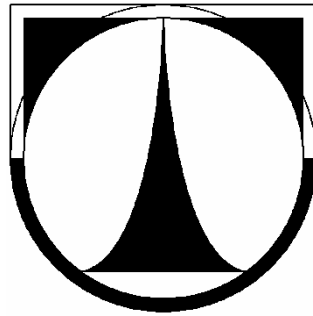


Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



Pavel Zámečník

## **Vypracování postupu odlévání vosku ve vakuu**

Bakalářská práce

2011

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Výrobní systémy

Zaměření: Výrobní systémy

# **Vypracování postupu odlévání vosku ve vakuu**

## **Preparation of wax casting process in vacuum**

KVS - VS - 102

Pavel Zámečník

Vedoucí práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Počet stran : 49

Počet příloh : 5

Počet obrázků : 16

Počet tabulek : 32

V Liberci 7.1.2011

**TÉMA : Vypracování postupu odlévání vosku ve vakuu**

Tato práce nabízí informace o vypracování výrobního postupu odlévání vosku ve vakuu a stanovení nejvhodnějších podmínek pro tento experiment. Bude zde zjišťována nejvhodnější teplota lití a velikost podtlaku v pracovním prostoru komory.

**THEME : Preparation of wax casting process in vacuum**

This document provides information on the development of the manufacturing process of casting wax in a vacuum and determining the most suitable conditions for this experiment. There will be studied best casting temperature and the size of the working vacuum chamber.

Desetinné třídění :

**Klíčová slova: VOSK, VAKUUM, RAPID PROTOTYPING**

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno : 2011

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 49

Počet příloh : 5

Počet obrázků : 16

Počet tabulek : 32

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 7.1.2011

Podpis:

Velmi rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Zelenému, Ph.D. za trpělivý přístup, cenné rady, za čas strávený při konzultacích a v laboratořích. Dále bych chtěl rovněž poděkovat Ing. Jiřímu Šafkovi, Dis. za trpělivost při navrhování a výrobě Master modelu.

Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším přátelům za podporu a povzbuzení při psaní této bakalářské práce.

## Obsah

Seznam zkratk .....	7
1. Úvod.....	8
2. Cíl bakalářské práce.....	8
3. Materiály.....	9
3.1 Materiál k odlévání .....	9
3.2 Materiál formy .....	10
4. Technologie vakuového odlévání .....	12
4.1 Vakuová komora MK mini .....	12
5. Podstata prováděného experimentu .....	13
6. Výroba Master modelu .....	14
6.1 Obráběcí stroj a použité nástroje.....	16
7. Výroba formy.....	16
8. Postup odlévání voskových dílů .....	19
9. Informace o použitých měřidlech .....	20
10. Měření a znázornění rozměrů master modelu.....	21
11. Experimentální část bez použití vakua .....	21
11.1 Hodnoty odlitek .....	21
11.2 Vyhodnocení přesnosti rozměrů .....	22
12. Experimentální část s použitím vakua .....	23
12.1 Hodnoty odlitek .....	23
12.2 Odlévání s postupným připouštěním vzduchu .....	23
12.2.1 Vyhodnocení přesnosti rozměrů .....	24
12.3 Odlévání s konstantním vakuem .....	25
12.3.1 Vyhodnocení přesnosti rozměrů .....	26
13. Vyhodnocení a stanovení výrobního postupu.....	27
14. Závěr .....	28
Seznam použité literatury .....	30
Seznam použitých internetových zdrojů.....	30
Seznam příloh .....	32

## **Seznam zkratk**

A7 – RT/27	= název použitého vosku od firmy Blayson
CNC	= Computer Numeric Control - číslicové řízení počítačem
NC	= Numerical control - číslicové ovládání
Mk	= firma vyrábějící vakuové komory pojmenována dle Michael Kügelgen
UV	= ultrafialové zařetí

## **1. Úvod**

Dříve stačil k vyjádření myšlenky pouze náčrt nebo výkres. Avšak v dnešní době je potřeba, co nejrychleji a nejefektivněji reagovat na požadavky zákazníka, to pomocí nejnovějších technologií.

Své myšlenky v současnosti prezentujeme většinou pomocí trojrozměrných modelů, které mohou být v elektronické podobě, anebo v poslední době se rozvíjející možnost výroby tohoto modelu pomocí metod rapid prototyping neboli rychlá výroba prototypů. Díky tomuto oboru můžeme snadněji prezentovat a vysvětlovat své nápady. Při vyhotovení můžeme zjistit i možné budoucí problémy, které by se nám mohli negativně projevit při zavedení těchto dílů do výroby.

Smyslem této technologie, která je používána v mnoha odvětvích současného průmyslu je: znázornění budoucí součásti za přispění výpočetní technologie, to pokud možno co v nejkratším čase a v co nejlepší možné kvalitě. V současné době, s ohledem na zkracování prodlev vývoje výrobků při stále zvětšujících požadavků na kvalitu a přesnost, je tento cíl velice důležitý. Druhů technologií pro vyrábění prototypů (Rapid Prototyping) je v současnosti celá řada. Nejčastější používané metody toho odvětví jsou stereolitografie (model je zde vytvářen postupným vytvrzováním fotopolymeru (materiál citlivý na světlo) pomocí UV laseru.) a selective laser sintering (Zde je výrobek vyráběn za pomoci spékání materiálu pomocí laserového paprsku, přídavný materiál je nanášen na desku po jednotlivých vrstvách). [3, 4 a 5] Jako vhodnou alternativu, lze použít vakuové lití pryskyřic dalších materiálů. V našem případě se bude jednat o lití technického vosku. Výhodou tohoto druhu odlévání je mimo jiné možnost vyrobení většího množství odlitků.

## **2. Cíl bakalářské práce**

Cílem této bakalářské práce je zvolení vhodného výrobního postupu pro odlévání určitého voskového materiálu, který byl vybrán na základě práce „*Vhodné materiály pro výrobu prototypů litím ve vakuu*“, autorem je Miroslav Hofman, který tuto práci obhájil v roce 2010.



Budou provedeny experimenty k získání co nejlepšího výrobního postupu. Hlavními parametry pro porovnání výsledků budou rozdíly rozměrů odlitků vztažené k master modelu, který bude vyroben pomocí konvenčních obráběcích operací. Bude se také hodnotit schopnost vosku vyplnit celý objem formy včetně ostrých a kolmých hran. Výsledkem bude stanovení nejvhodnější lící teploty vosku a velikost vakua při odlévání. Aby se předešlo možným vnějším vlivům jako chybě lidského faktoru, poškození formy a jiným bude prováděno odlévání do dvou forem při stejné teplotě a velikosti podtlaku.

Určení nejlepších vhodných parametrů bude zjišťováno tak, že se provede odlití pro různé nastavení parametrů a poté se měří rozměry. Nejdříve bude stanovena teplota, při které jsou rozměry nejpřesnější. Bude následovat další série odlití tentokrát za použití vakua, při tomto odlévání bude použita nejvhodnější zjištěná teplota z předchozích experimentů.

### **3. Materiály**

#### **3.1 Materiál k odlévání**

Technické vosky by se daly popsat takto: „*Jsou to pevné látky, chemicky neaktivní, které na rozdíl od tuhoucích olejů jsou stájejší, nežloutnou, nežlutnou, nepryskyřičnatí, ani se tak často nezmýdelnatí. Teplem se stávají plastickými, nakonec tají, avšak při vyšších teplotách než tuky*“. [7] Pro zadání této práce bude použit vhodný syntetický vosk, který by se dal definovat například takto: „*Mikrokrytalický polosyntetický vosk. Získává se při rafinaci nafty. Je plastičtější než parafíny. Různé druhy se vzájemně liší bodem tání a větší nebo menší tvrdostí*“. [7]

Jako vhodný materiál pro odlévání ve vakuu byl zvolen lící vosk A7-RT/27 od firmy Blayson, tento výběr byl proveden na základě Bakalářské práce pana Miroslava Hofmana: „*Vhodné materiály pro výrobu prototypů litím ve vakuu*“ z roku 2010. Kde byl stanoven jako nejvhodnější z uvedených materiálů. Tento vosk byl zvolen, protože nejlépe vyplnil formu, měl malé lineární smrštění, rozměry odlitku nejvíce odpovídali master modelu a po vzhledové stránce neměl žádné viditelné vady.

Tento materiál patří mezi rychle tavitelné vosky s minimální kavitací, je navržen tak, aby rychle tál během odparafínování, čímž se minimalizuje možnost namáhání

pláště systému. A7 – RT/27 sám o sobě nelepí a proto není výrazná potřeba použití separátoru, který by nám pomohl při vydání odlitku z formy. Má samozřejmě dobré vtokové vlastnosti a odchylky by měli být minimální. Patří taktéž mezi regenerovatelné materiály. [2].

