

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce formy pro hliníkový odlitek a návrh alternativní varianty licího stroje

Autor: **Aleš VILDMAN**

Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Duník**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš VILDMAN**
Osobní číslo: **S16B0351P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Konstrukce formy pro hliníkový odlitek a návrh alternativní varianty lícího stroje**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Vypracujte rešerši stávajícího stavu strojů pro zpracování hliníku. Dále vypracujte konstrukční návrh formy pro zadaný odlitek. Navrhněte alternativní řešení a vyberte optimální variantu formy. Součástí práce bude pevnostní kontrola exponovaných dílů a konstrukční návrh formy.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše na dané téma.
2. Vypracování konstrukčního návrhu formy.
3. Návrh alternativní varianty a výběr optimálního řešení.
4. Pevnostní kontrola dílů formy.
5. Vypracování výkresové dokumentace v určeném rozsahu.
6. Komplexní zhodnocení nové konstrukce, závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra Obecné strojní části 1. Brno: Computer press, 1999

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra Obecné strojní části 2. Praha: Computer press, 2000

LAŠOVÁ, V. Metoda konečných prvků ve výpočtech obráběcích strojů. Plzeň: ZČU, 2011

MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPALA, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. Encyklopedie hliníku. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Duník**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Libor Dbalý**
Lhoták, s.r.o.
Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vildman	Jméno Aleš	
STUDIJNÍ OBOR	B 2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Duník	Jméno Miroslav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukce formy pro hliníkový odlitek a návrh alternativní varianty licího stroje		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	61	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh formy pro zadaný hliníkový odlitek. Pevnostní kontrolu zadaného licího stolu. Konstrukce a výpočty MKP byly provedeny pomocí softwaru NX 10.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Formy, odlévání, slitiny hliníku, CAD, NX, MKP, pevnostní analýza, metoda momentových ploch

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vildman	Name Aleš	
FIELD OF STUDY	B 2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Duník	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Mold design for aluminum casting and an alternative variant of the casting machine		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	61	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	18
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis contains a structural design of the mold for the specified aluminum casting. Strength check of specified casting table. The design and calculations of FEM were done using the NX 10 software.
KEY WORDS	Forms, casting, aluminum alloy, CAD, NX, FEM, strength analysis, torque method

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Miroslavu Duníkovi za jeho rady a připomínky k této práci. Dále bych chtěl poděkovat firmě Lhoták s.r.o. za to, že mi umožnili vypracovat bakalářskou práci pod jejich vedením, konkrétně konzultantovi mé práce Liboru Dbalému a jeho kolegovi Lukášovi Slepíčkovi.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	3
1. Úvod	4
2. Technologie pro výrobu produktů ze slitin hliníku.....	5
2.1 Odlévání ze slitin hliníku.....	5
2.1.1 Volba technologie odlévání	5
2.1.2 Gravitační lití do netrvalých (jednorázových) forem.....	7
2.1.3 Gravitační lití do kovových forem	9
2.1.4 Nízkotlaké lití	11
2.1.5 Tlakové lití	12
2.2 Tváření slitin hliníku	14
2.2.1 Průtlačné lisování hliníku a jeho slitin za tepla.....	14
2.2.2 Válcování hliníku a jeho slitin	15
2.2.3 Kování hliníku a jeho slitin.....	16
2.3 Svařování slitin hliníku.....	17
2.4 Obrábění slitin hliníku	17
3. Konstrukce gravitační kokily.....	19
3.1 Zadání zakázky.....	19
3.2 Postup konstrukce.....	19
4. Návrh alternativní varianty a výběr optimálního řešení	21
4.1 Popis a hodnocení variant	21
4.2 Specifikace požadavků a hodnocení míry splnění predikovaných vlastností.....	23
4.3 Zlepšení konstrukčního návrhu	26
5. Výpočty:.....	27
5.1 Pevnost a průhyb vodících tyčí.....	27
5.1.1 Výpočet reakcí	28
5.1.2 Výpočet a rozložení posouvající síly T a točivého momentu M	28
5.1.3 Výpočet maximálního ohybového napětí σ_{max}	30
5.1.4 Výpočet fiktivní posouvající síly T _{fc} a fiktivního momentu M _{fc} v bodě c	31
5.1.5 Průhyb a úhel natočení v bodě C.....	32
5.2 Výpočet pevnosti a průhybu vodících tyčí metodou konečných prvků pomocí softwaru NX32	
5.3 Zhodnocení a porovnání výsledků obou metod.....	34
5.4 Potřebný tlak hydraulického válce	35

5.4.1	Výpočet potřebné síly F_p	35
5.4.2	Kontrola potřebného tlaku.....	35
5.4.3	Zhodnocení výsledků.....	36
6.	Závěr.....	37
7.	Zdroje.....	38
7.1	Literatura.....	38
7.2	Obrázky.....	38
7.3	Tabulky.....	38

Přehled použitých zkratk a symbolů

MKP		-	metoda konečných prvků
NX 10		-	výpočetní software
$\varphi_{(c)}$	rad	-	úhel natočení v bodě c
a, b	mm	-	délka
D	mm	-	průměr
$v_{(c)}$	mm	-	průhyb v bodě c
V	mm ³	-	objem
S	mm ²	-	plocha
F	N	-	síla
G	N	-	vlastní tíha
ρ	kg/m ³	-	hustota
m	kg	-	hmotnost
T	N	-	posouvající síla
M	Nm	-	točivý moment
Rax	N	-	reakce ve směru x
Ray, Rby	N	-	reakce ve směru y
Tfc	Nm ²	-	fiktivní posouvající síla v bodě c
Mfc	Nm ³	-	fiktivní moment v bodě c
$U_{1,2,3,4}$	Nm ²	-	zatížení momentovou plochou
Fp	N	-	potřebná síla
p_p	MPa	-	potřebný tlak
σ_D	MPa	-	dovolené napětí
σ_k	MPa	-	mez kluzu
σ_o	MPa	-	ohybové napětí
W_o	mm ³	-	průřezový modul v ohybu
Jz	mm ⁴	-	kvadratický moment
f	-	-	koeficient tření
k	-	-	koeficient bezpečnosti

1. Úvod

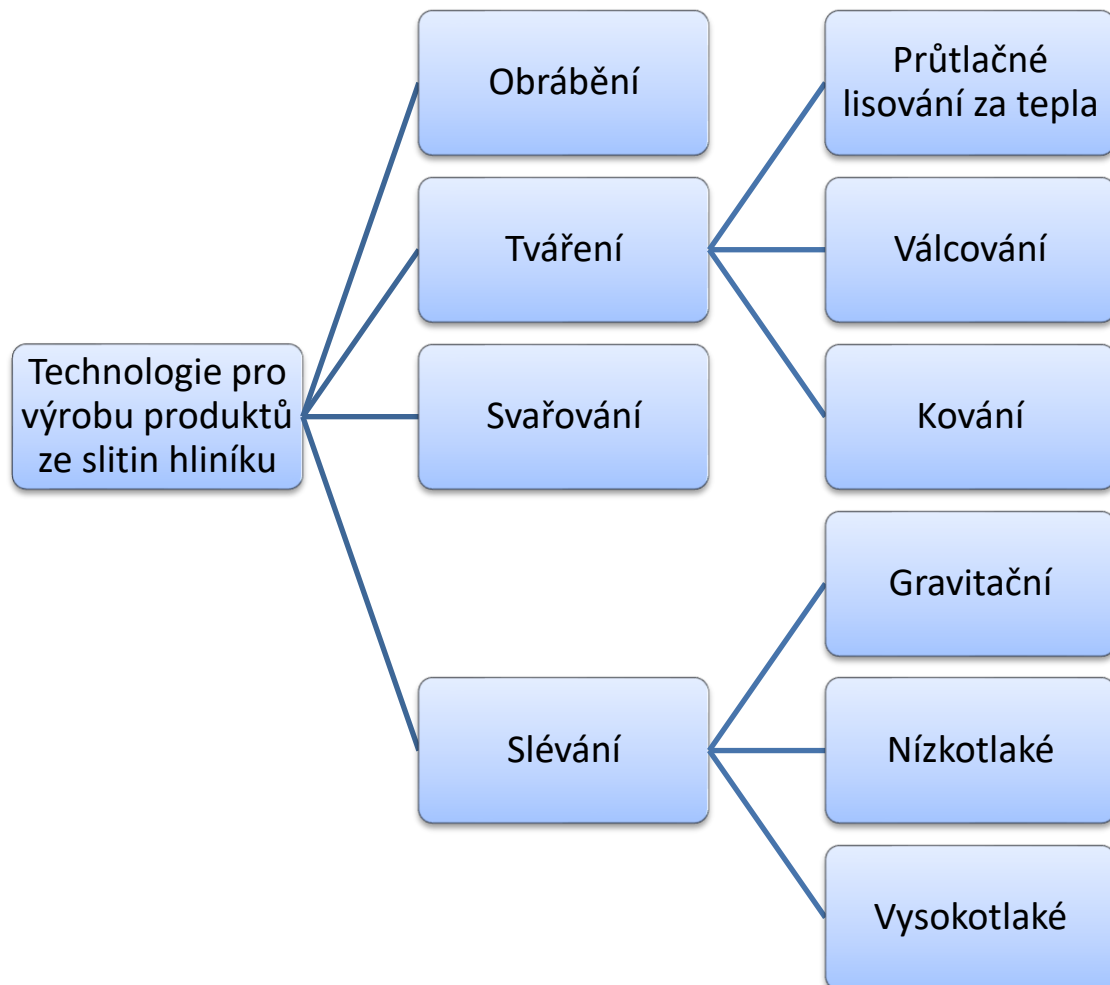
Bakalářská práce byla vypracována ve spolupráci s firmou Lhoták s.r.o., která se zabývá výrobou kokil pro lití neželezných kovů od roku 2010.

Některé výrobky jsou tvarově příliš složité pro obrábění nebo hromadná výroba je příliš nákladná. Proto jsou vyráběny formy na odlévání. Odlévání má vysokou produktivitu práce a při vyšších počtech kusů klesají náklady na výrobek. Výhodou odlitků z hliníkových slitin oproti ocelovým je nižší hmotnost, korozivzdornost a lepší obrobiteľnosť.

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh formy pro hliníkový odlitek (viz. příloha 1), který byl zadán firmou Lhoták s.r.o.. Práce má dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část je věnována technologiím pro výrobu produktů ze slitin hliníku. Praktická část se zabývá konstrukcí kokily včetně vyhazovacího systému (viz. příloha 7), pevnostní kontrole zadaného licího stolu pomocí metody konečných prvků za použití softwaru NX 10 a metodou momentových ploch a porovnání výsledků jednotlivých metod a kontrole zadaného hydraulického válce. Dále obsahuje výkres sestavy kokily, výkres sestavy licího stolu s kokilou, výrobní výkresy obou polovin formy a vodících kamenů kokily. Licí stůl je předepsán zákazníkem. Jeho model a výkres sestavy byl vytvořen pouze pro účely bakalářské práce, kvůli lepší představě usazení formy ve stroji. Dále pro pevnostní kontrolu, zda licí stůl vytvořené kokile vyhovuje.

2. Technologie pro výrobu produktů ze slitin hliníku

Tato kapitola je věnována obecné charakteristice technologií pro výrobu produktů ze slitin hliníku. Na obrázku 1 je zobrazeno základní rozdělení technologií, které jsou zde popsány.



Obrázek 1 - Rozdělení technologie pro výrobu produktů ze slitin hliníku

2.1 Odlévání ze slitin hliníku

Při odlévání ze slitin hliníku musí být zvolena vhodná technologie. Technologií pro odlévání ze slitin hliníku je vícero a v této podkapitole je jich několik popsáno.

2.1.1 Volba technologie odlévání

Volba technologie odlévání závisí na několika faktorech.

První z nich je, jakou **slitinu hliníku použijeme**. Slévárenské slitiny hliníku mají obecně řadu výhod oproti slévárenským slitinám z jiných kovů. Například dobrá slévateľnost,

která se zvyšuje s podílem eutektika, které je tvořeno podle chemického složení. Dále se jedná o dobrou odolnost vůči korozi, nízkou teplotu tavení, obsah vodíku v odlitku, který je jediným rozpustným prvkem v hliníku, lze minimalizovat vhodnými technologickými podmínkami, malý interval krystalizace a u většiny slitin nízká náchylnost k tvorbě trhlin za tepla. [1]

Volba vhodné slitiny je ovlivňována těmito pěti hlavními faktory:

Slévárenské vlastnosti: slévatelnost, odolnost proti vzniku trhlin za tepla, malý interval krystalizace

Požadované mechanické vlastnosti: pevnostní a plastické vlastnosti, tvrdost,...

Chemické vlastnosti: odolnost vůči korozi (u hliníkových slitin je snižována přítomností Cu), možnosti povrchových úprav

Vlastnosti hotových výrobků: nepropustnost kapalin v odlitku působením tlaku, rozměrová a teplotní stabilita

Ekonomické vlastnosti: náklady na obrábění, tavení a lití, tepelné zpracování,... [1]

V současnosti se slévárenské slitiny dělí podle obsahu legujícího prvku do šesti základních skupin:

- 1. Slitiny Al – Cu:** Obsah Cu se obvykle pohybuje mezi 4-5%. Vyrábějí se také slitiny s obsahem 9-11% Cu, které se vyznačují velmi dobrými pevnostními vlastnostmi za vyšších teplot a odolností vůči otěru. Těchto vlastností lze docílit také přidáním Ni a Mg. Nevýhodou těchto slitin je ovšem horší slévatelnost a nízká korozní odolnost. V českých normách je například tato slitina: ČSN 42 4315, slitina $AlCu_4Ni_2Mg_2$ (3,75-4,5% Cu, 1,75-2,25% Ni, 1,25-1,75 Mg). [1]
- 2. Slitiny Al-Cu-Si:** Velmi používaná slitina. Přidáním Si se vůči prvnímu typu slitiny zlepšily slévárenské vlastnosti. Slitiny s vysokým obsahem Si (nad 10%) jsou používány tam, kde je vyžadován nízký koeficient tepelné roztažnosti. Vysokou odolnost vůči otěru vykazují slitiny, kde obsah Si dosahuje až 22%. Dle ČSN jde např. o slitiny: ČSN 42 4339 – $AlSi_8Cu_2Mn$ (7,5-9,5% Si, 2-3% Cu, 0,3-0,5% Mn). [1]
- 3. Slitiny Al – Si:** Používány při požadavku na dobrou slévatelnost a odolnost vůči korozi. Obsah Si se pohybuje kolem 5 – 13%. Podle obsahu Si se dělí na podeutektické (do 12% Si), eutektické (kolem 12% Si) a nadeutektické (nad 12% Si). Pokud není legováno Mg, je možnost tepelného zpracování. ČSN 42 4330 – slitina $AlSi_{12}Mn$ (11-13% Si, 0,1-0,4% Mn). [1]
- 4. Slitiny Al – Mg:** Velmi dobrá odolnost proti korozi především v mořské vodě. Nejlepší odolnost vůči korozi vykazují slitiny vyrobené z vysokočistých surovin. Jsou svařovatelné a mají dobrou mechanickou obrobiteľnost. Při použití v architektuře lze u odlitku realizovat eloxování. Nevýhodou těchto slitin je špatná slévatelnost a náchylnost hořčíku k oxidaci při tavení. ČSN 42 4519 – slitina $AlMg_{10}SiCa$ (7-10% Mg, 0,01-2% Si, 0,01-0,15% Ca). [1]
- 5. Slitiny Al-Zn-Mg:** Tyto slitiny mají dobré pevnostní podmínky již v litém stavu, dobrou odolnost vůči korozi. V případě tepelného zpracování není nutné prutkové ochlazování z kalící teploty (v porovnání se slitinami Al-Cu) a maximálních pevnostních vlastností lze dosáhnout už po 20 až 30 dnech přirozeným stárnutím. Slévatelnost těchto slitin je špatná a jsou náchylné na tvorbu trhlin za tepla. ČSN EN 1706, slitina $AC AlZn_5Mg$ (4,5-6% Zn, 0,4-0,7% Mg). [1]

- 6. Slitiny Al-Sn:** Jedná se o slitiny s obsahem asi 6% Sn a malým množstvím Cu a Ni speciálně pro výrobu kluzných ložisek. Ze slévárenského hlediska je hlavní problém velký interval krystalizace. V ČSN není zástupce tohoto typu slitin. V amerických normách je slitina AA850.0 – 6,5Sn-1Cu-1Ni.[1]

Slitiny pro tlakové lití jsou jinak uspořádány a jsou děleny do následujících 5 skupin:

1. Slitiny Al-Cu-Si
2. Slitiny Al-Si-Mg
3. Slitiny Al-Si-Cu-Mg
4. Slitiny Al-Si
5. Slitiny Al-Mg [1]

Dalším faktorem pro výběr technologie je **konstrukce odlitku** – tvar, rozměry, hmotnost

- Například pro tenkostěnné odlitky (1-2 mm) je vhodně použití vysokotlaké lití, aby se roztavený hliník dostal do každé části formy (i do tenkých stěn)

Faktor přesnosti rozměrů a jakosti povrchu.

