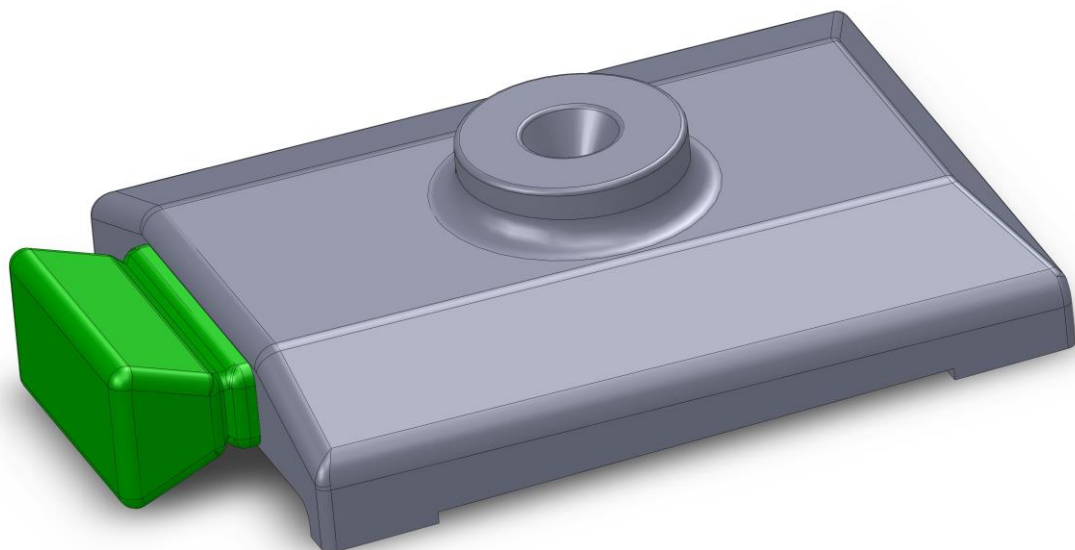
Obr. 2.6 Návrh vtoku – Lopatka WK2411.

#### 2.4 Konštrukcia formy na voskový model

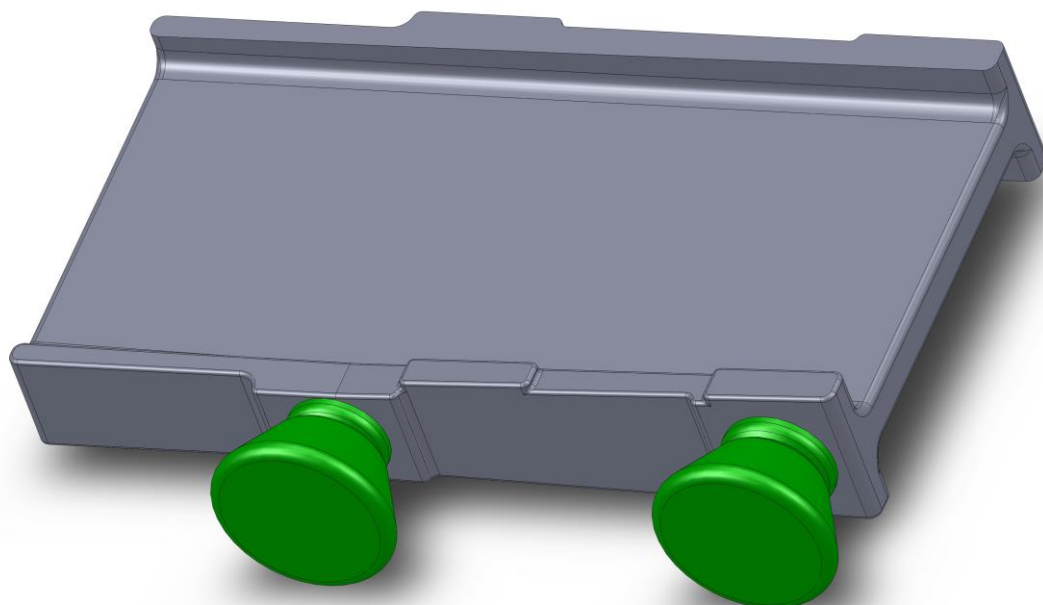
Konštrukcia formy na voskový model v sebe zahŕňa zhotovenie modelov v 3D CAD systéme SolidWorks, vymodelovanie vtokov, zahrnutie celkového zmrštenia odliatku počas celého procesu, návrh konštrukčných prvkov formy, zostavenie formy a výkresovú dokumentáciu formy. Návrh formy na voskový model po vytvorení modelu odliatku a určení vtokov ovplyvňuje niekoľko faktorov ako napr. obmedzenie tvaru formy použitý lis, prívod vosku do formy a priestor pre vyhadzovanie modelu.

### 2.4.1 3D modely odliatkov

Modely odliatkov vychádzajú z výkresov odliatkov. Tolerované rozmery sa na modeloch dávajú ako stredné hodnoty tolerancie t.j. napr.: rozmer 52mm s hornou odchýlkou 1mm a dolnou odchýlkou 0 bude mať na modely hodnotu 52,5mm. Takto sa upraví každý rozmer aby sa dosiahla čo najväčšie rozmerová presnosť odliatku. Nakoniec sa domodelujú vtoky (viď obr. 2.7 a obr. 2.8).