Vzhled	Voskovitá pevná látka
Barva	Variabilní
Zápach	Parafinických uhlovodíků
Typ plniva	XLPS 40-100 $\mu$ m
Obsah popela	Maximálně 0,03%
Lineární smrštění	0,6-0,8%
Bod tání	65-80°C
Bod varu	> 200°C
Bod vzplanutí	> 200°C
Hořlavost	Nízká
Tlak par	Zanedbatelný
Rozpustnost ve vodě	Zanedbatelná
Vizkozita	0,6 Pa a výš se závislostí na teplotě

Tab. 1.: Fyzikální a chemické parametry vosku A7 – RT/27 [2]

Materiál je stabilní až do 120°C, při dlouhodobé expozici by se nemělo přesahovat teploty vyšší než 85°C, protože to může ovlivnit chování materiálu. Neměl by také být ponecháván v roztaveném stavu déle než je potřeba. Teplota by nikdy neměla přesáhnout více než 180°C s výjimkou odparafinování a to jen ve schváleném zařízení pro tyto účely použitelné. Měl by také být zamezen možný styk se silnými oxidačními činidly.

### 3.2 Materiál formy

Pro výrobu odlitků bude použito pružné formy. Jako materiály se používají nejčastěji vytvrditelné dvousložkové silikonové kaučuky. Velká výhoda těchto materiálu spočívá v jejich přilnavosti k modelům a dobré použitelnosti na výrobu odlitků.

Chemický popis reakce vytvrzení nazývaného vulkanizací by mohl být popsán jako: „*polykondenzační mechanismus, kdy základní silikonový polymer (polysiloxan) končený hydroxylovými -OH skupinami reaguje s nízkomolekulární složkou –*

alkoxysiloxanem (např. etylsilikát 40) nebo s polymetylhydrogensiloxanem. Při této reakci se odštěpuje v prvním případě alkohol, zatímco v druhém případě vodík“ [8].

Pro vyvolání potřebné chemické reakce (vulkanizace) je nutná přítomnost katalyzátoru. Výsledkem této chemické reakce je produkt, který získal elastické vlastnosti, nazývaný často jako silikonová pryž. Hlavní složkou je zde viskózní kapalina. Katalyzátor je organokovová sloučenina. Typ a vhodné dávkování katalyzátoru nám udává rychlost chemické reakce a to má za následek dobu zpracovatelnosti, ta se často pohybuje v intervalech od 0,5 až 2 hodin, celková doba kompletní chemické vulkanizace se pohybuje od 24 až 48 hodin[8].

Materiálem pro výrobu formy je směs silikonového kaučuku SILASTIC T-4 (průhledný vysoko pevnostní silikonový elastomer na výrobu forem, nástrojů a prototypů, speciálně vhodný pro technologii rapid prototyping) a vytvrzovacího činidla SILASTIC T-40 (OIL BLEEDING = samomazný efekt) na základě dobrých zkušeností na katedře Výrobních systémů. Použitelnost těchto forem je do 250°C, to zcela postačuje našemu zkoumání.

<b>Základní složka</b>	
Viskozita [mPas]	70000
Specifická hmotnost [g·cm <sup>-3</sup> ]	1,1
<b>SILASTIC Vytvrzovací činidlo T-40</b>	
Viskozita [mPas]	300
Specifická hmotnost [g·cm <sup>-3</sup> ]	0,96
<b>Směs základní složky a vytvrzovacího činidla (100:10 hmot.dílů)</b>	
Viskozita katalyzované směsi , [mPas]	35 000
Barva	průsvitná
Doba práce se směsí při teplotě 25 ° C, [min]	90
<b>Po vytvrzení při 25 ° C po 24 hodinách s vytvrzovacím činidlem T-40</b>	
Tvrdost, [Shore A]	40
Mez pevnosti v tahu, [MPa]	6,5
Poměrné prodloužení přo lomu, [%]	375
Pevnost v roztržení, [kN/m]	32
Relativní hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	1,09
Lineární smrštitelnost, [%]	< 0,1

Tab. 2.: Technické parametry daného silikonového kaučuku [6].

## **4. Technologie vakuového odlévání**

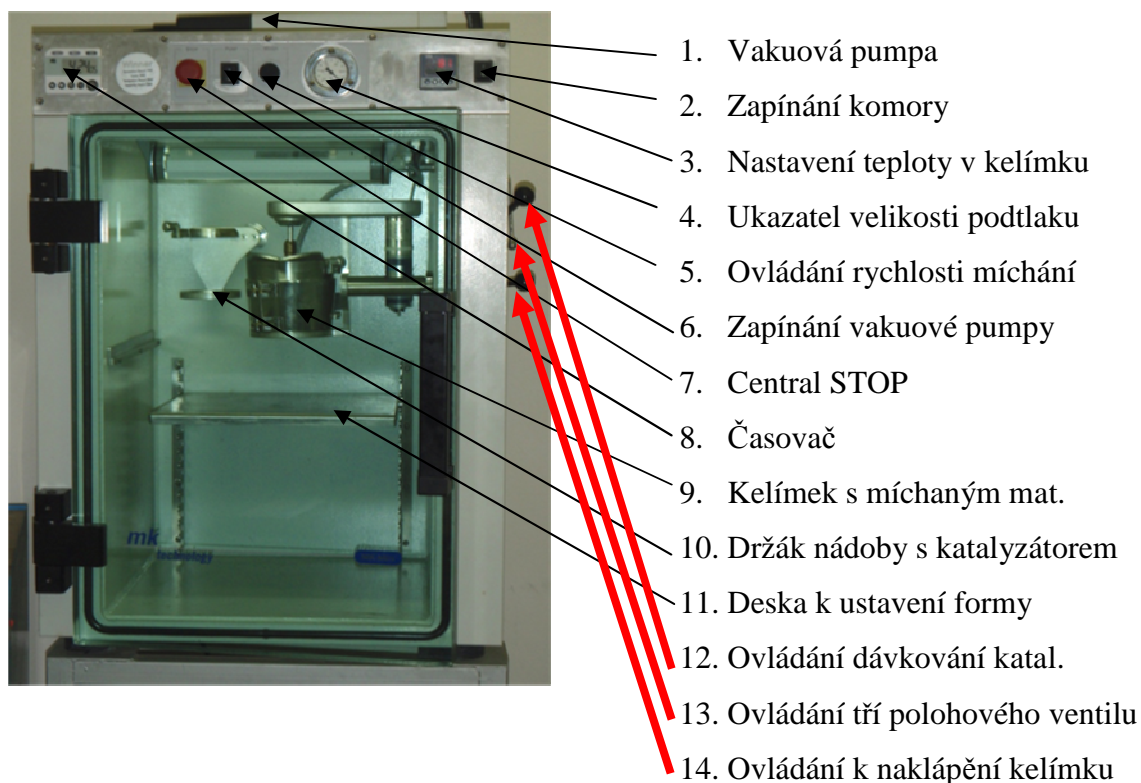
Výrobky budou vyráběny technologií vakuového gravitačního odlévání. Tato metoda je vhodná pro náš záměr výroby odlitek k výrobě prototypů a modelů.

Technologie vakuového lití by se dala popsat jako: Je to právě takový druh odlévání, při kterém se vlastnostmi velice blíží budoucím parametrům sériově vyráběných dílů. Forma se vyrobí, tak že se nejprve vytvoří tzv. master model (někdy nazýván též jako muster model), který je často vyroben některou konvenční metodou obrábění. Tento výrobek se nadále zaformuje a následně zalije tekutou směsí budoucí formy. Jako materiál se často používají dvousložkové silikonové kaučuky. Po ztuhnutí celého objemu formy se model vyjme a tím se vytvoří dutina formy. Vlastnosti (tvrdost, barva, pružnost a jiné) odlévaných dílů se dají nasimulovat za pomoci určitých poměrů licích látek. Odlité díly lze samozřejmě dále upravovat (např.: lakovat). Tyto operace jsou prováděny ve speciálních zařízeních.

### **4.1 Vakuová komora MK mini**

Vakuové komory jsou vhodné k rychlé výrobě součástí požadovaných dílů. Například k vytváření forem a zároveň odlévání do nich. Nejčastěji se zde používají různé druhy pryskyřic, v našem případě se bude jednat však o vosk a silikonový kaučuk. V pracovním prostoru dochází k promísení materiálů a odsátí vzduchu, který by nám znemožnil výrobu dílu v požadované kvalitě.

Výhody Mk mini vakuové komory spočívají v transparentnosti prováděných operací díky skleněným dveřím a dostatečného osvětlení pracovního prostoru. Konstrukce je ocelová a robustní. Mají rovněž výborný čas odsátí pro nás škodlivého vzduchu v pracovním prostoru. Rozměry jsou kompaktní. Komora je ovládána mechanicky za pomoci jednotlivých pák, ty jsou umístěny z boku. Elektronicky se nastavuje pouze teplota míchané směsi a časovač. Používá se nejčastěji v malých firmách nebo na univerzitách, kde je se svými parametry dostačující pro prováděné operace. Toto zařízení je dodáváno společně se dvěma temperovacími pecemi, ve kterých můžeme například nechat vytvrzovat formy, předehřívat formy nebo také docílit pomalejšího chladnutí odlitých dílů ve formách. Popis jednotlivých prvků je uveden níže společně s tabulkou technických parametrů.



Obr. 1.: Vakuová komora Mk mini

Maximální hmotnost odlitku [g]	1000
Pracovní prostor [mm]	450x470x400
Vnější rozměry [mm]	640x600x1000
Průtok vzduchu [m <sup>3</sup> /hod]	25
Velikost vakua [mbar]	<=0,5
Příkon [kW]	0,9
Hmotnost zařízení [kg]	250

Tab. 3.: Technické parametry vakuové komory Mk mini [9]

## 5. Podstata prováděného experimentu

Podstata prováděných experimentů spočívá ve vyhodnocování jednotlivých zkoumaných parametrů a to přesnosti rozměrů, vyplnění objemu formy voskem, tvorba bublin na povrchu odlitků.

