



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ PRO ODLITEK ČERPADLA

PRODUCTION OF PATTERN EQUIPMENT FOR CASTING PUMP

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Suchomel

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2016

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: Martin Suchomel  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenství  
Vedoucí práce: Ing. Milan Kalivoda  
Akademický rok: 2015/16

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:

### Výroba modelového zařízení pro odlitek čerpadla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Používané technologie odlévání.
3. Představení strojového parku firmy.
4. Rozbor řešené součásti.
5. Vytvoření modelového zařízení v softwarovém produktu SolidWorks.
6. Sestavení dat pro TPV.
7. Výroba vzorku.
8. Posouzení výsledku.
9. Diskuze.
10. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Zvládnutí procesu návrhu a výroby součásti v prostředí konkrétní strojírenské firmy.

Seznam literatury:

Freibauer, M., Vláčilová, H. a Vilímková, M. (2010): Základy práce v CAD systému SolidWorks. Computer Press, a. s., Brno.

Ptáček, L. et al. (2003): Nauka o materiálu I. CERM, s. r. o., Brno.

Piška, M. et al. (2009): Speciální technologie obrábění. CERM, s. r. o., Brno.

Kolektiv autorů. (1997): Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., Praha.

Leinveber, J., Řasa, J. a Vávra, P. (2000): Strojnické tabulky. Scientia, s. r. o., Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh slévárenské technologie, návrh a výrobu modelového zařízení pro odlitek čerpadla z šedé litiny ČSN 42 2420. V praktické části je zpracován návrh technologie a modelového zařízení pomocí CAD systému SolidWorks. Provedla se simulace lití a chladnutí v CAE systému ProCAST. Pro návrh obráběcí technologie byl použit CAM systém HSMWorks. Na CNC obráběcích strojích se obrobil model, jaderník a podložka. Výsledkem mojí práce je modelové zařízení pro výrobu formy a jádra pro daný odlitek. Na závěr se vyrobili formy, jádra a provedlo se odlití pěti vzorků.

### Klíčová slova

Modelové zařízení, slévárství, CNC obrábění, CAD/CAM/CAE, model, jaderník.

## ABSTRACT

The bachelor thesis focuses on the design of foundry technology, design and production of pattern equipment for casting of pump from cast iron ČSN 42 2420. The practical part elaborates design of technology and pattern equipment in CAD system SolidWorks. Simulation of casting was made in CAE system ProCast. For design of milling technology was used CAM system HSMWorks. On the CNC machines was machined model, core box and underlay. Result of my thesis is pattern equipment for moulds and cores for the casting. In the end was made molds, cores and five samples of casting was casted.

### Key words

Pattern equipment, Foundry industry, CNC machining, CAD/CAM/CAE, pattern, core box.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SUCHOMEL, M. *Výroba modelového zařízení pro odlitek čerpadla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 67 s. 11 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba modelového zařízení pro odlitek čerpadla vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Martin Suchomel

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování této bakalářské práce.

Dále děkuji zaměstnancům a vedení firmy TSS, spol. s r. o., zejména panu Josefu Jechovi a Radkovi Hainovi za věnovaný čas a umožnění výroby součásti v této firmě.

Děkuji také Ing. Vladimíru Krutišovi a Ing. Zbyňkovi Kuzmovi z firmy MECAS ESI s.r.o. za cenné rady a vytvoření simulace lití a chladnutí odlitku.

Na závěr bych chtěl poděkovat svojí rodině, která mě podporovala při studiu i při vypracování této práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	10
1.1 Princip výroby odlitků.....	10
1.1.1 Netrvalé formy.....	10
1.1.2 Vytavitelné a spalitelné modely.....	10
1.1.3 Trvalé formy - kokily.....	12
1.2 Modelové zařízení .....	12
1.2.1 Materiál modelů a jaderníků.....	12
2 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI .....	13
2.1 Určení tolerancí odlitku a jakosti modelu .....	13
2.1.1 Rozměrové a geometrické tolerance odlitku .....	13
2.1.2 Určení velikosti přídavku na obrábění .....	14
2.1.3 Požadavky na modelové zařízení.....	14
3 VYTVOŘENÍ MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ V CAD SYSTÉMU SOLIDWORKS .	15
3.1 Prostředí CAD systému SolidWorks .....	15
3.2 Vymodelování přídavků.....	15
3.3 Vymodelování úkosů a zaoblení .....	16
3.4 Modelování známek a jádra .....	20
3.5 Modelování jaderníku .....	22
3.6 Modelování podložky .....	24
3.7 Smrštění a vymodelování polotovarů pro frézování.....	25
4 NÁVRH SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGIE .....	26
4.1 Způsob formování.....	26
4.2 Formovací směsi.....	27
4.3 Technologické přídavky.....	28
4.4 Vtoková soustava.....	28
4.4.1 Návrh tvaru a průřezů vtokové soustavy.....	30
4.5 Nálitkování .....	32
4.5.1 Výpočet modulu nálitku .....	32

5	SIMULACE PLNĚNÍ FORMY A CHLADNUTÍ ODLITKU .....	34
5.1	Plnění formy .....	35
5.1.1	Postup plnění .....	35
5.1.2	Teplotní pole .....	35
5.1.3	Rychlost proudění .....	36
5.1.4	Odvzdušnění .....	37
5.2	Chladnutí a tuhnutí odlitku .....	38
5.2.1	Podíl ztuhlého kovu .....	39
5.2.2	Predikce pórovitosti .....	40
5.3	Zhodnocení simulace a úprava technologie .....	41
6	TECHNOLOGIE CNC OBRÁBĚNÍ .....	42
6.1	Volba a parametry obráběcích strojů .....	42
6.1.1	CNC obráběcí centrum SPRINT .....	42
6.1.2	CNC obráběcí centrum DYNAMIC .....	43
6.2	Prostředí CAM systému HSMWorks .....	44
6.2	Upnutí polotovarů .....	44
6.3	Nástroje a řezné podmínky .....	46
6.4	Programování obrábění modelu .....	47
6.4.1	Hrubování .....	48
6.4.2	Dokončování .....	49
6.4.3	Zbytkové obrábění .....	49
6.5	Programování obrábění jaderníku a podložky .....	51
6.6	Verifikace a postproces .....	51
7	VÝROBA MODELU A JADERNÍKU .....	53
8	SESTAVENÍ MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ .....	55
9	POSOUZENÍ VÝSLEDKU .....	57
10	DISKUZE .....	61
10.1	Zhodnocení kvality dílů .....	61
10.2	Použití modelového zařízení .....	61
10.3	Odlévání vzorků .....	61
10.4	Zhodnocení postupu .....	61
11	ZÁVĚR .....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	64
	SEZNAM PŘÍLOH .....	66



## 1 ÚVOD

V této bakalářské práci se bude řešit návrh slévarenské technologie, návrh a výrobu modelového zařízení. Hlavním důvodem proč jsem si zvolil toto téma mojí práce, je že jsem si chtěl projít celým procesem od zadání objednávky až po zhotovení odlitku, což mi přinese zkušenosti, které mohu využít nejen v mojí současné pracovní činnosti ale hlavně v budoucí. Dalším důvodem bylo možnost zvolit si součást, na kterou budu technologii aplikovat, čehož jsem využil a odliji si část těla čerpadla, které bylo roztrhané ledem v zimě a vyrobím náhradu této části čerpadla. Výrobní proces bude zakončen výrobou samotného odlitku. Správnost návrhu technologie a konstrukce modelového zařízení se ověří při výrobě forem, jader a při následné kontrole výsledného odlitku.

Bakalářskou práci budu řešit ve firmě TSS, spol. s r. o. sídlící ve Třebechovicích pod Orebem. Jedná se o soukromou slévárnu, jejíž součástí je modelárna a strojírna. Slévárna se specializuje na odlitky z šedé litiny. Dále také odlévá odlitky z hliníku, bronzu, tvárné litiny a ocelolitiny. Modelárna této firmy patří mezi nejlépe vybavené modelárny v ČR. Disponuje sedmi obráběcími centry pro CNC obrábění dřeva, polystyrenu, hliníku a plastických hmot. Dále zajišťuje CNC obrábění oceli, šedé litiny, tvárné litiny a nerez.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

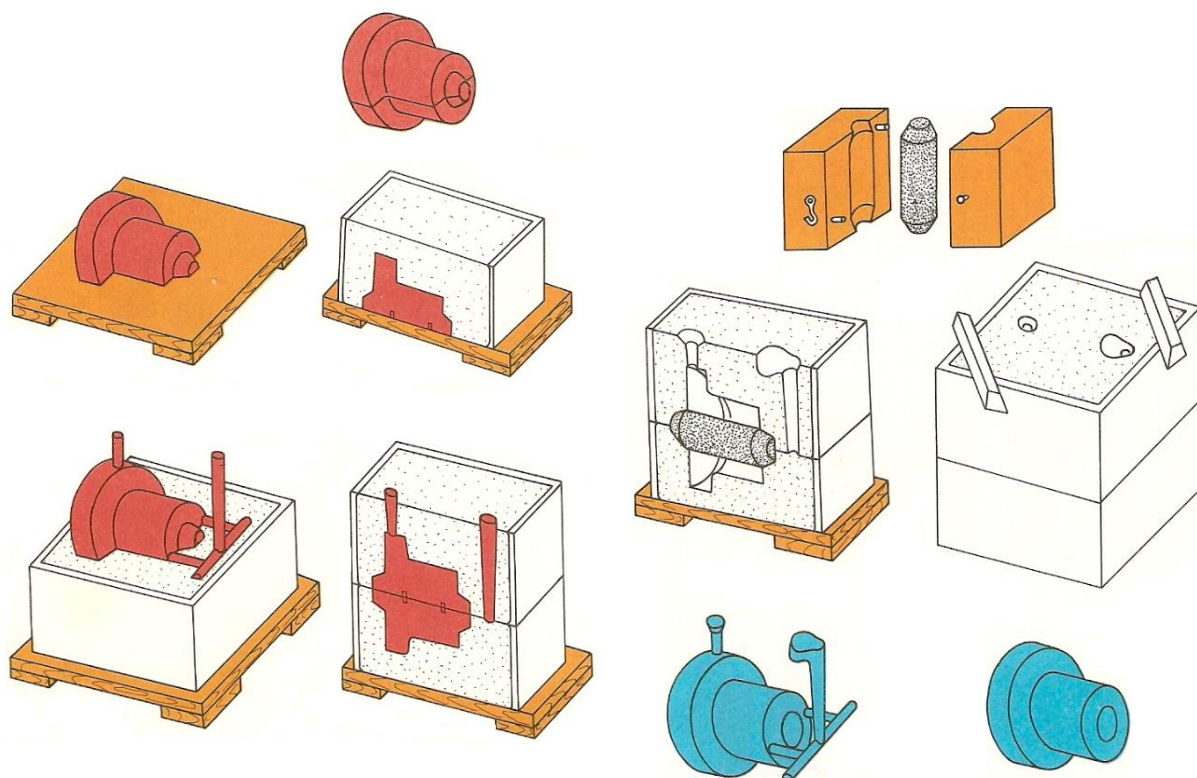
### 1.1 Princip výroby odlitků

Odlitek je výsledek činnosti několika profesí: technologů, modelářů, formířů, tavičů, slévačů, pracovníků dokončovacích operací, zkušebních techniků a dalších, kteří musejí být dobře koordinováni [5].

V principu se jedná o vytvoření dutiny s negativním tvarem odlitku a vlití roztaveného kovu do této dutiny. Po ztuhnutí kovu se odlitek vyjme z formy, odstraní se vtoková soustava a nálitky, očistí se od zbytků formovacích směsí, a nakonec se provede povrchová úprava (kuličkování, ochranný nátěr, atd.) [5, 10].

#### 1.1.1 Netrvalé formy

Netrvalé formy se zhotovují z formovacích směsí jejich zhutňováním pomocí modelu a slouží pro jedno odlití. Při tepelném působení tekutého kovu na formu a jádro se změni mechanické vlastnosti formy. Žádoucí je, aby se forma a jádro po odlití rozsypalo a bylo možné snadné vytlučení odlitku z formy a následné čištění odlitku. Po odlití a vytlučení zchladlého odlitku se forma zničí a může sloužit pro přípravu nové formovací směsi [8, 10].

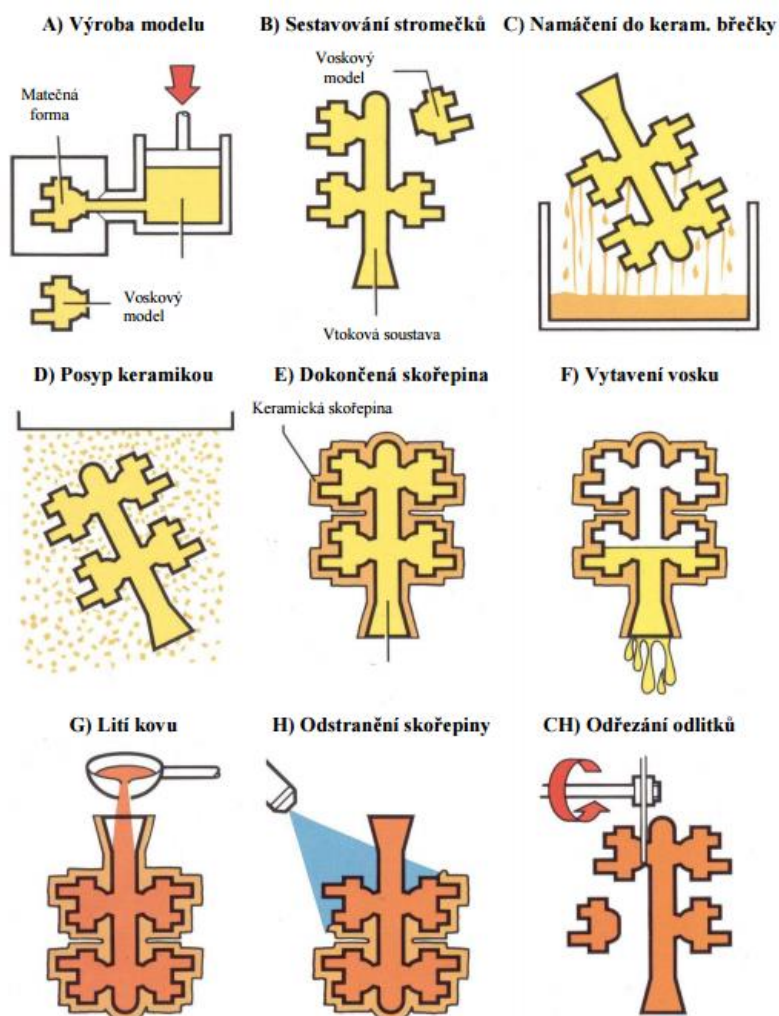


Obr. 3.2 Postup formování do dvou rámců [14].

#### 1.1.2 Vytavitelné a spalitelné modely

Technologie vytavitelného modelu lze ve stručnosti popsat tak, že se nejdříve vytvoří voskové modely stejného tvaru, jako bude mít odlitek. Tyto modely se následně spojí s vtokovou soustavou a vytvoří se takzvaný stromeček. Stromeček se postupně obaluje keramickou

hmotou. Poté následuje vytavení vosku z keramické formy a její tepelné zpracování žíháním. Může se odlévat do žhavých forem nebo se vychladlé formy zasypávají pískem, čímž se zvýší pevnost formy. Po odlití se odstraní skořepina a odlitky se odřezou od stroměčku. Výhodou této metody je výroba odlitků s vysokou přesností a jakostí povrchu. V některých případech není nutné ani žádné další dokončovací operace [9,2].



Obr. 1.3 Princip technologie vytavitelného modelu [9].

Technologie spalitelného modelu se od metody vytavitelného modelu liší tím, že místo voskového modelu se používá polystyrenový model. Polystyrenový model se zaformuje do písku a model se z formy vypaluje postupující taveninou kovu při odlévání. Tato metoda se používá u velkých odlitků v kusové výrobě nebo při sériové výrobě složitých odlitků. Velké modely se vyrábějí frézováním z bloků polystyrenu. Modely menších rozměrů ve velkých sériích se lisují do kovových forem z perel, které ve formě expandují, vyplní formu, svaří se a tím vznikne polystyrenový model požadovaného tvaru [10].

Nejvýraznější rozdílem formování těchto dvou metod oproti konvenčním metodám je, že se modely z formy nemusí vytahovat. Z toho důvodu se na modelech nemusí vytvářet dělicí rovina a úkosy, které u konvenčních technologií slouží ke snadnému vyjmutí modelu. Odpadá taky potřeba jader pro tvorbu dutin v odlitku [9].

### 1.1.3 Trvalé formy - kokily

Trvalé formy jsou formy vyrobené z takového materiálu, který umožní odlít do jedné a téže formy tisíce a někdy i statisíce odlitků. Záleží hlavně na materiálu budoucího odlitku. Jsou nejčastěji zhotovené z kovových slitin litím a obráběním nebo obráběním z jiných polotovárů. Dutiny v odlitku se vytvářejí pomocí pískových nebo kovových jader [15,8,14].

### 1.2 Modelové zařízení

Modelové zařízení je v podstatě speciální nářadí, které slouží k vytvoření dutiny ve formě. Do této dutiny se vlije tekutý kov, který po vychladnutí vytvoří odlitek. Se vzrůstající mechanizací formířských prací roste význam modelového zařízení, protože má přímý vliv na vlastnosti a jakost výsledného odlitku [11].

Dutina formy, která se vytváří modelem je ohraničena stěnou vlastní formy a také stěnami jader, které se vytváří jaderníky. Pouze jednoduché odlitky se lijí do formy bez jader, takže celý povrch dutiny je ve vlastní formě [11].

Modelové zařízení se obvykle skládá:

- a) Ze zařízení pro vytvoření dutiny ve vlastní formě (model)
- b) Ze zařízení k formování jader (jaderníky)
- c) Ze zařízení pro tvorbu vtokové soustavy, výfuků a nálitků

Při ručním formování se obvykle používají volné modely nebo šablony. Šablony se používají jen při ruční výrobě jednoduchých odlitků vhodných tvarů například rotačních odlitků. Pro strojní formování při sériové nebo hromadné výrobě odlitků se používají modelové desky, na kterých je upevněný model, modely vtokové soustavy, modely nálitků a výfuků [11].

#### 1.2.1 Materiál modelů a jaderníků

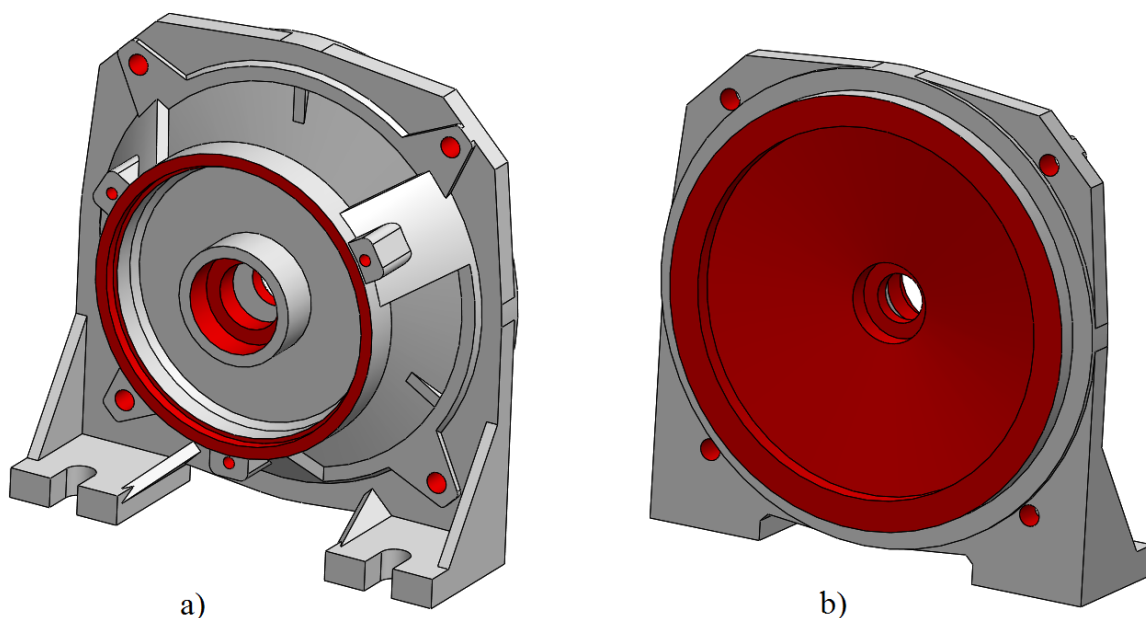
Na životnost modelového zařízení má vliv především druh materiálu, z něhož je vyrobeno a kvalita vazby mezi jednotlivými díly modelového zařízení. Materiál je potřeba volit takový, aby zařízení vydrželo bez vážného poškození (tj. přesahujícího přípustné meze) požadovaný počet forem pro, který bylo navrženo [11].

Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu modelů a jaderníků je dřevo. Tento materiál je to snadno dostupný, lehký, levný a dobře obrobitelný materiál. Nejčastěji se používá dřevo ze smrku, borovice, buku, dubu, lípy, javoru a olše. Velkou část dřeva tvoří celulóza a voda, která tvoří značnou část hmotnosti dřeva. Právě tato voda způsobuje ve formě vlhkosti největší problémy při jeho použití a zpracování [11].

Novější alternativou k přírodnímu dřevu je dřevo umělé. Tento materiál se skládá z dřevěného prachu a plastické hmoty jako je polyethylen, polyvinylchlorid, polypropylen a další. Umělé dřevo je odolné proti vlhkosti, má rovnoměrnou strukturu a má stejné vlastnosti ve všech směrech na rozdíl od přírodního dřeva, které má rozdílné vlastnosti v různých směrech. Další výhodou oproti přírodnímu dřevu je lepší obrobitelnost, nevyskytují se v tomto materiálu vady a dají se obrábět i malé a složité tvary bez rizika porušení celistvosti materiálu [6].

### 3 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI

Řešená součást v této práci je díl čerpadla spojující stator elektrického motoru a stator čerpadla. Z přední strany jsou obrobené válcové plochy pro uložení statoru motoru a jednoho ložiska hřídele. Ze zadní strany je dosedací plocha pro stator čerpadla, díra pro uložení hřídelového těsnění a část dutiny, ve které se otáčí rotor čerpadla. Dále jsou na součásti 3 díry se závitem pro připevnění statoru elektrického motoru a 4 díry pro spojení dvou částí čerpadla k sobě. Plochy určené k obrábění jsou na obrázku 2.1 obarvené červeně. Původní materiál tohoto dílu je šedá litina s lupínkovým grafitem.



Obr. 2.1 Součást se zvýrazněnými plochami pro obrábění, a) zepředu, b) zezadu.

#### 2.1 Určení tolerancí odlitku a jakosti modelu

Všeobecné rozměrové a geometrické tolerance a přídavky na obrábění pro odlitky jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 8062-3 [4].

##### 2.1.1 Rozměrové a geometrické tolerance odlitku

Stupně rozměrové tolerance odlitků pro malé série nebo kusovou výrobu surových odlitků se určuje pomocí tabulky A.2 v příloze 1. V tomto případě budeme odlévat do pískové formy s jílovým pojivem, formovat budeme ručně a materiál odlitku je litina s lupínkovým grafitem. Pro náš odlitek bude stupeň rozměrové tolerance DCTG 14 a stupeň geometrické tolerance odlitku GCTG 6.

### 2.1.2 Určení velikosti přídavku na obrábění

Stupeň požadovaného přídavku na obrábění pro ruční formování a odlévání litiny s lupínkovým grafitem do pískové formy je dle tabulky B.1 v příloze 1 RMAG F. Dle tabulky 7 v příloze 1 se určuje požadovaný přídavek na obrábění dle stupně RMAG. Největší rozměr odlitku je 160 mm. V tabulce se volí rozmezí 160 – 250 mm a stupeň RMAG F. Pro tyto hodnoty je požadovaný přídavek na obrábění je 2 mm.

### 2.1.3 Požadavky na modelové zařízení

V normě ČSN EN 12890 jsou uvedeny požadavky na modely, příslušenství modelů a na jaderníky pro výrobu pískových slévárenských norem a pískových jader. Dle této normy se určuje jakostní třída modelového zařízení [3].

Jelikož se bude vyrábět pouze několik kusů odlitků, tak se bude formovat ručně. Z tabulky 2 v příloze 2 vyplývá, že se bude jednat o jakostní třídu H3. V normě je dále pro tuto jakostní třídu určeno, z jakých materiálů budou model a jaderník a další požadavky na modelové zařízení. Pro náš případ je dle normy materiál modelů a jaderníků měkké rezivo nebo překližka avšak my použijeme umělé dřevo od firmy Obomodulan s označením OBO 700, protože při použití tohoto materiálu se nebude muset pracně kytovat a dokončovat povrch modelu a jaderníku. Pokud bychom použili dřevo, po obrábění by byl povrch hrubý a mohly by se na povrchu objevit vady, jako jsou například suky, což by způsobovalo vzhledem ke členitosti povrchu velké problémy. Tento hrubý povrch způsobuje struktura dřeva, kde se projeví tzv. čelní dříví<sup>1</sup>. U větších modelů by šlo čelnímu dříví předejít vhodnou konstrukcí dřevěného polotovaru pro obrábění, ale pro model v mojí práci by byl velký problém se čelního dříví vyvarovat a proto bude lepší použít materiál se stejnorodou strukturou jako je umělé dřevo.

---

<sup>1</sup> Čelní dříví je v podstatě způsobeno tím, že obrobený povrch je kolmo na léta dřeva. Obrobený povrch se musí kytovat, aby se dosáhlo lepší kvality povrchu. Také snižuje pevnost tenkých stěn modelového zařízení.

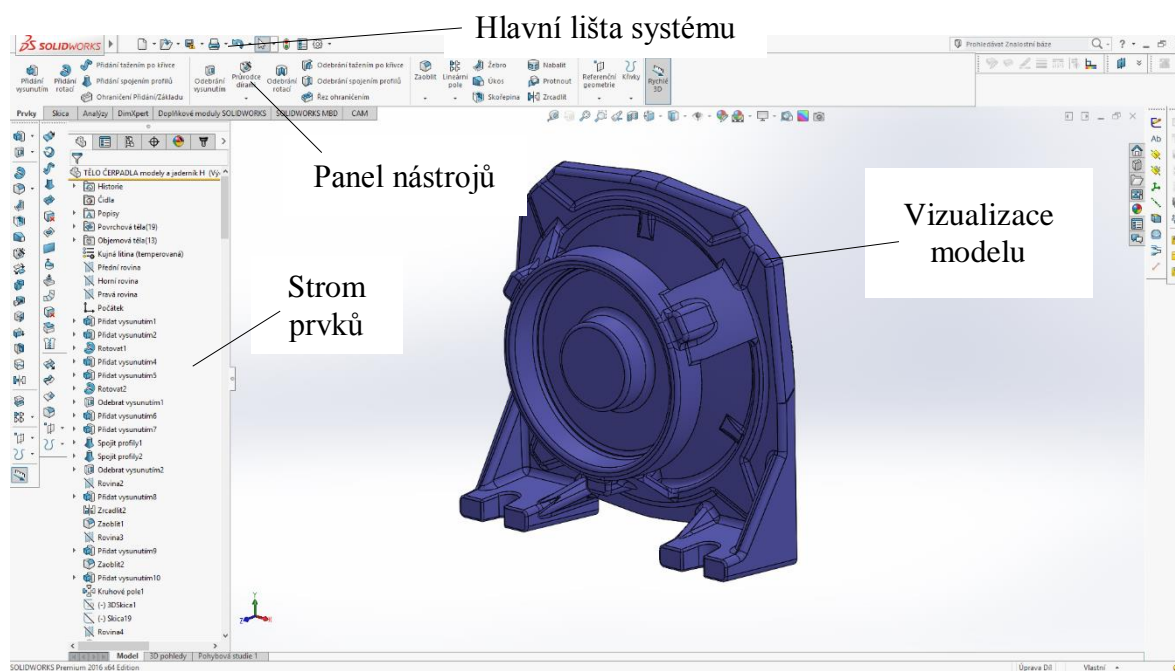


## 4 VYTVOŘENÍ MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ V CAD SYSTÉMU SOLIDWORKS

Při tvorbě modelového zařízení v programu SolidWorks se vycházelo z původního obrobekového odlitku, na kterém se naměřily hlavní funkční rozměry a tloušťky stěn. Překreslil se tak aby byl podobný původnímu odlitku. Neobkreslovalo se zaoblení ani úkosy, které budou upraveny dle použité technologie odlévání.

### 3.1 Prostředí CAD systému SolidWorks

SolidWorks je plně integrovaný CAD systém umožňující tvorbu objemových a plošných dílů. Z dílů je možné vytvářet sestavy a výkresovou dokumentaci. Výhodou systému SolidWorks je možnost pracovat s širokou škálou přenosových formátů a je schopný načítat vnitřní formáty jiných CAD systémů. V tomto systému je také množství integrovaných aplikací, které usnadňují práci s modely. Dále je možnost do systému připojovat doplňkové moduly jako např. CAM systémy nebo simulační programy [1].