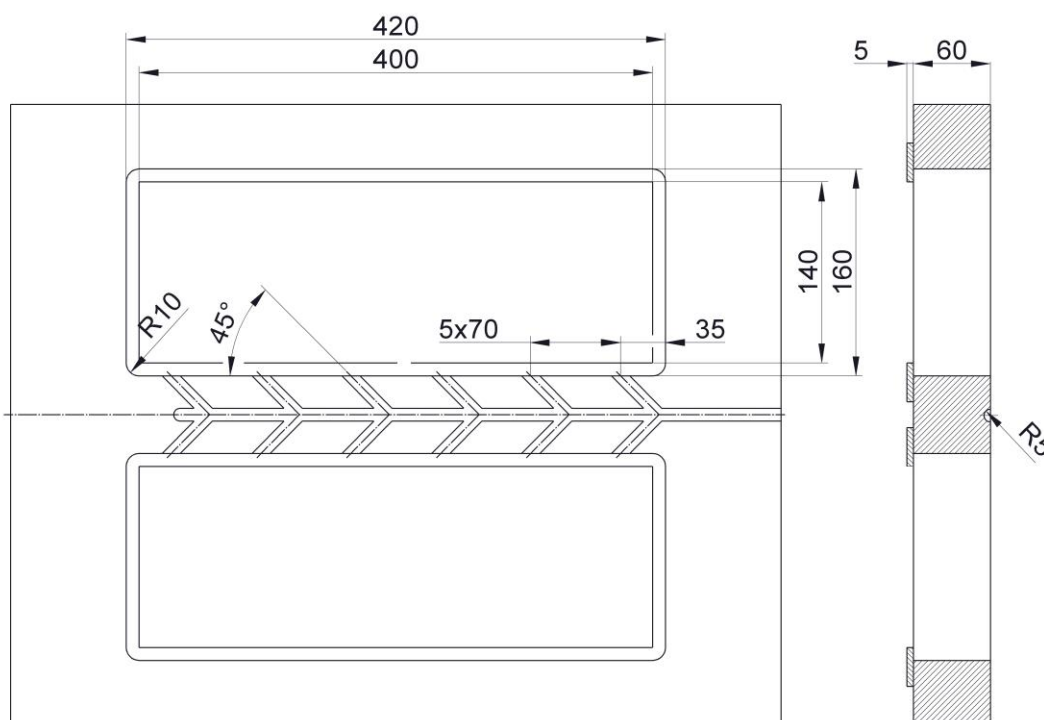
*Obr. 2.7 Model odliatku s vtokom – Lopatka CH-1.*



*Obr. 2.8 Model odliatku s vtokmi – Lopatka WK2411.*

### 2.4.2 Vonkajšie rozmery formy

Vonkajšie rozmery formy sú určené v prvom rade lisom na vosk. V rámci dostupnosti lisov vo firme, v ktorej sa bude odlievať bude použitý lis PVJ 1, do ktorého sa umiestňujú formy. Priestor na umiestnenie je chladený a má pevne dané rozmery (viď obr. 2.9). Forma má jeden pevný rozmer 160mm a podľa potreby miesta pre umiestnenie dutiny sa volí druhý rozmer, ktorý volíme 140, 210, 280, 350 alebo 420 mm. V našom prípade je to 210 mm.

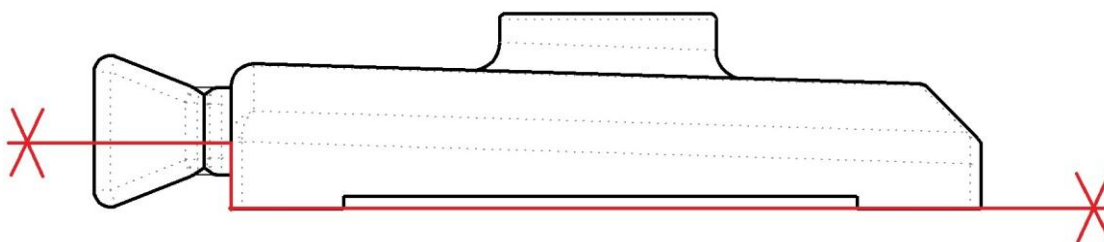


Obr. 2.9 Upínacia platňa lisu.

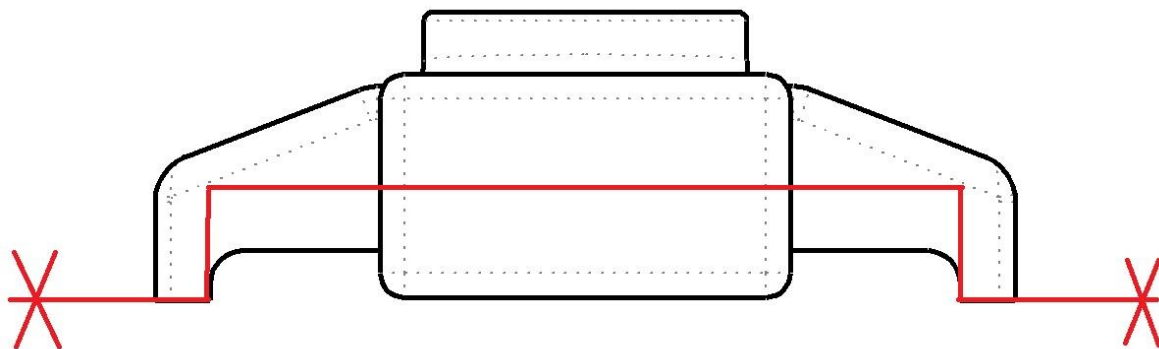
### 2.4.3 3D model formy na voskový model

#### a) voľba deliacej roviny

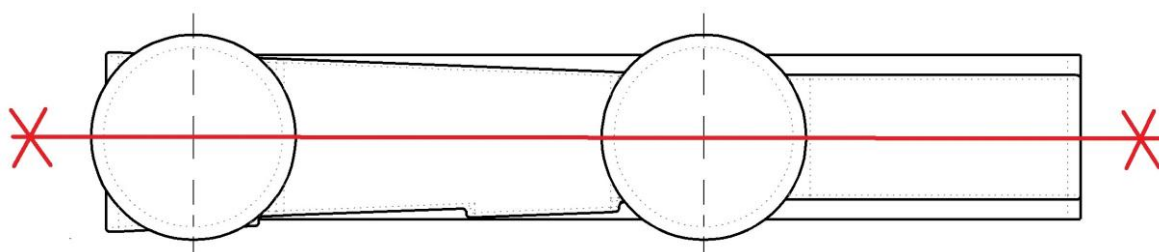
- deliacu rovinu volím tak, aby súčiastky ostali v spodnej časti formy (viď obr. 2.10, obr. 2.11 a obr. 2.12). Vzhľadom na závislosť deliacej roviny na tvare súčiastky, ktorá by sa ťažko zaznačovala na výkrese nezahrňujem znázornenie deliacej roviny na výkres odliatku. Presný tvar deliacej roviny sa volí pri modelovaní formy;



Obr. 2.10 Deliaci rovina odliatku Lopatka CH-1.



Obr. 2.11 Deliaca rovina odliatku Lopatka CH-1.