Nejprve bude nutno vyrobit master model (viz. kapitola 6. Výroba Master modelu), po jeho vyrobení bude následovat vyrobení silikonové formy (viz. kapitola 7. Výroba formy). Následný postup odlévání je rozvinut níže a v následujících kapitolách.

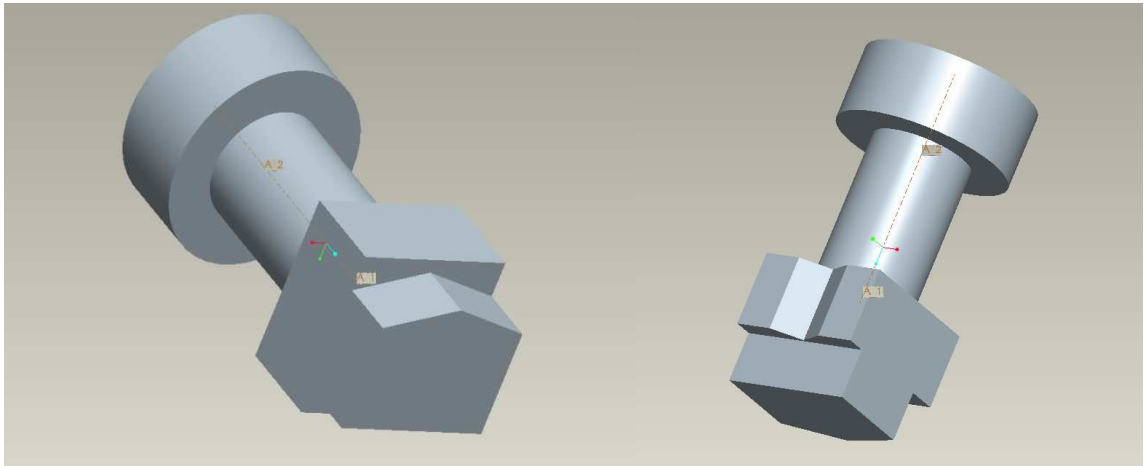
Nejprve bude stanoven nejvhodnější rozsah teplot pro odlévání. To bude prováděno tak, že vyjdeme z materiálového listu pro vosk A7 – RT27 od firmy Blayson, kde je udán vhodný rozsah použitelnosti tohoto materiálu. Pokus bude započat pod dolní hranicí, abychom zjistili jak materiál bude zatékat pod daným rozsahem. Dále se bude postupovat po 3 °C až do horní hranice použitelnosti vosku v našem případě 80°C a jako poslední odlití, kdy bude zkoumána teplota se provede nad daným rozsahem, kvůli zjištění změny vlastností.

Po určení vhodného rozsahu použitelných teplot budou prováděny experimenty s cílem zjištění vhodného použití vakua za pomoci vakuové pumpy. To bude prováděno tak, že se z pracovního prostoru komory vysazuje vzduch při míchání vosku. Dojde k odplynění vosku a vysátí vzduchu z prostoru formy. Vysávání vzduchu bude prováděno vždy po dobu 6ti minut při největším možném vakuu. Podle jednotlivých pokusů bude připouštěn vzduch přibližně o 0,2 baru, dokud nebude docíleno zpět barometrického tlaku v komoře.

## **6. Výroba Master modelu**

Master model je díl, který slouží k výrobě dutiny formy. Tvar modelu odpovídá budoucímu odlitku.

Rozměry a tvar modelu byly zvoleny na základě potřeby pro dané zkoumání. U tvaru je důležité mít rotační i hranaté plochy. Ostré hrany jsou kvůli zjištění, jaká bude zatékavost vosku, dále byl brán zřetel rovněž na snadné vyjmutí z formy, aby nedošlo například k zlomení odlitků nebo poškození jednotlivých částí. Tvar byl samozřejmě navrhován s ohledem na vyrobiteľnosť.

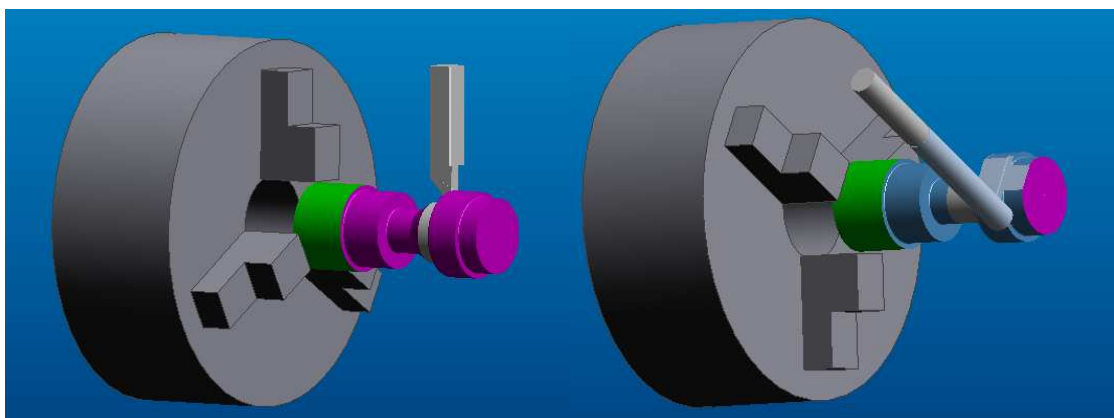


Obr. 2 : Návrh tvaru master modelu

Návrh modelu byl vytvořen v programu ProEngineer, dále byl navržen obráběcí cyklus v programu Edgecam a to takový, že rotační plochy budou soustruženy a rovinné plochy frézovány. Soustružení bude prováděno zleva i zprava, kvůli tomu, aby bylo možné vyrobít čela jednotlivých ploch.

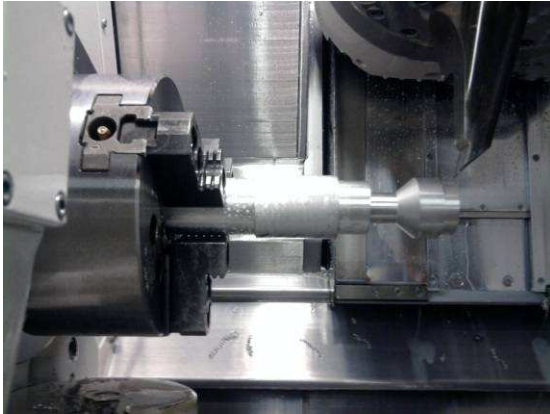
Po-té bude probíhat frézování, tak že se ke každé rovině přiřadí nový souřadný systém a poté se vykoná požadovaný obráběcí cyklus. Zkosené hrany se obráběly obdobně, opět byly zavedeny nové souřadné systémy, navíc u těchto stěn byla potřeba naklonit nástroj o požadovaný úhel zkosení jednotlivých hran.

Frézovací operace byly prováděny sousledně. Na hrubování se frézovalo čelem frézy. Na čisto kvůli odstranění vzniklých stop se odebíral materiál tělem frézy oproti hrubovacím operacím, které byly prováděny čelem frézy. Obrobený model byl následně odříznut za pomoci upichovacího nože.

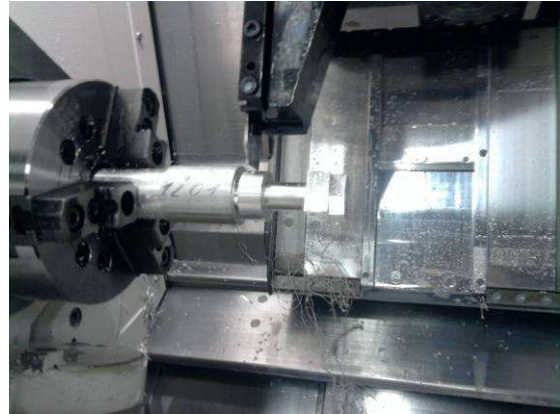


Obr. 3.: Náhled operací v programu Edgecam

Dále se vygeneroval NC kód, který je potřeba pro následné vyrobení na 5ti osém obráběcím centru. Příklady jednotlivých obráběcích operací jsou na obrázcích 4 a 5.



Obr. 4.: Po soustružení zprava



Obr. 5.: Provedení upichování

### **6.1 Obráběcí stroj a použité nástroje**

Jako obráběcí stroj byl použit Mazak Integrex 100 – IV. Vybrán byl, protože je umístěn v laboratořích katedry Výrobních systémů. Jako jeho nesporná výhoda oproti ostatním obráběcím strojům je možnost pohánění vřetena a rovněž pohánění nástrojů, které potřebujeme k obrábění rovinných ploch frézováním.

Nástroje k obrábění byly použité soustružnický nůž kopírovací levý a pravý s vyměnitelnými břitovými destičkami, soustružnický upichovací nůž a stopková fréza o průměru 12mm. Materiál a polotovar master modelu byla použita slitina hliníku.