- Není-li kladen nárok na vysokou přesnost a jakost povrchu je možné použít gravitační lití do netrvalé pískové formy, ale tato technologie je vhodně pouze malé série až spíše pro kusovou výrobu

Tím se dostáváme k faktoru **počtu kusů v sérii**

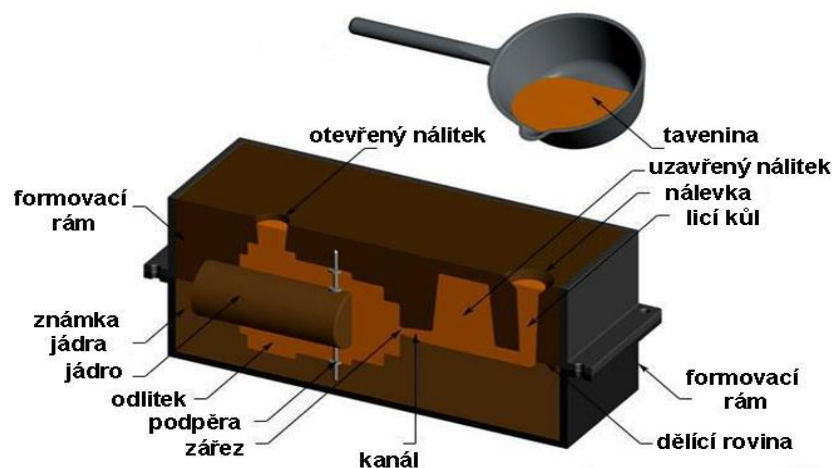
- Jak bylo řečeno výše, netrvalé pískové formy jsou vhodné pro nízký počet kusů v sérii. Například gravitační lití do kovových forem má vyšší produktivitu práce a vysokotlaké lití má ještě vyšší produktivitu

Nyní se už dostáváme k jednotlivým druhům lití

2.1.2 Gravitační lití do netrvalých (jednorázových) forem

Lití do písku:

- nejjednodušší a nejlevnější způsob produkce i velmi složitých odlitků
- hodí se pro kusovou výrobu
- nejprve se ve formě musí vytvořit dutina formováním (pěchováním) podle předem připraveného modelu, dutina svým vnějším tvarem odpovídá tvaru odlitku. [1]



Obrázek 2 - Jednorázová písková forma

Výhody:

- jednoduchý a levný způsob
- lze vyrobit jakýkoliv odlitek bez ohledu na složitost, tvar, rozměr či hmotnost

Nevýhody:

- musí se nejprve vyrobit model, podle kterého se vyrobí forma
- nízká přesnost a kvalita povrchu z toho důvodu vznikají relativně vysoké náklady na obrábění, malé využití tekutého kovu

Pískové formy a jádra:

- vyrábí se z formovacích směsí: pojivo, ostřívo, přísady a voda
- ostřívo: nejčastěji SiO_2
- relativně nízká teplota lití 720 – 750 °C tím pádem nejsou vysoké nároky na žáruvzdornost formovací směsi [1]

Přesné lití: lití na vytavitelný model - skořepiny

Výhody:

- můžeme použít pro komplikované odlitky
- vysoká přesnost a kvalita odlitku

Nevýhody: největší rozměry hliníkových odlitků nepřesahují 100 mm a 0,5kg

Postup výroby skořepiny

1. Výroba voskového modelu
2. Sestavení modelů do soustavy
3. Nanesení keramické suspenze na soustavu a zasypaní ostřivem
4. Opakovat bod 3. Musí se nanést několik vrstev
5. Vytavení vosku
6. Žihání keramické skořepiny při teplotách 900 až 1200 °C

7. Odlévání [1]

2.1.3 Gravitační lití do kovových forem

- patří k jednoduchým, ale produktivním způsobům výroby odlitků ze slitin hliníku
- vhodné pro sériovou výrobu 800 – 60 000 kusů ročně – záleží na velikosti odlitku

Výhody:

- nejlevnější licí stroje, licí stoly
- výrazně zvýšený ochlazující účinek slévárenské formy, což vede ke zjemnění struktury a tím ke zvýšení hodnot mechanických vlastností odlitků
- vysoká hladkost povrchu odlitku, která je dána nejen hladkostí formy, ale také hladkostí ochranného nástřiku, který chrání formu cca Ra 12,5, ovšem pokud je použito pískové jádro je jakost povrchu horší cca Ra 25
- vyšší přesnost odlitků než u lití do pískových forem
- přesnost se pohybuje v desetinách mm
- -nižší relativní náklady na obrábění díky snížení přídavek na obrábění
- forma je stálá, není nutné po každém odlévání vyrábět novou formu
- vyšší produktivita práce
- možnost použít kovová i písková jádra

Nevýhody:

- vyšší náklady na výrobu formy
- minimální tloušťka stěny cca 4 mm
- využitelnost materiálu je pouze 50 – 60% (vtoky, nálitky)
- metoda je vhodná pro odlévání slitin s nižší licí teplotou (jako je hliník)
- kovová forma klade větší odpor při smršťování odlitku při tuhnutí a ochlazování
- kovová forma je neprodyšná, a proto je důležité dostatečné odvzdušnění formy, buď se používá odvzdušnění přes sítko, nebo například pokud je ve formě pískové jádro odvzdušnění se dělá přes známku jádra, za kterou je jádro usazeno do formy. [1]

Zařízení pro gravitační lití do kovových forem mohou být dvojího druhu:

- jednoduchá dělená kovová forma umístěná na licím stole s ruční obsluhou
- komplexně vybavené pracoviště s udržovací pecí a kokilovými licími stroji se zařízením pro čištění pracovní části formy a kovových jader (ošetření pomocí postřiků), hydraulickými tahači pro uzavírání a otevírání formy a pohyb kovových jader. Dávkování taveniny do formy se děje automaticky pomocí robotů, což podle mého názoru není úplně ideální způsob, protože při nalévání by se měla udržovat ideální hladina ve vtoku a to stroj nedokáže odhadnout. Když nalévá člověk, může hladinu udržovat pomalejším nebo rychlejším naléváním, ale stroj nalévá konstantní rychlostí. [1]

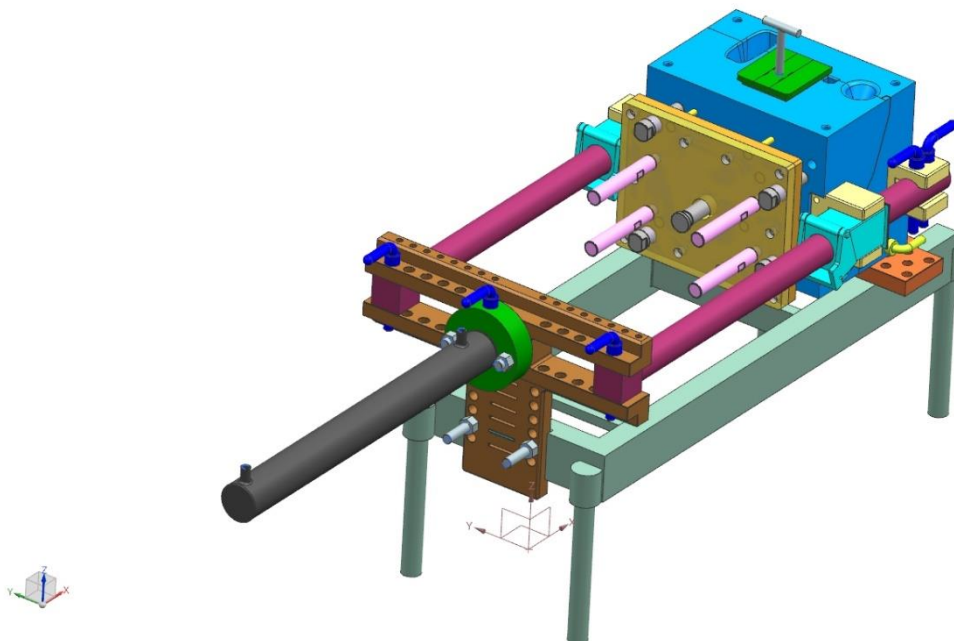
Představu o tom, jak vypadá konstrukční řešení gravitačních kokilových licích strojů nebo stolů lze získat na základě obrázků 3 a 4.

Pohyb jednotlivých částí formy se provádí tzv. mechanizací pomocí hydraulických tahačů. Hlavními částmi jsou nosiče forem, na které se upevní části formy. Dělicí rovina obou polovin může být vertikální i horizontální. Při návrhu technologického řešení formy je nutné vycházet ze znalostí parametrů kokilového licího stroje, na kterém bude kovová forma namontována. [1]

Licích strojů neboli licích stolů může být více druhů. Bude uvedeno několik příkladů:

1) S jednou mechanizací (viz. Forma pro zadaný výrobek):

- Jedna polovina je nepohyblivá druhá polovina pohyblivá pomocí hydraulického válce
- Jádro buď není, nebo je vkládáno ručně, přesná poloha jádra vymezena pomocí tzv. známek
- V našem případě se do formy ještě vkládá tzv. vložka [1]



Obrázek 3 - Ukázka zadaného licího stolu s kokilou

2) Se dvěma mechanizacemi:

- Na stole mohou být dvě formy (formy mohou být pro stejné výrobky, ale není to pravidlem), uprostřed jsou dvě pevné poloviny a ze stran k nim pomocí hydraulických tahačů přijíždějí pohyblivé poloviny, pískové jádro vkládané ručně. [1]

- Na stole bude jedna forma, která bude mít obě poloviny pohyblivé, jádro vkládané ručně



Obrázek 4 - Ukázka stolu s mechanizovanými oběma polovinami

- Na stole bude jedna forma s jednou polovinou pohyblivou pomocí hydraulického tahače a druhou polovinou pevnou. Druhá mechanizace bude pro kovové jádro. [1]

3) Se třemi mechanizacemi:

- Pohyblivé obě poloviny a pohyblivé jádro

2.1.4 Nízkotlaké lití

Plnění formy taveninou probíhá pomalým stoupáním hladiny z plnicí trubice od spodku formy nahoru. Klidné pomalé plnění bez vířů a turbulencí. Zvláštností této metody je, že materiál musí tuhnout odshora směrem dolů a končí v plnicí trubici, která zde přebírá funkci vtoků a nálitků, z toho plyne jedna z výhod – vysoká využitelnost materiálu. Plnění po tlakem 0-1 bar. Po zaplnění dutiny je možné použít takzvaný dotlak, což je zvýšení tlaku na již tuhnoucí taveninu. Dotlak má pozitivní vliv na hustotu odlitku. Forma je složena z pevné a pohyblivé části. Pevná část je těsně nad pecí. Pohyblivá část se pohybuje po vedení, které je tvořeno vodícími sloupy. Součástí pohyblivé poloviny je vyhazovací systém, který uvolní odlitek z dutiny formy. [1]



Obrázek 5 - Stroj pro nízkotlaké lití

Výhody:

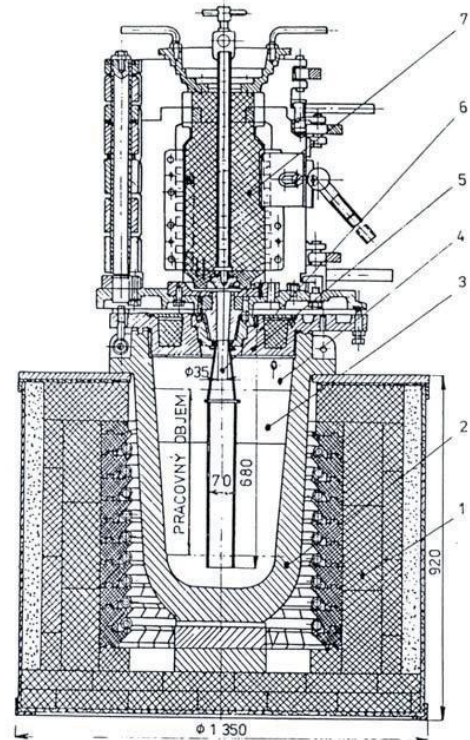
- vysoké využití materiálu v odlitku (90-95%)
- přesnost odlitku v desetinách milimetru
- dobrá jakost povrchu (velmi podobná jako u gravitačního lití) cca Ra 12,5
- Surové odlitky mají jen velmi malé zbytky po plnění trubici
- Klidné a pomalé plnění dutiny formy bez vírů a turbulence
- Možnost zařazení dotlaku ke zvýšení hustoty odlitku a snížení množství spórů (dutin) v odlitku
- celý technologický postup umožňuje výrobu vnitřně i povrchově velice kvalitních odlitků
- stroj pro nízkotlaké lití je levnější než pro tlakové lití

Nevýhody:

- hodí se spíše pro větší série v hodnotách desítek tisíc kusů za rok, kvůli ceně stroje
- tloušťka stěny minimálně 3 mm [1]

Princip nízkotlakého lití zobrazen na obrázku:

- 1) Tavicí agregát, 2) Kovový kelímek, 3) Tavenina, 4) Prostor pod taveninou, 5) Víko pece, 6) Plnicí trubice, 7) Kovová forma

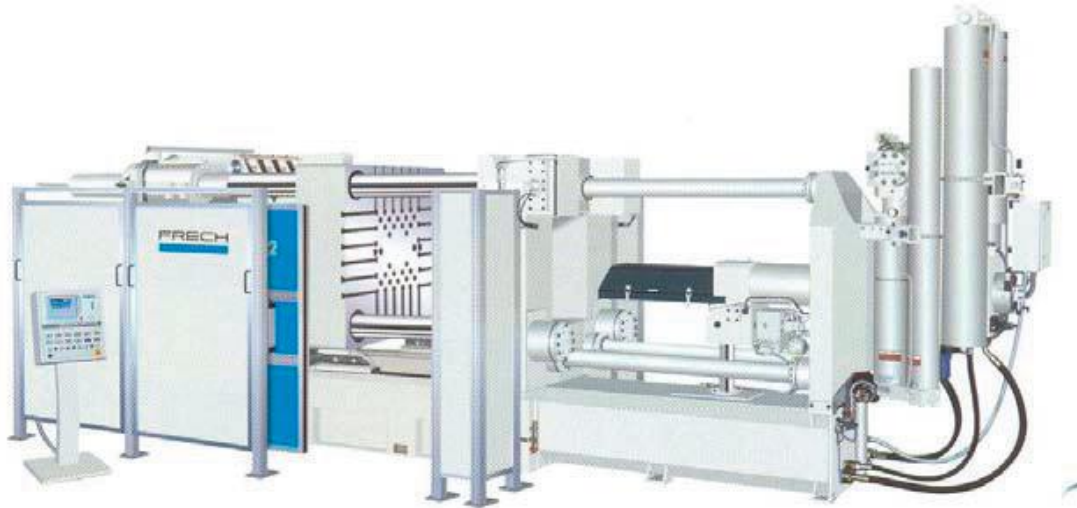


Obrázek 6 - Schéma stroje pro nízkotlaké lití

2.1.5 Tlakové lití

Metoda vhodná pro velkosériovou až hromadnou výrobu, hmotnostně i rozměrově menší výrobky. Vhodná i pro tenkostěnné a tvarově složité odlitky. Při tlakovém lití se dosahuje velmi přesných rozměrů a hladkých povrchů. Nejčastěji se používá pro lití ze slitin neželezných kovů se střední výškou lících teplot. Používá se především pro automobilový, motocyklový a letecký průmysl. Při tlakovém lití je dutina formy plněna pod vysokým tlakem 200 – 400 bar, za vysokých rychlostí až několik desítek metrů za sekundu. Vysoké nároky jsou kladeny na formu. Musí být odolná vůči fyzikálním, chemickým i mechanickým vlivům rychle proudící taveniny. Vysoké nároky jsou kladeny také na lící stroj. Je nutné dosáhnout dokonalého sevření obou polovin formy. Musí být schopen natlačit roztavený kov vysokou rychlostí a za vysokého tlaku do dutiny formy. Tlakové stroje můžeme rozdělit podle tlakové komory, respektive podle pohybu pístu. Pohyb může být vertikální nebo horizontální. Další dělení je buď s teplou tlakovou komorou nebo studenou tlakovou komorou. [1]

Pro odlévání ze slitin hliníku se používají stroje se studenou tlakovou komorou s horizontálním i vertikálním pohybem.