Obr. 2.12 Deliaca rovina odliatku Lopatka WK2411.

b) zmrštenie odliatkov

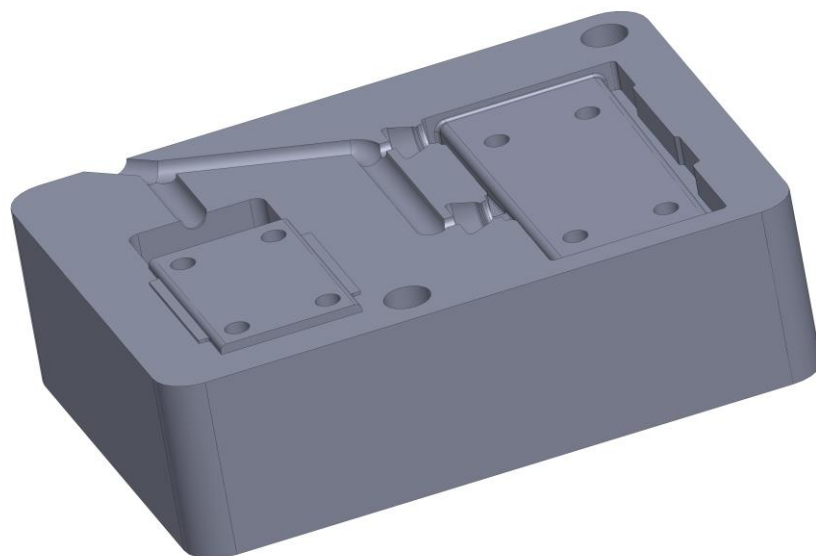
- do 3D modelu odliatkov s vtokmi zahrnieme celkové zmrštenie. Veľkosť zmrštenia je volená podľa experimentálnych skúšok materiálu odliatku. Pre odliatky Lopatka Ch-1 a Lopatka WK2411 volím zmrštenie 2% pre všetky rozmery odliatkov;

c) umiestnenie a otlačenie dutín formy, návrh vstrekových kanálikov a vyhadzovania

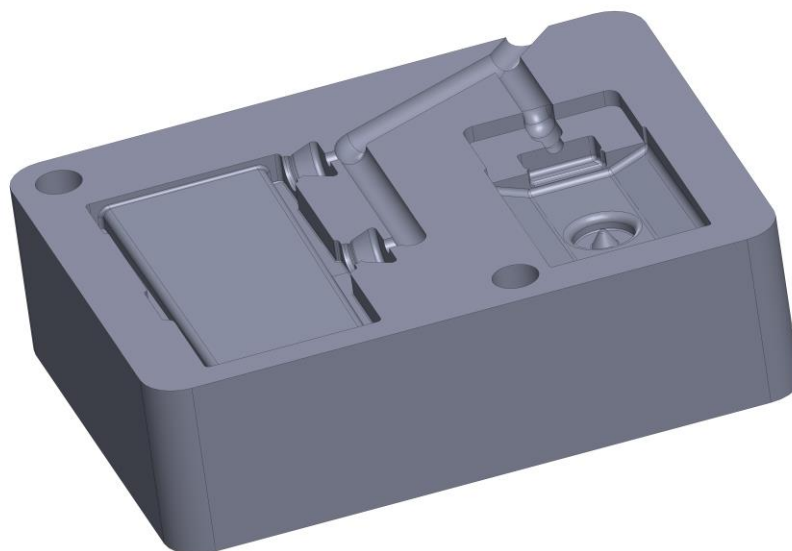
- odliatky nie sú veľké a zákazka pre oba odliatky je od jedného zákazníka. Preto môžeme obe dutiny umiestniť do jednej formy. Voskové modely odliatkov musí byť možné odlievať každý samostatne. Dosiahnuť sa to dá samostatnými vstupmi vstrekových kanálikov pre každú dutinu samostatne alebo jedným vstupom a rozvetvením kanáliku do jednotlivých dutín. V našom prípade volím jeden kanálik rozvetvený do oboch dutín. Jednotlivé vetvy kanáliku sú navrhnuté tak aby sa dali v prípade potreby upchať a odlievať len jeden požadovaný voskový model. Dutiny formy musia byť umiestnené tak aby bola možná montáž vyhadzovania voskových modelov. Otvory na vyhadzovače by nemali byť umiestnené príliš blízko okraju formy, minimálne 15 mm od kraja otvoru po kraj formy (viď obr. 2.13 a obr. 2.14).

Dutina formy obsahuje ostré hrany, ktoré by nebolo jednoduché obrobiť. Preto som navrhol konštrukčné riešenie pomocou vkladanej vložky (viď obr. 2.15), pomocou ktorej sa tieto ostré hrany dosiahnu. Modely foriem sa nachádzajú v prílohe [príloha 5,6,7];

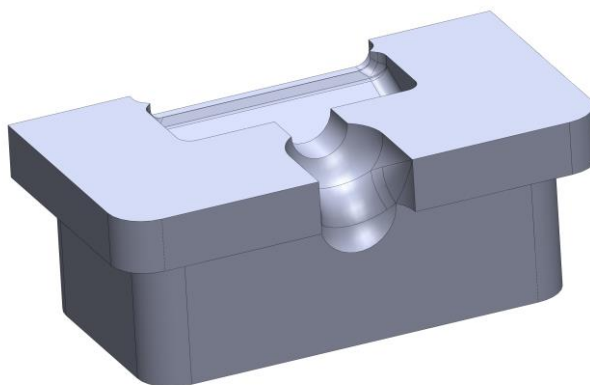




*Obr. 2.13 Spodná časť formy na voskové modely.*



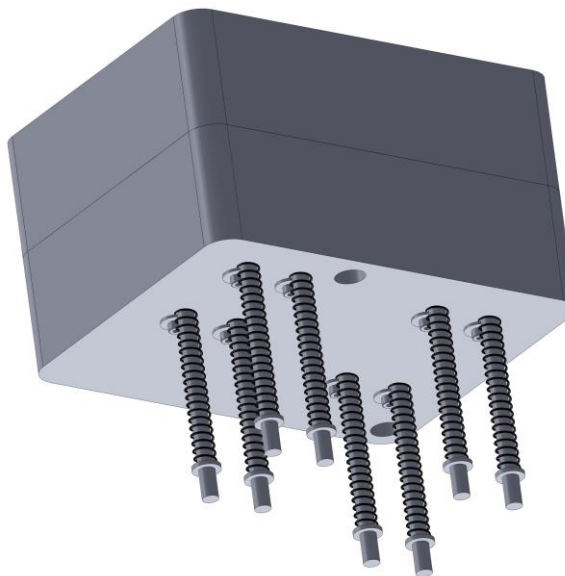
*Obr. 2.14 Vrchná časť formy na voskové modely.*



*Obr. 2.15 Vložka spodnej časti formy na voskové modely.*

d) *montáž formy a výkresová dokumentácia*

- montáž jednotlivých častí formy spočíva vo vycentrovaní spodnej a vrchnej časti formy voči sebe ale hlavne v nastavení vyhadzovania a v dobrúsení vyhadzovačov aby lícovali s plochami dutiny formy. Je to z toho dôvodu aby na odliatku boli čo najmenšie stopy po otláčení vyhadzovačov (viď obr. 2.16). 3D zostava formy sa nachádza v prílohe [príloha 8] a výkres zostavy formy [príloha 9].