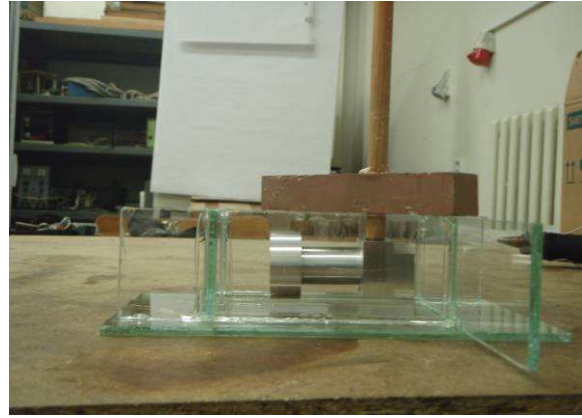
## **7. Výroba formy**

Rám byl sestaven ze skleněných tabulek skla, které muselo být dříve odmaštěno, aby vytvořené spoje správně držely. Sklo bylo zvoleno z důvodu potřeby dokumentace výroby formy. Jednotlivé díly byly spojeny za pomoci lepicí pistole a vhodného tavného lepidla. Přilepení dřevěného kolíku bylo provedeno obdobně. Tento kolík představuje budoucí vtokový kanál.





Obr. 6.: Lepení rámu formy



Obr. 7.: Ustavení polohy modelu

Následuje mísení připravených složek formy, které byly předem odváženy na požadovaný poměr. Tuto směs je potřeba pečlivě promíchat, aby byla zajištěna odpovídající kvalita materiálu formy.

Připravený silikonový kaučuk musí být umístěn v dostatečně velké nádobě, která se vejde do pracovního prostoru vakuové komory, také se však musí brát ohled na to, že bude prováděno odvzdušnění formy, při kterém může nabýt objem materiálu až na 6ti násobek původního objemu.

Výše uvedená směs se vloží k odplynění do komory MK mini. Odplynění probíhá kvůli získání vhodné formy a k zamezení vzniku bublin v dutině formy.



Obr. 8.: Odplynění materiálu formu

Po odplynění bude vyjmuta nádoba se směsí z vakuové komory, nyní je směs připravena k výrobě formy.

Posledním krokem je nalití silikonového kaučuku do rámu formy s master modelem. Po úplném vyplnění prostoru ohraničeným rámem bude forma tuhnout. Běžná doba tuhnutí těchto forem při pokojové teplotě je přibližně 12 hodin. Tuto dobu je možné urychlit použitím vhodné pece, kde je možnost zkrátit chladnutí na 2 hodiny při teplotě 50°C. Při výrobě naší formy však vzniklo několik bublin během vyplňování tvaru, proto volíme časově náročnější 12ti hodinovou variantu. Pomalejším chladnutím budou bubliny postupně stoupat k povrchu, kde se odstraní z objemu formy.

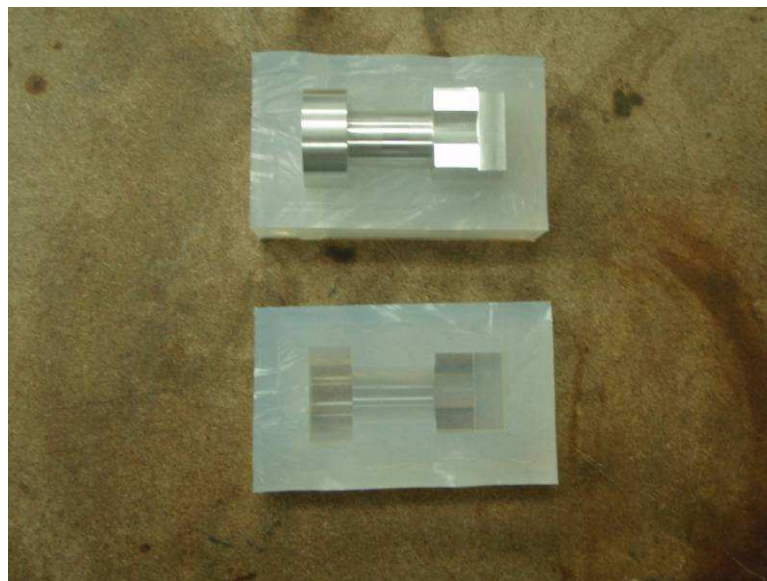


Obr. 9.: Lití materiálu formy



Obr. 10.: Úplné vyplnění formy.

Po uplynutí výše uvedené doby bude odstraněn rám a bude vyjmuta forma. Nyní zbývá už jen zvolení vhodné dělicí roviny, podél které rozdělíme formu na dvě části za pomoci modelářského skalpelu. Při provádění řezů je důležité brát ohled na následovné správné ustavení částí forem, proto provádíme řezy různě zakřivené.



Obr. 11.: Rozdělená forma s modelem

## **8. Postup odlévání voskových dílů**

Před odléváním bylo nejprve nutno připravit jednotlivé potřebné komponenty a to vosk, pec, komoru a formu.

Vosk se vložil do kelímku, ve kterém se pomalu rozpouštěl a zároveň promíchal, aby byla směs homogenní a dostatečně tekutá pro odlití modelů. Během této operace se zatím složily jednotlivé formy. Kvůli zamezení oddělení vrchní části formy od té spodní bylo zapotřebí jednotlivé díly spojit. K těmto částem se po-té přidala nálevka, která byla rovněž malým zásobníkem roztaveného vosku. Po sestavení se vložila tato sestava do pece, kde docházelo k předehřátí formy na teplotu vosku, který se do ní bude odlévat. To se provedlo, protože by nám vosk rychleji chladnul a nemusel by dobře vyplnit potřebný objem. Po uvedení výše uvedených kroků se mohlo začít odlévat. Vložila se forma do vakuové komory pod kelímek s roztaveným voskem, po naklopení kelímku začal vosk vtékat do dutiny. Na níže uvedených obrázcích je vidět tento postup.



Obr. 12.: Mísení vosku



Obr. 13.: Odlévání vosku do dutiny formy

Odlévání se provádělo ve dvou skupinách, v první byla zjišťována vhodná teplota bez použití vakua. Při zjištění vhodné teploty byly prováděny další pokusy k určení velikosti podtlaku. To se provádělo tak, že se vložila forma i voskový materiál do vakuové komory a při míchání vosku se zároveň pomocí pumpy odsával vzduch z pracovního prostoru komory.

Po odlití se vyndaly jednotlivé silikonové formy a nechali se vychladnout minimálně 12 hodin při pokojové teplotě. Po-té se opatrně vyjmuly již připravené odlitky, které se dále měřily.

Temperovací pece MEMMERT UE 500 sloužili k potřebnému přehřátí jednotlivých forem. Jsou dodávány jako součást k vakuové komoře MK-mini. Jedná se o laboratorní pec s nucenou konvekcí. [11]

Výkon [W]	2000
Jmenovitá teplota [°C]	220
Pracovní prostor [cm]	37x46x54
Vnější rozměry [cm]	57x75,5x71

Tab. 4.: Technické parametry pece MEMMERT UE 500 [12]

## 9. Informace o použitých měřidlech

Měření bude prováděno za pomoci mikrometrů. Z důvodu rozsahu rozměrů budou použity tři různé třmenové mikrometry, pomocí každého z nich se bude měřit jen část odlitých dílů. Tyto měřidla byly zvoleny na základě dostatečné přesnosti pro tuto bakalářskou práci.

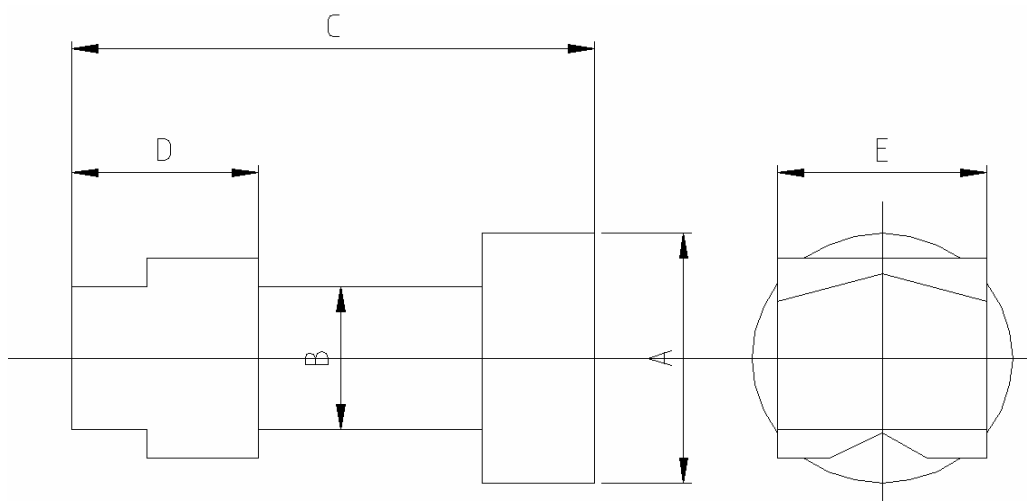
Byly použity mikrometry digimatic mitutoyo řady 293. Označení jednotlivých mikrometrů je MDE 25PJ, MDE 50PJ a MDE 75PJ.