Obrázek 7 - Stroj pro tlakové lití

Forma pro tlakové lití se skládá: z nepohyblivé poloviny, v této části formy je proveden vtok, z pohyblivé poloviny, která se pohybuje po vodících sloupech, které zároveň zajišťují přesné spojení obou dílů a uzavírací silou zamezují otevření formy při lití. Dále je potřeba podle velikosti odlitků a také podle počtu odlitků ve formě a podle velikosti zvoleného stroje přizpůsobit velikost tlakové formy. Dále se navrhne dělicí rovina. Proběhne rozhodnutí o materiálu a využití jader, návrh vtokové soustavy, odvzdušnění a systém vyhazovačů pro uvolnění odlitků a jader. [1]

Výhody:

- Metoda vhodná pro tenkostěnné odlitky cca 1 mm
- Tvarově složité odlitky
- Využitelnost materiálu cca 90 – 95%
- Lepší jakost povrchu než u gravitačního a nízkotlakého lití Ra 6,3
- Přesnost rozměrů v setinách milimetrů
- Velmi vysoká produktivita

Nevýhody:

- Vyplatí se až pro velkosériovou až hromadnou výrobu nad 100 000 Ks/rok
- Velmi drahý lící stroj
- V porovnání s nízkotlakým a gravitačním litím mnohem dražší výroba formy [1]

2.2 Tváření slitin hliníku

Hlavním dějem při tvářecích pochodech jsou velké plastické deformace. Při těchto deformacích dochází k trvalé změně tvaru a rozměrů tělesa. Ale může docházet i k různým fyzikálním a chemickým dějům. Při technologických tvářecích pochodech, jako jsou průtlačné lisování, válcování a kování, jsou změny tvaru způsobeny vnějšími silami působícími na materiál vlivem pracovních nástrojů (lisovacích matic, válců, kovadel, zápustek). Je důležité, aby se při tváření nepřekročil stav napjatosti, při kterém se poruší soudržnost materiálu. Různé tváření pochody mají různé různou míru přetvoření materiálu.

Odpor materiálu proti plastické deformaci je dán přetvárným odporem závislejícím na řadě faktorů, jako jsou vliv teploty, rychlost deformace, chemické složení materiálu, stupeň deformace. [1]

2.2.1 Průtlačné lisování hliníku a jeho slitin za tepla

Jedná se o jednu z nejvíce využívaných metod tváření hliníku a jeho slitin.

Výhody:

- při poměrně malém počtu operací lze vyrábět různé typy výlisků s jednoduchými i složitými průřezy
- vysoká přesnost rozměrů
- kvalitní povrch

Nevýhody:

- omezení v délce výlisku dané délkou výběhu za lisem

Polotovarem jsou kruhové čepy, které jsou na lisovací délky nařezány. Jsou před lisováním ohřáty na požadovanou teplotu, tak, aby odpor proti přetvoření byl co možná nejmenší a současně nedocházelo k trhlinám a povrchovým vadám v důsledku vysoké teploty. Čep je zasouván do recipientu lisu a razníkem je potom materiál přes lisovací matici daného tvaru protlačen. [1]

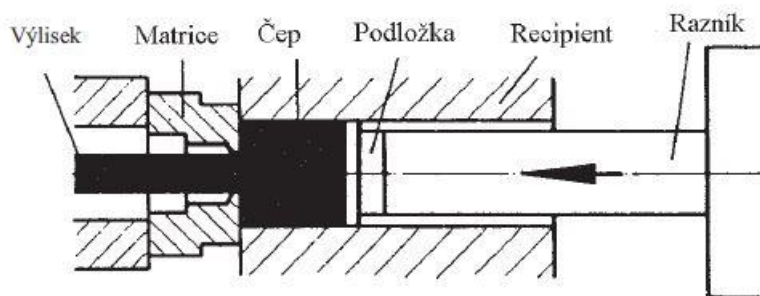
Můžeme rozdělit na přímé a nepřímé lisování.

2.2.1.1 Přímé lisování

Běžnější způsob než nepřímé lisování. Schéma uspořádání je na obrázku. Lisovací matrice je pevně uložena. Razník tlačí na přehřátý čep proti matici, která na výstupu uzavírá recipient.

Výhody:

- jednoduché uspořádání
- velmi krátká vzdálenost mezi výstupu z matrice a místem, kde je možné výlisek ochlazovat [1]



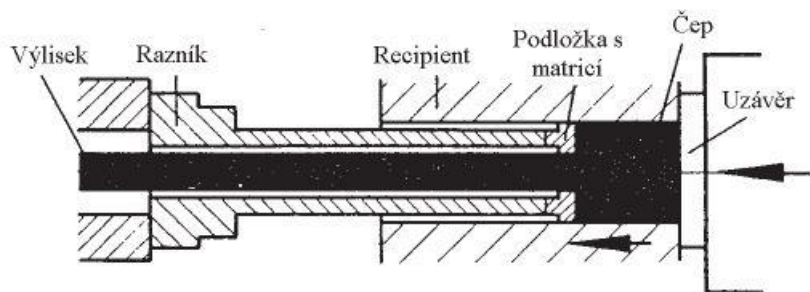
Obrázek 8 - Schéma přímého lisování

2.2.1.2 Nepřímé lisování

Lisovací matrice je upevněna do dutého a pevného držáku razníku. Lisovací čep je natlačován na pevnou matrici. Směr pohybu materiálu výlisku vůči razníku je opačný (viz. obrázek).

Výhody:

- v porovnání s přímou metodou výrazně nižší tření mezi materiálem a kontejnerem
- nižší potřebná lisovací síla [1]



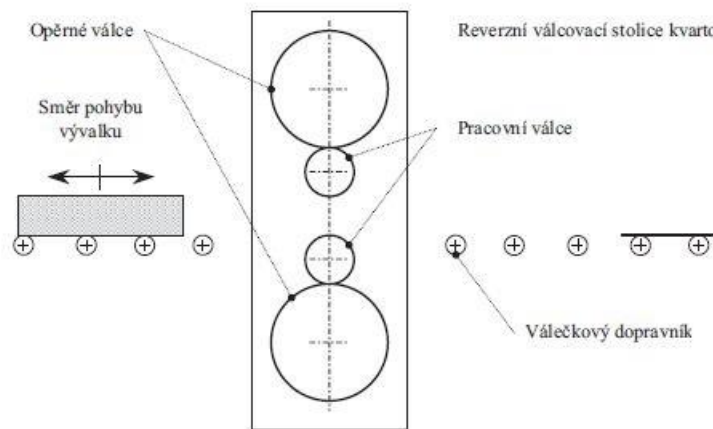
Obrázek 9 - Schéma nepřímého lisování

2.2.2 Válcování hliníku a jeho slitin

Nejvíce používaná metoda při výrobě tvářených polotovarů z hliníku a jeho slitin. Velmi produktivní způsob výroby desek, plechů, pásů a folií, ty rozdělujeme podle jejich tloušťky. Nad 6 mm se jedná o desky, 0,2 až 6 mm pásy a plechy a méně než 0,2 mm fólie. [1]

Principem válcování je trvalá deformace plochého vývalku. Ta je provede průchodem materiálu mezi dvěma otáčejícími se válci. Tloušťka vystupujícího materiálu je menší než tloušťka vstupujícího polotovaru. Platí zde zákon zachování objemu. Důležitým faktorem je plocha dotyku válce s materiálem. Při konstantním měrném tlaku určuje válcovací sílu. Čím menší dotyková plocha tím větší válcovací síla. V tomto směru je tedy výhodnější menší průměr válce. Naopak pro zachycení a přenos sil působících na válec je výhodnější větší

průměr. Rozhodování, zda použít válce o menším nebo větším průměru, bylo vyřešeno sestrojením tzv. kvarto stolice. Jedná se o soustavu válců, kde pracovní válce, které mají menší průměr, jsou podepřeny válci o větším průměru. [1]



Obrázek 10 - Schéma kvarto válcovací stolice

Kvarto stolice jsou nejčastěji používány při válcování za studena, používají se jak reverzní (viz. Obrázek) tak jednosměrné. Na konečnou šířku je materiál redukován několika tloušťkovými úběry. Hlavními parametry jsou rozměry, tlaková síla, kroutící moment, velikost tahu a také kvalita a způsob nástřiku válcovacího oleje, který má funkci jak mazací, tak chladicí. Vlivem deformace pásu se vytváří deformační teplo, které částečně ohřívá pracovní i opěrné válce, což může ovlivňovat podmínky tváření. [1]

2.2.3 Kování hliníku a jeho slitin

Zjednodušeně je možné kování rozdělit na volné kování a zápustkové kování.

2.2.3.1 Volné kování

Při volném kování se na polotovary působí opakovanými údery, přičemž s kováčem přichází do styku pouze malá část povrchu materiálu. Volné kování je vhodné pro výrobu menších sérií větších výkovků, pro které se nevyplatí konstruovat drahé zápustky. Nejčastějšími operacemi při volném kování jsou pýchování, prodlužování, prorážení a ohýbání. Většinou jednoduché tvary jako je kruhový, čtvercový nebo mnohoúhelníkový průřez.

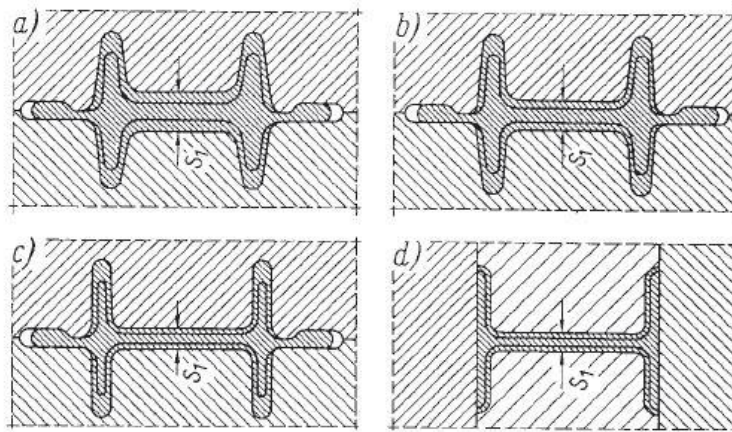
Výhody:

- Malé náklady na nástroje v porovnání se zápustkovým kováním
- V případě počítačem řízených postupů lze dosáhnout velmi dobrých rozměrových tolerancí [1]

2.2.3.2 Zápustkové kování

Nejpoužívanější metoda výroby hliníkových výkovků. Při zápustkovém kování je ohřátý materiál deformován v uzavřené vícedílné zápustce, dokud ji zcela nevyplní. Výkovky kované v zápustkách lze rozdělit podle rozměrových tolerancí a dosažitelných tlouštěk stěn (obr. 11).

a) předkovek, b) běžný výkovek, c) náročný zápustkový výkovek, d) přesný výkovek v uzavřené zápustce



Obrázek 11 - Rozdělení zápustkových výkovek

Čím vyšší nároky na tolerance a tloušťky stěn tím vyšší cena na výrobu zápustek, ale mnohem nižší náklady na obrábění. Naopak u výkovek s nižšími nároky na tolerance se snižuje cena na výrobu nástrojů, vzniká však větší množství přebytečného materiálu, který je odebrán obráběním. [1]

2.3 Svařování slitin hliníku

Svařování je jednou ze základních metod spojování dílů z hliníkových slitin. Mezi nejrozšířenější metody svařování patří tavné svařování, při kterém dochází v místě spoje k natavení spojovaných dílů. Základními metodami tavného svařování jsou MIG (Metla Inert Gas) a TIG (Tungsten Inert Gas). Při metodě MIG hoří oblouk mezi svařovaným materiálem a kovovou elektrodou, která je současně přídavným materiálem. U metody TIG hoří oblouk mezi základním materiálem a wolframovou elektrodou, která se netaví. Při metodě TIG se do vzniklého oblouku vkládá přídavný materiál, který se roztaví. Tavné svařování probíhá v ochranné atmosféře, která je nejčastěji tvořena argonem nebo heliem nebo jejich směsí. Dalšími druhy svařování jsou například svařování elektronovým paprskem nebo svařováním laserem. Tyto metody mají vyšší přesnost spojování a lepší vlastnosti svarového spoje.

Další metodou je například tlakové svařování, které je spojeno s působením vnějších sil v místě svarového spoje. Mezi tyto metody patří i postupy založené na tření. Vlivem tření vznikne mezi spojovanými díly teplo, poté dojde k natavení materiálů a k jejich spojení. [1]

2.4 Obrábění slitin hliníku

Obecně je možné říci, že hliníkové slitiny patří ve srovnání s ostatními kovovými materiály mezi ty lépe obrobitelné. Například ve srovnání s ocelí stejné pevnosti jsou u hliníkových slitin řezné síly mnohem menší. Slitiny hliníku je možné rozdělit z hlediska obrobitelnosti do tří skupin. Slitiny slévárenské, tvářené a slitiny automatové, které jsou speciálně určené pro obrábění.

Slévárenské slitiny obsahují měď, hořčík nebo zinek jako hlavní legující prvky, jsou dobře obrobitelné a při obrábění nezpůsobují žádné podstatné problémy.

Tvářené slitiny mají většinou velmi dobré charakteristiky obrábění. Zejména u slitiny tvářených za studena, u kterých dochází k vytvrzování. Slitiny v tvrdém stavu mají lepší povrch než slitiny žíhané na měkko.

Automatové slitiny jsou legovány prvky s nízkou teplotou tání. Prvky jako Pb, Bi, Sb a Cd zlepšují podmínky pro vznik dobré lámavé třísky což je při obrábění žádoucí. Při rovnoměrném rozmístění částic z těchto prvků dochází při vyšších teplotách na hraně řezného nástroje k jejich částečnému natavení, a tím k tvorbě drobných třísek. [1]

3. Konstrukce gravitační kokily

Touto kapitolou začíná praktická část této bakalářské práce. Je zde popsáno zadání zakázky a postup samotné konstrukce kokily.

3.1 Zadání zakázky

Vybraná zakázka pro účely této práce je kompletní výroba funkční gravitační kokily včetně konstrukce. Odlitkem je sací trubka pro automobilový průmysl (viz. Příloha 1).

Součástí zadání je výkres výrobku (viz. Příloha 2) včetně všech důležitých informací potřebných pro konstrukci gravitační kokily. Výkres obsahuje zákazníkem vepsanou poznámku 1x GKL – M1/ R1 + PJ ~ 3,3 / + TP1 (1,25/ 198/ 1,65T) pro níž platí:

- 1x GKL: jednonásobná kokila pro gravitační lití
- M1: jedna mechanizace (pohyblivá polovina je otevírána pomocí hydraulického válce)
- R1: ručně vyjímatelná vložka
- PJ ~ 3,3: pískové jádro o hmotnosti 3,3 kg
- TP1: tlakovací přípravek (interní informace zákazníka)
- (1,25/198/1,65T): hmotnost odlitku 1,25 kg / 198 mm největší rozměr / 1650 ks předpokládaný roční objem dodávaných kusů

Na výkres zákazník naznačil dělicí rovinu odlitku (oranžová barva), vtokovou soustavu s nálitkem (modrá barva), pískové jádro (zelená barva), vložku (žlutá barva) a přídavky na obrábění (červená barva).