*Obr. 2.16 3D zostava formy.*

## 2.5 Výroba formy na voskové modely

Výrobu navrhutej formy na voskové modely ovplyvňuje niekoľko faktorov.

V prvom rade je dôležitý materiál, z ktorého bude forma vyrobená. Najpoužívanejšie materiály pre formy na voskové jadrá sú oceľ a hliník. Keďže ide o jednoduchý tvar a forma nebude počas prevádzky nijak zvlášť namáhaná a nebude dochádzať k žiadnym pohyblivým kontaktom medzi jednotlivými časťami formy, ktoré by spôsobovali zvýšené opotrebovanie formy, ako materiál formy volím zliatinu hliníka AlZnMgCu. Ďalšou dôležitou úlohou je zvolenie návrhového postupu procesu výroby vzhľadom na dostupnosť strojov, nástrojov a vzhľadom na výrobné náklady, ktoré treba zoptimalizovať s kvalitou formy. Jednou z možností je, že celá forma bude vyrobená na CNC stroji a len malé drobné prvky budú dorábané na konvenčných strojoch. Táto alternatíva však nie je najvýhodnejšie vzhľadom na výrobné náklady, keďže hodinové náklady na CNC stroji vo veľkom prevyšujú náklady na konvenčných strojoch. Z toho dôvodu volím postup výroby formy tak, že prvotná úprava polotovaru, ktorá zahŕňa opracovanie polotovaru na základný tvar t.j. kvádrový tvar s navzájom na seba kolmými a rovnobežnými stenami, bude prevedená na konvenčnej frézke Reckerman Kombi-900 Pony. Ďalšie výrobné operácie budú prevedené na vertikálnom obrábacom CNC centre značky Feeller VMP – 40A. Konečné úpravy ako navrtanie otvorov pre vyhadzovanie a vodiace kolíky budú prevedené na konvenčnom stroji, a to na súradnicovej vyvrtávačke MAS WKV 100. Po výrobe jednotlivých častí nasleduje montáž a dolícovanie jednotlivých častí voči sebe.

### 2.5.1 Úprava polotovaru na základný rozmer

Ako bolo už spomenuté prvá operácia s polotovarom obrobku je prevedená na konvenčnej frézke Reckerman Kombi-900 Pony. Polotovary je obrobený do tvaru kvádra. Jeho rozmery sú maximálne rozmery jednotlivých častí formy a k nim pridaný 1 mm na každú stranu potrebný pre ďalšie obrábanie.

### 2.5.2 Program pre riadenie CNC obrábacieho centra

Po opracovaní na polotovare nasleduje obrobenie samotných tvarov formy na CNC obrábacom centre. Pre zložitosť riadiaceho programu nie je možné tento program vytvoriť priamo v systéme stroja. Program je vytvorený v CAM systéme EdgeCAM, ktorý pracuje s 3D modelom. Tvorbu programu pre jednotlivé časti môžeme stručne popísať takto:

#### a) spodná časť formy

- jednotlivé operácie obrábania prebiehajú v tomto poradí:

- hrubovanie s prídavkom 0,2 mm na ďalšie opracovanie;
- frézovanie rovinných plôch deliacej roviny na hrubo bez prídavku;
- jemné hrubovanie zvyškov materiálu bez prídavku;
- frézovanie rovinných plôch deliacej roviny na hotovo;
- profilovanie zvislých plôch;
- frézovanie obvodu formy;
- dokončenie ostatných plôch frézovaním na konštantnú drsnosť;

- použité nástroje:

- valcová drážkovacia fréza s priemerom 7,81 mm a dĺžkou 51 mm;
- valcová drážkovacia fréza s priemerom 2,98 mm a dĺžkou 42 mm;
- valcová drážkovacia fréza s priemerom 16 mm a dĺžkou 64 mm;
- guľová fréza s priemerom 1,98 mm a dĺžkou 30 mm.

NC kód programu sa nachádza v prílohe [príloha 10];

#### b) vrchná časť formy

- jednotlivé operácie obrábania prebiehajú v tomto poradí:

- hrubovanie s prídavkom 0,2 mm na ďalšie opracovanie;
- frézovanie rovinných plôch deliacej roviny na hrubo bez prídavku;
- frézovanie obvodu formy;
- jemné hrubovanie zvyškov materiálu bez prídavku;
- frézovanie rovinných plôch deliacej roviny na hotovo;
- profilovanie zvislých plôch;
- dokončenie ostatných plôch frézovaním na konštantnú drsnosť;

- použité nástroje:

- valcová drážkovacia fréza s priemerom 7,81 mm a dĺžkou 51 mm;
- valcová drážkovacia fréza s priemerom 2,98 mm a dĺžkou 42 mm;
- valcová drážkovacia fréza s priemerom 16 mm a dĺžkou 64 mm;
- guľová fréza s priemerom 1,98 mm a dĺžkou 30 mm.

NC kód programu sa nachádza v prílohe [príloha 11];

c) vložka formy

- jednotlivé operácie obrábania prebiehajú v tomto poradí:

- zarovnanie čela;
- frézovanie obvodu vložky;
- hrubovanie s prídavkom 0,2 mm na ďalšie opracovanie;
- jemné hrubovanie zvyškov materiálu bez prídavku;
- frézovanie rovinných plôch deliacej roviny na hotovo;
- dokončenie ostatných plôch frézovaním na konštantnú drsnosť;
- dokončenie zápusťnej časti vložky ručným riadením stroja;

- použité nástroje:

- valcová drážkovacia fréza s priemerom 7,81 mm a dĺžkou 51 mm;
- valcová drážkovacia fréza s priemerom 2,98 mm a dĺžkou 42 mm;
- guľová fréza s priemerom 1,98 mm a dĺžkou 30 mm.