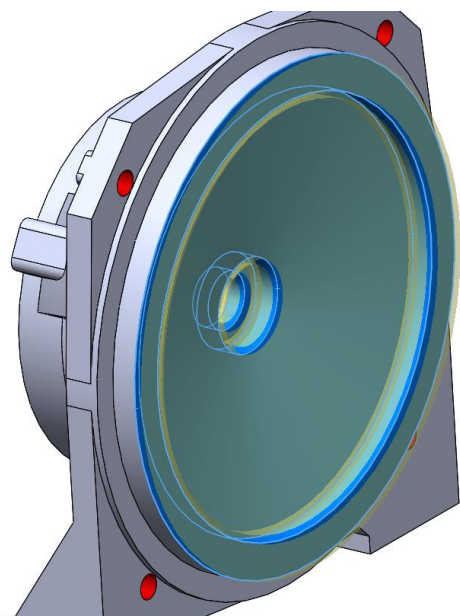


Obr. 3.1: Pracovní plocha CAD systému SolidWorks 2016.

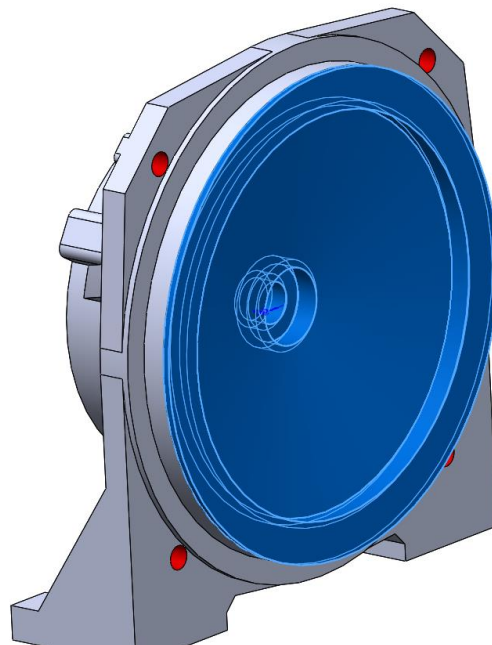
### 3.2 Vymodelování přídavek

Na plochy určené k obrobení byly vymodelovány přídávky na obrábění. V předešlé kapitole 2.1 se určilo, že velikost přídávku na obrábění bude 2 mm. Dále se také musí vymodelovat technologické přídávky. To znamená: zesílení stěn odlitku na 6 mm, zesílení žeber na 5 mm, zaplnění otvorů pro šrouby, zaplnění díry pro ložisko a spojení středů obou částí odlitku (dle kapitoly 4). Přídávky se modelovaly pomocí prvku **Odsazený povrch**. V tomto prvku se označí plochy, od kterých se má vytvořit odsazený povrch (obr. 3.2) a zadá se vzdálenost odsazení. Od tohoto povrchu se vytvoří objemové tělo přídávku pomocí prvku **Přidat tloušťku** (obr. 3.3). Na obrázku 4.4 (na stránce 28) jsou přídávky na obrábění obarveny červeně zaplněné díry zeleně a ostatní technologické přídávky modře. Po přičtení přídávků

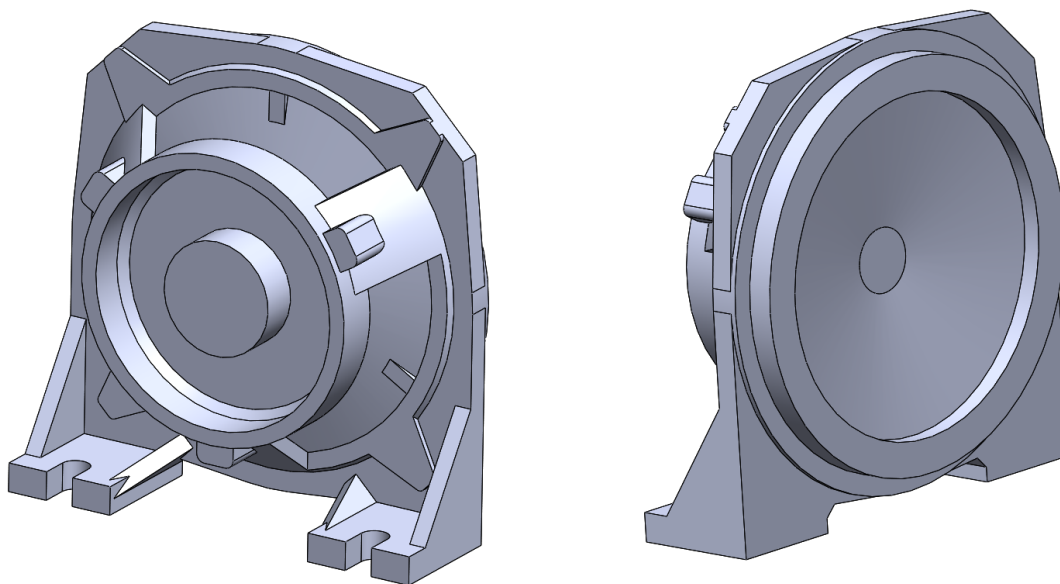
pomocí prvku **Kombinovat** a zesílení stěn vznikne model (viz obr. 3.4), na kterém budu modelovat slévárenské úkosy a zaoblení hran.



Obr. 3.2: Odsazený povrch od modelu.



Obr. 3.3: Vytvoření objemového těla z povrchu.



Obr. 3.4: Odlitek po přičtení přídavek.

### 3.3 Vymodelování úkosů a zaoblení

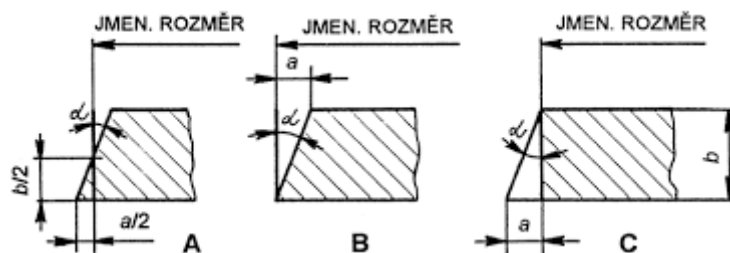
Úkosy slouží ke snadnému vyjímání modelů z formy a jader z jaderníků při formování. Provádí se na stěnách kolmých k dělicí rovině odlitku. Používají se 3 typy úkosů. Typ A, B a C. Velikost úkosů závisí na velikosti modelu, technologii výroby, materiálu odlitku a modelovém zařízení [13].



Úkos A se dělá u těch ploch, které zůstávají neobrobena [13].

Úkos B se dělá u těch ploch, které zůstanou neobrobena, ale konstrukce odlitku dovoluje větší zmenšení jmenovitého rozměru [13].

Úkos C se dělá u ploch, které budou obrobena, nebo neobrobena, avšak konstrukce odlitku nedovoluje zmenšení jmenovitého rozměru [13].



Obr. 3.5: Slévárenské úkosy [13].

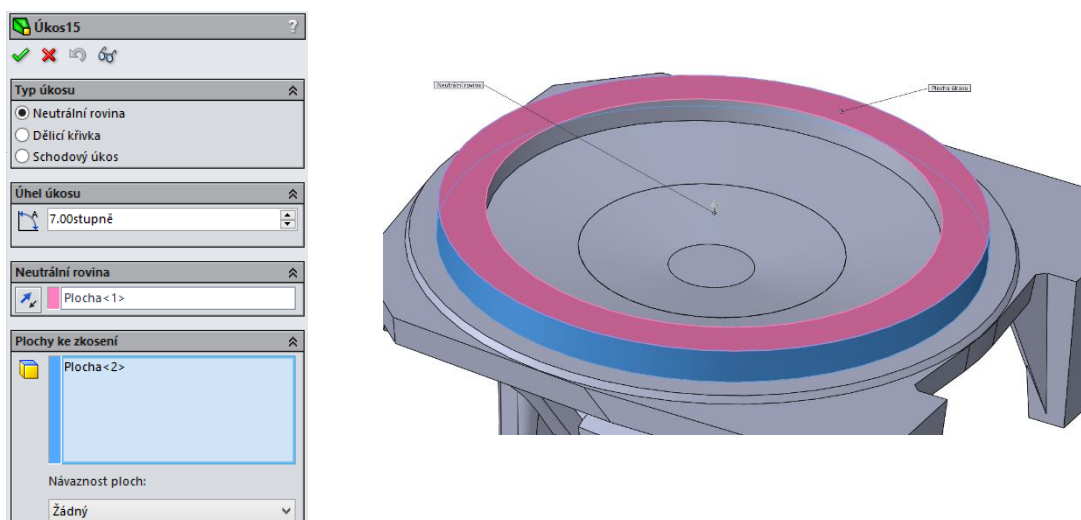
Velikosti úkosů se volí dle normy ČSN EN 12890. Hodnoty v normě ale nejsou hodnoty úhlů zkosení ve stupních ale hodnota, o kterou je potřeba povrch odsadit (kóta **a** na obrázku 3.5). Hodnota odsazení závisí na výšce kolmých stěn (kóta **b** na obrázku 3.5). Proto se musí tyto hodnoty přepočítat na stupně, aby bylo možné tyto úkosy vymodelovat. Přepočítané hodnoty jsou v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Úkosy přepočítané z milimetrů na stupně [3].

Úkos [mm]	Výška stěny [mm]	Úkos [°]
1	5	11,3
	10	5,7
	15	3,8
	20	2,9
	25	2,3
	30	1,9
2	35	3,3
	40	2,9
	45	2,5
	50	2,3
	55	2,1
	...	...

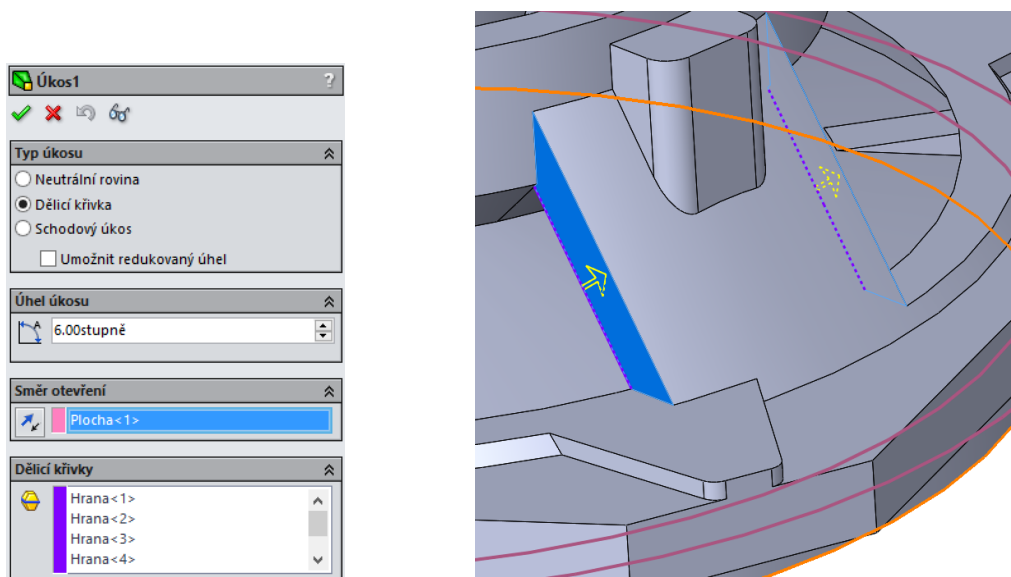
V horní části tabulky jsou mezi hodnotami úhlů veliké rozdíly a proto je vhodné v rozmezí 5 – 20 mm pro určité hodnoty dopočítat přesnější hodnoty pomocí interpolace z hodnot tabulkových hodnot nebo přímo vypočítat pro daný úkos a výšku stěny.

Pro všechny plochy kolmé na dělicí rovinu se určili hodnoty úkosů a následně se pomocí prvku **Úkos** vymodelovali na odlitku. Plochy, které přímo sousedí s plochami rovnoběžnými s dělicí rovinou je možné úkos vymodelovat pomocí **Neutrální roviny** (obr. 3.6). Plochy, které nejsou přilehlé k ploše rovnoběžné s dělicí rovinou, se modelují pomocí **Dělicí křivky** (obr. 3.7).



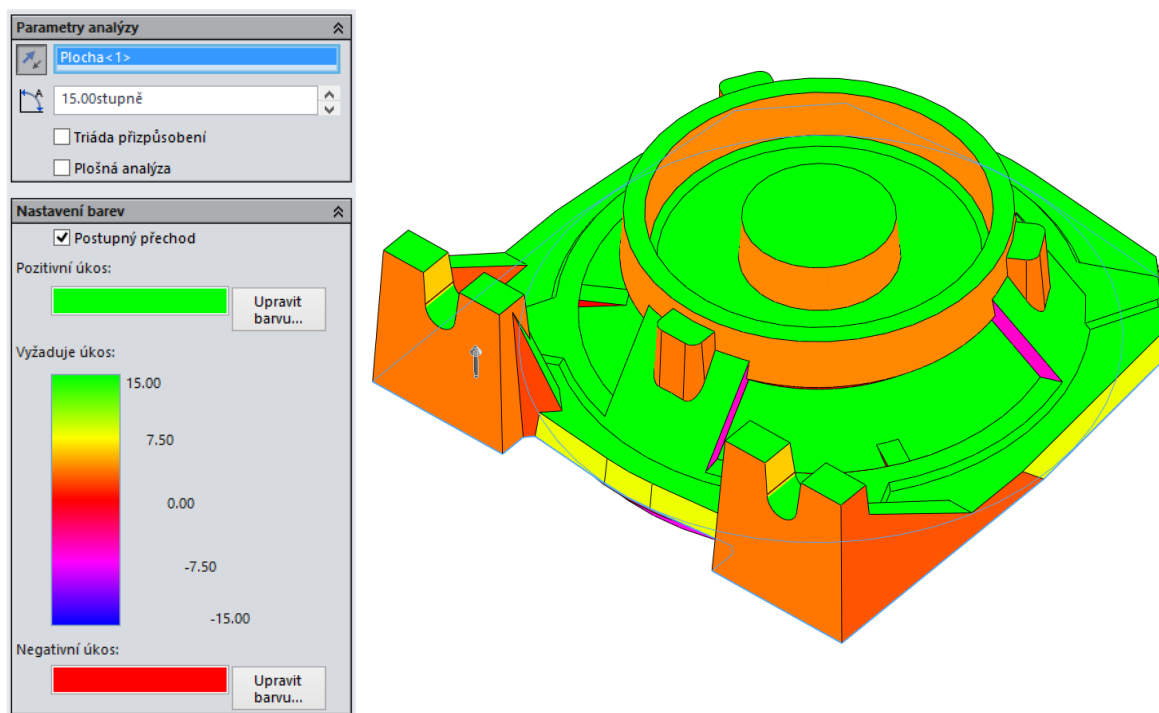
Obr. 3.6: Modelování úkosu pomocí neutrální roviny.

Modelování úkosů pomocí dělicí křivky se používá v místech, kde by neutrální rovina způsobila rozdílné zesílení nebo zeslabení stěny odlitku (viz obr. 3.7). V tomto prvku se volí pouze dělicí rovina (nebo jiná rovnoběžná rovina), směr úkosu a hrany, od kterých se budou aplikovat úkosy (tyto hrany zůstanou na místě).



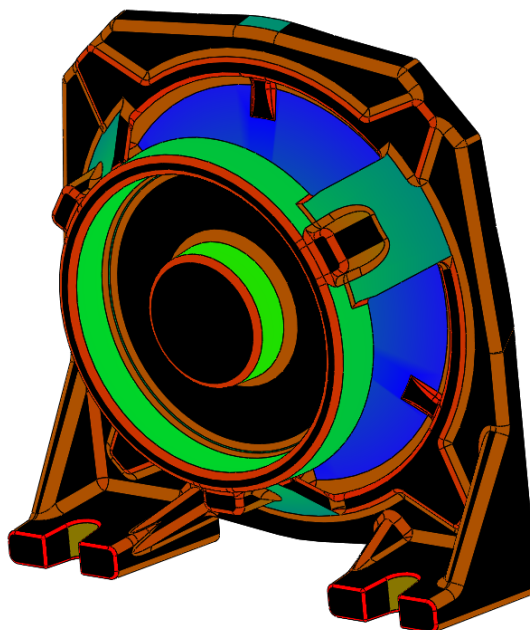
Obr. 3.7: Modelování úkosu pomocí dělicí křivky.

Tímto způsobem se vymodelovaly všechny úkosy na modelu a zkontrolovali se pomocí analýzy úkosů v systému SolidWorks (viz obr. 3.8). Tím se ověří, jestli jsou úkosy správně vymodelované a model půjde vytáhnout z formy.



Obr. 3.8: Analýza úkosů.

Následně se zaoblily všechny ostré hrany na odlitku. Pomocí prvku **Zaoblit**. Velikost zaoblění se volila co možná největší, aby se odlitek co nejlépe odléval. V okolí ploch s přídávkem pro obrábění se na hrany dával poloměr zaoblění 2 mm, aby nijak neovlivnil budoucí obrobenou plochu. Na zbytek hran se vymodeloval maximální možný poloměr zaoblění, který ale neovlivní zbytek geometrie odlitku. Po vymodelování zaoblění se provedla kontrola pomocí analýzy poloměrů křivosti (viz obr. 3.9).

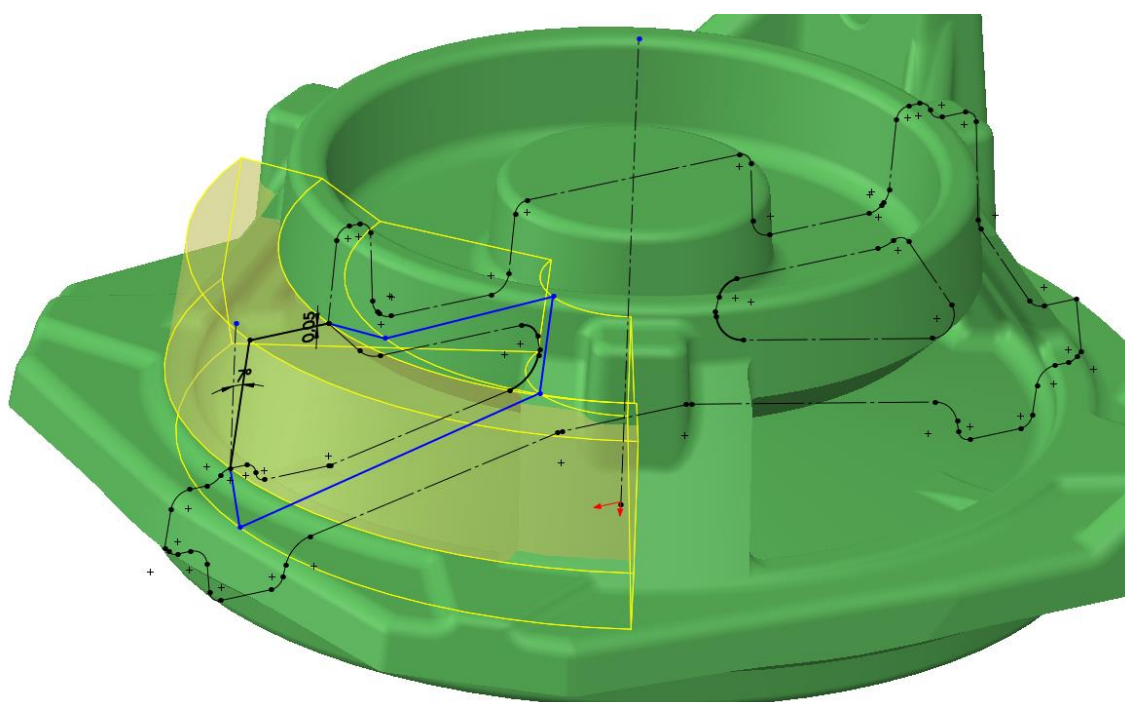


Obr. 3.9: Zobrazení poloměrů křivosti.

### 3.4 Modelování známek a jádra

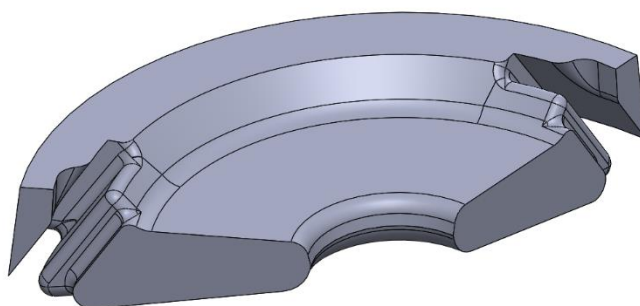
Známky jsou přídavné části modelu, které slouží k vytvoření lůžka ve formě pro uložení jádra. V našem případě je místo na vytažení známek pouze mezi sloupky spojující dvě části odlitku [11].

Nejdříve se vytvoří skica, ve které je vidět tvar dutiny a místo vyvedení známek. V této skici se pomocí prvku **Průsečnice** vytvoří průřez odlitku v této rovině. Dále se do skici doplní tvar známek (černé plné čáry v obrázku 3.10) a také se přikreslí čáry protínající objem odlitku tak aby následný prvek rotace vyplnil celý prostor dutiny v tomto průřezu (modré plné čáry v obrázku 3.10). Na svislou stěnu známky se vynese úkos  $7^\circ$ . Tato skica se využije v prvku **Rotace**, který nám v úhlu  $120^\circ$  vytvoří objem známky (viz obr. 3.10).

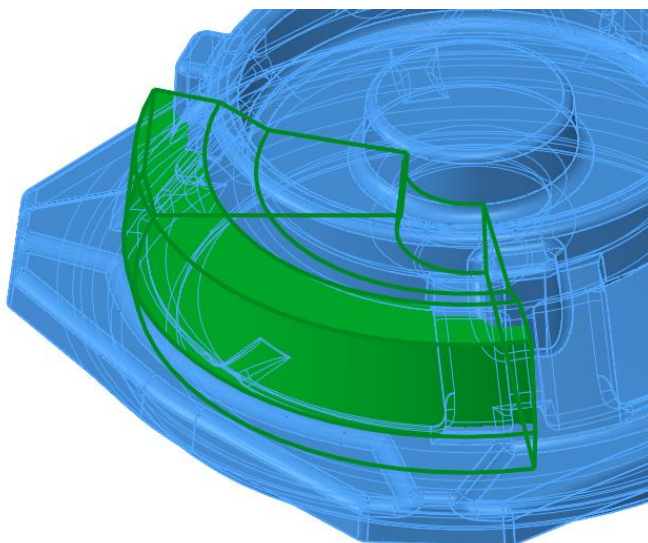
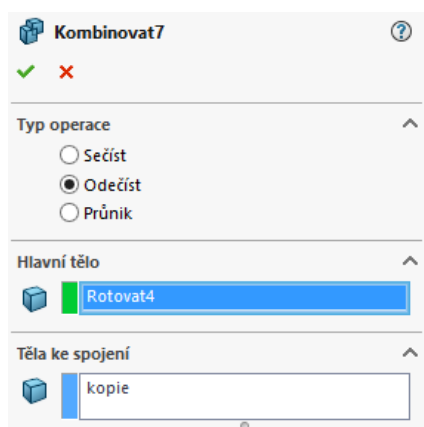


Obr. 3.10 Modelování známky.

Dále se vytvoří kopie odlitku a následně se vytvořený objem známky odečte od této kopie. K odečtení se použije prvek **Kombinovat** (viz obr. 3.12). Jako hlavní tělo se zvolí objem známky a jako tělo k odečtení se použije kopie odlitku. Tímto způsobem se vytvoří segment jádra (obr. 3.11).



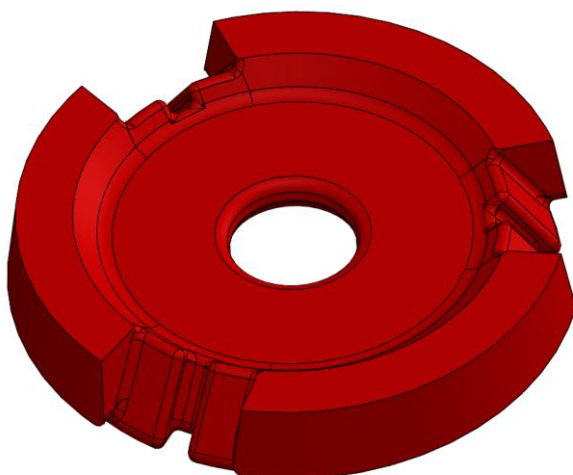
Obr. 3.11: Výsledek po odečtení (segment jádra).



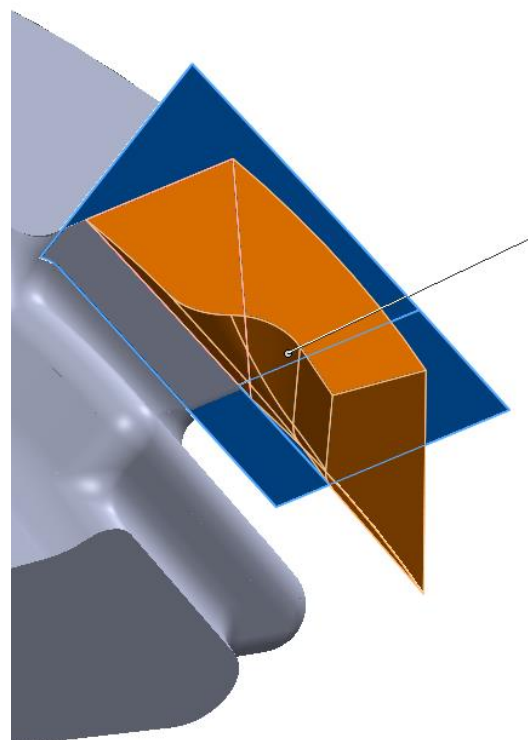
Obr. 3.12: Odečtení objemu známky a kopie odlitku.

Tento segment jádra je dále potřeba upravit tak aby se odstranila část přesahující nad sloupky odlitku. Tyto části se odříznou pomocí prvku **Rozdělit** a pomocí plochy na sloupku, která se zvětší tak aby protínala segment jádra (modrá plocha na obrázku 3.14).

Takto upravený segment na obou stranách se pomocí prvku **Kruhové pole** třikrát nakopíruje. Tyto tři díly se následně spojí dohromady pomocí prvku **Kombinovat** a tím vznikne celé jádro se známkami (viz obr. 3.13)



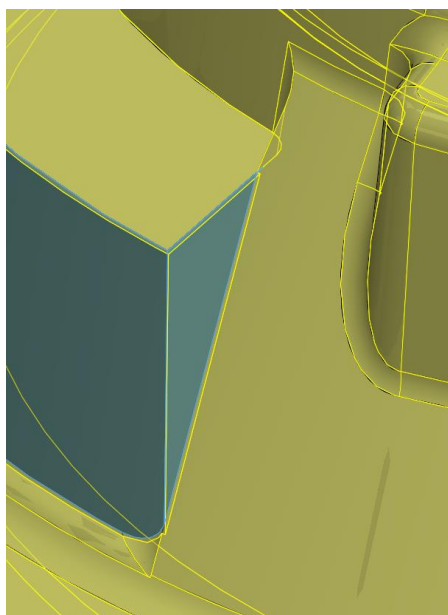
Obr. 3.13: Jádro.



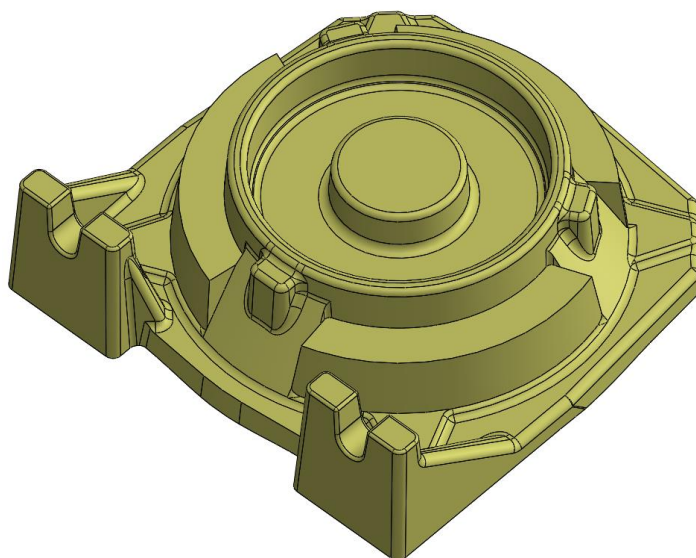
Obr.. 3.14 Úprava segmentu jádra.



Po vytvoření jádra se vytvoří další dvě kopie jádra pomocí prvku **Přesunout/kopírovat tělo**. Jedna z kopií se přičte ke kopii odlitku a tím vznikne model se známkami (viz obr. 3.16). Druhá kopie bude sloužit k modelování jaderníku. Na známky na modelu je dále nutné vytvořit vůle mezi jádrem a formou. V tomto případě se přidává pouze vůle na sestavení formy (vyznačené modře na obrázku 3.15). Závěrové vůle se v případě bentonitových formovacích směsí volí nulové. Vůle se modelovala pomocí prvku **Přesunout plochu** a velikost vůle se určila dle normy ČSN EN 12890 jako 0,25 mm.