Zákazníkem předepsané objemové smrštění pro odlitek a pískového jádro je 0,8 %. Požadavkem je zapracovat gravitační kokilu do licího stolu (viz. Příloha 3). Materiál kokily požaduje zákazník Superplast 300.

Superplast 300 je speciální nástrojová ocel určená pro výrobu licích forem, zušlechťená na 32–35 HRC. Má výborné tepelné vlastnosti, svařovatelnost a obrobitelnost, která je o 15% lepší než u klasických ocelí W. Nr. 1.2738, 1.2311, 1.2312.

3.2 Postup konstrukce

Před začátkem konstrukce je nutné upravit zasláný model výrobku. Což znamená přidání přídavků na obrábění (viz. Příloha 4 červeně) a zvětšení modelu o hodnotu zadaného objemového smrštění. Podle otvoru v odlitku se vytvoří model jádra včetně známek, za které se pískové jádro ve formě ustavuje.

Druhou operací je určení od vzdušnění. Kokila musí být dobře od vzdušněna, protože při lití se odpařuje pojivo z pískového jádra. U konstruované formy máme pouze jedno problematické místo. Dutina se plní od spodu, vzduch tlačí před sebou vzhůru, ten z větší části unikne nálitkem. Když se ale podíváme na místo ve vložce (viz. Příloha 5), zjistíme, že zde je lokálně nejvyšší místo odkud vzduch nemá kam uniknout. Je tedy nutné, aby zde byly průduchy pro únik vzduchu. Průduchy vytvoříme drážkou na vložce. Vzduch drážkami unikne, ale tavenina do těchto míst nezateče.

Třetí operací je vytvoření dělicí roviny dle výkresu zadání, která určuje zaformovatelnost odlitku a základní tvar kokily.

Posledním krokem před samotnou konstrukcí je vytvoření vtokové soustavy. Odlévaný výrobek málokdy umožňuje použít jednoduchý tvar vtoku, například kruhového průřezu. Volba tvaru se odvíjí od možností odlitku. Je nutné počítat s co nejjednodušším odříznutím vtoku od odlitku (viz. Příloha 4 červeně „na hrbu“). Výpočet velikosti vtokové soustavy vychází z objemu odlitku. U gravitačního lití se udává využitelnost materiálu 50–60 %. Zbýlých cca 40% - 50% objemu surového odlitku bude mít vtoková soustava a nálitek. Vtoková soustava se skládá z vtokového kůlu, struskovacího kanálu a propojovacího kanálu mezi struskovačem a odlitkem. Teoretický poměr průřezů bývá 1 : 2 : 4 (vtokový kůl : struskovací kanál : propojovací kanál). Z poměru průřezů vyplývá, že se průřez postupně mění. Se zvětšujícím se průřezem se tavenina při nalévání zpomaluje. V praxi to není vždy tak snadné. U některých odlitků není konstrukčně možné mít velký propojovací kanál. Proto se případně vychází z velikosti objemu propojovacího kanálu mezi struskovačem a odlitkem nebo se vytvoří v propojovacím kanálu brzda. Jedná se o tvar, kterým se zvětší objem propojovacího kanálu a tím se sníží rychlost taveniny. Od velikosti propojovacího kanálu se odvíjí velikost struskovače a vtokového kanálu.

Jelikož vývoj simulačních programů jde dopředu, firmy nahrazují ruční výpočty simulacemi, které pomáhají odlévatelnosti odlitků. Simulace odhalí problémy, které se zjišťovaly až při samotném odlévání. Hlavními problémy jsou nedostatečné odvodušnění kokily. Dále pórovitost odlitku, což jsou trhliny vznikající při tuhnutí. Simulace napomáhají zjišťovat, kde tavenina tuhne nejrychleji a kde nejpomaleji. Je potřeba, aby jako poslední tuhla v nálitku a vtoku. Simulací zjistíme i dobu nalévání a tuhnutí taveniny.

Samotná konstrukce formy začíná určením rozměrů polovin podle zadaného stolu. Připravená dělicí rovina, vtoková soustava, náletek, jádro a model odlitku se od obou polovin odečte a tím vznikne dutina uvnitř formy.

Poslední fáze konstrukce spočívá v umístění středících kolíků pro přesné uzavření formy, upevnění vodících kamenů, vyhazovacího a odtlačovacího systému.

Vyhazovací systém umožní vyjmutí odlitku z formy po otevření a odjetí pohyblivé poloviny. Odtlačovací systém při zavírání formy navrátí vyhazovací desky s vyhazovači do výchozí polohy.

4. Návrh alternativní varianty a výběr optimálního řešení




Tato kapitola je věnována výběru optimální technologie lití pro zadaný hliníkový odlitek, specifikaci požadavků na navrženou kokilu a hodnocení míry jejich splnění.

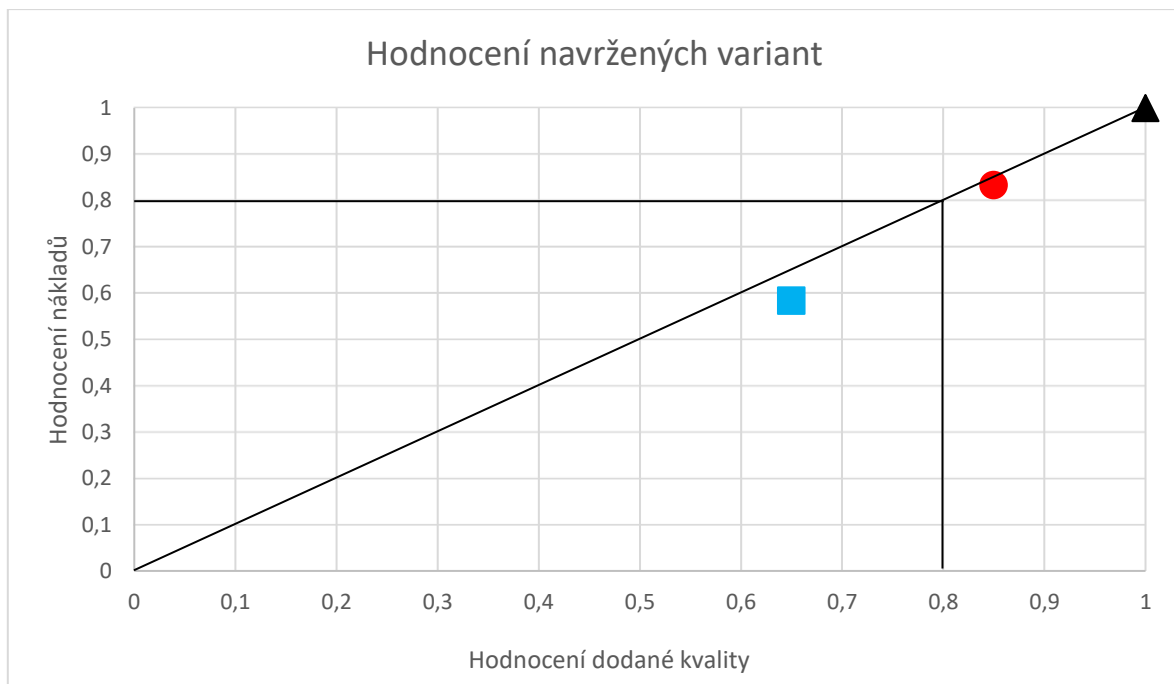
4.1 Popis a hodnocení variant

Varianta A je kokila pro gravitační lití s jednou mechanizací. Pomocí mechanizace je pohybováno pohyblivou polovinou. Ručně je vkládáno pískové jádro a vložka. Ovládání je jednoduché pouze na zavření a otevření kokily. Plnění probíhá ručně obsluhou. Za odpad je považována celá vtoková soustava, která je odřezávána od odlitku. Odříznutá vtoková soustava je opět roztavena a použita pro další lití. Není nutnost přesného odhadu doby tuhnutí, protože tuhne celá vtoková soustava. Lící stůl je oproti stroji varianty B velmi levný a malý.

Varianta B je kokila pro nízkotlaké lití. Kokila má tři mechanizace. Pomocí mechanizací je pohybováno oběma polovinami a vložkou. Pískové jádro je vkládáno ručně. Ovládání je mírně složitější, je nutné vyškolení obsluhy pro ovládání stroje. Samotné plnění již probíhá automaticky. Odpad je minimální. Je nutný správný odhad doby tuhnutí, aby neztuhla tavenina v trysce. Stroj pro nízkotlaké lití je mnohem větší a pořizovací náklady jsou mnohem vyšší.

Tabulka 1 - Hodnocení navržených variant

	Varianta	A 	B 	Ideál 
Q	Ovládání	3	2	4
	Náročnost plnění	3	4	4
	Odpad	3	4	4
	Správný odhad času tuhnutí	4	2	4
	Rozměr stroje	4	1	4
	Součet hodnocení	17	13	20
	Normované hodnocení	0,85	0,65	1
C	Náklady na stroj	4	1	4
	Náklady na recyklaci odpadu	3	4	4
	Náklady na výrobu kokily	3	2	4
	Součet hodnocení	10	7	12
	Normované hodnocení	0,8333	0,5833	1



Obrázek 12 - Graf hodnocení koncepčních variant

Z grafu vyplývá, že suboptimální je varianta A, tedy kokila pro gravitační lití. Neboť má při nižších nákladech pro nás lepší kvalitu. Hodnocení souvisí také s počtem odlitých kusů za rok. Pořizovat stroj na nízkotlaké lití by se mohlo vyplatit až od cca 5000 ks/rok. Pro menší odlitky, jako v tomto případě, i více. Proto hodnocení vyšlo s tak jasným rozdílem. Splňuje požadované hodnoty na kvalitu i náklady, které byly stanoveny na 80 %.

Jelikož vhodnější vyšla varianta A, tedy kokila pro gravitační lití, byla pro ni vypracována specifikace požadavků a jejich vyhodnocení pomocí analýzy SWOT, a dále vyhodnocení pomocí analýzy SWOT pro vylepšený stav.

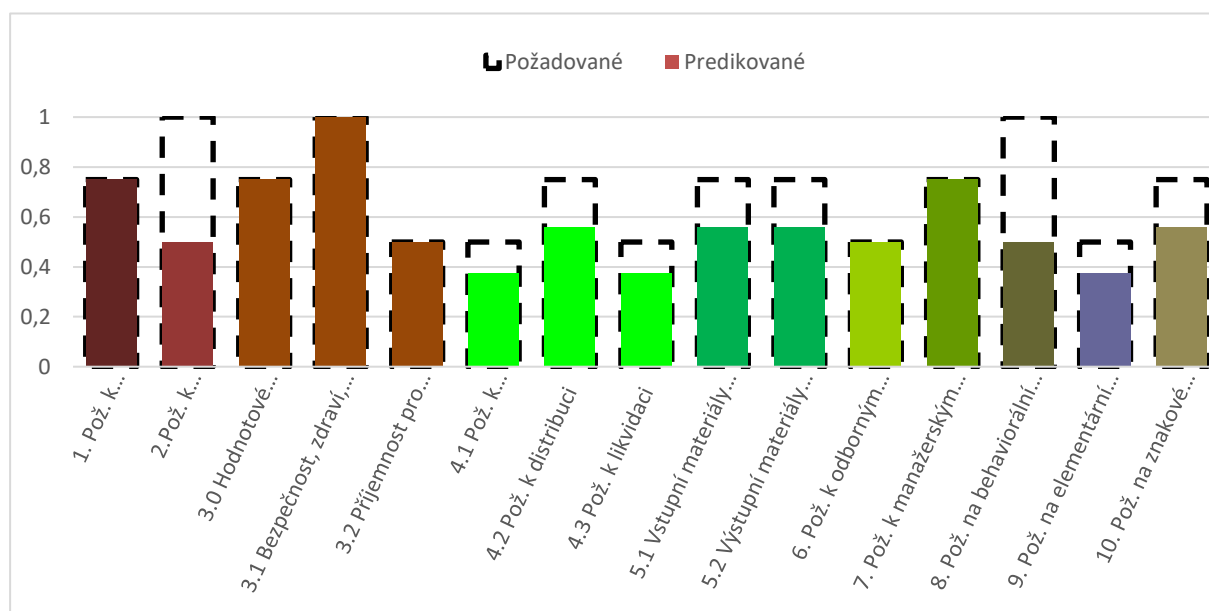
4.2 Specifikace požadavků a hodnocení míry splnění predikovaných vlastností

Tabulka 2 - Specifikace požadavků na technický systém včetně SWOT analýzy

Specifikace požadavků na REFLEKTOVANÉ vlastnosti TS - k PROVOZNÍ etapě životního cyklu TS			SWOT pro výchozí stav			SWOT pro zlepšený stav			
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha	Hodnota splnění	Hodno cení	Váž. hodnocení	Hodnota splnění	Hodno cení	Váž. hodnocení	
1. Pož. k (hlav. i podp.) transformačním funkcím a účinkům – k Operátoru TS, Operandu i Procesu:			(0 - 4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
1.1 OPERÁTOR TS:	Kokila pro gravitační lití	---	3	****	4	0,75	****	4	0,75
• Hmotnost	350 Kg								
• Vytvořit prostor pro vypadnutí odlitku	---								
- <i>maximální rozevření kokily</i>	438 mm								
• Maximální tlak hydraulického válce	8 t								
• Typ pohonu	Elektrína								
1.2 OPERAND:	Roztavený hliník	---							
• parametry hliníku	---								
- <i>teplota tavení</i>	660,3 °C								
- <i>teplota nalévané taveniny</i>	720 °C								
1.3 PROCES:	Odlévání odlitku	---							
• Frekvence odlévání	1650ks/rok								
• Efektivita odlévání	Vysoká								
• Umožnit vyjmutí odlitku	---								
- <i>odjetí pohyblivé poloviny</i>	Od pevné poloviny								
• Umožnit vypadnutí odlitku	Vyhazovacím systémem								
2. Pož. k provozuschopnosti TS - k místu provozování, časovému rozmezí a servisu:			(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
• Prostředí	Slévárna	4	**	2	0,5	****	4	1	
• Životnost	Vysoká								
• Frekvence použití	1650ks/rok								
• Údržba	Minimální								
• Provozní náklady	Minimální								
• Spolehlivost	Vysoká								
3. Pož. k člověku a ostatních živým bytostem - bezpečnosti, příjemnosti, zdraví:			(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
(3.0) Hodnotové vlastnosti			---	---	---	---	---	---	---
- <i>kulturnost obsluhy kokily</i>	Vysoká	3	****	4	0,75	****	4	0,75	
- <i>kulturnost vyjímání odlitku</i>	Vysoká								
3.1 Bezpečnost, zdraví, ergonomie, hygieničnost			---	---	---	---	---	---	---

- povrchy ovládacích prvků	protiskuzové, dobře hmatatelné	4	****	4	1	****	4	1
- čistitelnost	Vysoká							
- stabilita	Vysoká							
- umístění ovládacích prvků	pro zajištění bezpečnosti							
3.2 Příjemnost pro člověka		---	---	---	---	---	---	---
- tvarový design	uspokojivý	2	****	4	0,5	****	4	0,5
- hlučnost	minimální							
4. Pož. k ostatním TS a Tg v životním cyklu TS - k dostupným i vyvolaným:		(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
4.1 Pož. k předvýrobním procesům a výrobě		---	---	---	---	---	---	---
• Vhodnost pro konstruování, Tg. a Org. příp. výroby	vysoká	2	***	3	0,375	***	3	0,375
• Náročnost na výrobení a montáž	strojírenská dílna							
• Druh výroby	Kusová							
4.2 Pož. k distribuci		---	---	---	---	---	---	---
• Skladovací prostor	minimální	3	***	3	0,56	***	3	0,56
• Manipulace při dopravě a instalaci	Vysokozdvížený vozík							
4.3 Pož. k likvidaci		---	---	---	---	---	---	---
• Demontovatelnost	jednoduchá	2	***	3	0,375	***	3	0,375
• Recyklovatelnost	vysoká							
5. Pož. k aktivnímu a reaktivnímu prostředí - mater. a energiím, vstupním i výstupním:		(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
5.1 Vstupní materiály a energie		---	---	---	---	---	---	---
• Ekologičnost použitých materiálů a procesů	výhradně	3	***	3	0,56	***	3	0,56
• Potřeba materiálů a energií	minimální							
5.2 Výstupní materiály a energie		---	---	---	---	---	---	---
• Ekologičnost výstupních materiálů a energií	výhradně	3	***	3	0,56	***	3	0,56
• Množství odpadových materiálů a energií	minimální							
6. Pož. k odborným informacím - dostupným i vyvolaným:		(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
• Patentová a licenční práva	dodržení	2	****	4	0,5	****	4	0,5
• Další předpisy a normy (včetně bezpečností)	dodržení							
• Výrobní a montážní dokumentace	standartní							
• Návod k obsluze, údržbě a opravám	požadováno							
7. Pož. k manažerským informacím – k produktu, termínům, nákladům a legislativě:		(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
• Náklady		3	****	4	0,75	****	4	0,75
- prodejní cena	350 000 Kč							

