



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE PŘI VÝROBĚ ODLITKU V MALÉ STROJÍRENSKÉ FIRMĚ

SOLUTION TECHNOLOGY OF PRODUCTION PART CAST IN CONDITION SMALL
ENGINEERING COMPANY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JIŘÍ GULDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Gulda

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

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Řešení technologie při výrobě odlitku v malé strojírenské firmě

v anglickém jazyce:

Solution technology of production part cast in condition small engineering company

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh polotovaru (sestavení technologického výkresu, přídavky na obrábění). Návrh soustavy formy odlitku. Simulace odlévání v softwaru MAGMASoft. Návrh obráběcí technologie. Výroba vzorového modelu s využitím CAD/CAM. Porovnání 3-osého a 5-osého obrábění. Ekonomické přínosy.

Cíle diplomové práce:

V podmínkách malé strojírenské firmy řešit komplexní technologický řetězec od výkresové dokumentace až po výrobu vzorku na CNC stroji. Formulovat přínosy pro firmu při využití CAD/CAM produktů.

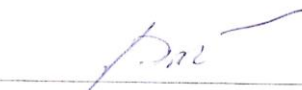
Seznam odborné literatury:


1. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOCMAN, K. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 19.11.2010


prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na návržení a optimalizace slévárenské technologie odlitku a výroby konkrétního modelu pro daný odlitek. Návrh technologie a sestavení soustavy formy ve 3D za pomoci CAD systému. Simulace lití v CAE systému MAGMASoft® a vyhodnocení navržené technologie odlitku. Výroba modelu za pomoci CAD/CAM software a obráběcího CNC stroje se zaměřením na 3-osé a 5-osé třískové obrábění. Ekonomické přínosy pro firmu.

Klíčová slova

Technologie, Simulace, MAGMASoft®, CAD/CAM/CAE, 3-osé a 5-osé obrábění

ABSTRACT

The dissertation work focuses on the design and optimization of the castings and foundry technology and the production a particular model for the casting. The technology proposal and the pattern set building in 3D using CAD system. The casting simulation in CAE MAGMASoft® system and evaluation of the proposed casting technology. Production of the pattern using CAD/CAM software and CNC machine tools with a focus on 3-axis and 5-axis machining. The economic benefits for the company.

Key words

Technology, Simulation, MAGMASoft®, CAD/CAM/CAE, 3-axis and 5-axis machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GULDA, Jiří. *Název: Řešení technologie při výrobě odlitku v malé strojírenské firmě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 96 s., 5 příloh. Vedoucí Diplomové práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Řešení technologie při výrobě odlitku v malé strojírenské firmě* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 23.5.2011

.....
Bc. Jiří Gulda

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc., za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji tímto Ing. Vladimíru Krutišovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji firmě Armo Metal, s.r.o. za poskytnutí technické podpory při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji firmě Roučka Slévárna, a.s. za poskytnutí technické podpory při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji své rodině za poskytnutí soukromí a klidu při studiu a zpracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	9
1 TECHNOLOGICKÉ OPERACE VE SLÉVÁRNĚ.....	10
1.1 Formovací směsi.....	10
1.1.1 Ostřiva a Pojiva.....	10
1.1.2 Zkoušení formovacích směsí	10
1.1.3 Povrchová ochrana forem a jader	10
1.2 Modelové zařízení.....	11
1.2.1 Modelové zařízení pro strojní formování	11
1.3 Způsoby formování	11
1.3.1 Nekonvenční metody formování	11
2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE ODLITKŮ	12
2.1 Postup při návrhu odlitků	12
2.2 Komplexní technologický řetězec.....	13
2.2.1 Technologické úkoly na odlitku a modelu	13
2.2.2 Žebrovaní a tvarování stěn různých tloušťek v odlitcích	13
2.2.3 Uložení jader	14
2.2.4 Nálitky.....	14
2.2.5 Průběh a doba tuhnutí odlitků	14
2.2.6 Výpočty nálitků.....	16
2.2.7 Určení počtů nálitků	16
2.2.8 Vtoková soustava	17
3 NUMERICKÁ SIMULACE VE SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGII.....	20
3.1 Simulace ve výrobním procesu.....	20
3.2 Výpočty plnění a tuhnutí odlitku.....	21
3.3 Chladnutí a vznik nežádoucích jevů	21
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	22
4.1 Systém Solidworks 2010	22
4.1.1 Popis ovládacího panelu nástrojů CommandManager	23
4.2 Řešení výkresové dokumentace	25
4.3 Příprava modelu odlitku	26
4.3.1 Postup přípravy modelu v Solidworks.....	26
5 SIMULACE ODLITKU BEZ TECHNOLOGIE	40
5.1 MAGMASoft simulační systém.....	40
5.2 Geometrie a technické parametry	40
5.3 Tepelné uzly.....	41
6 NÁVRH SOUSTAVY FORMY ODLITKU	43
7 SIMULACE ODLITKU S NAVRŽENOU TECHNOLOGIÍ	45
7.1 Průběh simulace plnění dutiny formy.....	46
7.2 Průběh simulace tuhnutí formy	47
7.3 Mikroporozita odlitku.....	48
7.4 Stažení odlitku	48
7.5 Tepelné uzly.....	49

7.6 Shrnutí výsledků simulace	50
8 PŘÍPRAVA VÝROBY MODELU A JADERNÍKŮ	51
8.1 Volba materiálu pro model i jaderníky	51
8.1.1 Technologické vlastnosti dřeva	51
8.1.2 Popis použitého dřeva pro výrobu modelu a jaderníku	52
8.2 Požadavky kladené na výrobu modelu i jaderníku	52
8.3 Tvar modelu a jaderníku	52
8.4 Návrh polotovaru pro model a jaderník	57
8.5 Tvary polotovarů modelu a jaderníku	58
9 VÝROBA MODELU A JADERNÍKU NA CNC STROJI	60
9.1 Volba a parametry CNC stroje	60
9.2 Nastavení polotovaru modelu a jeho uchycení	62
9.3 Systém SURFCAM V5	64
9.4 Import Modelu	65
9.5 Volba strategie obrábění modelu vršek	68
9.5.1 Obrábění čela známky modelu spodek	69
9.5.2 Hrubování vrchní části modelu	72
9.5.3 Hrubování bočních částí modelu	75
9.5.4 Dokončení tvaru modelu vršek	78
9.5.5 Dokončení ploch známek modelu	82
9.5.6 Dokončení tvaru lůžek pro příruby 5osým obráběním	83
9.6 Ukázky obrábění jaderníků	85
9.7 Vygenerování programů (postprocesing)	85
9.8 Porovnání 3-osého a 5-osého obrábění	87
10 TECHNICKO-EKONOMICKÉ PŘÍNOSY	88
Závěr	91
Seznam použitých zdrojů	92
Seznam použitých zkratk a symbolů	94
Seznam příloh	96

ÚVOD

Slévárenská technologie umožňuje nejrychlejší výrobu požadované součásti ze surovin. Je možné odlévat tak složité tvary, které nelze vyrobit jinými technologiemi s hmotnostmi od několika gramů do několika stovek tun, s tloušťkou stěny od několika milimetrů do několika tisíc milimetrů [8].

Slévárenství jako technologie, která se zabývá jednak vlastním technologickým procesem výroby odlitků ze slitin a kovů, tak i vlastnostmi základních i pomocných surovin používaných pro výrobu. Pro efektivní výrobu odlitků je zapotřebí znát celou řadu znalostí, které jsou nezbytně nutné, jako je např.: sdílení tepla, fyzikální a koloidní chemie, a dalších [2].

Je nutno podotknout, že je zapotřebí znát i další oblasti ve vývoji a výrobě co se týká simulací odlévání odlitků, ale i samotnou výrobu modelů a jejich zařízení tzv. výrobní útvary „modelárny“, bez kterých by slévárny jen stěží fungovaly.

Jednou takovou výrobní společností je malá strojírenská firma Armo Metal, s.r.o. zabývající se řešením kompletních technologických řetězců, výkresové dokumentace, simulacemi v CAE systému MAGMASoft a výrobou modelů na CNC strojích. Tato firma také spolupracuje se slévárnou Roučka-Slávárna, a.s., která má velké jméno na domácím trhu, tak i v zahraničí.

Velkým přínosem pro výrobní firmu je, využít maximálně potenciál těchto výrobních systémů, ať se jedná o slévárenské simulační CAE programy nebo obráběcí CAD/CAM systémy, a tím lze dosáhnout mnohem větších výkonů a efektivity a také i lepší produkci v oblasti kvality i kvantity.

1 TECHNOLOGICKÉ OPERACE VE SLÉVÁRNĚ

Výroba odlitků se v praxi provádí do jednorázových (pískových) nebo trvalých (kovových) forem. Výroba do pískových forem je nejuniverzálnější metodou, jak vzhledem k odlévání slitině, tak i k velikosti odlitku. Odlévání do kovových forem zajišťuje zpravidla větší přesnost, ale je omezena cenou formy a velikostí odlitků a jeho materiálem. Je vhodné hlavně pro sériovou výrobu odlitků převážně z neželezných slitin [2].

Ve slévárenském provozu jsou kladeny nároky na koordinaci a plánování ve výrobě. Při výrobě odlitků dochází k přesunu velkého množství hmot a komponent, které mají vliv na organizaci práce. Např. viz příloha č.1: [2]

- pohyb jaderníků a modelů ze skladů do výroby a zpět,
- pohyb formovacích rámců a formovacích hmot,
- pohyb materiálů na odlitky [2].

1.1 Formovací směsi

U všech směsí jsou důležité vlastnosti, jako je žáruvzdornost, životnost, objemová stálost, mechanické vlastnosti, formovatelnost, prodyšnost, rozpadavost a vaznost. Tyto směsi mají podíl dvou složek (ostřiva a pojiva) se zrny většími než 0,02 mm a pak menší než 0,02 mm a obvykle to bývá kolem 75 až 98% formovací směsi a jejich vlastnostmi [2].

1.1.1 Ostřiva a Pojiva

Ostřiva – žáruvzdorný materiál, zrnitý s velikostí částic nad 20 µm

Pojiva – směs látek organického nebo anorganického původu obsahující vlastnosti (vaznost, pevnost, plasticitu, pevnost po odlití, pevnost za vysokých teplot) [8].

1.1.2 Zkoušení formovacích směsí

V běžných slévárenských provozech pískových laboratoří se provádí zkoušky (stanovení vlhkosti, prodyšnosti a pevnosti) [8].

1.1.3 Povrchová ochrana forem a jader

Povrchová ochrana forem a jader pomocí nátěrových a námazkových hmot. Tyto hmoty ucpávají póry v povrchu formy a výrazně brání před penetrací kovu a zlepšují kvalitu povrchu odlitku [8].

- plnivo,
- pojivo,
- přísady,
- nosná kapalina [8].

1.2 Modelové zařízení

Modelové zařízení slouží k výrobě dutin forem, která odpovídá tvaru budoucího odlitku. Součástí modelového zařízení je i jaderník. Různé tvary dutin v odlitcích se předlévají pomocí jader. Modelové zařízení se skládá z modelu (volného) bez jaderníku, model s jaderníkem a model s jaderníkem a volnými částmi. Modely a jaderníky se vyrábí z materiálů (ocel, hliník, dural, šedá litina, epoxidové pryskyřice, vosk, dřevo a polystyren) [2].

1.2.1 Modelové zařízení pro strojní formování

Pro strojní formování jsou důležité modelové desky. Na modelové desky jsou pevně uloženy a přidělané modely (vršek, spodek), vtoková soustava a další části zařízení (pouzdra – slouží k ustavování formovacích rámců, lišty – slouží k dělení formy, zaváděcí kolíky – slouží k zavádění formy při skládání [2].

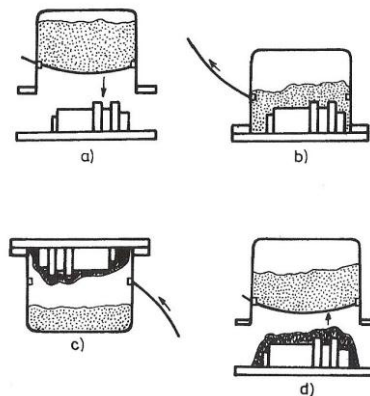
1.3 Způsoby formování

- ruční formování,
- strojní formování [2].

1.3.1 Nekonvenční metody formování

Metody s chemickou reakcí ztuhnutím pojiva. Chemicky vytvrzené metody:

- skořepinové formy,
- formy tvrzené směsí CT,
- studené jaderníky – COLD BOX,
- horké jaderníky – HOT BOX,
- vytavitelné a spalitelné modely,
- keramické formy pomocí trvalého modelu,
- vakuové formování – V proces,
- formování v magnetickém poli,
- procesy FULL – MOULD,
- zmrazování forem ESS - SET Proces [2].



Obr. 1.1 Znáznornění výroby skořepinových forem (2)

2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE ODLITKŮ

Aby byl výrobek úspěšný na trhu, je potřeba několik podmínek, vyvážený soulad mezi technickými požadavky vyjadřovanými funkcí, tvarem, pevností, tuhostí, životností, spolehlivostí, požadovaným výkonem, vzhledem apod. na straně jedné a rychlou hospodárnou výrobou na straně druhé. Cílem všech konstruktérů proto má být dosažení přitažlivosti výrobku zajištěním požadované úrovně užitných hodnot (jakosti) s co nejnižšími materiálovými a výrobními náklady [1].

Nepostradatelnost odlitků pro moderní průmyslové výrobky je dána celou řadou jejich technických i ekonomických výhod, k nimž patří zejména:

- přímá cesta od surovin k výrobku,
- možnost zhotovovat díly v široké škále hmotností,
- možnost dosažení značně složitých prostorových tvarů,
- možnost tvarování odlitků dle zatížení nebo potřeby ohraničit prostor,
- možnost dosažení vysoké tuhosti vhodným prostorovým rozložením materiálu,
- možnost odlévání většiny kovů a slitin,
- nezávislost vlastního materiálu na směru namáhání,
- relativně nízká spotřeba elektrické energie,
- vysoké využití materiálu ve formě,
- možnost ovládání struktury a vlastností odlitků,
- možnost zalévání dílů z jiných kovů (ložiska, pouzdra, čepy, apod.) [1].

Dnešní možnosti slévárenské technologie však mohou obavy z užívání odlitků vyvrátit díky velkému a rychlému pokroku v oblasti metalurgie i výroby forem, systémů řízení jakosti a možnosti využití počítačové simulace, která napomáhá optimalizovat konstrukci odlitku s ohledem na zatížení, nebezpečí výskytu vad, pnutí i deformací, a dokonce umožňuje napomáhat dosažení požadované struktury a tím i vlastnosti odlitku. Několik opatření ve výrobě i jejím řízení dále přispívá k potlačení odchylek od požadované jakosti. V praxi realizace uvedených vymožeností postupuje jen zvolna, ale je nezbytná pro zachování konkurenceschopnosti slévárenské výroby [1].

2.1 Postup při návrhu odlitků

Při návrhu odlitků je potřeba určit hlediska, která zaručí správný postup při navrhování konstrukce odlitků a jejich slévárenských technologií, která by měla zachytit vliv působících faktorů na celkovou jakost odlitku [2].

- jestli je vhodně zvolený materiál, který odpovídá teplotě lití a tuhnutí,
- rozdílné tloušťky stěn v odlitku vedou k nerovnoměrnému tuhnutí a chladnutí, to zapříčiní jiné vlastnosti částí odlitků, staženiny, vměstky,
- zda odpovídají normám vlastnosti materiálových listů,
- vhodná konstrukce odlitků, která umožní snadné a účelné navržení nálitků a jejich částí (odvzdušnění, chladítka, excentry, atd.),
- odstranění nežádoucích vad a nebezpečí vzniku trhlin, poretů, bublin,
- vhodnost použití formovacích rámců a formovacích směsí,
- správné navržení přídavek, úkosů, tvarování stěn a žebrování,

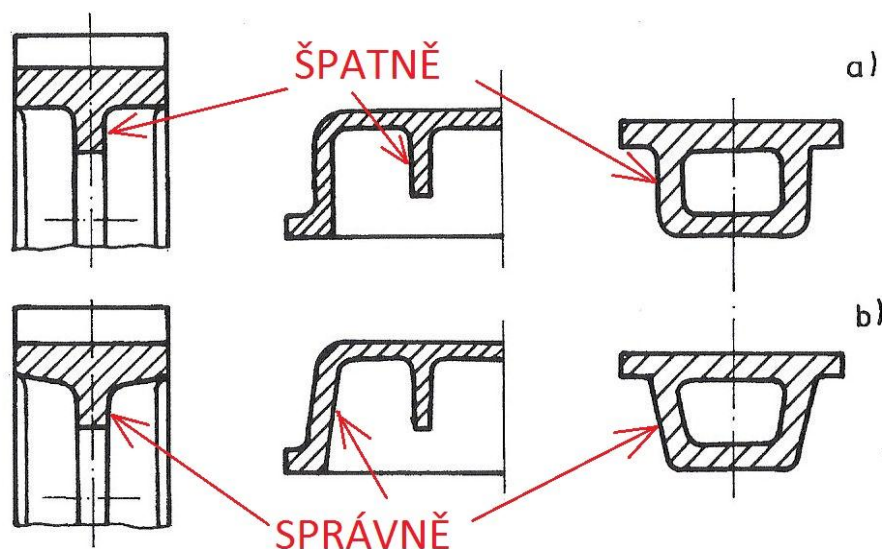
- správné použití jader a jejich formovacích směsí,
- dokonalé zaplnění formy tekutým kovem [1].

2.2 Komplexní technologický řetězec

Při řešení komplexního technologického řetězce při výrobě odlitku je nutno dbát na všechny aspekty s ním spojené. Zejména klást důraz na přesnou výkresovou dokumentaci dodanou pro výrobu odlitku, komunikace s konstruktérem navrženého odlitku, vhodně navrženou slévarenskou technologií, správně zvolené přídkavky pro obrábění odlitku a v poslední řadě vyrobiteľnost modelového zařízení. Pokud některé tyto aspekty nebudou dobře připravené nebo bude špatná komunikace mezi konstruktéry a technologi, budou tuto výrobu provázet problémy a odlitek nemusí být dobře vyroben.

2.2.1 Technologické úkosy na odlitku a modelu

Úkosy slouží ke snadnějšímu vyjímání modelu z formy, zpravidla se volí na bočních stranách modelu [2]. Od dělicí roviny modelu začíná úkos nabývat tak, aby splnil požadované rozměry dle požadavků zákazníka, do těchto rozměrů patří například stavěcí délka odlitku. Rozměr stavěcí délky bude o úkos větší. Úkosy se volí dle funkčních ploch odlitku a jsou závislé na tvaru dělení modelu. V praxi se používají tři typy úkosů s jednoduchým označením tzv. úkos do plusu (+), úkos do mínusu (-) a úkos (\pm).



Obr. 2.1 Posouzení technologičnosti odlitků

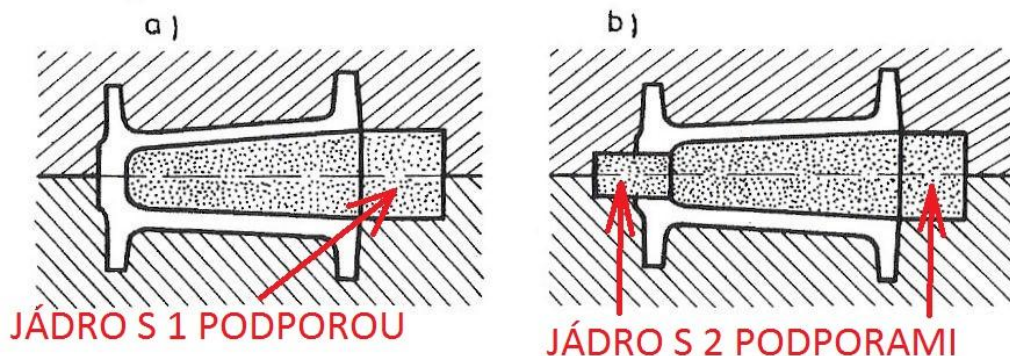
- a) model a odlitek bez úkosu (kolmé stěny, model nelze vytáhnout z formy),
b) model i odlitek s úkosy (správně) (2)

2.2.2 Žebrování a tvarování stěn různých tloušťek v odlitcích

Důležité je zachovávat stejnoměrné průřezy tvarů a stěn v odlitku. Nevhodně navržené tvary napojení tří a více stěn, mohou být příčinou vzniku únavových lomů a tepelných uzlů na odlitcích. Žebra odlitků nemají být přímo proti sobě, ale mají být střídavě přesazena [2].

2.2.3 Uložení jader

Uložení jader při výrobě odlitků je nutno zabezpečit proti přetočení, vysunutí, vyhnutí, zlomení, atd. Uložení jader je možno uložit několika způsoby [2].



Obr. 2.2 Možnosti uložení jader
a) jednostranně, b) oboustranně (2)

2.2.4 Nálitky

V odlitku dochází k objemovému úbytku kovu a musí být doplňován dosazováním tekutého kovu z nálitku při tuhnutí. Doba tuhnutí odlitků musí být menší než doba tuhnutí nálitků, náletek musí obsahovat tekutý kov až do úplného ztuhnutí, musí umožnit optimální proudění kovu z nálitku do odlitku a splnit požadované tlakové podmínky [2].

- nálitky otevřené – při konstrukci použít pravidla vepsaných koulí,
- nálitky uzavřené – podtlakové, atmosférické, přetlakové,
- nálitky exotermické [2].

2.2.5 Průběh a doba tuhnutí odlitků

Výpočty tuhnutí nálitku a odlitku jsou velice složité a ne vždy se dopočítáme správným výsledkům. Velmi důležitá je pro výpočet doba tuhnutí nálitku a odlitku. Musí platit podmínka viz. rov.1.1 [2].

Doba tuhnutí nálitku větší než doba tuhnutí odlitku [2]

$$\tau_n > \tau_o \quad (2.1)$$

kde: τ_n ...doba tuhnutí nálitku [s]

τ_o ...doba tuhnutí odlitku [s]

Tloušťka ztuhlé vrstvy odlitku [2]

$$\xi = K \cdot \sqrt{\tau} \quad (2.2)$$

kde: ξ ...tloušťka ztuhlé vrstvy odlitku [mm]

K ...konstanta tuhnutí [$m \cdot s^{-0,5}$]

τ ...doba tuhnutí [s]

Konstanta tuhnutí obecně [8]

$$K = 1,158 \cdot \frac{t_s \cdot b_f}{L_K + (t_{tek} - t_s) \cdot C_k \cdot \gamma_k} \quad (2.3)$$

kde: t_s ...teplota solidu [$^{\circ}\text{C}$]

L_K ...latentní teplo krystalizace [$^{\circ}\text{C}$]

t_{tek} ...teplota lití kovu [$^{\circ}\text{C}$]

C_k ...měrné teplo tuhnoucího kovu [$\text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]

γ_k ...měrná hmotnost tekoucího kovu [Kg.m^{-3}]

Tloušťka ztuhlé vrstvy odlitku nahrazena modulem R (redukovaná tloušťka) [2]

$$R = \frac{V}{S} \quad (2.4)$$

kde: V ...objem tělesa [m^3]

S ...ochlazovaný povrch odlitku, nálitku (bez styčných ploch) [m^2]

- konstanta K je pro odlitek i náletek stejná, ale je potřeba počítat s tím, aby doba tuhnutí nálitku byla o 20% větší než doba tuhnutí odlitku,
- konstanta K je závislá na vlastnostech slitiny a formy, v běžných podmínkách jsou si obě konstanty rovny a platí $K_n = K_o$. Při této podmínce je nutno respektovat pravidlo vepsaných koulí. Pokud bychom změnily konstantu tuhnutí K_n např: izolací, pak tato zásada neplatí a je možno pracovat s menšími nálitky, pak by platila podmínka $R_n < R_o$, která není příznivá pro odlitek a tuhnutí kovu, ale můžeme docílit tuto podmínku $t_n > t_o$, exotermickým obkladem, zásypem, izolací nálitků apod. Těmito izolacemi docílíme delší dobu tuhnutí v nálitcích a tím i malých staženin a zbytcích po nálitcích, vyšší využití kovu [2,8].

Doba tuhnutí nálitku a odlitku s dosazením modulu R [2]

$$\left(\frac{R_n}{K_n} \right)^2 \geq \left(\frac{R_o}{K_o} \right)^2 \quad (2.5)$$

kde: K_n ...konstanta tuhnutí nálitku [$\text{m.s}^{-0,5}$]

K_o ...konstanta tuhnutí odlitku [$\text{m.s}^{-0,5}$]

Pokud bude konstanta tuhnutí nálitku rovna konstantě tuhnutí odlitku, tak po odmocnění platí [2]

$$R_n \geq 1,1 \cdot R_o \quad (2.6)$$

kde: R_n ...modul nálitku

R_o ...modul odlitku

- Modul R splňuje pouze pozdější ztuhnutí nálitku vzhledem k odlitku a současně musí splňovat podmínku, aby náletek byl schopen dodat požadovaný objem kovu, který je potřebný pro dosazování nálitku. Při změně objemu odlitku i nálitku musí být celá staženina soustředěna do nálitku [2].

2.2.6 Výpočty nálitků

Objem staženiny [2]

$$V_{St} = \varepsilon_{VK} (V_O + V_n) \quad (2.7)$$

kde: V_{St} ...objem staženiny [m^3]

V_O ...objem odlitku [m^3]

V_n ...objem nálitku [m^3]

ε_{VK} ...celkové objemové smrštění kovu do úplného ztuhnutí

- ε_{VK} celkové smrštění závisí u slitin Fe na chemickém složení a na obsahu uhlíku,
- koeficient nehospodárnosti nálitku x . Je velikost staženiny vyjádřená poměrem objemu nálitku a maximálně využitému objemu staženiny [1].

Koeficient nehospodárnosti nálitku [2]

$$x = \frac{V_n}{V_{St}}$$

kde: x ...koeficient nehospodárnosti nálitku (2.8)

Objem nálitku [2]

$$V_n = V_O \cdot \frac{x \cdot \varepsilon_{VK}}{1 - x \cdot \varepsilon_{VK}} \quad (2.9)$$

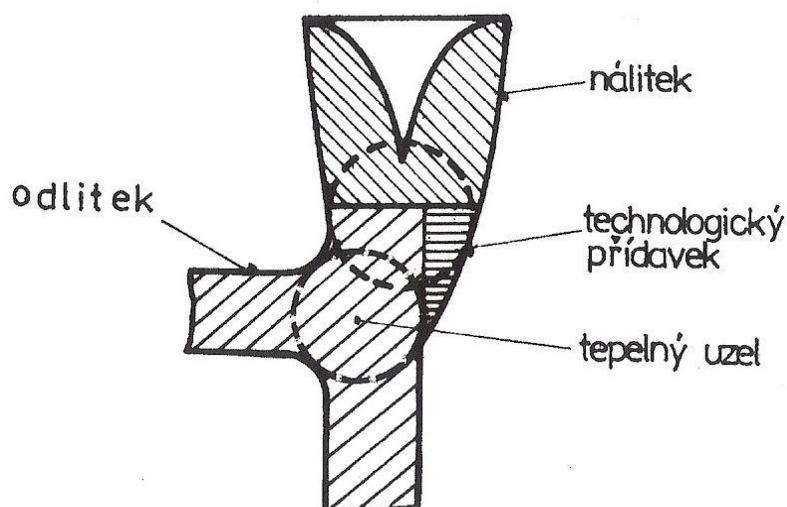
- hodnoty pro vyjádření koeficientu nehospodárnosti x je pro každý typ nálitku jiný [2].

Hodnoty koeficientu nehospodárnosti x [2]

– podtlakové nálitky	> 12
– atmosférické nálitky	8 až 12
– izolované atmosférické nálitky	6 až 9
– přetlakové nálitky	5 až 7
– exotermické nálitky	3 až 6 [1]

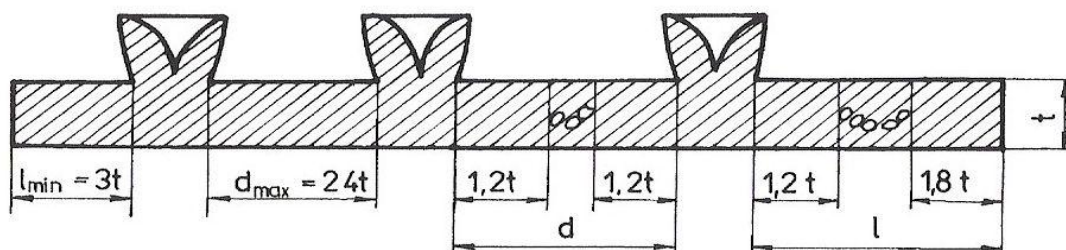
2.2.7 Určení počtů nálitků

Počet nálitků se stanovuje podle počtu tepelných uzlů (místa s pomalým tuhnutím kovu). Každý náletek má určitý dosah dosazování tekutého kovu. U nálitkování tepelných uzlů je možno využít pravidlo vepsaných koulí (aby se koule směrem k nálitku zvětšovali – stále zvětšující průměr koule) [2].



Obr. 2.3 Obrázek znázorňující pravidlo vepsaných koulí (2)

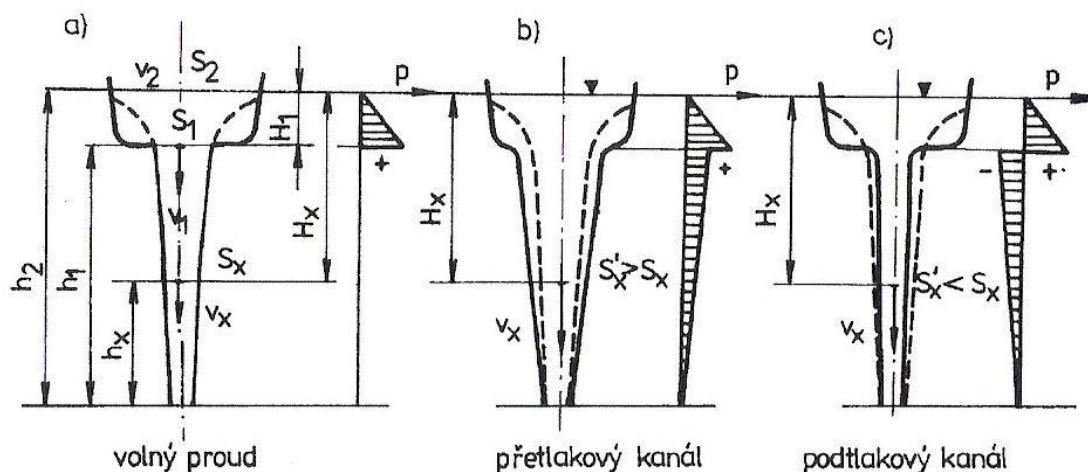
- materiálové vlastnosti odlévané slitiny mají oblasti působnosti nálitku různé, závisí na podélném teplotním gradientu a tvaru odlitku. U materiálu tloušťky t je možno umístit náledek do vzdálenosti od kraje max. $l_{\max} = 4,5 \cdot t$ a vzdálenost mezi dvěma sousedními nálitky by nemělo být větší než $d_{\max} = 4 \cdot t$. Pro materiál čtvercového průřezu o straně t je doporučeno volit vzdálenost $l_{\max} = 3 \cdot t$ a $d_{\max} = 2,4 \cdot t$ viz. obr. 1.7 [2]



Obr. 2.4 Znázornění oblasti působnosti nálitku u čtvercového profilu (2)

2.2.8 Vtoková soustava

Vtoková soustava z velké části ovlivňuje jakost odlitků. Musí zajistit plynulé a rovnoměrné plnění formy tekutým kovem a maximálně zabránit nasávání vzduchu a tvoření turbulentního proudění kovu. Vtoková soustava se skládá z několika prvků rozdílných tvarů (vtoková jamka, vtokový kanál, odstruskovač a zářezy), které ovlivňují plnění formy a nakonec kvalitu odlitků. Tvar těchto prvků závisí na způsobu lití kovu a vlastnostech odlévaného materiálu. Také se podílí na zachycení nečistot a strusky, které by mohly vniknout do odlitku [8].



Obr. 2.5 Proudění a tlak ve svislém vtokovém kanálu

a) tvar volného proudu, b) přetlakový vtokový kanál, c) podtlakový vtokový kanál (2)

- vtokovým kanálem proudí tekutý kov přes odstruskovač a je možno aplikovat Bernoulliho rovnici [2]

Bernoulliho rovnice [2]

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + h_2 = \frac{V_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\rho \cdot g} + h_x \quad (2.10)$$

- tvar vtokových zářezů je možno dělit podle tvaru jejich průřezu (čtverec, obdélník, průměr, atd.)
- rozmístění zářezů má vliv na teplotní pole odlitku
- má vliv na jakost odlitku a na výsledné mechanické vlastnosti
- má vliv na tuhnutí a chladnutí odlitků [1]

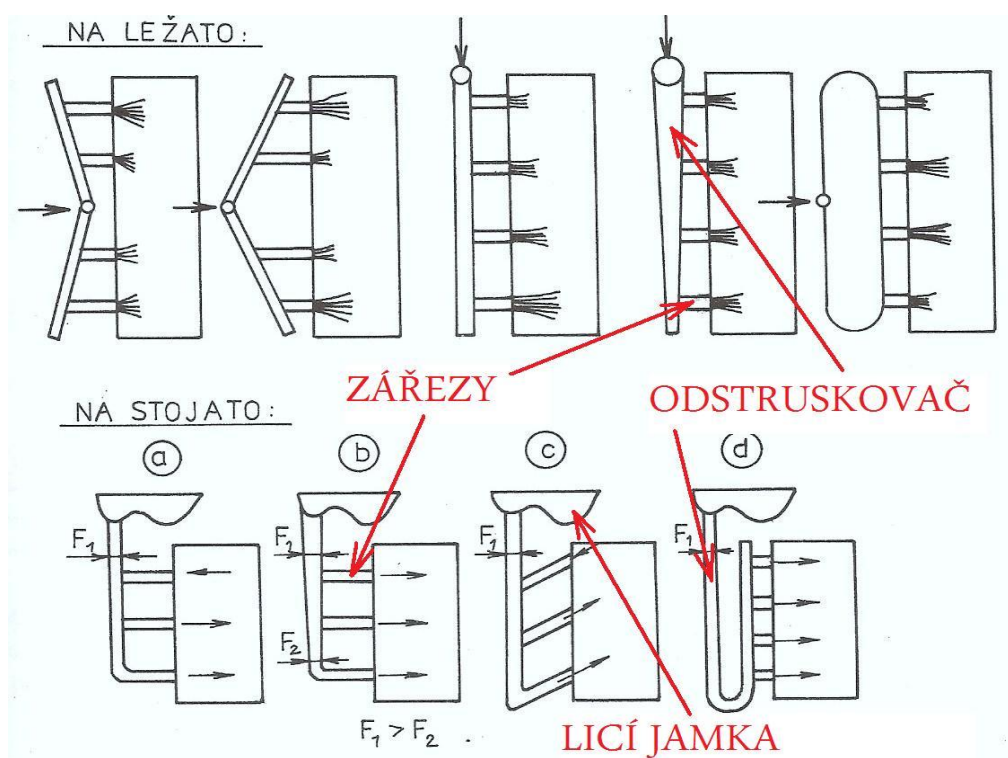
Podle dieterta [2]: optimální doba lití pro odlitky menší než 1000kg

$$t = s \cdot \sqrt{G_h} \quad (2.11)$$

kde: t ...doba lití [s] s ...součinitel, charakterizující složitost odlitku a tloušťku stěny [-] G_h ...hmotnost odlitku [kg]Optimální doba lití pro odlitky větší než 1000kg [8]:

$$t = 0,32 \cdot v \cdot G_h^n \quad (2.12)$$

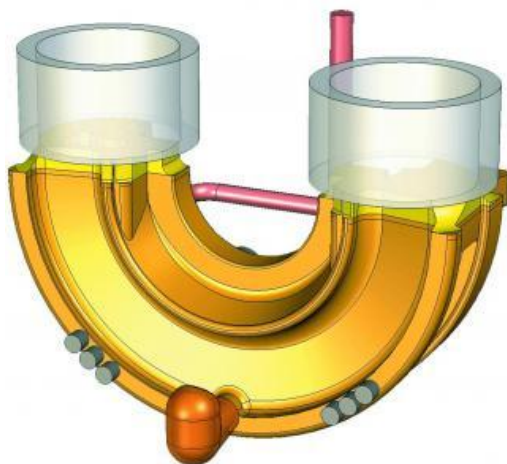
kde: t ...doba lití [s] v ...průměrná tloušťku stěny odlitku [mm] G_h ...hmotnost odlitku [kg] $n = 0,3 \div 0,4$...pro syrové formy [8]



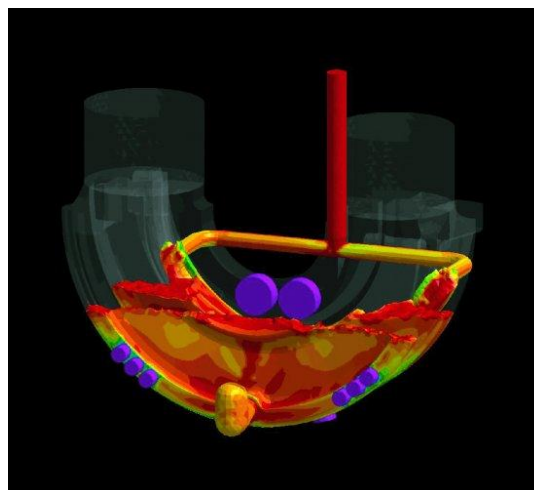
Obr. 2.6 Způsoby napojení zářezů do odlitku
 a,b,c – etážová vtoková soustava,
 d – sifonová soustava (8)

3 NUMERICKÁ SIMULACE VE SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGII

Numerická simulace se v dnešní době více prosazuje jako dobrý pomocník pro optimalizaci slévárenské technologie. V praxi je nedílnou součástí vývoje, který umožňuje zefektivnit výrobu a snížit procento neshodných výrobků a zvýšit využití kovu [10].



Obr. 3.1 Vizualizace fáze plnění:
CAD návrh technologie (10)



Obr. 3.2 Vizualizace fáze plnění:
rozložení teplotního pole na začátku
tuhnutí (10)

3.1 Simulace ve výrobním procesu

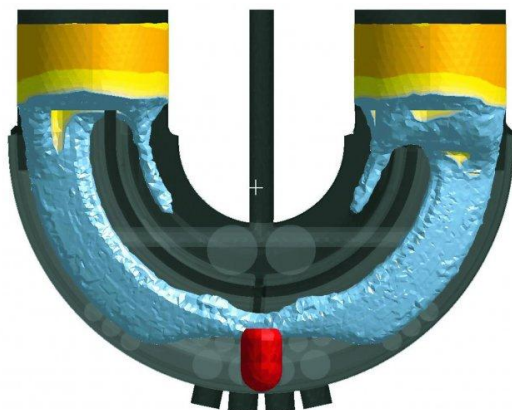
Příklad z oblasti gravitačního lité oceli a možnosti simulační analýzy, se kterými se technolog potýká při návrhu nové technologie. Vznik staženin a ředin, případně jejich minimalizace nebo přemístění do míst odlitku tak, aby byly akceptovatelné. Tento typ vad se často vyskytuje u slitin kovu s technickými vlastnostmi a příčina vzniku je tzv. stahováním, neboli změna objemu kovu, ke kterému dochází v průběhu ochlazování a při tuhnutí. Vhodné navržení typu, velikostí a rozmístění nálitků zabrání vzniku staženin. Tepelné uzly v odlitcích je možno zjistit při simulování tuhnutí odlitku bez technologie (bez vtokové soustavy a bez nálitků), pak je možno lépe zajistit místa s tepelnými poměry vhodnými chladítky a izolacemi. Celkový výzkum simulací plnění a tuhnutí kovu je zaměřen na určité oblasti [10].

- Je charakter plnění kovu s ohledem na odlévání typ slitiny vyhovující?
- Je dimenzování jednotlivých částí vtokové soustavy a geometrie optimální?
- Dojde k zaplnění celé dutiny formy a nehrozí vznik studených spojů?
- Jsou dobře zabezpečena kritická místa s ohledem na erozi formy, případně jader?
- Je vhodně navržený vtokový systém soustavy na celkové rozložení teplotního pole [10]?

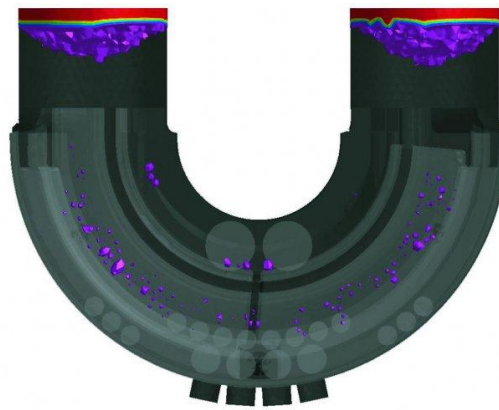
3.2 Výpočty plnění a tuhnutí odlitku

Z provedených analýz lze sledovat průběhy plnění, tuhnutí a chladnutí odlitku, dále analyzovat, zda dochází k usměrněnému tuhnutí, a také jestli jsou nálitky dostatečně dimenzované pro dosazování kovu. Je možno stanovit, zda dosazovací vzdálenost nálitků je správná. Ze simulace vidíme, jak se bude chovat tavenina ve formě a jestli některé části technologie jsou správně navrženy. Simulace nám může zodpovědět další otázky [10].