NC kód programu sa nachádza v prílohe [príloha 12].

### 2.5.3 Obrobenie doplnkových prvkov formy

Po obrobení hlavných tvarov formy nasleduje obrobenie ostatných prvkov formy ako sú otvory pre vyhadzovanie a otvory pre centrovanie formy. Pri obrábaní týchto častí formy sa vychádza z výkresovej dokumentácie, ktorá sa nachádza v prílohe [príloha 13].

### 2.5.4 Montáž formy

Po kompletnej výrobe častí formy prebieha montáž jednotlivých doplnkov. Montáž zahŕňa osadenie vložky formy do spodnej časti formy, nalisovanie vodiacich puzdier a vodiacich kolíkov, montáž vyhadzovania formy a dolícovanie koncov vyhadzovania s tvarom dutiny formy.

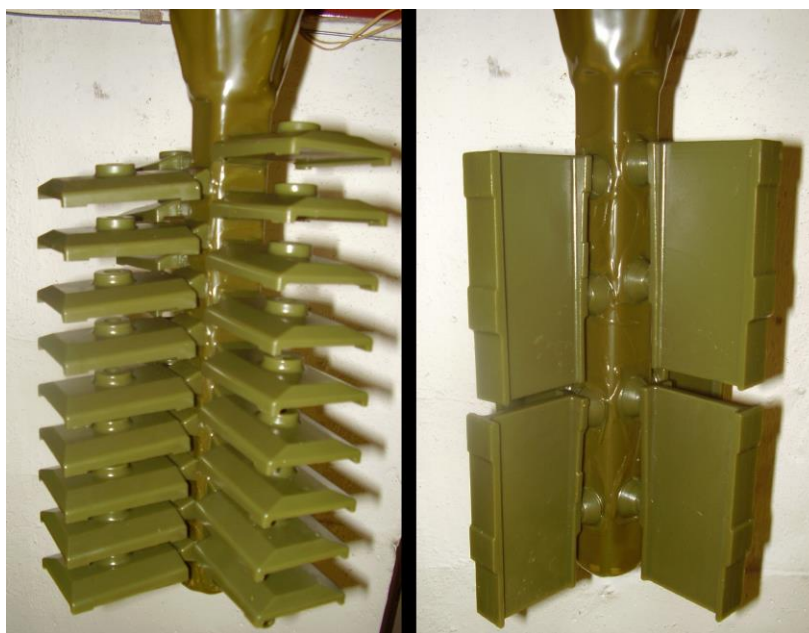
### 2.5 Odstrekovanie voskových modelov

Odstrekovanie modelov prebieha na lise typu PVJ 1 so vstrekovacím tlakom 10bar. Maximálne rozmery lisu sú 500x1000x3000 mm. Vstrekovaný vosk volím najbežnejšie používaný vosk značky REMET typu RF1. Teplota vstrekovanej vosku je 60-65°C a dĺžka vstrekovania vyrobenej dutiny je približne 10 – 30s. Odstreknutý model chladne

približne 50 -120s pomocou vodou chladeného stola lisu. Po vychladnutí je model vyhadzovačmi vytlačený von z dutiny formy a manuálne odobraný z lisu.

## 2.6 Výroba škrupiny formy

Po odliatí dostatočného počtu voskových model nasleduje spájkovanie voskových modelov a voskového kolu. Umiestnenie jednotlivých modelov určuje voľba vtokov odliatkov. Modely sa umiestnili tak aby ich bolo na voskovom kole čo najväčšie množstvo. Je však potrebné dodržať dostatočne veľké miesto okolo jednotlivých modelov, pretože pri hustom umiestnení by mohli nastať problémy pri obaľovaní formovacou zmesou a to napr. nerovnomerné nanesenie zmesi alebo vznik miest, kde by sa formovacia zmes vôbec nedostala. V prípade zadaných súčiastok som volil umiestnenie podľa obrázku (viď obr. 2.17)



Obr. 2.17 Umiestnenie voskových modelov na voskovom kole.

Po stuhnutí spojov medzi voskovými modelmi a kolmi nasleduje nanášanie formovacej zmesi. V prvom kroku sa zostava modelov namočí do spojiva a postupným otáčaním a naklápaním sa zaisťuje jeho dobré zatečenie do drážok a rohov a taktiež sa zabráni vzniku bublín v týchto miestach. Ako spojivo pri výrobe zadaných súčiastok sa používa etyl-silikát, ktorý je riedený alkoholom. Po nanosení rovnomernej vrstvy a odkvapaní prebytočnej hmoty sa nanáša plnivo a posyp. Po vytvorení obalu sa obal vytvrdzuje spôsobom H2 v komore s vlhkosťou vzduchu 60 – 80% a následne sa suší v sušiarňi pri teplote  $22\pm 1^{\circ}\text{C}$  pod slabým prúdom vzduchu približne 4-6 hodín. Ako plnivo je použitý kremíková múčka a ako posyp je použitá kremíkový piesok. Tento postup sa opakuje až do vzniknutia škrupiny o približnej hrúbke 7mm. Po vysušení poslednej vrstvy sa škrupina žiha v elektrickej odporovej peci s postupným nábehom na teplotu  $900-1000^{\circ}\text{C}$  po dobu min 4,5hod. Najlepší spôsob žihania by bol tesne pred odlievaním aby sa zabránilo prípadnému vzniku prasklín pri chladnutí škrupiny po žihaní. V našom prípade však po žihaní nechávame škrupiny vychladnúť a uskladňujeme ich. Je to z dôvodu cyklov, ktoré sú vo firme, ktorá odliatky vyrába, zaužívané. Cykly prebiehajú tak, že ako prvé sa odleje potrebné množstvo voskových modelov, ktoré sa spoja do zostav a obalia sa škrupinou. Po dostatočnom množstve škrupín sa spoločne vytavuje vosk. Po vytavení vosku sa všetky

škrupiny žihajú a odkladajú do skladu. Keď je pripravené dostatočné množstvo škrupín zapne sa pec, v ktorej sa roztaví kov a odlejú sa súčiastky. Trvalý beh pece by nebol vzhľadom na veľkosť firmy efektívny. Vyžíhané škrupiny pre zadané súčiastky sú na obrázku (viď obr. 2.18).



Obr. 2.18 Hotové škrupiny formy pripravené na odlievanie.