- náklady na vývoj konstrukce	50 000 Kč							
• Čas na vývoj a dodání	4 měsíce							
Specifikace požadavků na DESKRIPTIVNÍ vlastnosti TS - NEZÁVISLE na etapách životního cyklu TS			SWOT pro výchozí stav			SWOT pro zlepšený stav		
Třída/podtřída vlastnosti / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha	Hodnota splnění	Hodnocení	Váž. hodnocení	Hodnota splnění	Hodnocení	Váž. hodnocení
8. Pož. na behaviorální (obecné) konstrukční vlastnosti:		(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
• Odolnost povrchů proti poškození	vysoká	4	**	2	0,5	****	4	1
• Odolnost dutiny kokily	vysoká							
• Odolnost vtokové soustavy	vysoká							
9. Pož. na elementární konstrukční vlastnosti:		(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
• Ovládací prvky		2	***	3	0,375	***	3	0,375
- způsob ovládání	Ovládací panel							
• Spojovací prvky								
-souhrnná charakteristika	normalizované							
10. Pož. na znakové konstrukční vlastnosti/charakteristiky:		(0-4)	(0-****)	(0-4)	(0-1)	(0-****)	(0-4)	(0-1)
• Funkční princip:	Manuálně mech. a elektrické ovlád.	3	***	3	0,56	***	3	0,56
• Typ ovládání a pohonu	Ruční ovládání a el. pohon							



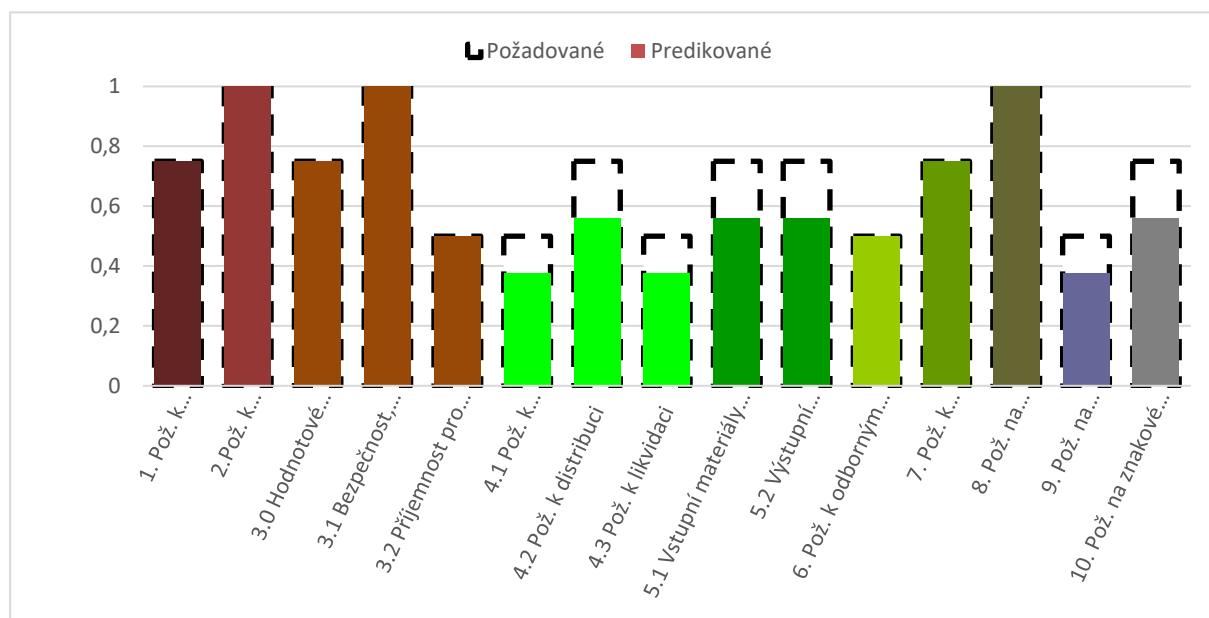
Obrázek 13 - Diagram váženého hodnocení vhodnosti predikovaných vlastností konstrukčního návrhu

4.3 Zlepšení konstrukčního návrhu

Z diagramu predikovaných vlastností je možné vyčíst, že některé vlastnosti zdaleka nespĺňují požadovanou úroveň. Jedná se zejména o požadavky provozuschopnosti technického systému, konkrétně o údržbu, provozní náklady a spolehlivost. Dále o požadavky na obecné konstrukční vlastnosti. Konkrétně o odolnost povrchů proti poškození, odolnost dutiny kokily a odolnost vtokové soustavy.

Pro odolnost a lepší jakost povrchu odlitku je možné na dutinu formy použít ochranný nástřík na bázi grafitu, který má černou barvu. Ten zajistí rychlejší odvod tepla, a rychlejší tuhnutí taveniny v dutině formy což je žádoucí. Povrch odlitku bude jemnější. Na vtokovou soustavu, případně na nálietek, je možné použít ochranný nástřík na bázi kaolinu, který je bílý. Tento nástřík naopak udržuje teplo, proto v těchto místech tavenina tuhne pomaleji.

Pro zlepšení vlastností jako jsou spolehlivost, provozní náklady a nutnost údržby je možné použít základní postřík na bázi železa, který má červeno-hnědé zbarvení. Na kokile proto není tak vysoká nutnost údržby. Další výhodou je, že na sobě déle podrží nástříky na bázi grafitu a kaolinu. Nemusí se tedy používat před každým litím, což snižuje provozní náklady.



Obrázek 14 - Diagram váženého hodnocení vhodnosti predikovaných vlastností konstrukčního návrhu po vylepšení

Z diagramu předvídaného splnění požadovaných vlastností je možné vyčíst, že obě skupiny vlastností, které na tom byly nejhůře, se povedlo zlepšit na požadovanou úroveň.

Ostatní vlastnosti, které nedosahují požadované úrovně, nejsou považovány za tolik důležité. Není proto nutné tyto vlastnosti vylepšovat a hodnota splnění je pro nás dostatečná.

5. Výpočty:

Pátá kapitola se zabývá kontrolou pevnosti a průhybu vodících tyčí a kontrolou zadaného hydraulického válce.

5.1 Pevnost a průhyb vodících tyčí

Pro výpočty pevnosti a průhybu vodících tyčí jsou použity dvě metody. Metoda konečných prvků s použitím softwaru NX, která problém řeší mnohem komplexněji. Druhou metodou, pro výpočet průhybu a úhlu natočení, je použita metoda momentových ploch.

Výpočet pevnosti vodících tyčí je oproti metodě MKP zjednodušen na zatížený nosník na dvou podporách. Nosník je zatížen dvěma silami. Tíhou pohyblivé části kokily a vlastní tíhou vodící tyče.

Hmotnost pohyblivé části kokily je cca 222 kg, na vodící tyče tedy působí síla zhruba 2220 N.

Gravitační zrychlení je zaokrouhleno na 10 m/s^2 . Působící síla vychází nepatrně větší, což kontrole pevnosti neuškodí. Vodící tyče jsou dvě, síla se tedy rozloží na polovinu.

$$F = \frac{222 \cdot 10}{2} = 1110 \text{ N}$$

Průměr vodících tyčí je 60 mm o délce 1000 mm a jsou vyrobeny z oceli 11 523.

Tíha vodících tyčí:

Ocel 11 523: hustota 7850 kg/m^3

Nejprve je spočítán objem, poté hmotnost a nakonec tíha tyče:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot a = \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \cdot 1 = 0,0028274 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \cdot V = 7850 \cdot 0,0028274 = 22,195 \text{ kg} \rightarrow 22,2 \text{ kg}$$

$$G = m \cdot g = 22,2 \cdot 10 = 222 \text{ N}$$

Vše, co je potřeba k výpočtům

$$a = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$$

$$b = 350 \text{ mm} = 0,35 \text{ m}$$

$$D = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

$$F = 1110 \text{ N}$$

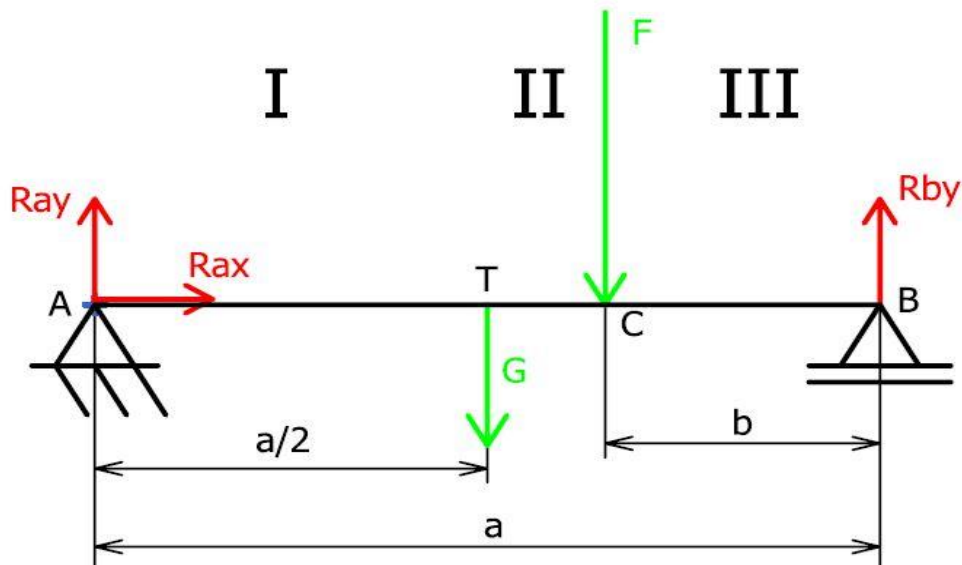
$$G = 222 \text{ N}$$

Ocel 11 523:

$$\sigma_k = 333 \text{ MPa}$$

$$E = 206\,000 \text{ MPa}$$

$k = 3$; koeficient bezpečnosti je zvolen 3, vzhledem k tomu, že při práci s kokilou je manipulováno s rozžhaveným kovem a při porušení vodících tyčí může dojít ke zranění



Obrázek 15 - Zadání zjednodušené úlohy

5.1.1 Výpočet reakcí

$$\sum_i F_{ix} = 0 \Rightarrow R_{ax} = 0$$

$$\sum_i F_{iy} = 0 \Rightarrow R_{ay} + R_{by} - F - G = 0 \Rightarrow R_{ay} = G + F - R_{by} = 222 + 1110 - 832,5 = 499,5 \text{ N}$$

$$\sum_i M_{iA} = 0 \Rightarrow G * \frac{a}{2} + F * (a - b) - R_{by} * a = 0 \Rightarrow R_{by} = \frac{G * \frac{a}{2} + F * (a - b)}{a} = \frac{222 * 0,5 + 1110 * 0,65}{1} = 832,5 \text{ N}$$

5.1.2 Výpočet a rozložení posouvající síly T a točivého momentu M

Nosník je rozdělen do tří částí

$$I: x \in < 0; \frac{a}{2} >$$

$$T_{(x)}^I: R_{ay} = 499,5 \text{ N}$$

$$M_{(x)}^I: R_{ay} * x =$$

$$M_{(0)}^I: R_{ay} * 0 = 0$$

$$M_{(\frac{a}{2})}^I: R_{ay} * \frac{a}{2} = 499,5 * 0,5 = 249,75 \text{ Nm}$$

$$II: x \in < \frac{a}{2}; (a - b) >$$

$$T_{(x)}^{II}: R_{ay} - G = 499,5 - 222 = 277,5 \text{ N}$$

$$M_{(x)}^{II}: R_{ay} * x - G * \left(x - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{(\frac{a}{2})}^{II}: R_{ay} * \frac{a}{2} - G * 0 = 499,5 * 0,5 - 222 * 0 = 249,75 \text{ Nm}$$

$$M_{(a-b)}^{II}: Ray * (a - b) - G * \left((a - b) - \frac{a}{2} \right) = 499,5 * 0,65 - 222 * (0,65 - 0,5) = 291,375Nm$$

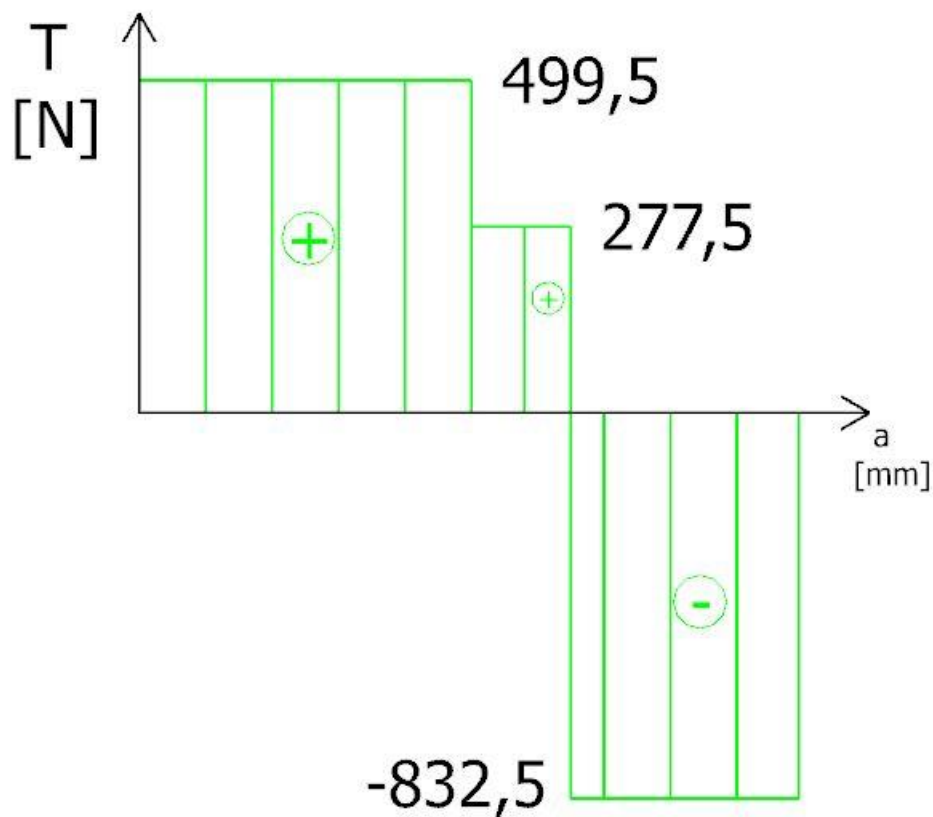
$$III: x \in (a - b); a >$$

$$T_{(x)}^{II}: Ray - G - F = 499,5 - 222 - 1110 = -832,5N$$

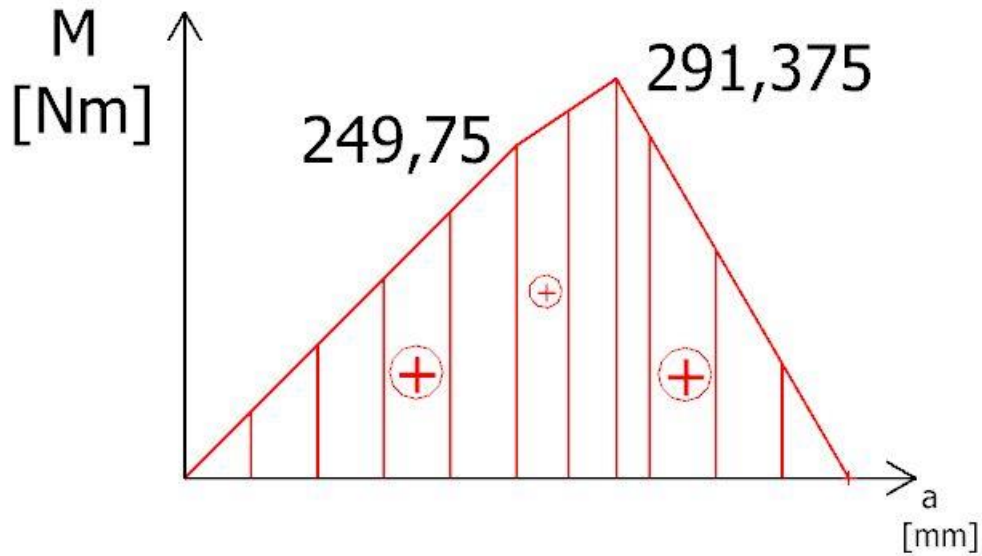
$$M_{(x)}^{III}: Ray * x - G * \left(x - \frac{a}{2} \right) - F * (x - (a - b))$$

$$M_{(a-b)}^{III}: Ray * (a - b) - G * \left(a - b - \frac{a}{2} \right) - F * 0 = 499,5 * 0,65 - 222 * (0,65 - 0,5) = 291,375Nm$$

$$M_{(a)}^{III}: Ray * a - G * \frac{a}{2} - F * b = 499,5 * 1 - 222 * 0,5 - 1110 * 0,35 = 0Nm$$