Tyto měřidla mají rychlou odezvu na měření, jsou vybaveny displejem, z kterého se odečítají jednotlivé hodnoty. Tyto třmenové mikrometry mají stoupání 2mm, což má za následek 4x rychlejší měření jednotlivých rozměrů než u ostatních se stoupáním 0,5mm.[7] Opatřeny jsou rovněž mechanismem s ráčnou, kvůli zajištění opakovatelnosti měření. Měřicí kontakty jsou vyrobeny z tvrdokovu. [8]

Mezní chyba [mm]	0,003
Přesnost rovinnosti [mm]	0,003
Přesnost rovnoběžnosti [mm]	0,001
Číslicový krok [mm]	0,001

Tab. 5.: Technické parametry mikrometrů Mitutoyo řady 293 [13]

## 10. Měření a znázornění rozměrů master modelu



Obr. 14.: Znázornění měřených rozměrů

	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	průměrná hodnota [mm]
A	34,973	34,979	34,974	34,975
B	19,984	19,983	19,989	19,985
C	69,996	69,987	69,988	69,990
D	25,030	25,027	24,999	25,019
E	28,094	28,098	28,099	28,097

Tab. 6.: Naměřené hodnoty master modelu

## 11. Experimentální část bez použití vakua

### 11.1 Hodnoty odlitků

U odlitků byly měřeny stejné rozměry jako u master modelu a poté byl taktéž spočítán aritmetický průměr z naměřených hodnot. Hodnoty byly zjištěny za pomoci uvedených mikrometrů. Pro snížení možnosti škodlivých vlivů bylo odlévání provedeno vždy do dvou forem.

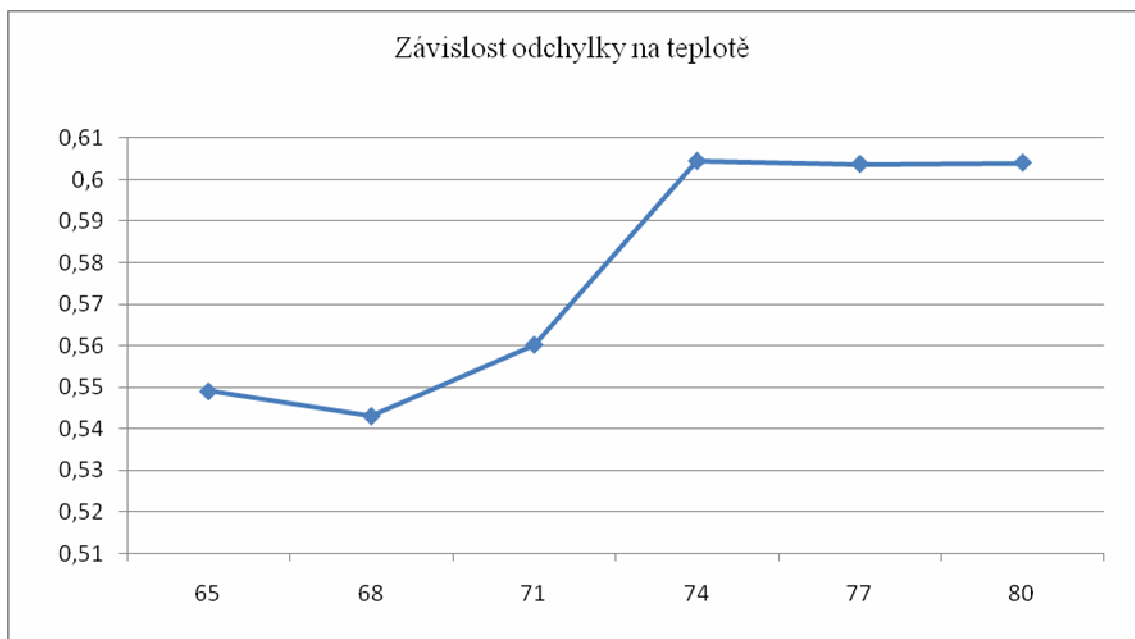
Porovnávaly se dva ukazatele průměrná odchylka a průměrný rozsah. Průměrná odchylka se vypočítala jako aritmetický průměr naměřených vzdáleností odlitku a ty se následovně odečetly od aritmetického průměru Master modelu. Z grafu č.1 je vidět, že nejmenší odchylka je při 68°C a to 0,54mm. U průměrného rozsahu se postupovalo tak, že se od sebe odečetla naměřená největší a nejmenší hodnota pro daný úsek. Výsledný průměrný rozsah se vypočítal jako aritmetický průměr jednotlivých hodnot pro

jednotlivé úseky. Z grafu č. 3 lze vyčíst, že při podtlaku -0,98baru se naměřené hodnoty od sebe liší maximálně o 0,016mm.

Experiment byl započat při teplotě 60°C, kde jsme chtěli zjistit, jak bude vosk zatékat pod teplotou udávanou výrobcem. Při pokusu byla vyplněna jen přibližně 1/3 objemu formy a hrany byly poměrně značně zaobleny. Materiál velice rychle zatuhl. Pokračovalo se tedy při krajní teplotě 65°C, zde se na povrchu vytvořilo několik drobných bublin, bohužel zde nebyly dobře vyplněny ostré hrany. Rozměry však byly celkem přesné. Následovalo další navýšení teploty o 3°C. Povrch o poznání lepší než u předešlého pokusu. Vytvořilo se jen několik drobných bublin, to bylo docela díky většímu množství odvzdušňovacích kanálů. Spodní hrany byly dobře vyplněny i kolmost jednotlivých ploch byla téměř docílena. Vrchní části byly také dobře odlity. Při dalším pokusu se provádělo odlévání na 71°C. Zde byla o něco lepší ostrost hran a kolmost jednotlivých ploch, avšak dochází k zvýšení odchylky rozměrů vůči master modelu. Při dalším odlévání se opět navýšila teplota.

Při dalších navýšení teplot se zhoršovala přesnost rozměrů a vyskytovalo se více malých i velkých bublin. Ostrost hran byla stále dobrá až na hrany, kde vznikaly bubliny. Přesné výsledky a vlastnosti jsou uvedeny v příloze č. 3.

### **11.2 Vyhodnocení přesnosti rozměrů**



Graf 1.: Závislost průměrné odchylky na teplotě

Z grafu č.1 je možné vyčíst, že nejvhodnější teplota je 68°C, při této teplotě je nejmenší odchylka rozměrů odlitků od Master modelu a zároveň povrch odlitků je celkově dobrý. Výsledky jednotlivých odlití jsou uvedeny v příloze č. 1.

## **12. Experimentální část s použitím vakua**

### **12.1 Hodnoty odlitků**

Postup měření a vyhodnocování bude stejný jako v předešlých úsecích této práce. Opět se budou měřit rozměry a hlídat kvalita povrchu. U výsledků byl zaveden ještě jeden aspekt a to rozdíl mezi největší a nejmenší naměřenou hodnotou. Díky tomuto ukazateli zjistíme rozdílnost jednotlivých odlití. Je zde možnost, že bude docházet k většímu lineárnímu smrštění, než u předešlých odlitků.

### **12.2 Odlévání s postupným připouštěním vzduchu**

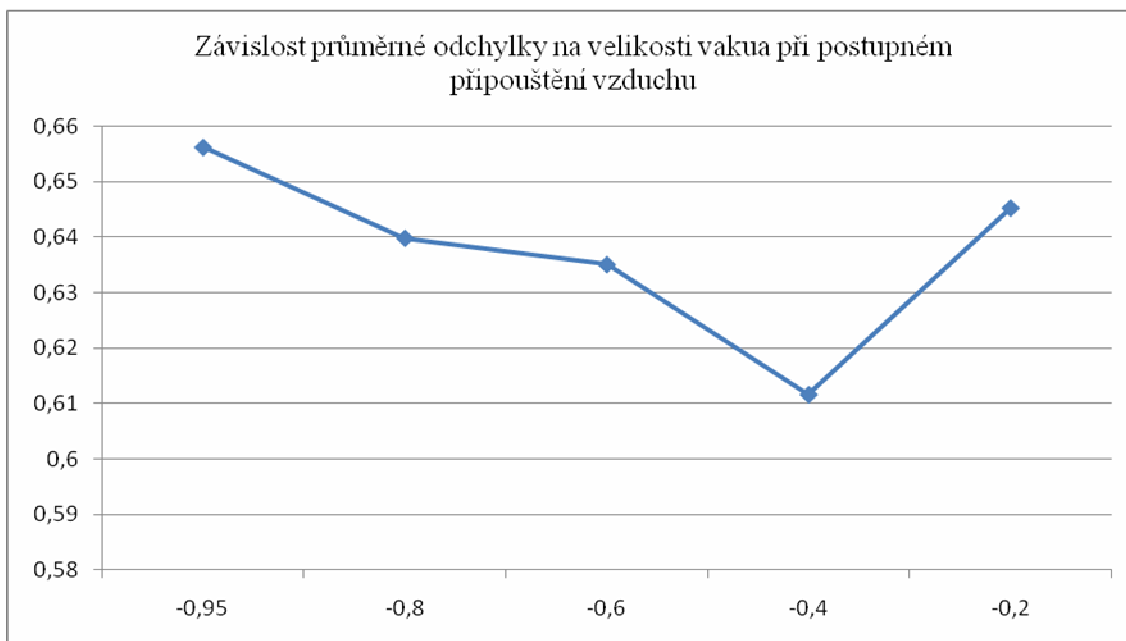
Odlévání s postupným připouštěním vzduchu probíhalo tak, že se nejdříve vakuoval vosk po dobu 6ti minut při nejvyšším možném vakuu a potom se připustil vzduch na požadovanou velikost a při této velikosti vakua se provedlo odlití. Doba vakuování byla zvolena pozorováním míchání materiálu, u kterého docházelo k výskytu bublin, po uplynutí výše uvedené doby se výskyt bublin již výrazně neměnil.