- Je navolené dimenzování nálitků správné?
- Jaké je využití kovu v nálitcích?
- Dojde k zaplnění celé dutiny formy a nehrozí vznik studených spojů?
- Je nutné ovlivnit teplotní pole jinými prostředky (chladítka, zásypy)?
- Je počet nálitků dostatečný [10]?



Obr. 3.3 Zobrazení charakteru tuhnutí a vzniku pory v odlitku: zobrazení postupu krystalizační fronty (10)



Obr. 3.4 Zobrazení charakteru tuhnutí a vzniku pory v odlitku: predikce vzniku staženin v odlitku (10)

3.3 Chladnutí a vznik nežádoucích jevů

Problémové části u složitých odlitků jsou přechody různých tloušťek stěn, vzniku tepelných uzlů a je náchylnost ke vzniku trhlin a prasklin vlivem zbytkového pnutí v odlitku. Materiálové modely odlitku nebo forem zahrnují vlastnosti elastické, elasticko-plastické a nebo elasticko-viskózní. Výpočty jsou automaticky přepočítávány a zahrnují vlastnosti přestupu tepla během tuhnutí, chladnutí, bržděného smrštění, vznik napětí a případné deformace odlitku při vyjmutí z formy. Tyto výpočty specifikují příčiny vzniku nežádoucích jevů a nabádají k úvahám o zásahu do technologického postupu či geometrie modelu součásti [10].

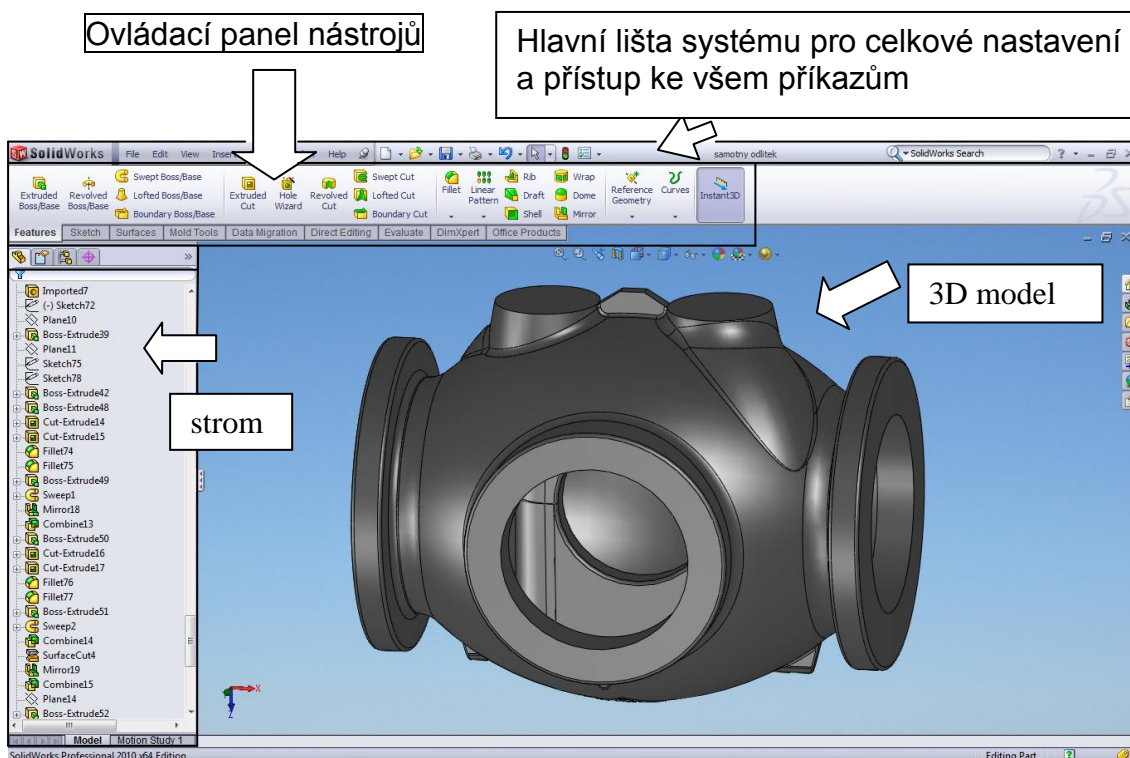
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V první fázi nastal, sběr informací určitého odlitku viz. příloha č. 4. Byla provedena simulace samotného odlitku bez technologie (vtokové soustavy, nálitků, odstruskovačů, atd.), aby se ukázaly tepelné uzly, které je nutno dobře zabezpečit, aby nedocházelo k nerovnoměrnému tuhnutí taveniny. Mohlo by dojít k nežádoucím vlivům vnitřního pnutí, trhlinám a prasklinám. Na základě zjištění teplotního pole a tepelných uzlů v odlitku byla navržena technologie, kterou bylo potřeba nasimulovat a následně vyhodnotit, jestli je možné ji použít nebo jestli je potřeba upravit či změnit konstrukční části odlitku nebo technologickou část celé navržené technologie.

4.1 Systém Solidworks 2010

Solidworks je parametrický CAD systém střední třídy, pracuje na bázi jádra Parasolid. Obsahuje výkonný objemový modelář, ale i nástroje pro práci s plechovými díly, s velkými sestavami, práce s 3D daty importy, exporty a mnoho dalších formátů. Také práce s výkresy a dokumenty a jejich výbornou provázaností, správou dat [16].

Pracovní prostředí v systému SolidWorks je velmi přehledné jak pro zkušené pracovníky ovládající CAD systémy, tak i pro začátečníky. Je možno navolit si prostředí podle nabízejících variant a možností panelu. Tlačítka nebo i funkce, která nejsou potřebná k vytvoření, nebo úpravě modelu není nutno zobrazovat na ovládacím panelu a tím docílíme větší pracovní plochy. Je to ovšem vždy individuální a každý konstruktér či projektant si navolí vlastní nastavení, které bude vyhovovat jeho práci.



Obr. 4.1 Ukázka pracovní plochy systému SolidWorks 2010

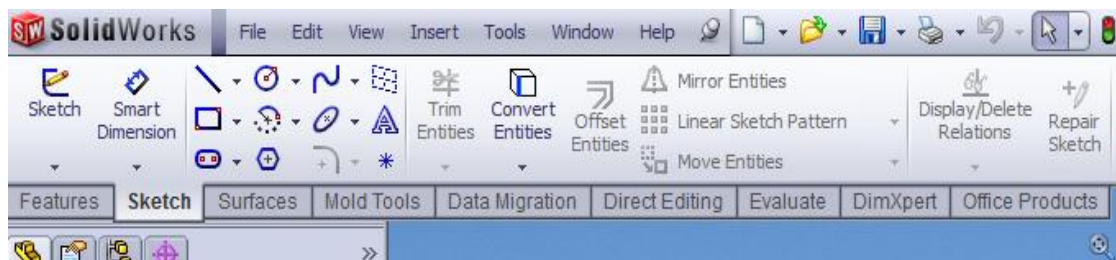
4.1.1 Popis ovládacího panelu nástrojů CommandManager

Ovládací panel **Features** (objemová tělesa) je možno modelovat tvary objemových těles různými příkazy, jako např.: Revolved Boss/Base (rotovat přidáním), Extruded Cut (odebrat vysunutím), Fillet (zaoblení).



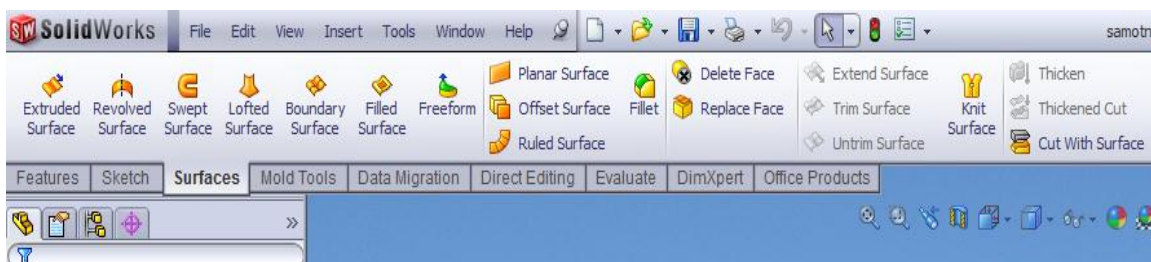
Obr. 4.2 Ovládací panel nástrojů (CommandManager) Features - objemová tělesa

Ovládací panel **Sketch** (tvorba skic) obsahuje spousty příkazů pro kreslení různých tvarů skic ať se jedná o Line (přímky), Circle (kružnice) nebo Spline (splajny).



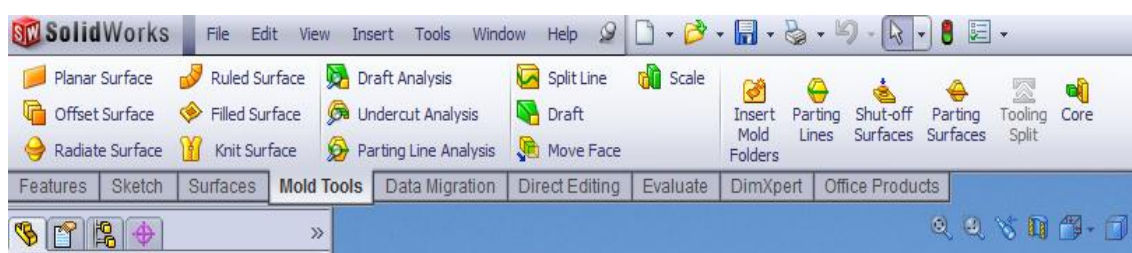
Obr. 4.3 Ovládací panel nástrojů (CommandManager) Sketch – Tvorba skic

Ovládací panel **Surface** (Povrchy) tento panel umožňuje práci s povrchy. Při tvorbě modelů jsou povrchy velkým pomocníkem při Offset Surface (odsazování ploch), Trim Surface (ořezávání tvarů plochou), atd.



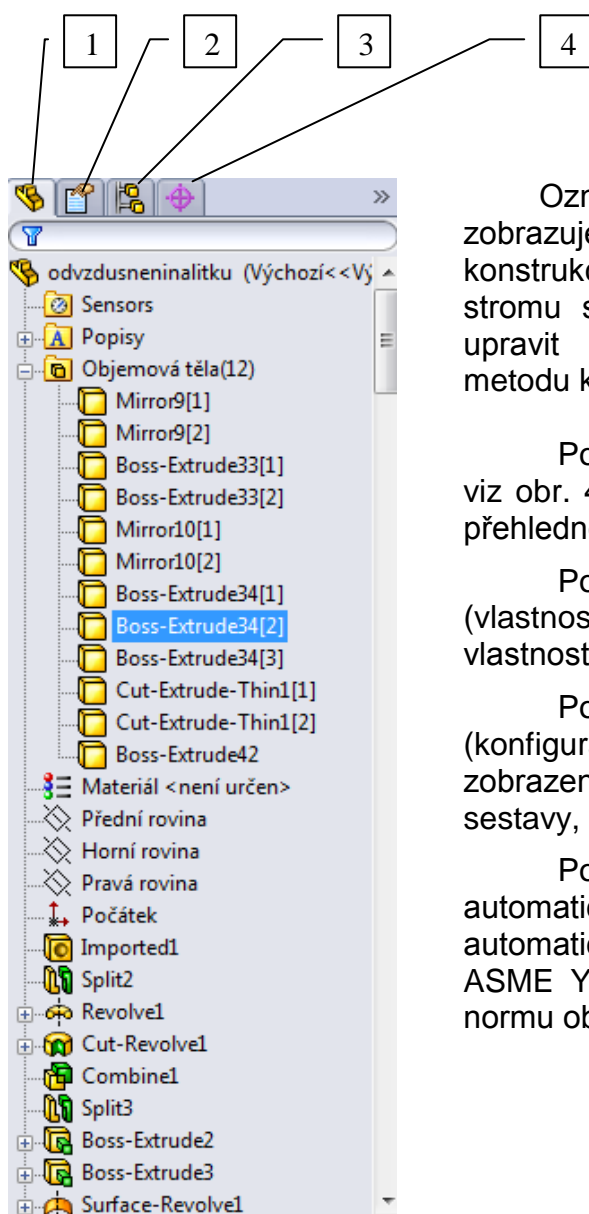
Obr. 4.4 Ovládací panel nástrojů (CommandManager) Surface – Povrchy

Ovládací panel **Mold Tools** (Formy) tento panel se používá pro práci s formami. Například ke zjištění úkosů, nebo rozdělení formy či zvětšení o měřítko (scale).



Obr. 4.5 Ovládací panel nástrojů (CommandManager) Mold Tools – Formy

Pro úpravu 3D modelu odlitku a návrhu celé technologie byla použita také některá příkazová políčka viz. obr. 4.2, obr. 4.3, obr. 4.4, obr. 4.5. Tvorba modelu je tak rozsáhlá, že nelze zobrazit úplný podrobný postup vzhledem k možnostem diplomové práce.



Obr. 4.6 Strom tvorby nebo úpravy modelu

Označené políčko **strom** viz. obr. 4.1, zobrazuje a seřazuje celkový postup konstrukce a úpravy 3D modelu. V tomto stromu se lze kdykoliv a kamkoliv vrátit a upravit skicu, zaoblení nebo zvolit jinou metodu konstrukce.

Pozice 1 **FeatureManager design tree** viz obr. 4.6 zobrazuje strom, který slouží pro přehlednou práci při modelování.

Pozice 2 **Properties Manager** (vlastnosti) viz obr. 4.6, zobrazuje entity, jejíž vlastnosti chceme prohlížet nebo upravovat.

Pozice 3 **Configuration Manager** (konfigurace) viz. obr. 4.6, jsou to stavy zobrazení modelu a jejího propojení do sestavy, atd.

Pozice 4 **DimXpertManager** (zobrazení automatického kótování) viz obr. 4.6 automatické rozeznání a kótování dle normy ASME Y14.41-2003 a ISO 16792:2006, tuto normu obsahuje systém SolidWorks.

4.2 Řešení výkresové dokumentace

Na výkresové dokumentaci pro výrobu odlitku bývají uvedeny požadavky, jako např.: jakost povrchu, tolerance rozměrů, požadované chemické složení, materiál, tloušťka stěny, maximální přesazení odlitku, tlakové zkoušky, umístění značení, logo, velikost písma, atd. Všechny tyto požadavky musí technolog brát v úvahu při návrhu slévárenské technologie odlitku.

Technolog má jistou představu o celé technologii, kterou použije. Je potřeba tuto představu uvést do praxe. Nakreslí se postupový výkres se všemi náležitostmi viz. příloha č.5. Provedou se výpočty a návrhy nálitků, které použije (klasické otevřené nebo exotermické) v našem případě jsou použity exotermické nálitky, navrhne se vhodná vtoková soustava (buď pevná nebo šamotová skládaná), zvolí se výška a tvar odvzdušnění, velikost vŕle ve známkách na modelu a jaderníku (má velký vliv na skládání forem a zakládání jader), určí úkosity, navrhnu se přídavky na obrábění přírubových částí odlitku a vnitřního průměru (jde o tzv. **S** ventil odlitku a bude se obrábět vnitřní průměr kroužku), ale i přídavky na upalování kyslíko-acetylenovým plamenem pro paliče (značky pro upalování), tvarová chladítka a kokile se volí dle tvaru odlitku (a také dle podnikových norem), velikost formovacích rámců, způsoby formování, modelové desky, zavádění (velikosti zavaděček), materiál modelu a jaderníku (dřevěný model a jaderník), určí počet odlitků v rámu, smrštění pro ocel 2%, spočítá si hrubou a surovou hmotnost a vypočítá z toho využití kovu. Potom je potřeba tuto část výrobního řetězce ověřit v CAE simulačním systému MAGMASoft, jestli je navržená technologie použitelná pro daný typ odlitku. Pokud výsledky, dopadnou dobře bude taková technologie schválena a budou zaslány podklady do modelárny, kde se modelové zařízení začne vyrábět.

Zde nastává další komunikace mezi technologem, programátorem a výrobními dělníky v modelárně.

4.3 Příprava modelu odlitku

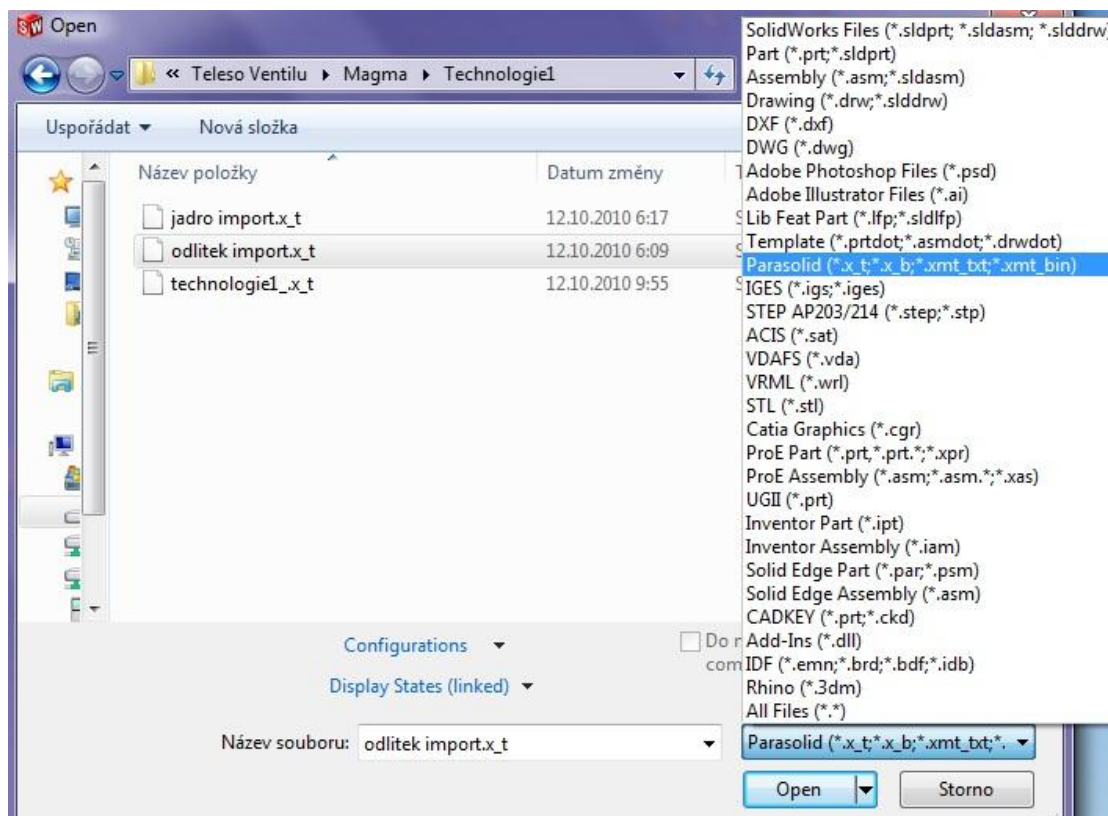
Některé společnosti zabývající se zpracováním odlitků už dopředu vědí, že budou konstruovat tvar 3D modelu pro výrobu odlitku a to znamená, že do návrhu si zakomponují některé slévárenské požadavky pro formování, např.: slévárenské úkosity, excentry, tloušťky stěny a přídávky. Někdy se to jeví jako velká pomoc pro slévárenské technology, ale ve většině případů při návrhu technologie odlitků, dochází k neshodám v konstrukci a je nutno tyto konstrukční úpravy dále konzultovat a dosáhnout požadovaného tvaru odlitku.

Příprava modelu odlitku je hodně důležitá. Je potřeba připravit 3D data tak, aby odpovídala skutečnosti tvaru odlitku, abychom dosáhly co nejpřesnějších výsledků při zkušebních simulacích a mohly se zaměřit na kritická místa odlitku. Tyto vytvořená data nám pak poslouží pro další část technologického řetězce, výrobu modelu a jaderníku.

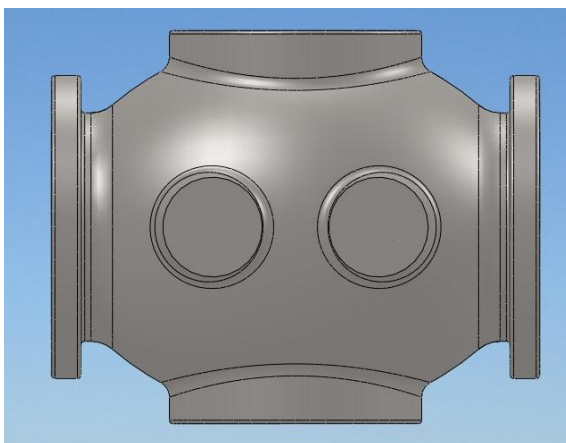
4.3.1 Postup přípravy modelu v Solidworks

V první řadě je import modelu do systému SolidWorks. Jedná se o soubor modelu ve formátu (parasolid, iges nebo step). Nejlepší soubor k otevření pro systém je formát parasolid.

Postup: **Open > formát souboru parasolid > zvolit odlitek import > Open**. Model se otevře a systém nabídne kontrolu celého tělesa je potřeba, kontrolu přijmout a pak bezchybný nebo opravený soubor uložit jako formát pro SolidWorks s příponou (sldprt.).



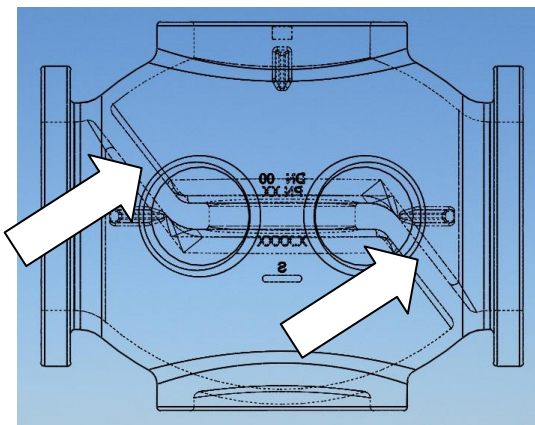
Obr. 4.7 Import modelu – podporované formáty k otevření modelu



Obr. 4.8 Importovaný modelu

Šipkou označená místa budou z prvního pohledu kritická. Jedná se o napojení žebra, těla a nálitkových podložek. V těchto místech je nutno domodelovat úkosity a excentry pro napojení nálitkových podložek.

Takto importovaný model viz. obr. 4.8 nemá žádné úkosity, přídavky, excentry, požadovanou tloušťku stěny a je nutno všechny tyto výrobní požadavky domodelovat do modelu odlitku.



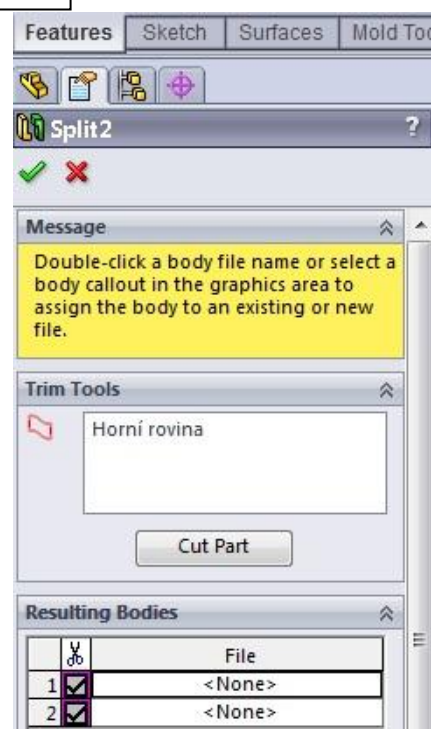
Obr. 4.9 Importovaný model - průhledné zobrazení

Pak následuje úprava tvaru modelu. Nejprve se provede rozdělení modelu podle horní roviny příkazem **split** (rozdělení) viz. obr. 4.10 a obr. 4.11. (tento příkaz nalezneme na hlavní liště pod tlačítky **insert** > **features** > **split**). Zvolíme si horní rovinu viz. obr. 4.10, pak označíme obě půlky těles a dáme **ok** viz. obr. 4.11.



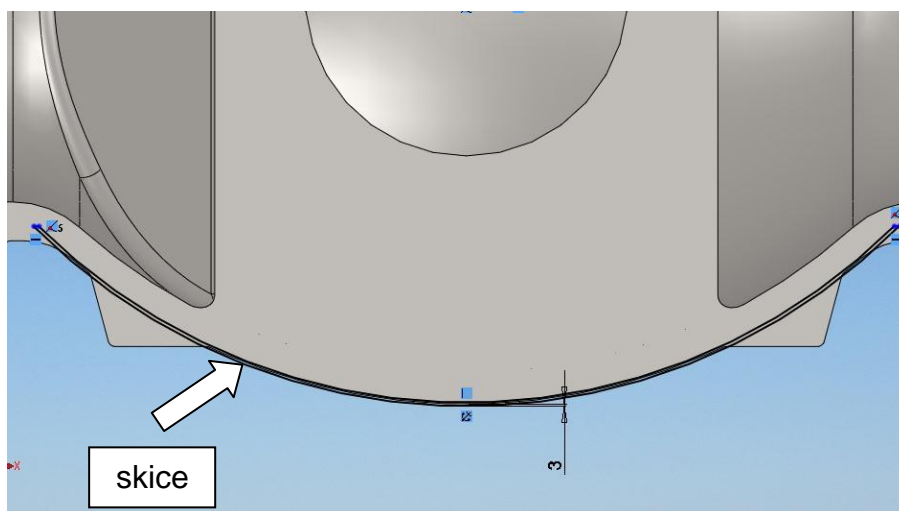
Obr. 4.10 Rozdělení modelu dle horní roviny příkazem split (rozdělení)

horní rovina

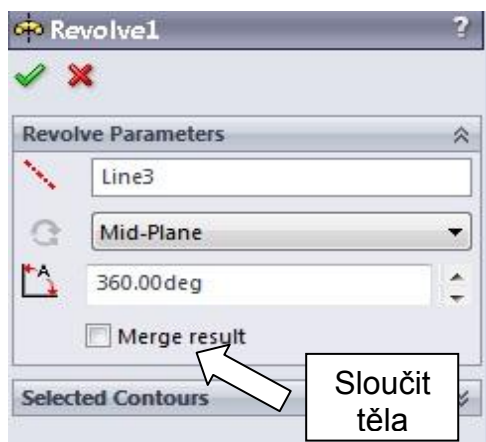


Obr. 4.11 Příkaz split (rozdělení)

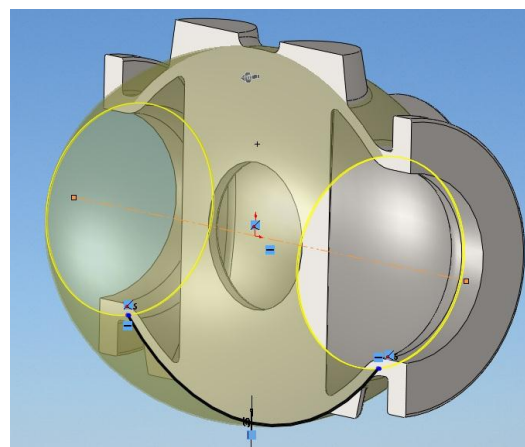
Je potřeba přidat na tloušťku stěny 3 mm. Skryje se jedna půlka modelu, aby byla vidět hrana vnějšího tvaru těla pak se zvolí horní rovina, na kterou se nakreslí **Sketch** (skice) s přídavkem stěny 3 mm viz. obr. 4.12 a provede se příkaz **Revolved boss/base** (přidání rotací) rotuje se kolem zvolené osy a vytvoří se objemové těleso, které se musí ořezat od přebytečných částí, abychom docílili přídavku na vnějším tvaru modelu .



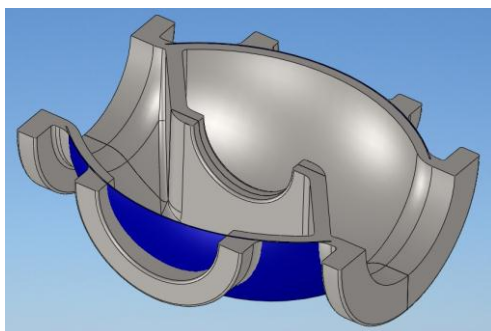
Obr. 4.12 Skice odsazená 3 mm od horního povrchu modelu – přídavek na stěnu odlitku



Obr. 4.13 Parametry příkazu Revolved (přidání rotací)



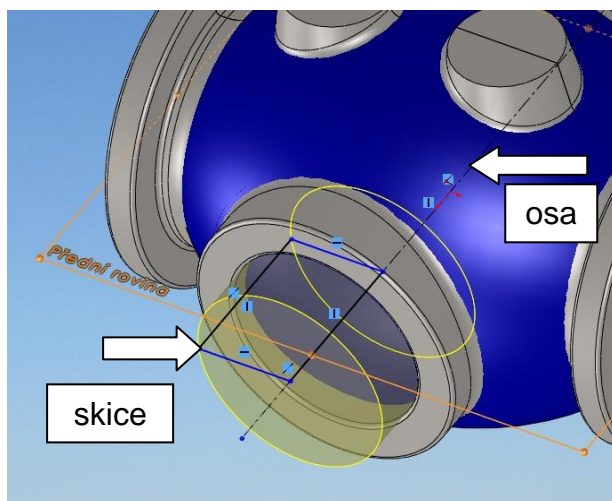
Obr. 4.14 Zobrazený tvar rotace objemového tělesa příkazem Revolved



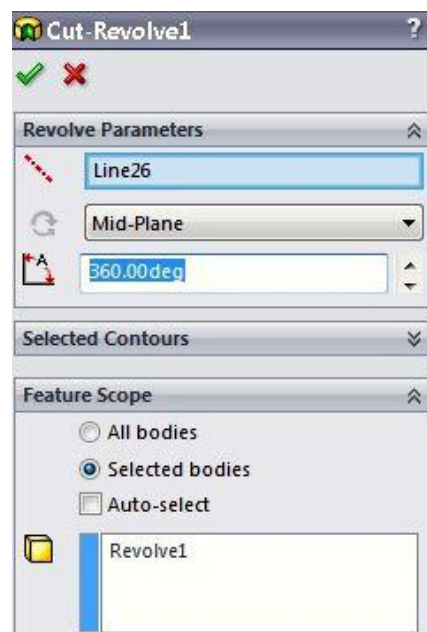
Obr. 4.15 V řezu tvar těla provedený rotací zobrazeno modrou barvou

V příkazu **Revolve Parameters** (přidání rotací) viz. obr. 4.13, necháme volné políčko **Merge result** (sloučit těla). Je důležité, aby se objemová těla nesloučila. Prvně se samostatná těla upraví na požadovaný tvar a pak se teprve sloučí se základním tělesem. Tímto způsobem je nutno postupovat i v dalším modelování.

Ořežeme, neboli odebereme rotací (**Revolved cutt**) část rotovaného těla. Zvolíme si přední rovinu a nakreslíme skici viz. obr. 4.16. Skice musí přesahovat tvar přidaného těla a musí kopírovat vnitřní průměr tělesa. Odstraníme přebytečný materiál, který byl vytvořen v předchozí operaci. Zvolíme příkaz **Revolved cutt** (odebrání rotací) viz. obr. 4.17, vybereme příslušnou skici a osu (line 26), kolem které se bude tělo rotovat, potom zadáme stupně (360°) a vybereme tělo, které se má odebrat (**Selected bodies**) a potvrdíme **ok**.

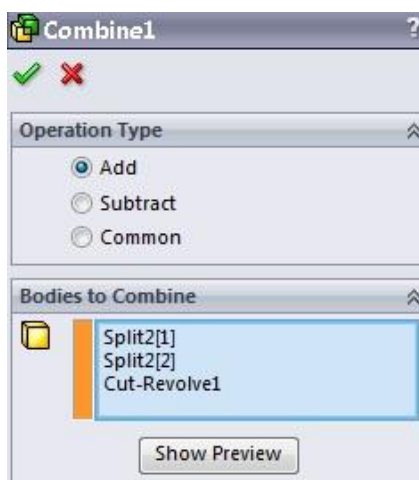


Obr. 4.16 Navržení skici na přední rovině

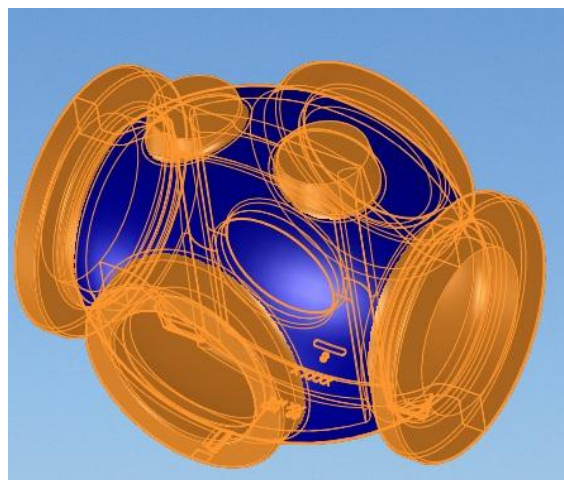


Obr. 4.17 Parametry příkazu Revolved cutt (odebrání rotací)

Za další následuje sloučení těl (**Combine Add**). (Příkaz nalezneme na hlavní liště pod tlačítky **Insert > Features > Combine**). Označíme těla ke sloučení (obě půlky modelu přidané rotací objemová tělesa) viz. obr. 4.18 a potvrdíme **ok**. Tělesa se sloučí a vytvoří jedno objemové těleso viz. obr. 4.19.

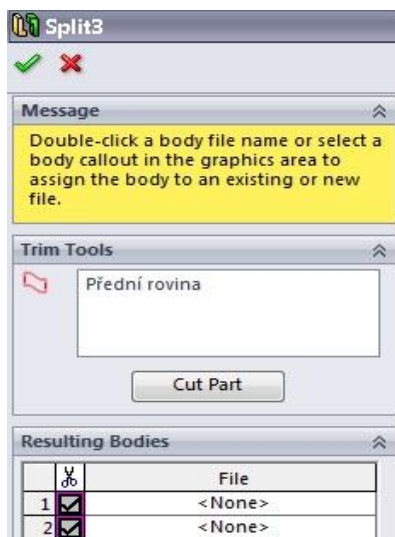


Obr. 4.18 Příkaz combine add (sloučit těla)

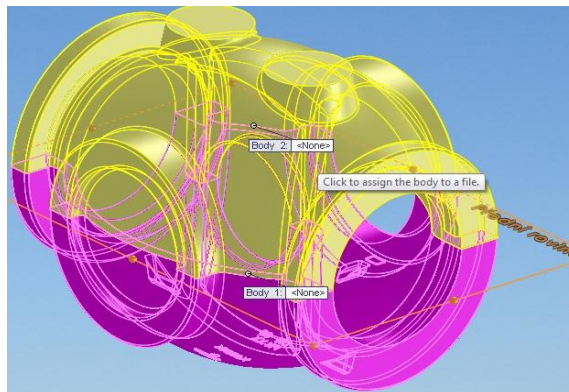


Obr. 4.19 Vybraná těla ke sloučení

Aby bylo možné upravit rozdělovací stěnu uvnitř odlitku, bude potřeba model rozdělit v dělicí rovině na dvě půlky a vybranými příkazy domodelovat úkosity na spodní polovině modelu, která nemá úkosity a upravit vnitřní průměr rozdělovací stěny. Rozdělení se provede příkazem **Split** (rozdělit) podle přední roviny v políčku **Trim Tools**, dále se vyberou obě půlky modelu (vršek, spodek) a potvrdí se tlačítkem **ok** viz. obr. 4.20. Rozdělení modelu viz. obr. 4.21.

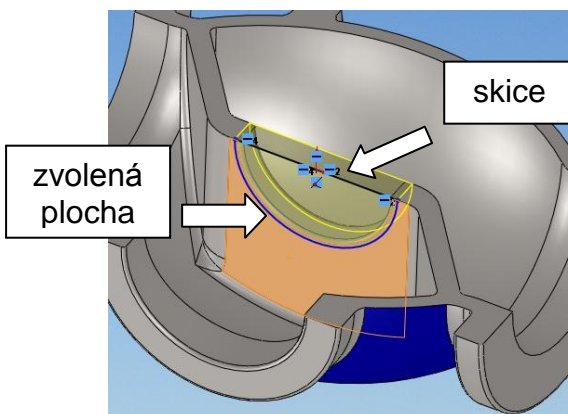


Obr. 4.20 Příkaz split (rozdělit)

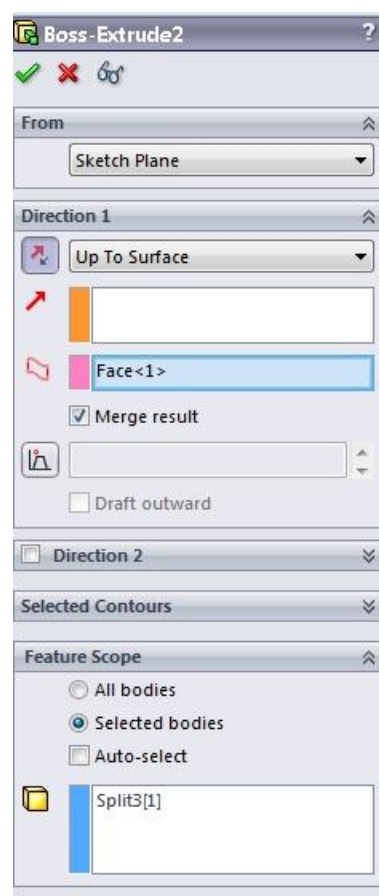


Obr. 4.21 Rozdělená těla podle přední roviny

Po rozdělení modelu se zaplní průměr v rozdělovací stěně. Zvolí se plocha stěny, na kterou se nakreslí skice tak, aby přesahovala vnitřní průměr, ale v dělicí rovině musí být nakreslena přesně na rovinu dělení modelu. Příkaz **Sketch** (skice), vybere se z nabídky **Circle** (kružnice) a rozdělí se **Line** (přímka) a ořízne se **Trim Entities** (oříznout entity). Takto nakreslená skice se vysune po plochu na druhé straně rozdělovacího žebra příkazem **Boss Extrude** (přidání vysunutím) viz. obr. 4.23 a zatrhne se políčko **Merge result** (sloučit těla). Dojde k zaplnění průměru viz. obr. 4.22.

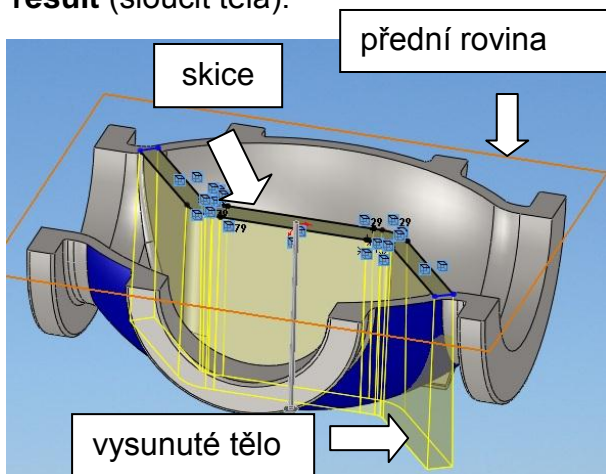


Obr. 4.22 Entity nakreslené skici na ploše stěny a vysunutí po plochu stěny na druhé straně stěny

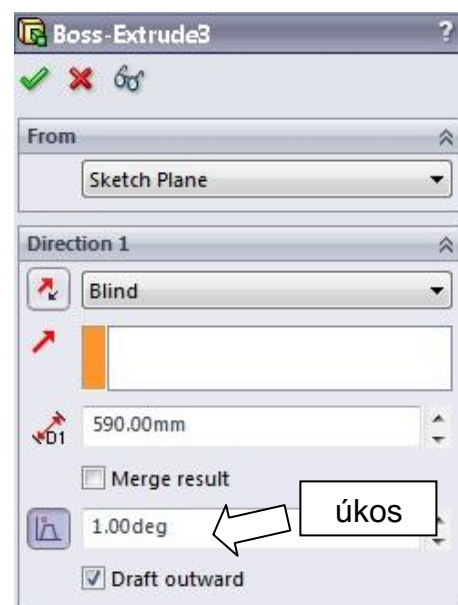


Obr. 4.23 Příkaz Boss Extrude (přidání vysunutím)

Potom následuje tvorba skici tvaru rozdělovací stěny (žebra). Nakreslí se ve tvaru tloušťky žebra skice dle původního tvaru modelu na přední rovině **Sketch** (skice) viz. obr. 4.24 a příkazem **Boss Extrude** (přidání vysunutím) se vysune na slepo (**Blind**) skrz model a úkos 1° směruje směrem ven (**Draft outward**) viz. obr. 4.24 a obr. 4.25 a nesloučí se políčko zůstane volné **Merge result** (sloučit těla).