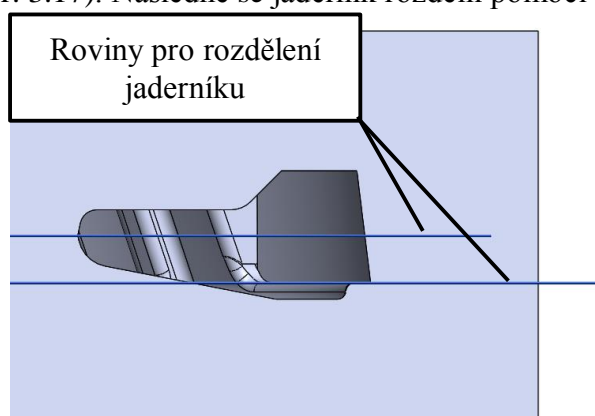
Obr. 3.15: Modelování vůle .



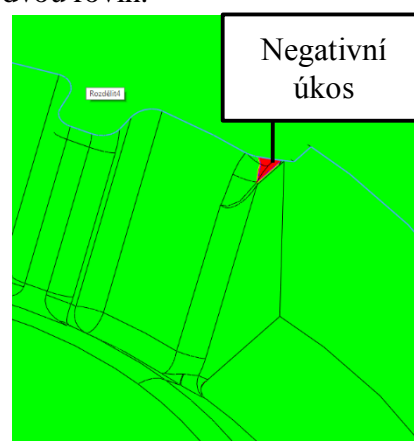
Obr. 3.16: Model.

### 3.5 Modelování jaderníku

Jaderník se modeluje pomocí již vymodelovaného jádra. Kolem jádra se vymodeluje kvádr, jehož plochy jsou odsazené o 30 mm od jádra. Následně se jádro odečte od kváдру pomocí prvku **Kombinovat** a ve kváдру nám vznikne dutina požadovaného tvaru. Tento kvádr je dále nutné rozdělit tak aby se dalo jádro z dutiny vyjmout. To znamená, aby ani v jedné části jaderníku nebyly negativní úkosy. Vytvořily se dvě roviny. Jedna rovina rozděluje jaderník ve středu jaderníku a druhá rovina rozdělí vnější část jaderníku v úrovni konce známky (viz obr. 3.17). Následně se jaderník rozdělil pomocí těchto dvou rovin.

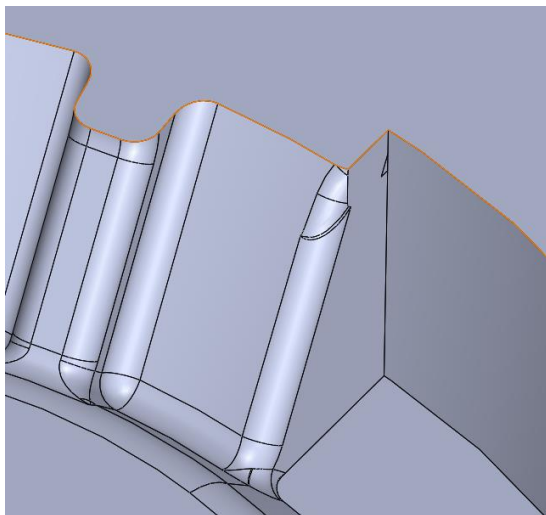


Obr. 3.17: Roviny pro rozdělení jaderníku.

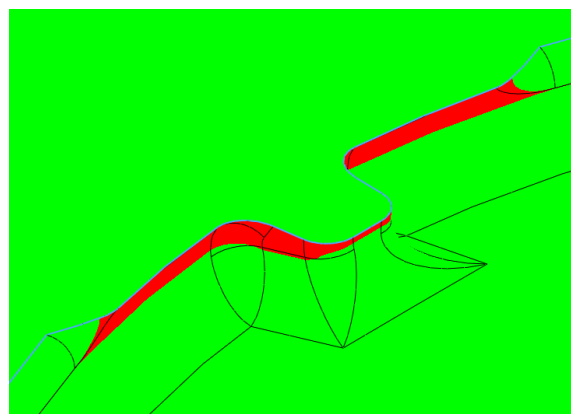


Obr. 3.18: Negativní úkosy v jaderníku.

Po rozdělení jaderníku, jsou stále místa, kde se nacházejí negativní úkosy a tyto místa se buď zarovnají, nebo se odříznou a připojí se k druhé části jaderníku, pokud je to možné. Na obrázku 3.18 je vidět negativní úkos, který se odstraní odříznutím pomocí prvku **Rozdělit** a ploch v okolí tohoto úkosu. Výsledek je vidět na obrázku 3.19.

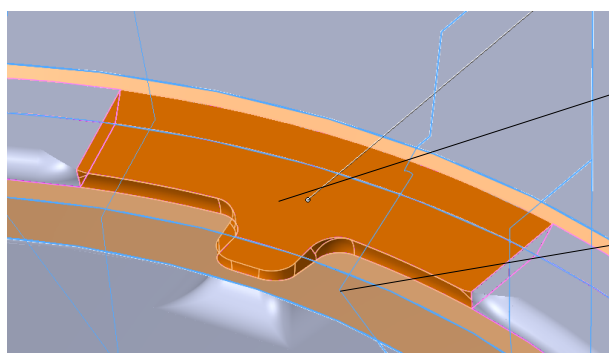


Obr. 3.19: Roh známky po odstranění negativního úkosu.



Obr. 3.20: Negativní úkosy v druhé části jaderníku.

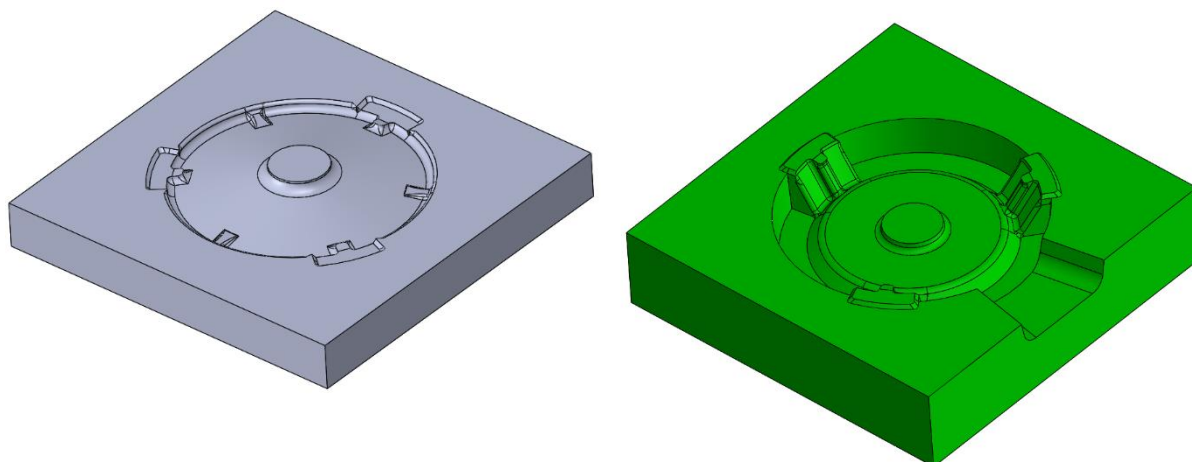
V druhé části jaderníku jsou také negativní úkosy. Tyto úkosy (viz obr. 3.20) se odstraní tím, že se odříznou od této části jaderníku a připojí se k části druhé. Vytvoří se rotační plocha, která prochází místem s nulovým úkosem a pomocí této plochy a ploch na bocích známek se oddělí část jaderníku (viz obr. 3.21). Tímto způsobem se oddělili všechny tři části s negativním úkosem a přičetly se k první straně jaderníku (viz obr. 3.22). Zbytek negativních úkosů, které se nepodařilo oddělit od jaderníku, se překryly plochou s pozitivním úkosem, čímž se sice změnila geometrie jádra ale pouze minimálně (změna méně než 0,2 mm). Dále se na odříznuté části přidal úkos a vůle pro snadnou montáž jaderníku. Nakonec se do spodní části jaderníku vymodeloval otvor pro vstřelení formovací směsi. Díry pro síťka (pro odvod vzduchu z jaderníku při vstřelování) se budou do jaderníku dodělavat ručně až po vyfrézování.



Odříznutá část ze  
spodku jaderníku

Plocha procházející  
místy s nulovým úkosem

Obr. 3.21: Oddělení části s negativním úkosem.

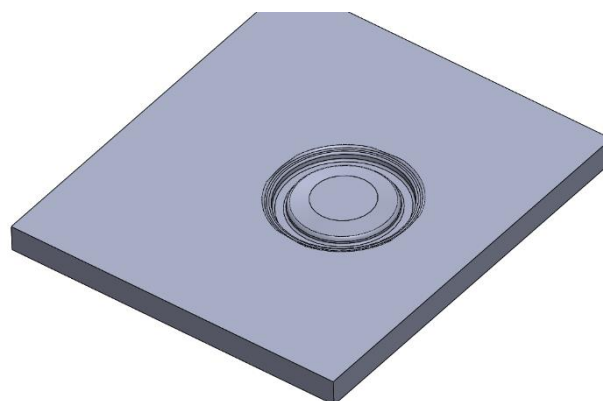


Obr. 3.22: Spodní část jaderníku (vpravo) a Vrchní část jaderníku (vlevo).

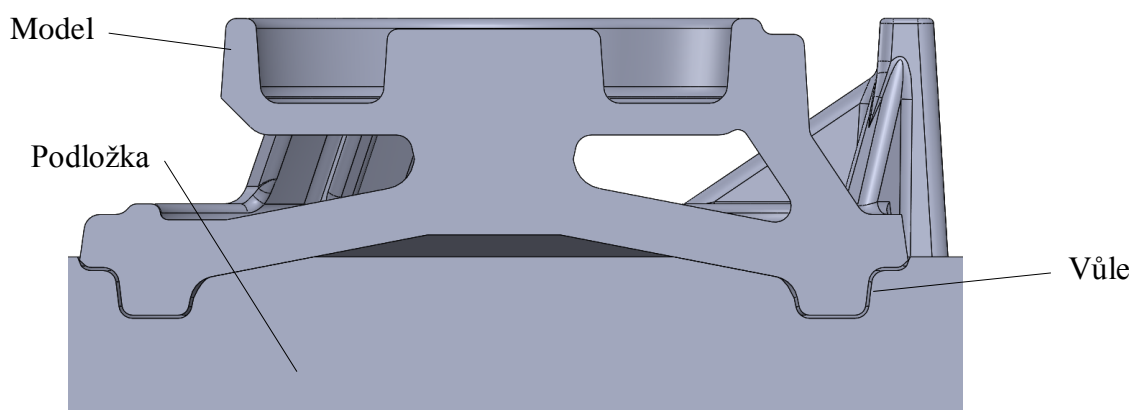
### 3.6 Modelování podložky

Podložka slouží k uložení oboustranného modelu při formování první části formy. Při formování druhé části formy se podložka odstraní a formuje se na druhou stranu modelu.

Při tvorbě podložky se udělala další kopie odlitku, která se odečetla od desky s výslednou velikostí podložky, což je  $450 \times 400 \times 30$  mm. Jako dosedací plochy mezi podložkou a modelem se zvolila dělicí rovina a část kuželu na středu odlitku. Zbytek ploch v podložce se odsadil (viz obr. 3.24), aby vznikla vůle mezi modelem a podložkou. Na podložce také bude pomocí kolíčků připevněný model vtokové soustavy, který je díky svým velice malým rozměrům náchylný k poškození a při přechování formovací směsí by se mohla pohybovat.



Obr. 3.23: Podložka.



Obr. 3.24: Řez podložky a modelu.



### 3.7 Smrštění a vymodelování polotovarů pro frézování

Aby měl odlitek po vychladnutí požadované rozměry je nutné modelové zařízení zvětšit o hodnotu smrštění. Smrštění se liší v závislosti na materiálech a na konstrukci odlitku. Smrštění pro litinu s lupínkovým grafitem se pohybuje okolo 1%. U ocelí je smrštění okolo 2%. Litiny mají menší hodnotu smrštění kvůli uhlíkové expanzi při tuhnutí. Uhlíková expanze je efekt při vylučování grafitu z taveniny. Právě díky uhlíkové expanzi se také litinové odlitky většinou nemusí nálitkovat [11].

V našem případě se bude odlévat z šedé litiny, a proto bude smrštění 1%. Smrštění aplikujeme pomocí prvku **Měřítka**. V prvku se vyberou všechny modely a jako měřítka se použije hodnota 1,01.

Polotovary jaderníku i modelu budou kvádry z materiálu OBO 700, které mají o 8 mm větší rozměry v osách X a Y než model a díly jaderníku. V osách Z budou rozměry pokud možno dle tloušťek desek, ve kterých je dodává výrobce. Polotovar podložky bude překližková deska o tloušťce 38 mm a přídavek na bocích podložky bude 10 mm.

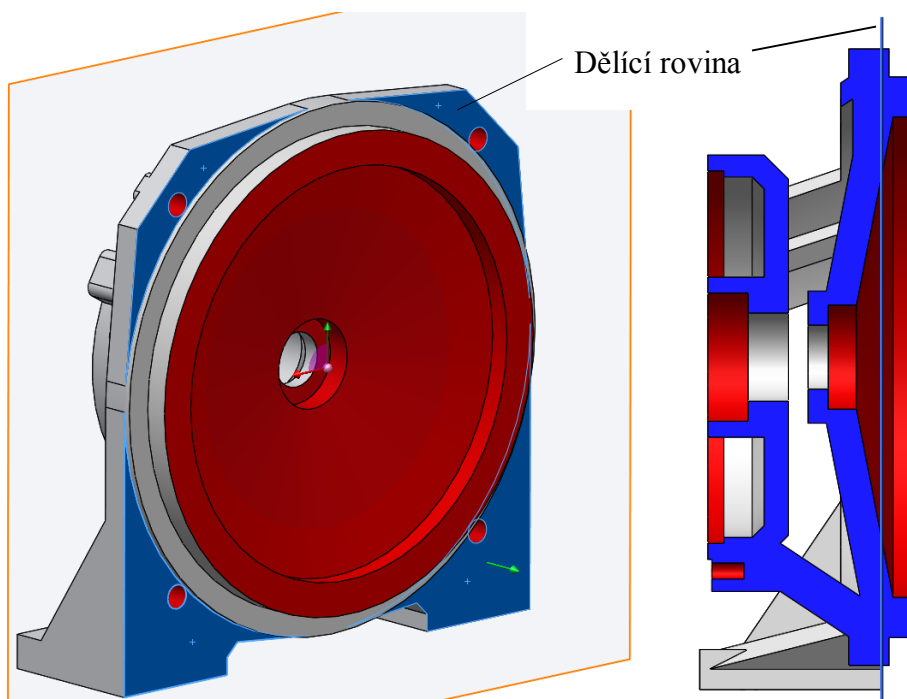
Rozměry polotovarů:

- Model – 186×180×65 mm
- Jaderník vrchní díl – 210×210×40 mm
- Jaderník spodní díl – 210×210×50 mm
- Podložka – 475×424×38 mm

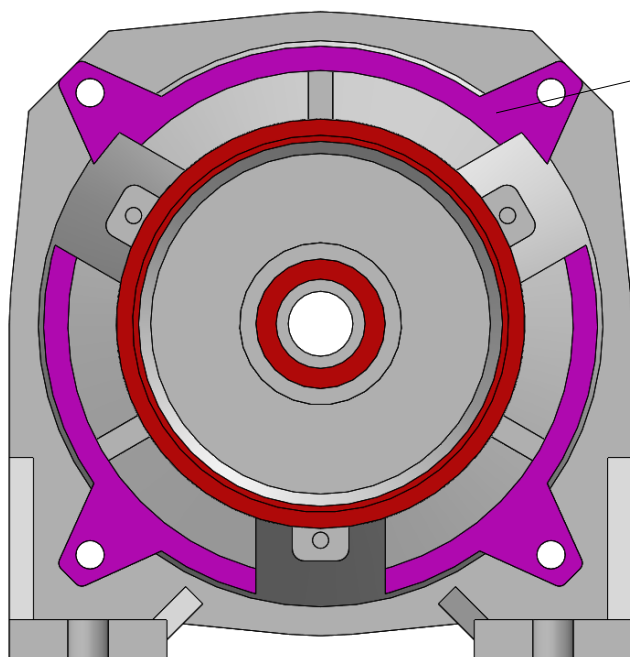
## 5 NÁVRH SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGIE

### 4.1 Způsob formování

Díl, který řeším v mojí práci je na svoji tvarovou složitost velice malý (maximální rozměry odlitku jsou 160x154x54 mm). Nejvhodnější umístění dělicí roviny bude pravděpodobně plocha označená na obrázku 4.1. Rozdělení dílu v tomto místě ale není vhodné, protože vrchní oddělená část dílu je velice tenká a zároveň dělicí rovina protíná tvarovou plochu na odlitku. Z tohoto důvodu se model bude vyrábět jako oboustranný a při formování se použije podložka. Dutina, která se bude muset vytvořit pomocí jádra má pouze tři místa (fialově označená na obrázku 4.2), ze kterých se dají vyvést známky. Za těmito plochami ale dále pokračuje tvar na odlitku. Známky tedy nemůžou být vyvedeny mimo obrys modelu a nebudou axiálně zajištěny v obou směrech. Jádro bude usazené letmo. Z tohoto důvodu je vhodnější formovat do spodku. Usazování jádra bude snadnější a axiální zajištění se provede pomocí podpěrek (viz obr. 4.3), které zabrání zvednutí jádra (jádro se kvůli své hustotě bude snažit plavat na tavenině, a proto musí být axiálně zajištěno). Formovat do vršku by bylo také možné ale jádro by se muselo nalepit do formy a při plnění formy by se mohlo uvolnit od silového působení proudu taveniny.



Obr. 4.1 Zobrazení dělicí roviny zezadu a v řezu.



Plocha pro  
vyvedení  
známk



Obr. 4.3 Podpěrka jádra [18].

Obr. 4.2 Pohled zepředu.

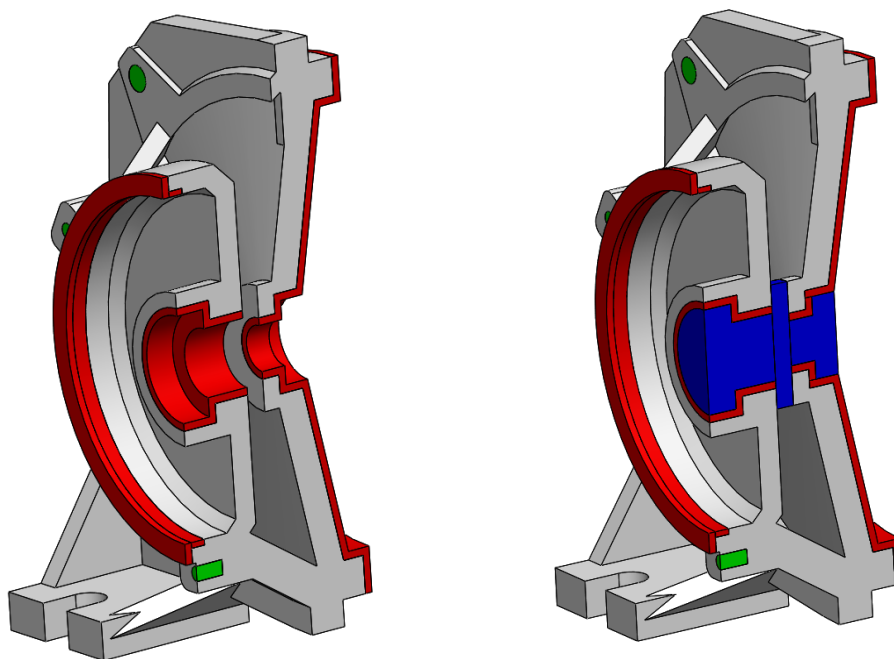
#### 4.2 Formovací směsi

Formovací směsi se zvolili dle možností slévárny. To znamená, že na formu se použije bentonitová směs pro ruční formování se střední velikostí zrna  $D_{50}=0,23$  mm. Pro jádro se použije jako pojivo fenol-resolovou pryskyřici vytvrditelnou pomocí  $CO_2$  a jako ostřivo křemičitý písek se střední velikostí zrna  $D_{50}=0,27$  mm.

Při výrobě forem se v první vrstvě okolo modelu použije nová bentonytová směs pro ruční formování. Zbytek rámu se vyplní bentonytovou směsí, která je v oběhu. Díky nové formovací směsi se bude odlitek jednodušeji čistit a odlitek bude mít kvalitnější povrch.

### 4.3 Technologické přídavky

Na obrázku 4.4 jsou vidět namodelované přídavky na obrábění označené červenou barvou o tloušťce 2 mm. Díry, které nejdou předlít, jsou zaslepeny a na obrázku 4.4 jsou označené zelenou barvou. Díry ve středu odlitku mají po přidání přídavku na obrábění v nejužším místě pouze 12 mm a v nejširším 24 mm. Díry o takto malém průměru už by se špatně odlévaly a po konzultaci s technologem slévárny se tyto díry také zaplní. Tyto zaplněné díry ale vytvářejí dva velké tepelné uzly, pro které by se museli navrhnout dva nálitky. Z tohoto důvodu se tyto dva uzly propojili, a bude stačit pouze jeden nálitok, který doplní taveninu do obou tepelných uzlů při tuhnutí. Dalším důvodem pro spojení dvou tepelných uzlů je ten, že dutina mezi těmito částmi odlitku by musela být vytvořena pomocí jádra, které by bylo v tomto místě slabé pouze 4,9 mm. Takto slabé jádro by se mohlo jednoduše poškodit nebo by se mohlo připéct k odlitku a špatně by se odstraňovalo. Dále by se tavenina do spodní části odlitku dopravovala pouze pomocí tří sloupků, které mají velice malý průřez, a mohlo by to způsobovat vady v odlitku. Tyto dvě části odlitku jsou oddělené pouze kvůli vodě, která by mohla prosáknout skrz těsnění a mohla by se při propojení dostat do motoru. Nejedná se proto o funkční plochu a obrobení proto nebude potřeba v celé mezeře, ale bude stačit pouze provrtat díru, která bude odvádět vodu prosakující skrz těsnění. Nejmenší tloušťka stěn a žeber na odlitku je 4 mm a tyto stěny po dohodě s technologem slévárny zesílíme na 6 mm a žebra na 5 mm.

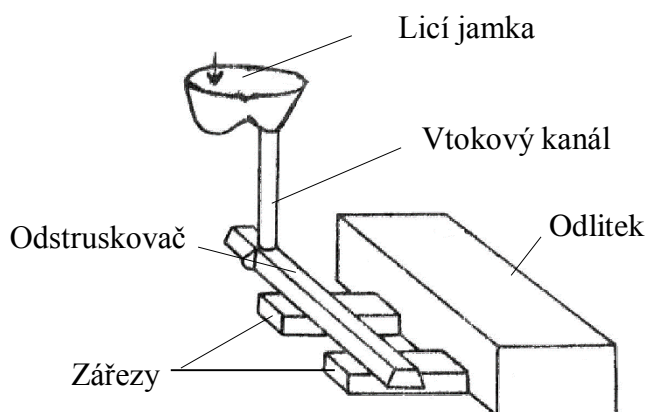


Obr. 4.4: Řez odlitku s přídavky na obrábění (červené) a technologickými přídavky (modré).

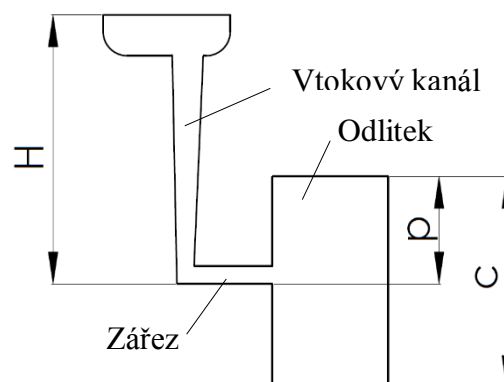
### 4.4 Vtoková soustava

Vtoková soustava velkým dílem ovlivňuje výslednou jakost odlitku. Musí zajistit plynulé a rovnoměrné plnění formy tekutým kovem a zabránit turbulencím a nasávání vzduchu. Dalším úkolem vtokové soustavy je odstranění strusky a vměstků z taveniny. Vtoková soustava se skládá z několika částí: vtokové jamky, vtokového kanálu, odstruskovače a zářezů. Pro zvýšení jakosti odlitku se ve vtokové soustavě použije filtr, který bude zachycovat vměstky

a strusku. Díky zařazení filtru do vtokové soustavy také odstruskovač ztrácí svoji funkci odstraňování strusky a slouží pouze jako rozváděcí kanál pro tekutý kov [10].



Obr. 4.5: Schéma vtokové soustavy [10].



Obr. 4.6: Zakótované rozměry pro výpočet střední licí výšky [10].

Odlévat budeme z materiálu ČSN 42 2420 (EN-GJL-200). Hustota této litiny je  $7300\text{kg/m}^3$ . Pomocí analýzy **Fyzikální vlastnosti** v CAD systému SolidWorks se určila hrubá hmotnost odlitku a ta je 3,24 kg. Dále je nutné určit surovou hmotnost odlitku, což je hrubá hmotnost odlitku navýšená o hmotnost vtokové soustavy. Předběžná surová hmotnost odlitku je přibližně 4,5 kg.

Dále je nutné dopočítat dobu lití, střední licí výšku a velikost řídicího průřezu vtokové soustavy. Pomocí řídicího průřezu se následně určí průřezy jednotlivých prvků vtokové soustavy podle toho, jestli se jedná o vtokovou soustavu podtlakovou nebo přetlakovou.

Doba lití podle Dieterta [10]:

$$t = s \cdot \sqrt{G_h} = 2 \cdot \sqrt{4,5} = 4,2 \text{ s} \quad (4.1)$$

kde:  $t$  ...doba lití [s]

$s$  ...součinitel, charakterizující složitost odlitku a tloušťky stěny [-]

$G_h$  ...surová hmotnost odlitku [kg]

Střední licí výška: závisí na poloze zářezů vůči horní části odlitku, metalostatický tlak se v průběhu lití mění vlivem stoupání hladiny ve formě, tím pádem se mění i výtoková rychlost kovu v zářezech. Rozměry pro výpočet jsou zakótovány na obrázku 4.6 [10].

$$h = H - \frac{p^2}{2 \cdot c} = 12 - \frac{0,9^2}{2 \cdot 5,4} = 11,93 \text{ cm} \quad (4.2)$$

kde:  $h$  ...střední licí výška [cm]

$H$  ...užitný tlak (výška formovacího rámu) [cm]

$p$  ...výška odlitku nad zářezem [cm]

$c$  ...výška odlitku ve formě [cm]

Řídící průřez vtokové soustavy [10]: nejužší průřez vtokové soustavy

$$F_z = \frac{22,6 \cdot G_h}{\rho \cdot t \cdot \xi \cdot \sqrt{h}} = \frac{22,6 \cdot 4,5}{7,0 \cdot 4,2 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{11,93}} = 1,82 \text{ cm}^2 \quad (4.3)$$

kde:  $F_z$  ...řídící průřez vtokové soustavy [ $\text{cm}^2$ ]

$G_h$  ...hrubá hmotnost odlitku [kg]

$\rho$  ...hustota tekutého kovu [ $\text{kg}/\text{cm}^3$ ]

$t$  ...doba lití [s]

$\xi$  ...rychlostní faktor (ztráty při průtoku) [-]

22,6 ... konstanta odvozená z výtokové rychlosti

Po výpočtu řídicího průřezu  $F_z$  se další rozměry prvků vtokové soustavy vypočítají z předem zvolených poměrů základních prvků vtokové soustavy. Dále je potřeba si zvolit, jestli se bude používat vtoková soustava přetlaková nebo podtlaková. Volba přetlakové nebo podtlakové vtokové soustavy vychází ze sklonu kovu k oxidaci, licí pánve a složitosti odlitku [10].

V případě přetlakové vtokové soustavy je soustava zaplněná a kov ze zářezů do dutiny formy stříká a to může způsobit erozi jader. Zářezy mají řídicí průřez a směrem k vtokovému kanálu se průřez prvků soustavy zvětšuje [10].

Podtlaková vtoková soustava je nezaplňená a kov volně vytéká z nezaplňeného zářezu po stěně formy. Vtokový kanál má řídicí průřez a směrem k zářezům se průřez prvků soustavy zvětšuje [10].

Pro odlitek v této práci bude vhodnější podtlaková vtoková soustava, protože zářezy ústí přímo naproti jádra a proud taveniny by při vyšších rychlostech proudění mohl způsobovat erozi jádra.

#### 4.4.1 Návrh tvaru a průřezů vtokové soustavy

Při návrhu tvaru vtokové soustavy se vytvořily dvě větve rozváděcích kanálů se čtyřmi zářezy, které budou rozmístěny tak aby dodávaly kov rovnoměrně do celé formy. Hodnota řídicího průřezu vyšla  $1,82 \text{ cm}^2$ . Bude se počítat podtlaková vtoková soustava. To znamená, že řídicí průřez bude mít vtokový kanál. Průměr kanálu vychází 15,2 mm a zaokrouhlí se na 16 mm. Průřezy další prvků vtokové soustavy se zvolí tak aby poměr mezi průřezy zářezů, rozváděcího kanálu a vtokového kanálu byl zhruba 4 : 4 : 3.