Odlévání začalo na teplotě 68°C při nejvyšším možném vakuu a to přibližně -0,95baru. Při tomto odlití došlo k dobrému odvzdušnění odlévaného materiálu. Nevznikaly žádné bubliny, materiál dobře zatekl do jednotlivých hran. Rozměry vykazovali větší smrštění, ale rozsah těchto hodnot byl velice malý. Při dalším odlévání, kde bylo připuštěno více vzduchu a tím se snížila i velikost vakua se na hranách vytvořilo drobné zvrásnění u první formy. Kvůli tomuto zvrásnění se při dalším odlévání zaměnilo pořadí forem, kvůli zjištění zdali to je formou nebo pořadím. Z výsledků vyplynulo, že první odlití je opět o něco horší a navíc se vytvořila drobná sraženina. Při následujících odlití se vytváří větší zvrásnění a větší sraženiny.

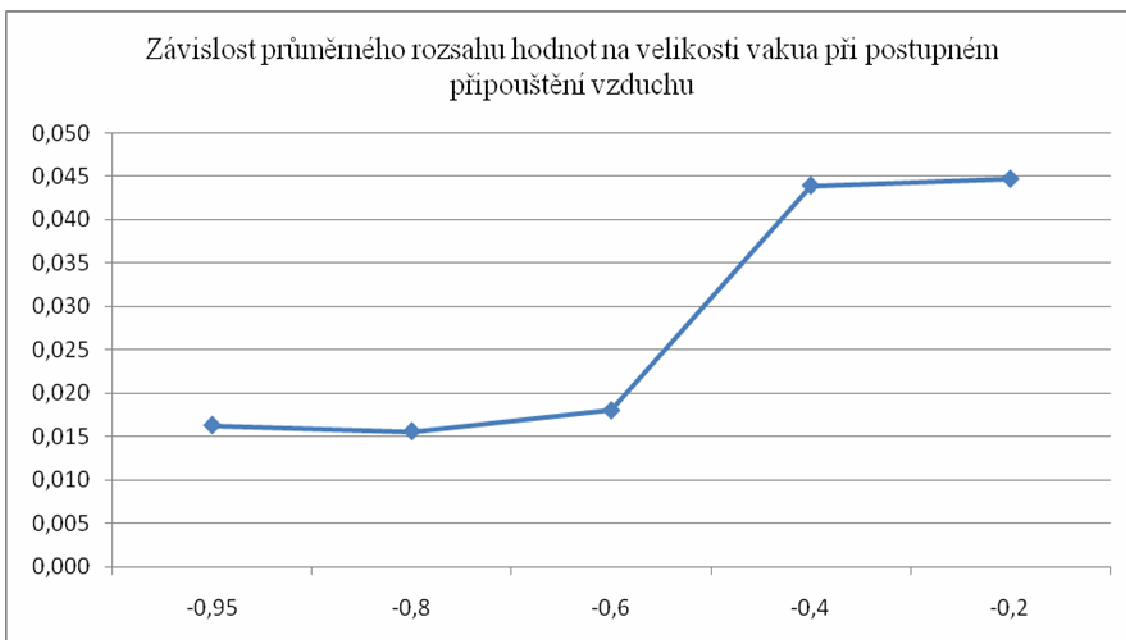
Při těchto pokusech bylo zjištěno, že díky vakuu je horší odvedení teplot. Čím větší byla velikost podtlaku, tím větší byl růst teplot. U největšího dosažitelného vakua

bylo navýšení teploty až na 74°C, oproti nastavované teplotě to byl nárůst o 6°C. To bylo zapříčiněno tím, že se teplo šíří vedením a prouděním. Při odsátí vzduchu dochází k snížení objemu látky, která by teplo mohla přenášet.

### 12.2.1 Vyhodnocení přesnosti rozměrů



Graf 2.: Závislost průměrné odchylky na velikosti vakua při postupném připouštění vzduchu



Graf 3.: Závislost průměrného rozsahu hodnot na velikosti vakua při postupném připouštění vzduchu



Z grafu 2. je možno vyčíst, že nejnižší odchylka od rozměrů master modelu byla při 0,4baru, ovšem při této hodnotě vakua vykazoval odlitek velké vady ploch a to zvrásnění a vytvoření sraženiny.

Z grafu 3. je možné zjistit, že při nejvyšším možném vakuu byl rozsah naměřených hodnot celkem malý, proto by tento druh odlévání byl z této části experimentu nejvhodnější. Bylo by však zapotřebí navrhnout Master model větší, kvůli tomu aby nedocházelo k tak velkému smrštění.

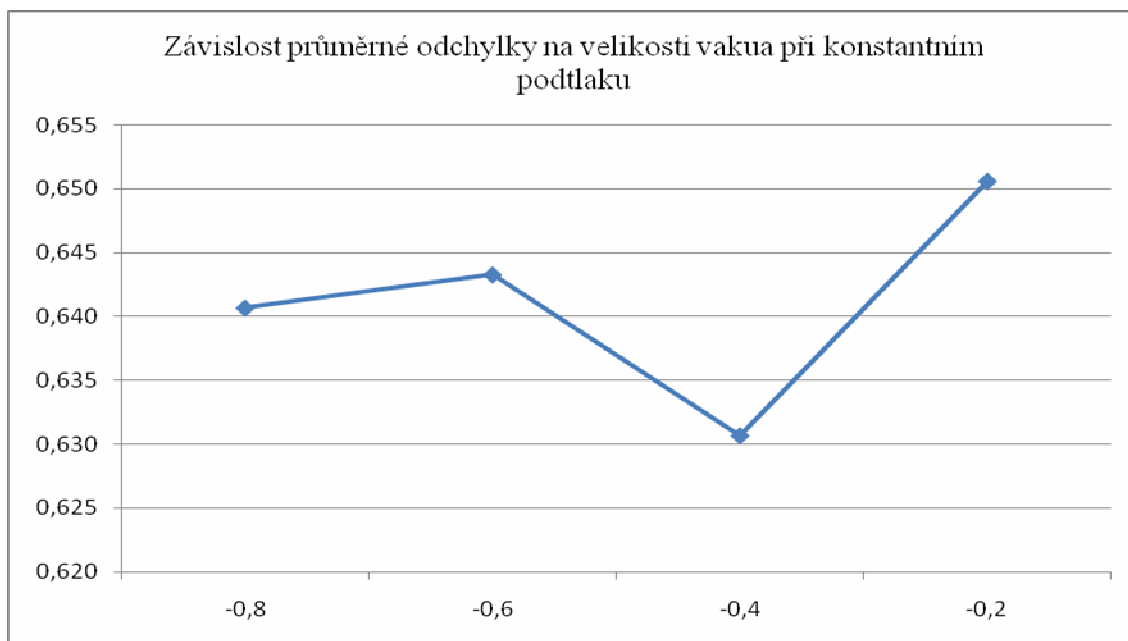
Tento druh vakuového odlévání je vhodný pro co největší velikost vakua. Při ostatních odlití se značně znehodnocuje odlitek, to je způsobeno tím, že při odlévání do komory vnikne studený vzduch a při daném tlaku vosk rychleji tuhne, kvůli tomu dochází k nedokonalému vyplnění formy. Výsledky jednotlivých odlití jsou uvedeny v příloze č. 4.

### **12.3 Odlévání s konstantním vakuem**

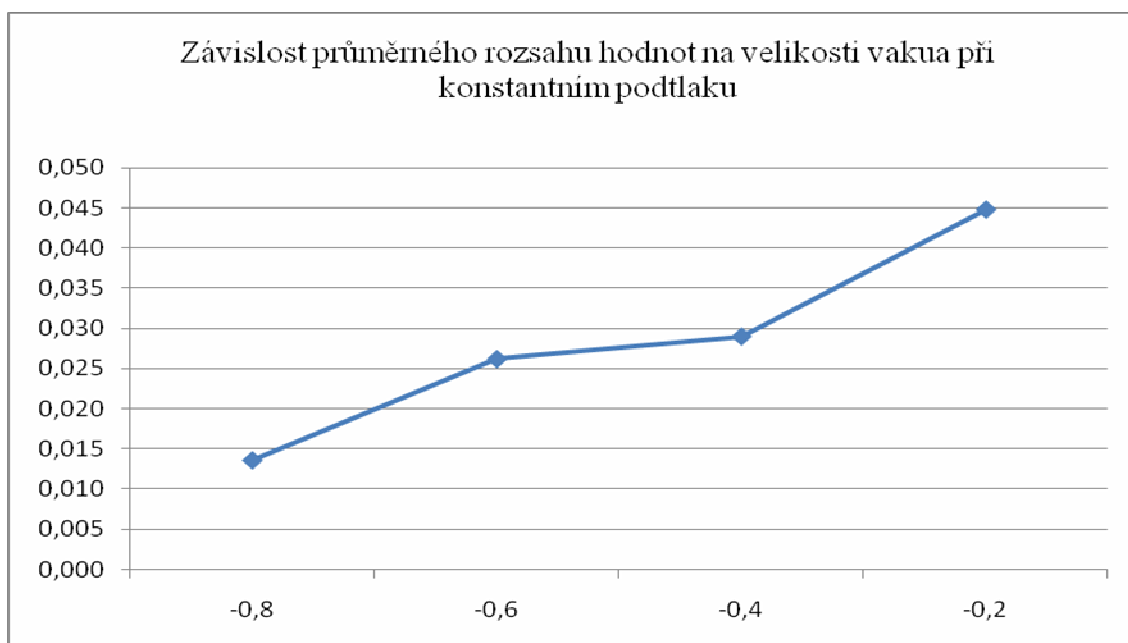
Odlévání s konstantním vakuem probíhalo tak, že se vysál vzduch z pracovního prostoru komory na potřebnou velikost vakua. Při této hodnotě se vosk míchal rovněž po dobu 6ti minut a pak se provedlo odlití. Z předchozích experimentů byly zjištěny hodnoty pro co nejvyšší vakuum a odlévání bez vakua, proto v této části budou použity předešlé výsledky měření a porovnávání.