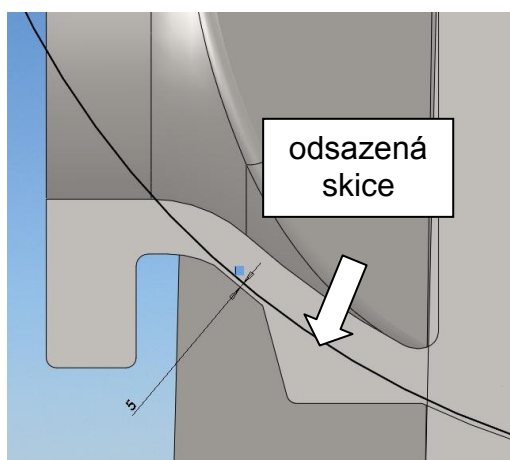
Obr. 4.24 Nakreslená skice na přední rovině a vysunutí na slepo (blind)



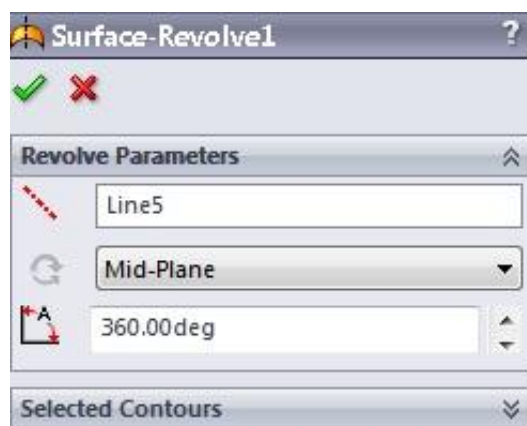
Obr. 4.25 Příkaz vysunutí žebra

Žebro se nespojí s modelem a musí se oříznout tak, aby se pak mohlo sloučit. Tento postup se volil proto, že na původním nejdříve vytvořit úkos. Plochy modelu jsou tak svázány vazbami a radiusy, že automatické vytvoření úkosů nedokáže vytvořit možnou variantu napojení ploch.

Pro oříznutí žebra se nakreslí skice na horní rovině příkazy **Sketch** (skice) a odsadí se o 5 mm z vnější plochy těla modelu, směrem dovnitř, aby se žebro pěkně ořízlo a nepřechývalo vnější tvar povrchu modelu viz. obr. 4.26. Skici rotujeme kolem příslušné osy a vytvoříme tím povrch **Surface Revolve** (rotace povrchu) viz. obr. 4.27.

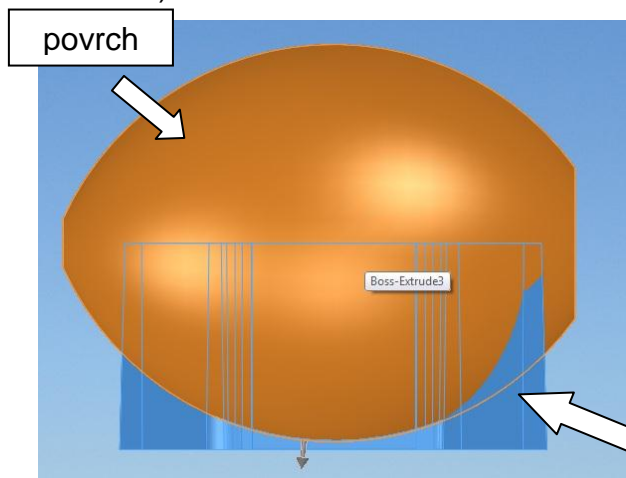


Obr. 4.26 Odsazení skici o 5 mm od povrchu těla směrem dovnitř



Obr. 4.27 Příkaz Surface Revolve (rotace povrchu)

Dále následuje příkaz **Surface cut** (oříznutí povrchem) tělo žebra viz. obr. 4.28. (Příkaz nalezneme na hlavní liště pod tlačítky **Insert > Cut > With Surface**) viz. obr. 4.29.

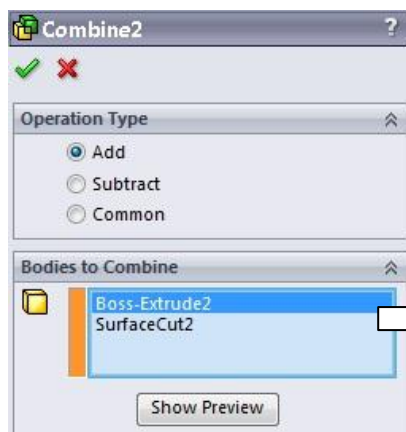


Obr. 4.28 Oříznutí žebra povrchem

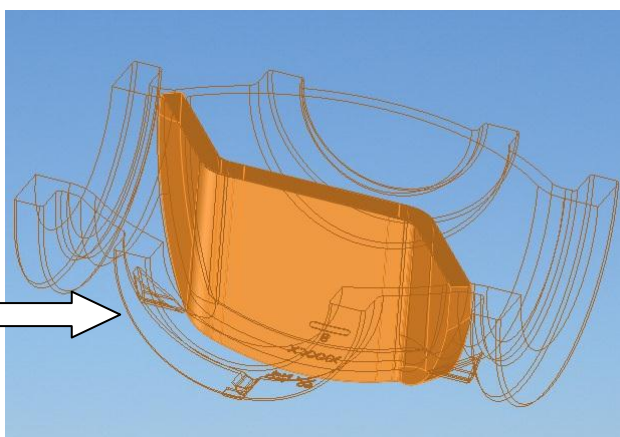


Obr. 4.29 Příkaz oříznutí žebra povrchem

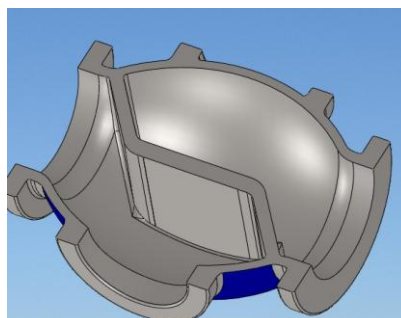
Oříznuté žebro se sloučí s modelem (spodek modelu) příkazem **Combine add** (sloučit těla) viz. obr. 4.30. (Příkaz nalezneme na hlavní liště pod tlačítky **Insert > Features > Combine**). Na obr. 4.31 jsou vybraná těla ke sloučení (žebro, spodek modelu). Na obrázku 4.32 je sloučený spodek modelu a žebro.



Obr. 4.30 Příkaz Combine add (sloučit těla)

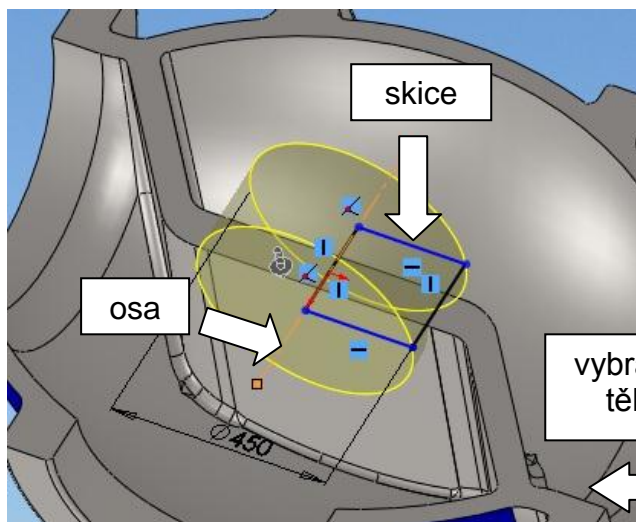


Obr. 4.31 Vybraná těla ke sloučení (žebro, spodek modelu)

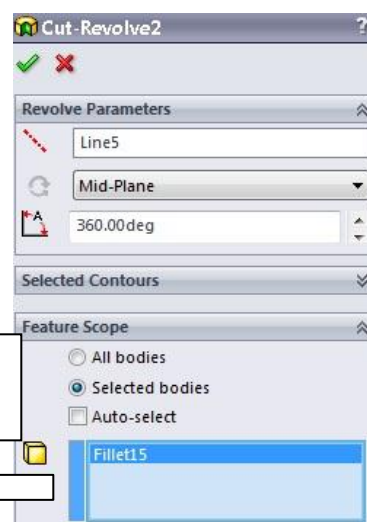


Obr. 4.32 Sloučený model s žebrem

Za další následuje vytvoření otvoru na žebro ve tvaru průměru. Načtneme příslušnou skici na přední rovině viz. obr. 4.33 a příkazem **Cut Revolve** (odebrání rotací) odebereme vybranou skicí průměr v žebro viz. obr. 4.34. Postup odebrání rotací, vybere se skice a zvolí se osa, kolem které se bude rotovat a vybere se tělo, které se má odebrat.

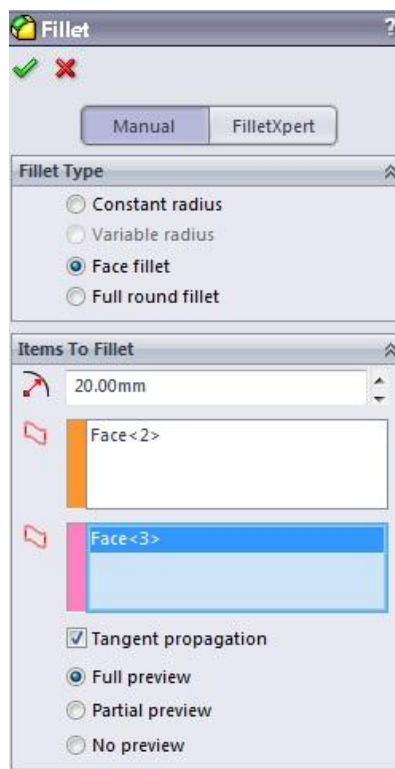


Obr. 4.33 Načtnutá skice a znázorněný tvar pro odebrání

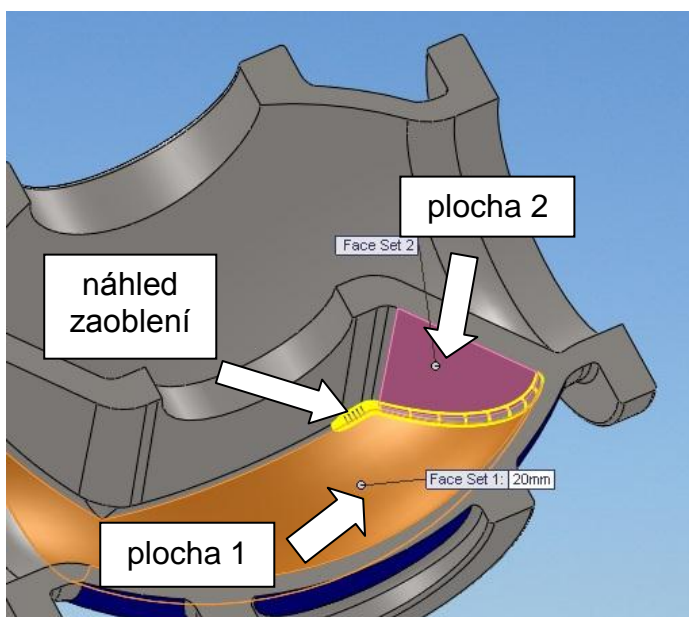


Obr. 4.34 Příkaz Cut Revolve (odebrání rotací)

Po odebrání průměru je nutno domodelovat radiusy kolem žebra. Zvolíme příkaz **Fillet** (zaoblení) a zvolíme si v nabídce jak zaoblení vytvoříme (Constant radius, Variable radius, Face fillet, Full round fillet) a zadáme rozměr radiusu viz. obr. 4.35. Tímto způsobem se vytvoří požadované tvary zaoblení v dalším průběhu přípravy modelu.

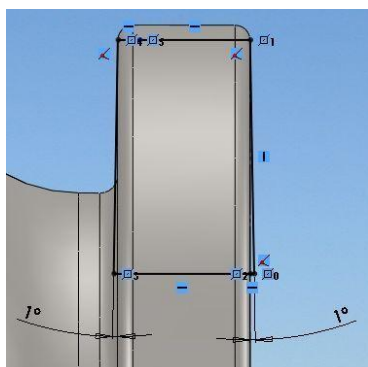


Obr. 4.35 Příkaz Fillet (zaoblení)

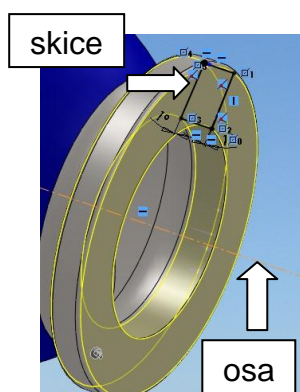


Obr. 4.36 Výběr ploch pro zaoblení a zobrazení náhledu zaoblení

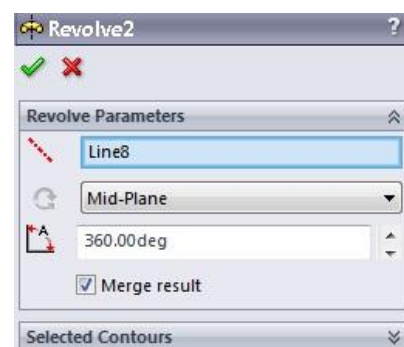
Vnitřní úprava modelu je hotová. Je potřeba upravit vnější tvar modelu odlitku a to úpravou přírub a domodelování excentrů. Na tvar příruby se nakreslí odpovídající skice s kladnými úkosy, aby bylo možné vytáhnout model z formy. Zvolíme přední rovinu, příkaz **Sketch** (skice) a dle nabídek tlačítek pro tvorbu skic nakreslíme tvar skici viz. obr. 4.37, která se bude rotovat přidáním. Zvolíme příkaz **Revolve Boss** (přidání rotací) viz. obr. 4.39, označíme skici a osu viz. obr. 4.38, kolem které se bude skice rotovat a tím vytvoříme soustružený úkos tzn. (na přírubě bude rozměr v každém místě stejný v jakém koliv řezu kolmém k ose příruby). Stejný postup zvolíme u dalších podobných operací pro tvorbu soustruženého úkosu.



Obr. 4.37 Nakreslená skice pro tvorbu úkosu na přírubě



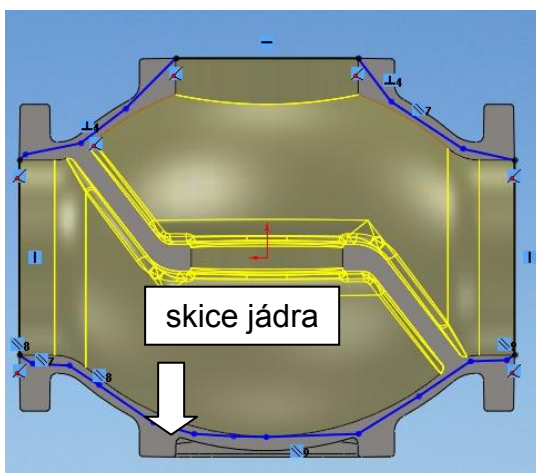
Obr. 4.38 Revolve Boss (přidání rotací)



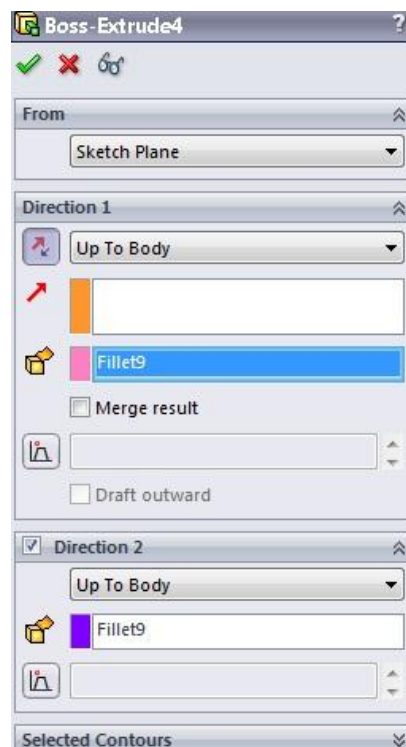
Obr. 4.39 Příklad Revolve Boss (přidání rotací)

Za další následuje tvorba jádra, které vyplní dutinu tělesa a bude potřebné k odečtení tvaru přechýlajících částí konstruovaného excentru uvnitř modelu.

Pro vytvoření jádra se nakreslí skice na přední rovině tak, aby nepřesahovala vnější tvar modelu a nesmí být ani menší než vnitřní tvar modelu viz. obr. 4.40. Zvolíme příkaz **Extrude Boss** (přidání vysunutí) vybereme skici k vysunutí a vybereme možnost vysunutí k tělu1 a vysunutí k tělu2 opačným směrem. Vytvoří se náhled tvaru jádra a potvrdíme tlačítko **ok** viz. obr. 4.41.



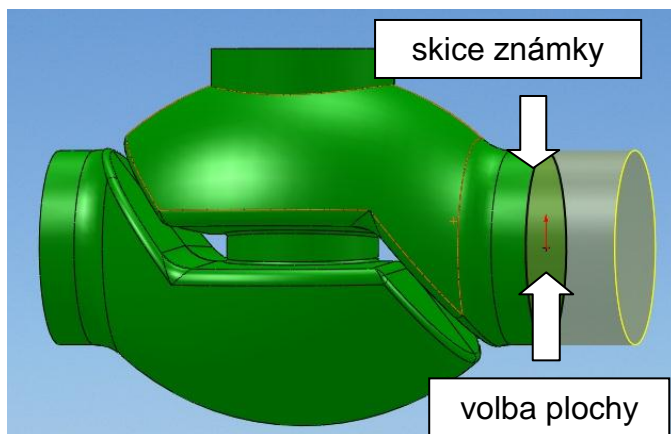
Obr. 4.40 Nakreslená skice pro tvorbu jádra



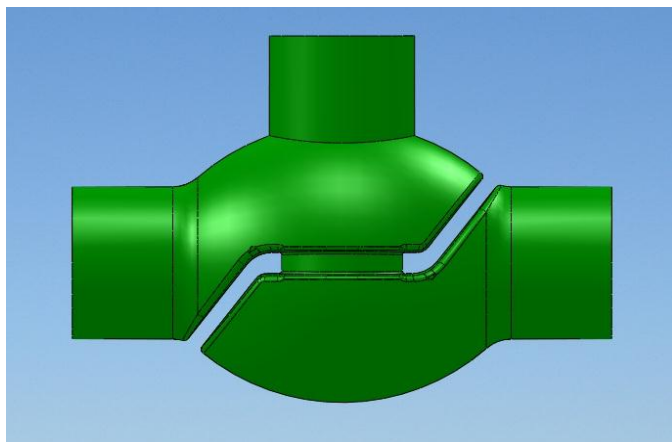
Obr. 4.41 Příklad Extrude boss (přidání vysunutí)

Dále prodloužíme známky jádra, aby bylo možné tělem jádra odečítat i další těla jako jsou nálitky při dalším postupu modelování a tím si usnadníme práci, která bude následovat při konstrukci celé technologie.

Zvolíme skici na ploše průměru známky a přeneseme tvar průměru příkazem **Convert entities** (přenést entity). Takto přenesenou skici vysuneme příkazem **Extrude Boss** (přidání vysunutí) viz. obr. 4.42 do určité vzdálenosti blind (na slepo) dle postupového výkresu odlitku a potvrdíme **ok**. Tyto operace uděláme i u další známek.



Obr. 4.42 Převedená skice známky



Obr. 4.44 Celé jádro

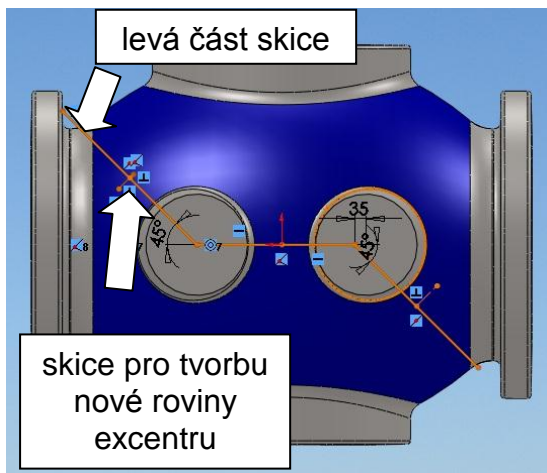


Obr. 4.43 Příkaz Extrude boss (přidání vysunutí)

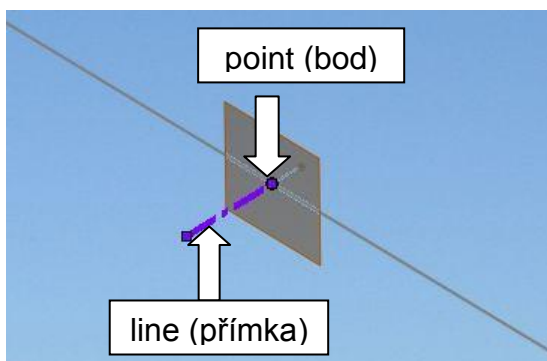
Tvar celého jádra uložíme jako soubor „jádro import“ ve formátu parasolid. Tím si připravíme model jádra pro další práci, která bude následovat. Jednak pro tvorbu excentru a pak i pro celou konstrukci setavy formy.

Pro tvorbu excentru je potřeba nakreslit skici, podle které se bude polohovat tvar excentru. Levá a pravá část přímky skice je pod úhlem 45° viz. obr. 4.45 a touto přímkou bude procházet nová rovina viz. obr. 4.46, (příkaz nalezneme pod tlačítky **Features > Reference Geometry > Plane**) viz. obr. 4.47, na níž se nakreslí skice tvaru excentru viz. obr. 4.48, který se následně otouje kolem příslušné osy příkazem **Revolve** (rotovat), ozrcadlí kolem horní roviny a přední roviny příkazem **Mirror** (zrcadlit), příkazem **Surface Cutt** (ořízne) novou rovinou vytvořenou na ploše podnálitkových podložkách pro nálitky na těle, a sloučí s tělem modelu příkazem **Combine add** (kombinovat).

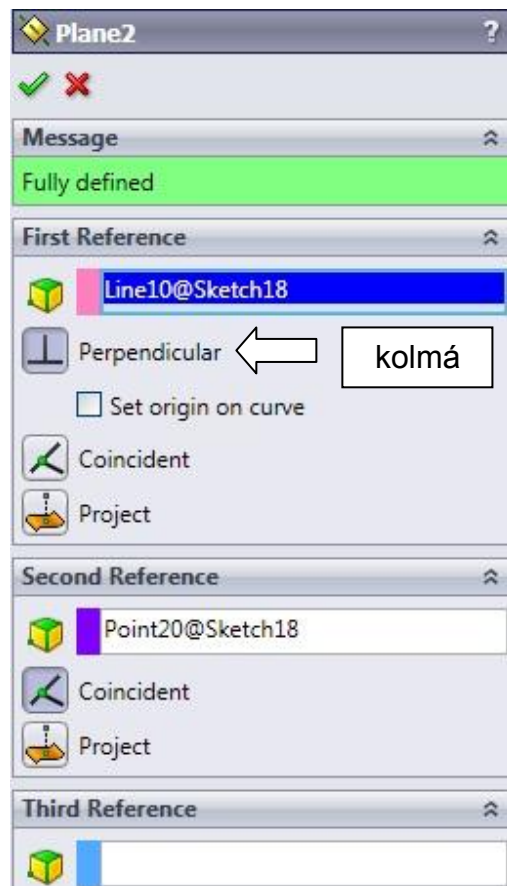
Modeluje se jen jeden excentr a druhý se zrcadlí, protože jsou stejné. Tyto excentry jsou důležitým prvkem a využívají pravidla vepsaných koulí při návrhu náliček ve slévárenství. Tyto excentry jsou nedílnou součástí takto konstrukčně řešených odlitků.



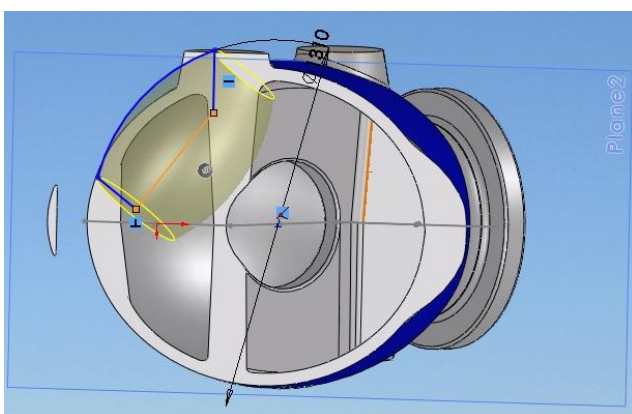
Obr. 4.45 Skice pro tvorbu excentru



Obr. 4.46 Nová rovina excentru



Obr. 4.47 Příkaz roviny excentru



Obr. 4.48 Skice excentru a její rotace kolem osy (přímky)

Tvary dokončených excentrů nejprve sloučíme s ostatními částmi těla v jedno příkazem **Combine add** (sloučit těla) a pak musíme ty části excentrů, které zasahují do jádra odečíst a k tomuto kroku použijeme již zmiňované jádro import. Nejprve jádro import načteme (příkaz nalezneme pod tlačítky **Insert > Features > Imported**) a příkazem **Combine Subtract** (odečíst těla) odečteme. Označíme tělo odlitku a odečteme tělo jádro import. Potom následuje tvorba zaoblení kolem vytvořených excentrů a podnátítkových podložek. Mezi tyto náličky se domodeluje jazyk, který lépe usnadňuje tečení tekutého kovu mezi náličky na těle a bude na něj umístěno odvzdušnění.

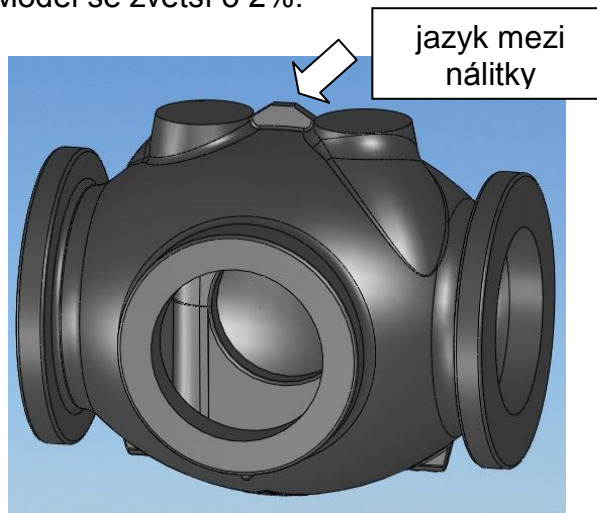
Poslední částí přípravy modelu odlitku je zvětšení modelu o smrštění. Ke smrštění dochází při chladnutí kovu ve formě a zmenšuje se tím objem odlitku. Každý materiál má specifikované smrštění, u běžně používaných materiálů to je od 1% do 2,5%.

V našem případě se jedná o běžnou litou uhlíkovou ocel na odlitky s označením GS-C25 (DIN 1.0619) [12]. A pro tuto ocel je použito smrštění 2%.

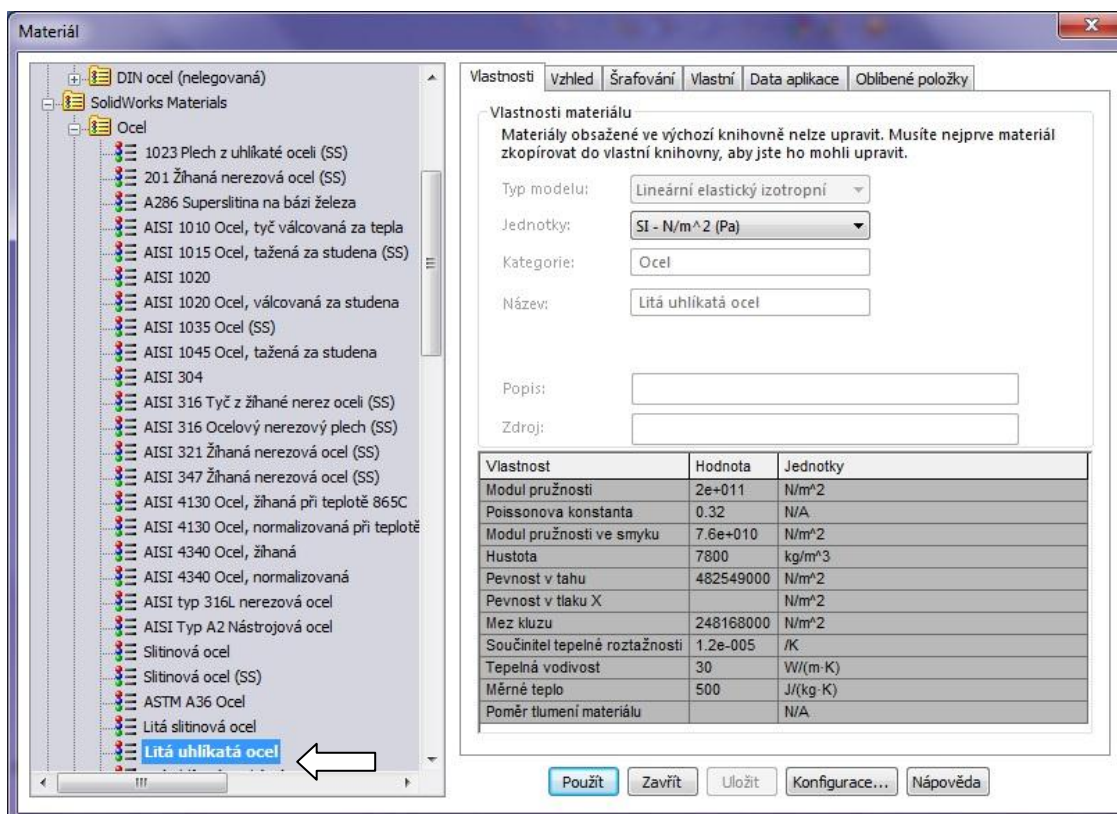
Příkaz pro smrštění je pod názvem Scale (měřítko), (příkaz nalezneme pod tlačítky **Mold Tools** > **Scale**). Model se zvětší o 2%.



Obr. 4.49 Příkaz scale (měřítko)

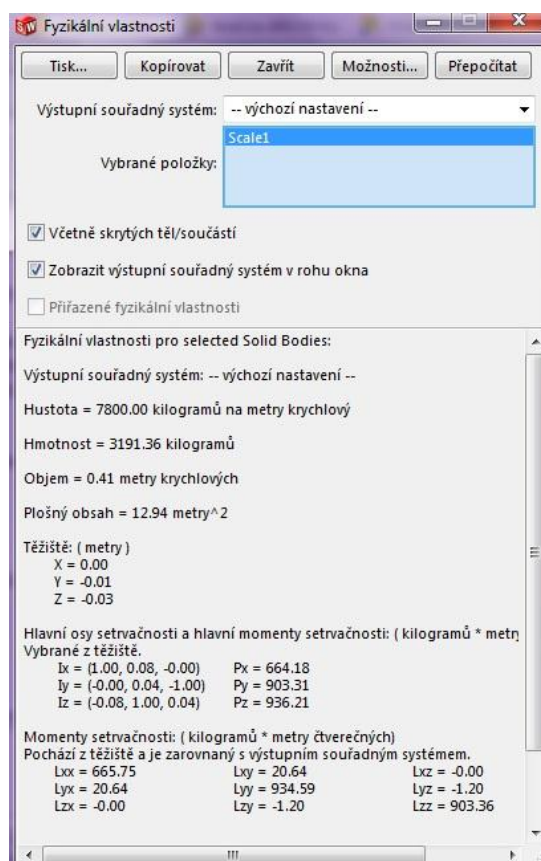


Obr. 4.50 Tvar připraveného odlitku zvětšený o měřítko



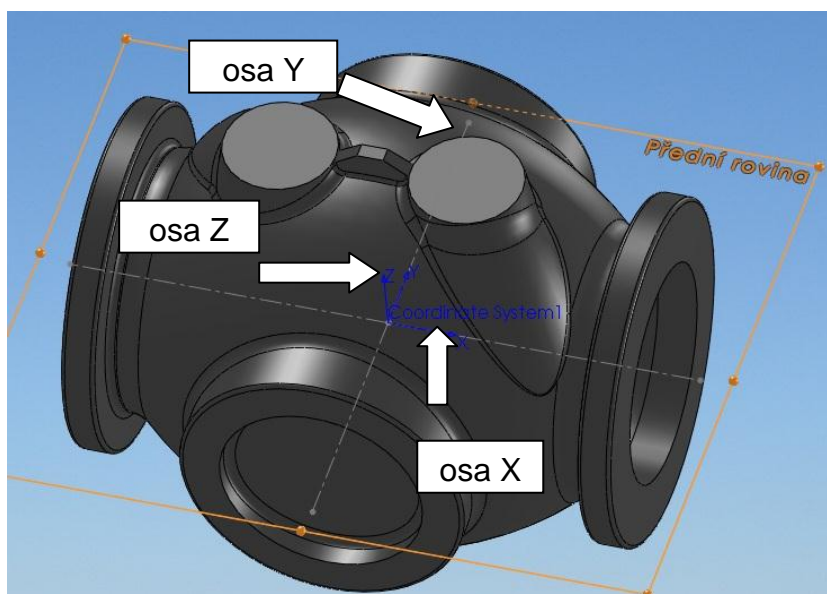
Obr. 4.51 Vybraný materiál v systému SolidWorks a jeho vlastnosti

V systému SolidWorks je možno změřit fyzikální vlastnosti (hmotnost, těžiště, hustota, objem, plošný obsah, atd.). Hmotnost takto upraveného modelu odlitku je o něco větší než je hmotnost předepsaná na výrobním výkrese o přídavky, nálitky a úkosity. A tuto možnost fyzikálních vlastností je potřeba využít a zkontrolovat o kolik bude odlitek těžší než původní. Má to zásadní vliv i na další přípravu technologie. V systému je dobré si zvolit buď stejný materiál odlitku nebo aspoň podobný, aby se výsledek blýžil co nejvíce realitě. Systém SolidWorks nabízí předdefinovanou materiálovou databázi, ale neobsahuje vybranou ocel s označením GS-C25 (DIN 1.0619), tak jsem vybral z nabídky podobnou s názvem „Litá uhlíkatá ocel“ viz. obr. 4.51. A fyzikální vlastnosti pro tento materiál odlitku viz. obr. 4.52.



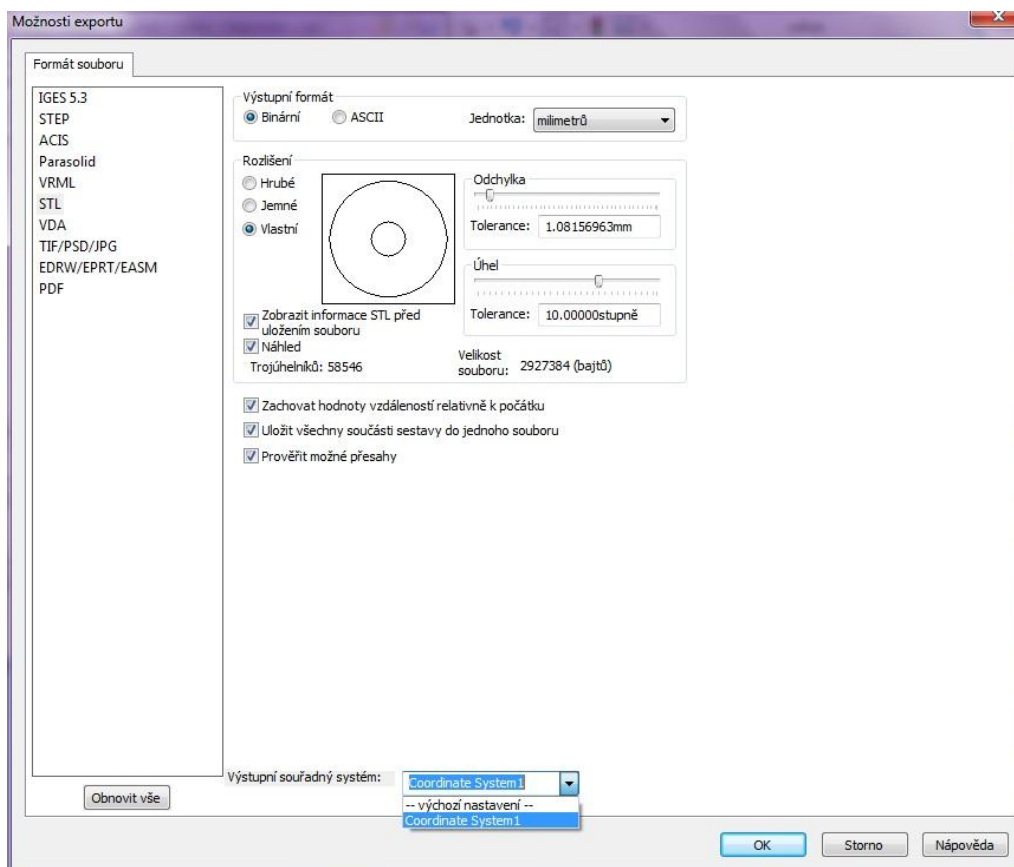
Obr. 4.52 Fyzikální vlastnosti
vybraného materiálu modelu odlitku

Za další bude volba souřadného systému jednak pro simulace a také pro obrábění modelu. Souřadný systém je zvolen v průsečíku dvou os nakreslených na přední rovině viz. obr. 4.53. Příkaz **Coordinate system** (souřadný systém), (příkaz nalezneme pod tlačítky **Features** > **Reference Geometry** > **Coordinate system**). Osa Z směřuje nahoru směrem k podložkám pro nálitky.

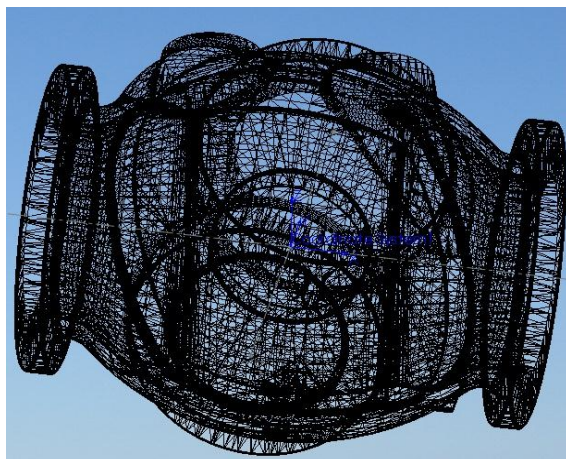


Obr. 4.53 Souřadný systém v průsečíku os

V poslední fázi bude, uložit soubor modelu odlitku ve formátu (.stl). Jsou to formáty stereolitografie, se kterými pracuje CAE systém MAGMASoft. SolidWorks umí uložit soubory v několika formátech pro import dat a také i formát **STL**. Postup uložení, nejprve **uložit jako**, zvolit formát **stl**, **možnosti**, **souřadný systém**, pak se zobrazí náhled trojúhelníků a pokud vyhovuje tvar i velikost potvrdit **ok** tlačítko. Čím menší trojúhelníky zvolíme, tím bude velikost souboru větší a v některých případech to znamená (čím větší tím horší – dlouhé načítání souboru, špatný přenos dat pro jejich velikost). Proto je nutno volit vhodnou velikost trojúhelníků, odhadem velikost souboru zhruba 1Mb až 15Mb.



Obr. 4.54 Možnosti exportu STL dat v systému SolidWorks



Obr. 4.56 Náhled tvaru polygonální sítě v systému SolidWorks

STL je formát pro uložení těles v polygonové prezentaci – neboli je složen z trojúhelníků, možné uložení ve dvou verzích (binární i ascii - textový) [3].

5 SIMULACE ODLITKU BEZ TECHNOLOGIE

Nejprve se simuloval samotný odlitek bez technologie v systému MAGMASoft. Záměr této simulace spočíval pro lepší odhad výskytu tepelných uzlů, které je nutno zabezpečit, vlivem nerovnoměrného tuhnutí odlitku, aby nemohlo dojít ke vzniku trhlin, ředin, porezity a dalších nežádoucích jevů.

5.1 MAGMASoft simulační systém

Simulační CAE systém MAGMASoft umožňuje řešit velkou škálu vzorků odlitků a optimalizovat jejich technologie. Tento program využívá numerické simulace od plnění taveniny až po tuhnutí a dosazovací jevy jsou řešeny na matematicko-fyzikálním základě. Skládá se z jednotlivých výpočetních modulů a tento systém je založen na metodě FDM (metoda konečných diferencí). Výpočet se zabývá plněním, tuhnutím, ochlazování kovu ve formě, rozložením napěťového pole, výsledným pnutím v odlitku a rozložením mechanických vlastností. Hlavním smyslem tohoto programu je optimalizovat slévářenskou výrobu. Řešit plánování výroby a zkracovat termíny dodání odlitků. Eliminovat výskyt vad ještě před zadáním do výroby a tím snížit zmetkovitost odlitků slévárny [11].

5.2 Geometrie a technické parametry

Geometrie a technické parametry simulace samotného odlitku. Tento odlitek má hmotnost kolem 3 tun a tloušťkou stěny od 40 do 65 mm. Odlíje se z požadovaného materiálu oceli GS-C25 (DIN 1.0619) chemické složení viz. příloha č. 2. Systém MAGMASoft obsahuje databázi různých typů materiálů a také GS-C25.