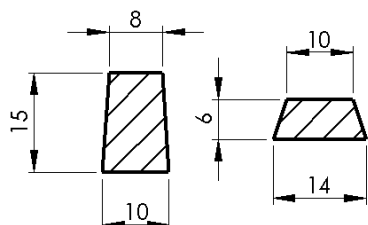
$$S_Z : S_{RK} : S_{VK} = 4 : 4 : 3$$

kde:  $S_Z$  ...průřez zářezů [ $\text{mm}^2$ ]

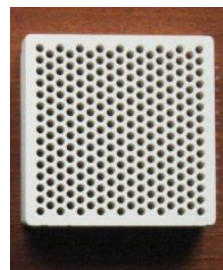
$S_{RK}$  ...průřez rozváděcího kanálu [ $\text{mm}^2$ ]

$S_{VK}$  ...průřez vtokového kanálu [ $\text{mm}^2$ ]

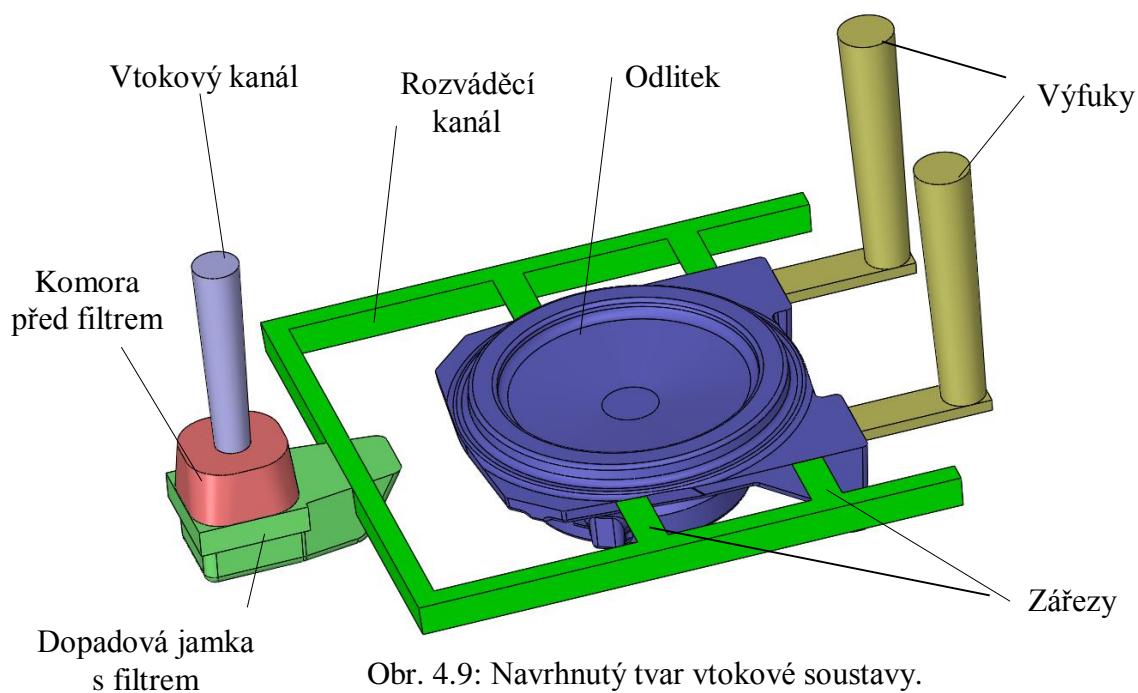
Vtokový kanál bude mít průměr 16 mm (201 mm<sup>2</sup>). Za kanálem bude následovat komora s filtrem CHF o velikosti 50x50x12,7 mm (obr. 4.8) a dopadová jamka. Z dopadové jamky budou vyvedeny 2 rozváděcí kanály o celkovém průřezu 270 mm<sup>2</sup> a z každého kanálu budou vést 2 zářezy o celkovém průřezu 288 mm<sup>2</sup>.



Obr. 4.7: Průřez rozváděcího kanálu (vlevo) a zářezu (vpravo).



Obr. 4.8: Lisovaný CHF filtr [16].



Obr. 4.9: Navrhnutý tvar vtokové soustavy.

Dále je nutné vytvořit ve formě výfuky. Výfuky slouží k odvodu plynů a vodních par vznikajících ve formě. Výfuky se umístili nad nožičky odlitku, ale jelikož nejsou umístěné v nejvyšším místě odlitku, bude potřeba do formy v nejvyšším místě odlitku udělat průduchy pomocí ocelového bodce.

## 4.5 Nálitkování

Na tomto odlitku se nachází několik míst, kde vzniknou tzv. tepelné uzly. Tepelné uzly jsou místa, kde tuhne tavenina jako poslední a vlivem smršťování je v těchto místech nedostatek tekutého kovu. Nedostatek tekutého kovu může vytvořit porezitu nebo staženiny, které mají vliv na výslednou pevnost odlitku. Zneškodnit tepelný uzel lze několika metodami: změnou konstrukce odlitku, nálitkováním, chlazením. V našem případě jsou tyto tepelné uzly tvořeny napojením několika stěn o rozdílné tloušťce a dále vzniknou dva uzly v ose odlitku, které tvoří zaslepené díry. Uzly vzniklé v místech napojení stěn jsou velice malé, a pokud by v nich vznikla porezita tak jsou na místech, kde se nebude provádět obrábění a tyto vady neovlivní jakost obrobených ploch. Tepelný uzel vzniklý spojením dvou menších uzlů ve středu odlitku je na místě kde se bude obrábět, proto je potřeba aby byl odlitek v místě obráběných ploch zdravý. Toho se docílí jedním nálitkem umístěným v ose odlitku, který bude dodávat tekutý kov do tepelného uzlu, kde bude vlivem smršťování taveniny nedostatek [10].

### 4.5.1 Výpočet modulu nálitku

Nejdříve je potřeba spočítat modul tepelného uzlu a z této hodnoty se určí potřebná velikost nálitku. Průměr uzlu je 40 mm a výška uzlu je 38 mm. Výpočet byl proveden pomocí vzorce (4.4) z přílohy 7.

$$M = \frac{a \cdot b \cdot t}{2 \cdot (ab + at + bt)} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 3,8}{2 \cdot (4 \cdot 4 + 4 \cdot 3,8 + 4 \cdot 3,8)} = 0,66 \text{ cm} \quad (4.4)$$

Kde:  $M$  ...modul uzlu

$a$  ...jedna strana průřezu uzlu [cm]

$b$  ...druhá strana průřezu uzlu [cm]

$t$  ...výška uzlu [cm]

Následně je potřeba modul vynásobit konstantou  $k$ . Tato konstanta slouží k zohlednění ostatních stěn připojených k počítanému prvku (křížení stěn). Čím větší počet připojených stěn tím více se musí modul prvku zvětšit. Konstanta  $k$ , se volila dle přílohy 7.

$$M_{uzlu} = k \cdot M = 1,25 \cdot 0,67 = 0,83 \text{ cm} \quad (4.5)$$

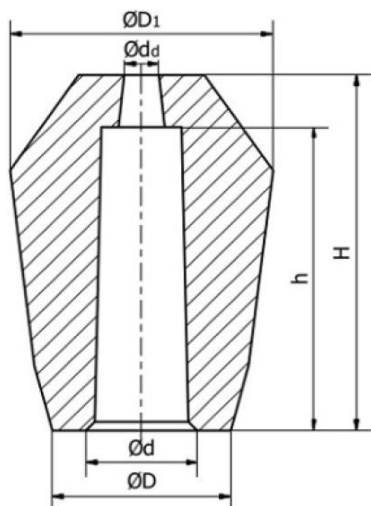
Aby bylo zajištěno, že náliček ztuhne později než uzel v odlitku, zvětšuje se modul nálitku o 25%. Tím se zajistí, že náliček bude dodávat tekutý kov do uzlu po celou dobu tuhnutí odlitku.

$$M_{nálitku} = 1,25 \cdot M_{uzlu} = 1,25 \cdot 0,83 = 1,03 \text{ cm} \quad (4.6)$$

Umístění nálitku je omezeno tvarovou plochou v oblasti nálitku (viz obr. 4.12). Z tohoto důvodu se použije exotermický náliček s podložkou. Díky exotermickému nálitku může být náliček menší než klasický náliček a podložka nám umožní zmenšit plochu, kterou bude náliček na odlitku zabírat a také bude snadnější jeho odstraňování.



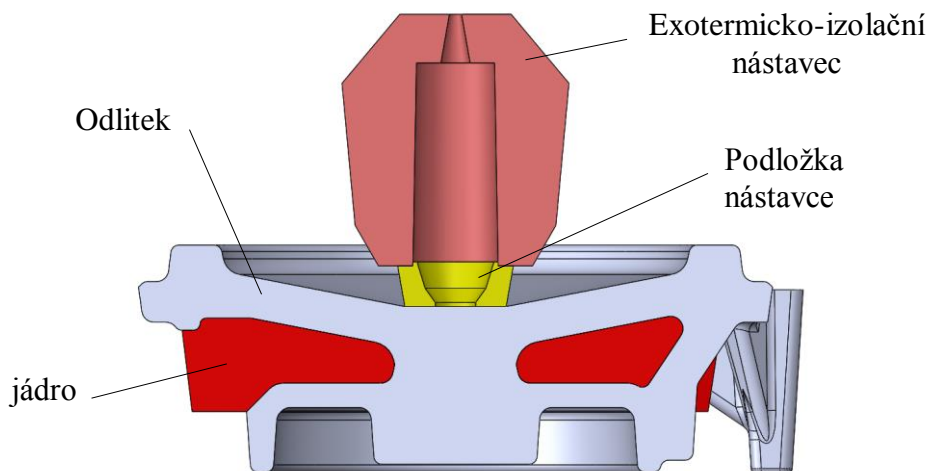
Zvolil se exotermicko-izolační kompaktní nástavec od firmy Kvartex s.r.o. s označením A16 (viz obr. 4.10) a podložka od firmy HA Kovochem s označením CK 35/2 B2K viz katalog v příloze 5 a 6.



Obr. 4.10: Exotermický nástavec typ A [7].



Obr. 4.11: Exotermický nástavec s podložkou [7].

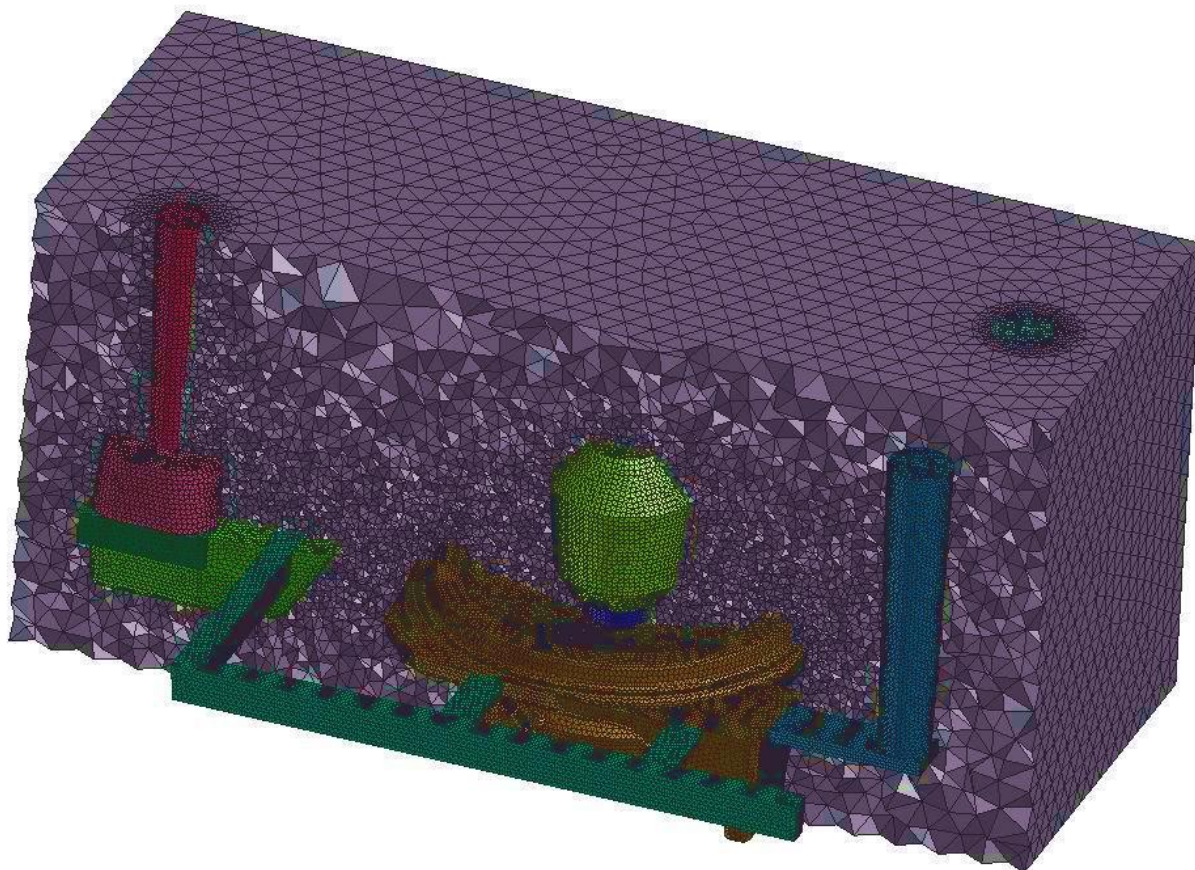


Obr. 4.12: Umístění podložky a exotermického nástavce na odlitku.

## 6 SIMULACE PLNĚNÍ FORMY A CHLADNUTÍ ODLITKU

Po navržnutí slévárenské technologie se provedla simulace lití. Numerická simulace umožňuje pozorovat lití ve všech fázích procesu a díky tomu je možné ještě před samotným litím predikovat problémové místa v odlitku a vtokové soustavě. Pomocí této simulace je také možné porovnávat vhodnost více návrhů technologií a na základě výsledků simulace vybrat nejvhodnější řešení. Pro zpracování experimentální části méj práce byl použit program PROCAST od firmy ESI Group. Simulace byla provedena ve firmě MECAS ESI s.r.o. v Brně ve spolupráci s panem doktorem Krutišem. Simulace se skládá z několika částí, což jsou:

- Plnění formy
  - Teplotní pole
  - Rychlost proudění
  - Odvzdušnění
- Chladnutí
  - Podíl ztuhlého kovu
  - Predikce pórovitosti



Obr. 5.1 Výpočtová síť.

Program je založen na metodě konečných prvků, díky které je odlitek popsán rovnicemi ve všech uzlových bodech výpočtové sítě. V mém případě má síť 137 079 2D elementů a 1 957 941 3D elementů. Každý element má čtyři uzlové body a jeho geometrický tvar je čtyřstěn. Na obrázku 5.1 je zobrazená prostorová síť v řezu a je zde také vidět zjemnění výpočtové sítě v okolí odlitku.

## 5.1 Plnění formy

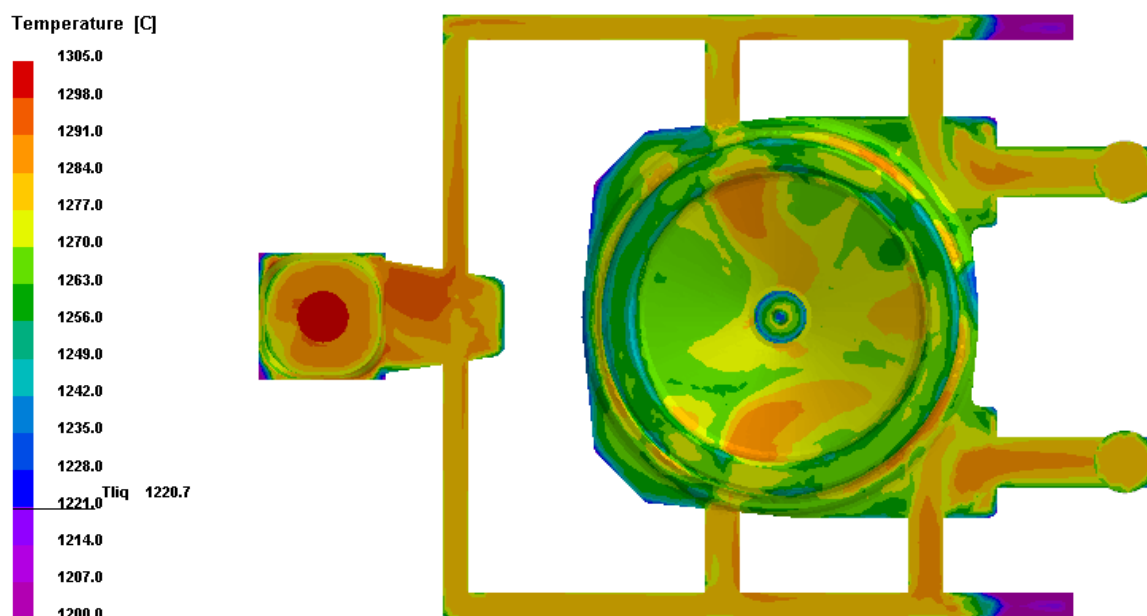
Při plnění formy se sledovalo hlavně teplotní pole, rychlosti proudění kovu ve formě a odvzdušnění formy. Dále je možné zjistit využití zářezů, oxidaci kovu a vzdálenosti jaké tekutý kov urazí, ale tyto výsledky nemají pro malý odlitek velký význam kvůli krátkému licímu času a malé hmotnosti odlitku. U větší odlitku by ale měli podstatně větší vliv na výslednou jakost odlitku a proto by mělo význam se těmito aspekty lití zabývat.

### 5.1.1 Postup plnění

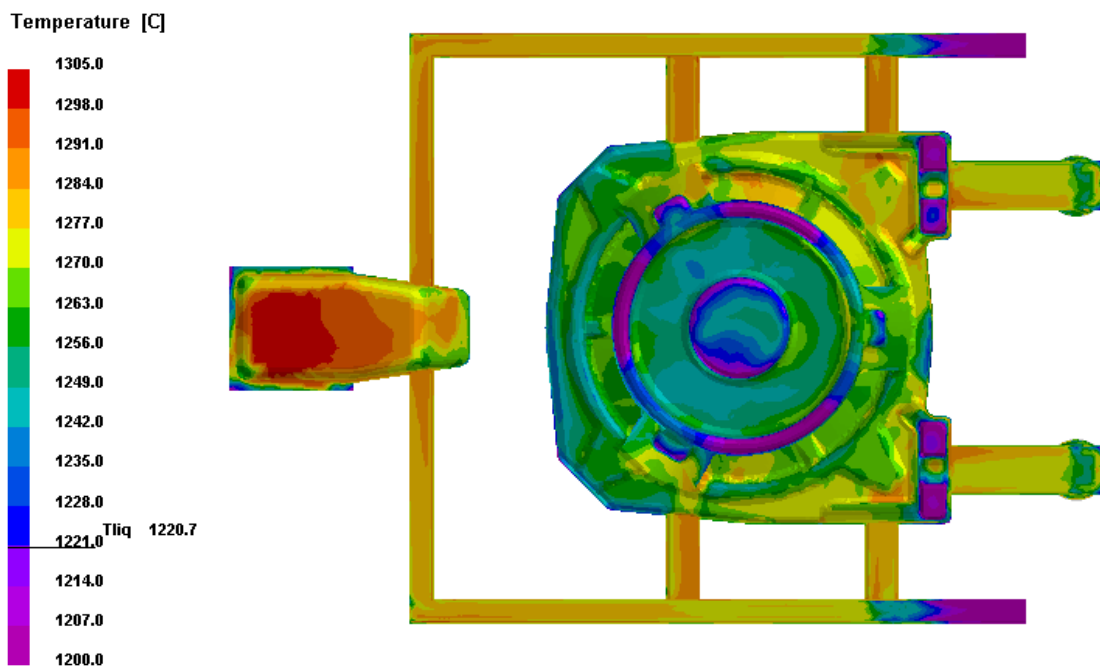
V první fázi lití se nejdříve vyplní nejtenčí a nejbližší místa odlitku. Po naplnění tří sloupků kovem se kov přelee přes jádro a naplní se centrální tepelný uzel. Následně stoupá hladina kovu, dokud se nevyplní celá forma, nálitek a výfuky.

### 5.1.2 Teplotní pole

U teplotního pole na konci lití je vidět že v žádném místě odlitku ještě není teplota nižší než je teplota solidu. V nejstudenějších místech odlitku jsou teploty pouze několik desítek stupňů pod teplotou likvidu. To znamená, že by v průběhu lití měl tekutý kov vyplnit celou formu bez vzniku studených spojů a kov zaběhne do všech dutin.



Obr. 5.1: Tepelné pole po dokončení plnění v čase 4,26 s (pohled z vrchu).

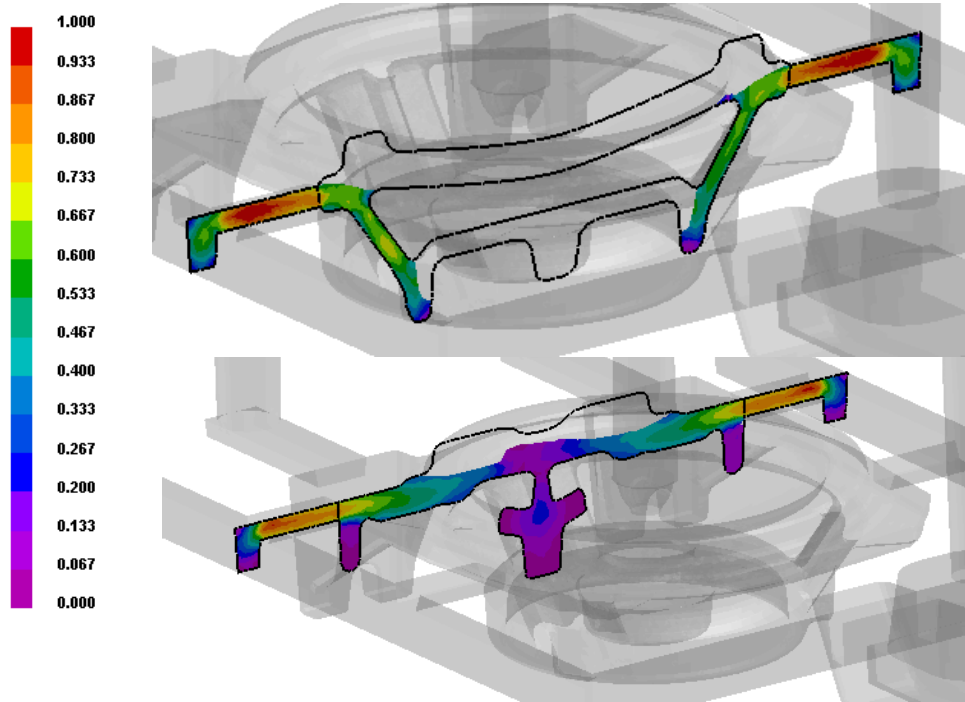


Obr. 5.1: Tepelné pole po dokončení plnění v čase 4,26 s (pohled zespodu).

### 5.1.3 Rychlost proudění

U rychlostního pole se hledají místa se zvýšenou rychlostí proudění a turbulence, které by mohly způsobovat erozi formy. Materiál formy v tekutém kovu by následně mohl způsobovat vady v odlitku.

Fluid Velocity-Magnitude [m/sec]

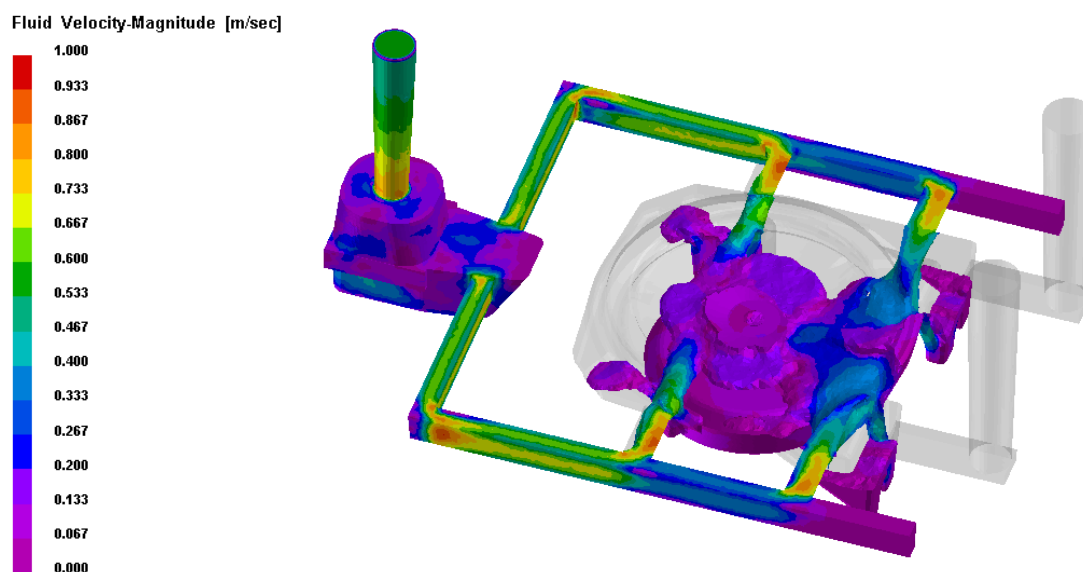


Řez blíže k vtokovému kanálu  
v čase 1,58 s

Řez dále od vtokového kanálu  
v čase 3,05 s

Obr. 5.2: Rychlosti proudění v řezech v úrovni zářezů.



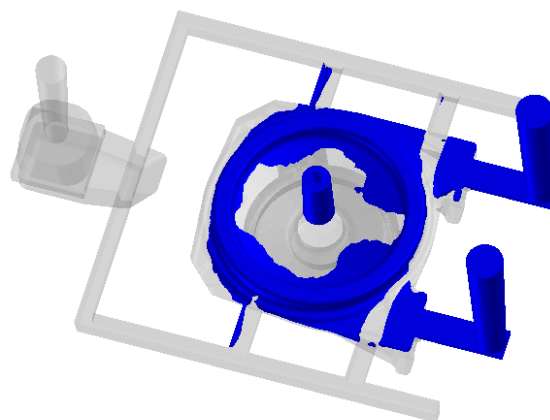


Obr. 5.3: Rychlost proudění, 3D pohled v čase 2,52 s s zaplnění 58,2%.

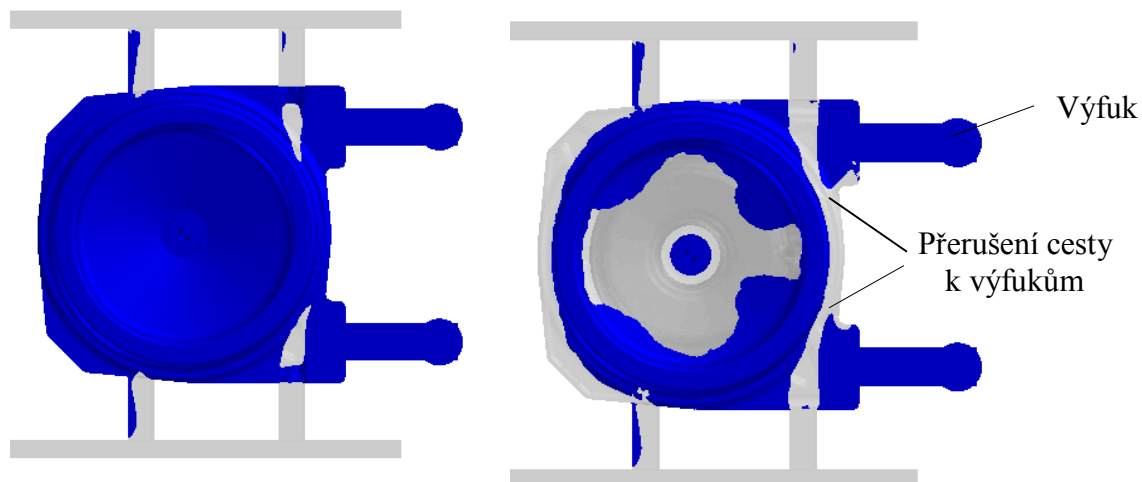
Na obrázcích 5.2 a 5.3 je vidět velká změna rychlosti proudění v zářezech a ostrých rozích vtokové soustavy. Rychlost proudění v těchto částech formy se pohybuje okolo 1 m/s a jsou zde velké změny směrů proudů a mohlo by docházet k erozi formy. Na obrázku 5.3 je také vidět, že upínací nožičky odlitku jsou plněné pouze od vedlejšího proudu tekutého kovu, který se odráží od stěny formy.