Odlévání začalo na podtlaku o velikosti 0,8baru a teplotě 68°C při tomto odlévání došlo opět k zvrásnění hran a vytvoření staženiny. Zde se vyskytlo i malé množství bublin oproti předchozímu odlití s postupným připouštěním vzduchu. Při dalším odlití, kde byl snížen opět podtlak, došlo k vytvoření mnoha bublin. Zvětšuje se velikost staženiny i nedokonalost vyplnění ostrých hran. Při postupném snižování podtlaku až na -0,2 baru dochází k postupnému zvyšování množství bublin.

### 12.3.1 Vyhodnocení přesnosti rozměrů



Graf 4.: Závislost průměrné odchylky na velikosti vakua při konstantním podtlaku



Graf 5.: Závislost průměrného rozsahu hodnot na velikosti vakua při konstantním podtlaku

Z grafu 4. je možno vyčíst, že nejnižší odchylka od rozměrů master modelu byla rovněž při 0,4ba, ovšem při této hodnotě se značně zhoršuje jakost povrchu. Avšak

z grafu 5. je možné vyčíst, že při velikosti podtlaku -0,4baru je veliký ukazatel průměrného rozsahu rozměrů.

Při provádění této části experimentu bylo zjištěno, že s postupným blížáním se k barometrickému tlaku klesá kvalita odlitku (vznikají bubliny a další nepřesnosti) a dále se zvyšuje rozsah naměřených rozměrů. Z těchto závěrů vyplývá, že čím větší velikost podtlaku, tak tím je i menší rozsah rozměrů. Výsledky jednotlivých odlití jsou uvedeny v příloze č. 5.

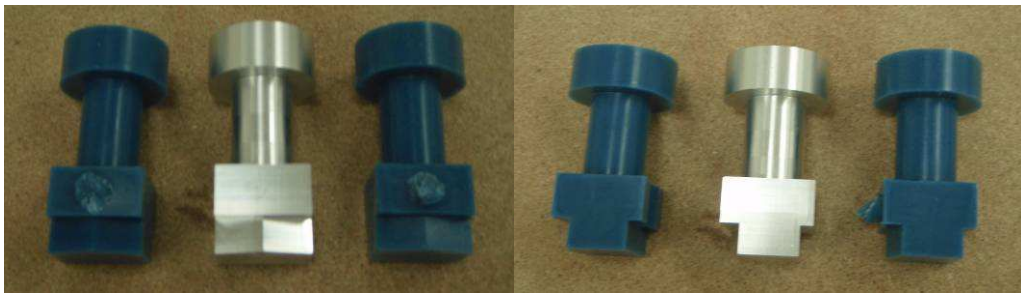
### **13. Vyhodnocení a stanovení výrobního postupu**

Podle prováděných experimentů bylo zjištěno, že jako nejvhodnější teplota se jeví 68°C, s kterou se nadále prováděla další odlévání k zjištění vlivu vakua. To bylo prováděno ve dvou fázích. V první části byl nejdříve vosk odvzdušňován na co největší velikost podtlaku a v druhé fázi se vakuovala směs při konstantním podtlaku.

Během těchto odlití byly vyvozeny závěry takové, že je vhodnější vakuovat směs při největším vakuu po dobu určitého časového intervalu v našem případě 6ti minut. Při postupném připouštění vzduchu se postupně tvořila větší sraženina a směs nedokonale vyplňovala formu, při těchto pokusech také výrazně stoupala teplota, to mělo za následek, že při připouštění vzduchu došlo k náhlému ochlazení. Vosk následovně špatně zatékal a rychleji tuhnul. Při vakuování za konstantního podtlaku docházeli k horšímu odvzdušnění vosku a na povrchu odlitků byly tvořeny skupiny bublin, což zhoršovalo jakost povrchu a dále i přesnost jednotlivých rozměrů.

Nejvhodnější výrobní postup je následující: Nejdříve se provede přehřátí formy na teplotu odlévání, během toho se taví vosk na teplotu 68°C. Po dostatečném roztavení vosku se vloží přehřátá forma do pracovního prostoru komory. Následovně se spustí vakuová pumpa, která vysaje vzduch na maximální možnou velikost podtlaku. Při docílení tohoto podtlaku se nechá směs mísit do doby, dokud se neodstraní všechny bubliny z povrchu taveného vosku. Poté se provede odlití do přiložené formy. Následuje již pouze odvzdušnění komory a vyjmutí formy s voskem. Následuje chladnutí při pokojové teplotě a za barometrického tlaku.

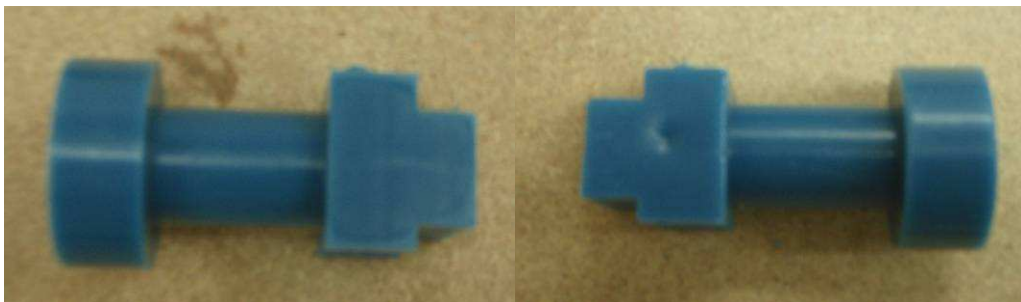
Dále je uvedeno několik obrázku odlitků s jednotlivými popisy.



Obr. 14.: Porovnání odlitků s Master modelem



Obr. 15.: Odlitek s povrchovými bublinami



Obr. 16.: Vytvořená sraženina na boku odlitku

## 14. Závěr

Tato práce byla vyhotovena za účelem vyřešení vhodné teploty a velikosti vakua při odlévání voskových materiálů. Díky tomuto výrobnímu postupu můžeme dosáhnout nejvhodnějších podmínek pro odlévání tohoto materiálu. V teoretické části této práce byl vybrán vhodný vosk. Dále byl navržen tvar, který by byl vhodný k sledování vlastností. V experimentální části byly zjišťovány nejvhodnější podmínky pro lití vosku. Nejdříve se zkoumala

nejvhodnější teplota z rozsahu, který udával výrobce. Po jejím zjištění bylo pracováno s podtlakem jeho vliv na přesnost a jakost povrchu odlitků.

Z práce vyplynulo, že nejvhodnější teplota je 68°C a velikost podtlaku je největší, které lze dosáhnout. Při těchto podmínkách vyplnil vosk nejlépe dutiny formy. Povrch odlitku byl dobrý bez výrazných povrchových vad.

Dalším možným experimentem by mohlo být průběžné ohřívání vosku během odlévání nebo i ochlazování. Možnou variabilnost naskýtá i využití podtlaku, během odlévání můžeme například připouštět vzduch. Tyto úkony je možné samozřejmě i kombinovat.

## **Seznam použité literatury**

- [1] HOFMAN, Miroslav. *Vhodné materiály pro výrobu prototypů litím ve vakuu*. Liberec, 2010. 42 s. Bakalářská práce. Technická univerzita Liberec.
- [2] Material data : A7-RT/27. In Blayson. *Material data A7-RT/27*. UK : Blayson, 2007. s. 6.

## **Seznam použitých internetových zdrojů**

- [3] *MM spektrum* [online]. 2002 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-rapid-prototypingu>>.
- [4] *Robo hyperlink* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main05.html>>.
- [5] *Robo hyperlink* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main06.html>>.
- [6] *ELCHEMco* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <1. <http://web.elchemco.cz/T4EX.php>>.
- [7] *Škola umění kultura* [online]. 2008 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <2. <http://creativartschool.blogspot.com/2008/07/vosky.html>>.
- [8] *VŠCHT - Vysoká Škola Chemicko-Technologická v Praze* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_silikonove\\_formy/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_silikonove_formy/teorie.htm)>.
- [9] *MCAE systems* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.mcae.cz/mk-mini>>.
- [10] *Axson North America, Inc* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.axson-na.com/axna-mk-tech.html#mini>>.
- [11] *MK technology* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.mk-technology.com>>.
- [12] *Memmert* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.memmert.com/de/produkte/brutschrank-inkubator/brutschraenke-inkubatoren-zubehoer/>>.