Obrázek 16 - Graf vypočtené posouvající síly



Obrázek 17 - Graf vypočteného točivého momentu

5.1.3 Výpočet maximálního ohybového napětí σ_{omax}

Dovolené napětí

$$\sigma_D = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{333}{3} = 111 \text{ MPa}$$

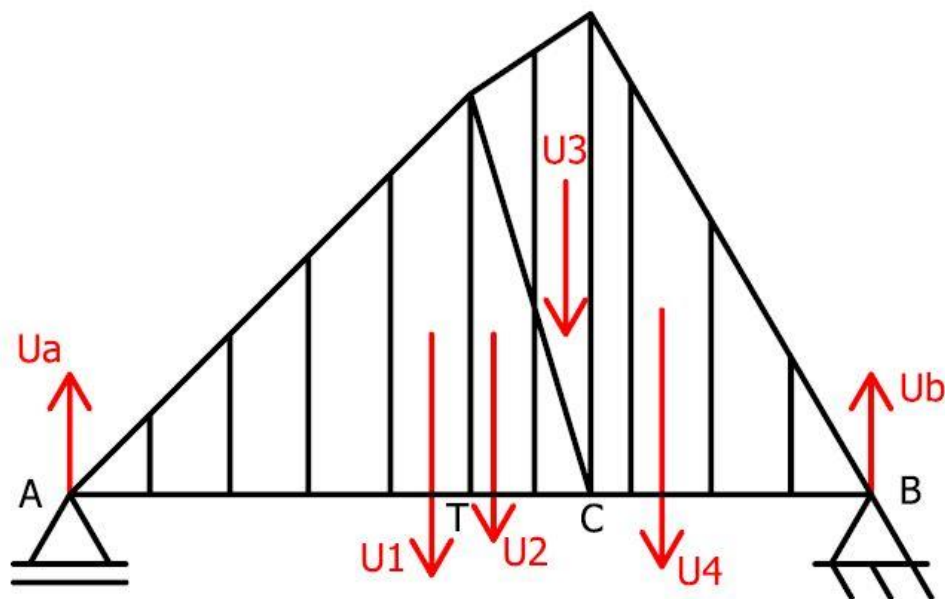
$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_o}$$

$$M_{omax} = 291,375 \text{ Nm}$$

$$W_o = \frac{J_o}{\frac{D}{2}} = \frac{\frac{\pi \cdot D^4}{64}}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$$

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{\frac{\pi \cdot D^3}{32}} = \frac{32 \cdot M_{omax}}{\pi \cdot D^3} = \frac{32 \cdot 291,375}{\pi \cdot 0,06^3} = 13\,740\,376,75 \text{ Pa} = 13,74 \text{ MPa}$$

5.1.4 Výpočet fiktivní posouvající síly T_{fc} a fiktivního momentu M_{fc} v bodě c



Obrázek 18 - Fiktivní nosník zatížen momentovou plochou

$$U_1 = M_{\left(\frac{a}{2}\right)}^I * \frac{a}{2} * \frac{1}{2} = 249,75 * 0,5 * 0,5 = 62,4375 Nm^2$$

$$U_2 = M_{\left(\frac{a}{2}\right)}^{II} * \left(\frac{a}{2} - b\right) * \frac{1}{2} = 249,75 * 0,15 * 0,5 = 18,73 Nm^2$$

$$U_3 = M_{(a-b)}^{II} * \left(\frac{a}{2} - b\right) * \frac{1}{2} = 291,375 * 0,15 * 0,5 = 21,85 Nm^2$$

$$U_4 = M_{(a-b)}^{III} * b * \frac{1}{2} = 291,375 * 0,35 * 0,5 = 50,99 Nm^2$$

Momentová podmínka v bodě A pro výpočet fiktivní reakce U_B v bodě B

$$\sum_i M_{iA} = 0: U_1 * \frac{2}{3} * \frac{a}{2} + U_2 * \left(\frac{a}{2} + \frac{1}{3} * \left(\frac{a}{2} - b\right)\right) + U_3 * \left(\frac{a}{2} + \frac{2}{3} * \left(\frac{a}{2} - b\right)\right) + U_4 * \left(a - \frac{2}{3} * b\right) - U_B * a = 0$$

$$U_B = \frac{U_1 * \frac{2}{3} * \frac{a}{2} + U_2 * \left(\frac{a}{2} + \frac{1}{3} * \left(\frac{a}{2} - b\right)\right) + U_3 * \left(\frac{a}{2} + \frac{2}{3} * \left(\frac{a}{2} - b\right)\right) + U_4 * \left(a - \frac{2}{3} * b\right)}{a}$$

$$U_B = \frac{62,4375 * \frac{2}{3} * \frac{1}{2} + 18,73 * \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} * \left(\frac{1}{2} - 0,35\right)\right) + 21,85 * \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{3} * \left(\frac{1}{2} - 0,35\right)\right) + 50,99 * \left(1 - \frac{2}{3} * 0,35\right)}{1} = 83,22 Nm^2$$

$$M_{fc} = U_B * b - U_4 * \frac{1}{3} * b = 83,32 * 0,35 - 50,99 * \frac{1}{3} * 0,35 = 23,2132 Nm^3$$

$$T_{fc} = U_B - U_4 = 83,32 - 50,99 = 32,33 Nm^2$$

5.1.5 Průhyb a úhel natočení v bodě C

Kvadratický moment J_z

$$J_z = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,06^4}{64} = 6,362 \cdot 10^{-7} m^4$$

Průhyb v bodě C

$$v_{(c)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot M f c = \frac{1}{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 6,362 \cdot 10^{-7}} \cdot 23,2132$$

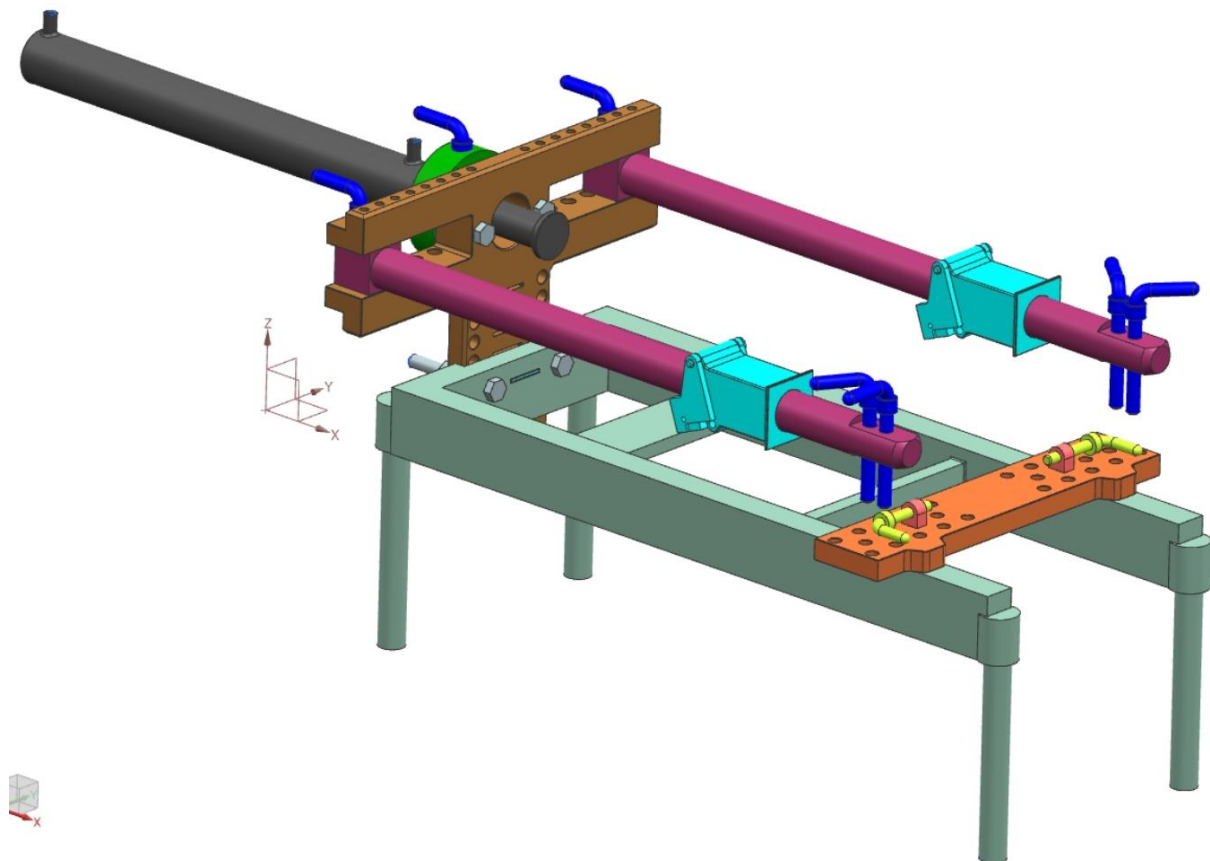
$$v_{(c)} = 1,7771 \cdot 10^{-4} m = 0,1771 mm$$

Úhel natočení v bodě C

$$\varphi_{(c)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot T f c = \frac{1}{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 6,362 \cdot 10^{-7}} \cdot 32,33$$

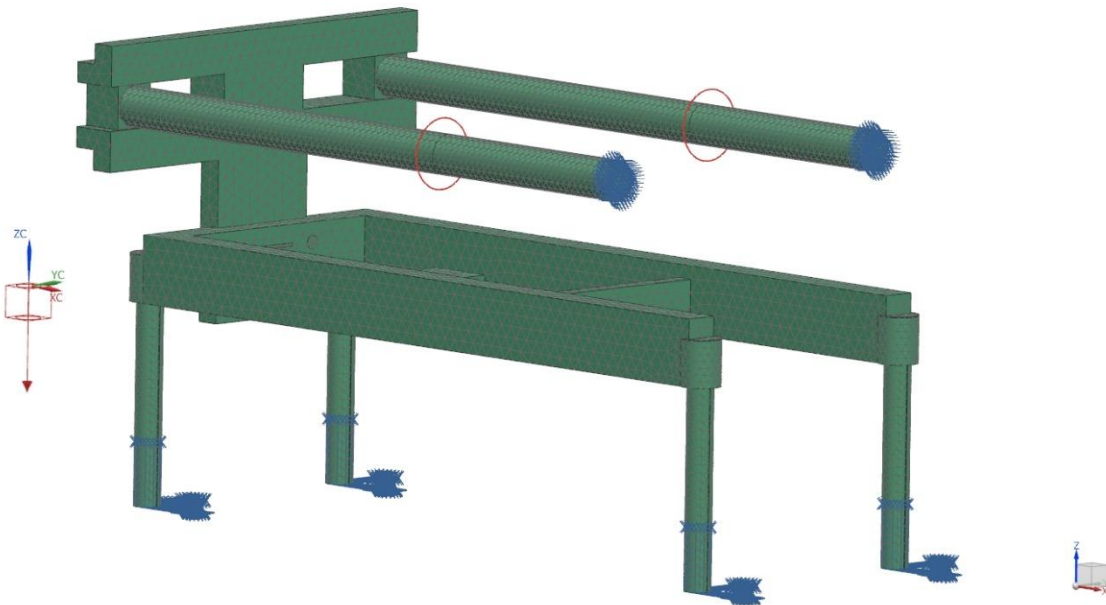
$$\varphi_{(c)} = 2,46686 \cdot 10^{-4} rad = 0,014^\circ$$

5.2 Výpočet pevnosti a průhybu vodících tyčí metodou konečných prvků pomocí softwaru NX



Obrázek 19 – Model zadaného líčí stůl

Licí stůl byl zadán společně se zakázkou a byl vymodelován pouze pro účely výpočtů. Nejdůležitějšími částmi jsou základový rám, vodící tyče a příruba pro nastavení rozměrů formy. Na tyto tři části bylo použito 3D síťování. Jak bylo zmíněno výše, hmotnost pohyblivé části formy a kluzáků, pomocí kterých forma klouže po vodících tyčích, je přibližně 222 kg. Zátěž je rozdělena na dvě vodící tyče. Na každou tedy 1110 N. Zatížení bylo umístěno do pozice těsně před spojením obou polovin (650 mm od příruby). Ve výpočtu je uvažována také vlastní tíha konstrukce.

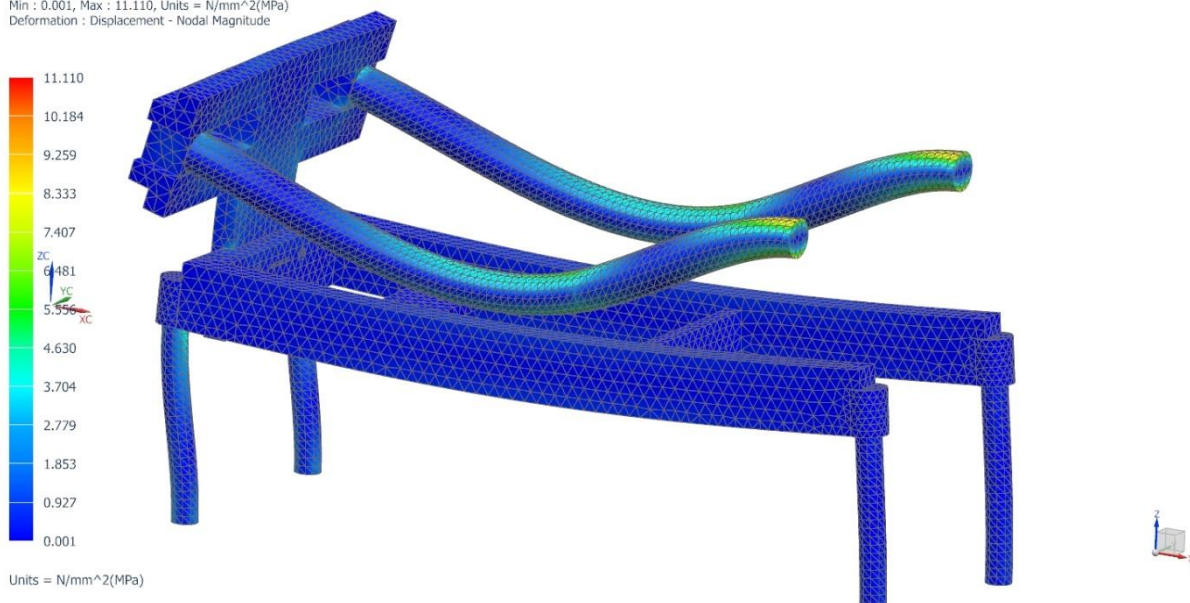


Obrázek 20 - Ukázka výpočtového modelu

Dovolené napětí bylo spočítáno $\sigma_D = 111\text{MPa}$ viz. výše.