#### 5.1.4 Odvzdušnění

V této části simulace se kontroluje odvzdušňování formy. U odlitku v této práci byly výfuky umístěny níže, než je nejvyšší místo formy. Příruba, která je umístěná výše, než výfuky bude odvzdušňována pomocí průduchů ve formě. Simulace ale odhalila, že proud tekutého kovu ze zadních zářezů přeruší cestu k výfukům podstatně dříve, než hladina tekutého kovu ve formě stoupne k vršku výfuků jak je vidět na obrázku 5.4 a 5.5 vpravo. Na obrázku 5.5 a 5.4 je také vidět, že po celou dobu odlévání bude v zářezech bublina. Tato vtoková soustava je sice navržena jako podtlaková a počítá se s nezaplňenými zářezy ale ze simulace je vidět, že by bylo vhodnější vtokovou soustavu navrhnout jako odstupňovanou a s jiným naklopením zářezů tak aby byly přední i zadní zářezy zaplněné rovnoměrněji.



Obr. 5.4: Odvzdušnění, 3D pohled v čase 3,2 s a zaplnění 74,7%.

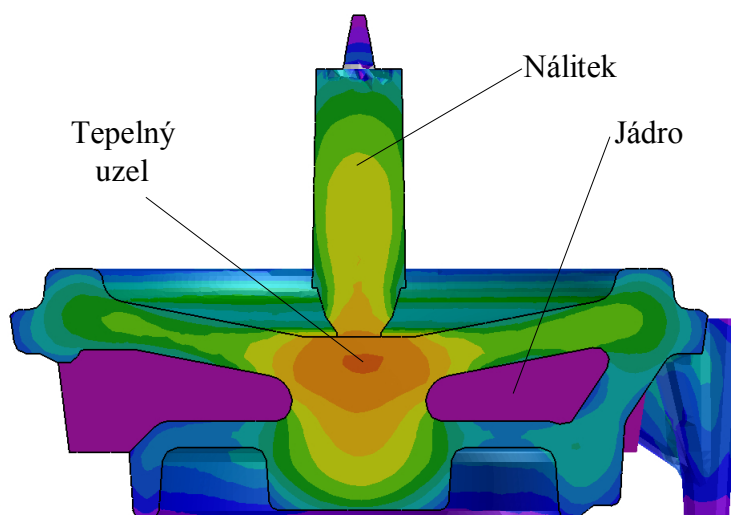
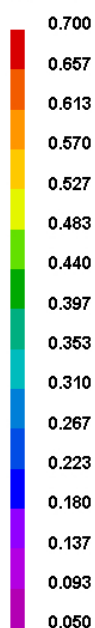


Obr. 5.5: Odvzdušnění formy, pohled z vrchu, vlevo v čase 2,3 s, vpravo v čase 3,1 s.

## 5.2 Chladnutí a tuhnutí odlitku

Při chladnutí se sledují místa, která ještě neztuhla a v průběhu tuhnutí se odpojí od náliček a zdrojů tekutého kovu. V těchto místech je vlivem smršťování nedostatek tekutého kovu a budou zde vznikat staženiny nebo pórovitost. Dalším výstupem simulace je určení modulů jednotlivých částí odlitku (obr. 5.6), ze kterého je také vidět jak bude postupovat tuhnutí odlitku. Čím větší je modul, tím později bude v určeném místě kov tuhnout. Na obrázku 5.6 je vidět, že největší modul je umístěn v uzlu odlitku. Největší modul by se ale měl nacházet v nálicích. Tím by bylo zaručeno, že náliček ztuhne jako poslední a bude dodávat tekutý kov do tepelných uzlů odlitku, dokud tyto tepelné uzly neztuhnou.

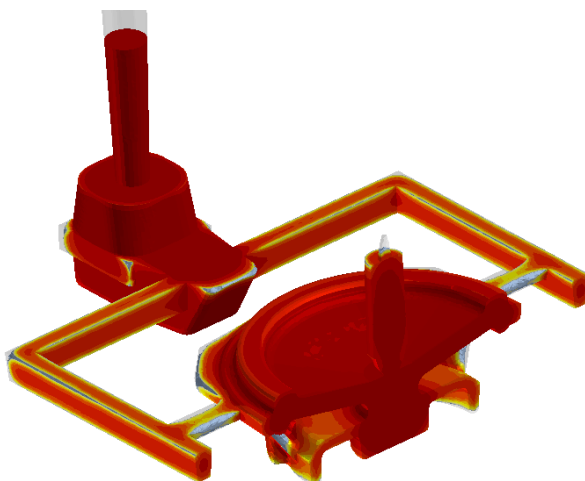
Chvorinov's Thermal Modulus [cm]



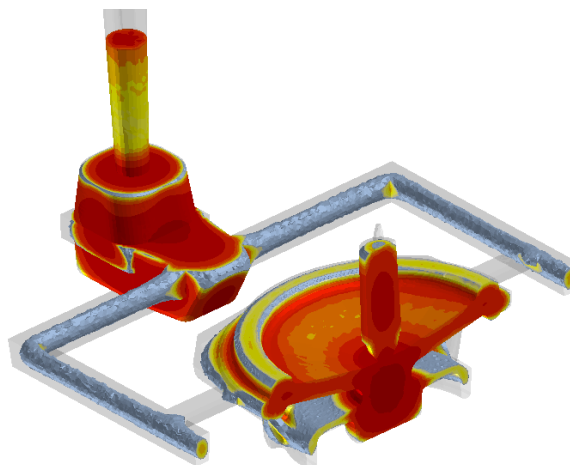
Obr. 5.6: Zobrazení modulů v řezu odlitku.

### 5.2.1 Podíl ztuhlého kovu

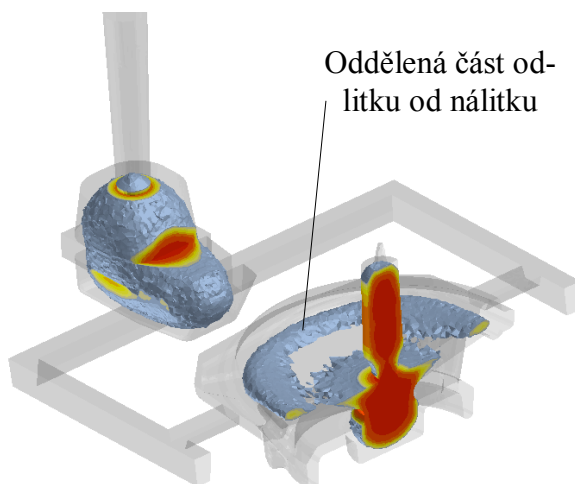
V této části simulace je vidět postup krystalizační fronty. Pomocí této části simulace se dají odhalit kritická místa v odlitku a ověřit se funkce náliček. Krystalizační fronta by měla postupovat od nejvzdálenějších míst odlitku směrem k náličkům. Na obrázku 5.8 je vidět kdy dojde k zamrznutí zářezů a odlitek již nebude zásobený tekutým kovem z vtokové soustavy. Na obrázku 5.9 je vidět odpojení části odlitku od tepelného uzlu s náličkem a do této části už nebude dodáván tekutý kov.



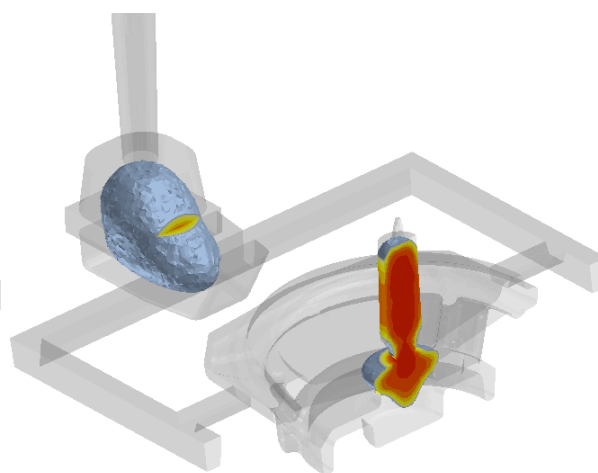
Obr. 5.7: Tuhnutí v čase 19,8 s.



Obr. 5.8: Tuhnutí v čase 40,8 s.



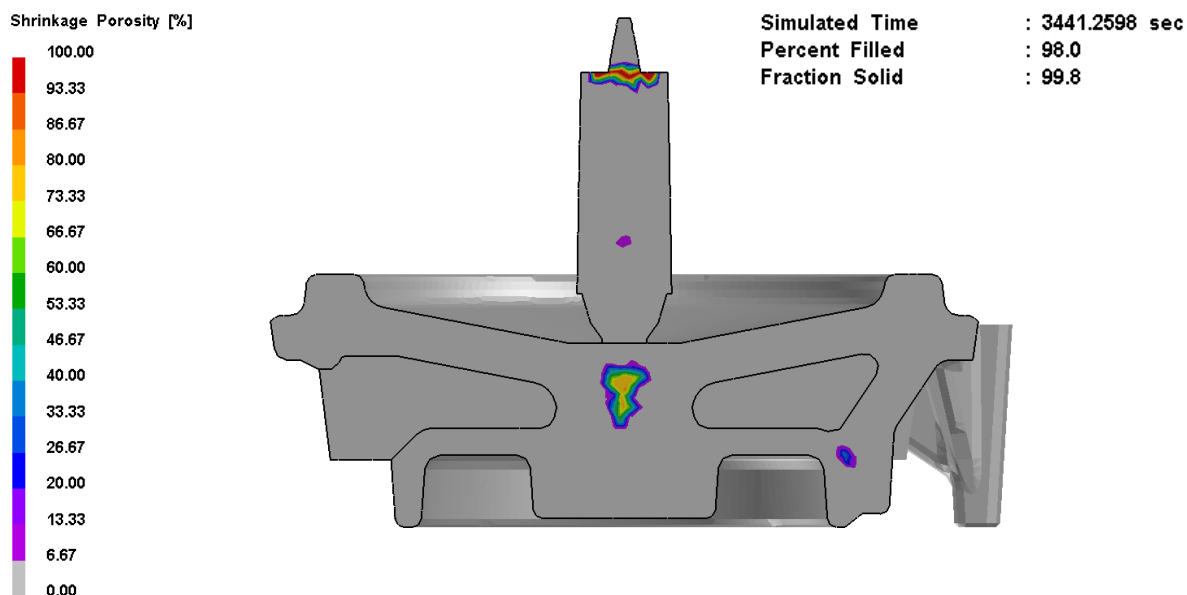
Obr. 5.9: Tuhnutí v čase 127,8 s.



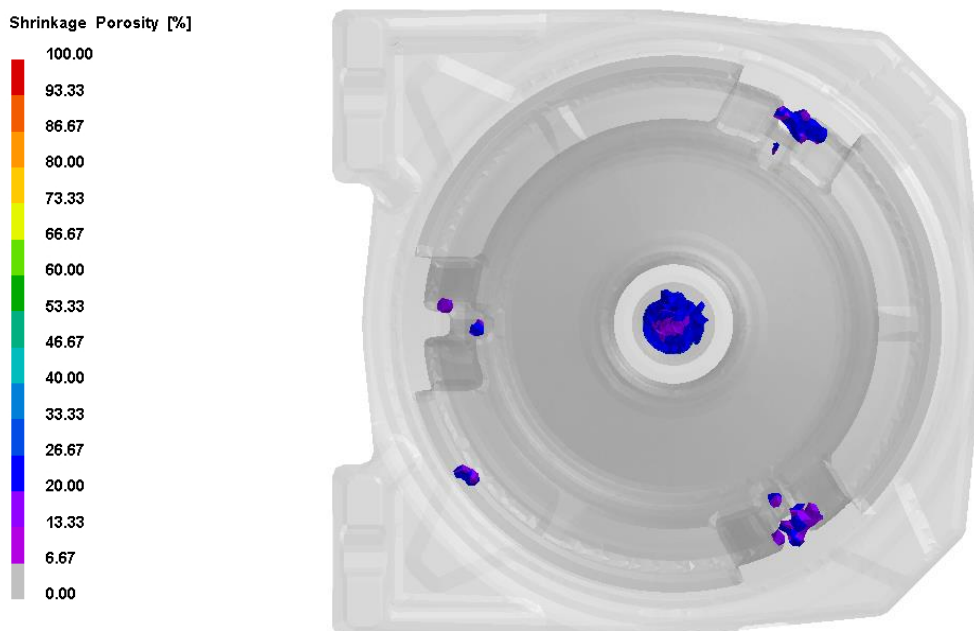
Obr. 5.10: Tuhnutí v čase 210,6 s.

### 5.2.2 Predikce pórovitosti

Predikce pórovitosti vyjadřuje, kolik procent kovu chybí v daném výpočtovém elementu. V naší navržené technologii je vidět, že nálietek není dostatečně dimenzovaný a v tepelném uzlu vzniká porezita (obr. 5.11 a 5.12). Dále vzniká porezita v místě kde jsou napojená žebra do vrchní a spodní části odlitku. Porezita v těchto místech je velice malá a pokud by se v odlitku nacházela tak by nijak neovlivnila funkci odlitku.



Obr. 5.11: Predikce pórovitosti v řezu odlitku.



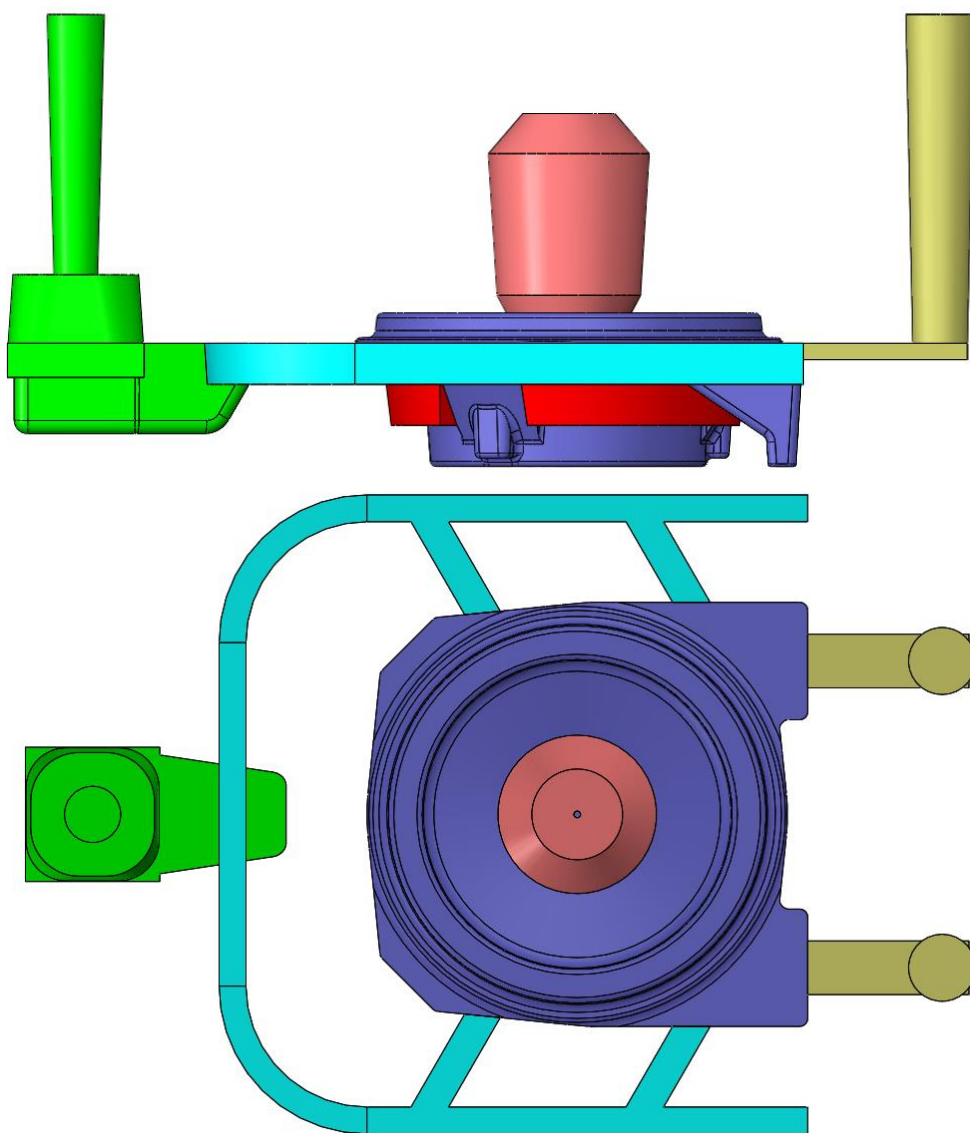
Obr. 5.12: Predikce pórovitosti, pohled zespedu.



### 5.3 Zhodnocení simulace a úprava technologie

Ze simulace vyplívá, že exotermický nálítok je nedostatečně dimenzovaný a bude třeba použít exotermicko-izolační nástavec s větším modulem (viz obr. 5.6, 5.11 a 5.12.) Na obrázcích 5.7–5.10 jsou již výsledky s nálítkem o větším modulu a je vidět správný postup tuhnutí. Dále bude vhodné upravit tvar rozváděcího kanálu, tak aby za ostrými rohy kanálů nevznikali místa s vysokou rychlostí proudění.

Nálítok byl zvětšen na exotermicko-izolační kompaktní nástavec od firmy HA Ko-vochem CK 35/2, který má dle katalogu v příloze 4 modul větší o 0,4 cm oproti původnímu nálítku a je kompatibilní s původní podložkou CK 35/2 B2K. A dále byly zaobleny ostré rohy rozváděcího kanálu a naklopeny zářezy aby se zlepšilo proudění v těchto prvcích (viz obr. 5.13).



Obr. 5.13: Upravená technologie, nahoře pohled z boku a dole pohled ze shora.

## 7 TECHNOLOGIE CNC OBRÁBĚNÍ

Na CNC strojích se bude obrábět model, dva díly jaderníku a podložka. Zbytek modelového zařízení je velice tvarově jednoduchý a bude vyrábět na konvenčních dřevoobráběcích stójkách. Obrábění se bude provádět na CNC obráběcích centrech určených pro obrábění dřeva od firmy Sahos

### 6.1 Volba a parametry obráběcích strojů

Jaderník a podložka jsou díly, které jsou obráběné pouze z jedné strany, jsou malé a polotovary jsou velice jednoduché. Z tohoto důvodu nebude potřeba pro obrábění těchto dílů ustavovací sonda a bude se moci obrábět na 3-osém CNC obráběcím centru SPRINT. V případě modelu se jedná o oboustranně obráběný díl, a proto bude potřeba při obrábění druhé strany modelu přesně naměřit nulový bod a směry os souřadného systému obrobku. To je důležité kvůli správné pozici a orientaci tvarových ploch na obou stranách modelu vůči sobě. K naměření přesné polohy a rotace obrobku je vhodná ustavovací sonda. Model se proto bude obrábět na 5-osém CNC frézovacím centru DYNAMIC.

#### 6.1.1 CNC obráběcí centrum SPRINT

CNC obráběcí centrum SPRINT je vhodné pro obrábění deskových materiálů, modelů, matic, forem a výrobu jaderníků. Tento stroj je určený pro obrábění dřeva a plastů. Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain TNC 620. Automatická výměna nástrojů je řešena pomocí šestimístního zásobníku, ale je zachována možnost ruční výměny nástrojů. K přesnému měření nástrojů slouží integrovaná nástrojová sonda TT 140 Heidenhain. Pro upnutí obrobků slouží kartitový stůl s rastrem 100×100 mm a závity M10 [17].

Tab. 6.1 Parametry obráběcího centra SPRINT [17].

Název	FC1900
Pracovní zdvih v ose X	1900 mm
Pracovní zdvih v ose Y	1280 mm
Pracovní zdvih v ose Z	500 mm
Výměník nástrojů	6 nástrojů
Maximální výška obráběného dílu	450 mm
Maximální rychlost posuvu v ose X/Y/Z	45/20/20 m/min
Otáčky vřetena	200-24000 min <sup>-1</sup>
Výkon vřetena	7,5 kW
Krouticí moment	6 Nm
Upínací kužel	ISO 30



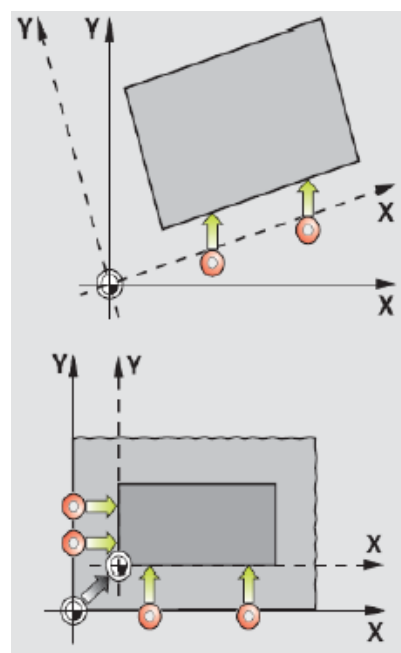
Obr. 6.1: Obráběcí centrum SPRINT [17]. Obr. 6.2: Obráběcí centrum DYNAMIC [17].

### 6.1.2 CNC obráběcí centrum DYNAMIC

Kompaktní obráběcí centrum DYNAMIC je určeno pro plošné a tvarové frézování a vrtání. Využívá se zejména při výrobě modelů, forem a všude tam kde je nutné obrábění plastů, kompozitních materiálů, hliníkových slitin, dřeva a jim podobných materiálů. Stroj je v 5-ti osém provedení osazen automatickou naklápěcí hlavou HS 662 s vřetenem ES 779. Tato naklápěcí hlava umožňuje indexované obrábění ve třech osách nebo plynulé 5-ti osé obrábění. Stroj je vybaven nástrojovou a ustavovací sondou. Stroj je osazen pracovním stolem z tvrzeného kartitu opatřeného závitou M10 v rastru 100×100 mm [17].

Tab. 6.2 Parametry obráběcího centra DYNAMIC [17].

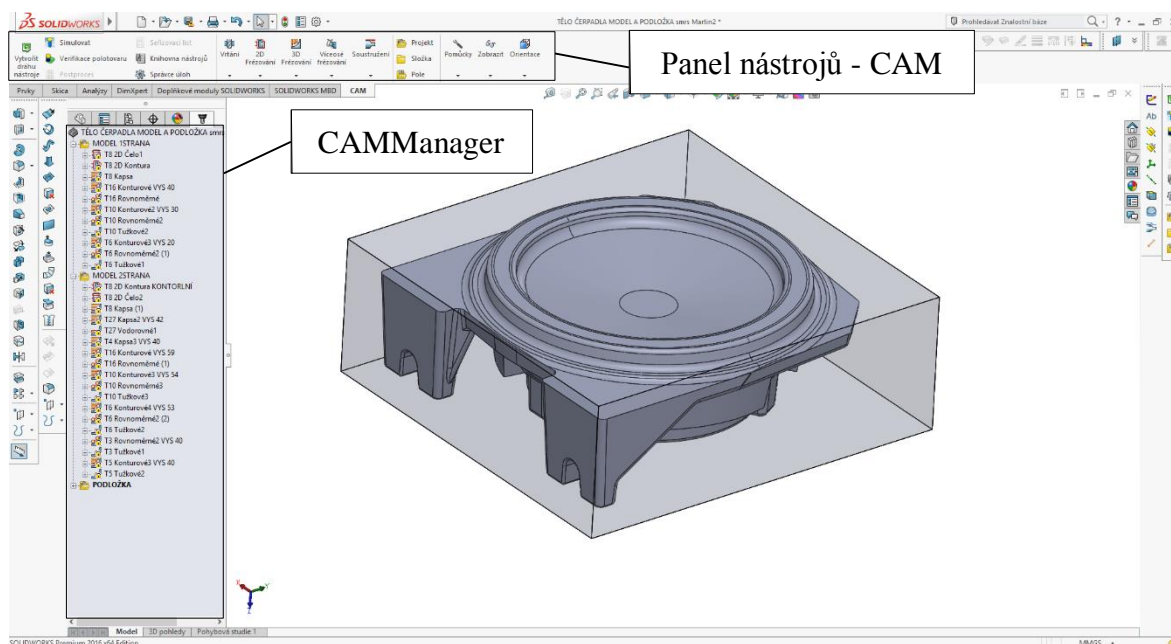
Název	FC3000CNC
Pracovní zdvih v ose X	2900 mm
Pracovní zdvih v ose Y	1500 mm
Pracovní zdvih v ose Z	825 mm
Pracovní zdvih v ose A	±110°
Pracovní zdvih v ose C	±400°
Maximální výška obráběného dílu	590 mm
Výměník nástrojů	12 nástrojů
Maximální rychlost posuvu v ose X/Y/Z	60/30/30 m/min
Otáčky vřetena	0-24000 min <sup>-1</sup>
Výkon vřetena	10 kW
Krouticí moment	12,7 Nm
Upínací kužel	HSK F63



Obr. 6.3: Měření nulového bodu a změna orientace souřadného systému pomocí ustavovací sondy [17].

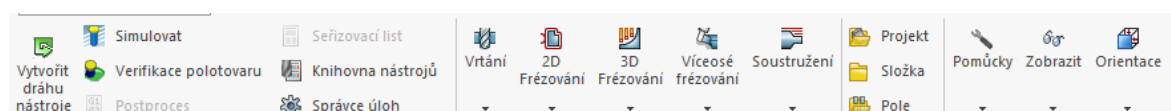
## 6.2 Prostředí CAM systému HSMWorks

Prostředí CAM systému HSMWorks 2016 je začleněno do systémového rozhraní SolidWorks pomocí rozšíření panelů nástrojů o položku CAM a rozšíření stromu prvků o CAM-Manager (obr. 6.4). Pomocí těchto dvou položek je možné ovládat celou nadstavbu HSMWorks.



Obr. 6.4: Prostředí CAM systému HSMWorks.

V záložce CAM v panelu nástrojů jsou zobrazeny zástupci jednotlivých funkcí, jako jsou strategie obrábění, simulace, verifikace polotovaru, postprocesor atd. (obr. 6.5).

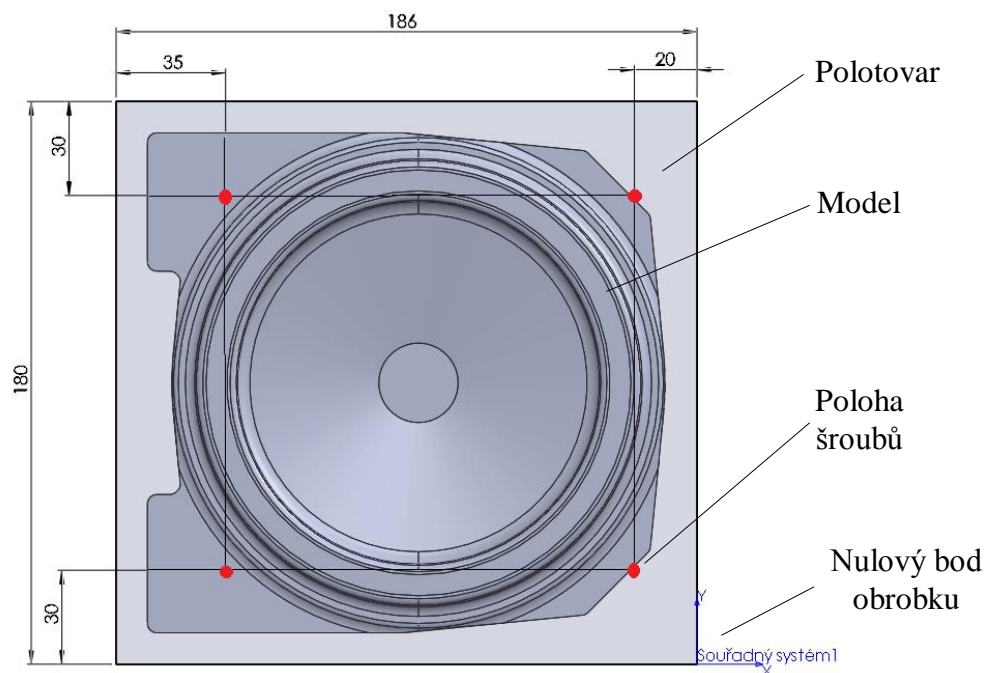


Obr. 6.5: Panel nástrojů CAM systému.