## 2.7 Odlievanie

Ako už bolo spomenuté odlievanie nasleduje buď priamo po žíhaní do ešte horúcich škrupín alebo do vopred pripravených vychladnutých škrupín. Tavenie kovu najčastejšie prebieha v elektrických peciach. V našom prípade je to elektrická stredofrekvenčná indukčná dvojkelímková pec ISTOL 100, ktorá zohreje materiál odliatkov, oceľ na odliatky GX300CrMo26-2. Po roztavení kovu sa materiál postupne prelieva do manipulačných nádob, z ktorých sa kov leje priamo do škrupín. Po naplnení škrupiny formy sa vrch hladiny kovu pokryje zásypom a to z dôvodu zaistenia rovnomerného chladenia kovu. Po vychladení formy sa odliatky čistia od škrupín formy ako možno vidieť na obrázku (viď obr. 2.19).



Obr. 2.19 Čistenie odliatkov od škrupín.

Po hrubom očistení odliatej sústavy sa odstránia zbytky formovacej zmesi. Odstraňujú sa buď chemicky alebo abrazívne. Pre zvýšenia kvality povrchu je použité abrazívne odstránenie zvyškov škrupiny oceľovými brokmi. Odliatky sú po tomto spôsobe čistenia veľmi čisté a povrch je kvalitný aj z estetického hľadiska ako možno vidieť aj na obrázku (viď obr. 2.20).



*Obr. 2.20 Odliate súčiastky po dokončovacom čistení.*

### 3 VYHODNOTENIE NÁVRHU FORMY A KONTROLA ODLIAKOV

#### 3.1 Odlievania

Navrhnuté riešenie formy vychádzalo hlavne z experimentálnych skúseností z výroby foriem na predošlé súčiastky. Jednotlivé fázy návrhu sú výberom optimálneho riešenia z hľadiska dostupnej technológie a finančného hľadiska podľa firmy v ktorej prebiehalo experimentálne riešenie.

Návrh odliatku podľa dodanej súčiastky sa odvíja zásadne od požiadaviek od zákazníka. Všetky potrebné zmeny súvisiace s výrobou formy musia byť napred schválené zákazníkom a majú vplyv na konečný odliatok. Pri návrhu dvoch zadaných súčiastok nevznikli žiadne problémy, ktoré by bolo potrebné konzultovať so zákazníkom. Všetky navrhnuté tvary, rádiusy a pod. boli schválené bez výhrad.

Návrh formy na voskové modely musí byť konzultovaný s firmou, ktorá odliatky odlieva a s firmou, ktorá vyrába túto formu. Je to z dôvodu aby nevznikli problémy pri ďalších fázach výroby, pretože návrh a výroba formy na voskové modely je v porovnaní s ostatnými fázami výroby odliatku najnákladnejšia. Po odliatí bola kvalita voskových modelov dostatočná, nevznikli žiadne nezastreknuté miesta ani žiadne povrchové vady, ktoré by mali vplyv na ďalší priebeh odlievania.

Pri výrobe škrupiny je dôležité aby škrupina nepopraskala pri sušení, žíhaní a odlievaní. Zložky formovacej zmesi sú zvolené podľa experimentálnych pokusov z predchádzajúcich odliatkov.

#### 3.2 Kontrola odliatku

Kontrola odliatku je základným procesom pre vyhodnotenie kvality odliatej súčiastky. Pri našich súčiastkach bola prevedená kontrola geometrickej presnosti súčiastky a na skúšobných vzorkách sa pomocou rezov zistil vnútorný stav odliatku.

##### 3.2.1 Kontrola geometrickej presnosti

Kontrola rozmerov prebieha tak že z odliatkov vyberáme náhodne kusy, ktoré kontrolujem. V tabuľke sú uvedené priemerné hodnoty nameraných hodnôt. Medzi meranými odliatkami sa nenašli žiadne chybné kusy.

Po kontrole jednotlivých rozmerov odliatku sme namerali tieto hodnoty:

a) *súčiastka Lopatka CH-1 s číslom výkresu 0536264 [ príloha 3 ]*

- kontrola sa prevádza pomocou posuvného meradla a požadované kontrolované rozmery reálnej súčiastky sú namerané v porovnaní s ideálnymi nasledovne:

Tab. 3.1 Kontrola rozmerov – Lopatka CH-1.

Výkresové rozmery	Reálne rozmery	Výkresové rozmery	Reálne rozmery
67,7 (+0,5)	67,85	17,5	17,48
46 (-0,5)	46,23	13	12,95
52 (+1)	52,6	5,5	5,52
10	10,07	3	3
11	11,09	8,5	8,5
33,7	33,71	2,2°	2,2°



*a) súčiastka Lopatka CH-1 s číslom výkresu 0536264 [ príloha 3 ]*

- kontrola sa prevádza pomocou posuvného meradla a požadované kontrolované rozmery reálnej súčiastky sú namerané v porovnaní s ideálnymi nasledovne:

Tab. 3.2 Kontrola rozmerov – Lopatka WK2411.

Výkresové rozmery	Reálne rozmery	Výkresové rozmery	Reálne rozmery
10,8 (+0,5/+0,2)	11,15	20	20,04
0,8 (+0,4/+0,2)	1,16	40,4	40,46
63,2	63,2	18	18,03
60	60,05	24,4	24,44
50,2	50,15	19,3	19,31
57,3	57,22	14,6	16,63
114,7	114,77	4,5°	4,5°

Z nameraných hodnôt vyplýva, že odliatky majú správne rozmery, ktoré spadajú do dovolených odchýlok.

**3.2.2 Kontrola vnútorného stavu**

Kontrola prebieha náhodným výberom niekoľkých kusov odliatkov a ich následným rozrezaním v niekoľkých rezoch sa zisťuje vnútorný stav odliatkov. Po kontrole dostatočného množstva kusov sa nenašiel odliatok, ktorý by presahoval dovolené vnútorné vady.

## 4 DISKUSIA

Strojársky priemysel poskytuje mnoho spôsobov ako požadovanú súčiastku vyrobiť. Každý spôsob má však svoje výhody a nevýhody a úlohou technológov a konštruktérov je zvoliť najvhodnejší spôsob z nich a podľa neho ďalej postupovať pri samotných krokoch procesu výroby. Voľbu technológie výroby ovplyvňujú hlavne faktory ako požadovaná presnosť a akosť povrchu, vyrábané množstvo, tvar a veľkosť súčiastky a hlavne finančná výhodnosť.