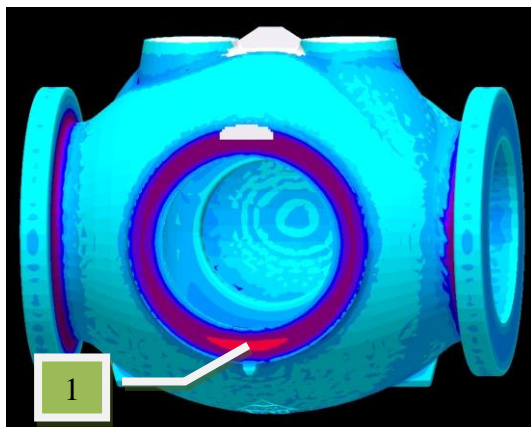
Obr. 5.1 Náhled tvaru geometrie tělesa odlitku ve formátu STL uloženého v systému SolidWorks

Tab. 5.1 Technické parametry zadané a vypočtené při simulaci v systému MAGMASoft

MAGMA5 Technické parametry				
	Specifikace	Teplota[°C]	Objem [l]	hmotnost [kg]
Všechny materiály			4885.99	9797.42
Materiál odlitku	GS-C25	20	38 .75	3057.37
Forma	Furan	20	4496.24	6740.05
Nálitky exotermické				
Teplota lití		1590		
Doba lití	37.5 s			
Vtok				
Jádro	Furan			
Chladítka				

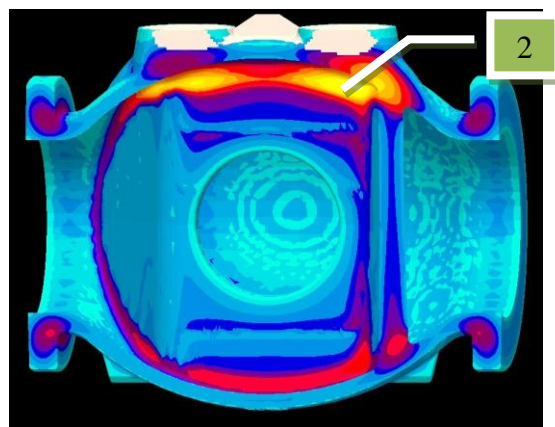
5.3 Tepelné uzly

Při zvolených technických parametrech se ukazují tepelné uzly v nakupení materiálu, tzv. při napojování dvou a více stěn v odlitku jak je vidět na obrázcích viz. obr. 5.2, obr. 5.3, obr. 5.4, obr. 5.5. Tyto tepelné uzly se zabezpečí vhodně navrženou technologií.



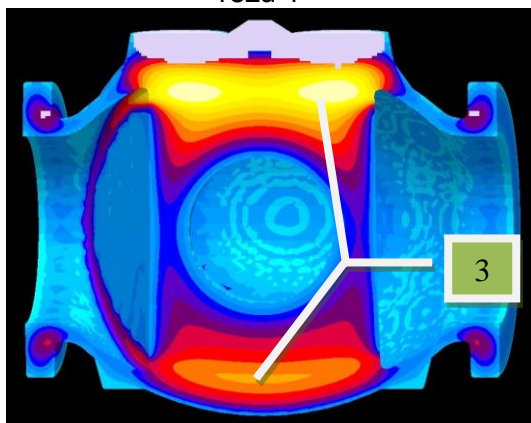
Obr. 5.2 Zobrazení tepelných uzlů v

řezu 1



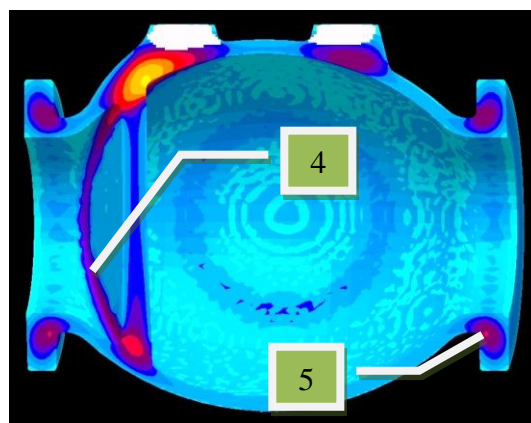
Obr. 5.3 Zobrazení tepelných uzlů v

řezu 2



Obr. 5.4 Zobrazení tepelných uzlů v

řezu 3



Obr. 5.5 Zobrazení tepelných uzlů v

řezu 4

Na obrázcích jsou vybrané vyznačené pozice **1, 2, 3, 4, 5**, jsou to kritická místa teplotního pole odlitku a budou tam vznikat tepelné pnutí, a proto je potřeba tyto místa důkladně zabezpečit.

Pozice **1** – Oblast přivařovacího konce, je zde velké teplotní rozložení a bude nutné tuto část zabezpečit nálitky popřípadě chladítky.

Pozice **2** – Oblast napojení žebra a stěny odlitku, je zde velké teplotní rozložení a bude nutné tuto část zabezpečit chladítky.

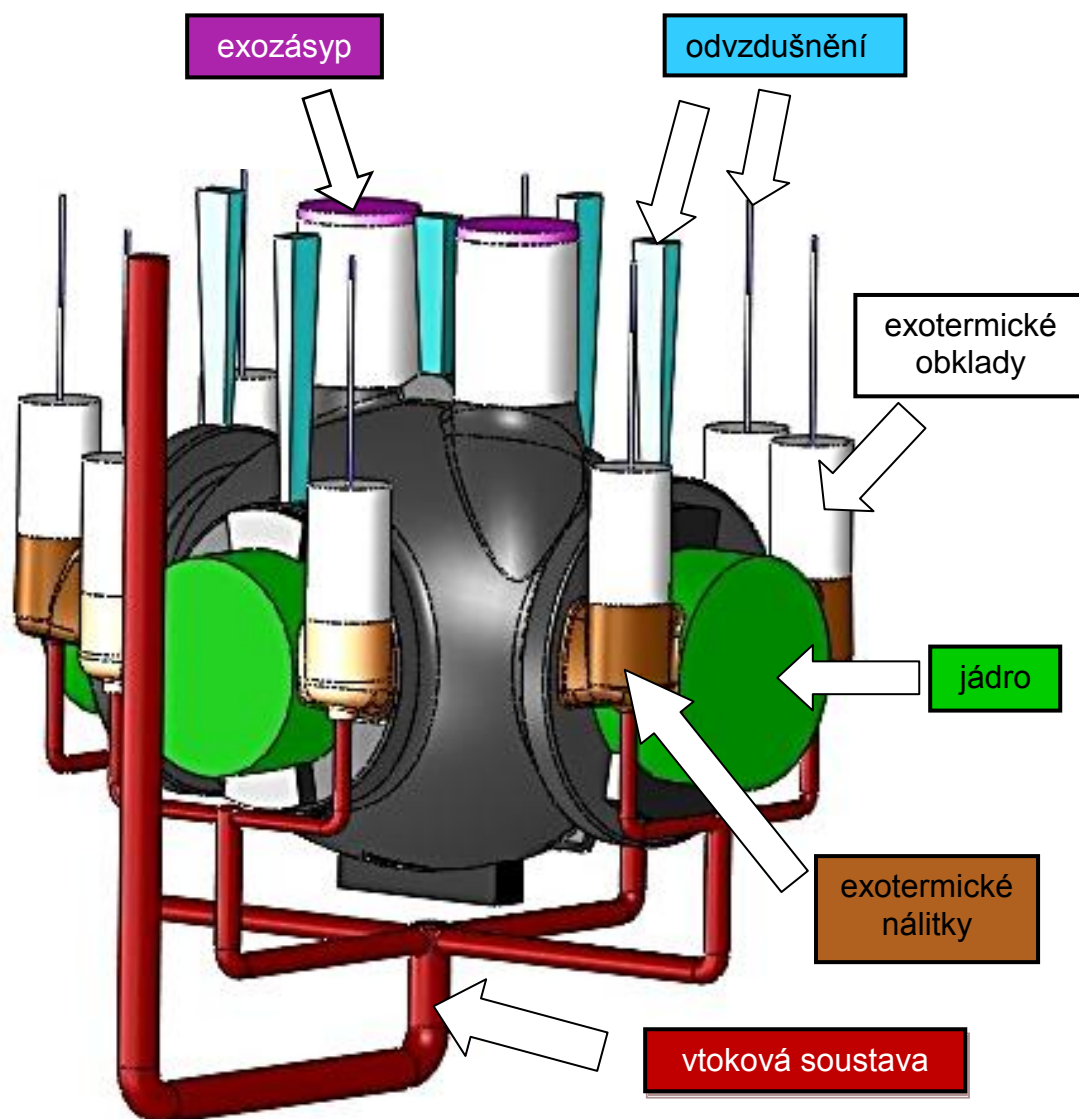
Pozice **3** – Oblast napojení středové části žebra ve spodní i horní polovině stěny odlitku a podnálitkových podložek, v tomto místě je největší teplotní rozložení a bude nutné tuto část zabezpečit jednak nálitky, chladítky a odvzdušněními.

Pozice **4** – Oblast napojení části žebra po obou stranách odlitku, je zde velké teplotní rozložení a bude nutné tuto část zabezpečit chladítky a chromitovým pískem.

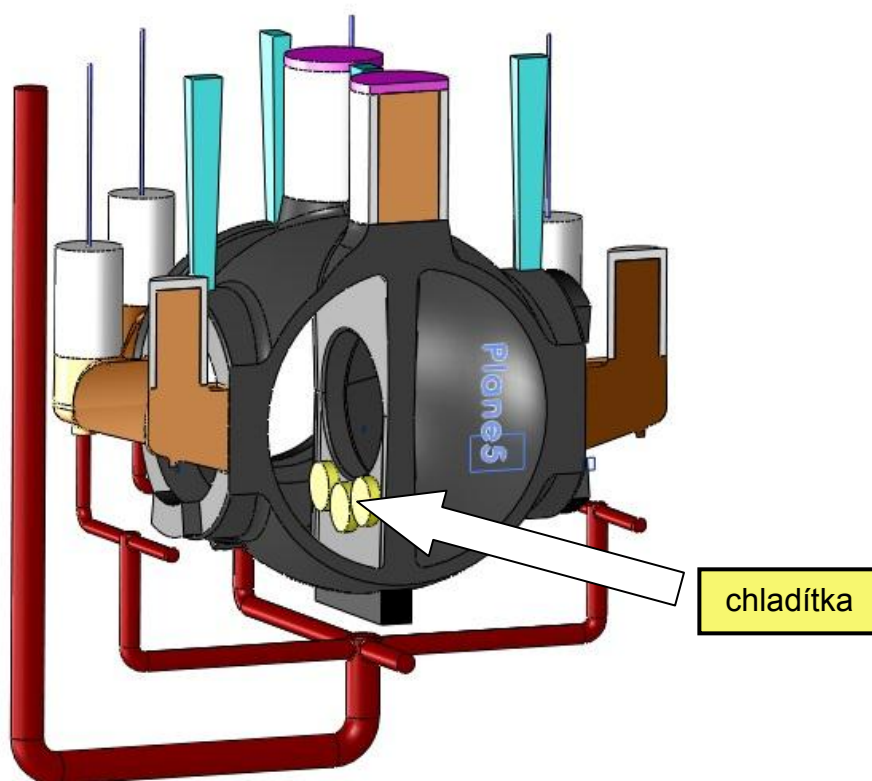
Pozice **5** – Oblast příruby a těla odlitku, je zde velké teplotní rozložení a bude nutné tuto část zabezpečit nálitky, chladítky a odvzdušněními.

6 NÁVRH SOUSTAVY FORMY ODLITKU

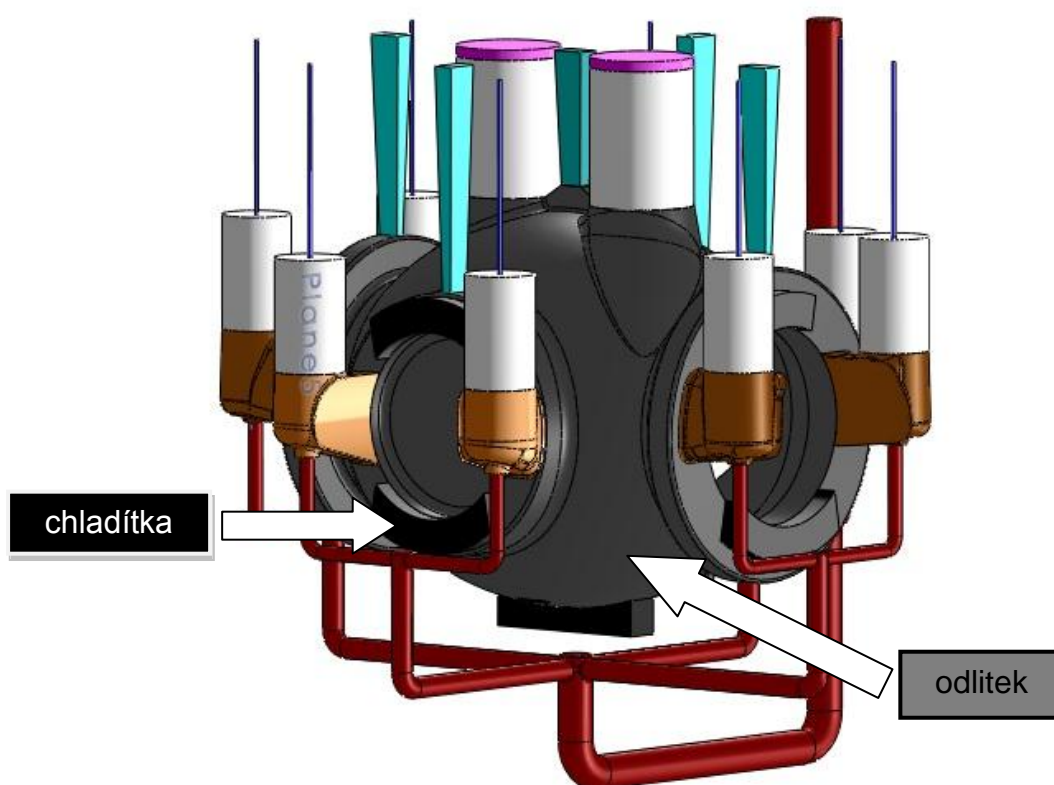
Při návrhu soustavy formy se vychází z výkresové dokumentace (postupový výkres) viz. příloha č.5. Zde konstruktér této sestavy realizuje virtuální tvar formy, která bude mít tvar skutečného modelu. Postup modelování je podobný, jako při přípravě modelu v kapitole 4. Všechny samostatné díly nebo části (vtoková soustava, extermické nálitky, extermické obklady, exozásypy, jádra, chladítka, odvzdušnění) mají svoje přesné rozměry zakótované nebo jsou dány výrobcem např.: extermické obklady viz. příloha č.3.



Obr. 6.1 Popis a zobrazení celé technologie



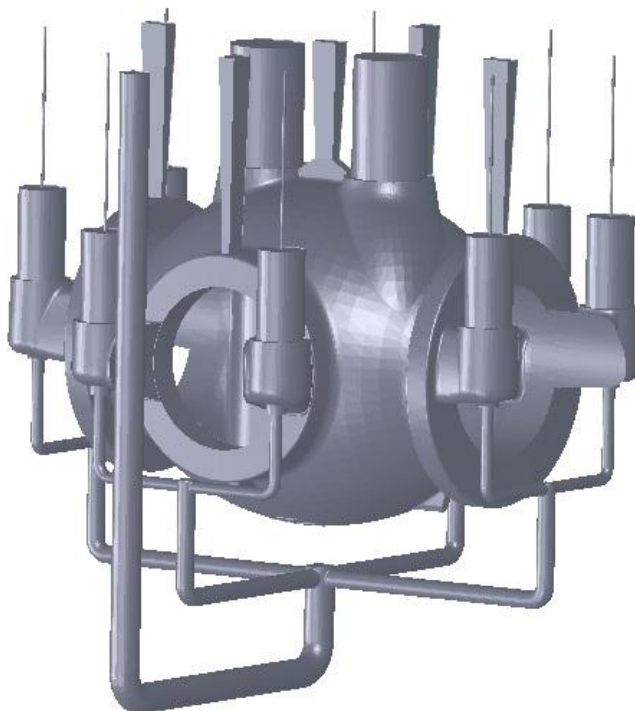
Obr. 6.3 Zobrazení technologie v řezu



Obr. 6.4 Zobrazení technologie ze zadního pohledu

7 SIMULACE ODLITKU S NAVRŽENOU TECHNOLOGIÍ

V druhé fázi po namodelování celé technologie byla provedena simulace gravitačního lití v CAE systému MAGMASoft. Simulace se provedla na několik kroků plnění, tuhnutí, mikroporozita, staženiny a tepelné uzly. Byly nastaveny podmínky pro odlévání odlitku těleso. Technologie se odlíje z požadovaného materiálu oceli GS-C25 (DIN 1.0619) chemické složení viz. příloha č.2. Systém MAGMASoft obsahuje databázi různých typů materiálů a také požadovaný materiál oceli GS-C25.



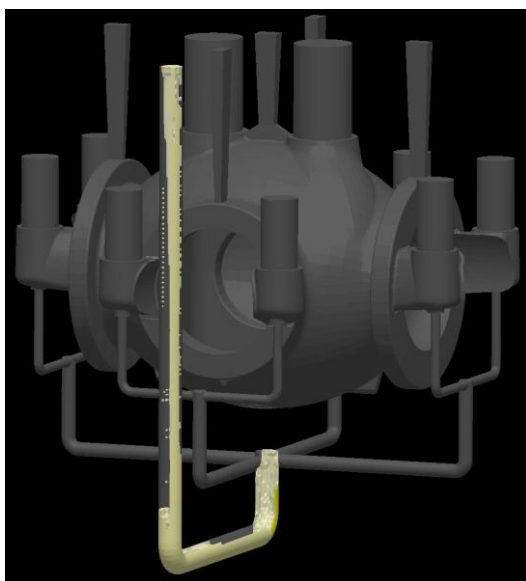
Obr. 7.1 Náhled tvaru geometrie technologie odlitku ve formátu STL uloženého v systému SolidWorks

Tab. 7.1 Technické parametry zadané a vypočtené při simulaci celé technologie v systému MAGMASoft

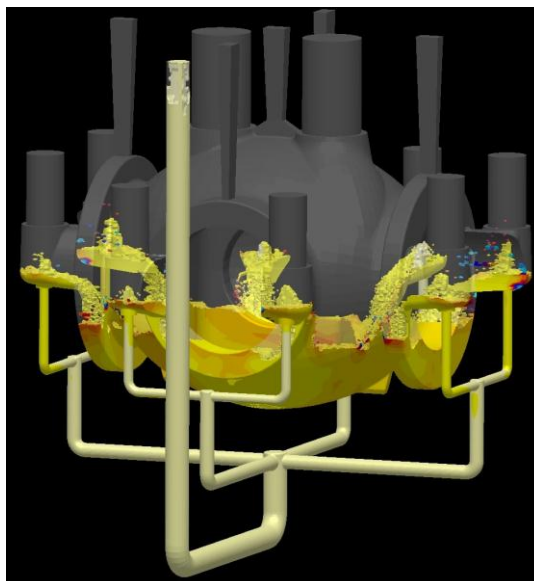
MAGMA5 Technické parametry				
	Specifikace	Teplota[°C]	Objem [l]	hmotnost [kg]
Všechny materiály			15780.85	28540.18
Materiál odlitku	GS-C25	20	389.75	3057.37
Forma	Furan	20	14990	22336
Nálitky exotermické	GS-C25	20	178.15	1397.75
Teplota lití		1590		
Doba lití	70 s			
Vtok	GS-C25	20	46.19	362.41
Jádro	Furan+ chromit	20	153.79	1206.42
Chladítka	WCB	20	22.97	180.23

7.1 Průběh simulace plnění dutiny formy

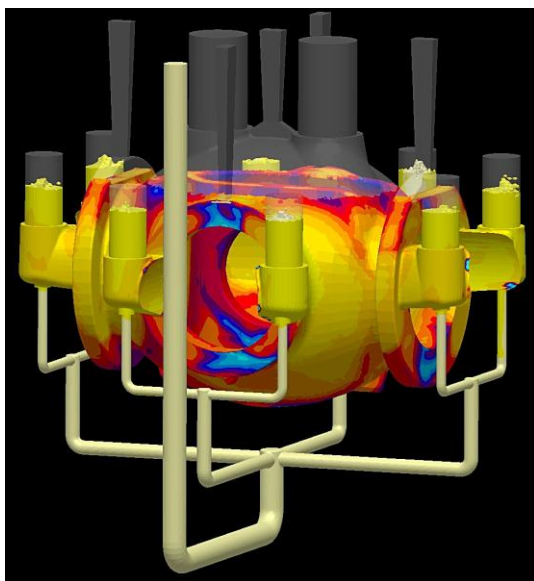
Simulace plnění dutiny formy byla provedena dle zadaných podmínek, teplota lití byla 1590°C a doba plnění byla 70 s. Napojení vtoku do spodku náličky viz. obr. 7.2, obr. 7.3, obr. 7.4, obr. 7.5 přispívalo k tomu, že plnění formy bylo plynulé a nedocházelo k tvorbě turbulencí taveniny uvnitř formy. Na simulaci viz. obr. 7.4, obr. 7.5 jsou vidět místa zbarvena do modra, která jsou zachlazená chladítky což správně rozděluje dosazovací vzdálenosti náliček a náličky dobře dosazují tekutým kovem formu a to přispívá k plynulému průběhu plnění formy.



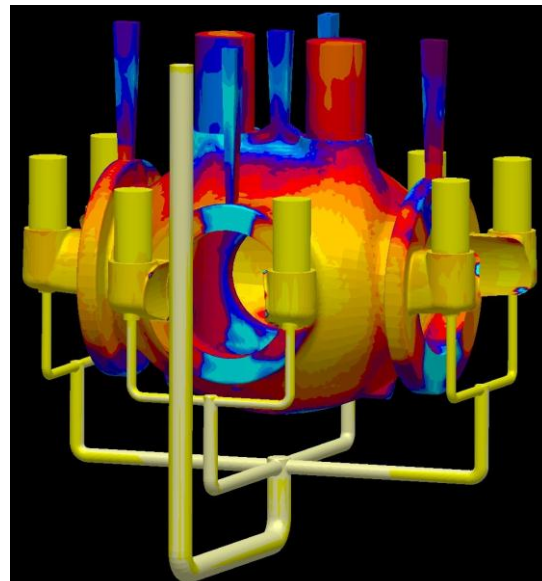
Obr. 7.2 Počátek plnění dutiny formy
v čase $t=1.4$ s



Obr. 7.3 Průběh plnění dutiny formy
v čase $t=21$ s



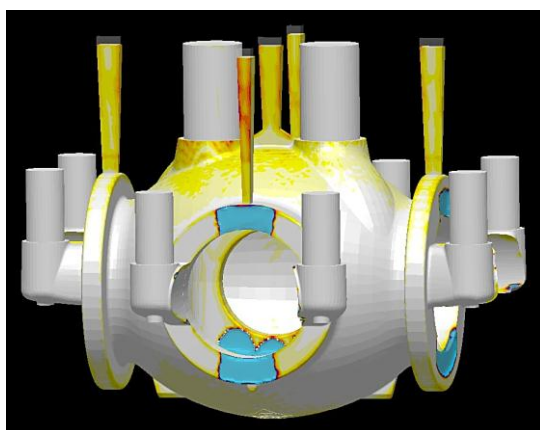
Obr. 7.4 Počátek plnění dutiny formy
v čase $t=54.6$ s



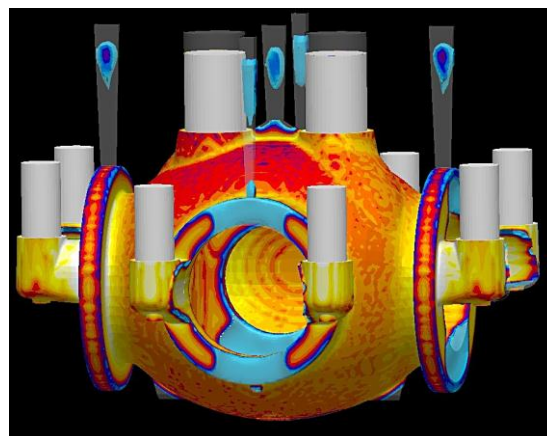
Obr. 7.5 Konec plnění dutiny formy
v čase $t=70$ s

7.2 Průběh simulace tuhnutí formy

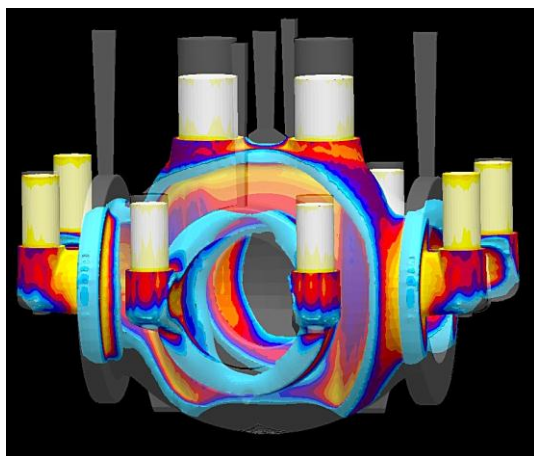
Simulace tuhnutí formy probíhala dle předpokladů, teplota tuhnutí kovu byla počítána v rozmezí od 1510°C na teplotu 1434°C a doba tuhnutí v tomto teplotním rozmezí byla 9478,04 s. Všechny exotermické nálitky ukazují dobré zásobování odlitku tekutým kovem a tím i pozdější tuhnutí kovu v nálitcích. Proto všechny tepelné uzly v odlitku byly vytaženy nálitky viz. obr. 7.6, obr. 7.7, obr. 7.8, obr. 7.9. Všechny chladítka splnily účel chlazení a proto v odlitku nevzniká žádný neočekávaný tepelný uzel, který by měl za následek vzniku velké staženiny. Navržená technologie se jeví jako správná volba. Celková doba ztuhnutí odlitku byla několik hodin (28 hodin).



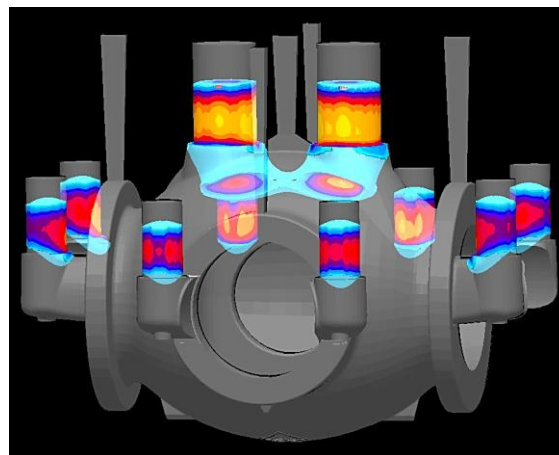
Obr. 7.6 Počátek tuhnutí formy v čase $t=132.57$ s



Obr. 7.7 Průběh tuhnutí formy v čase $t=526.22$ s



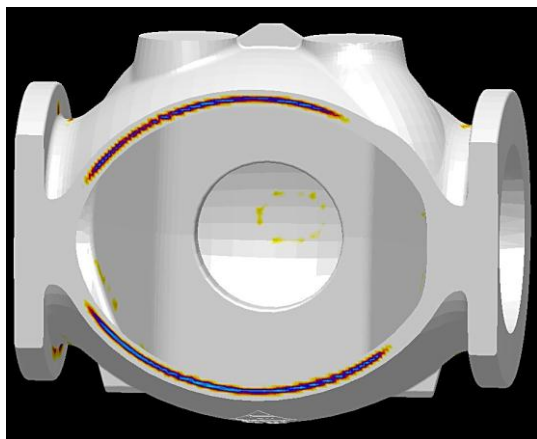
Obr. 7.8 Průběh tuhnutí formy v čase $t=1762.93$ s



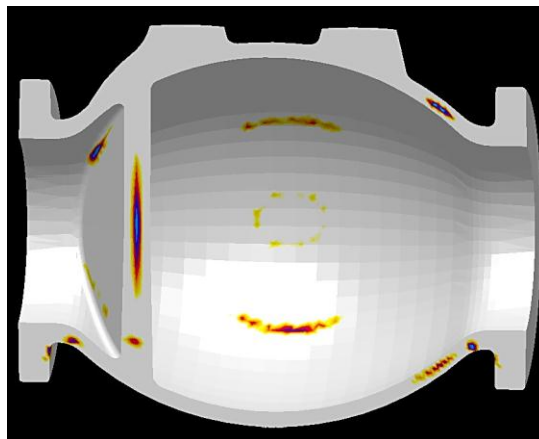
Obr. 7.9 Konec tuhnutí formy v čase $t=5477.65$ s

7.3 Mikroporezita odlitku

Predikce vzniku mikroporezity byla zobrazena na obrázcích viz. obr. 7.9, obr. 7.10 a byla obsažena v některých částech odlitku, ale byla schována uprostřed stěny a tím se dá předpokládat, že mikroporezita nebude mít vliv na celkový stav odlitku, je možné, že při tlakových zkouškách neobstojí a budou prolínat, ale ukázalo se v praxi a následných tlakových zkouškách, že odlitek splňuje dané podmínky a je zcela vyhovující. Některé části odlitku se budou muset zavařit. Jsou to zejména povrchové části odlitku.



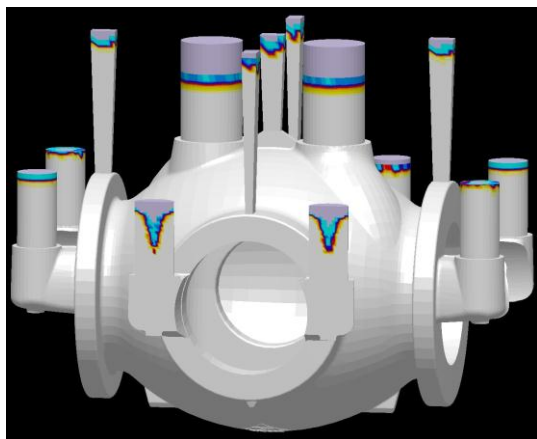
Obr. 7.9 Mikroporezita řez 1



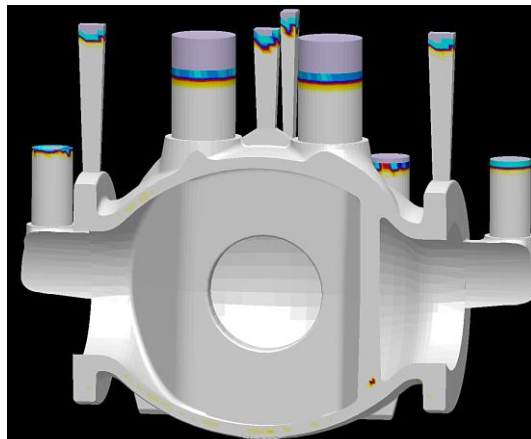
Obr. 7.10 Mikroporezita řez 2

7.4 Staženiny odlitku

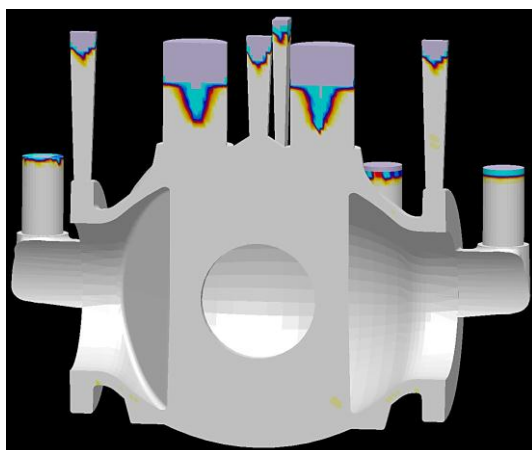
Staženiny v odlitku se vyskytovaly zejména v nálitcích viz. obr. 7.11, obr. 7.12, obr. 7.13, obr. 7.14, ale také ve spodní části žebra a napojení na stěnu odlitku viz. obr. 7.12. Jedná se o sekundární staženinu uvnitř stěny, která vzhledem ke tvaru odlitku, odpovídala postupu tuhnutí celé soustavy. Úbytek kovu v nálitcích, vtoku a odvzdušnění byl správně zobrazen při nastavení kritických hodnot pro zobrazení této vady v CAE systému MAGMASoft. Další staženiny v odlitku se nevyskytují a dalo by se odhadnout, že výsledky simulace této navržené technologie jsou vyhovující a použitelné do praxe pro výrobu odlitku.



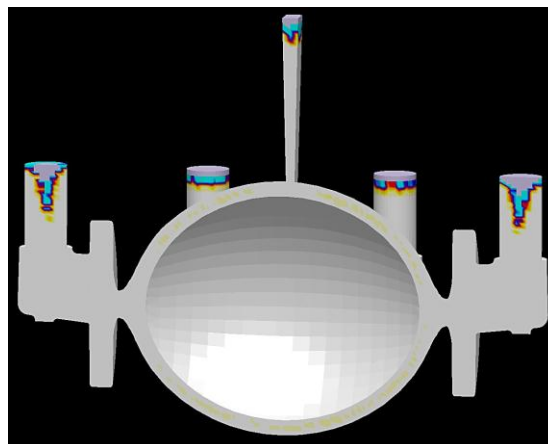
Obr. 7.11 Staženiny řez 1



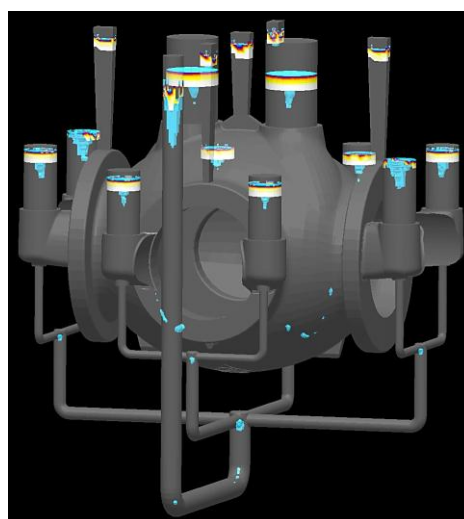
Obr. 7.12 Staženiny řez 2



Obr. 7.13 Staženiny řez 3



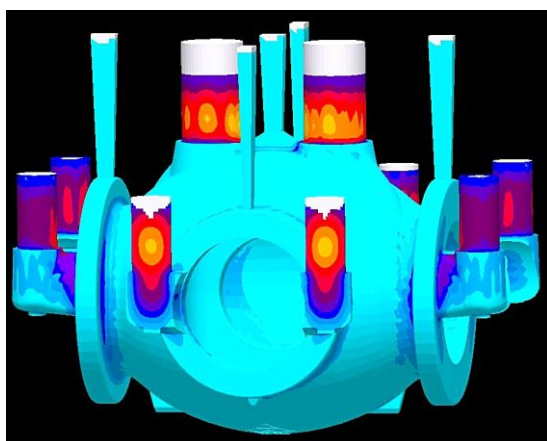
Obr. 7.14 Staženiny řez 4



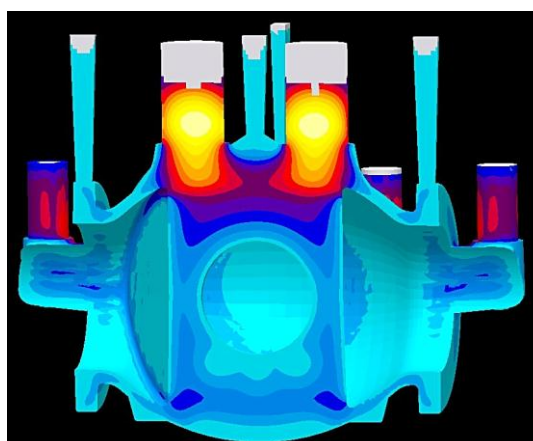
Obr. 7.15 Staženiny celá technologie

7.5 Tepelné uzly

Při zvolených technických parametrech se ukazují tepelné uzly v nálitcích a částečně zasahují do tvaru těla odlitku viz. obr. 7.16, obr. 7.17.



Obr. 7.16 Zobrazení tepelných uzlů v řezu 1



Obr. 7.17 Zobrazení tepelných uzlů v řezu 2

7.6 Shrnutí výsledků simulace

Při průběhu zaplňování dutiny formy nedocházelo k tvorbě turbulencí a plnění formy bylo plynulé. Nálitky plnily dosazovací podmínky a tím se netvořily žádné studené spoje. Sedlové nálitky zabezpečovaly tvar těla bez přírub a krajní nálitky zabezpečovaly tvary přírub a část přechodu do stěny odlitku. Spodní část a příruby byly zachlazeny chladítky a kokilami, aby se zvýšila rychlost ochlazování a tím se eliminovala možnost výskytu vad ve formě ředin, trhlin nebo staženin.

Tuhnutí odlitku probíhalo od středové části směrem k nálitkům. Tepelné uzly se stahovaly směrem do nálitků, k tomuto jevu přispěly správně navržená a umístěná chladítka.

Využití technologie je velmi vysoké kolem 65%. Doporučil bych simulovat další varianty technologií zvětšením bočních nálitků a zvýšením sedlových nálitků za účelem vtáhnutí tepelných uzlů zcela do nálitků. Je možno také použít více chladítek v oblasti středové části ve spodku odlitku pod žebrem k ještě rychlejšímu zachlazení a zabránit tím výskytu staženin nebo trhlin v žebře, ale tím by se snížilo využití kovu a bylo by to méně ekonomické.

Tato simulovaná technologie odlitku byla schválena a mohla začít výroba modelu a jaderníku v modelárně.

8 PŘÍPRAVA VÝROBY MODELU A JADERNÍKŮ

Po vyhodnocení zkušebních simulací byla schválena konečná varianta technologie pro výrobu modelu, pracovníkem útvaru TPV ve slévárně. Následně všechny informace směřovaly do modelárny, kde se započala výroba modelu a jaderníku.

8.1 Volba materiálu pro model i jaderníky

Při volbě materiálu dřeva je zapotřebí uvažovat zejména o jeho technologických vlastnostech a také o ceně. Zbytečně nevolit drahé dřevo, které má dobré vlastnosti pro obrábění, ale zvolit to, které bude méně nákladné, ale bude vyhovovat požadavkům kladené pro výrobu modelu, ale i svými technologickými vlastnostmi.

8.1.1 Technologické vlastnosti dřeva

Obrobitelnost

Je soubor vlastností, které umožňují řezání, dlabání, broušení, hoblování, pilování, škrábání atd. Lepší obrábění je obrábění ve směru vláken, jakýkoli odklon způsobí obtíže. Platí to zejména o obrábění sukovitého dřeva nebo dřeva se zvlněnými nebo jinak deformovanými vlákny. Velký vliv na obrobitelnost dřeva má také jeho vlhkost. Vlhké dřevo se obtížně řeže, hobluje a piluje, přestože klade menší řezný odpor [4].

Štípatelnost

Je to schopnost dřeva dělit se na části ve směru vláken. Velmi dobře se štípá dřevo s pravidelnou stavbou a vniká-li nástroj do čelného dřeva v radiálním směru (ve směru dřeňových paprsků). Velice dobře štípatelný je zejména smrk, jedle, borovice, buk, dub, lípa. Obtížněji se štípe habr, bříza, akát, jilm, švestka, třešeň. Dřevo štípáme hlavně tehdy, když je třeba získat výřez kmene s vlákny probíhajícími důsledně ve směru podélné osy obráběného kusu. Souběžný průběh vláken s osou výřezu nelze zajistit řezáním [4].

Ohýbatelnost

Je založena na schopnosti dřeva poměrně lehce se deformovat při působení ohybového momentu. Mírou ohýbatelnosti je velikost poloměru oblouku, do kterého je možné dané těleso ohnout bez porušení tvaru [4].

Spojování

Dřevo lze spojovat čepy, ozuby, svlaky, péry, anebo kovovými spojovacími prostředky (hřebíky, vruty). Spoje je možné spojovat přímo, anebo zajišťovat lepidly. Při spojování dřeva záleží na směru jeho vláken. Spoje na čepy, ozuby, kolíčky lze provádět jen ve dřevě čelném (koncovém), v němž naopak hřebíky a vruty drží velmi málo [4].

Způsobilst úspěšného dokončení povrchu

Každé rostlé dřevo se při úpravě povrchu chová odlišně. U některých druhů snadno dosáhneme hladkého, rovného povrchu a jiné při sebevětší snaze vykazují povrch málo hladký a chlupatý. Nejvíce ovlivňuje tuto vlastnost hustota dřeva a průběh vláken. Dřevo hustší, stejnoměrnější struktury a s

rovně uloženými vlákny vytváří ušlechtlejší plochu, která se také snadněji dokončuje a leští [4].

8.1.2 Popis použitého dřeva pro výrobu modelu a jaderníku

Charakteristika

Olše má dřevo bez barevně odlišeného jádra, oranžové, na vzduchu šednoucí. Je měkké a málo pružné. Póry ani dřeňové paprsky nejsou pouhým okem viditelné. Buněčné stěny jsou v jarním i letním dřevě stejně tlusté, a proto má olše mimořádně homogenní strukturu [4].