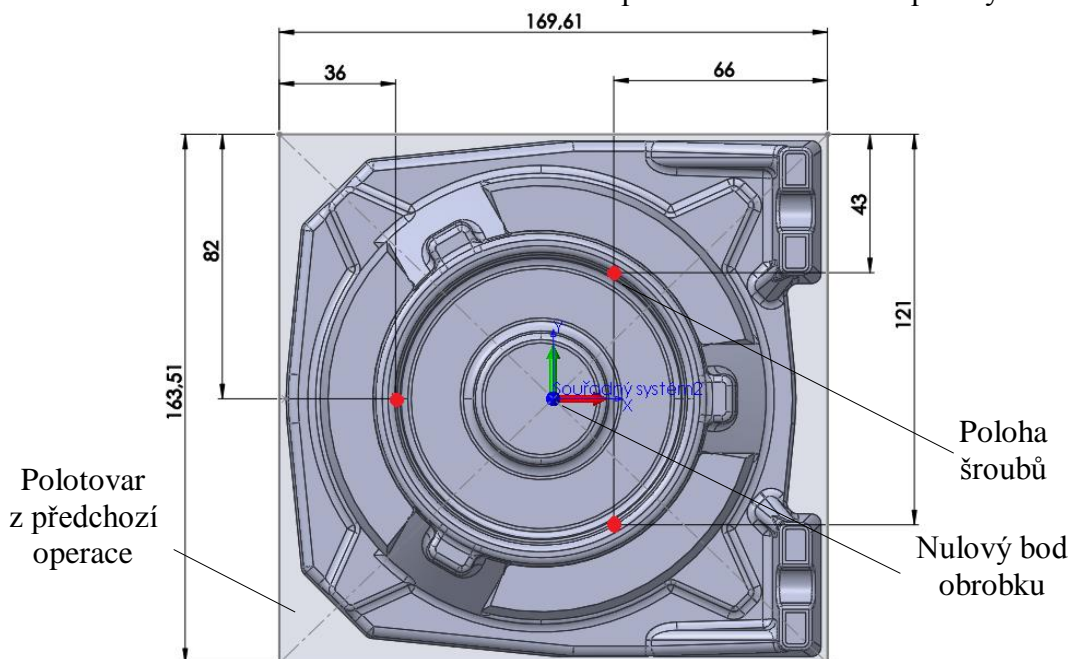
## 6.2 Upnutí polotovarů

Polotovary se upnou pomocí šroubů do překližkové desky, která bude pomocí upínek a šroubů připevněná ke kartitovému stolu stroje. Překližkovou desku můžeme obrábět a to nám umožní obrábět i pod úroveň dílu bez kolize se stolem stroje.

Při obrábění první strany modelu se polotovar upnul na překližkovou desku pomocí 4 šroubů v rohu polotovaru dle obrázku 6.6. Šrouby zasahují 30 mm hluboko do polotovaru.



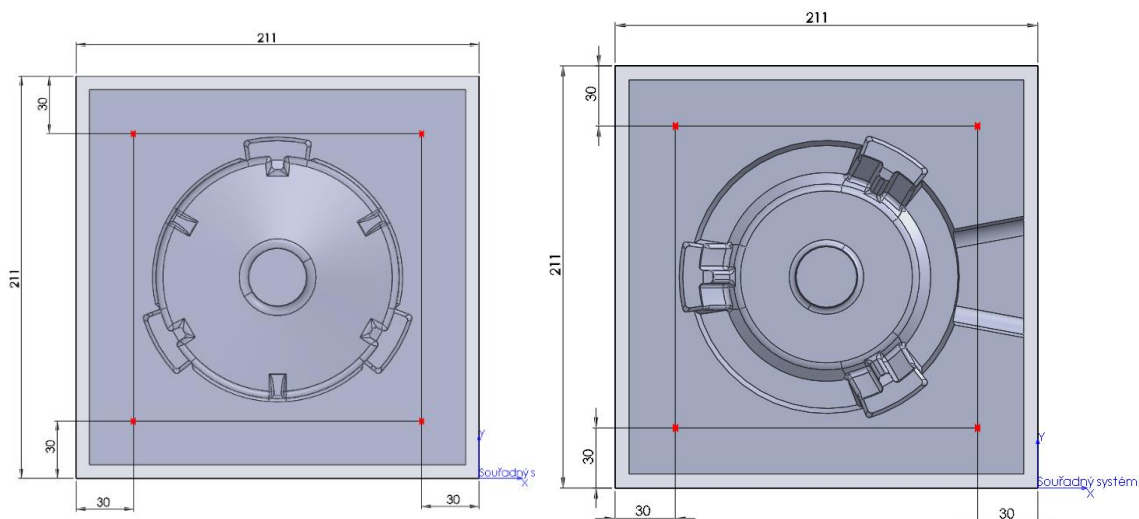
Obr. 6.6: Umístění nulového bodu obrobku na polotovaru a označení polohy šroubů.



Obr. 6.7: Umístění nulového bodu obrobku na polotovaru a označení polohy šroubů při obrábění druhé strany modelu

Při upnutí druhé strany se obrobek posadí na přírubu, která vznikla při obrábění první strany a připevní se na překližkovou desku pomocí tří šroubů do hloubky 35 mm dle obrázku 6.7. Nulový bod se umístí na střed polotovaru a pomocí sondy se provede korekce rotace polotovaru (obr. 6.3 nahoře).

Upnutí jaderníku a podložky je podobné jako upnutí modelu při obrábění první strany. Čtyři šrouby jsou umístěné 30 mm od kraje polotovaru a hloubka šroubů je zvolená tak aby nepřekáželi při frézování. Nulové body obrobku jsou umístěné ve spodním pravém rohu polotovaru.

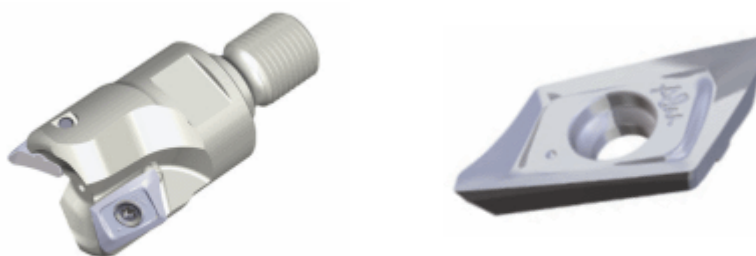


Obr. 6.6: Umístění šroubů a nulových bodů u spodní (vpravo) a vrchní (vlevo) části jaderníku.

### 6.3 Nástroje a řezné podmínky

Pro obrábění dřeva a umělých hmot se používají nástroje pro obrábění hliníku, které mají řeznou geometrii vhodnou i pro tyto materiály. Při tomto obrábění byly použity nástroje od firmy TaeguTek. Nástroje o průměru větším než 10 mm mají vyměnitelné břitové destičky a menší nástroje jsou monolitní.

Pro hrubování se používá frézovací hlavička CHASEALU TE90XEV 332-M16-16 o  $\varnothing 32$  mm s VBD XEVT 16/22-AL. Doporučená řezná rychlost je  $v_c = 550-700$  m/min a posuv na zub  $f_z = 0,15-0,35$  mm [19].



Obr. 6.7: Nástroj pro hrubování s VBD [19].



Pro zbytkové hrubování a dokončování se používají stopkové frézy FINE BALL TNF 160-16-CT-L160 a TNF 100-10-CT-L220 s karbidovou stopkou. Pro tyto nástroje jsou určeny VBD NFB-SM (pro dokončování) a NFR-R (pro zbytkové hrubování, dokončení ostrých rohů a rovin). Doporučená řezná rychlost  $v_c = 200-500$  m/min a posuv na zub  $f_z = 0,25-0,35$  mm [19].



Obr. 6.8: Nástroj pro dokončování s VBD [19].

Nástroje s průměrem menším než 10 mm, jsou monolitní. Kulové nástroje z řady ALUMILL AEB2 a válcové nástroje ALUMILL AES2\_XL. Doporučená řezná rychlost  $v_c = 400$  m/min a posuv na zub  $f_z = 0,05$  mm [19].



Obr. 6.9: Monolitní nástroje pro obrábění hliníku [19].

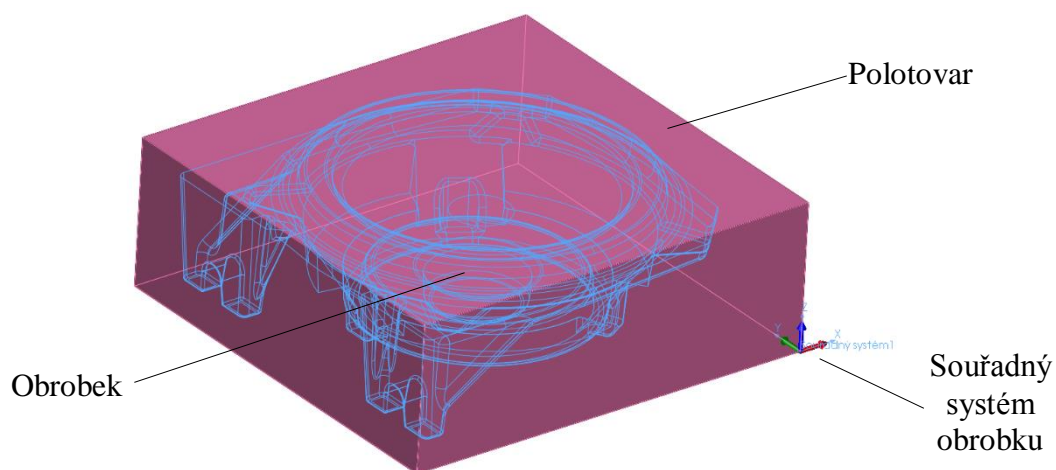
V CAM systému jsou otáčky vřetena zvolené pro většinu nástrojů ( $\varnothing$  6-16 mm) stejně a to  $12000 \text{ min}^{-1}$ . Pro větší hrubovací nástroje se otáčky sníží tak aby řezná rychlost nepřesahovala 800 m/min a u malých nástrojů s průměrem menším než 4 mm se otáčky zvednou na  $15000 \text{ min}^{-1}$ . Vyšší otáčky se nepoužívají, aby se prodloužila životnost vřetena. Posuvy jsou v CAM systému nastaveny pro všechny nástroje 12 m/min a svislé posuvy 2 m/min. Skutečné hodnoty posuvů se nastavují až na stroji pomocí potenciometru. Tento postup je zvolený kvůli možnosti obrábění více druhů materiálů na jednom obrobku (např. kombinace překližky, olšového dřeva a umělého dřeva). Také se řezné podmínky liší podle vyložení nástroje, které se často pohybuje okolo desetinásobku průměru nástroje.

#### 6.4 Programování obrábění modelu

Prvním krokem při vytváření nové technologie obrábění je export přes jiný formát souboru (např. IGES nebo parasolid) aby 3D data ztratila strom prvků, soubor se zmenšil a následující úpravy při programování byly rychlejší a nemohlo se stát, že vznikne chyba při obnově geometrie ve 3D datech. Proveďte se kontrola dat, protože při chybě v geometrii mohou vzniknout chyby ve vypočtených drahách nástroje nebo se výpočet drah neprovede vůbec. Následně se vytvoří souřadné systémy, které budou zastupovat nulové body obrobků.



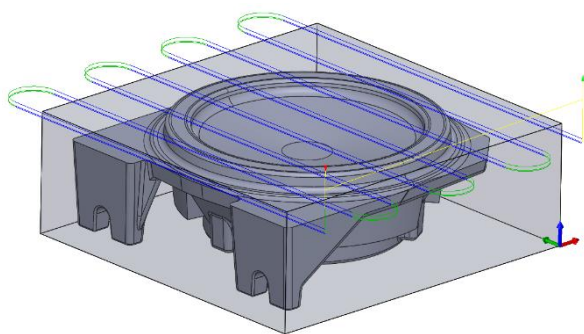
Prvním krokem při programování nového obrábění je založení nového projektu. Ten se založí kliknutím pravým tlačítkem myši na lištu CAMManageru a výběrem položky **Nový projekt**. V projektu se zvolí obráběná geometrie, polotovar, nulový bod a orientace os (obr. 6.10).



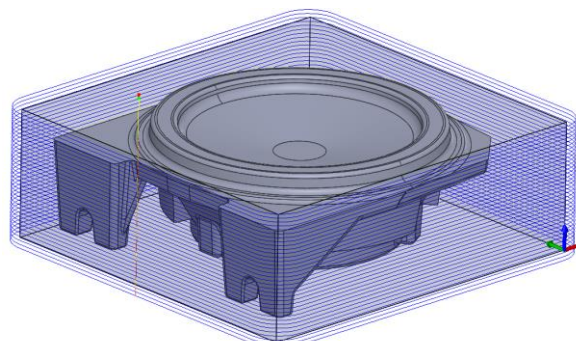
Obr. 6.10: Volba geometrie a souřadného systému.

#### 6.4.1 Hrubování

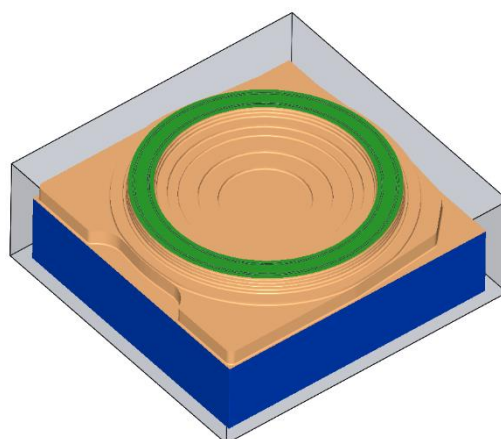
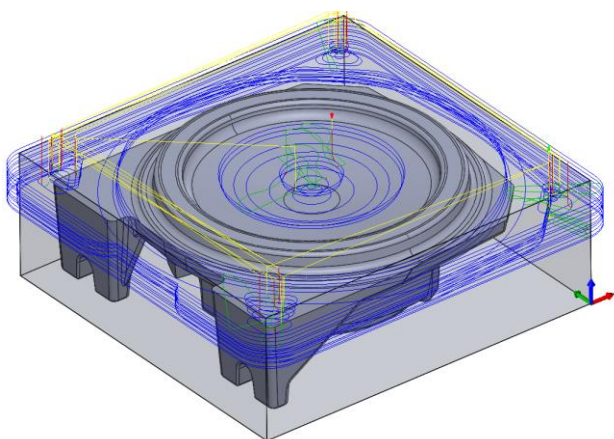
Pro hrubování se použije toroidní fréza o  $\varnothing 32$  mm a poloměrem zaoblení 0,8 mm, které má v tabulce nástrojů číslo T8. V první fázi hrubování se odebere materiál z čela polotovaru pomocí strategie **Čelo** (obr. 6.11). Dalším krokem je obrobení kontury pomocí strategie **Kontura** (obr. 6.12). Tato obrobená kontura nám bude sloužit k naměření nulového bodu, při obrábění druhé strany modelu. Jako geometrie pro konturu slouží skica obdélníku, odsazená od modelu o 2 mm. Nakonec se použije strategie **Kapsovací frézování** s přidavkem 0,5 mm a omezením spodku obrábění na 9 mm pod úroveň dělicí roviny modelu (obr. 6.13). Pro tyto tři strategie je nastavený maximální hrubovací krok dolů 2 mm.



Obr. 6.11: Obrábění čela



Obr. 6.12: Obrábění kontury

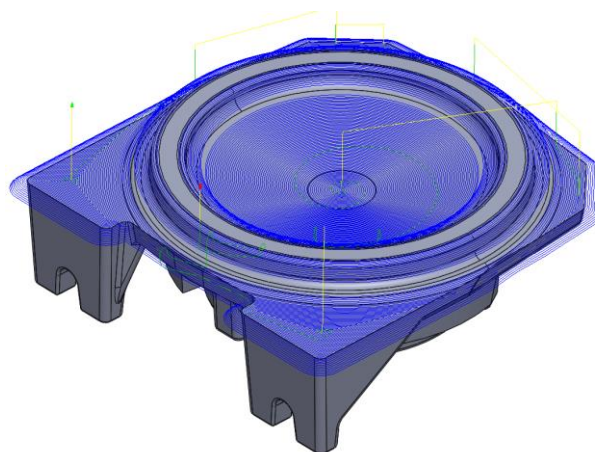
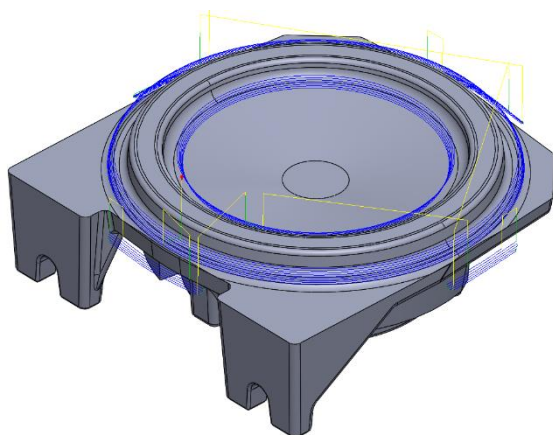


Obr. 6.13: Hrubování Kapsovacím obráběním

Obr. 6.14: Verifikace hrubování

#### 6.4.2 Dokončování

Dokončování se provede pomocí kulové frézy o  $\varnothing 16$  mm s číslem nástroje T16. Dokončování má dvě fáze. V první fázi se obrobí plochy, které mají sklon vůči rovině stolu mezi  $47^\circ$  a  $90^\circ$  (strmé povrchy). Použije se strategie **Konturové dokončování**. Maximální krok dolů byl nastaven na 0,7 mm (viz obr. 6.15). Druhá fáze je obrobení ploch se sklonem menším než  $50^\circ$  vůči rovině stolu (mělké povrchy). Použije se strategie **Rovnoměrné dokončování** se stranovým krokem 0,7 mm (viz obr. 6.16).

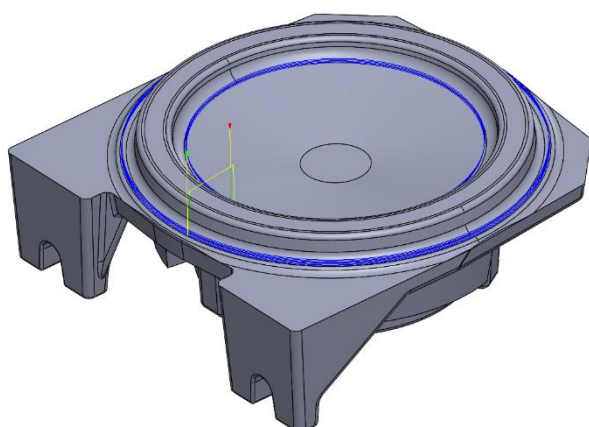


Obr. 6.15: Konturové dokončování

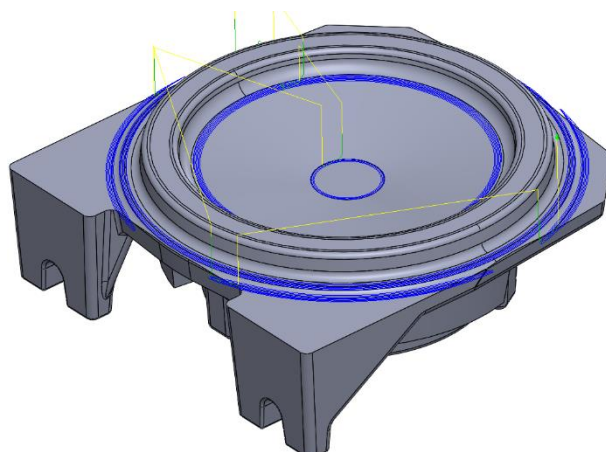
Obr. 6.16: Rovnoměrné dokončování

#### 6.4.3 Zbytkové obrábění

Zbytkové obrábění se použije tam kde je zaoblení rohu menší než zaoblení frézy, se kterou se dokončovalo. Nejmenší zaoblení rohů z této strany modelu je R3. To znamená, že se zde bude muset obrábět kulovou frézou  $\varnothing 6$  mm. Není vhodné po kulové fréze  $\varnothing 16$  mm použít kulovou frézu  $\varnothing 6$  mm, a proto se před tuto operaci vloží zbytkové obrábění s kulovou frézou  $\varnothing 10$  mm. Zbytkové obrábění jsou stejné operace jako dokončování (Konturové a Rovnoměrné dokončování) ale v nastavení geometrie se zaškrtně políčko **Zbytkové obrábění** a zvolí se nástroj, po kterém se obrábí. Pro kulovou frézu  $\varnothing 10$  mm se zvolil krok 0,4 mm a pro kulovou frézu  $\varnothing 6$  mm krok 0,2 mm. Pokud se na obrobku nachází i roh se stejným poloměrem zaoblení jako má nástroj, je vhodné použít i tužkové obrábění bez stranových kroků, který daný roh začistí.



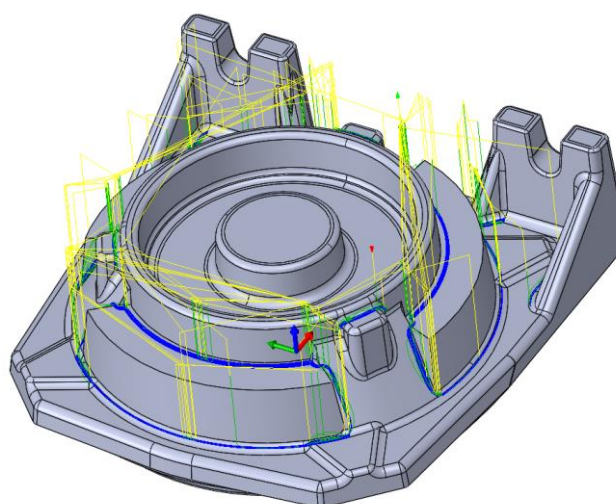
Obr. 6.17: Zbytkové konturové dokončování kulovou frézou Ø10 mm.



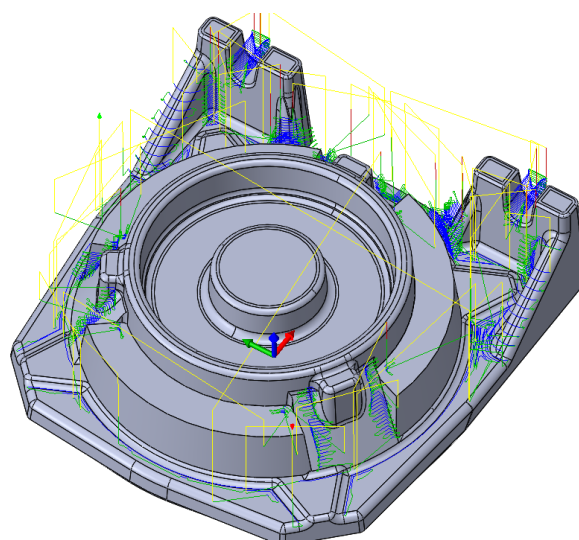
Obr. 6.18: Zbytkové rovnoměrné dokončování kulovou frézou Ø10 mm.

Programování druhé strany modelu je obdobné jako u první strany s tím rozdílem, že se po hrubování nástrojem T8 se musí provést zbytkové hrubování válcovou frézou Ø16 mm a válcovou frézou Ø6 mm. Nastavení hrubování s menšími nástroji se provede zaškrtnutím políčkem **Zbytkové obrábění** v operaci **Kapsové frézování** a výběrem možnosti z předešlé operace (obr. 6.20).

Na druhé straně modelu jsou nejmenší zaoblení v rozích R2 a ostré rohy, které je nutné obrobit. Rohy s poloměrem R2 se obrobit pomocí strategie **Rovnoměrné** bez omezení sklonu a strategií **Tužka** s kulovou frézou Ø4 mm. Ostré rohy se obrobit strategií **Konturové** a **Tužka** válcovou frézou Ø4 mm. Krok pro nástroje s Ø4 mm je 0,15 mm.



Obr. 6.19: Zbytkové dokončování kulovou frézou Ø4 mm.



Obr. 6.20: Zbytkové hrubování válcovou frézou Ø6 mm.

Vyložení nástrojů se určovalo pomocí prvku **Detekovat délku nástroje** v záložce nástroje, ve kterém se nastaví minimální vzdálenost od držáku nástroje a prvek následně spočítá požadovanou délku vyložení a upraví délku vyložení v tabulce nástrojů. Pouze pro nástroj T8 se délka neurčovala, protože je délka vyložení daná konstrukcí nástroje.

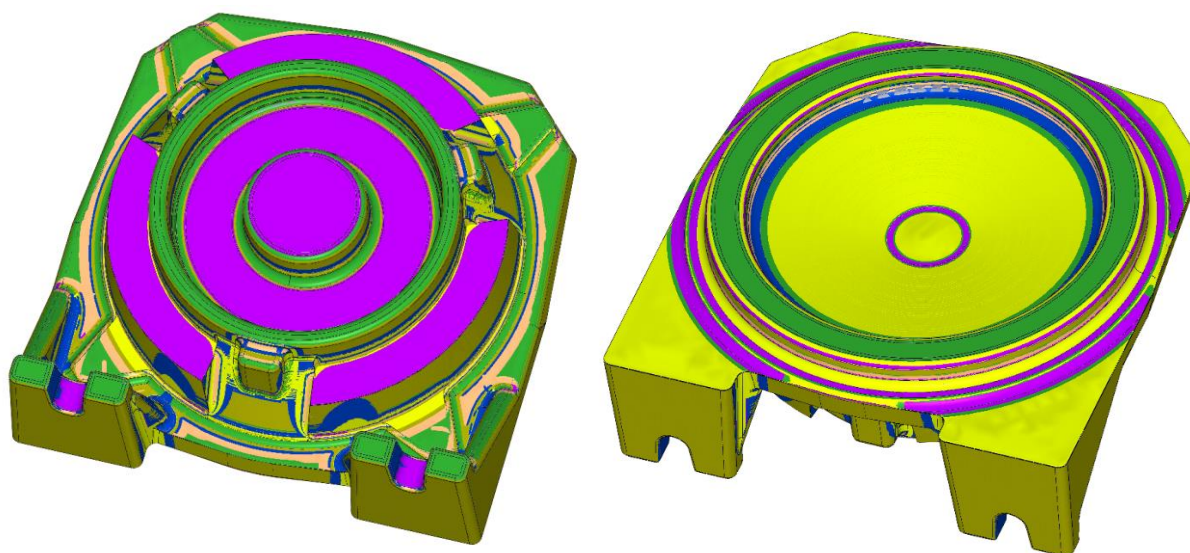


### 6.5 Programování obrábění jaderníku a podložky

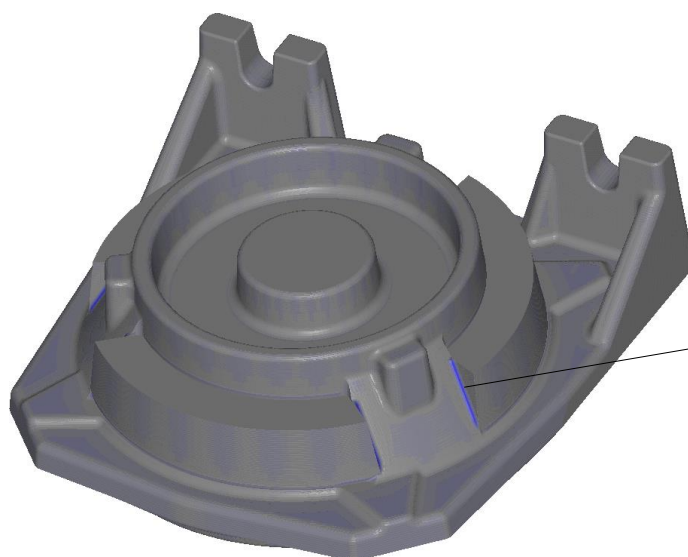
Pro obrábění jaderníku a podložky je zvolený stejný postup programování a stejné strategie jako u obrábění modelu. Jediným rozdílem je, že se tyto díly budou obrábět na obráběcím centru SPRINT.

### 6.6 Verifikace a postproces

Verifikace polotovaru slouží k ověření naprogramovaných drah nástroje. Při verifikaci se postupně odebírá materiál z polotovaru a je možné sledovat pohyby nástroje. Výsledný model může být obarven podle nástroje, který provedl obrábění jak je vidět na obrázku 6.21 (verifikace používá pouze 6 barev, které se opakují). Verifikace také automaticky kontroluje kolize nástroje s polotovarem a při kolizi se verifikace zastaví. Dále je také možné porovnání výchozího modelu a výsledku verifikace (viz obr. 6.22). Přebytečný materiál je obarvený stupni modré barvy, chybějící materiál je obarvený stupni červené barvy a shoda modelu s polotovarem po verifikaci je šedá barva.



Obr. 6.21: Verifikace obrábění modelu u obou stran.



Zbytkový materiál  
po fríze kulové fríze  
Ø4 mm v ostrém  
rohu

Obr. 6.22: Porovnání modelu a polotovaru po verifikaci.