### 4.1 Porovnanie technológií výroby

Pri dvoch zadaných súčiastkach sme všetky tieto faktory museli zväžiť a pred začatím konečnej technológie výroby vybrať vzhľadom na možnosti čo najlepšie. Jednotlivé technológie, ktoré boli reálnymi možnosťami výroby tejto súčiastky by sme mohli stručne zhrnúť takto:

#### a) výroba trieskovým obrábaním

- trieskové obrábanie je jedným z najrozšírenejších technológií výroby. Pre trieskové obrábanie sú potrebné v prvom rade stroje a nástroje. Tie však bývajú samozrejmosťou vo firmách, preto môžeme skonštatovať, že pri výrobe súčiastok touto technológiou by boli vstupné náklady na výrobu minimálne. Zahrňovali by predovšetkým nákup materiálu a nástrojov. Voľba tejto metódy by však potrebovala aspoň základné CNC obrábacie stroje, ktoré by dokázali vytvoriť jednotlivé tvarové plochy a pod. Výhodou tejto technológie by bola predovšetkým dosahovaná presnosť a kvalita. Mohli by sme ňou dosiahnuť vysokú akosť povrchu. Ďalšou výhodou by bola aj flexibilita voči požadovaným zmenám na tvar súčiastky. Pri potrebných zmenách by nemal byť problém zmeniť program CNC stroja alebo inak upraviť výrobu. Na druhej strane je však nevýhodou požadované množstvo vyrobených kusov za rok, čo je 5000 ks, pretože by bola cena za kus veľmi vysoká. Je to hlavne kvôli hodinovým nákladom na výrobu pre CNC stroj, ktoré zahŕňajú plat robotníka, kúpu nástrojov a cenu spotrebovanej energie;

#### b) výroba odlievaním bežnou metódou pomocou pieskových foriem

- odlievanie touto metódou má veľa výhod. Hlavnou výhodou je predovšetkým nízkonákladný začiatok výroby. Potrebujeme naň niekoľko presných matičných modelov, ktoré sa ďalej zaformávajú do pieskových foriem spolu s vtokovými sústavami prípadne s náliatkami. Ďalšou výhodou je produktivita tejto technológie. Je veľmi produktívna a počas výroby nie je nutný nákup špeciálnych nástrojov alebo komponentov. Nevýhodou je však presnosť. Je to menej presná technológia a nedosahujeme pri nej ani vysokú akosť povrchu. Súčiastky sa musia väčšinou po odlíatí obrábať čo zvyšuje náklady na celkový proces výroby odliatku. Je vhodná hlavne na väčšie súčiastky;

#### c) výroba presným odlievaním metódou vytaviteľného modelu

- odlievanie metódou vytaviteľného modelu je veľmi rozšírený spôsob odlievania. Môžeme povedať, že základnou výhodou tejto technológie je presnosť. Zaručuje nám presné odlíatie do takej miery, že už nie je potrebné ďalšie obrábanie, prípadne je potrebné obrobienie len niektorých plôch. Táto výhoda šetrí náklady na opracovanie. Nie menej významná výhoda tejto technológie je schopnosť dosiahnuť

vysokej akosti povrchu, čo tiež vedie k tomu, že nie sú potrebné ďalšie náklady na opracovanie. Je to taktiež veľmi produktívna metóda ktorá sa hodí na veľkosériovú až hromadnú výrobu. Je vhodná hlavne pre malé a tvarovo komplikované súčiastky. Nevýhodou sú však náklady potrebné na zrealizovanie výroby. Pre začiatok je potrebná výroba formy na voskový model, ktorá je veľmi nákladná. Nevýhodou je taktiež flexibilita výroby. Pri najmenších zmenách je vždy potrebná úprava alebo výroba novej formy na voskový model, čo opäť zvyšuje náklady na výrobu.

#### 4.2 Zhodnotenie navrhovaných technológií výroby

Keď porovnáme jednotlivé prístupné technológie výroby malo by nám byť zrejmé, ktorá z technológií je najvhodnejšia. Podľa jednotlivých ovplyvňujúcich faktorov môžeme zhodnotiť jednotlivé technológie takto:

*a) požadovaná presnosť a akosť povrchu*

- pri hodnotení vhodnosti technológie z tohto hľadiska je pre nás hlavnou informáciou, z ktorej vychádzame výkres súčiastky. Ten nám určuje aká je požadovaná presnosť a akosť povrchu. Vzhľadom na dve zadané súčiastky môžeme vybrať za najvhodnejšiu technológiu odlievania metódou vytaviteľného modelu. A to z toho dôvodu, že trieskovým obrábaním sa dosahuje o niekoľko stupňov vyššia presnosť a akosť povrchu a bolo by teda zbytočné vyrábať súčiastku týmto spôsobom. Na druhej strane odlievania bežným spôsobom do piesku nie je postačujúce na dosiahnutie požadovanej presnosti a akosti povrchu, takže by sa súčiastky museli po odlievaní opracovávať. Preto je metóda vytaviteľného modelu, ktorou dosiahneme optimálnu presnosť a akosť povrchu pre zadané súčiastky najvhodnejšia.

*b) vyrábané množstvo kusov*

- pri vyrábanom množstve 5000 ks/rok môžeme vylúčiť výrobu trieskovým obrábaním. Bola by zbytočne náročná a zdĺhavá. Ostáva teda možnosť výroby bežným odlievaním do pieskových foriem a odlievaním metódou vytaviteľného modelu. Vzhľadom na produktivitu sú si tieto technológie približne rovné preto musím brať do úvahy ostatné faktory ovplyvňujúce výber.

*c) tvar a veľkosť súčiastky*

- pri zhodnotení zložitosti súčiastky pre výrobu trieskovým obrábaním môžeme povedať, že súčiastky sú stredne zložité a čas potrebný pre výrobu by bol dlhý a zbytočne nákladný. Z toho dôvodu môžeme opäť tento spôsob výroby zamietnuť. Keď porovnáme dva navrhované druhy odlievania opäť nie je výber úplne jednoznačný. Bežné odlievanie do pieskových foriem je vhodnejšie pre väčšie a jednoduché súčiastky. Súčiastky sú síce jednoduché ale obsahujú malé prvky, ktoré by bolo problém vyrobiť. Metódou vytaviteľného modelu môžeme vyrábať aj tvarovo zložitejšie súčiastky a nemal by byť problém tieto malé prvky vyrobiť. Z týchto dôvodov bude pravdepodobne opäť najvhodnejšia výroba odlievaním metódou vytaviteľného modelu.