Použití

Přestože kvalita olšového dřeva není příliš velká má široké využití v nábytkářství, umění a průmyslu. Dobře se obrábí, štípe, lepí, vzdoruje vlhkosti, je lehké a málo pracuje. Je vhodné pro řezbářské a soustružnické práce a pro výrobu [4].



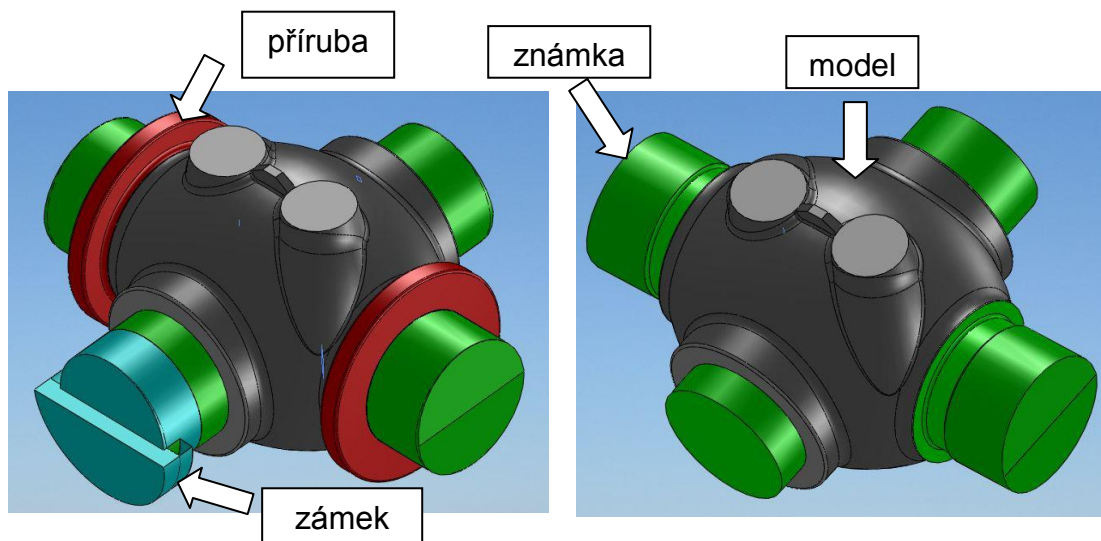
Obr. 8.1 Ukázka povrchu struktury dřeva olše použitého při obrábění modelu i jaderníku

8.2 Požadavky kladené na výrobu modelu i jaderníku

Model i jaderník (polotovár modelu i jaderníku) by měly být co nejlehčí, ale musí splňovat kritéria, jako jsou: rozměrová přesnost, tuhost konstrukce, drsnost povrchu, funkčnost a splňovat normu EN 12890:2000 pro výrobu modelových zařízení pro slévárny. Tato norma přesně specifikuje požadavky pro výrobu těchto zařízení jednak rozměrové a také materiálové.

8.3 Tvar modelu a jaderníku

Na 3D model odlitku, který se připravil pro simulace, ale i pro pozdější obrábění se domodelují známky s vřely a úkosy. Průběh práce modelování ve 3D je podobný jako v kapitole 4.3.1 Postup přípravy modelu. Tvar modelu viz. obr. 8.2, obr. 8.3.



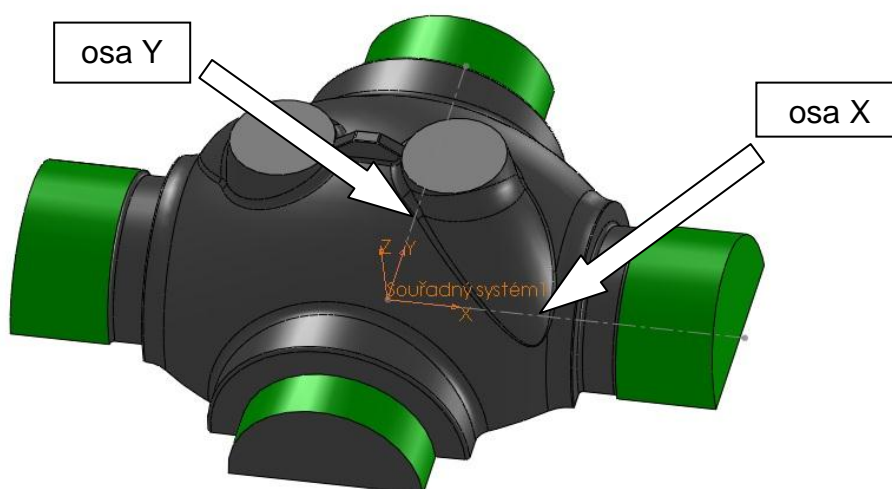
Obr. 8.2 3D model s barevně označenými částmi šedá, zelená, červená a modrá.

Obr. 8.3 Tvar 3D modelu, který bude obráběn na CNC stroji. (bez přírub a části známky)

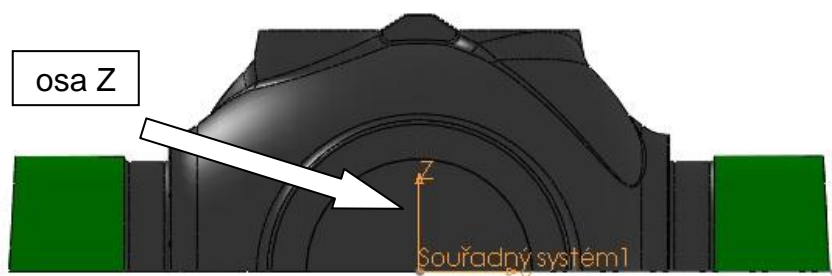
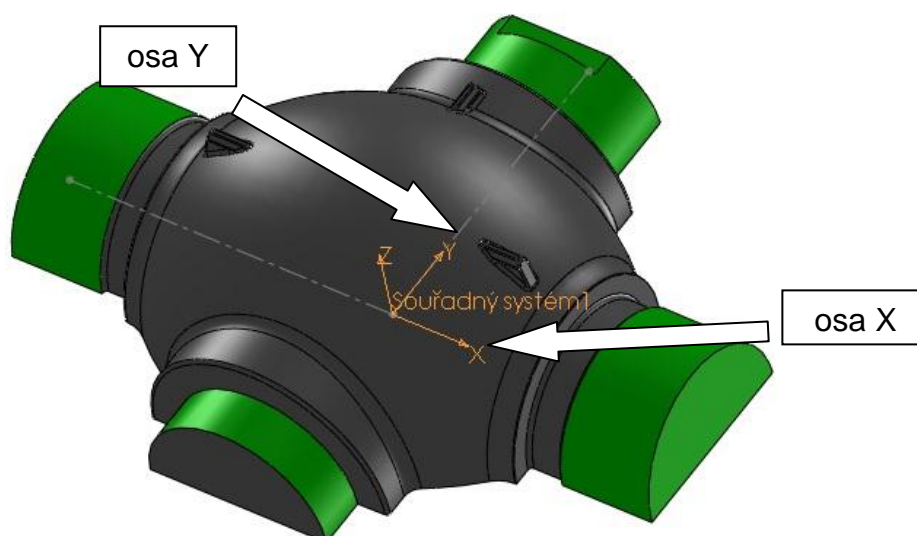
Viz. obr. 8.2 3D model barevně rozlišen: příruby (červeně označenou barvou) a část známky (modře označenou barvou) se zhotoví manuálním způsobem a proto se touto výrobou dále nebudeme zabývat.

Viz. obr. 8.3 tvar modelu (šedě a zeleně označenou barvou), který se bude dále zpracovávat a následně se bude obrábět na CNC stroji.

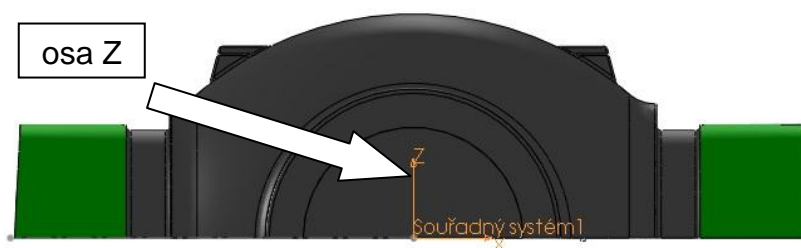
Potom se model rozdělí na vršek a spodek. Rozdělení bude v dělicí rovině, která je vyznačena na postupovém výkrese viz. příloha č.5. Jaderník se také rozdělí na vršek a spodek. Souřadný systém bude využit pro obrábění, jen se bude měnit jeho orientace osy **Z**, při obrábění vršku modelu bude směřovat vzhůru k podnálitkovým podložkám viz. obr. 8.4, obr. 8.5 a při obrábění spodku modelu bude jeho směr opačný viz. obr. 8.7, obr. 8.8. Dělicí rovina bude mít v ose **Z=0** mm. Tento smysl směru osy **Z** bude při obrábění jaderníku opačný viz. obr. 8.10.



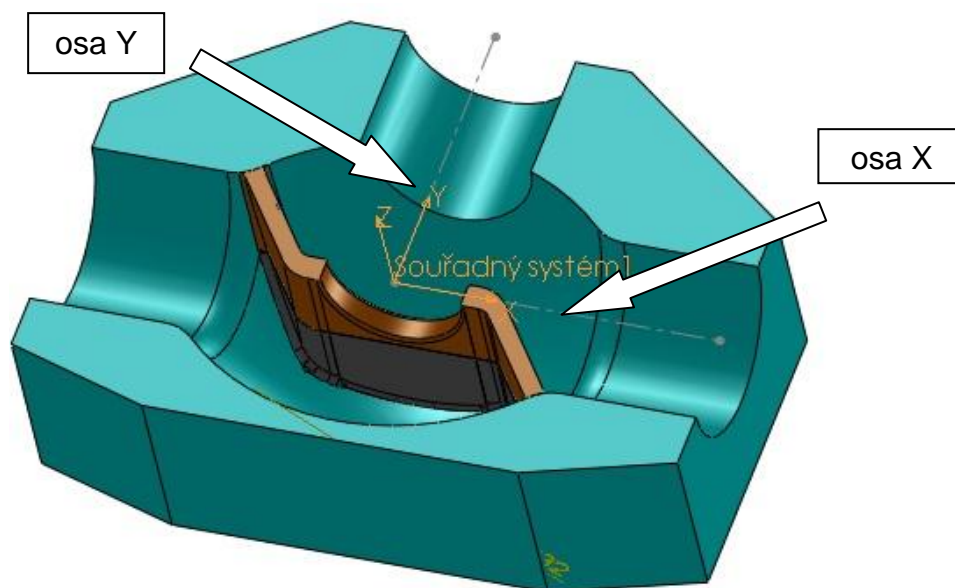
Obr. 8.4 Tvar vršku modelu a poloha souřadného systému

Obr. 8.5 Vršek model zobrazení souřadného systému směr osy **Z**

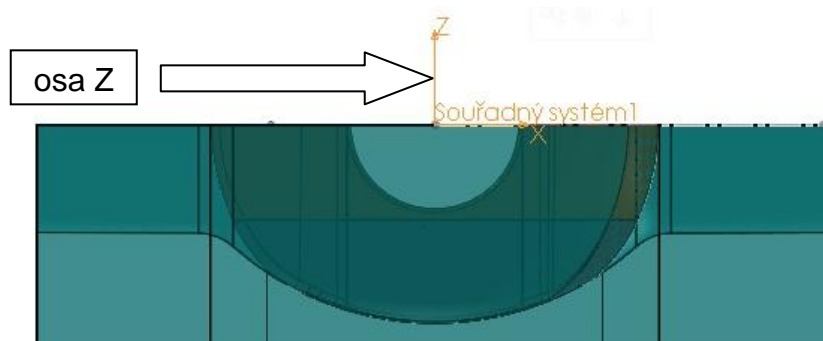
Obr. 8.6 Tvar spodku modelu a poloha souřadného systému

Obr. 8.7 Spodek modelu a zobrazení souřadného systému směr osy **Z**

Při tvaru jaký má vršek a spodek modelu, jsem dospěl k řešení návrhu polotovaru tak, aby byl polotovar z jednoho dílu, jak vršek, tak i spodek. Výsledkem bude jednodušší konstrukce polotovaru pro modeláře a také jednoznačně jednodušší programování a výsledek bude ekonomičtější. Vysvětlením je, že při konstrukci dělit model na určité výšce v ose **Z** na dvě části, by docházelo k napojení dvou velmi ostrých hran ve výšce dělení a materiál se dobře nenapojí a dřevo je materiál, který neustále pracuje. Tímto krokem jsem zvolil jednu cestu výroby modelu, na které bude postaven polotovar modelu vršku i spodku.



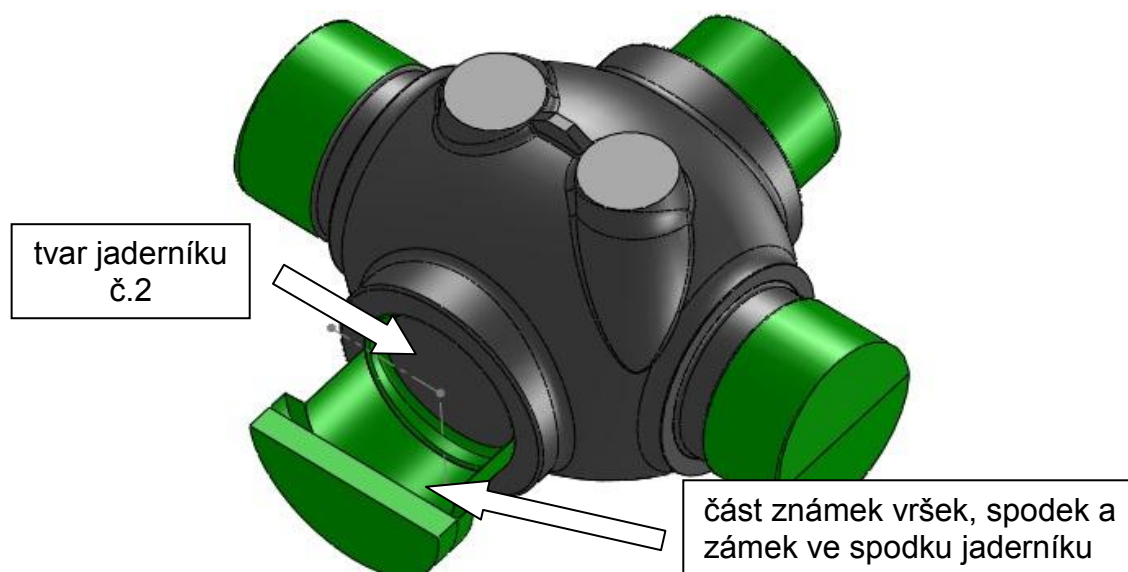
Obr. 8.8 Tvar spodku jaderníku a poloha souřadného systému



Obr. 8.9 Spodek jaderníku a zobrazení souřadného systému směr osy Z

Tvar jaderníku vršku i spodku je skoro stejný, ale tvar žebra, neboli úkos žebra je odlišný. Pro tuto variantu jsem navrhl řešení tvaru polotovaru takovou, že rám a konstrukce jsou symetrické u obou částí vršek, spodek, ale žebro uprostřed jaderníku bude na volno vložené, např.: tvar jaderníku spodek viz. obr. 8.8 a ve vršku bude žebro přesně zrcadlově podle osy **Y**, ale bude mít svůj úkos dle rozměrů. Polotovar žebra bude dělen na výšku na dvě části viz. obr. 8.8 (žebro - šedá barva a hnědá barva) a bude vložen po obrobení vnitřní části tvaru do jaderníku po jedné části (prvně spodní šedá barva a pak vrchní část hnědá barva). Tyto dvě části se musí nalepit do jaderníku a samostatně uvnitř obrobít. Dobu slepení částí lepidlem do možného obrábění je od 40 minut do úplného ztuhnutí lepidla 120 minut (při 20°C).

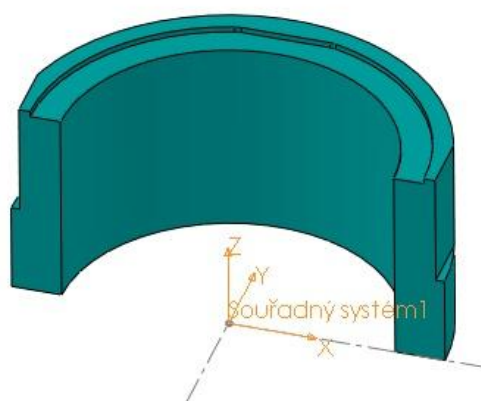
Jaderník č.2 dle přílohy č.5 postupového výkresu odlitku, bude jeho tvarová část, která je na odlitku schovaná pod tvarem stěny viz. obr. 8.10 a jeho dvě boční části viz. obr. 8.11 a obr. 8.12. Proč je tvar jaderníku č.2 složen ze tří částí je z důvodů formování a zakládání jádra č.2 do formy. Tvar tří částí a jejich souřadný systém je uveden na obrázcích viz. obr. 8.11, obr. 8.12, obr. 8.13, obr. 8.14.



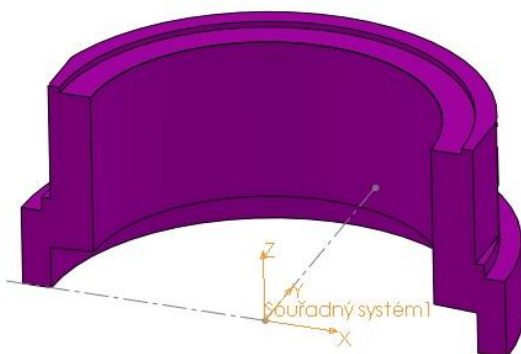
Obr. 8.10 Tvar zobrazení umístění jaderníku č.2 a známek jaderníku



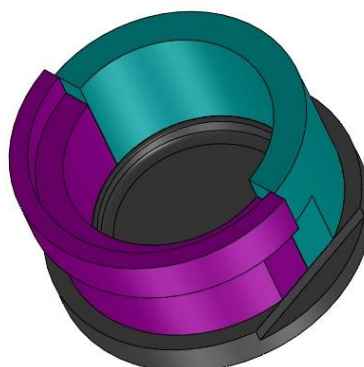
Obr. 8.11 Jaderník č.2 tvarová část



Obr. 8.12 Jaderník č.2 tvar známky vršek



Obr. 8.13 Jaderník č.2 tvar známky spodek



Obr. 8.14 Sestava jaderníku č.2

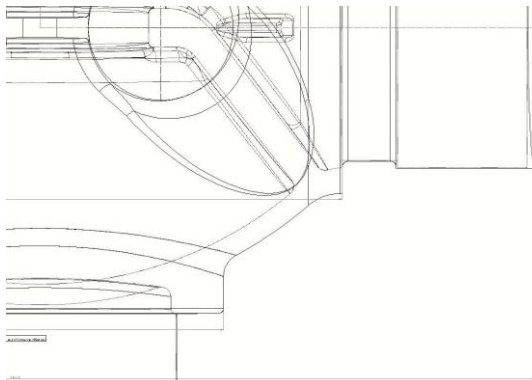
Tímto krokem jsem zakončil předběžný návrh tvaru jaderníků a dal povel k výrobě. Modeláři měli za úkol připravit tvary polotovarů pro model a jaderníky.

8.4 Návrh polotovaru pro model a jaderník

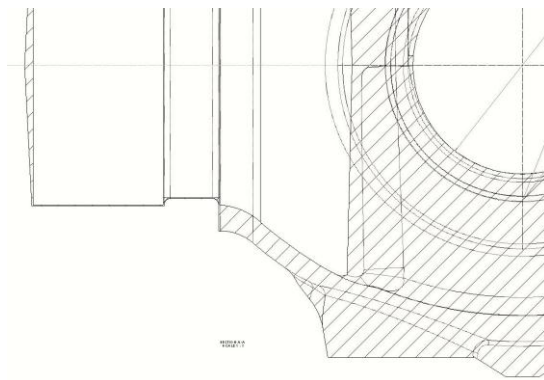
Návrh polotovaru pro takto konstrukčně řešený odlitek není jednoduchý, viz. příloha č.5. V postupovém výkrese v razítku jsou stanoveny všechny potřebné informace o modelovém zařízení (materiál modelu a jaderníku, způsob provedení modelu, smrštění, vůle, atd.). Z těchto informací je důležité určit, co se bude obrábět na CNC stroji a co bude zhotoveno na běžných dřevoobráběcích strojích.

Tvar polotovaru pro model bude složený z několika částí: nosný rám, dužiny, segmenty a doplňkový materiál na dolepení zbylých částí tvaru polotovaru viz obr. 8.18. Rám slouží jako nosná konstrukce modelu, která musí odolávat zatížení, ke kterému dochází při zvedání na jeřábu a manipulaci modelu jednak při výrobě, tak i ve slévárenském provozu při formování. Ostatní části mají funkci rozměrovou. Tvorba polotovaru je závislá na tvaru hotového modelu. V CAD systému byl nakreslen přesný 3D model s úkoso, s přídávky, s vůlemi a se smrštěním v měřítku 1:1, následně převeden na formát 2D výkresu a vytisknut na tiskárně. Plotter MUTOH RJ-900C má největší velikost tisknutelné plochy ve velikosti A0 (1189x841) mm a proto muselo být vytisknuto několik částí pohledů modelu ve velikosti A0 v měřítku 1:1, aby bylo možné sestavit celý tvar tak, který odpovídá skutečnosti rozměru modelu (zhruba 2,8 m x 2,2 m). Na sestaveném 2D výkresu modelu ve skutečné velikosti byly modelářem stanovené přídávky na obrábění. Tento postup přípravy probíhá v úzké spolupráci programátora s modelářem. Tato komunikace je velice důležitá zejména v předávání informací o konstrukci modelu a materiálu polotovaru. Uvnitř polotovaru nesmí být zapomenut žádný kovový předmět (vruty, hřebíky, kolíky, atd.), mohlo by dojít při obrábění ke kolizi nástroje s tímto předmětem a nástroj by byl zničen (finanční ztráta). Přídávky na obrábění modelu a jaderníku se volí zhruba od 8 mm do 15 mm. Kdyby byly menší než tyto uvedené, nemuselo by dojít k obrobení některých částí modelu i jaderníku a musely by se tyto části doplnit tmely a přebrousit na požadovaný tvar. Dřevo je materiál, který neustále pracuje (krouť se, ohýbá se, atd.) a po slepení polotovaru může dojít k těmto jevům, pokud se zvolí špatná konstrukce tvaru polotovaru.

Postup přípravy polotovaru pro jaderník je podobný, ale liší se v provedené konstrukci. Pro určení přídávků pro opracování a zvolené konstrukce jaderníku je použito stejných vytisknutých výkresů jako pro model.



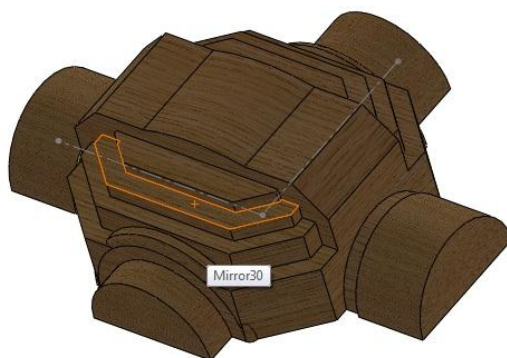
Obr. 8.15 Ukázka části pohledu modelu, vytisknutý na velikost papíru A0 v měřítku 1:1



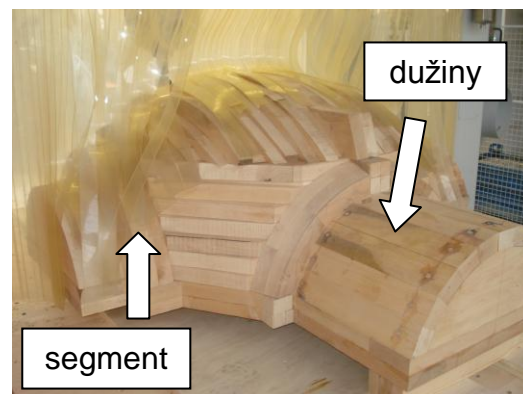
Obr. 8.16 Ukázka části pohledu modelu, vytisknutý na velikost papíru A0 v měřítku 1:1

8.5 Tvary polotovarů modelu a jaderníku

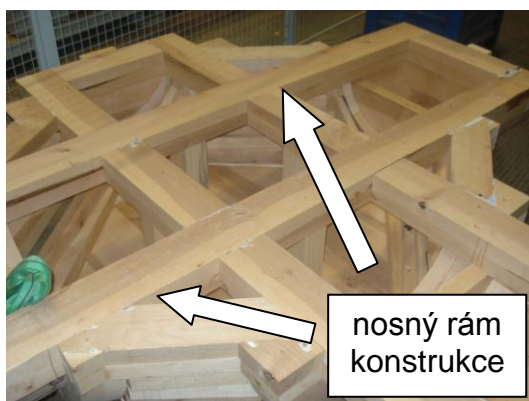
Tvar polotovaru modelu ve 3D viz. obr. 8.17, jsem trochu navýšil o nějaké přídavky tak, aby při obrábění nemohlo dojít ke kolizi nástroje s obrobkem. Některé dráhy nástroje budou obrábět prázdný materiál. Vyhneme se tak zbytečnému zastavení obrábění při předělávání programů. Tvar připraveného polotovaru modelu viz. obr. 8.18.



Obr. 8.17 Tvar polotovaru modelu ve 3D



Obr. 8.18 Tvar skutečného polotovaru modelu



Obr. 8.19 Konstrukce polotovaru modelu z pohledu dělicí roviny

Konstrukce modelu polotovaru je velmi přesně sestavena a důkladně slepena viz. obr. 8.19. Materiál polotovaru je dřevo olše.

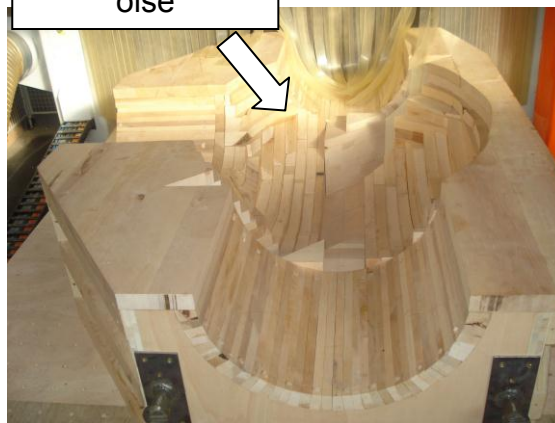
Tvar polotovarů pro jaderník č.1 je složen z rámové konstrukce a vyplněn přídatným materiálem tak, aby tvar odpovídal tvaru jádra s přídatkem na obrábění 8 až 15 mm. Tvar je bez žebra, bude vloženo až při obrábění středového tvaru žebra. Materiál polotovaru rámu konstrukce viz. obr. 8.20 je dřevo laťovka (vlastnostmi tohoto lepeného dřeva se nebudeme zabývat, slouží jen pro konstrukci) a výplň tvaru polotovaru je dřevo olše viz. obr. 8.21.

Rám konstrukce jaderníku
ze dřeva laťovka



Obr. 8.20 Tvar konstrukce rámu
jaderníku č.1 ze dřeva laťovka

Výplň materiál
olše

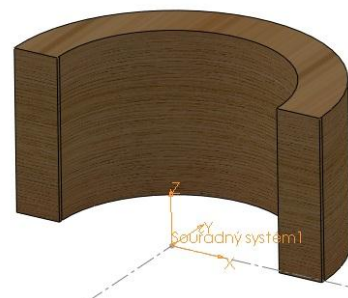


Obr. 8.21 Tvar skutečného polotovaru
jaderníku č.1

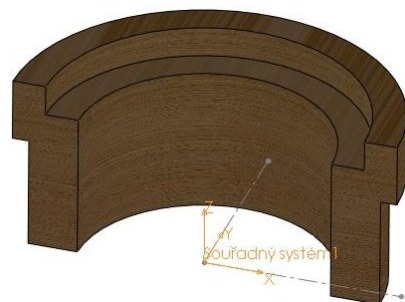
Tvar polotovarů pro jaderník č.2 je složen ze segmentové konstrukce dřeva olše tak, aby tvar odpovídal tvaru jádra s přídatkem na obrábění 8 až 15 mm. Jsou to celkem tři části polotovarů zobrazeno ve 3D viz. obr. 8.22, obr. 8.23 a obr. 8.24.



Obr. 8.22 Polotovaru ve 3D jaderník č.2
tvarová část a souřadný systém



Obr. 8.23 Polotovaru ve 3D jaderník č.2
tvar známky vršek a souřadný systém



Obr. 8.24 Polotovaru ve 3D jaderník č.2
tvar známky spodek a souřadný systém

Tvary polotovarů pro model a jaderníky jsou zhotoveny ze dřeva, připravím si podle těchto tvarů 3D modely polotovarů a promyslím si dopředu strategie obrábění.

9 VÝROBA MODELU A JADERNÍKU NA CNC STROJI

Strategie obrábění jsem promyslel už v přípravě modelu a jaderníků. Podle mého návrhu byly polotovary sestrojeny a všechny tyto tvary polotovarů byly navrženy tak, aby bylo možné je obrobit v co nejkratším čase, a aby ve výsledku splnily praktický účel modelového zařízení při formování, tj. (rozměrová přesnost, pevnost konstrukce, funkčnost soustavy, formovatelnost, atd.). Tvary modelu a jaderníků budou zhotoveny na CNC portálovém obráběcím centru DYNAMIC MAX HIGH.

9.1 Volba a parametry CNC stroje

Toto CNC frézovací centrum DYNAMIC je určeno pro výrobu tvarových i plošných součástí, zejména se specializuje na výrobu forem, obrábění plastů, frézování dřevěných dílů, různých typů hraček, atd. Frézovací centrum se vyrábí v 3osém až 5osém provedení. Stroj se dodává s řídicími systémy HEIDENHAIN iTNC530 a také SIEMENS SINUMERIK 840Di SL. Tento stroj je vhodný pro obrábění dřeva a jeho podobných materiálů, není možno obrábět ocel a jejich podobné materiály, maximálně lze obrábět Al slitiny, ale je nutno při obrábění přimazávat kapalinou nebo olejovou mlhou a přizpůsobit pracovní plochu stroje pro odvod kapaliny a odpadového materiálu (třísky) [13].



Obr. 9.1 Obráběcí portálové centrum DYNAMIC MAX HIGH

Více o tomto stroji najdete na stránkách firmy SAHOS,s.r.o výrobce CNC strojů a technologických celků. www.sahos.cz [13].

Tab. 9.1 Technické parametry stroje DYNAMIX MAX HIGH [13]

Technické parametry DYNAMIC HIGH MAX		
Název		FC4000CNC
Rozměr pracovní plochy	mm	4000 x 2200
Pracovní zdvih v ose X	mm	3900
Pracovní zdvih v ose Y	mm	2390
Pracovní zdvih v ose Z	mm	1090
Maximální šířka obrobku	mm	2390
Vzdálenost konce vřetena od stolu (KARTIT)	mm	1070
Vzdálenost konce vřetena od stolu (litina)	mm	1040
Vzdálenost konce vřetena od stolu (trámce Schmalz)	mm	950
Max. rychlost v ose X/Y/Z	m.min ⁻¹	40/25/25
Servomotor osa X/U/Y/Z	Nm	13/13/5,2/5,2
Pracovní prostor stroje DxŠxV	mm	6650x4060x3940
Hmotnost stroje	kg	6800

Tab. 9.2 Parametry naklápečí hlavy HS 652 5 os [13]

Hlava pro 5 os HS 652 s elektrovřetenem ES779 (5 os)		
Pracovní zdvih v ose C	°	±400
Pracovní zdvih v ose A	°	-0,115384615
Max. rychlost v ose C/A	°.min ⁻¹	5000/5000
Servomotor osa C/A	Nm	5,2/1,5
Upínací kužel		HSK F 63
Provozní otáčky	ot.min ⁻¹	0 - 22000
Výkon vřetena S1 (S6)	kW	10 (12)
Točivý moment	Nm	8

Tab. 9.3 Doplnující parametry stroje [13]

Doplnující technické parametry		
Jištění přípojky	A	40 - 50
Napětí	V	400
Připojovací průřez vodičů	mm ²	6.10
Frekvence	Hz	50 / 60
Přípojka tlakového vzduchu	MPa	0,6 – 1,0
Průměr přípojky vzduchu		1/4"
Spotřeba tlakového vzduchu	l.min ⁻¹	250
Připojovací průměr odsávání	mm	300
Výkon odsávání	m ³ .h ⁻¹	5000
Statický podtlak odsávání	pa	2500 - 3000
Rychlost odsávaného vzduchu	m.s ⁻¹	30

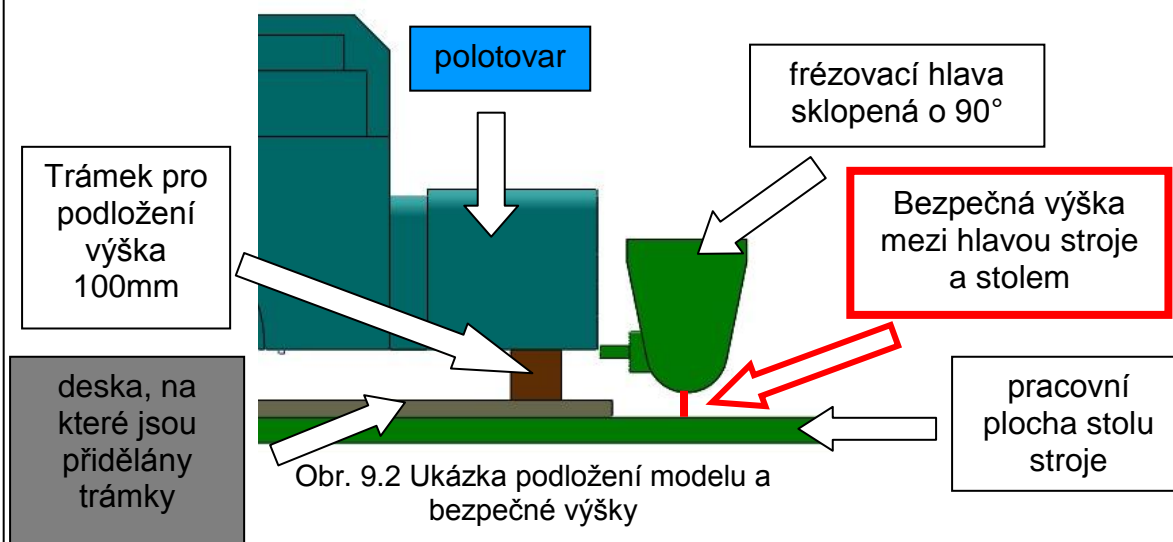
Tab. 9.4 Parametry výměníku nástrojů AVN12 [13]

Technické parametry výměníku nástrojů AVN12		
Počet lůžek		12
Max. průměr nástroje	mm	190
Max. hmotnost nástroje (úhlová hlava)	kg	3 (5)
Max. hmotnost všech nástrojů	kg	30
Čas samotné výměny	s	10
Čas výměny (metoda tříška – tříška)	s	18

9.2 Nastavení polotovaru modelu a jeho uchycení

Tato část celkového nastavení polotovaru modelu a jeho uchycení k ploše stolu CNC stroje je velmi důležitá a musí být velmi dobře promyšlená vzhledem k volbě obráběcích strategií v programování modelu.

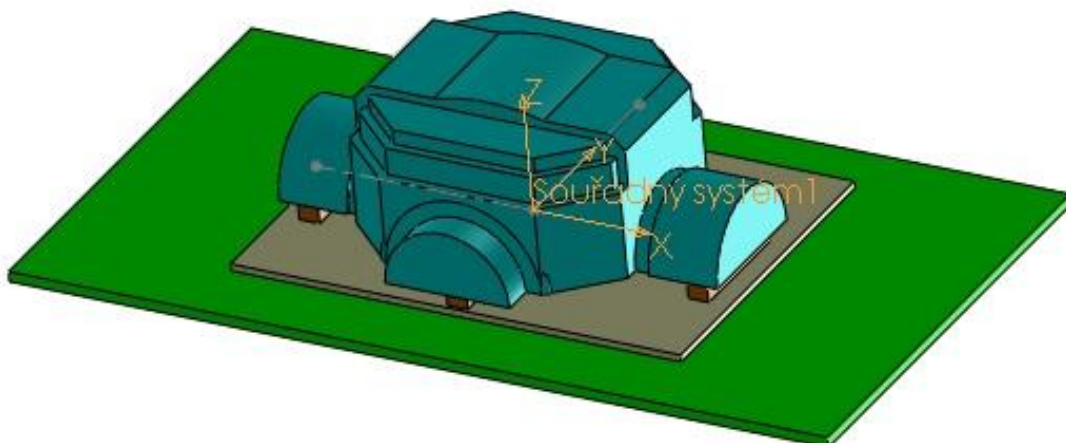
Ze spodní části polotovaru modelu jsou přidělaný tři trámky ze dřeva pro podložení, jsou přesně připravené na výšku a jsou přidělaný vruty. Výška trámku byla stanovena na 100 mm. Je to bezpečná výška, kdy se hlava frézky skloní o úhel 90° a osa nástroje a nejvyšší bod hlavy je menší než 100 mm a nedojde při obrábění takto skloněnou hlavou ke kolizi mezi stolem stroje a hlavou frézky viz. obr. 9.2. Trámky nesmí přesahovat tvar hotového modelu viz. obr. 8.18.



Nastavení nástrojů pro obrábění bylo použito dotykové sondy TT 140 pro měření nástrojů, délky, průměru a nastavení korekcí. Při měření se může nástroj otáčet nebo může být v klidu. Sonda se umísťuje do pracovního prostoru stroje a je přidělaná šroubem M8 k pracovnímu stolu [13].



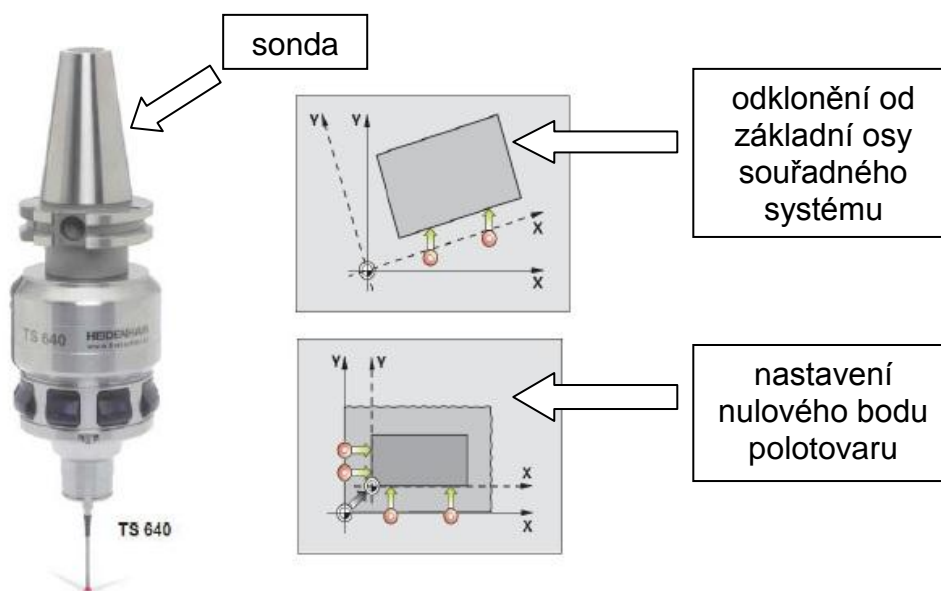
Obr. 9.3 Dotyková sonda na měření nástrojů [13]



Obr. 9.4 Ukázka ustavení polotovaru modelu spodek na pracovní plochu stolu stroje

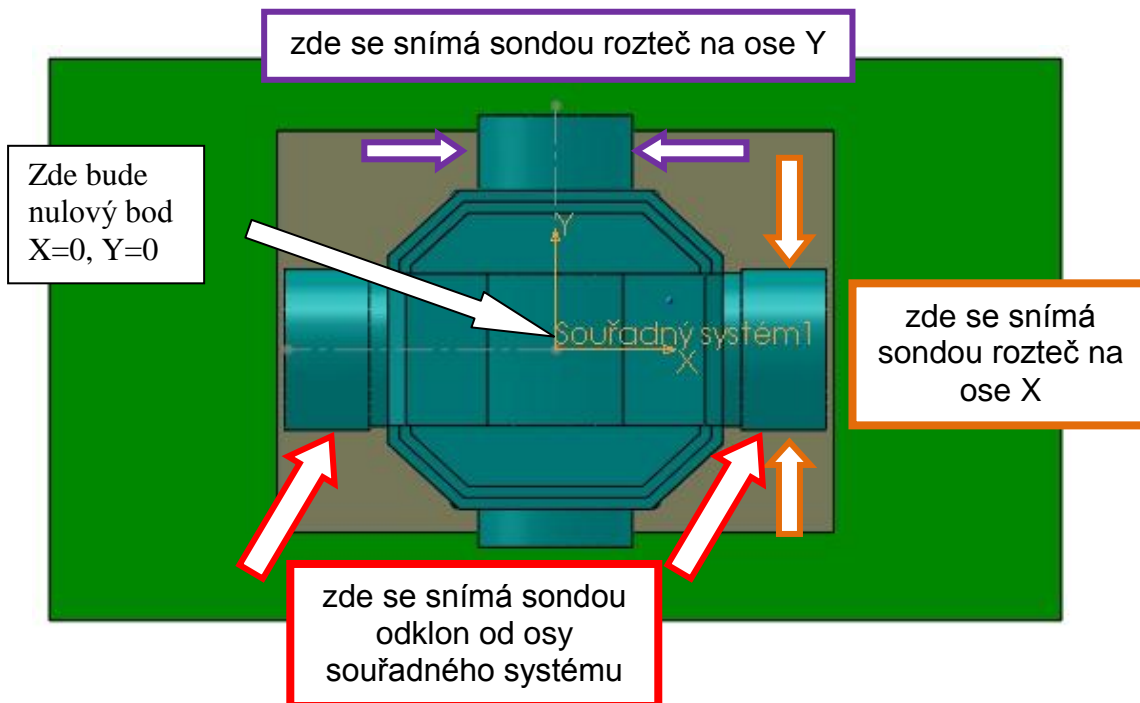
Nastavení nulového bodu polotovaru (souřadného systému) je provedeno sondou na ustavení obrobků TS 640 HEIDENHAIN viz. obr. 9.5 a vybranými funkcemi pro toto nastavení. Tyto funkce jsou přímo v systému HEIDENHAIN iTNC530.