Po úspěšné verifikaci se provede postproces, který převede dráhy nástrojů v CAM systému na program. Výsledný program je napsaný v kódu, se kterým pracuje daný stroj. Mezi nejpoužívanější kódy patří ISO kód (G kód). Některé řídicí systémy např. Heidenhein mají vlastní kódy (Dialogový kód).

```

1 |0 BEGIN PGM 1 MM
2 | BLK FORM 0.1 Z X-210.682 Y+0 Z+0
3 | BLK FORM 0.2 X+0 Y+210.827 Z+40
4 | ; -----
5 | ; Nástroje
6 | ; #3 D=4 CR=2 - ZMIN=+20.411 - ZMAX=+54.765 - Fréza s kulovým koncem
7 | ; #5 D=4 - ZMIN=+22.695 - ZMAX=+54.765 - válcová fréza
8 | ; #6 D=6 CR=3 - ZMIN=+20.409 - ZMAX=+58.765 - Fréza s kulovým koncem
9 | ; #8 D=32 CR=0.8 - ZMIN=-1 - ZMAX=+74 - Fréza s toroidním koncem
10 | ; #10 D=10 CR=5 - ZMIN=+20.706 - ZMAX=+58.765 - Fréza s kulovým koncem
11 | ; #16 D=16 CR=8 - ZMIN=+21.008 - ZMAX=+56.765 - Fréza s kulovým koncem
12 | ; #26 D=10 - ZMIN=+23.765 - ZMAX=+54.765 - válcová fréza
13 | ; -----
14 | ;
15 | M5
16 | PLANE RESET STAY
17 | * - T8 2D Kontura (1)
18 | L Z+1150 R0 FMAX M92
19 | L A+0 C+0 R0 FMAX
20 | M0
21 | TOOL CALL 8 Z S8000
22 | L Z+1150 R0 FMAX M92
23 | L Y+800 R0 FMAX M91
24 | L X-1400 R0 FMAX M91
25 | M126
26 | M3
27 | L X-105.341 Y+219.827 R0 FMAX
28 | CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
29 | CYCL DEF 32.1
30 | L Z+74 FMAX
31 | L Z+54 FMAX
32 | L Z+42 F2000
33 | L X-203.682 F12000
34 | CC X-203.682 Y+203.827
35 | CP IPA+90 DR+
36 | L X-219.682 Y+7
37 | CC X-203.682 Y+7
38 | CP IPA+90 DR+
39 | L X-7 Y-9
40 | CC X-7 Y+7
41 | CP IPA+90 DR+
42 | L X+9 Y+203.827
43 | CC X-7 Y+203.827

```

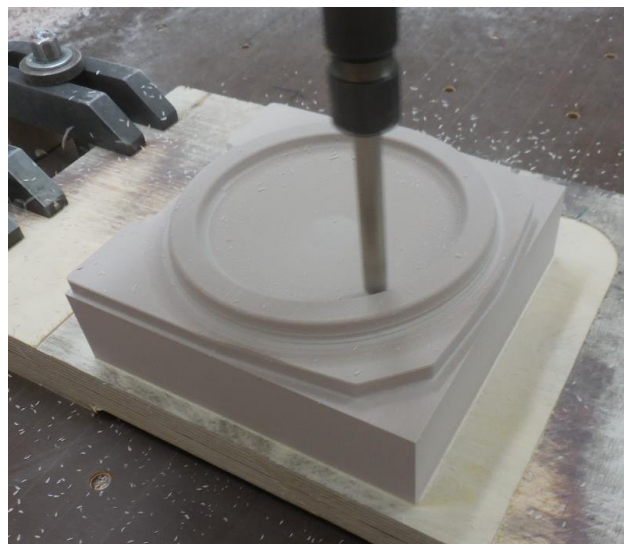
Obr. 6.23: Ukázka vygenerovaného programu.

## 8 VÝROBA MODELU A JADERNÍKU

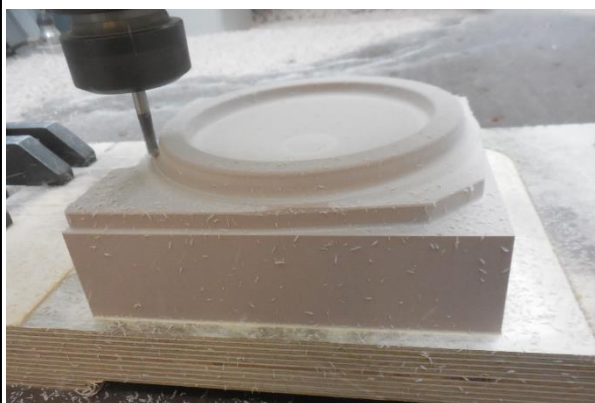
Před obráběním na CNC stroji se upnou nástroje do držáků tak aby měli dostatečné vyložení. Takto upnuté nástroje se umístí do zásobníků nástrojů a pomocí nástrojové sondy se změří jejich geometrie. Změřené hodnoty se zapíší do korekčních tabulek. Následně se polotovar upne na překližkovou desku. Deska se pomocí upínek upne ke stolu stroje. Změří se nulový bod obrobku. Následně se z počítače nahraje program do řídicího systému stroje a program se spustí. Tento postup je stejný pro model i jaderník.



Obr. 7.1: Ukázka konturového dokončování frézou  $\text{Ø}16$  mm.



Obr. 7.2: Ukázka zbytkového dokončování kulovou frézou  $\text{Ø}10$  mm.



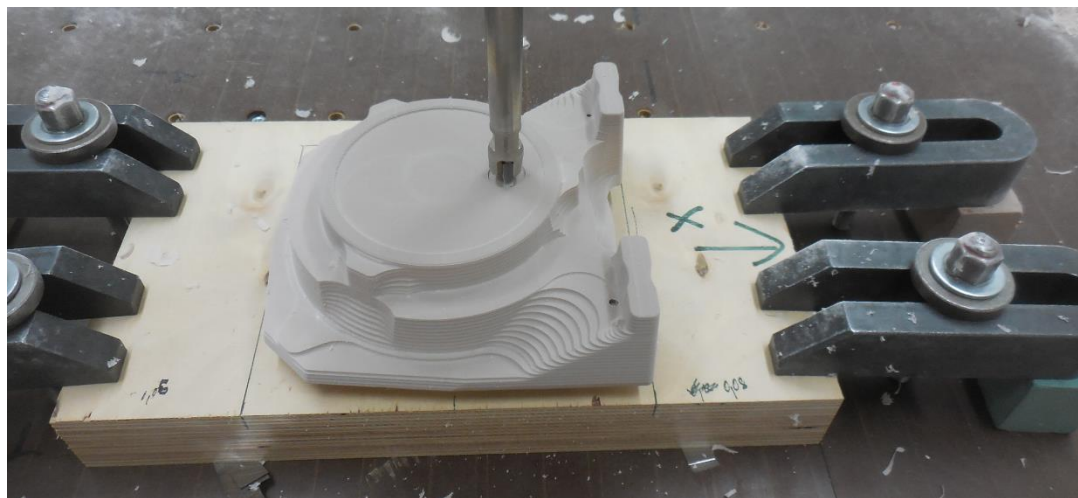
Obr. 7.3: Ukázka zbytkového dokončování kulovou frézou  $\text{Ø}6$  mm.



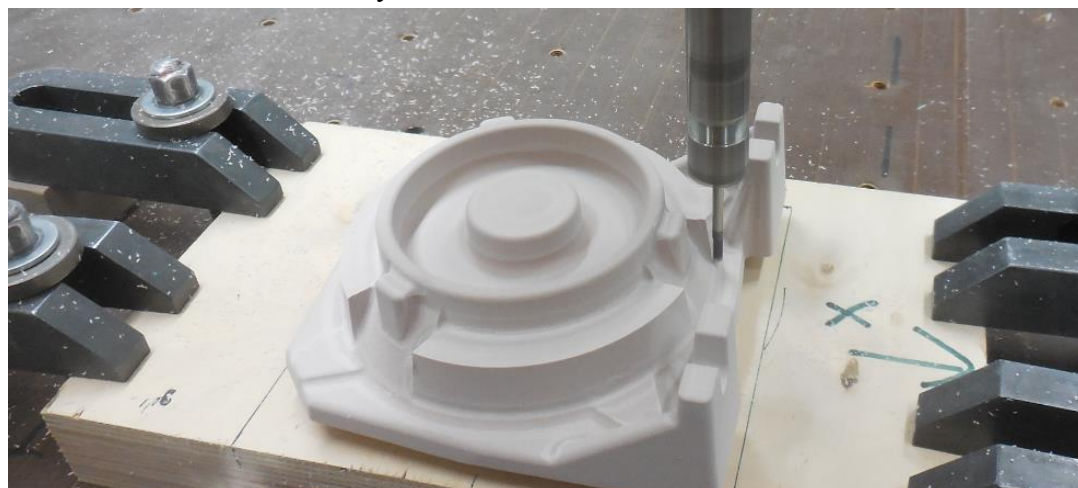
Obr. 7.4: Obrobená první strana modelu.

Po obrobení první strany modelu (obr. 7.4) se model otočí, upne se pomocí tří šroubů dle obrázku 6.7 a změří se nulový bod obrobku. Následně se spustí program pro druhou stranu modelu.





Obr. 7.5: Ukázka zbytkového hrubování válcovou frézou  $\text{Ø}16$  mm.



Obr. 7.5: Ukázka zbytkového dokončování válcovou frézou  $\text{Ø}4$  mm.

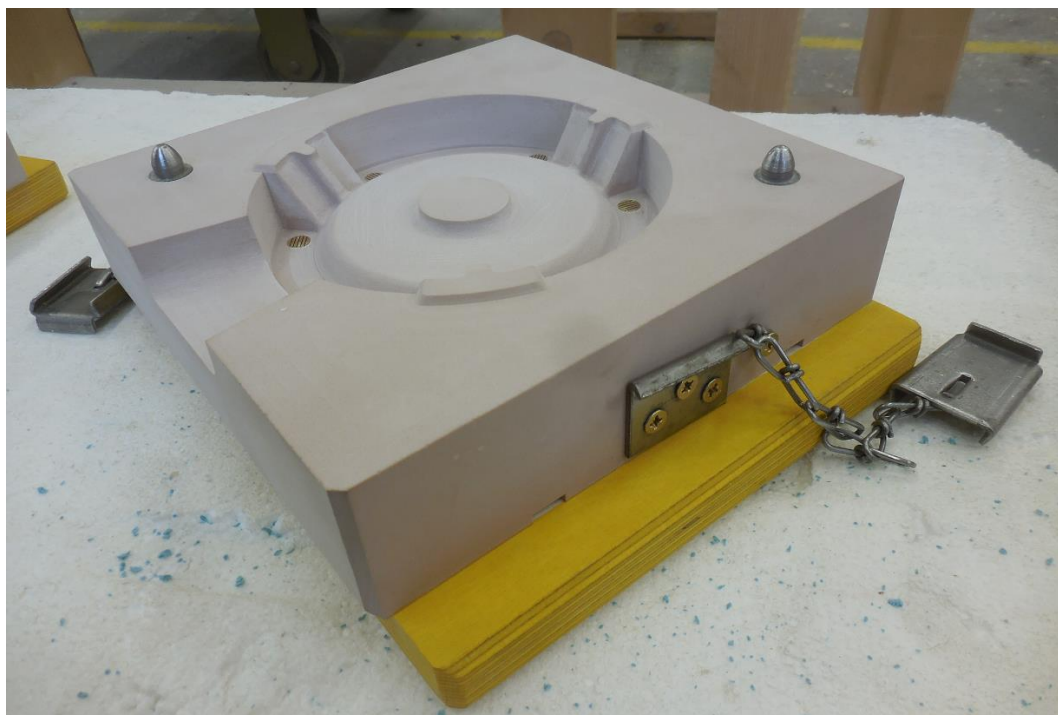


Obr. 7.6: Obrobená spodní část jaderníku.

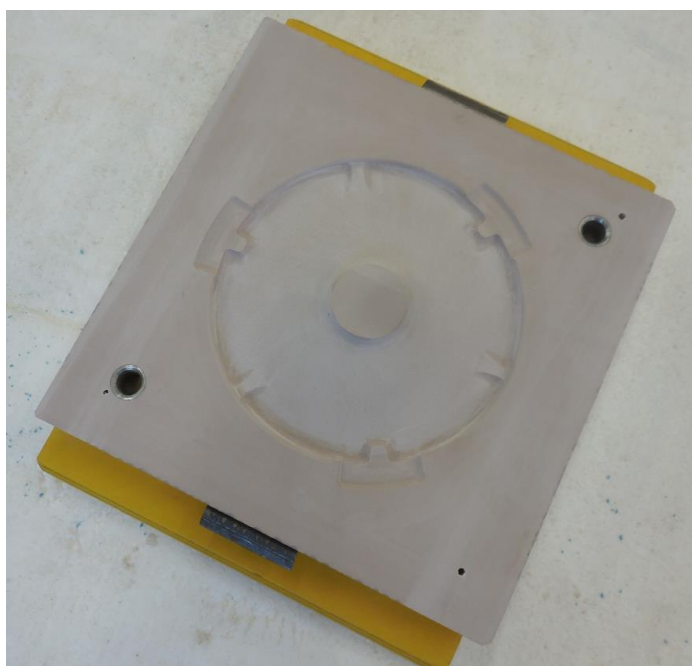


## 9 SESTAVENÍ MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ

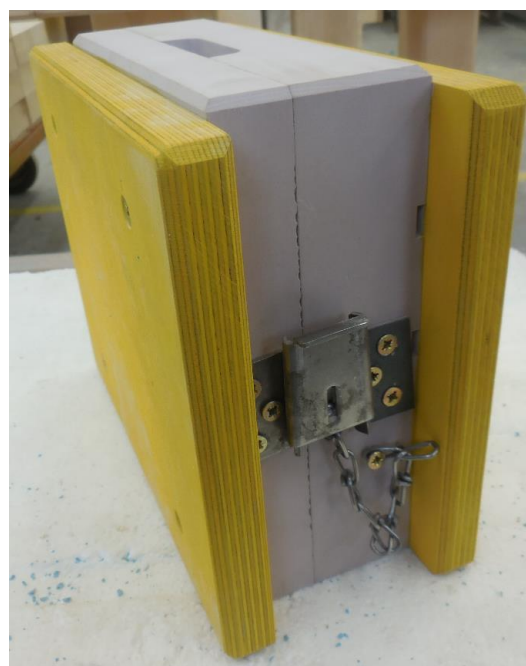
Na modelu i jaderníku se po frézování dosekali ostré rohy kolem známek a zakytovali se díry po šroubech. Jaderník se opatřil sítky pro odvod vzduchu při vstřelování formovací směsi, sponkami a kovovými kolíky pro vystředění dvou částí jaderníku vůči sobě. Na boky jaderníku se připevnilly překližkové desky pro usnadnění manipulace s jaderníkem.



Obr. 8.1: Spodní část jaderníku.



Obr. 8.2: Vrchní část jaderníku.



Obr. 8.3: Sestavený jaderník.

Modely pro vtokový kanál, komora před filtrem, dopadová jamka s filtrem, výfuky a rozváděcí kanál se zářezy se vyráběli ručně z materiálu OBO 750. Následně se prvky vtokové soustavy spolu s modelem usadili na podložku a provrtali se díry pro kolíčky, které budou držet vtokovou soustavu na místě při formování. Modely pro výfuky a vtokový kanál s komorou byly opatřeny kovovými kolíčky, které budou držet prvky na místě při formování druhé poloviny formy (viz obr. 8.4). Model, podložka a modely prvků vtokové soustavy byly opatřeny ochranným nátěrem proti vlhkosti a pro snadnější vyjímání z formy. Jaderním nemá ochranný nátěr, jelikož se na jádra používá formovací směs s fenol-resolovou pryskyřicí a bude se vyrábět pouze několik jader.



Obr. 8.4: Modely výfuků a vtokového kanálu s komorou.



Obr. 8.5: Vtoková soustava s dopadovou jamkou.

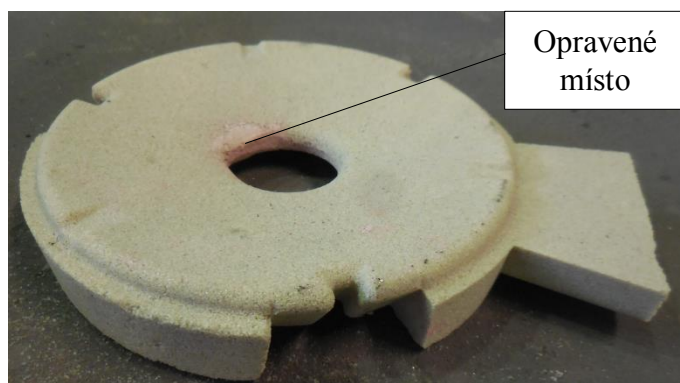


Obr. 8.6: Model na podložce s vtokovou soustavou a výfuky.

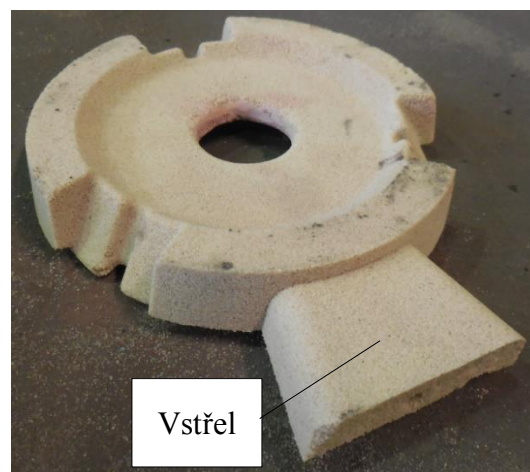


## 10 POSOUZENÍ VÝSLEDKU

Výroba jader se provedla na vstřelovacím stroji. Po vstřelení formovací směsi do jaderníku a vytvrzení směsi pomocí CO<sub>2</sub> se jádra vyjmuli z jaderníku. Vyjímáním jader z jaderníku šlo hladce a nebyli s ním žádné problémy. Formovací směs ale nevyplnila jaderník dokonale. Za středovou částí vznikla malá dutina a bylo nutné jádra opravit jak je vidět na obrázku 9.1. Před založením jader do formy se odřizl vstřel pomocí pilového listu a známka se zabrousila pomocí smirkového papíru.



Obr. 9.1: Pohled na Vrchní stranu jádra.



Obr. 9.2: Pohled na spodní stranu jádra.

Při formování spodní části formy se nevyskytly žádné problémy. Po odformování spodní části formy se rám otočil a odstranila se podložka. Následně se umístil vrchní formovací rám a zajistil se vodícími kolíky. Na model se uložil exotermicko-izolační nástavec s podložkou. Na vtokovou soustavu se umístily modely vtokového kanálu s komorou a modely výfuků (obr. 9.3). Odformovala se vrchní část formy. Vytáhli se modely výfuků a vtokového kanálu a ručně se vytvořila vtoková jamka. Následně se sundala vrchní část formy (obr. 9.4).



Obr. 9.4: Vrchní část formy.



Obr. 9.3: Formování vrchní části formy.

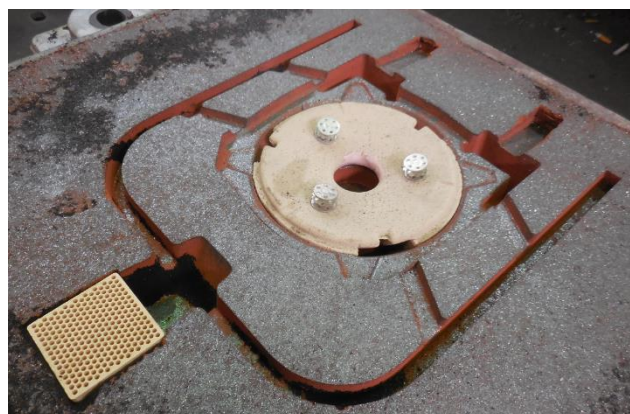
Následně se musel vyjmout model a vtoková soustava ze spodní části formy. Na vtokové soustavě byly vyrobené díry pro rozklepání a vyjmutí z formy ale bylo by vhodnější mít vyrobené i závity pro zašroubování oček. Díky kterým by byla snazší vyjímání

z formy. Na modelu se žádné díry ani závity vyrobeny nebyly, což ztížilo vyndávání modelu z formy, ale jelikož je materiál modelu relativně měkký podařilo se do modelu zarazit ocelový hrot. Pomocí tohoto hrotu se model rozklepal a vyjmul z formy. Ve spodní části formy se při formování vrchní části pohnuly výfuky a vytvořili větší dutinu ve formě, ale pouze na koncích výfuků kde to nebude mít vliv na odlitek.

Do spodní části formy (obr. 9.5) se následně umístil filtr, jádro a podpěrky jádra (viz obr. 9.6). Vůle mezi jádrem a formou ve známkách byla zvolená správně. Usazení jádra proběhlo bez problému a nemělo tendence se pohybovat. Následně se pomocí vodicích kolíků usadila vrchní část formy na spodní část.

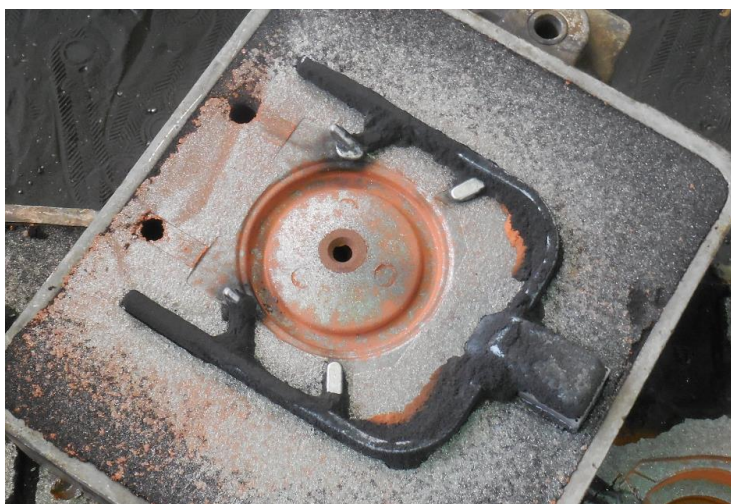


Obr. 9.5: Spodní část formy.



Obr. 9.6: Usazený filtr, jádro a podpěrky jádra.

Zkompletovaná forma se odnesla na licí pole a odlily se tři vzorky. Ani jeden z těchto vzorků se ale nepodařilo odlít jak je vidět na obrázku 9.7. Kov zatuhl v zářezech ještě před vyplněním formy.



Obr. 9.7: Odlití prvních vzorků.

Další den se provedla výroba dalších dvou forem. U těchto forem byl zvětšen průměr vtokového kanálu. U jednoho vzorku byl použit exotermický náliček a v nejvyšší části formy se vytvořily dva průduchy. Druhý vzorek se vyrobil bez náličku a bez průduchů. Provedlo se odlití těchto dvou vzorků (viz obr. 9.8 a 9.9).

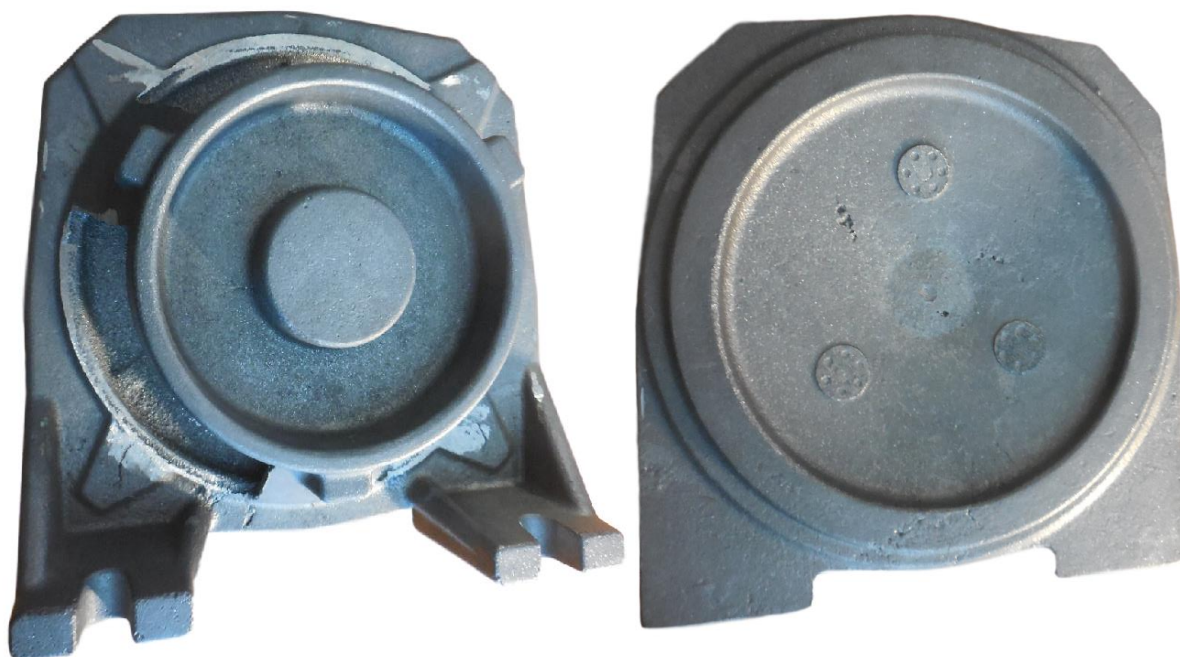




Obr. 9.8: Otryskaný odlitek s vtokovou soustavou, nálitkem a průduchy.

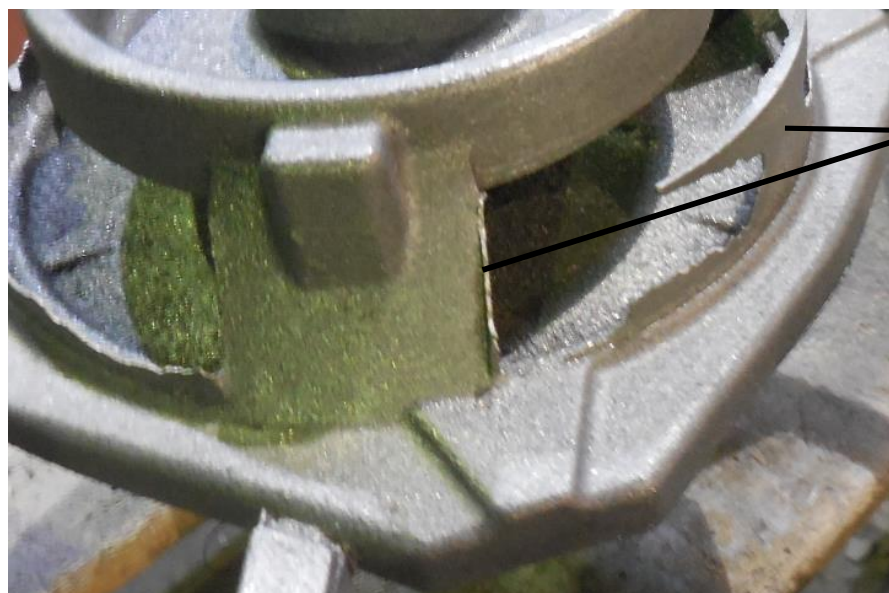


Obr. 9.9: Otryskaný odlitek s vtokovou soustavou bez nálitku a průduchů.



Obr. 9.10: Otryskaný a obroušený odlitek.

Po odlití se provedlo otryskání odlitků. Následně se odřezala vtoková soustava, ná-litek a výfuky. V místě kde mělo jádro vstřel, který se odstranil a zabrousil, vznikla větší vůle mezi jádrem a formou. Do této vůle a i do ostatních vůlí se při lití dostal tekutý kov, který vytvořil tzv. „ noty “ (viz obr. 9.11). Tyto „ noty “ se při cídění dobrousily.



Obr. 9.11: „Noty“ na odlitku.

## 11 DISKUZE

### 10.1 Zhodnocení kvality dílů

Při obrábění se nevyskytly žádné problémy. Jakost povrchu a přesnost rozměrů byla velice dobrá a nebylo nutné použití dokončovacích operací, jako je kytování a broušení. Kytování se použilo pouze u opravy děr po šroubech, které sloužily pro upnutí obrobků. Ochranná barva se použila u podložky, která by se vlivem vlhkosti od formovací směsi mohla zkroutit a změnit rozměry. U modelu se použila ochranná barva pro zakrytí kytování a kvůli možnosti model snadno očistit od separátoru použitého při formování.

### 10.2 Použití modelového zařízení

Modelové zařízení se po sestavení použilo v praxi. Při formování se spodní části formy nebyly žádné problémy. Při formování vrchní části formy se vznikly problémy pouze u výfuků. Jelikož jsou výfuky volné, při formování se pohnuly a vytvořily větší dutinu. Zvětšení ale nijak neovlivnilo povrch formy v oblasti samotného odlitku. Po sundání vrchní části formy se vyjmul model a model vtokové soustavy. Výsledný povrch formy byl velice hladký a nebylo nutné žádné opravení formy. Při výrobě jádra se nepodařilo dostřelit formovací směs za středovou část jádru, kde vznikla malá dutina. Tato dutina se následně opravila.

Do spodní formy se následně vložilo jádro a filtr. Na jádro se umístily tři podpěrky jader, které zajistily jádro ve známkách a zamezily v pohybu jádra ve formě. Vůle na známkách mezi jádrem a formou byla zvolená dobře. Jádro šlo umístit do známek hladce a zároveň nemělo tendenci se ve známkách pohybovat do stran. Následně se formy odnesly na lící pole a odlily se tři vzorky.

### 10.3 Odlévání vzorků

Při odlévání prvních tří vzorků se odlévání nezdařilo. Tekutý kov zatuhnul v zářezech ještě před naplněním formy. Autor práce se domnívá, že to bylo způsobeno malým průřezem vtokového kanálu, který byl nejužším místem ve vtokové soustavě. Také to mohla způsobit menší teplota tekutého kovu v lící pánvi, jelikož se tyto odlitky odlévali až no konci směny.