*d) výrobné náklady*

- pri vymenovaní vyššie uvedených dôvodov je zrejmé že výroba dvoch zadaných súčiastok by bola najnákladnejšia trieskovým obrábaním. Kde by náklady mnohonásobne prevyšovali ostatné navrhované technológie. Pri jednotlivých

druhoch odlievania by boli náklady vyššie pravdepodobne pri odlievaní metódou vytaviteľného modelu. Preto vzhľadom na výrobné náklady by bola najvhodnejšia technológia výroby odlievanie do pieskových foriem.

### **4.3 Výber najvhodnejšej technológie výroby**

Pri zohľadnení najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich výber technológie výroby je najvhodnejšia výroba odlievaním metódou vytaviteľného modelu. Vyhovuje z hľadiska požadovanej presnosti a akosti povrchu, tvaru a veľkosti súčiastky, vyrábaného množstva, ale aj vzhľadom na výrobné náklady pretože náklady potrebné na výrobu formy pre voskové modely sa pri sériovej výrobe veľmi rýchlo vrátia.

## ZÁVER

Cieľom tejto práce bol návrh technológie a výroby formy pre dve zadané súčiastky a následný experimentálny pokus správnosti tohto návrhu.

Prvá časť tejto práce obsahuje teoretický rozbor presného odlievania. Je v nej postupne rozobraný postup návrhu výroby formy. Je zameraná na popis jednotlivých krokov výroby od zadania súčiastky až po vyhotovenie samotných odliatkov. Zvlášť je zameraná na výrobu formy na voskové modely, kde stručne opisuje priebeh návrhu a na formovacie zmesi používané pri presnom odlievaní. Na konci tejto časti je popísaná presnosť, ktorú môžeme dosiahnuť presným odlievaním. Presnosť závisí hlavne na rozmeroch súčiastky a to tak, že čím väčší rozmer, tým je náročnejšie tento rozmer vyrobiť presne, pretože miera zmrštenia sa pohybuje vo väčších rozsahoch ako pri malých rozmeroch.

Druhá experimentálna časť rieši samotný návrh pre konkrétne zadané súčiastky. Začína návrhom odliatkov podľa požiadaviek zákazníka, podľa ktorých sú zvolené prídavky na opracovanie na potrebné plochy, ktoré určujú nutnosť ponechania ostrých hrán na súčiastkach. Po vytvorení výkresov a modelov odliatkov nasleduje návrh formy na voskové modely. Dutiny pre oba voskové modely sú navrhnuté do spoločnej formy, kde sú situované tak aby sa dal v prípade potreby odlievať každý model samostatne.

Dôležitú časť tejto práce tvorí vytvorenie programu pre riadenie CNC stroja. Program je generovaný v programe EdgeCAM. Dôraz je kladený na kvalitu obrobeného povrchu, preto sú jednotlivé plochy obrobené jemným riadkovaním na konštantnú drsnosť. Z tohto dôvodu je program rozsiahly. Program bol odskúšaný na obrábacom centre Feeler a bola potvrdená jeho funkčnosť.

Samotná výroba formy prebehla tiež bez komplikácií. Zvolené prvky formovacej zmesi ( etylsilikát riadený alkoholom, kremíková múčka a kremíkový piesok) splnili svoju funkciu a nenastali problémy s praskaním, zapečením alebo rozpadaním škrupiny formy.

Odliatky boli po odliatí a dokončovacích úpravách kontrolované a všetky rozmery vyhovovali požadovanej presnosti. Možnosť nepresného návrhu formy je neprípustná, pretože náklady za opravu by boli vysoké. Preto bol návrh priebežne konzultovaný so zlievarňou v ktorej sa odliatky odlievajú.

Konečné zhodnotenie výsledných odliatkov zákazníkom prebehlo úspešne z čoho môžem konštatovať, že forma bola navrhnutá správne z hľadiska kvality ale aj z ekonomického hľadiska v rámci dostupných možností.

**ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV**

- [1] - HERMAN, Aleš. *Lití na vytavitelný model* [online]. 2007, 30 s. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20liti%20na%20vytavitelny%20model.pdf>
- [2] - DOŠKÁŘ, Josef a Otakar KAŠTÁNEK. *Přesné lití: (výroba přesných odlitků metodou vytavitelného modelu)*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961, 149 s.
- [3] - HORÁČEK, Milan. *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu* [online]. 2009 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/download/technologie\\_vytavitelneho-modelu.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/download/technologie_vytavitelneho-modelu.pdf)
- [4] - MIČIETOVÁ, Anna. *Nástroje pre elektroerozivne obrábanie* [online]. 2006 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.strojarstvo.sk/inc/casopis/022006/70-71.pdf>
- [5] - *Elektroerozivne obrábanie* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://vyrzar.wbl.sk/spst/sazpst9.pdf>
- [6] - *Zlievarenské formy a jadrá* [online]. 2005 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://fstroj.uniza.sk/web/kti/studium/BTN/kap4.pdf>
- [7] - Dostupné z: <http://image.made-in-china.com/2f0j00aBqQrTgIVohK/Precision-Casting-C16.jpg>
- [8] - Dostupné z: <http://www.qddonrex.com/photo.html?t=P&pID=492>
- [9] - Dostupné z: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/coping-with-hard-part-milling>
- [10] - Dostupné z: [http://www.turnxon.com/articles/articles\\_2.html](http://www.turnxon.com/articles/articles_2.html)

**ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha 1	Výrobný výkres súčiastky - Lopatka CH-1
Príloha 2	Výrobný výkres súčiastky - Lopatka WK2411
Príloha 3	Výkres odliatku – Lopatka CH-1
Príloha 4	Výkres odliatku – Lopatka WK2411
Príloha 5	3D model – spodná časť formy na voskové modely
Príloha 6	3D model – vrchná časť formy na voskové modely
Príloha 7	3D model – vložka formy na voskové modely
Príloha 8	3D model – zostava formy na voskové modely
Príloha 9	Výkres zostavy formy na voskové modely
Príloha 10	NC kód programu – spodná časť formy na voskové modely
Príloha 11	NC kód programu – vrchná časť formy na voskové modely
Príloha 12	NC kód programu – vložka formy na voskové modely
Príloha 13	Výkres vyhadzovania formy na voskové modely