Kompensací odklonění od základní osy souřadného systému viz. obr. 9.5, nebo nastavení nulového bodu polotovaru, jako je např.: na rohu dílce, ve středu roztečné kružnice nebo středu oblouku, apod. [13].

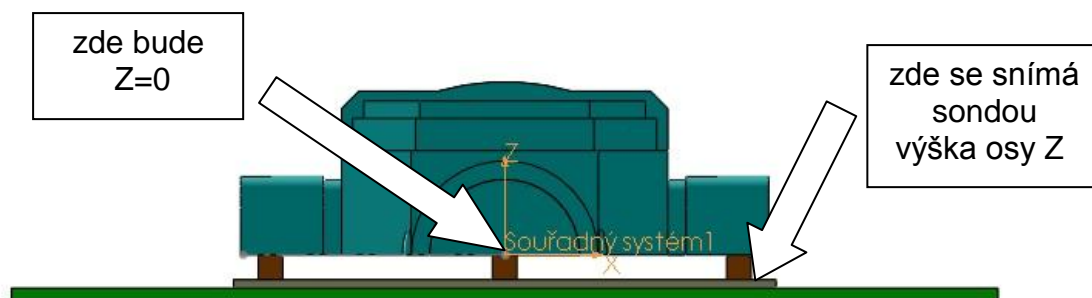


Obr. 9.5 Sonda TS 640 HEIDENHAIN a nastavení nulového bodu polotovaru [13]

Celkový popis nastavení polotovaru a nulového bodu modelu vršek je viz. obr. 9.6, obr. 9.7. Podobné nastavení se provede i na vršku a spodku jaderníku č.1, a č.2.



Obr. 9.6 Zobrazení souřadného systému (nulového bodu) polotovaru modelu vršek



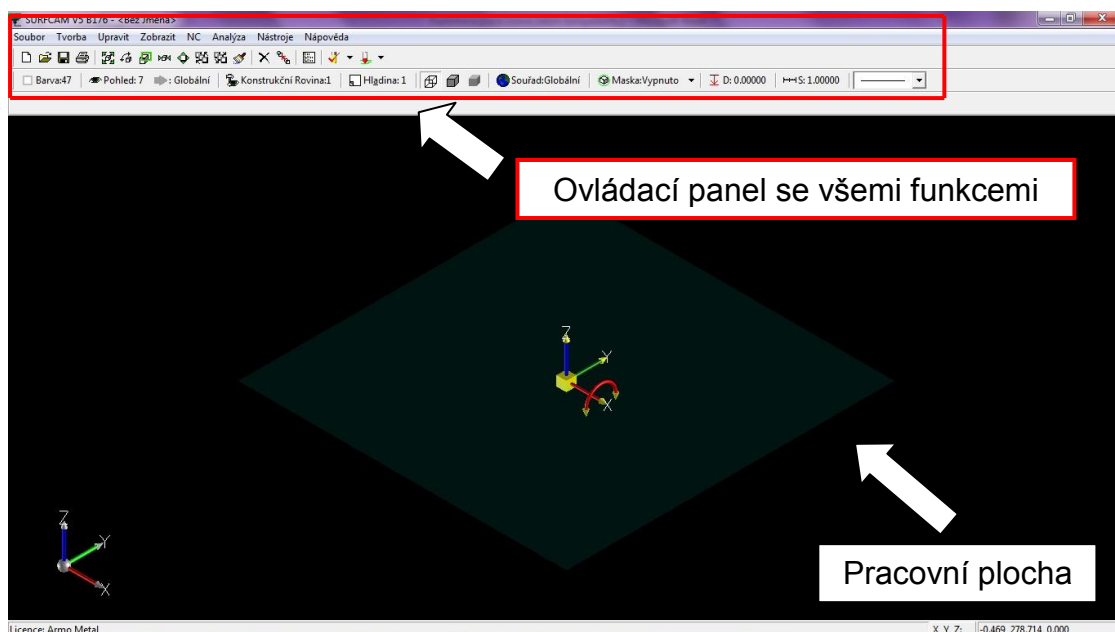
Obr. 9.7 Zobrazení souřadného systému (nulového bodu) polotovaru modelu vršek

9.3 Systém SURFCAM V5

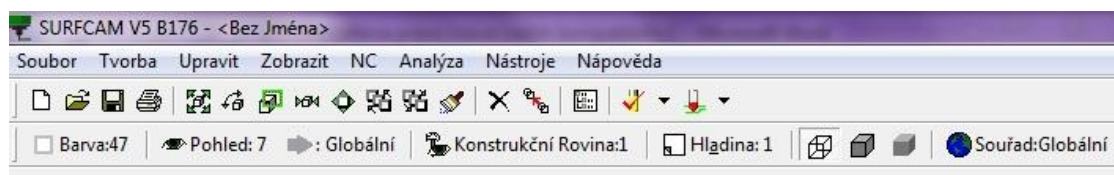
Systém SURFCAM V5 je nejrozšířenější na českém trhu. Umožňuje řídit 2 až 5osé frézky, soustruhy a další CNC obráběcí stroje. Obsahuje špičkovou technologii TrueMill, která automaticky přizpůsobuje uhel styku dráhy nástroje s obrobkem, aby nepřekročil maximální povolenou hodnotu. Technologické výhody jsou zejména snížení nákladů na výrobu, zkrácení výrobních časů, delší životnost nástroje, větší efektivita a produktivita obrábění součástí [15].

Systém SURFCAM V5 je schopen otevřít velkou škálu datových formátů, např.: parasolid, iges, catia 5, solidedge, step, ale také solidworks(sldprt.).

SURFCAM V5 ukládá data s příponou (.scprt) a tento soubor lze kdykoliv otevřít a popřípadě upravit data na jiné požadavky.



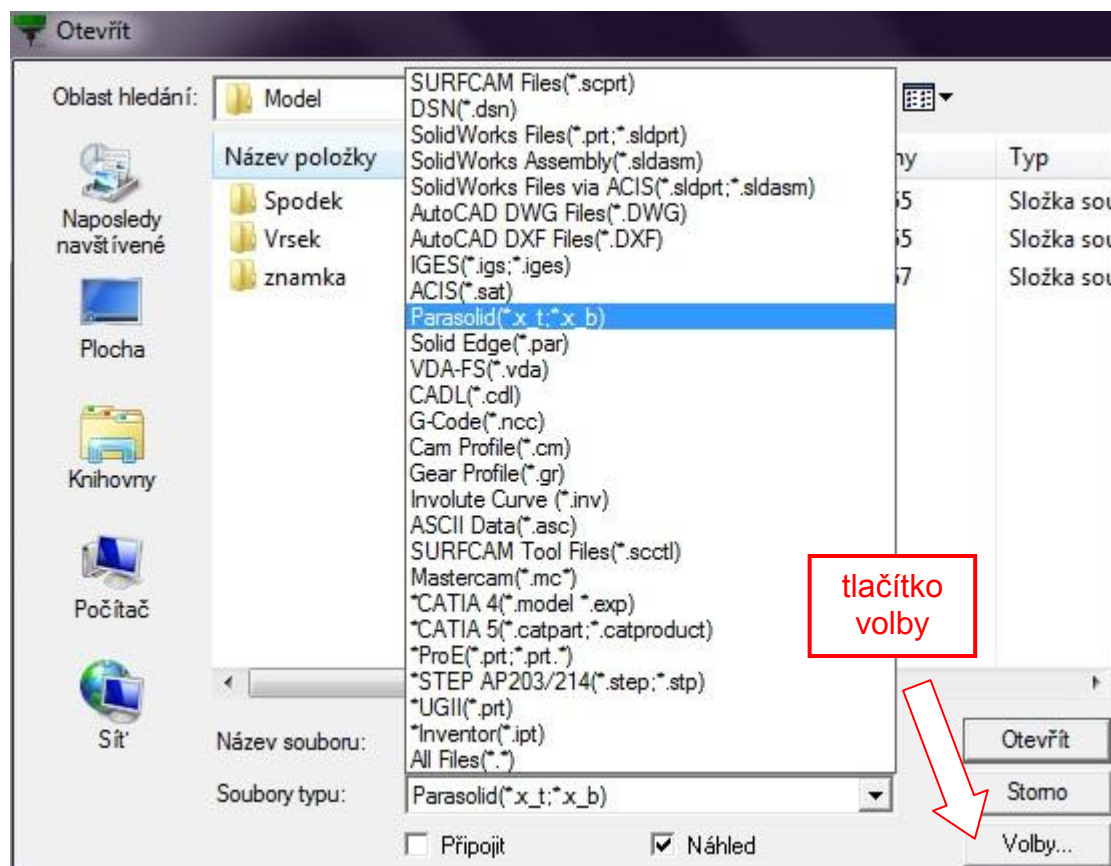
Obr. 9.8 Pracovní prostředí systému SURFCAM V5



Obr. 9.9 Ovládací panel systému SURFCAM V5

9.4 Import Modelu

Import modelu do systému SURFCAM V5 se provádí otevřením formátů souborů pro komunikaci mezi softwary a v nejlepším případě pro tuto variantu ze systému SolidWorks do systému SURFCAM je formát souboru parasolid (.x_t). Postup je následující, **soubor** > **otevřít** > zvolit otvíraný soubor **parasolid** > **volby** (zde si navolit barvy a čísla hladin ploch, drátové geometrie a přesnosti promítání (je to velice potřebné pro další práci s obráběním součástí) > potvrdit **ok** > **otevřít** viz. obr. 9.10, obr. 9.11. Potom zvolit vhodný název souboru a uložit data s příponou (.scprt) a tento soubor lze kdykoliv otevřít a popřípadě upravit data na jiné požadavky obrábění.



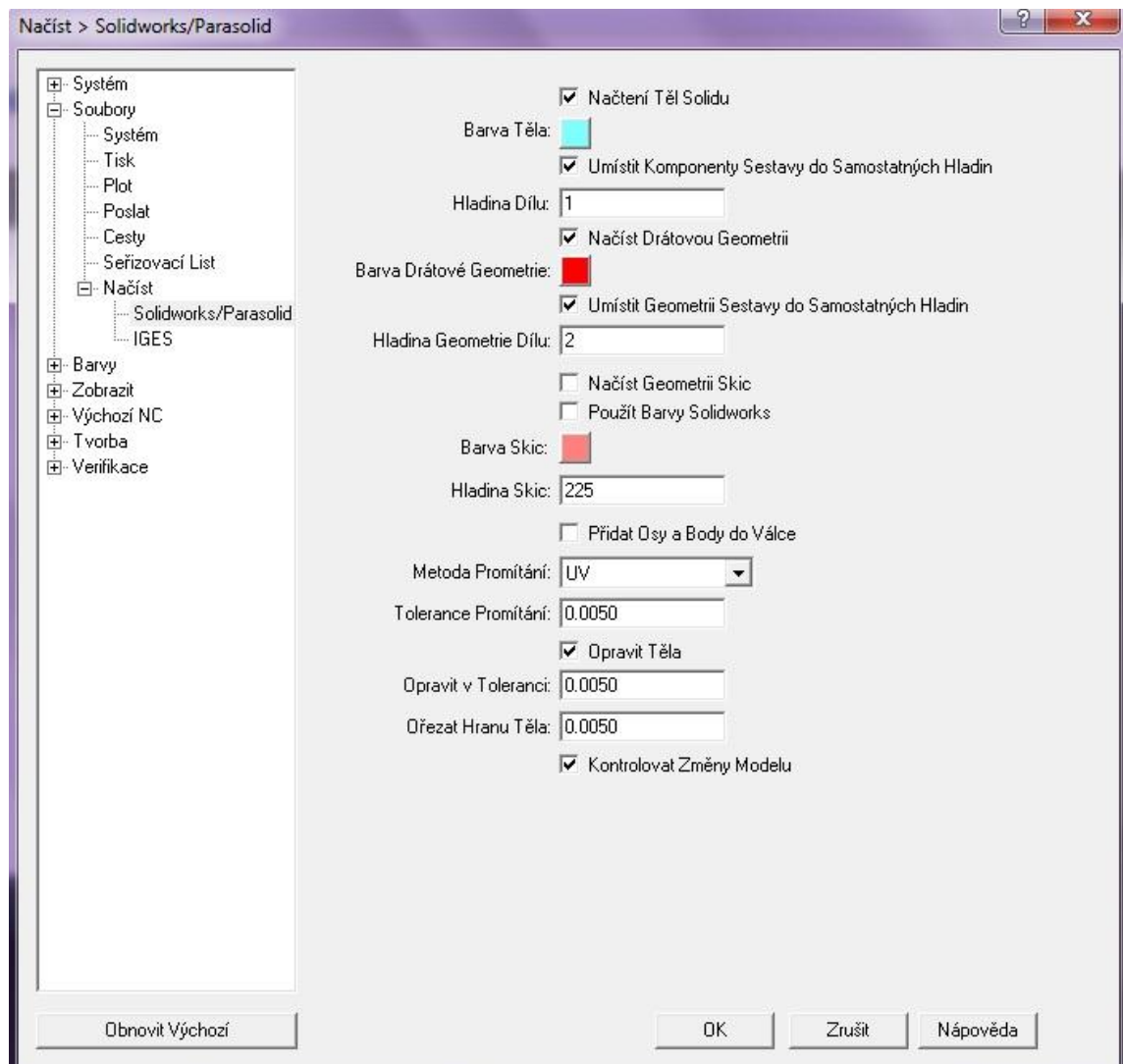
Obr. 9.10 Otevírací panel pro volbu souboru parabolid a jeho příponu v SURFCAM V5

Všechna tato prvotní nastavení vedou k dalším krokům a práci v systému SURFCAM. Každý model i polotovár má vlastní drátovou geometrii, vlastní barvu hladiny a také číslo hladiny a proto je možné tyto modely či polotovary samostatně skrývat, zobrazovat a vybírat plochy k obrábění.

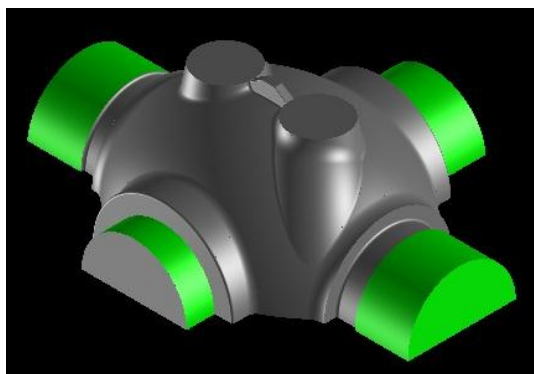
Jednotný tvar polotovaru modelu a jaderníku jsem rozdělil a připravil v systému SolidWorks tak, aby bylo možné tento tvar modelu a jaderníku obrobít navrženou obráběcí strategií. Budu používat indexované 3osé a klasické 5-osé programování, proto toto rozdělení polotovarů. Rozdělené části polotovarů budou zobrazeny v systému SURFCAM V5.

Vršek modelu byl načten jako celek a jeho polotovár byl rozdělen na deset samostatných dílů a také samostatně načteny. Je to z důvodů možnosti obrábění tvarů modelu a možnosti volby frézovacích nástrojů.

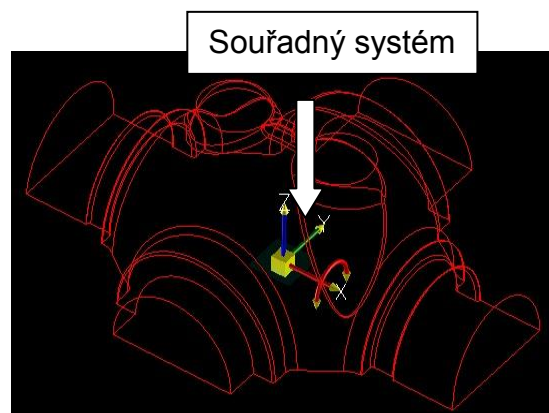
Při obrábění spodku a vršku modelu i jaderníku budou použity stejné strategie obrábění, proto zde předvedu pouze obrábění vršku modelu. Jaderník č.1 a části jaderníku č.2, budou jen vizuálně zobrazeny na obrázcích jaký mají tvar.



Obr. 9.11 Ovládací panel tlačítka **volby** v SURFCAM V5, volba barvy a hladin dílu, volba drátové geometrie, nastavení tolerancí promítání, toleranci opravy těl a hran

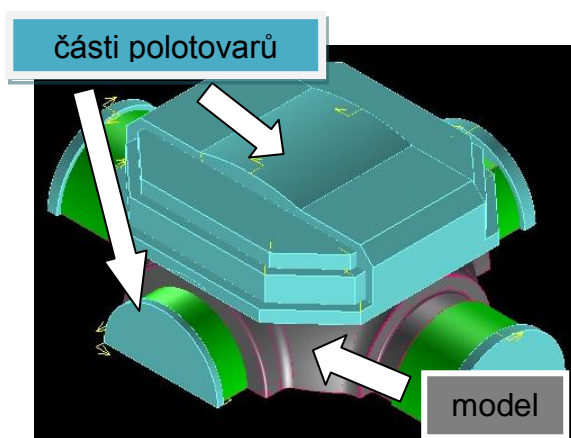


Obr. 9.12 Zobrazení načteného modelu vršek a barva hladin ploch modelu

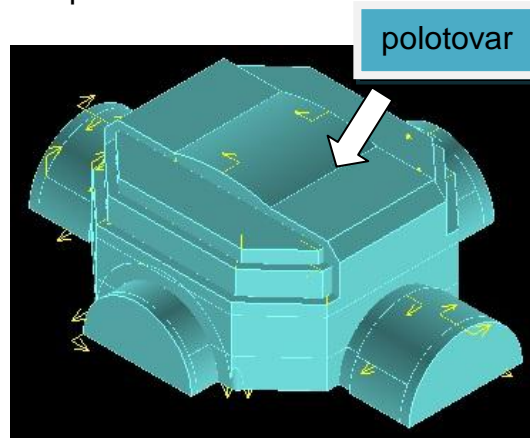


Obr. 9.13 Zobrazení načtené geometrie modelu vršek a barva hladiny a souřadného systému

Postupně se načtou (importují) všechny části polotovarů modelu a zvolí se jim příslušné barvy a čísla hladin ploch a jejich geometrie. Na obr. 9.15 je modře zobrazeno celkové načtení všech částí polotovarů modelu.



Obr. 9.14 Zobrazení načtení částí polotovarů modelu a jeho drátové geometrie

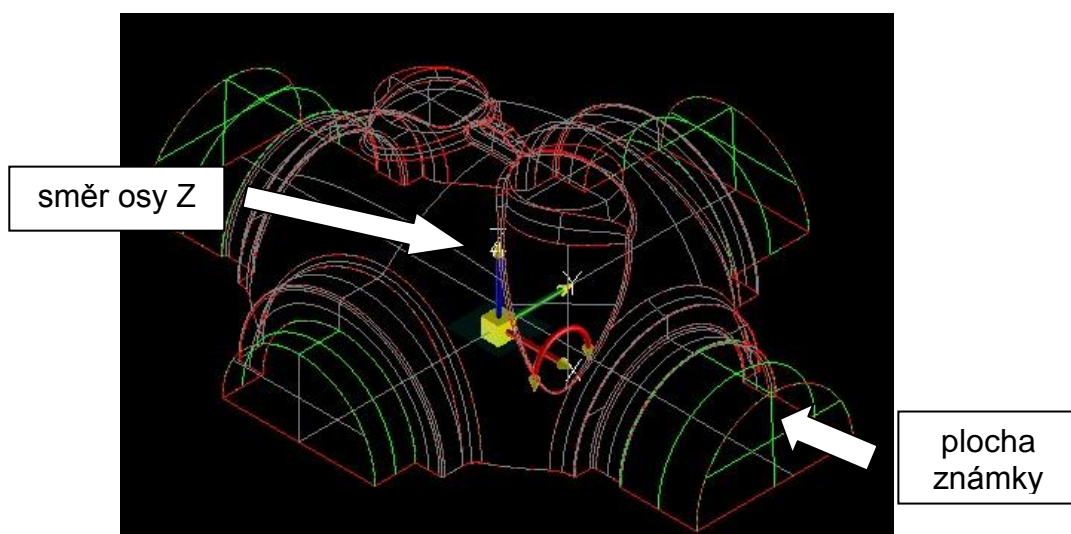


Obr. 9.15 Zobrazení načtení všech částí celého polotovaru modelu a jeho drátové geometrie

9.5 Volba strategie obrábění modelu vršek

Model se bude obrábět postupně, za prvé se použije indexované 3osé programování na hrubování a šlichtování, a také se použije klasické 3osé a 5osé obrábění. Nejprve se budou obrábět, čela známek modelu pak se bude postupovat shora modelu dolů a bude se různě vyklánět frézovací hlava, aby se obrobil celý model na požadovaný tvar.

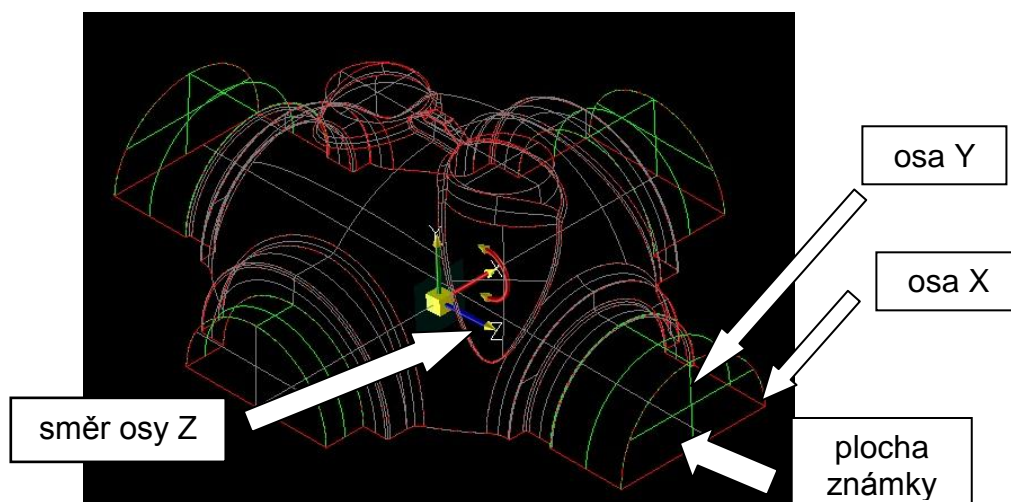
Indexované programování je, že se vyklání souřadný systém v softwaru tak, jak budeme chtít, aby frézovací hlava obráběla materiál obrobku, ale pořadí zůstává nulový bod ve stejném místě. Je to tzv. 3-osé obrábění (vyklánění souřadného systému) s použitím 5 os stroje. Lze tak hrubovat, šlichtovat, obrábět plochy, rádiusy, atd., ale je nutno použít při generování takového programu postprocesor pro 5-osé programy.



Obr. 9.16 Původní souřadný systém, osa Z směřuje směrem nahoru

Tento obrázek viz. obr. 9.17 zobrazuje směr osy Z směrem k ploše známky, která je vykloněná o 3° a bude se obrábět válcovou frézou $\phi 25\text{mm} \times 95\text{mm}$ vyložení a programovat se bude klasicky 3-osým způsobem. Nastavení takového souřadného systému se provedlo příkazy: zvolit **konstrukční rovinu** > **nový pohled** > zvolit políčko **3body** > a vybrat směr osy X, Y (na ploše známky), Z a počátek v nulovém bodě **políčkem klávesnice X=0, Y=0, Z=0** > potvrdit **ok**. Tím se nastaví pohled a směr osy Z viz. obr. 9.17.

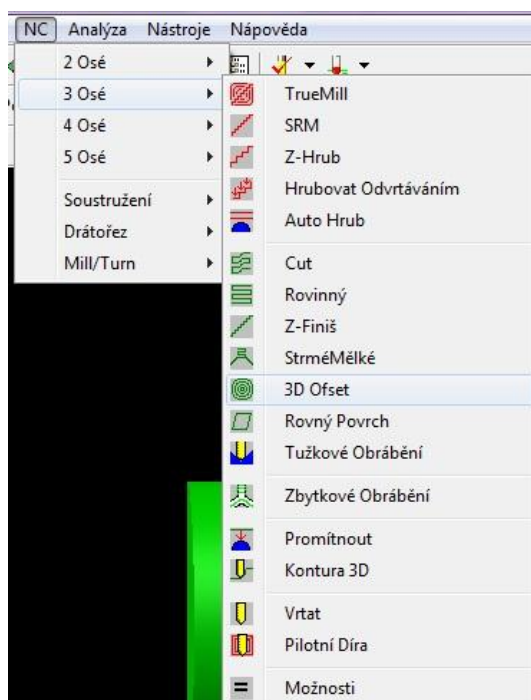
Dále se v tomto případě obrábění částí modelu, postupuje při nastavení dalších nových pohledů stejně.



Obr. 9.17 Natočení souřadného systému, osa Z směřuje k ploše známky

9.5.1 Obrábění čela známky modelu spodek

Pro NC operaci **Z-Hrub** – Jedná se o programy **hrub1,2,3,4**, frézování čela indexovaným 3-osým hrubováním známky. Operace bude provedena válcovou stopkovou frézou o průměru $D_c=25\text{ mm}$, celkové délky $L=121\text{ mm}$ a vyložení nástroje $l=95\text{ mm}$ od firmy KARNASCH. Tato fréza je vhodná k bočnímu frézování, čelnímu frézování, zavrtávání, rampování. Obráběcí nástroj je také vhodný k obrábění oceli, hliníkových slitin, ale také k obrábění nekovových materiálů i dřeva. Vhodnost takového nástroje spočívá ve tvaru břitů, které jsou ve šroubovici a při frézování nedochází k odlamování dřeva.



Obr. 9.18 Výběr NC operací v systému SURFCAM

Řezné podmínkyVýpočet otáček [5]:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (9.1)$$

kde: n ...otáčky [min^{-1}]
 V_c ...řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
 D ... průměr nástroje [mm]
 π ...Ludolfovo číslo

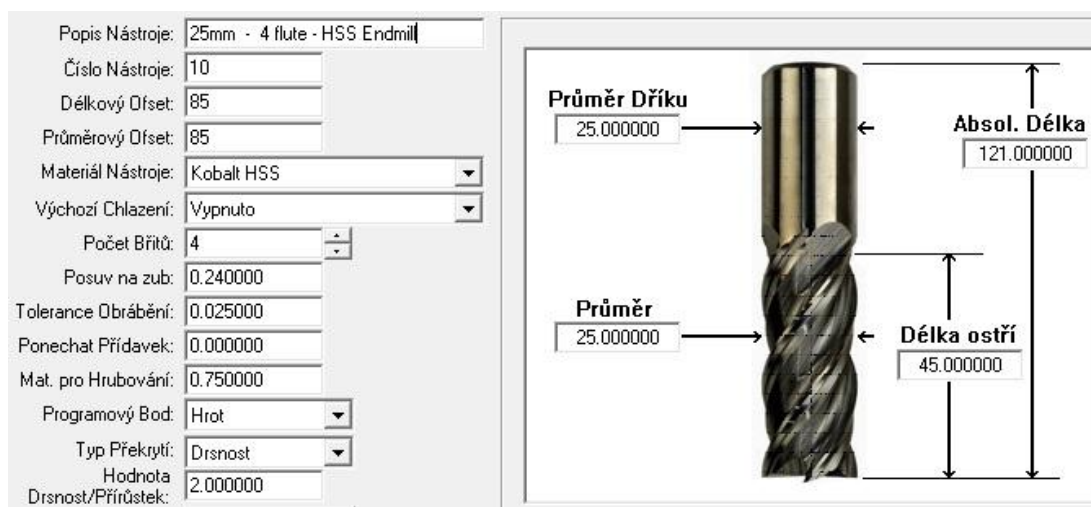
Výpočet posuvové rychlosti V_f [5]:

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (9.2)$$

kde: n ...otáčky
 z ... počet zubů
 f_z ...posuv na zub

Pro NC operaci **Z-Hrub** – Tato operace slouží k odebrání maximálního množství materiálu hrubováním za co nejkratší čas a také jako příprava povrchu a tvaru materiálu před dokončující operací. Tato operace bude u všech čtyř čel známek stejná, jen se změní poloha nástroje k jinému souřadnému pohledu.

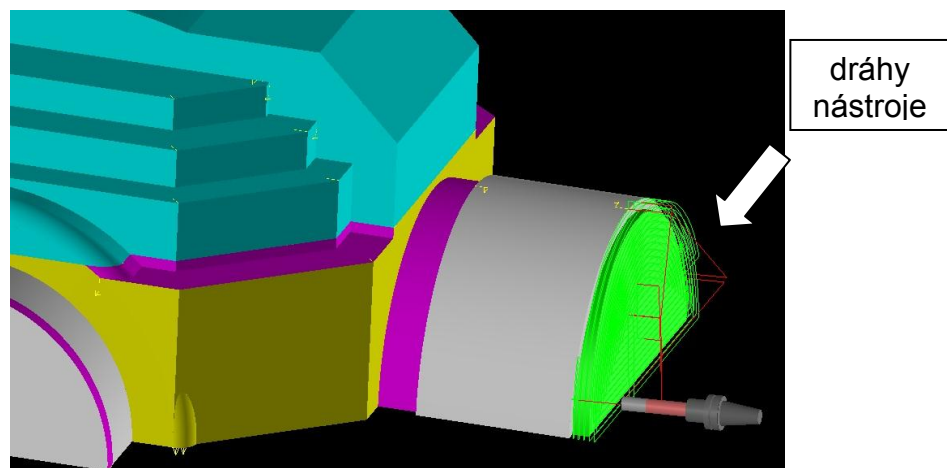
Postup při **Z-Hrub**, nejprve vybereme příkaz Z-Hrub, v nabídce NC programů na hlavním panelu v systému SURFCAM V5, pak zvolím způsob zadání parametrů, jak budu chtít obrábět. Budeme obrábět plochy polotovaru modelu, tak si nejprve zvolím plochy hotového modelu, potom vyberu plochy polotovaru a dále následuje volba všech potřebných parametrů pro obrábění hrubováním (nástroj, řezná rychlost, posuv na zub, atd. viz. obr. 9.19 a viz. tab. 9.5. Postup v dalším programování drah nástroje hrubování, je stejný.



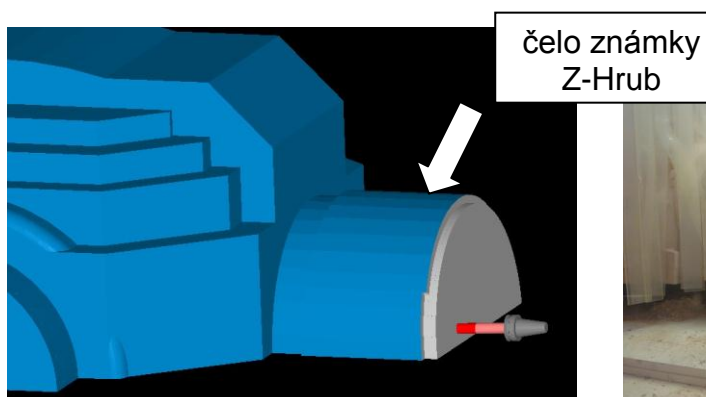
Obr. 9.19 Parametry nástroje pro Z-Hrub v systému SURFCAM pro čela známek

Tab. 9.5 Parametry obráběcí strategie pro programy **hrub 1,2,3,4**

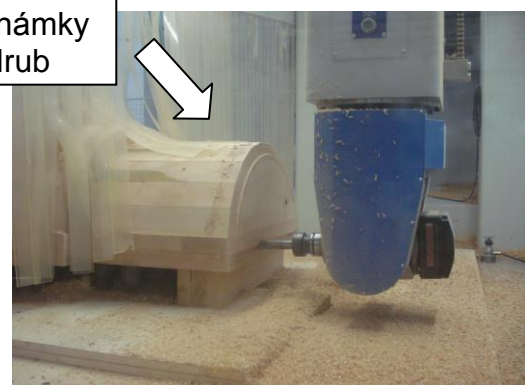
Parametry obrábění - ZHrub		
	hodnota	jednotky
Operace obrábění	Z-Hrub	
Nástroj	válcová stopková fréza $\phi 25$	mm
Otáčky	6366	min^{-1}
Posuv	7333,8598	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zavrtávací posuv	3666,9299	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Řzná rychlost	500	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Tříska při posuvu	0,288	mm
Posuv na zub	0,240	mm
Způsob obrábění	sousledné	
Ponechat přídavek	0,75	mm
Velikost kroku v Z	10	mm
Velikost kroku v XY	12,5	mm
Způsob kapsování	spirála	



Obr. 9.20 Výpočet drah nástroje pro obráběcí strategii Z-Hrub (čelo známky)



Obr. 9.21 Verifikace obráběcí strategie pro Z-Hrub (čelo známky)



Obr. 9.22 Ukázka obrábění čela známky pro Z-Hrub

Schaftfräser, kurz
multi flute end mills, short

43.2413

UNI GG/G
cast iron

STAHL steel
< 1400 N/mm

INOX stainless
steel

NE non-ferrous

TITAN < 1100
N/mm

HRC < 45

Ausführung: Mehrschneiden Fräser, stirnseitig bis zur Mitte schneidend. Exzentrischer Hinterschliff. Zylinderschaft, kurze Ausführung, $\approx 40^\circ$ Rechtsspirale. Zylindrischer Schaft mit Mitnahmefläche nach DIN 1835 B.

Werkstoff: HSSE-Co 8 Hochleistungs-Schnellstahl mit 8 % Cobalt legiert. Oberfläche mit DVC-H2-beschichtet.

Verwendung: Großer Anwendungsbereich bei Werkstoffen mit mittlerer bis hoher Festigkeit und Härte bis 1200 N/mm².

Application: DVC-H2-coating-Single-End Mills, short with straight shank and drive flat to DIN 1835 B, approx. $\approx 40^\circ$ spiral, end teeth cutting to centre.

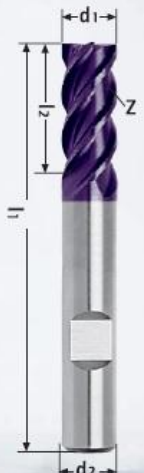
HSSE Co8 DIN 844 K-B

N DIN 1835 Form B

40°

UNI

DVC-H2



d1 k9	l2	d2 h6	fl	Z	Stück/Euro
▲ 3,0	8	6	52	4	€
• 6,0	13	6	57	4	€
• 8,0	19	10	69	4	€
• 10,0	22	10	72	4	€
• 12,0	26	12	83	4	€
• 14,0	26	12	83	4	€
• 16,0	32	16	92	4	€
• 18,0	32	16	92	4	€
• 20,0	38	20	104	4	€
• 25,0	45	25	121	6	€
• 30,0	45	25	121	6	€

Ø 6 - 20 Ø 25 - 30

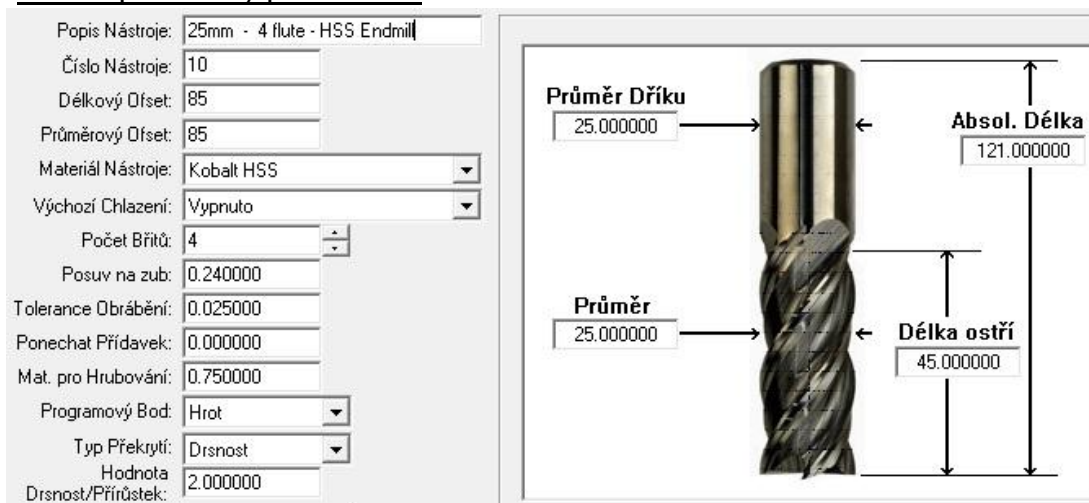
Obr. 9.23 Parametry nástroje válcová stopková fréza $\phi 25$ mm a délky 121mm od firmy KARNASCH [9]

9.5.2 Hrubování vrchní části modelu

Pro NC operaci **Z-Hrub** – Jedná se o dva programy vrchní části modelu, frézování klasické 3-osé, vrchní části modelu vršek, bude válcovou stopkovou frézou o průměru $D_c=25$ mm, celkové délky $L=121$ mm a vyložení nástroje $L=95$ mm a druhou válcovou frézou o průměru $D_c=25$ mm, celkové délky $L=236$ mm a vyložení nástroje $L=180$ mm, obě od firmy KARNASCH.

Pro NC operaci **Z-Hrub vrchní část 1** – Tato operace slouží k odebrání maximálního množství materiálu hrubováním za co nejkratší čas a také jako příprava povrchu a tvaru materiálu před dokončující operací. Tato operace odebere materiál do určité výšky polotovaru tak, aby délka nástroje vysunutí $L=95$ mm, byla maximálně využita. Při takovém hrubování výšky vrchní části modelu zhruba 400 mm je vhodné využít prvně kratší nástroje a potom dále tuto délku vyložení nástroje prodlužovat. Čím kratší vyložení nástroje, tím větší posuvy můžeme použít. Při obrábění dřeva toto pravidlo tak, zcela neplatí, je nutno dbát na složení a strukturu dřeva polotovaru, aby nedocházelo k odlamování a štípání polotovaru modelu. Na CNC stroji je možno plynule řídit rychlost posuvu a otáček přímo v průběhu obrábění.