Maximální napětí vyšlo 11,11MPa. Vodící tyče vyhovují. Licí stůl je navržen pro větší a těžší formy, proto se zdá pro tuto formu tolik předimenzovaný.

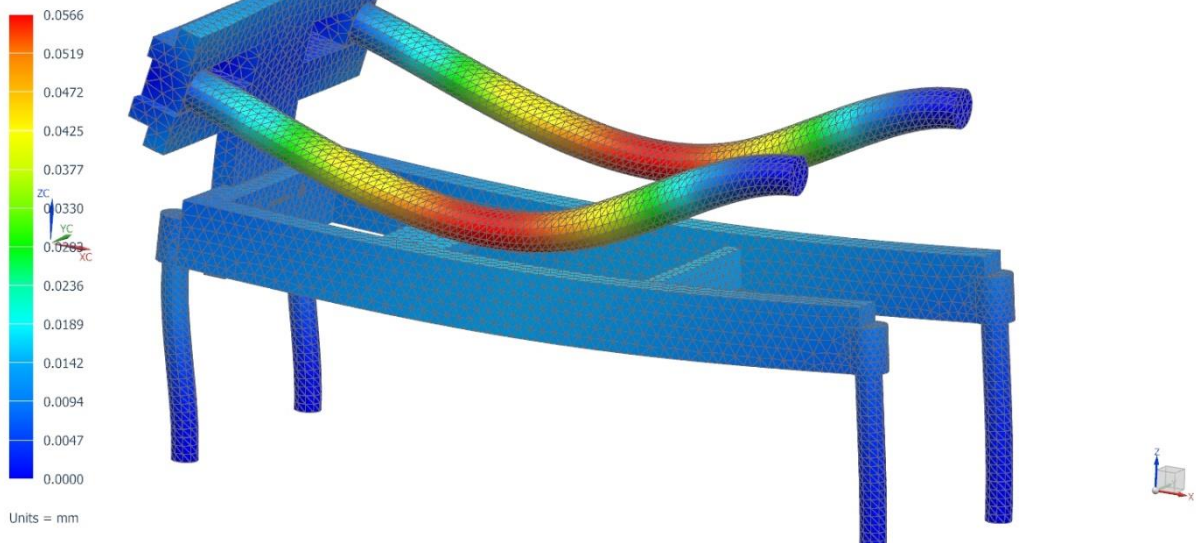
ICB_licí_stůl_sestava_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.001, Max : 11.110, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 21 - Maximální napětí

Maximální průhyb

ICB_licj_stul_sestava_fem1_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.0000, Max : 0.0566, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 22 - Maximální průhyb

Největší průhyb vodících tyčí je 0,0566 mm

5.3 Zhodnocení a porovnání výsledků obou metod

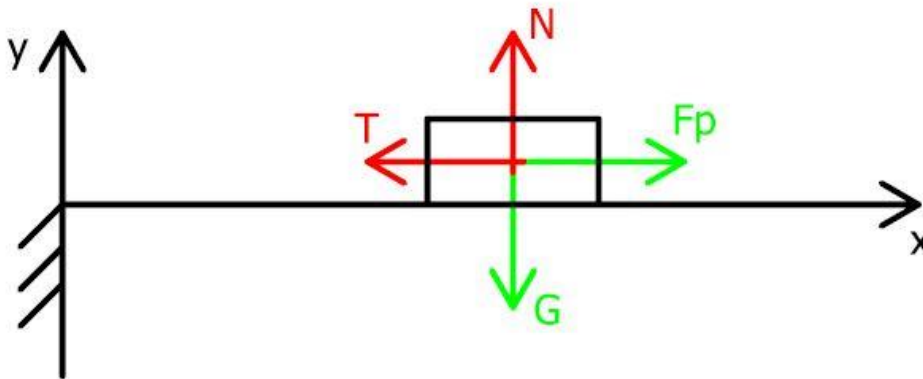
Maximální napětí u první metody je spočteno 13,74 MPa a u MKP 11,11 MPa. Výsledky se liší o cca 18%, což je považováno vzhledem ke zjednodušení prvního způsobu za vyhovující. Oba způsoby zdaleka nedosahují dovolenému napětí 111 MPa. Vodící tyče proto vyhovují. Průhyb se liší již větším rozdílem. To je ovšem opět dáno velkým zjednodušením úlohy v prvním způsobu. Při výpočtu pomocí MKP jsou konce vodících tyčí zafixovány ve všech směrech. Je jim tedy znemožněna rotace, a proto je průhyb podstatně menší. Pro MKP 0,0566 mm a pro metodu momentových ploch 0,1771 mm. Ovšem oba výsledky jsou vyhovující pro navržený středící kolík, který má velký průměr 20 mm a malý průměr 15,4 mm. Rozdíl je tedy 4,6 mm, z toho plyne, že výška zkosení je 2,3 mm. Teoreticky je kolík schopný vystředit průhyb vodících tyčí větší než 2 mm. Což oba výsledky opět splňují, a proto jsou považovány za vyhovující.

5.4 Potřebný tlak hydraulického válce

Síla G představuje tíhu pohyblivých částí kokily. N je reakce na tíhu G . F_p je potřebná síla pro otevření a uzavření formy. T je třecí síla, která se rovná $N \cdot f$.

$$G = 2220 \text{ N}$$

$$\text{Koeficient tření } f = 0,2$$



Obrázek 23 - Zjednodušení úlohy na soustavu sil o společném působišti

5.4.1 Výpočet potřebné síly F_p

Jedná se o silovou soustavu o společném působišti. Stačí pouze dvě silové podmínky rovnováhy pro dva směry.

$$\sum_i F_{i_x} = 0: N \cdot f - F_p = 0 \Rightarrow F_p = N \cdot f \Rightarrow F_p = G \cdot f = 2220 \cdot 0,2 = 444 \text{ N}$$

$$\sum_i F_{i_y} = 0: N - G = 0 \Rightarrow N = G$$

5.4.2 Kontrola potřebného tlaku

Na licím stole je použit hydraulický válec od firmy HEB,

model Z250 – 103 – 80/ 50/ 450 – 206/M1/S5/S34

Tlak válce $p = 16 \text{ Mpa}$

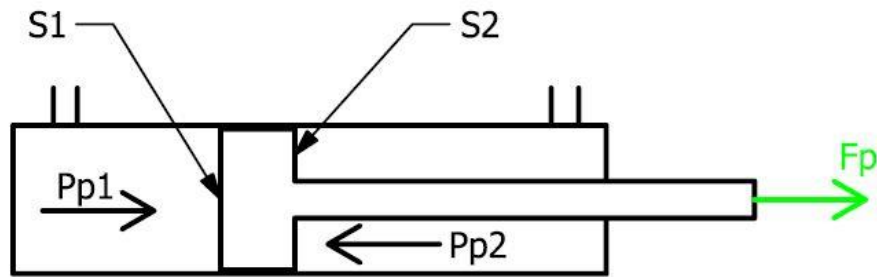
Průměr pístu $D_1 = 80 \text{ mm}$

Průměr pístnice $D_2 = 50 \text{ mm}$

Síla, kterou je schopen vyvinout na vysunutí pístnice $F_1 = 80\,300 \text{ N}$

Síla, kterou je schopen vyvinout na zasunutí pístnice $F_2 = 48\,900 \text{ N}$

Maximální vysunutí pístnice 450 mm



Obrázek 24 - Schéma zadaného hydraulického válce s potřebnou silou

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} = 5026,55 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (80^2 - 50^2)}{4} = 3063,05 \text{ mm}^2$$

Potřebný tlak

$$p_{p1} = \frac{Fp}{S_1} = \frac{444}{5026,55} = 0,08833 \text{ MPa}$$

$$p_{p2} = \frac{Fp}{S_2} = \frac{444}{3063,05} = 0,145 \text{ MPa}$$

5.4.3 Zhodnocení výsledků

Potřebný tlak pro otevření kokily je větší, protože tlak je vynaložen na menší plochu. Hydraulický válec je schopen tlačit 16 MPa. Potřebný tlak pro otevření kokily je 0,145 MPa. Na otevření a uzavření kokily je potřeba vynaložit sílu 444 N. Hydraulický válec je schopen vynaložit sílu 80 300 N na uzavření a 48 900 N na otevření. Maximální rozevření kokily je 438 mm. Zdvih hydraulického válce je 450 mm. Použitý hydraulický válec opět splňuje dané podmínky.

6. Závěr

První část bakalářské práce byla věnována obecné charakteristice technologie výroby produktů ze slitin hliníku. Nejvíce prostoru zde bylo věnováno technologii odlévání hliníku, protože hlavním úkolem této bakalářské práce byla konstrukce gravitační formy pro odlévání hliníkového výrobku pro automobilový průmysl. Další technologie, jako jsou tváření, svařování a obrábění, byly popsány pouze okrajově.

Praktická část bakalářské práce byla věnována samotné konstrukci gravitační formy pro zadaný hliníkový odlitek. Bylo zde charakterizováno zadání zakázky od konečného zákazníka i postup samotné konstrukce. Byla navržena i alternativní varianta formy a licího stroje. Dle určených kritérií byla vybrána suboptimální varianta, pro kterou se vypracovala specifikace požadavků na vlastnosti technického systému. K jednotlivým skupinám vlastností byla přiřazena důležitost a poté vyhodnocena míra splnění požadovaných vlastností. Bylo zjištěno, že dvě skupiny vlastností ohodnocené maximální důležitostí nesplňují požadované hodnoty. Byla tedy navržena úprava v podobě ochranných nástříků dutiny a vtokové soustavy kokily. Ostatní vlastnosti, které zcela nesplňovaly požadované hodnoty, nebyly považovány za podstatné, aby bylo nutné hledat úpravy pro jejich zlepšení.

Dále byla provedena pevnostní kontrola zadaného licího stolu, zda vyhovuje zkonstruované gravitační kokile. Byla použita metoda konečných prvků za pomoci softwaru NX 10 a metoda momentových ploch. Dovolené napětí vodících tyčí licího stolu vyšlo 111 MPa. Pomocí MKP bylo zjištěno maximální napětí 11,11 MPa, a pomocí druhé metody 13,74 MPa. Dále byl počítán průhyb vodících tyčí v místě těsně před uzavřením formy. Pomocí MKP vyšla hodnota průhybu 0,0566 mm, a pomocí metody momentových ploch hodnota průhybu 0,1771 mm. Zde byl rozdíl výsledků větší, což je odůvodněno velkou mírou zjednodušení úlohy při druhé metodě. Úloha byla zjednodušena na nosník na dvou podporách, zatímco u metody MKP jsou obě strany vodících tyčí zařazovány ve všech směrech i proti rotaci, což velmi ovlivní úhel natočení a právě průhyb vodící tyče. Tyto výpočty byly provedeny ke kontrole středícího kolíku, zda je schopen vystředit vypočtený průhyb tyčí. Dle výpočtů dokáže vystředit průhyb více než 2 mm. Středící kolík v navržené gravitační kokile vyhovoval.

Následovala kontrola hydraulického válce, zda vyvine dostatečný tlak pro uzavření a otevření formy. Hydraulický válec je schopen vyvinout tlak 16 MPa. Potřebný tlak pro otevření formy je 0,145 MPa a pro uzavření pouze 0,08833 MPa. Válec vyhovoval a byl dimenzovaný i pro větší kokily.

Cena konstrukce za zpracování 3D modelu gravitační kokily a výrobních výkresů jednotlivých dílů je 50 000 Kč bez DPH.

Prodejní cena za výrobu a smontování kompletní funkční kokily je 350 000 Kč bez DPH.

Skutečné náklady na výrobu zadané kokily činili 293 500 Kč bez DPH. Rozdíl v ceně je zisk firmy ze zadané zakázky.

7. Zdroje

7.1 Literatura

[1] MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

7.2 Obrázky

Obrázek 2 - Jednorázová písková forma [online]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/12533621-Vyroba-odlitku-ze-slitin-hliniku.html>

Obrázek 4 - Ukázka stolu s mechanizovanými oběma polovinami. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

Obrázek 5 - Stroj pro nízkotlaké lití. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

Obrázek 6 - Schéma stroje pro nízkotlaké lití. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

Obrázek 7 - Stroj pro tlakové lití. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

Obrázek 8 - Schéma přímého lisování. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

Obrázek 9 - Schéma nepřímého lisování. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

Obrázek 10 - Schéma kvarto válcovací stolice. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

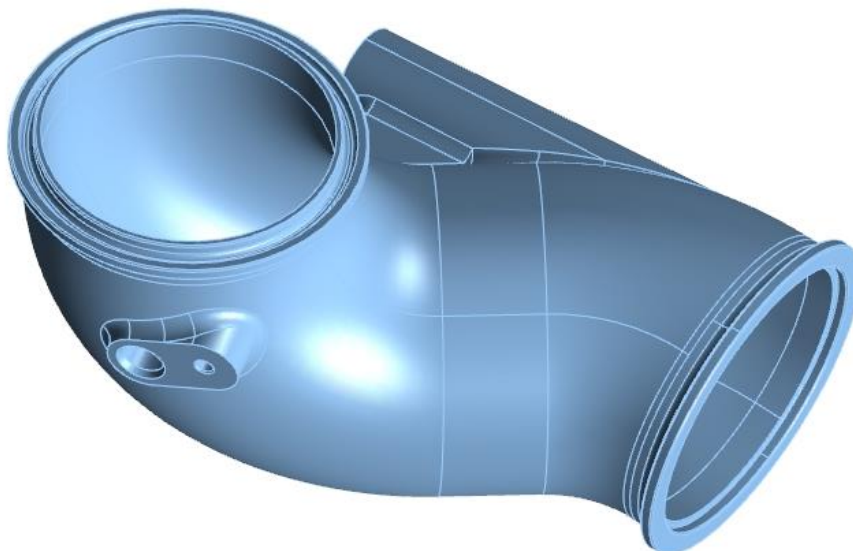
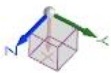
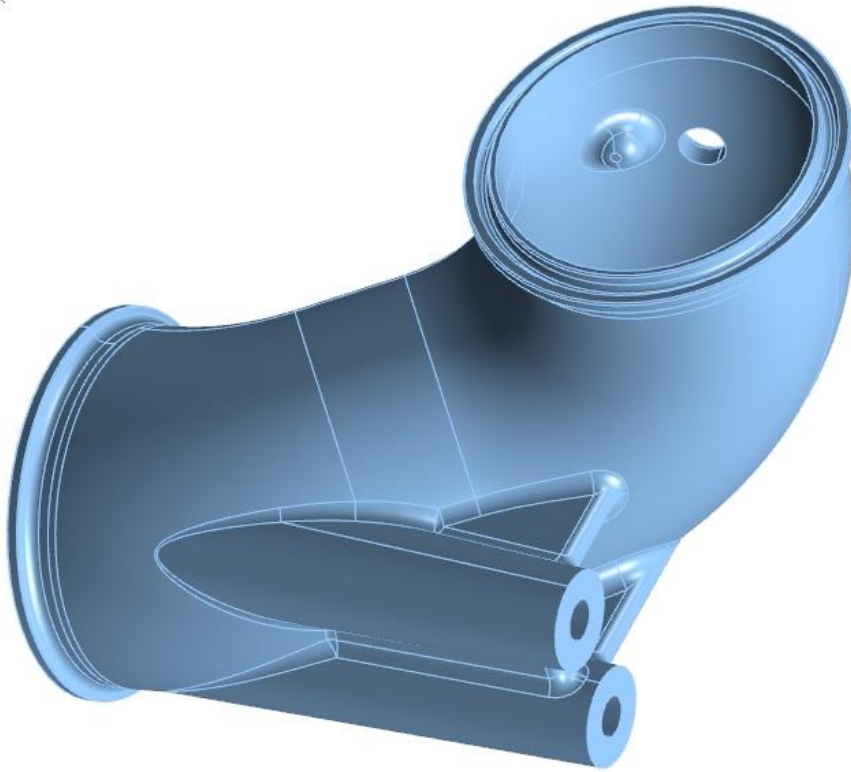
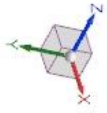
Obrázek 11 - Rozdělení zápusťkových výkovků. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPAL, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, s.r.o., 2005

7.3 Tabulky

Tabulka 2 – Specifikace požadavků na technický systém včetně SWOT analýzy. DFX, Podklady ke cvičení KKS/DFX; Prof. Ing. Stanislav Hosnedl, CSc.