Další den se vyrobili dvě nové formy s vtokovým kanálem o větším průměru a odlily se dva odlitky. Tentokrát bylo odlévání úspěšné. Jeden odlitek byl s exotermickým nálitkem a průduchy v nejvyšší části formy. Druhý odlitek se odléval bez nálitku a bez průduchů. Různá konfigurace u těchto dvou forem slouží k ověření vzniku vad na odlitku. Při kontrole odlitků se na odlitku odhalilo několik malých povrchových vad, které se vyskytují na plochách s přídavkem na obrábění. U odlitku s průduchy, vznikaly v okolí těchto průduchů staženiny. Odlitek bez průduchů byl v této části bez vad. Pro zjištění vnitřních vad by se musely odlitky rozřezat a vybrousit v místech kde simulace odhalila kritická místa. Podle kontroly vad v odlitcích by se následně mohla seřadit simulace lití pro danou slévárnu a zpřesnit další výsledky simulace.

### 10.4 Zhodnocení postupu

Při vypracování této práce se postupovalo nestandardním způsobem. Tím, že autor práce byl zároveň konstruktérem, technologem a programátorem CNC strojů. Nebylo potřeba postupového výkresu, který je za normálních okolností nedílnou součástí výroby odlitku.



## 12 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá řešením technologie výroby odlitku těla čerpadla z šedé litiny s lupínkovým grafitem ČSN 42 2420. Účelem bylo navrhnout funkční modelové zařízení pro odformování několika kusů forem. Práce obsahuje celý postup výroby od zadání 3D dat modelu odlitku a požadavků na modelové zařízení až po výrobu samotných odlitků.

Celá práce je rozdělena do několika kapitol. V první kapitole této práce jsou stručně vysvětleny základy slévárenské technologie a metody výroby forem.

V druhé kapitole je uveden rozbor součásti, volba jakosti modelového zařízení, rozměrové a geometrické tolerance výsledného odlitku.

Ve třetí kapitole je postup modelování modelového zařízení v CAD systému SolidWorks a příprava 3D dat pro programování obrábění na CNC strojích a simulaci lití.

Ve čtvrté kapitole je zpracován návrh technologických přídavek a přídavek na obrábění, návrh vtokové soustavy, nálitkování, způsobem formování a volba formovacích směsí.

V páté kapitole se provedla simulace lití v CAE systému ProCast a odhalili se kritické místa v návrhu technologie. Následně se upravila velikost nálitku tak aby v odlitku nevznikali staženiny nebo porezita. Upravil se i tvar vtokové soustavy a naklopily se zářezy tak aby se zlepšilo proudění tekutého kovu.

V šesté kapitole je zpracován návrh frézovací technologie a programování v CAM systému HSMWorks. V následující kapitole je uveden postup při seřizování CNC stroje a ukázka obrábění na CNC strojích. Kvalita povrchu obrobeneho modelu na CNC obráběcích centrech byla velice dobrá a mezi jednotlivými operacemi nevznikaly schody. Dále se ručně dokončilo modelové zařízení. Zkompletoval se jaderník, model s podložkou, modely výfuků a vtokové soustavy.

V poslední kapitole se jaderník, model s podložkou a modely vtokové soustavy použily při formování. Vytvořilo se pět zkušebních forem. Při formování se odhalilo několik nedostatků v návrhu modelového zařízení. Nebyly vhodně navrženy prvky pro vytahování modelu a modelů vtokové soustavy z hotové formy. Pokud by se formovalo více kusů, bylo by vhodné modely opatřit dírami se závity pro zašroubování oček. Nakonec se provedlo zkušební lití. První zkušební lití se nezdařilo. Tekutý kov ztuhl v zářezech ještě před naplněním formy. Při lití dalších dvou vzorků se použil vtokový kanál s větším průměrem. Odlévání s širším vtokovým kanálem proběhlo v pořádku. Na povrchu otrískaných odlitků se objevilo pouze několik malých vad. Tyto vady jsou na plochách s přídávkem na obrábění, tudíž neovlivní kvalitu výsledného výrobku. V budoucnu by se mohli odlité vzorky zkontrolovat na vnitřní vady a tím ověřit vznik predikovaných vad a funkci nálitku.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *1C Pro* [online]. [citováno 2016-05-08]. Dostupné z: <<http://www.1cpro.cz/solidworks.php>>.
2. AKSENOV, Pavel Nikolajevič a Valerij VILINSKIJ. *Technologie strojírenské výroby. díl 2, Slévárství*. Vyd. 1. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952.
3. ČSN EN 12890. *Slévárství - Modely, příslušenství modelů a jaderníky pro výrobu pískových forem a pískových jader*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
4. ČSN EN ISO 8062-3. *Geometrické specifikace produktů (GPS) - Rozměrové a geometrické tolerance tvarovaných součástí - Část 3: Všeobecné rozměrové a geometrické tolerance a přídavky na obrábění pro odlitky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR Real, 2000. ISBN 80-85895-24-2.
6. *Ebalta* [online]. [citováno 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz>.
7. *HA Kovochem* [online]. [citováno 2016-05-07]. Dostupné z: <<http://www.hakovochem.cz/cs/>>.
8. HORÁČEK, Milan, Ladislav ZEMČÍK. *Studijní opory k předmětu TECHNOLOGIE II* [online]. [citováno 2016-02-23]. Dostupné z: <<http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/slevarenska-technologie/slevtech.pdf>>.
9. HORÁČEK, Milan. *ROZMĚROVÁ PŘESNOST ODLITKŮ VYRÁBĚNÝCH METODOU VYTAVITELNÉHO MODELU* [online]. [citováno 2016-03-15]. Dostupné z: <<http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-vytavitelneho-modelu/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>>.
10. JELÍNEK, Petr. *Slévárství*. 3. vyd. Ostrava: VŠB, 1992.
11. KROPÁČ, Karel, et al. *Modelářství: pro 3. ročník středních průmyslových škol oboru slévárství a pro 2. a 4. ročník studia při zaměstnání*. Praha: SNTL, 1965, 235 s.
12. *Kvartex* [online]. [citováno 2016-05-07]. Dostupné z: <<http://www.kvartex.cz/>>.
13. LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Vid. 4. Úvaly: Albra, 2008.
14. *Odlévání* [online]. [citováno 2016-02-23]. Dostupné z: <<http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/odlevani.pdf>>.
15. PÍŠEK, František, Zdeněk HOSTINSKÝ a Adolf Martin PLEŠINGER. *Slévárství II: Určeno [také] studentům stř. a vys. škol techn. směru / Speciální část*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1975, 403 s.
16. *Profound* [online]. [citováno 2016-05-010]. Dostupné z: <<http://www.profound.cz/>>.
17. *Sahos* [online]. [citováno 2016-04-30]. Dostupné z: <<http://sahos.cz>>.
18. *Sandteam* [online]. [citováno 2016-05-07]. Dostupné z: <<http://www.sandteam.cz/dodavky-podperek/>>.
19. *TaeguTec* [online]. [citováno 2016-05-07]. Dostupné z: <<http://www.taegutec.cz/>>.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
<b>2D</b>	[-]	Dvourozměrný
<b>3D</b>	[-]	Trojrozměrný
<b>CAD</b>	[-]	Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování)
<b>CAE</b>	[-]	Computer Aided Engineering (počítačem podporované výpočty)
<b>CAM</b>	[-]	Computer Aided Manufacturing (počítačem podporovaná výroba)
<b>CNC</b>	[-]	Computer Numeric Control (číslicové řízení pomocí počítače)
<b>DCTG</b>	[-]	Dimensional casting tolerance grade (rozměrový toleranční stupeň odlitku)
<b>GCTG</b>	[-]	Geometrical casting tolerance grade (geometrický toleranční stupeň odlitku)
<b>RMAG</b>	[-]	Required machining allowance grade (požadovaný přírůstek na obrábění)
<b>VBD</b>	[-]	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
<b>a</b>	[cm]	Jedna strana průřezu uzlu
<b>b</b>	[cm]	Druhá strana průřezu uzlu
<b>c</b>	[cm]	Výška odlitku ve formě
<b>D<sub>50</sub></b>	[mm]	Střední velikost zrna
<b>f<sub>z</sub></b>	[mm]	Posuv na zub
<b>F<sub>z</sub></b>	[cm <sup>2</sup> ]	Řídící průřez vtokové soustavy
<b>G<sub>h</sub></b>	[kg]	Surová hmotnost odlitku
<b>h</b>	[cm]	Střední licí výška
<b>H</b>	[cm]	Užitný tlak (výška formovacího rámu)
<b>k</b>	[-]	Konstanta zohledňující napojení stěn k uzlu (křížení stěn)
<b>M</b>	[cm]	Modul uzlu
<b>p</b>	[cm]	Výška odlitku nad zářezem
<b>R</b>	[mm]	Poloměr zaoblení

<b>s</b>	[-]	Součinitel, charakterizující složitost odlitku a tloušťky stěny
<b>T</b>	[-]	Číslo nástroje
<b>t</b>	[s]	Doba lití
<b>t</b>	[cm]	Výška uzlu
<b>v<sub>c</sub></b>	[m/min]	Řezná rychlost
<b>ρ</b>	[kg/cm <sup>3</sup> ]	Hustota
<b>ξ</b>	[-]	Rychlostní faktor

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1      Tabulky z normy ČSN EN ISO 8062-3
- Příloha 2      Tabulky z normy ČSN EN 12890
- Příloha 3      Exotermicko-izolační kompaktní nástavce řady CK
- Příloha 4      Podložky pod nástavec CK
- Příloha 5      Kompaktní nástavce typ A
- Příloha 6      Vstupní podmínky pro simulaci lití
- Příloha 7      Vzorce pro určení velikosti modulu uzlu a křížení stěn
- Příloha 8      CAD projekt: TELO\_CERPADLA technologie.x\_t
- Příloha 9      CAD/CAM projekt: TELO\_CERPADLA\_JADERNIK\_obrazení.sldprt
- Příloha 10     CAD/CAM projekt: TELO\_CERPADLA\_MODEL \_obrazení.sldprt
- Příloha 11     Ukázka se simulace lití.gif

## Příloha 1: Tabulky z normy ČSN EN ISO 8062-3 [4]

**Tabulka A.2 – Stupně rozměrové tolerance odlitků pro malé série nebo kusovou výrobu surových odlitků**

Metoda	Formovací materiál	Stupeň rozměrové tolerance odlitku (Dimensional Casting Tolerance Grade – DCTG) pro materiál odlitku							
		Ocel	Litina s lupínkovým grafitem	Litina s kuličkovým grafitem	Temperovaná litina	Slitiny mědi	Slitiny lehkých kovů	Slitiny na bázi niklu	Slitiny na bázi kobaltu
Lití do pískové formy, ruční formování	S jílovým pojivem	13 až 15	13 až 15	13 až 15	13 až 15	13 až 15	11 až 13	13 až 15	13 až 15
	S chemickým pojivem	12 až 14	11 až 14	11 až 14	11 až 14	10 až 13	10 až 13	12 až 14	12 až 14

**POZNÁMKA** Hodnoty v této tabulce platí všeobecně pro jmenovité rozměry větší než 25 mm. Pro menší rozměry mohou být normálně ekonomické a proveditelné následující jemnější tolerance:

- jmenovitý rozměr až do 10 mm: o tři stupně jemnější;
- jmenovité rozměry 10 mm až 16 mm: o dva stupně jemnější;
- jmenovité rozměry 16 mm až 25 mm: o jeden stupeň jemnější.

**Tabulka A.3 – Stupně geometrické tolerance odlitků**

Metoda	Stupeň geometrické tolerance odlitku (Geometrical casting tolerance grade – GCTG) pro materiál odlitku								
	Ocel	Litina s lupínkovým grafitem	Litina s kuličkovým grafitem	Temperovaná litina	Slitiny mědi	Slitiny zinku	Slitiny lehkých kovů	Slitiny na bázi niklu	Slitiny na bázi kobaltu
Lití do pískové formy, ruční formování	6 až 8	5 až 7	5 až 7	5 až 7	5 až 7	5 až 7	5 až 7	6 až 8	6 až 8
Lití do pískové formy, strojní formování a odlévání do skořepin	5 až 7	4 až 6	4 až 6	4 až 6	4 až 6	4 až 6	4 až 6	5 až 7	5 až 7
Kovová permanentní forma (kromě lití pod tlakem)	–	–	–	–	3 až 5	–	3 až 5	–	–
Lití pod tlakem <sup>b</sup>	–	–	–	–	2 až 4	2 až 4	2 až 4	–	–
Lití na vytavitelný model	a	3 až 5	3 až 5	3 až 5	3 až 5	2 až 4	3 až 5	a	a

<sup>a</sup> Pro lití na vytavitelný model platí následující podle největšího celkového rozměru:

- ≤ 100 mm: stupeň 4 až 6;
- > 100 mm ≤ 400 mm: stupeň 4 až 8;
- > 400 mm: stupeň 4 až 9.

<sup>b</sup> Pro lití na vytavitelný model platí následující:

- Stupeň GCTG 2: má se použít jen v případě zvláštního ujednání;
- Stupeň GCTG 3: běžné odlitky bez stranových posuvných vedení;
- Stupeň GCTG 4: složité odlitky, jakož i odlitky se stranovými posuvnými vedeními.

**Tabulka 7 – Požadovaný přírůstek na obrábění**

Rozměry v milimetrech

Největší celkový rozměr		Přídavek na obrábění pro požadovaný stupeň přídavku na obrábění (RMAG) (Required machining allowance grade – RMAG)									
		RMAG A	RMAG B	RMAG C	RMAG D	RMAG E	RMAG F	RMAG G	RMAG H	RMAG J	RMAG K
–	≤ 40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1	2
> 40	≤ 63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	3
> 63	≤ 100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
> 100	≤ 160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6
> 160	≤ 250	0,3	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8
> 250	≤ 400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10
> 400	≤ 630	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6	9	12
> 630	≤ 1 000	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14
> 1 000	≤ 1 600	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16
> 1 600	≤ 2 500	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,5	6	9	13	18
> 2 500	≤ 4 000	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20
> 4 000	≤ 6 300	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16	22
> 6 300	≤ 10 000	1,1	1,5	2,2	3	4,5	6	9	12	17	24

POZNÁMKA Stupně A a B se používají jen ve speciálních případech, například u sériové výroby, kde byla dohodnuta mezi zákazníkem a slévárnou šablona, postup odlévání a postup obrábění s ohledem na upínací a základnové plochy nebo výchozí body na obrábění, které byly dohodnuty mezi zákazníkem a slévárnou.

**Tabulka B.1 – Typické stupně požadovaného přídavku na obrábění pro surové odlitky**

Metoda	Stupeň požadovaného přídavku na obrábění (Required machining allowance grade – RMAG) pro materiál odlitku									
	Ocel	Litina s lupinkovým grafitem	Litina s kuličkovým grafitem	Temperovaná litina	Slitiny mědi	Slitiny zinku	Slitiny lehkých kovů	Slitiny na bázi niklu	Slitiny na bázi kobaltu	
Lití do pískové formy, ruční formování	G až K	F až H <sup>a</sup>	F až H <sup>a</sup>	F až H	F až H	F až H	F až H <sup>a</sup>	G až K	G až K	
Lití do pískové formy, strojní formování a odlévání do skořepin	F až H	E až G	E až G	E až G	E až G	E až G	E až G	F až H	F až H	
Kovová permanentní forma (kromě lití pod tlakem)	–	D až F	D až F	D až F	D až F	D až F	D až F	–	–	
Lití pod tlakem	–	–	–	–	B až D	A až D	B až D	–	–	
Lití na vytavitelný model	E	E	E	–	E	–	E	E	E	

<sup>a</sup> Pro odlitky s největším celkovým rozměrem větším než 6 300 mm platí F až K.



## Příloha 2: Tabulky z normy ČSN EN 12890 [3]

Tabulka 1 - jakostní třídy pro modely, příslušenství modelů a jaderníky

Typ materiálu	Jakostní třídy	Další podrobnosti viz tabulka
Dřevo	H1, H2, H3	2, 5 a 6
Kovy	M1, M2	3, 5 a 6
Plasty	K1, K2	4, 5 a 6

Tabulka 2 - jakostní třídy - modely, příslušenství modelů a jaderníky ze dřeva

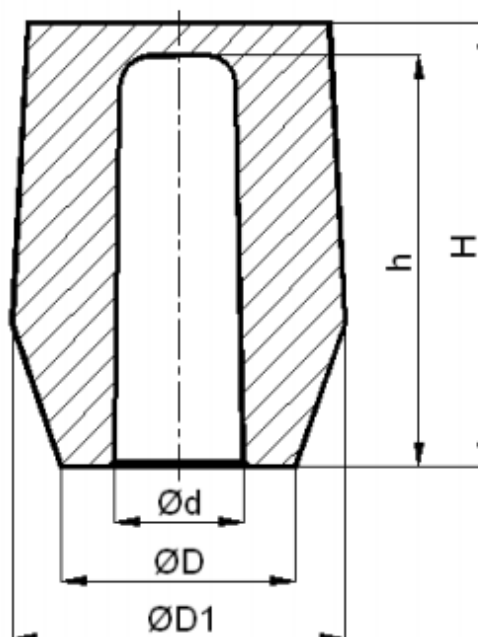
Vlastnosti	Jakostní třída		
	H1	H2	H3
Použití	Pro velké množství ručních a strojních formíren, kde je požadována velmi vysoká úroveň.	Pro malé množství a opakující se jednotlivé odlitky v ručních a strojních formírech.	Pro kusové odlitky v ručních formírech.
Počet forem <sup>1)</sup> : - velké rozměry modelů <sup>2)</sup> - střední rozměry - malé rozměry modelů <sup>2)</sup>	do 200 200 až 5 000 1 000 až 10 000	5 až 20 20 až 100 100 až 200	do 10 10 až 20 20 až 50
Druh materiálu <sup>3)</sup>	Lze použít překližkové desky, sendvičové desky, tvrdé nebo měkké dřevo (otěrové hrany)	Dýhované desky nebo měkké řezivo.	Měkké řezivo nebo dřevotřískové desky
Spoje	Rámová konstrukce by měla mít spojení na rovné ozuby, spoje, např. segmenty by měly být k sobě přilepeny a dodatečně přišroubovány pomocí šroubů nebo vrutů podle podmínek namáhání.	Rámová konstrukce by měla být spojena na rovné ozuby, polodrážku nebo dvoutřetinovou drážku podle potřeby. Mělo by se použít sešroubování pomocí šroubů a / nebo vrutů a / nebo přibítí.	Rámová konstrukce by měla být spojena na polodrážku. Mělo by se použít sešroubování pomocí šroubů a / nebo vrutů a jinak přibítí.
Deformace modelu, příslušenství modelu a jaderníku	Při tuhnutí nebo při vyjímání není přípustná deformace.	Jako u H1.	Jako u H1.  POZNÁMKA: Přídavné zesílení může být nezbytné za účelem zabránění deformace při použití laminované nebo dřevotřískové konstrukce.
Směr dřevního žilkování	Nejlépe ve směru zvedání; tam, kde je to možné, nebude se střídát podélné a příčné řezané dřevo po bocích.	Nejlépe ve směru zvedání, ale může být příčný, když mají boky příkrý sklon; střídání podélné řezané a příčné řezané dřeva by mělo být zabráněno.	Žádné zvláštní pokyny.

(pokračuje na další straně)

Příloha 3: Exotermicko-izolační kompaktní nástavce řady CK [7]

**HA KOVOCHEM**

**KOMPAKTNÍ NÁSTAVCE ŘADY  
CK...**



FERRAL, Exotermicko-izolační kompaktní nástavce							
Typ	ROZMĚRY						
	D mm	H mm	D1 mm	d mm	h mm	Modul cm	Objem dm <sup>3</sup>
CK 25	30	60	44	16	50	0,8	0,01
CK 35/62	38	62	54	21	50	1,0	0,02
CK 35/2	40	78	59	25	70	1,2	0,03
CK 40	38	100	63	21	85	1,3	0,03
CK 50	60	110	74	36	97	1,7	0,09

Údaje odpovídají našim dnešním znalostem a zkušenostem. Obsah je vzhledem k mnoha možnostem použití nezávazný. Toto platí i pro případné nároky třetích stran.

H.A.KOVOCHEM spol. s r. o. • CZ - 252 10 Mníšek pod Brdy

Tel.: +420 318 841 000 • Fax.: +420 318 592 641

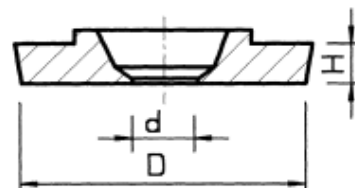
www.hakovochem.cz • E-mail: info@hakovochem.cz

list C72015 10/2006

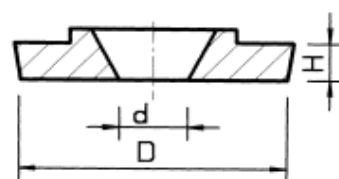
Příloha 4: Podložky pod nástavce CK [7]

**HA KOVOCHEM**

**Podložky pro nástavce CK...**



Označení nástavce s podložkou	ROZMĚRY		
	D mm	d mm	H mm
CK 25 B1K	21	9	7
CK 35/62 B1K	34	10	7
CK 35/62 B2K	25	10	10
CK 35/2 B1K	34	10	7
CK 35/2 B2K	25	10	10
CK 35/2 B3K	34	13	7
CK 40 B1K	34	10	7
CK 40 B2K	25	10	10
CK 50 B2K	47	18	10
CKM 60 B1K	50	18	15
CKM 90 B1K	88	21	11
CKM 110 B1K	88	25	18



Označení nástavce s podložkou	ROZMĚRY		
	D mm	d mm	H mm
CKM 70 B1K	70	19	11
CKM 80 B1K	75	20	11
CKM 100 B1K	94	22	11
CKM 120 B3K	104	28	18

Údaje odpovídají našim dnešním znalostem a zkušenostem. Obsah je vzhledem k mnoha možnostem použití nezávazný. Toto platí i pro případné nároky třetích stran.

H.A.KOVOCHEM spol. s r. o. • CZ - 252 10 Mníšek pod Brdy  
Tel.: +420 318 841 000 • Fax.: +420 318 592 641

list C73012 7/2012

www.hakovochem.cz • E-mail: info@hakovochem.cz

Příloha 5: Kompaktní nástavec typ A [12]

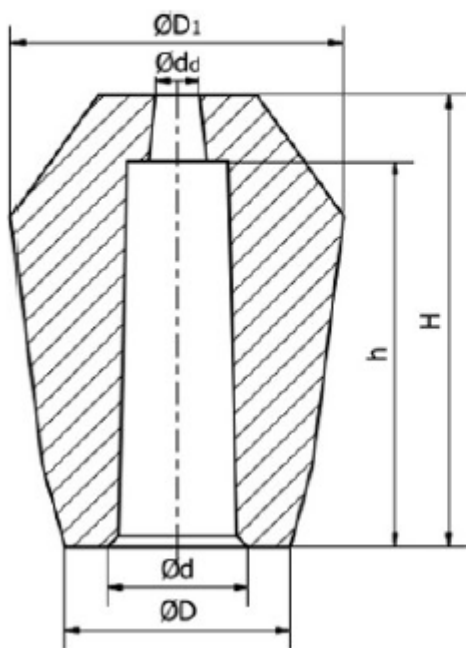


**KVARTEX spol. s r.o.**

**NÁSTAVCE**

**KOMPAKTNÍ NÁSTAVEC TYP A**

Datum aktualizace listu: 19.03.2015



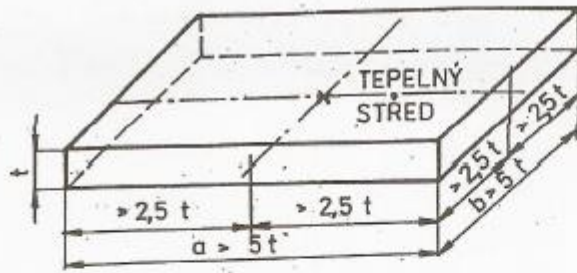
*Ilustrace 1: Nástavec A 70 s podložkou*

TYP	D [mm]	H [mm]	d [mm]	h [mm]	D <sub>1</sub> [mm]	d <sub>d</sub> [mm]	Modul [cm]	Objem [dm <sup>3</sup> ]
A 16	38	62	21	50	56	5,5	0,85	0,016
A 28	40	82	25	70	59	7,8	0,95	0,028
A 45	46	114	25	100	56	7,8	1,3	0,045
A 55	82	95	45	65	94	8,5	1,8	0,1
A 56	60	97	32	80	87	8,5	1,35	0,056
A 60	78	140	40	110	100	10,4	1,9	0,125
A 70	82	120	50	100	114	7 / 11	2,2	0,25
A 70 CH	82	108	50	90	114	8	2,2	0,159
A 88	60	108	36	95	87	9	1,65	0,088
A 90	98	140	58	120	134	10 / 11	2,8	0,3
A 90 CH	98	108	65	90	145	10	2,8	0,276
A 95	98	180	65	155	133	11,3	3,2	0,45
A 100	106	145	65	120	134	10,5	3,2	0,34
A 110	106	200	62	175	134	10,3	3,4	0,42
A 120	110	205	80	165	170	11,8	4,2	0,75
A125	128	240	80	200	170	10	4,4	0,9
A 240	78	206	45	180	140	11,5	3,3	0,24

## Příloha 6: Vstupní podmínky pro simulaci lití

<b>Firma</b>	
<b>Název odlitku / geometrie</b>	
Materiál odlitku	<b>ČSN 422420</b>
Chemické složení litého kovu [%]	<b>C=3,54;Si=2,01;Mn=0,48;P=0,229;S=0,1; Sc=1; CE=4,11</b>
Váha odlitku [kg]	<b>3,24 kg</b>
Forma - materiál - počáteční teploty [°C] - rozměry formy [mm]	<b>Jednotná bentonitová směs, nasyrovo. D 50 = 0,23 25 st.C 430 x 380 x 120/100</b>
Jádra - materiál - počáteční teplota [°C]	<b>Fenol resolová pryskyřice (Carbophen), vytvrzo- vaná CO2 D 50 = 0,27 25 st.c</b>
Zásyp hladiny nálitků - materiál - počáteční teplota [°C] - tloušťka [mm]	<b>0</b>
Isolační / Exo nálitky - typ - materiál - počáteční teplota [°C]	<b>A16+B2K Exotermická směs typ CT (BL) viz BL</b>
Chladítka - materiál - počáteční teplota [°C]	<b>0</b>
Filtr - typ - velikost	<b>0743/12,7 keramický , lisovaný (Keramtech Žaclěř)</b>
Technologie očkování: Materiál očkovačla: Čas mezi očkováním a odlitím	<b>FeSi 75% (Inostrong; Superseed 75) do 5 min 0</b>
Technologie modifikace: Materiál modifikátoru: Čas mezi modifikací a odlitím	<b>0 0</b>
Typ odlévacího zařízení (pánev, licí výška)	<b>Hrncová licí pánev 11,93 cm</b>
Doba lití [s]	<b>4,2 s</b>
Teplota lití [°C]	<b>1285 – 1310 st. C</b>
Teplota nebo doba vyhození odlitku z formy	<b>30 min.</b>
Teplota okolí při lití a tuhnutí [°C]	<b>35 °C</b>
Průřez licího proudu [mm]	<b>Hrncová licí pánev; řídicí průřez vtok. Systému je průřez vtokového kúlu (2,01 cm2)</b>
Směr vstupu taveniny do licího kúlu (°)	<b>60 st.</b>
Sklon formy, směr gravitace	<b>0 st; 0 st</b>
Nátěry - místo - typ - tloušťka	<b>0</b>

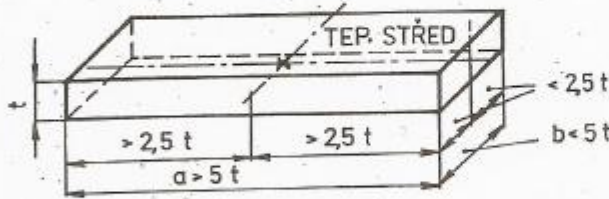
**Příloha 7: Vzorce pro určení velikost modulu uzlu a křížení stěn**



POLONEKONEČNÁ DESKA

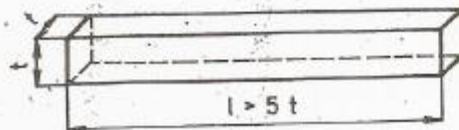
$$M = \frac{t}{2}$$

80 - 60 mm  
56 mm



POLONEKONEČNÁ TYČ

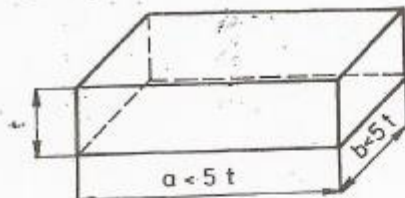
$$M = \frac{b \cdot t}{2(b+t)}$$



ČTVERCOVÁ (KRUHOVÁ) TYČ

$$M = \frac{t}{4} \left( \frac{D}{4} \right)$$

60 - 180 mm, 110 mm



KVĀDR

$$M = \frac{a \cdot b \cdot t}{2(ab + at + bt)}$$



KRYCHLE, KOULE

$$M = \frac{a}{6} \left( \frac{D}{6} \right)$$

90 - 180 mm, 160 mm

KRÍŽENÍ STĚNÝCH PRŮŘEZŮ ZVĚTŠENÉ MODUL O

Kantě	Uzry	Třpa	Křížovny	Křížovny s kolmým Plattenabechwř	Křížovny s verschręter Plattenabechwř
1,15	1,25	1,25	1,65	1,5	1,7