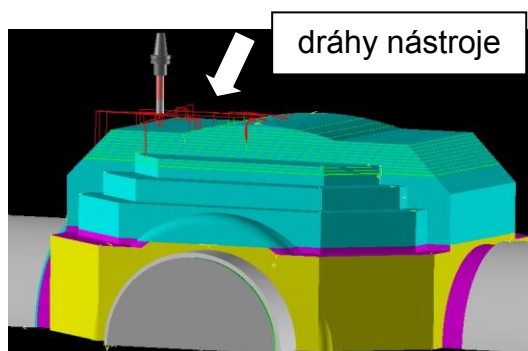
Řezné podmínky pro Z-Hrub



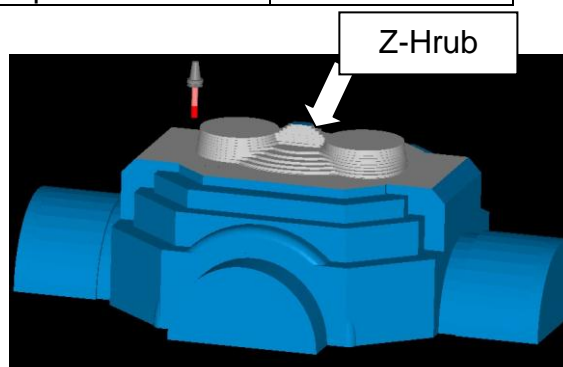
Obr. 9.24 Parametry nástroje pro Z-Hrub v systému SURFCAM, vrchní část modelu vršek

Tab. 9.6 Parametry obráběcí strategie pro programy **hrub5** vrchní část 1

Parametry obrábění – ZHrub		
	hodnota	jednotky
Operace obrábění	Z-Hrub	
Nástroj	válcová stopková fréza $\phi 25$	mm
Otáčky	6366	min^{-1}
Posuv	7333,8598	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zavrtávací posuv	3666,9299	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Řezná rychlost	500	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Tříska při posuvu	0,288	mm
Posuv na zub	0,240	mm
Způsob obrábění	sousledné	
Ponechat přídavek	0,75	mm
Velikost kroku v Z	10	mm
Velikost kroku v XY	12,5	mm
Způsob kapsování	spirála	



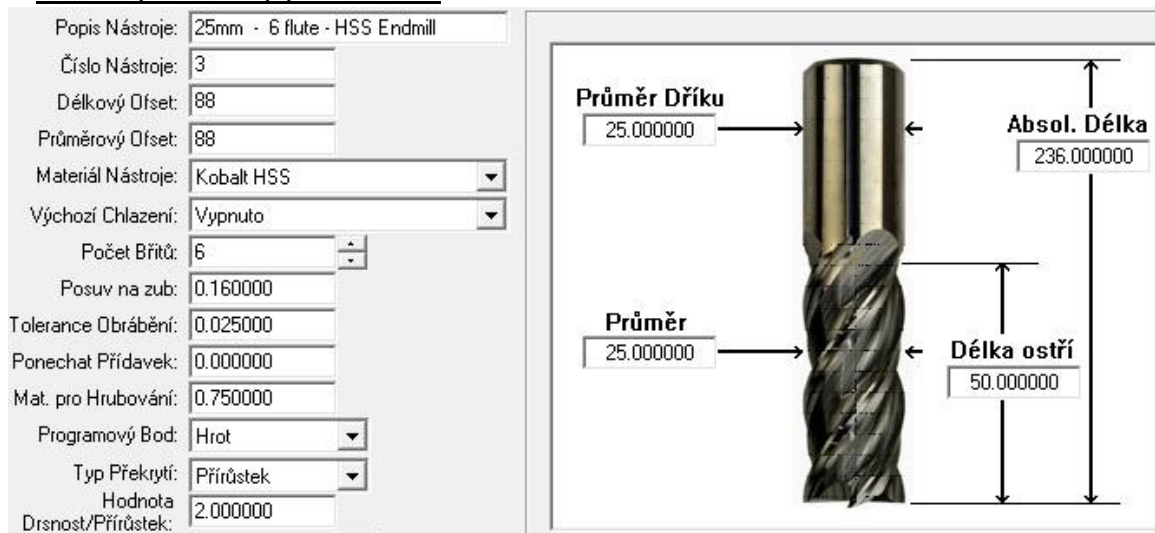
Obr. 9.25 Výpočet drah nástroje pro obráběcí strategii Z-Hrub (vrchní část modelu)



Obr. 9.26 Verifikace obráběcí strategie pro Z-Hrub (vrchní část modelu)

Pro NC operaci **Z-Hrub vrchní část 2** – Druhý nástroj válcová stopková fréza viz. obr. 9.26 o průměru $D_c=25$ mm, celkové délky $L=236$ mm a vyložení nástroje $L=180$ mm se obrobí druhá část tvaru výšky od 430 mm do 180 mm výšky polotovaru (výška od dělicí roviny). Tohle je klasické 3-osé hrubování.

Řezné podmínky pro Z-Hrub



Obr. 9.27 Parametry nástroje pro Z-Hrub 2 v systému SURFCAM, vrchní část modelu vršek

Tab. 9.7 Parametry obráběcí strategie pro program **hrub6 vrchní část 2**

Parametry obrábění – ZHrub		
	hodnota	jednotky
Operace obrábění	Z-Hrub	
Nástroj	válcová stopková fréza $\phi 25$	mm
Otáčky	6366	min^{-1}
Posuv	7333,8598	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zavrtávací posuv	3666,9299	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Řezná rychlost	500	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Tříska při posuvu	0,288	mm
Posuv na zub	0,240	mm
Způsob obrábění	sousledné	
Ponechat přídavek	0,75	mm
Velikost kroku v Z	10	mm
Velikost kroku v XY	12,5	mm
Způsob kapsování	spirála	

Schaftfräser, Schlichtfräser mit überlanger Reichweite
multi flute end mills, extra long

44.2540

UNI **GG/G**
cast iron

STAHL
steel
< 1400 N/mm

INOX
stainless steel

NE
non-ferrous

TITAN
< 1100 N/mm

HRC
< 45

Ausführung: Mehrschneidiger Schlichtfräser, Zylinderschaft nach DIN 1835 B, $\approx 35^\circ$ Rechtsdrill, Zentrumschnitt, überlange Reichweite.

Werkstoff: HSSE/Co8 Hochleistungs-Schnellstahl mit 8 % Cobalt legiert.

Verwendung: Für normale bis feste Werkstoffe > 1000 N/mm². Besonders an tiefliegenden bzw. schwer zugänglichen Stellen einsetzbar.

Application: End milling cutter with straight shank and drive flat to DIN 1835 B. Extra long range.

HSSE
Co8

KARNASCH
NORM

N

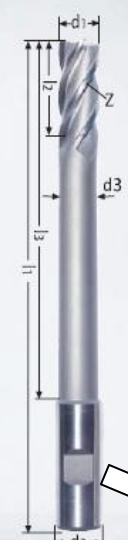
DIN 1835
Form B

35°

UNI

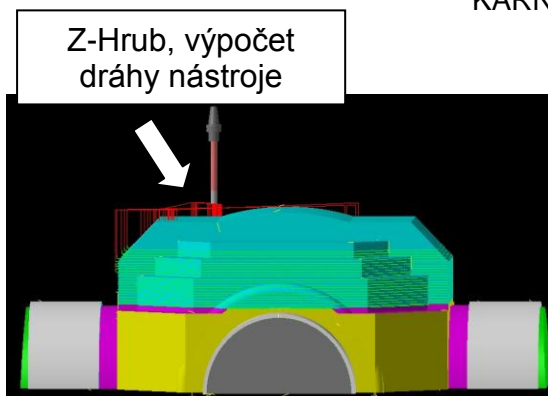
**UNBE-
SCHICHTET**
UNCOATED

Diese Werkzeuge sind zum nachträglichen beschichten geeignet. (siehe Beschichtungstabelle)

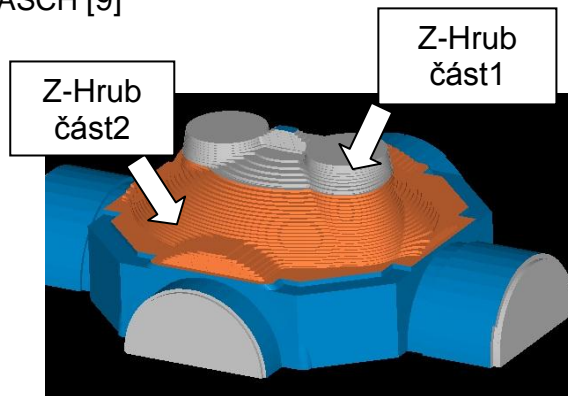


d1 k10	l3	d2 h6	d3	l1	l2	Z	Stück/Euro
10,0	55	10	9	95	22	4	€
12,0	55	12	11	100	22	4	€
12,0	80	12	11	125	26	4	€
14,0	70	14	13	115	30	4	€
16,0	75	16	15	123	32	4	€
16,0	90	16	15	138	32	4	€
18,0	90	20	17	140	40	4	€
18,0	130	20	17	180	40	4	€
18,0	160	20	17	210	40	4	€
20,0	80	20	19	130	40	4	€
20,0	100	20	19	150	40	4	€
20,0	135	20	19	185	40	4	€
25,0	110	25	24	160	50	6	€
25,0	140	25	24	190	50	6	€
25,0	160	25	24	210	50	6	€
25,0	180	25	24	236	50	6	€
32,0	100	32	31	160	65	6	€
32,0	150	32	31	210	65	6	€
32,0	200	32	31	260	65	6	€
40,0	150	40	39	220	65	6	€
40,0	200	40	39	270	65	6	€

Obr. 9.28 Parametry nástroje válcová stopková fréza $\phi 25$ mm a délky 236mm od firmy KARNASCH [9]



Obr. 9.29 Výpočet drah nástroje pro obráběcí strategii Z-Hrub 2 (vrchní část modelu)

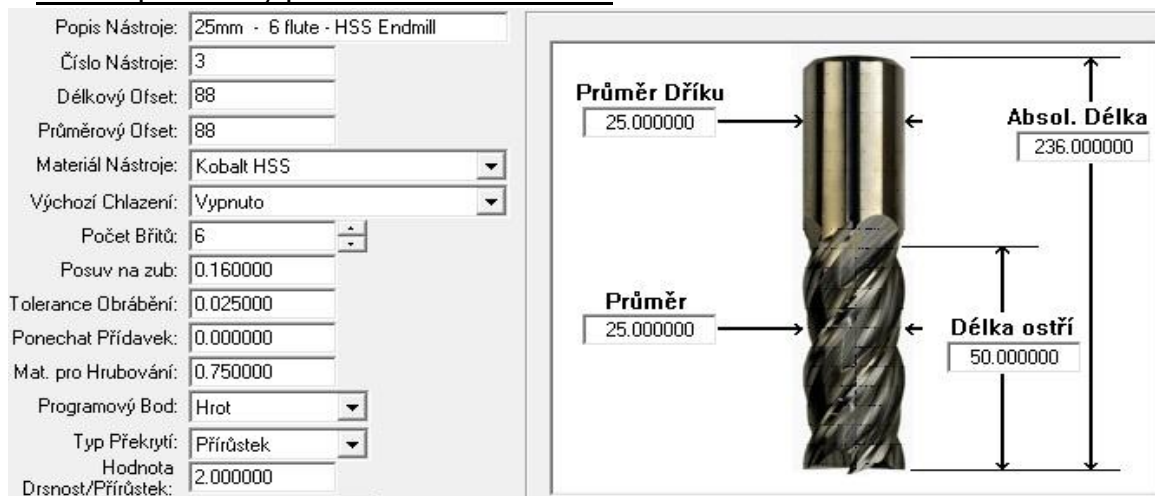


Obr. 9.30 Verifikace obráběcí strategie pro Z-Hrub 2 (vrchní část modelu)

9.5.3 Hrubování bočních částí modelu

Pro NC operaci **Z-Hrub** – Zde je použito indexované 3-osé hrubování k obrobění zbývajících čtyř částí polotovaru modelu vršek. Obráběcím nástrojem bude válcová stopková fréza viz. obr. 9.28 o průměru $D_c=25$ mm, celkové délky $L=236$ mm a vyložení nástroje $L=180$ mm. Nastavení sklonění obráběcí roviny viz. obr. 9.17 a jeho postup vytvoření je podobný, jen se zvolí naklonění nástroje tak, aby se hlava CNC stroje nedostala do kolize s obrobkem. Toto nastavení je možno zkusit přímo na stroji ještě před programováním. Zbývajících tři boční strany se naprogramují obdobným způsobem se stejnými řeznými podmínkami.

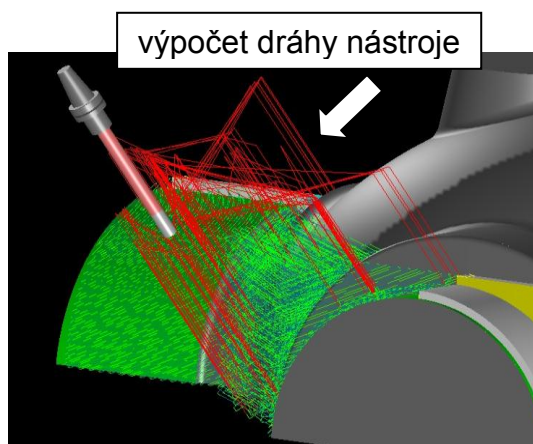
Řezné podmínky pro Z-Hrub boční část1



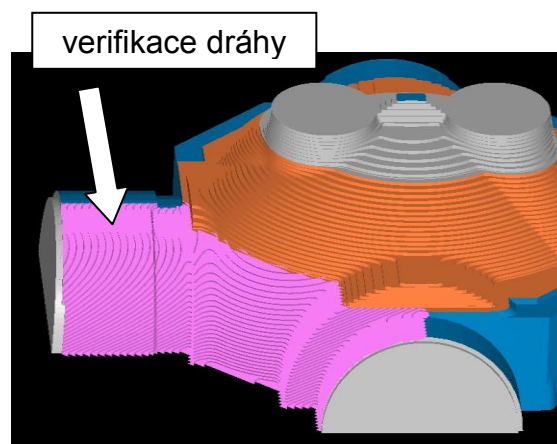
Obr. 9.31 Parametry nástroje pro Z-Hrub v systému SURFCAM, boční část modelu vršek

Tab. 9.8 Parametry obráběcí strategie pro program **hrub 7 boční část1**

Parametry obrábění – ZHrub		
	hodnota	jednotky
Operace obrábění	Z-Hrub	
Nástroj	válcová stopková fréza $\phi 25$	mm
Otáčky	6366	min^{-1}
Posuv	7333,8598	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zavrtávací posuv	3666,9299	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Řezná rychlost	500	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Tříska při posuvu	0,288	mm
Posuv na zub	0,240	mm
Způsob obrábění	sousledné	
Ponechat přídavek	0,75	mm
Velikost kroku v Z	8	mm
Velikost kroku v XY	12,5	mm
Způsob kapsování	spirála	

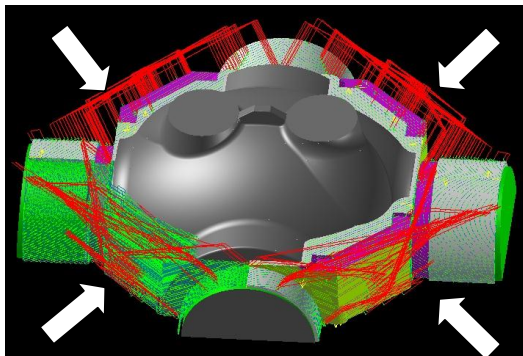


Obr. 9.32 Výpočet drah nástroje pro obráběcí strategii Z-Hrub (boční část1)



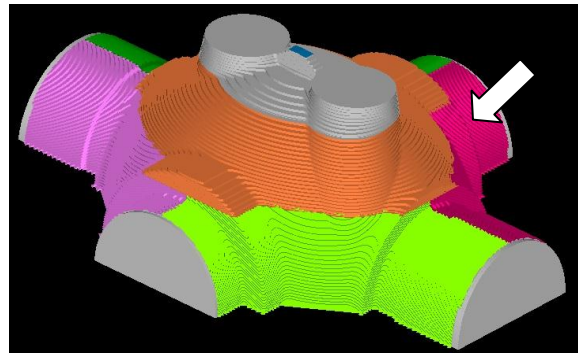
Obr. 9.33 Verifikace obráběcí strategie pro Z-Hrub (boční část 1)

výpočet všech drah nástroje



Obr. 9.34 Výpočet všech bočních drah nástroje pro obráběcí strategii Z-Hrub (boční část 1,2,3,4)

verifikace celkového hrubování



Obr. 9.35 Verifikace všech hrubovacích strategií pro Z-Hrub (celý hrubovaný model vršek)

Ukázka praktického postupu hrubování a kompletně obrobeného modelu vršek, všemi hrubovacími strategiemi viz. obr. 9.36, obr. 9.37, obr. 9.38, obr. 9.39.



Obr. 9.36 Ukázka Z-Hrub vrchní části 1



Obr. 9.37 Ukázka Z-Hrub vrchní části 2



Obr. 9.38 Ukázka Z-Hrub boční část 1 (indexované 3osé Z-Hrub)



Obr. 9.39 Ukázka celého hrubovaného modelu vršek

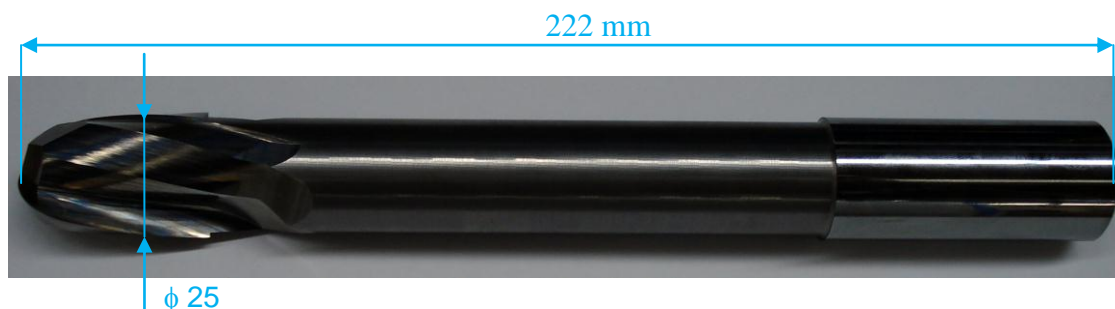
9.5.4 Dokončení tvaru modelu vršek

Za další bude následovat indexované 3-osé dokončení tvaru modelu s využitím 5 os CNC stroje. Postup bude stejný jako při hrubování, bude se lišit jen výběrem obráběcí strategie.

Pro NC operaci **3D Ofset** – Strategie 3D Ofset je dokončující operace, která vytváří soustředné ofsetové přejezdy obrábění. Tvar obráběcích přejezdů odpovídá tvaru vnější kontury modelu. Lze obrábět z vnějšku dovnitř, nebo z vnitřku ven. Výhodou je stálý záběr nástroje s maximálními posuvy a otáčkami.

Operace bude provedena kulovou stopkovou frézou o průměru $D_c=25$ mm, celkové délky $L=222$ mm a vyložení nástroje $l=180$ mm, počet zubů 2, dodávané od firmy SAHOS. Viz. obr. 9.40. Označení: **HM fréza spirálová rádiusová Z 2, L 222mm, ø 25mm, l 38, 12,5.**

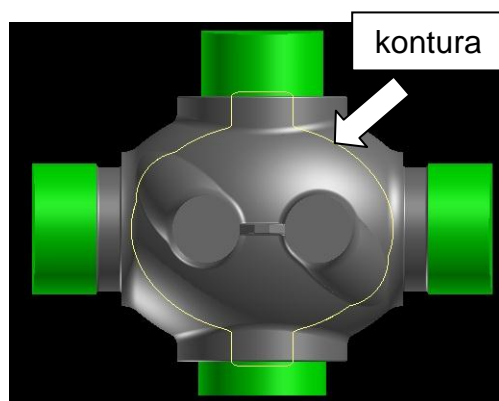
Tato fréza je vhodná k obrábění neželezných materiálů zejména dřeva a plastů. Metody hrubování, dokončování. Materiál nástroje monolitní tvrdokov.



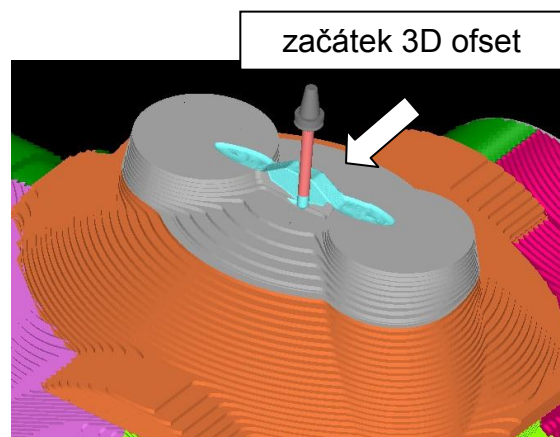
Obr. 9.40 Nástroj kulová stopková fréza $\phi 25$ mm a délky 222mm dodávané od firmy SAHOS

Volba strategie 3D ofset slict1

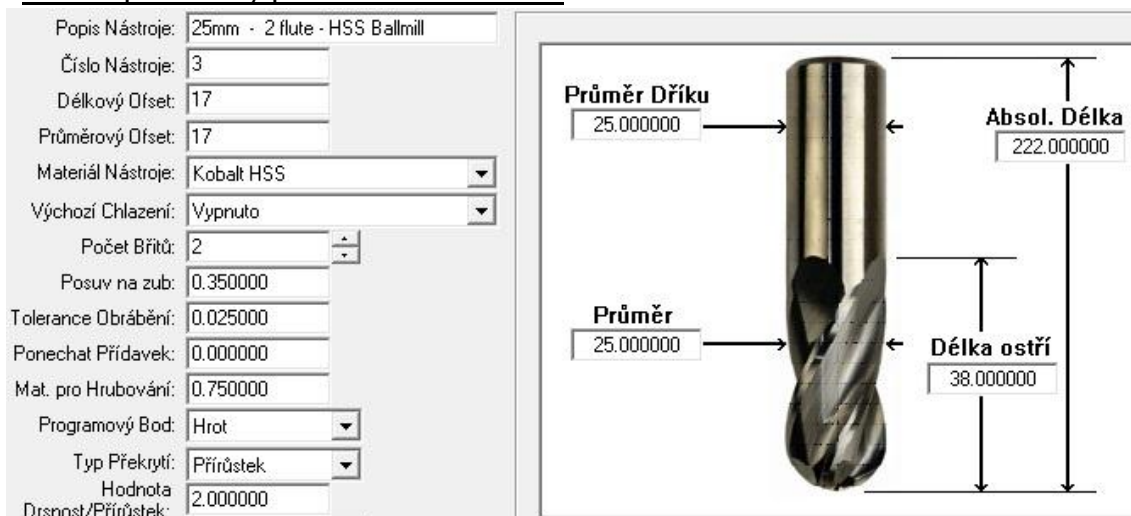
Postup při 3D Ofsetu, nejprve si připravíme tvar ploch modelu tak, aby bylo možno tímto nástrojem obrobit tu část modelu s výběrem volby strategie obrábění. Nástroj je vyložen 180 mm z upínacího trnu a touto výškou je možné do určité výšky modelu obrábět. Připravím si konturu obvodu části modelu viz. obr. 9.41 a zvolím klasické 3-osé dokončení **3D ofset** a nastavím parametry pro tuto strategii viz. obr. 9.43 a tab. 9.9.



Obr. 9.41 Kontura ofsetu



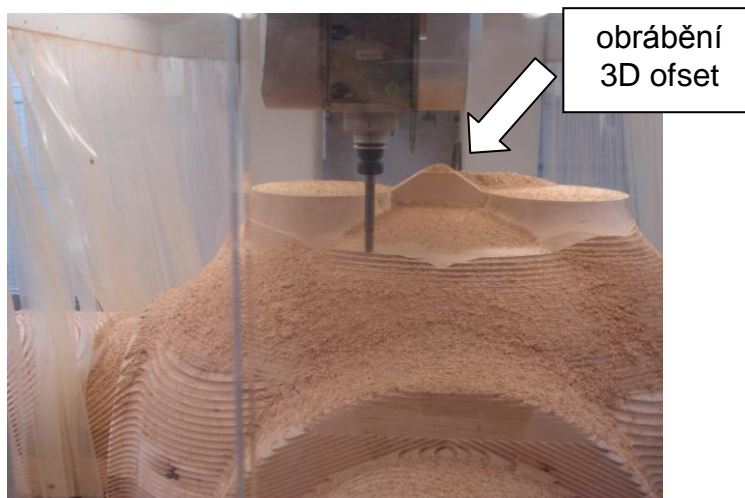
Obr. 9.42 Verifikace 3D ofset slict1

Řezné podmínky pro 3D ofset slicht1

Obr. 9.43 Parametry nástroje pro 3D ofset v systému SURFCAM, slicht1

Tab. 9.9 Parametry obráběcí strategie pro program **3D ofset slicht1**

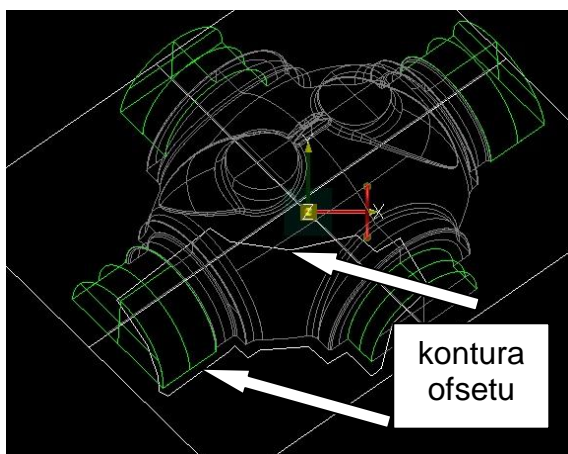
Parametry obrábění – 3D ofset		
	hodnota	jednotky
Operace obrábění	3D ofset	
Nástroj	kulová stopková fréza $\phi 25$	mm
Otáčky	7130	min^{-1}
Posuv	5989,3188	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zavrtávací posuv	2994,6594	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Řezná rychlost	560	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Tříska při posuvu	0,420	mm
Posuv na zub	0,350	mm
Způsob obrábění	sousledné	
Ponechat přídavek	0	mm
Stranový krok	1.8	mm
Ponechat přídavek v XY	0	mm
Ponechat přídavek v Z	0	mm



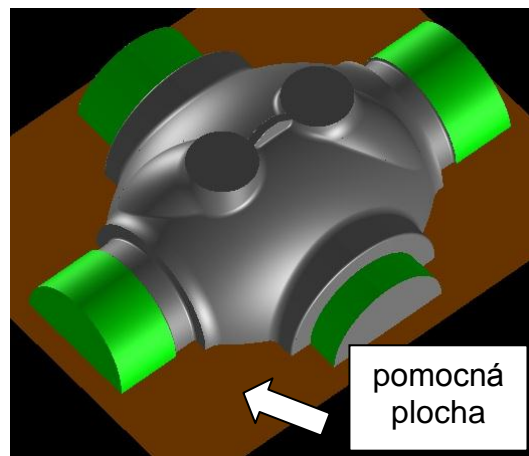
Obr. 9.44 Obrábění modelu 3D ofset slicht1

Volba strategie 3D ofset bočních částí slict 2,3,4,5

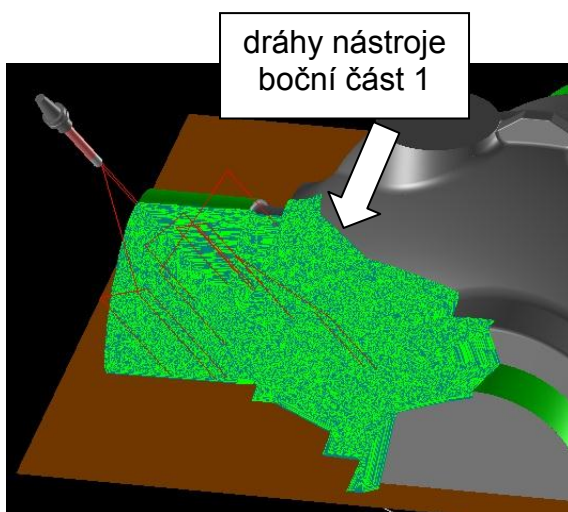
Postup při programování 3D Ofsetu (dokončení) bočních částí využijí stejné nastavení konstrukčních rovin jako u předchozího obrábění hrubování bočních částí, nejprve si zvolím nakloněný souřadný systém (konstrukční rovinu hrub5), nakreslím si konturu obvodu části modelu, kterou chci obrobit viz. obr. 9.45 a také pomocnou plochu viz. obr. 9.46, která bude zajišťovat, aby se dráha nástroje nepočítala pod dělicí rovinu modelu tzv. kontrolní plocha. Vyberu příkaz 3D ofset a zadám stejné parametry jako u předchozího 3D ofsetu viz. obr. 9.43 a tab. 9.9. Zde je nutno počítat s rovinou rychloposuvu, kterou je nutno nastavit tak, aby nám stroj nehlásil nájezd na koncový spínač v průběhu obrábění, jde o sladění stroje a jeho maximální rozjezdy a rozměry polotovaru. Pak opakuji stejné programování zbývajících tří bočních částí, každá ve své konstrukční rovině. Všechny programy je zapotřebí zkontrolovat před spuštěním stroje a nám k tomu slouží integrovaná tzv. verifikace obrábění přímo v systému SURFCAM V5. Tuto verifikaci je dobré použít k simulování obrábění každého programu.



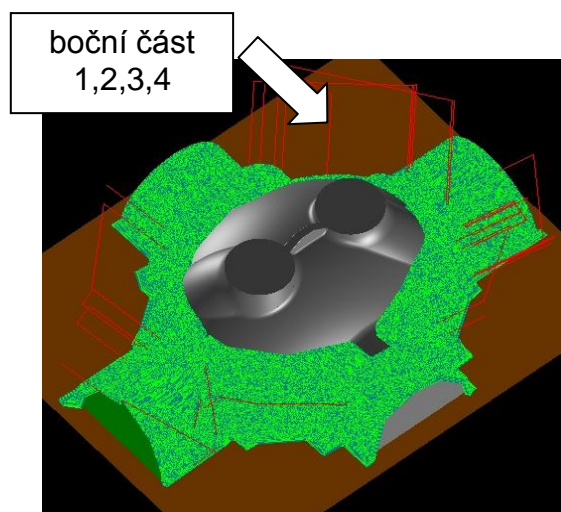
Obr. 9.45 Kontura ofsetu



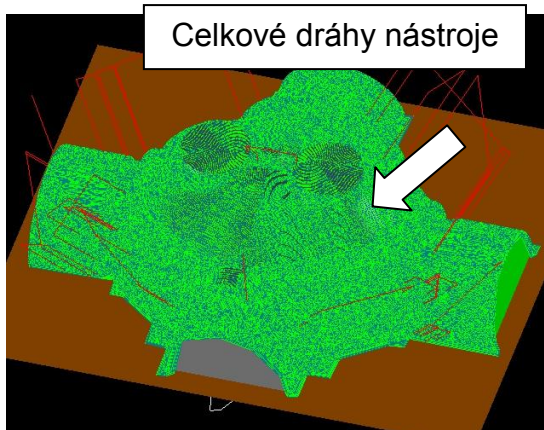
Obr. 9.46 Verifikace 3D ofset slict1



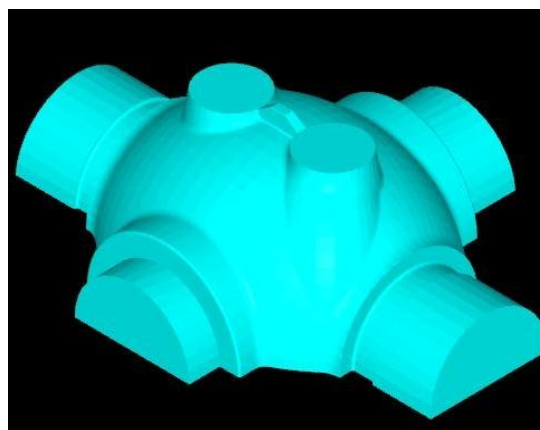
Obr. 9.47 Dráhy 3D ofsetu boční části1



Obr. 9.48 Dráhy 3D ofsetu bočních částí 1,2,3,4



Obr. 9.49 Dráhy 3D offset celý 3D offset modelu vršek

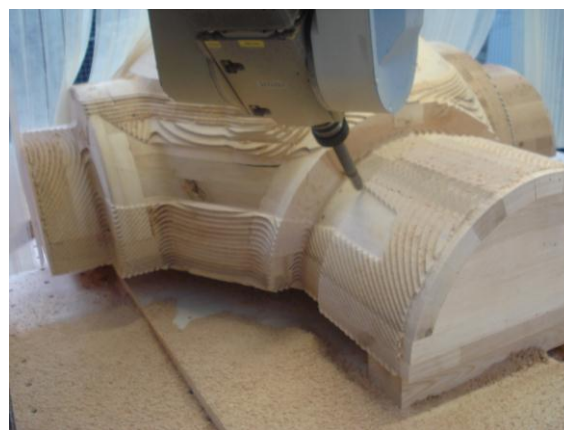


Obr. 9.50 Verifikace drah 3D offsetu vrchní části a bočních částí 1,2,3,4

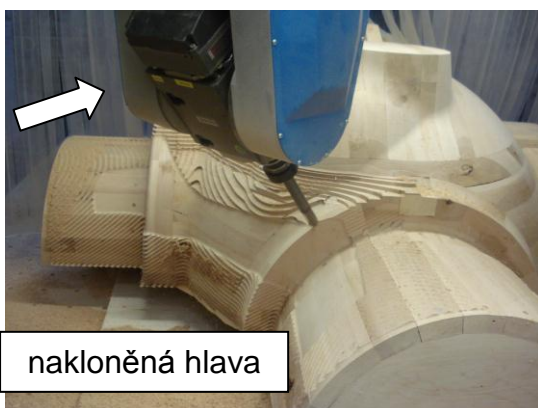
Ukázka praktického postupu dokončení a kompletně obrobeného modelu vršek, dokončujícími strategiemi viz. obr. 9.36, obr. 9.37, obr. 9.38, obr. 9.39.



Obr. 9.51 Ukázka 3D offset boční část 1 (indexované 3-osé 3D offset)



Obr. 9.52 Ukázka 3D offset boční část 2 (indexované 3-osé 3D offset) modelu vršek



Obr. 9.53 Ukázka 3D offset boční část 4 (indexované 3-osé 3D offset) modelu vršek



Obr. 9.54 Ukázka celého dokončeného modelu spodek

9.5.5 Dokončení ploch známek modelu

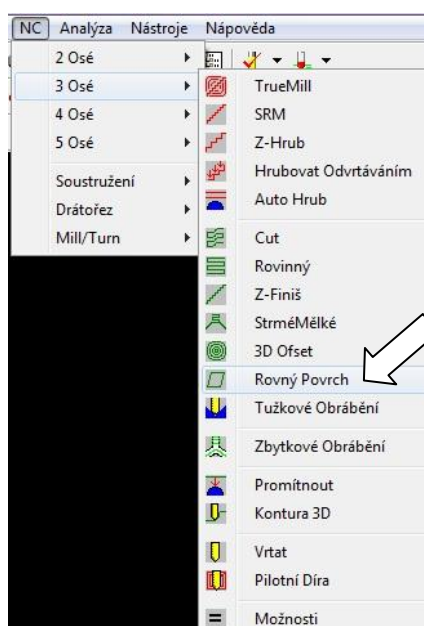
Za další bude následovat indexované 3-osé dokončení ploch konce známek modelu s využitím 5 os CNC stroje. Postup bude stejný jako při hrubování, bude se lišit jen výběrem obráběcí strategie.

Pro NC operaci **Rovný povrch** – Tato operace obrobí pouze rovné plochy. Operace bude provedena válcovou stopkovou frézou o průměru $D_c=25$ mm, celkové délky $L=121$ mm a vyložení nástroje $l=95$ mm od firmy KARNASCH. Parametry pro nástroj budou skoro stejné viz. obr. 9.19 jako u hrubování čel známek modelu, ale některé se budou lišit viz tab. 9.10

Tab. 9.10 Parametry obráběcí strategie pro programy **Rovný povrch (plocha známky)**

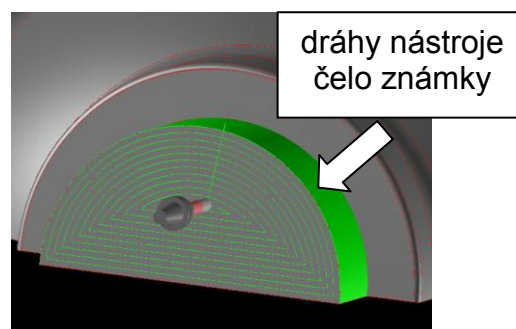
Parametry obrábění – Rovný povrch (plocha známky)		
	hodnota	jednotky
Operace obrábění	Rovný povrch	
Nástroj	válcová stopková fréza $\phi 25$	mm
Otáčky	6366	min^{-1}
Posuv	7333,8598	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zavrtávací posuv	3666,9299	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Řezná rychlost	500	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Tříška při posuvu	0,288	mm
Posuv na zub	0,240	mm
Způsob obrábění	sousledné	
Ponechat přídavek	0	mm
Velikost kroku v Z	0	mm
Velikost kroku v XY	12,5	mm
Způsob kapsování	spirála	

Volba strategie **Rovný povrch**



Obr. 9.55 NC operace Rovný povrch

Postup při programování **Rovný povrch**, nejprve si zvolím konstrukční rovinu jako u hrubování čela známky, vyberu si příkaz NC operace, označím příslušnou plochu známky (čelo) a zadám parametry pro obrábění. Postupně měním konstrukční roviny a příkazy opakuji, tím obrobím na hotovo čela známek modelu.



Obr. 9.56 Verifikace Rovný povrch

9.5.6 Dokončení tvaru lůžek pro příruby 5osým obráběním

Jako poslední operace bude dokončení lůžek pro příruby. Použije se 5-osé obrábění. 5Osé-Cut obrábí nejvíce koncem nástroje, může obrábět jednu i více ploch v různých variantách obrábění. Je možno nastavit hraniční křivky, kontrolu podřezání, kontrolní plochy a další.

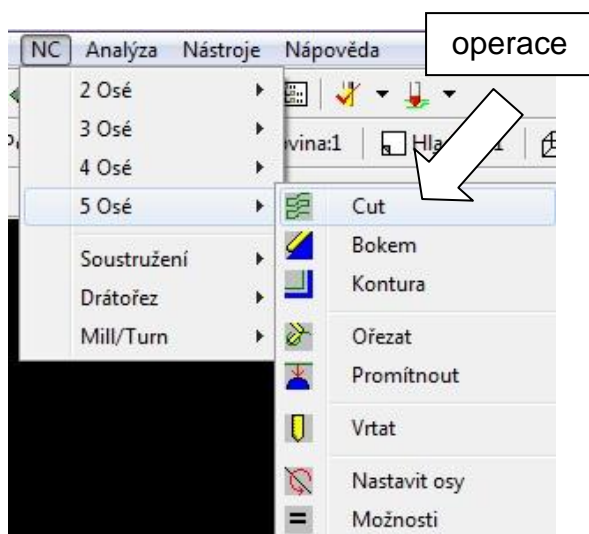
Pro NC operaci **5osé-Cut** – Tato operace obrobí pouze lůžka pro příruby. Operace bude provedena kulovou stopkovou frézou o průměru $D_c=25$ mm, celkové délky $L=222$ mm a vyložení nástroje $l=180$ mm, počet zubů 2, dodávané od firmy SAHOS. Viz. obr. 9.40. Označení: **HM fréza spirálová rádiusová Z 2, L 222mm, ø 25mm, l 38, 12,5.**

Tab. 9.11 Parametry obráběcí strategie pro programy **5 Osé-Cut**

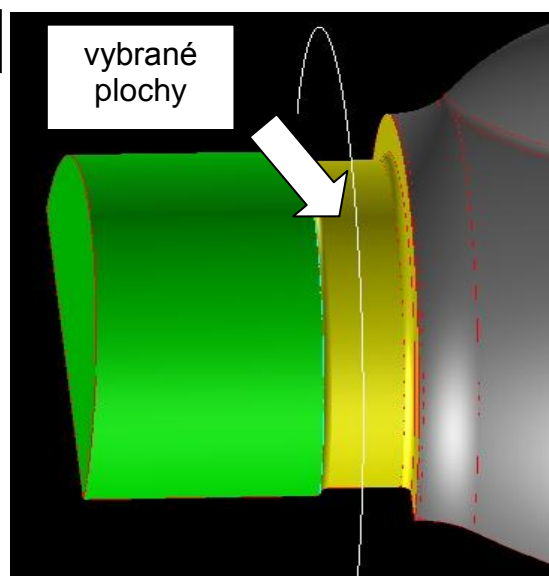
Parametry obrábění – 5 Oosé-Cut		
	hodnota	jednotky
Operace obrábění	5 Osé-Cut	
Nástroj	kulová stopková fréza □25	mm
Otáčky	6366	min ⁻¹
Posuv	4456,3384	mm.min ⁻¹
Zavrtávací posuv	2228,1692	mm.min ⁻¹
Řezná rychlost	500	m.min ⁻¹
Tříska při posuvu	0,350	mm
Posuv na zub	0,350	mm
Způsob obrábění	obousměrné	
Ponechat přídavek	0	mm
Metoda obrábění	Morfovat mezi 2 křivkami	
Oblast obrábění	Ne na hraně	
Typ návratu	cik - cak	
Typ kroku přírůstek	1	mm
Řízení vektoru	Skrz křivku	
Typ křivky při odklonu	Uzavřený bod	
Nájezdy a odjezdy	Přímo a návrat do bezpečné vzdálenosti	
Řídící plochy	Návrat nástroje podél osy nástroje	
Kontrolní plochy	Vynechat ochranné body – neořezávat dráhu nástroje	

Volba strategie 5osé-Cut

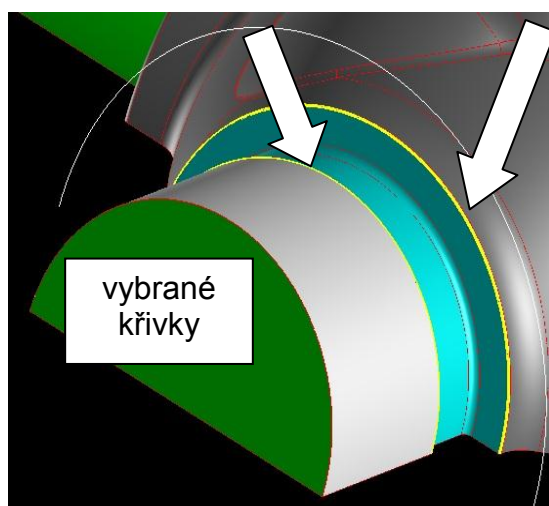
Postup při programování **5 Osé-Cut**. Nejprve si nakreslím konturu (křivku), kterou bude nástroj kopírovat a bude ke křivce vztažen na pevno (náklon osy nástroje). Pak vyberu NC operaci **5 Osé-Cut**, vyberu nástroj, materiál, vyberu požadovanou funkci k obrobení tvaru lůžka a zadám limity hodnot, omezení nástroje a jeho pohybu, vyberu příslušné křivky a kontrolní plochy. Tento program obrobení tvaru lůžka na jedné straně modelu je možno zrcadlit kolem osy Y a vytvořit hned kopii tohoto programu bez dalšího programování. Vybere se příkaz **transformovat > zrcadlit > vybrat rovinu YZ > a potvrdit ok**. Pro generování programu použiji 5-osý postprocesor.