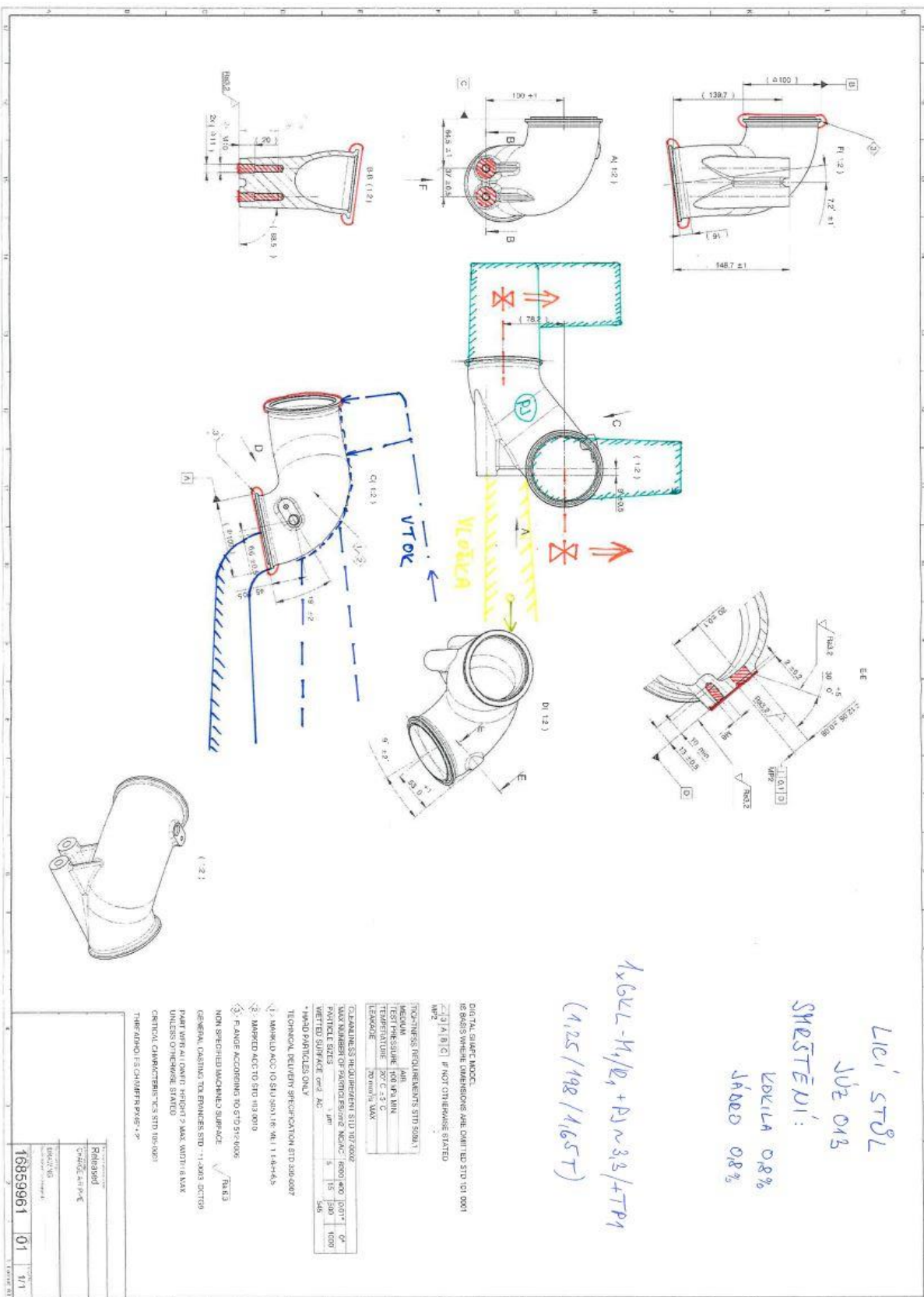
PŘÍLOHA č. 1

CAD model zadaného výrobku



PŘÍLOHA č. 2

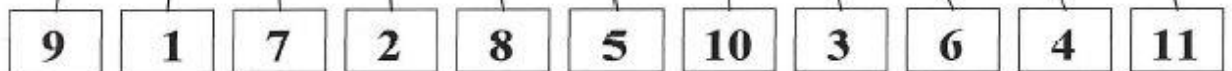
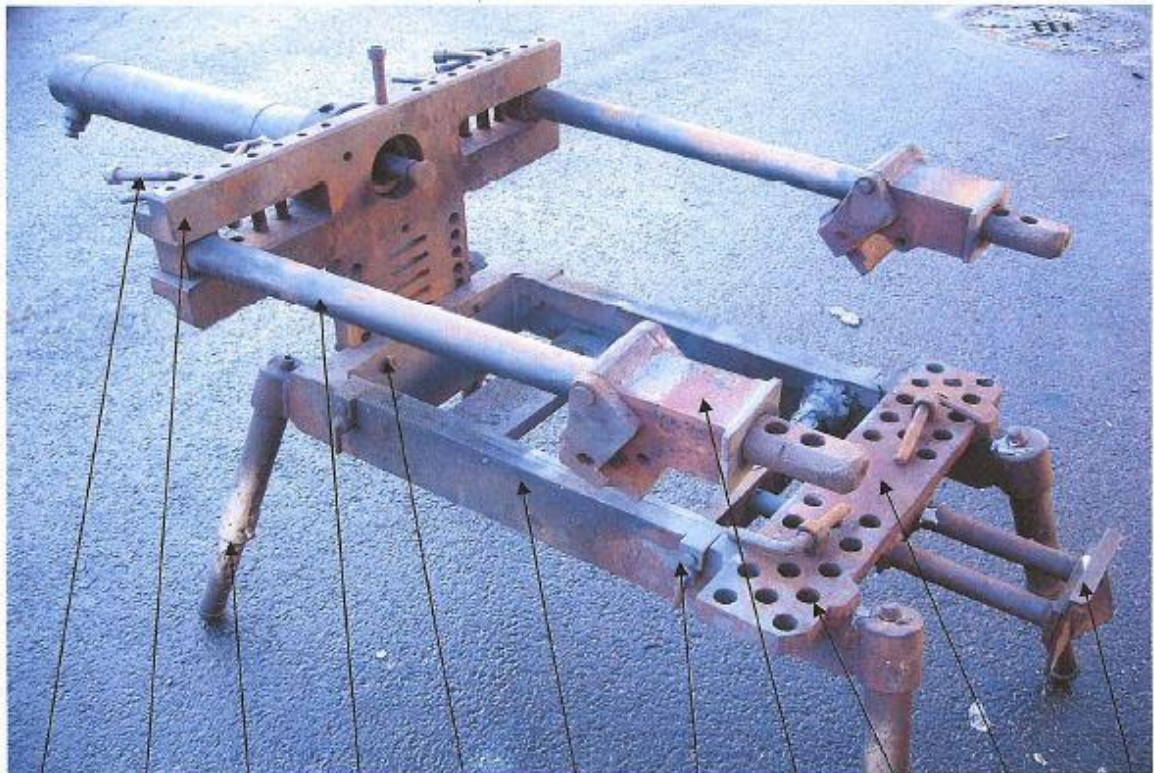
Výkres zadaného výrobku



PŘÍLOHA č. 3

Licí stůl určený zakázkou

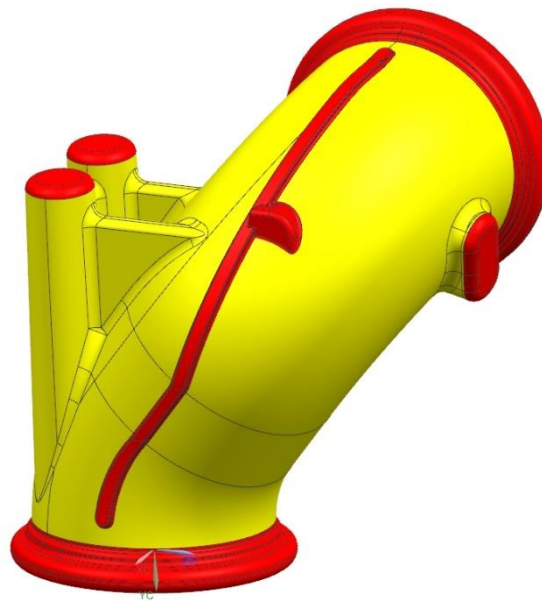
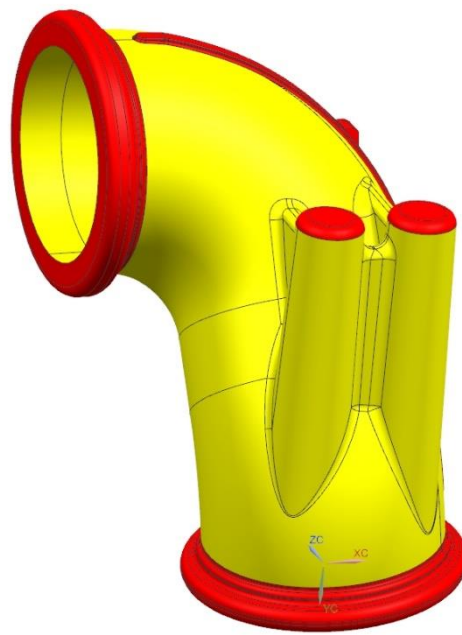
Příloha č. 2 Popis licího stolu : JÚZ 013



1. - příruba (nastavení výšky a rozteče os vodících tyčí)
2. - vodící tyč (2x)
3. - kluzák (2 varianty) usazení pohyblivé poloviny
4. - základová deska (usazení pevné poloviny)
5. - lože (základový rám)
6. - otvor pro „doraz“ pevné poloviny
7. - stavěcí noha (nastavení výšky zákl. rámu)
8. - šroub M20 (nastavení výšky os vodících tyčí)
9. - čep (zajištění vodících tyčí)
10. - úhelník
11. - podpěra

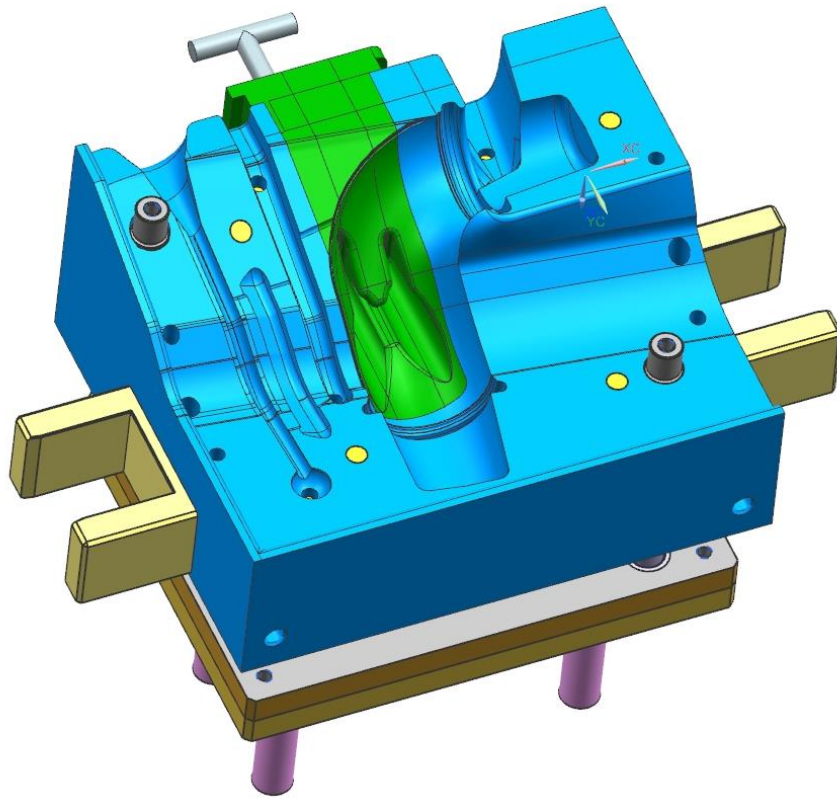
PŘÍLOHA č. 4

CAD model odlitku



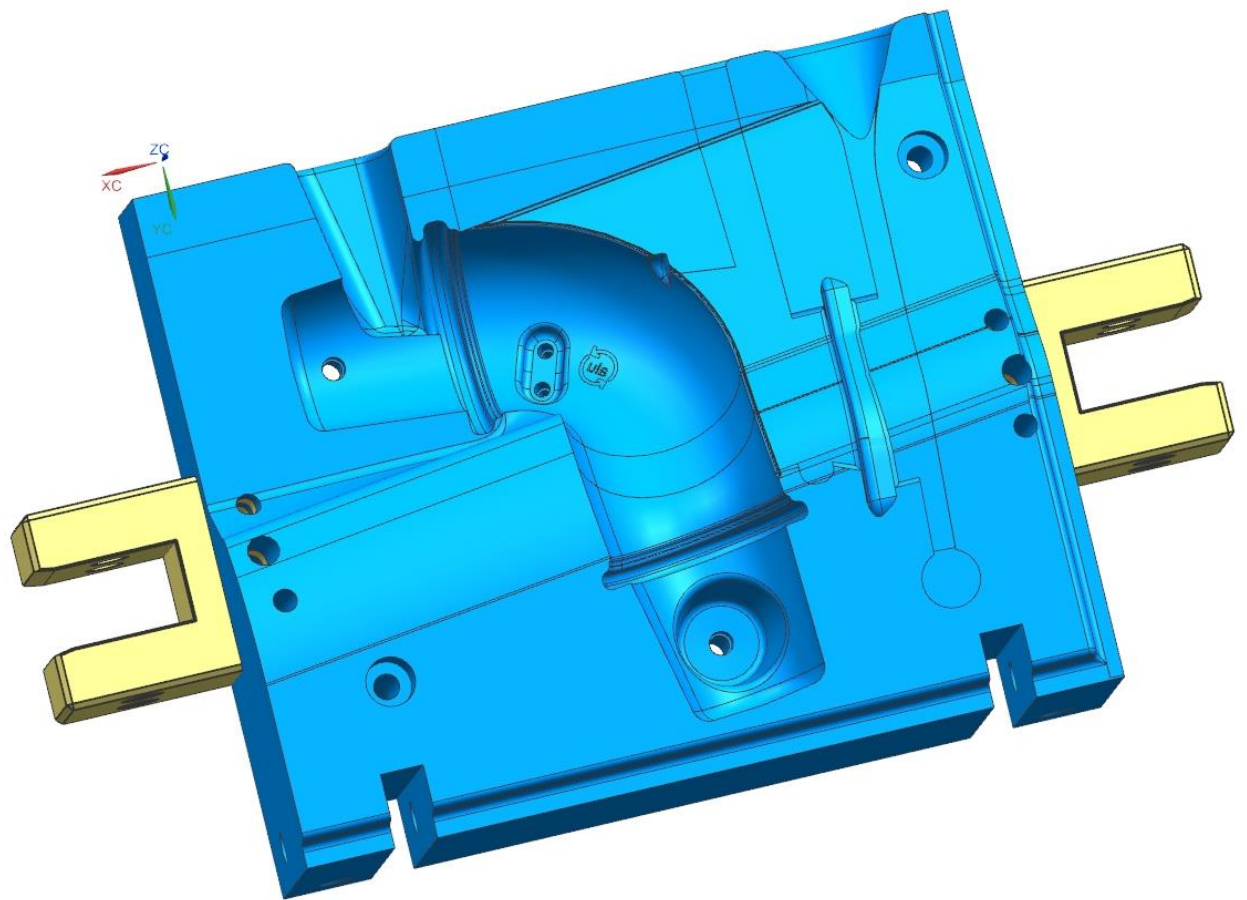
PŘÍLOHA č. 5

Problematické místo, co se týče odvzdušnění ve vložce (zelená)



PŘÍLOHA č. 6

CAD model pevné poloviny



PŘÍLOHA č. 7

CAD model kompletní formy pro odlévání