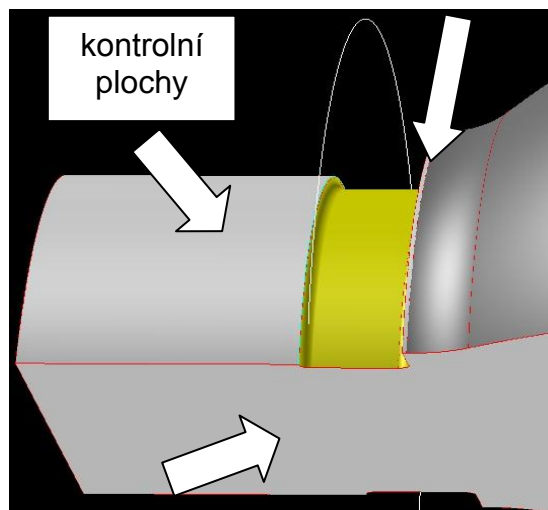
Obr. 9.57 NC operace 5 Osé-Cut



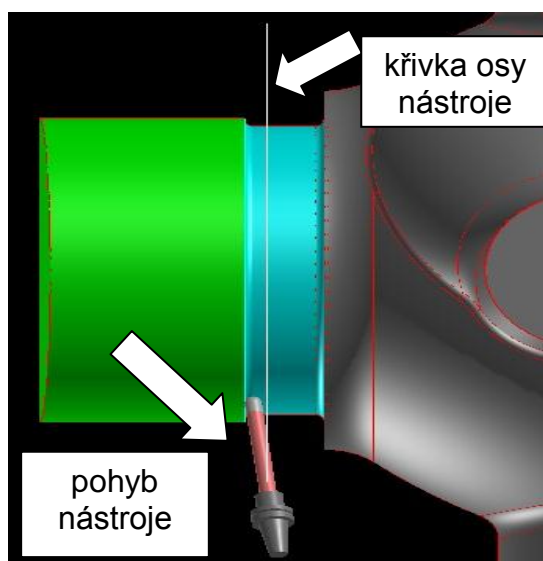
Obr. 9.58 Výběr ploch- žlutá



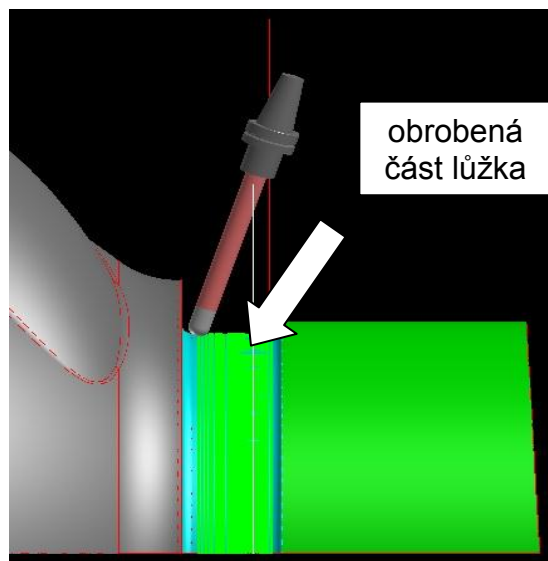
Obr. 9.59 Vybrané křivky



Obr. 9.60 Kontrolní plochy



Obr. 9.61 Vybraná křivka pohybu nástroje



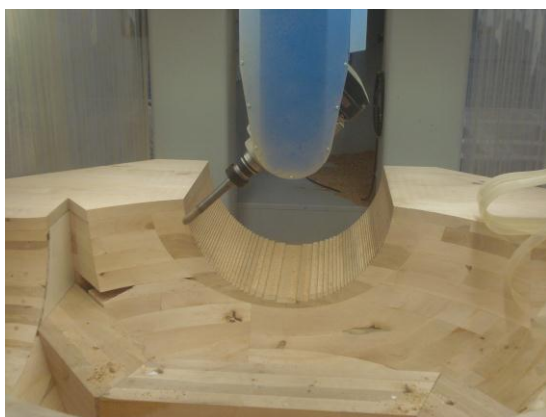
Obr. 9.62 Sklon nástroje od obrobku

Postup při programování modelu spodek bude stejný jako u vršku modelu.

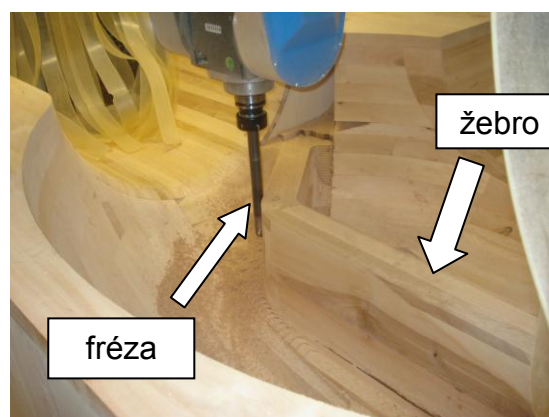
9.6 Ukázky obrábění jaderníků

Jaderníky č.1 a č.2, byly také obrobena na CNC stroji DYNAMIC MAX HIGH od firmy SAHOS. Byly použity podobné 3-osé a 5-osé obráběcí strategie. Ukázky obrábění jaderníků viz. obr. 9.63, obr. 9.64, obr. 9.65, obr. 9.66.

Na obr. 9.64 je frézování tvaru žebra frézovacím nástrojem od firmy HITACHI. Označení: **ARPF- 25S25WE Radius Precision Finish - Carbide Shank Extra Long** [7].



Obr. 9.63 Obrábění jaderníku č.1
5 Osé-Cut



Obr. 9.64 Obrábění středového žebra
jaderníku č.1



Obr. 9.65 Obrábění vnitřní plochy
jaderníku č.2 tvar známky vršek

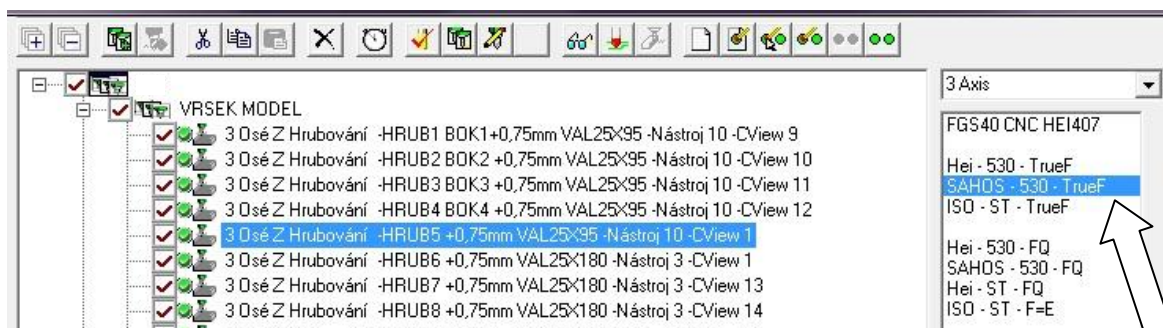


Obr. 9.66 Komplet jaderník č.2

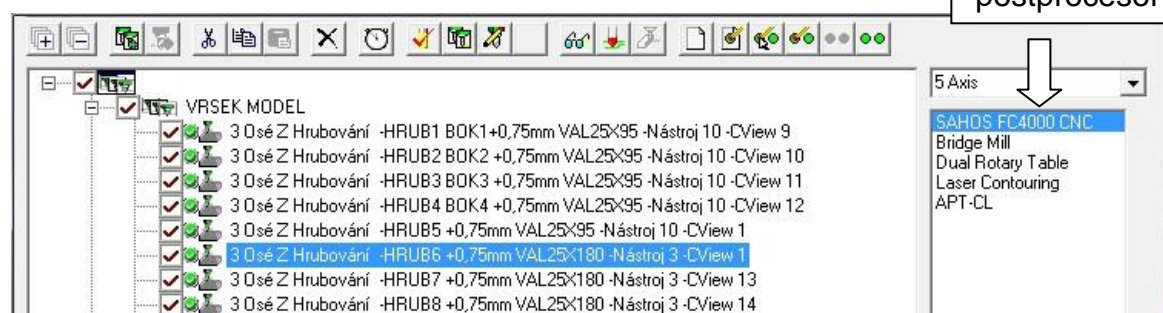
9.7 Vygenerování programů (postprocessing)

Po kontrole všech drah nástrojů verifikací, je další krok vygenerování programů pro CNC stroj DYNAMIC MAX HIGH s 5 osy a s řídicím systémem HEIDENHAIN iTNC 530. Pro tento CNC stroj je v systému SURFCAM přesně na míru nainstalovaný postprocesor pro 3-osé až 5-osé programy. Postup viz. ovládání systému SURFCAM. Po vygenerování zkontroluji data v záhlaví programu, číslo nástroje a osu Z rychloposuv. Pokud je vše v pořádku je možné odeslat po síti program do stroje.

Ukázka výběru programů a postprocesorů pro 3-osé a 5-osé obrábění viz. obr. 9.67, obr. 9.68, a také ukázka vygenerovaných programů obr. 9.69 a obr. 9.70



Obr. 9.67 Výběr programu a postprocesoru v systému SURFCAM pro 3-osé obrábění



Obr. 9.68 Výběr programu a postprocesoru v systému SURFCAM pro 5-osé obrábění

```

Soubor Upravit Hledat Globální Kalkulátory Analýzy DNC Optio
Nápověda
0 BEGIN PGM 5HRUB MM
1 ; -- DEFINICE POLOTOVARU
2 BLK FORM 0.1 Z X-621.33 Y-389.749 Z535.
3 BLK FORM 0.2 X606.33 Y389.749 Z657.325
4 ; -- DEFINICE CYKLU PRO PLYNULE PRUJEZDY
5 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
6 CYCL DEF 32.1 T0.04
7 ;HRUB5 +0,75mm VAL25X95
8 ; T10 FREZA VALCOVA - PRUM 25./ ROHOVY RADIUS 0
9 ; -- DEFINICE POSUVU PRO NASTROJ
10 FN 0: Q1 = 3666.9299 ; (ZAPICHOVACI POSUV)
11 FN 0: Q2 = 7333.8599 ; (PRACOVNI POSUV)
12 FN 0: Q3 = 20000 ; (RYCHLOPOSUV)
13 FN 0: Q4 = 20000 ; (PLYNULY RYCHLOPOSUV)
14 TOOL CALL 10 Z S6366
15 L Z+673. R0 FQ3 M3
16 L X-152.706 Y-108.907 FQ3
17 L Z+673.
18 Q22 = Q2*1.
19 FQ22
20 L Z+669.325 FQ3
21 FQ1
22 L Z+657.325
23 FQ22

```

Obr. 9.69 Ukázka vygenerovaného programu pro 3-osé obrábění

```

Soubor Upravit Hledat Globální Kalkulátory Analýzy DNC C
Nápověda
0 BEGIN PGM 6HRUB MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-676.205 Y-630.770 Z+320.000
2 BLK FORM 0.2 X+661.205 Y+630.748 Z+670.000
3 ; T3 D=+25
4 PLANE RESET STAY
5 L Z-5 FMAX M91
6 L A+0 C+0 FMAX
7 * - HRUB6 +0,75mm VAL25X180
8 TOOL CALL 3 Z S6366
9 L Z-5 FMAX M91
10 L X-631.33 Y-75.298 R0 FMAX
11 L Z+670 A+0 C+0 FMAX M3
12 L Z+537 FMAX
13 L Z+525 F3667
14 L X-616.33 F7334
15 L Y+250
16 L X-421.127
17 L X-421.205 Y+265.992
18 L X-286.184 Y+389.749
19 L X+286.184
20 L X+421.205 Y+265.992
21 L Y+250
22 L X+616.33
23 L Y-250

```

Obr. 9.70 Ukázka vygenerovaného programu pro 5-osé obrábění

9.8 Porovnání 3-osého a 5-osého obrábění

Porovnání těchto dvou variant obrábění je možno udělat na našem případě výroby modelového zařízení.

Při 3-osém obrábění jsou kladeny požadavky na délky nástrojů a výšky polotovarů. Např.: výška polotovaru do 250 mm při kolmé stěně 90° a průměru frézy do 25 mm, ať se jedná o oceli či slitiny nebo dřevěné materiály, je pro 3-osé obrábění tzv. maximum, jak obrobit plochy materiálu na rozměrovou přesnost. Taková délka nástroje (vyložení frézy z upínacího trnu byla 250 mm) byla použita při frézování středního žebra jaderníku č.1, polotovar žebra byl rozdělen na dvě stejně vysoké části (255 mm) a lepeno k sobě. Samozřejmě při takovém obrábění se musíme připravit na horší kvalitu povrchu, vibrace nástroje, menší hloubku třísky, delší čas obrábění polotovaru a další.

Při obrábění vzorku modelu vršek by bylo nutné tento model (polotovar) obrábět na několik částí a potom díly pasovat k sobě a lepit. Při velikosti toho modelu by čas výroby tohoto zařízení, byl delší. Při dělení modelu na výšku, by se konstrukce polotovaru musela připravit na lepení částí a obsahovala by více materiálu, znamenalo by to i dražší výrobu modelu.

Při 5-osém obrábění je možno připravit polotovar v celku jako jednu půlku modelu a vymyslet konstrukci tak, aby splnila svůj účel, byla co nejjednodušší a samozřejmě i levnější při použití méně materiálu pro výrobu. Při obrábění je možno používat kratší nástroje např.: při rovnání povrchu nebo při postupném hrubování či šlichtování. 5-Osé obrábění má výhody, že může obrábět i více ploch na jednou, nástroj je schopen dostat se do záporných úhlů ploch materiálu (podřezání modelu), více možností obrábění. Tvar i konstrukce jaderníků byla připravena pro 5-osé obrábění. Hlava frézky se pohybovala uvnitř jaderníku a nástroj mohl být kratší a jaderník č.2, se obrobil ze všech stran na jedno upnutí, kromě strany, na které byl přichycen ke stolu stroje.

Ale i toto 5-osé obrábění má své nevýhody v oblasti hrubování. 5-Osé frézky mají menší tuhost stroje a tím se dosahují delší časy obrábění při hrubování než na strojích se třemi osami a větší tuhostí stroje.

Závěrem, při porovnání obou variant obrábění je nutno nejprve zhodnotit aspekty, co a jak budu chtít obrábět nebo i vyrábět a podle toho si zvolit variantu obrábění.

Použitím 5-osého obrábění pro výrobu tohoto modelového zařízení je zcela jasnou výhodou a dobrou volbou, jak z hlediska konstrukčního, tak i z hlediska programování.

10 TECHNICKO-EKONOMICKÉ PŘÍNOSY

Výroba forem metodami využívající CAD/CAM produktů je velice přesná a dosahuje se kratších výrobních časů a proto je ekonomicky výhodnější.

Výhodami této výroby je, že 3D model odlitku je možno využít k více účelům, jednak k prvotní představě, jak součást vypadá, spočítat si přibližnou cenu nákladů na výrobu odlitku, ale také k výrobě modelového zařízení nebo použití 3D modelů k simulacím v CAE systémech a tím předejít výrobě špatných odlitků (zmetků). Tato možnost simulace byla maximálně využita, důkladně vyhodnocena a byla konzultována se zákazníkem. Při práci v CAD/CAM systémech je možno rychle a snadno změřit rozměry součástí a přizpůsobit jejich tvar výrobě. Při konstrukci a úpravě tělesa odlitku a jeho vyhodnocení stávajícího tvaru byla komunikace s těmito systémy snadnější a velmi rychlá. Dosahovaly jsme velmi dobrých výsledků, při zasílání dat přes internet zákazníkovi, ke schválení 3D modelu.

V CAM systému SURFCAM V5 byly vytvořeny obráběcí strategie pro 3-osé a 5-osé obrábění. Pro tyto strategie byly změřeny i časy obrábění jednotlivých programů viz. tab. 10.1.

Tab. 10.1 Časy obrábění modelu vršek změřené v systému SURFCAM V5

Číslo operace	Číslo nástroje	Operace	Čas cyklu [hod]
1	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB1 BOK1+0,75mm VAL25x95	0:05:47
2	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB2 BOK2+0,75mm VAL25x95	0:05:49
3	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB3 BOK3+0,75mm VAL25x95	0:07:05
4	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB4 BOK4+0,75mm VAL25x95	0:02:35
5	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB5 +0,75mm VAL25x95	1:00:00
6	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB6 +0,75mm VAL25x180	1:53:50
7	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB7 +0,75mm VAL25x180	0:31:23
8	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB8 +0,75mm VAL25x180	0:31:08
9	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB9 +0,75mm VAL25x180	0:34:16
10	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB10 +0,75mm VAL25x180	0:34:16
11	3	3D Ofset - SLICHT VRCHNÍ ČÁST KUL25x180	0:53:38
12	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST1 KUL25x180	0:54:24
13	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST2 KUL25x180	0:57:13
14	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST3 KUL25x180	1:04:00
15	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST4 KUL25x180	1:09:57
16	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY1 VAL25x95	0:01:58
17	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY2 VAL25x95	0:01:56
18	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY3 VAL25x95	0:01:46
19	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY4 VAL25x95	0:01:52
20	3	Klasické 5 Osé Cut - TVAR LŮŽKA1 kul25x180	0:27:26
21	3	Klasické 5 Osé Cut - TVAR LŮŽKA1 kul25x180	0:27:26
Celkový čas obrábění [hod]			11:27:45

Při porovnání časů v systému SURFCAM a časů při obrábění na stroji, dojdeme k závěru, že jsou časy o něco delší. Tento faktor zapříčiňuje stavba stroje, jeho celkové seřízení dynamických prvků, jeho částí a také nastavení jeho funkcí systému HEIDENHAIN iTNC 530. Na první pohled jsou patrné delší obráběcí časy.

Tab. 10.2 Skutečné časy obrábění modelu vršek, změřené na obráběcím stroji v systému HEIDENHAIN iTNC 530

Číslo operace	Číslo nástroje	Operace	Čas cyklu [hod]
1	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB1 BOK1+0,75mm VAL25x95	0:08:28
2	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB2 BOK2+0,75mm VAL25x95	0:08:39
3	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB3 BOK3+0,75mm VAL25x95	0:11:05
4	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB4 BOK4+0,75mm VAL25x95	0:03:36
5	10	3 Osé Z Hrubování - HRUB5 +0,75mm VAL25x95	1:35:54
6	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB6 +0,75mm VAL25x180	3:12:10
7	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB7 +0,75mm VAL25x180	1:00:09
8	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB8 +0,75mm VAL25x180	1:01:49
9	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB9 +0,75mm VAL25x180	1:34:16
10	3	3 Osé Z Hrubování - HRUB10 +0,75mm VAL25x180	1:07:36
11	3	3D Ofset - SLICHT VRCHNÍ ČÁST KUL25x180	1:12:28
12	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST1 KUL25x180	1:39:12
13	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST2 KUL25x180	1:43:27
14	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST3 KUL25x180	1:55:08
15	7	3D Ofset - SLICHT BOČNÍ ČÁST4 KUL25x180	1:49:57
16	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY1 VAL25x95	0:03:09
17	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY2 VAL25x95	0:03:09
18	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY3 VAL25x95	0:03:03
19	10	Rovný Povrch - PLOCHA ZNÁMKY4 VAL25x95	0:02:55
20	3	Klasické 5 Osé Cut - TVAR LŮŽKA1 kul25x180	0:59:50
21	3	Klasické 5 Osé Cut - TVAR LŮŽKA1 kul25x180	0:59:50
Celkový čas obrábění [hod]			20:35:50

Při kalkulaci ceny modelového zařízení musíme počítat reálné časy na obrábění, proto je potřeba si stanovit nějaký jednoduchý koeficient násobení teoretického času. V našem případě se jedná o koeficient násobku 1,6 na daný CNC stroj. Stanovená hodinová sazba stroje činí 1800 Kč/hod.

Při výpočtu ceny výroby modelu vršek s podporou CAD/CAM uvedu jen některá kritéria, což je stanovení hodinové sazby práce programátora 600 Kč/hod, modelářského dělníka 450 Kč/hod, režijní náklady na manipulaci při nastavování polotovaru na CNC stroj a strojní náklady (ceny obráběcích nástrojů).

Tab. 10.3 Výpočet výrobních nákladů pro výrobu půlky modelu **vršek**

Pracoviště	Hodinová sazba [Kč/hod]	Doba [hod]	Náklady celkem [Kč]
CNC stroj Dynamic	1 800	20:35:50	36 900
Programátor	600	7:35:00	4 500
Modelář	450	45:00:00	20 250
Obráběcí nástroje			12 300
Režije	400	10:00:00	4 000
Celkem			77 950

Poznámka: Je to kalkulace ceny výroby poloviny modelu **vršek**, kdyby se měly počítat celkové náklady na celé **modelové zařízení**, musely by se připočítat ceny za výrobu spodku modelu i jaderníků, spotřebního materiálu (šrouby, vruty, dřevěné desky, barva, lepidlo, atd.) a také nějaké procento čistého zisku.

ZÁVĚR

Práce byla zaměřená na řešení technologie výroby odlitku. Účelem bylo navrhnout správnou slévárenskou technologii a prověřit ji v simulačním systému, jestli bude na tento typ a tvar odlitku vyhovovat. Nejprve se upravil tvar tělesa odlitku, doplnily se slévárenské úkosity, přídavky, atd. a proběhla simulace samotného odlitku tělesa, aby se potvrdily místa s tepelnými uzly, které se musely dobře zajistit. Po prověření prvotní simulace, byla navržena celá slévárenská technologie a znovu se provedla simulace a vyhodnotily se z ní závěry, které nad očekávání dopadly velmi dobře. Simulace proběhla na několik kroků. Jako první bylo plnění formy, kde nedocházelo k turbulencím taveniny a plnění tekutým kovem bylo plynulé. Tuhnutí kovu probíhalo pozvolna a poslední tuhly nálitky, které vtahovaly tepelné uzly do sebe. Plnily tak účel, ke kterému sloužily. Mikroporozita se zobrazovala na obrázcích uprostřed stěny odlitku, což bylo velmi pozitivní pro tuto technologii a odlitek. Staženiny se v simulaci ukázaly v nálitcích a tím se dala technologie vyhodnotit jako správná. Využití kovu bylo kolem 65% což je velmi vysoké číslo. Dobře zvolená chladítka a kokile přispěly k těmto dobrým výsledkům celé technologie.

V druhé fázi provedla výroba modelu odlitku za pomoci CAD/CAM technologií. Zvolila se konstrukce modelu a jaderníků a začalo obrábění na CNC stroji DYNAMIC MAX HIGH 5-osé obráběcí centrum. CAD/CAM systémy přispěli k přesné a rychlé výrobě tak velkého zařízení. Jedna půlka modelu byla spočítána na 77 950 Kč. Musíme brát v úvahu, že obráběcí nástroje vydrží při obrábění takového materiálu mnohem delší dobu a proto by se výroba dala zlevnit právě o 12 300 Kč, znamenalo by to 65 650 Kč za jednu půlku modelu.

Velkým přínosem pro firmu je velmi rychlá výroba těchto modelových zařízení za krátký čas a proto je možné vyrobit větší kvantum za časový horizont jeden rok, než tomu bylo dříve přibližně v poměru 1:6.

Co se týká odlitku, tak rentgen ukázal, že staženiny v odlitku se na tolik podařilo eliminovat, že některé zůstaly schovány uvnitř stěny a zavařily se jen malé povrchové části odlitku, které měly spíše estetický vzhled. Tlakovými zkouškami odlitek bez problémů prošel a nemusely se dělat další úpravy technologie. V praxi při použití navržené technologie se odlitek velmi dobře povedl. Zákazník byl velmi spokojen s kvalitou vyrobeného odlitku.

Tyto vytvořená data ve 3D, se archivují a postupně nahrazují papírové archívy a také je velice snadné se, kdykoliv k této výrobě vrátit a nahlížet nebo provádět úpravy či se z této práce poučit a popřípadě v dalších návrzích nových technologií něco zlepšit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BEDNÁŘ, Bohumír. Technologičnost konstrukce odlitků. *Slévárensství: Časopis pro slévárenský průmysl*. Květen - Červen 2005, LIII, s. 223-228. ISSN 621.74:621.002.2.
2. BERNÁŠEK, Vladimír a HOREJŠ, Jan. *Technologie Slévání*. 3. upravené vydání brožované. Plzeň: Západočeská universita v Plzni, Universitní 8, Katedra materiálu a strojírenské technologie, listopad 2006. 176 s. ISBN 80-7043-491-0.
3. CIMR, Ivan. *Rapid prototyping pro každého: Trendy / Nekonvenční technologie, strana 26. MM průmyslové spektrum [online]. 22. června 2010, MM 2010/7, [cit. 2011-04-30]. Dostupný z [www:<http://www.mmspektrum.com/clanek/rapid-prototyping-pro-kazdeho>](http://www.mmspektrum.com/clanek/rapid-prototyping-pro-kazdeho). ISSN 100709*
4. Dřevo centrum. Komplexní informace o dřevě a jeho použití. [online]. [cit. 2011-04-10] Dostupné z [www: <http://drevo.celyden.cz/ >](http://drevo.celyden.cz/).
5. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. Vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 223 s. ISBN 80-214-2374-9.
6. HA Kovochem. Exotermické nástavce. [online]. 2011 [cit. 2011-05-22]. Kruhové nástavce permanex SL. Dostupné z [www: <http://www.hakovochem.cz/index.php?id=36 >](http://www.hakovochem.cz/index.php?id=36).
7. Hitachi Tool Europe Engineering GmbH. *Milling-Inserts*. [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. Corner Radius Mills. 2009, 2011. Dostupné z [www:<http://www.hitachitool-eu.com/en/products/index/shape/radius/index.php >](http://www.hitachitool-eu.com/en/products/index/shape/radius/index.php).
8. JELÍNEK, Petr. *Slévárensství*. Dotisk 5. vydání. Ostrava: VŠB - Technická Universita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava - Poruba, Katedra slévárensství, 2010. 261 s. ISBN 978-80-248-1282-3.
9. Karnasch. *Profesional tools*. [online]. 2011 [cit. 2011-05-16]. Schafffräser HSSE/PM. 2007/2008. Dostupné z [www: <http://www.karnasch.de/ >](http://www.karnasch.de/).
10. KTURIŠ, Vladimír a KUZMA, Zbyněk. *Numerická simulace ve slévárenské technologii*. [online]. [cit. 2009-10-1]. Dostupné z [www:<http://www.mmspektrum.com/clanek/numericka-simulace-ve-slevarenske-technologie >](http://www.mmspektrum.com/clanek/numericka-simulace-ve-slevarenske-technologie).
11. *Počítačové simulační programy [online]. 2009 [cit. 2011-05-05]. Simulační program MAGMAsoft. Dostupné z [www:<http://www.stefanmichna.com/download/progresivni-technologie/pocitacove_simulacni_programy.pdf >](http://www.stefanmichna.com/download/progresivni-technologie/pocitacove_simulacni_programy.pdf).*
12. Roučka Slévárna, a.s. Uhlíkové oceli. [online]. 2011 [cit. 2011-03-30]. Materiálová listina. Dostupné z [www: <http://www.roucka-slevarna.cz/article.asp?nDepartmentID=3&nArticleID=5&nLanguageID=1 >](http://www.roucka-slevarna.cz/article.asp?nDepartmentID=3&nArticleID=5&nLanguageID=1).
13. *Sahos.cz: O firmě / Produkty / Dynamic [online]. 1995 - 2010 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z [www: <http://www.sahos.cz/cs/produkty/dynamic/ >](http://www.sahos.cz/cs/produkty/dynamic/).*
14. *Sahos: Nabídka modelářských fréz, 2011. 4s.*
15. *Surfcam - 3E Praha Engineering: SURFCAM [online]. 2009 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z [www: <http://www.3epraha.cz/surfcam >](http://www.3epraha.cz/surfcam).*

16. SURFCAM a CAD systémy CADKEY a SolidWorks: v rubrice Informační technologie / Automatizace. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 5.2.2003, MM 2003/1, [cit. 2011-04-16]. Dostupný z [www: < http://www.mmspektrum.com/clanek/surfcam-a-cad-systemy-cadkey-a-solidworks >](http://www.mmspektrum.com/clanek/surfcam-a-cad-systemy-cadkey-a-solidworks).

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

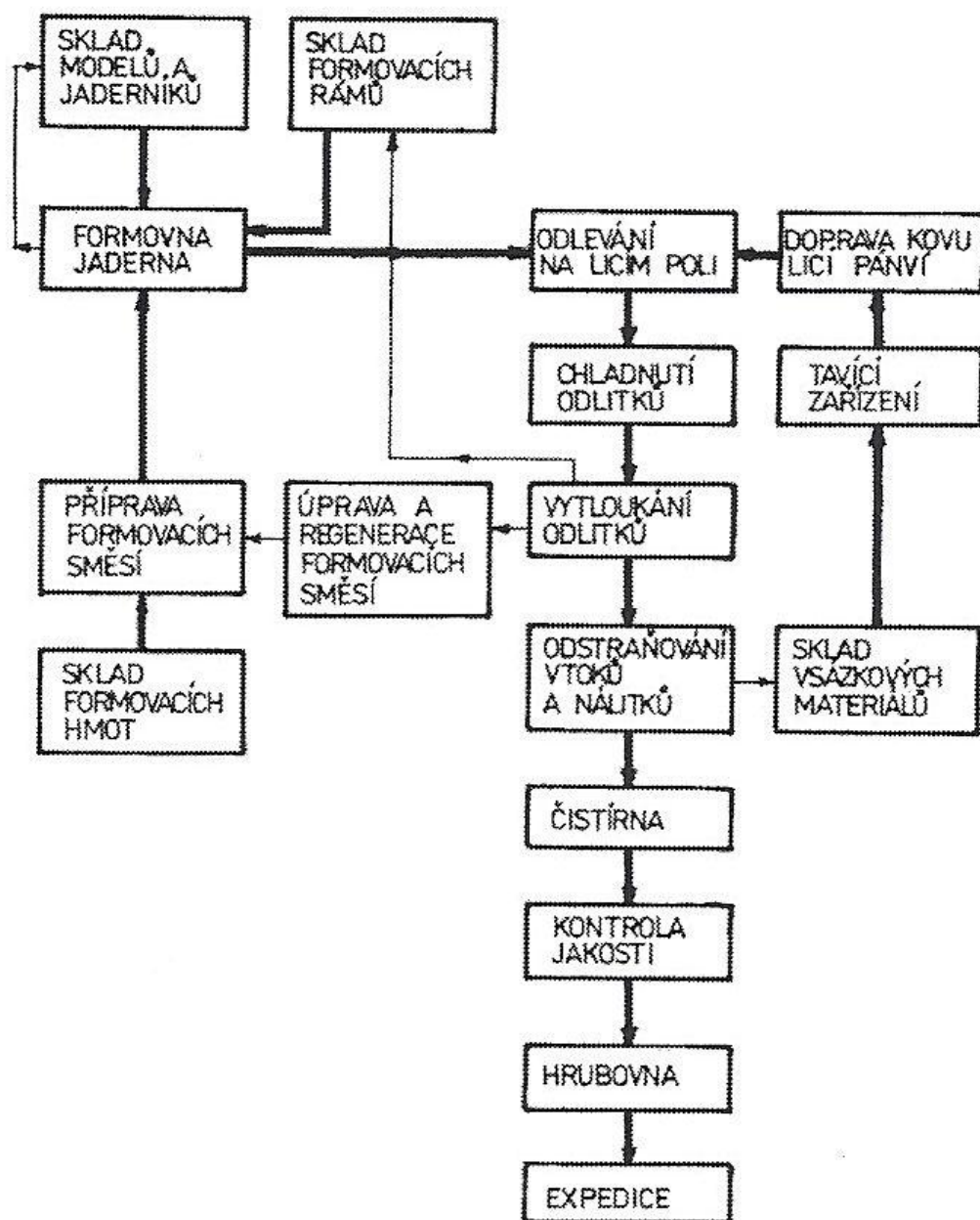
CAD	[-]	Computer Aided Design (Počítačem podporovaná konstrukce)
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing (Automatizované řízení výroby)
CNC	[-]	Computer Numeric Kontrol (Číslicové řízení počítačem)
CAE	[-]	Computer Aided Engineering (Počítačem podporované simulace)
NC	[-]	Numeric Control (Číslicové řízení)
3-Axis	[-]	3-osý
5-Axis	[-]	5-osý
TrueMill	[-]	Tool Radius Uniform Engagement (Konstantní vytížení nástroje)
ξ	[mm]	tloušťka ztuhlé vrstvy odlitku
τ	[s]	doba tuhnutí
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota kapaliny
ν	[mm]	průměrná tloušťku stěny odlitku
γ_k	[Kg.m ⁻³]	měrná hmotnost tekoucího kovu
τ_n	[s]	doba tuhnutí nálitku
τ_o	[s]	doba tuhnutí odlitku
ε_{vk}	[%]	celkové objemové smrštění kovu do úplného ztuhnutí
C_k	[J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrné teplo tuhnoucího kovu
D	[mm]	průměr frézy
D_c	[mm]	průměr řezné části frézy
d_{max}	[mm]	průměr nálitku
f	[mm]	posuv
f_z	[mm]	posuv na zub
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
G_h	[kg]	hmotnost odlitku
K	[m.s ^{-0,5}]	konstanta tuhnutí
K_n	[m.s ^{-0,5}]	konstanta tuhnutí nálitku
K_o	[m.s ^{-0,5}]	konstanta tuhnutí odlitku
L	[mm]	délka nástroje
L_1	[mm]	délka ostří nástroje
L_k	[°C]	latentní teplo krystalizace
L_k	[°C]	latentní teplo krystalizace
l_{max}	[mm]	vzdálenost mezi dvěma sousedními nálitky
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
p_1	[pa]	tlak
R_n	[-]	modul nálitku
R_o	[-]	modul odlitku
S	[m ²]	ochlazovaný povrch odlitku, nálitku

s	[-]	součinitel, charakterizující složitost odlitku a tloušťku stěny
t_s	[°C]	teplota solidu
t_s	[°C]	teplota solidu
t_{tek}	[°C]	teplota lití kovu
t_{tek}	[°C]	teplota lití kovu
V	[m ³]	objem tělesa
V_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
V_f	[mm.min ⁻¹]	rychlost posuvu
V_n	[m ³]	objem nálitku
V_o	[m ³]	objem odlitku
V_{st}	[m ³]	objem staženiny
x	[-]	koeficient ne hospodárnosti nálitku
z	[-]	počet zubů

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Schéma pracovního postupu ve slévárně
- Příloha 2 Výběr z materiálové listiny uhlíkové oceli
- Příloha 3 Exotermické obklady permanex SL
- Příloha 4 Výrobní výkres odlitku
- Příloha 5 Postupový výkres odlitku

Příloha 1 Schéma pracovního postupu ve slévárnách [2]



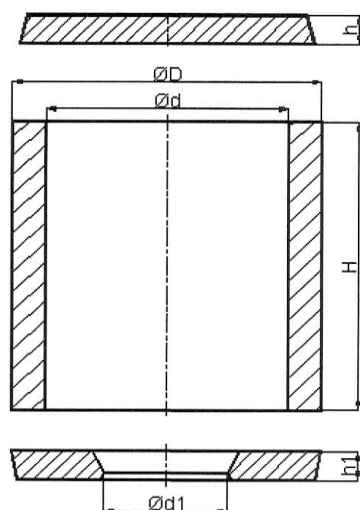
Příloha 2 Výběr z materiálové listiny uhlíkové oceli [7]

Uhlíkové oceli															
VÝBĚR Z MATERIÁLOVÉ LISTINY															
Označení dle ČSN, DIN, ASTM		Chemické složení							Mechanické vlastnosti					Poznámka	
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Ostatní	0,2 mez kluzu N/mm2	mez pevnosti N/mm2	Tažnost %	Vrub. houževnatost J/cm2	Tepelné zpracování	
Uhlíkové oceli															
ČSN	422640	0,20 0,28	0,20 0,50	0,40 0,80					P+S<0,090%	240	440-590	22	50	1	
	422650	0,28 0,38	0,20 0,50	0,40 0,80					P+S<0,90%	260	500-650	20	50	1	
	422660	0,40 0,50	0,20 0,50	0,40 0,80					P+S<0,90%	300	590-740	13	30	1	
DIN	GS-C 25	0,18 0,23	0,30 0,60	0,50 0,80	max. 0,30				Sn<0,05% SiCa 2kg/t	245	440-590	22	27	1	Wn.1,0619
	GS-38	max. 0,25								200	380	25	35	1	Wn.1,0420
	GS-45	max. 0,25								230	450	22	27	1	Wn.1,0446
	GS-60									300	600	15	27	5	Wn.1,0558
ASTM A216	WCB	0,20 0,25	max. 0,60	max. 1,20	max. 0,50	max. 0,50	max. 0,20	max. 0,30	Sn<0,05% Cr+Ni+CU+ Mo+W<1,0%	250	485-655	22		1	
	WCA	max. 0,25	max. 0,60	max. 0,70	max. 0,50	max. 0,50		max. 0,50	Cr+Ni+CU+ Mo+W<1,0%	205	415-585	24		1	
	WCC	max. 0,25	max. 0,60	max. 1,20	max. 0,50	max. 0,50	max. 0,20	max. 0,50	Cr+Ni+CU+ Mo+W<1,0%	275	485-655	22		1	

Příloha 3 Exotermické obklady Permanex SL 1/2 [6]

HA KOVOCHEM

PERMANEX SL 3 - 8



B1K Cr

Typ	ROZMĚRY					VÍKO	BALENÍ ks/europaleta
	d	D	H	Objem	Modul	exo	
	mm	mm	mm	dm ³	cm	h	
SL 3	80	110	150	0,8	2,4	20	630
SL 4	100	140	150	1,2	2,9	20	360
			300	2,4	3,2		
SL 5	120	160	150	1,7	3,2	20	315
			300	3,4	3,7		
SL 6	140	180	200	3,1	3,9	20	175
SL 6/250	140	180	250	3,8	4,1	20	150
SL 6/300	140	180	300	4,6	4,2	20	125
			400	6,2	4,5		
SL 7	160	205	200	4,0	4,3	20	140
			300	6,0	4,8		
			400	8,0	4,9		
SL 8	180	230	200	5,1	4,6	20	105
			300	7,6	5,2		
			400	10,2	5,5		

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.: +420 318 592 774 • Fax.: +420 318 592 641
www.hakovochem.cz • E-mail: info@hakovochem.cz

list C71001 1/2007

Příloha 3 Exotermické obklady Permanex SL 2/2 [6]



PERMANEX SL 9 - 12

Typ	ROZMĚRY					VÍKO	BALENÍ ks/europaleta
	d	D	H	Objem	Modul	exo	
	mm	mm	mm	dm ³	cm	h	
SL 9	200	250	200	6,3	4,9	20	98
SL 9/300	200	250	300	9,4	5,6	20	70
SL 9/350	200	250	350	11,0	5,7	20	56
			400	12,6	5,9		
			500	15,7	6,2		
			600	18,9	6,4		
SL 9.5	225	280	200	8	5,4	20	77
			300	12	6,1		
			400	16	6,4		
			500	20	6,6		
			600	24	6,8		
SL 10	250	305	200	9,8	5,6	20	56
SL 10/300	250	305	300	14,7	6,4	20	40
			400	19,6	7,0		
			500	24,5	7,3		
			600	29,4	7,6		
SL 11	300	360	200	14,2	6,2	20	42
SL 11/300	300	360	300	21,3	7,2	20	30
			400	28,3	7,9		
			500	35,5	8,4		
			600	42,6	8,6		
			700	49,5	8,9		
SL 12	350	415	200	19,3	6,8	20	28
			300	28,9	7,9		
			400	38,5	8,8		
			500	48,0	9,4		
			600	57,8	9,8		
			700	67,3	10,0		
			800	77,0	10,3		

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.: +420 318 592 774 • Fax.: +420 318 592 641
www.hakovochem.cz • E-mail: info@hakovochem.cz

list C71001 1/2007