[13] *Mitutoyo America Corporation* [online]. 2010 [cit. 2010-12-30]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.mitutoyo.com/TerminalMerchandisingGroup.aspx?group=1716>>.

## **Seznam příloh**

Příloha 1: NC kód k výrobě master modelu – 10 stran a na CD

Příloha 2: Výrobní výkres Master modelu – 1 strana a na CD

Příloha 3: Tabulky naměřených hodnot bez vakua – 3 strany

Příloha 4: Tabulky naměřených hodnot s vakuem s postupným připouštěním vzduchu – 2 strany

Příloha 5: Tabulky naměřených hodnot s konstantním vakuem – 1 strana



## Příloha 1: NC kód k výrobě master modelu

(C. NASTROJE: 14 , POPIS NASTROJE: NUZ KOPIROVACI ZPRAVA-DOLEVA)  
(C. NASTROJE: 13 , POPIS NASTROJE: ÚDAJ UŽIVATELE)  
(C. NASTROJE: 4 , POPIS NASTROJE: UPICHOVACI NUZ - PLANZETA,  
PRAVA SPICKA)

(\*\*\*\*\*  
\*)  
(\* STROJ : MAZAK INTEGREGX 100 - IV - MATRIX)  
(\* PROGRAM : BP\_ZAMECNIK )  
(\* MATERIAL : )  
(\* DATUM : 11/01/10 )  
(\* CAS : 16:50:22 )  
(\* PROGRAMOVAL: )  
(\* ZAKAZNIK : )  
(\* CELKOVY CAS OBRABENI S VYMENOU NASTROJE : 53.659 MINUT)  
(\*\*\*\*\*  
\*)

N2	G21 G40 G80	N72	Z-74.8
		N74	X40.173
		N76	G0 X42.173 Z-73.8
N4	(NUZ KOPIROVACI ZPRAVA-DOLEVA)	N78	Z-26.166
N6	G18	N80	X40.176
N8	M202 (TURN MODE)	N82	G1 X38.176
N10	T14.01 T14 M6 D14	N84	X36.179 Z-27.357
N12	G50 S2500 R1	N86	Z-74.8
N14	G96 S120 M3	N88	X38.176
N16	G99	N90	G0 X40.176 Z-73.8
N18	G123.1	N92	Z-27.357
N20	G0 B80. G53.5	N94	X38.179
N22	G0 X43. Z1.	N96	G1 X36.179
N24	X40.273 Z1.057	N98	X34.181 Z-28.547
N26	Z0.2	N100	Z-54.8
N28	G1 X0 F0.1	N102	X35.2
N30	Z1.007	N104	Z-74.8
N32	G0 X2. Z2.007	N106	X36.179
N34	X40.273	N108	G0 X38.179 Z-73.8
N36	X38.176	N110	Z-28.547
N38	G1 Z-9.8 F0.1	N112	X36.181
N40	G0 X40.176 Z-8.8	N114	G1 X34.181
N42	Z2.007	N116	X32.184 Z-29.737
N44	X36.179	N118	Z-54.8
N46	G1 Z-9.8	N120	X34.181
N48	X38.176	N122	G0 X36.181 Z-53.8
N50	G0 X40.176 Z-8.8	N124	Z-29.737
N52	Z2.007	N126	X34.184
N54	X34.609	N128	G1 X32.184
N56	G1 X34.613 Z-9.8	N130	X30.187 Z-30.927
N58	X36.179	N132	Z-54.8
N60	G0 X38.179 Z-8.8	N134	X32.184
N62	X38.176	N136	G0 X34.184 Z-53.8
N64	G1 Z-9.8	N138	Z-30.927
N66	X39.798	N140	X32.187
N68	Z-25.2	N142	G1 X30.187
N70	X38.176 Z-26.166	N144	X28.189 Z-32.117
		N146	Z-54.8
		N148	X30.187

N150	G0 X32.187 Z-53.8	N262	Z-25.2
N152	Z-32.117	N264	X37.938
N154	X30.189	N266	G0 X39.938 Z-26.2
N156	G1 X28.189	N268	Z-44.774
N158	X26.192 Z-33.307	N270	G1 X33.996
N160	Z-54.8	N272	Z-25.2
N162	X28.189	N274	X35.967
N164	G0 X30.189 Z-53.8	N276	G0 X37.967 Z-26.2
N166	Z-33.307	N278	Z-44.774
N168	X28.192	N280	G1 X32.025
N170	G1 X26.192	N282	Z-25.2
N172	X24.195 Z-34.498	N284	X33.996
N174	Z-54.8	N286	G0 X35.996 Z-26.2
N176	X26.192	N288	Z-44.774
N178	G0 X28.192 Z-53.8	N290	G1 X30.055
N180	Z-34.498	N292	Z-25.2
N182	X26.195	N294	X32.025
N184	G1 X24.195	N296	G0 X34.025 Z-26.2
N186	X22.197 Z-35.688	N298	Z-44.774
N188	Z-54.8	N300	G1 X28.084
N190	X24.195	N302	Z-25.2
N192	G0 X26.195 Z-53.8	N304	X30.055
N194	Z-35.688	N306	G0 X32.055 Z-26.2
N196	X24.197	N308	Z-44.774
N198	G1 X22.197	N310	G1 X26.113
N200	X20.2 Z-36.878	N312	Z-25.2
N202	Z-54.8	N314	X28.084
N204	X22.197	N316	G0 X30.084 Z-26.2
N206	G0 X24.197 Z-53.8	N318	Z-44.774
N208	Z-37.878	N320	G1 X24.142
N210	X40.273	N322	Z-25.2
N212	Z2.007	N324	X26.113
N214	G1 X40.409 Z2. F0.08	N326	G0 X28.113 Z-26.2
N216	G3 X36.409 Z0 R2.	N328	Z-44.774
N218	G1 X-1.	N330	G1 X22.171
N220	Z1.	N332	Z-25.2
N222	M154	N334	X24.142
N224	G28 U0 V0 W0	N336	G0 X26.142 Z-26.2
		N338	Z-44.774
		N340	G1 X20.2
N226	(NUZ KOPIROVACI ZPRAVA-DOLEVA)	N342	Z-25.2
N228	G18	N344	X22.171
N230	M202 (TURN MODE)	N346	G0 X24.171 Z-26.2
N232	T14.02 T14 M6 D13	N348	Z-44.774
N234	G50 S2500 R1	N350	X40.009
N236	G96 S120 M4	N352	Z-45.065
N238	G99	N354	X42.923
N240	G123.1	N356	X26.828
N242	G0 B90.	N358	G1 X24. F0.08
	G53.5	N360	Z-44.35
N244	G0 X48.554 Z-53.12	N362	G3 X20. Z-42.35 R2.
N246	Z-44.774	N364	G1 Z-25.
N248	X40.009	N366	X39.598
N250	G1 X37.938 F0.1	N368	Z-21.21
N252	Z-25.2	N370	G3 X43.598 Z-19.21 R2.
N254	X39.909	N372	G0 X46.711 Z-28.04
N256	G0 X41.909 Z-26.2	N374	M154
N258	Z-44.774	N376	G28 U0
N260	G1 X35.967	N378	G28 V0 W0

N380	(NUZ KOPIROVACI ZPRAVA-DOLEVA)	N484	Z10.
N382	G18	N486	Z5. F120.
N384	M202 (TURN MODE)	N488	Y21.348
N386	T14.01 T13 M6 D14	N490	Z10. F4800.
N388	G50 S2500 R1	N492	X-11.001 Y-21.302
N390	G96 S120 M3	N494	Z9.
N392	G99	N496	Z4. F120.
N394	G123.1	N498	Y21.348
N396	G0 B90. G53.5	N500	Z10. F4800.
N398	G0 X36.563 Z2.934	N502	X-3.483 Y-21.302
N400	X37.237	N504	Z9.
N402	G1 X34.409 F0.08	N506	Z4. F120.
N404	Z0.6	N508	Y21.348
N406	Z-0.4	N510	Z10. F4800.
N408	X34.413 Z-10.	N512	X4.035 Y-21.302
N410	X39.598	N514	Z9.
N412	Z-25.587	N516	Z4. F120.
N414	X20. Z-33.809	N518	Y21.348
N416	Z-55.	N520	Z10. F4800.
N418	X35.	N522	X11.553 Y-21.302
N420	Z-72.4	N524	Z9.
N422	X37.	N526	Z4. F120.
N424	M154	N528	Y21.348
N426	G28 U0 V0 W0	N530	Z9. F4800.
		N532	X-11.001 Y-21.302
		N534	Z8.
		N536	Z3. F120.
		N538	Y21.348
		N540	Z9. F4800.
N428	(ÚDAJ UŽIVATELE)	N542	X-3.483 Y-21.302
N430	G19	N544	Z8.
N432	M200 (MILL MODE)	N546	Z3. F120.
N434	T13.01 T13 M6 D40	N548	Y21.348
N436	G97 S2400 M203	N550	Z9. F4800.
N438	G98	N552	X4.035 Y-21.302
N440	G122.1	N554	Z8.
N442	G0 B90. G53.5	N556	Z3. F120.
N444	G0 B90. C0. G53.5	N558	Y21.348
N446	G68.5 X14. Y0. Z-10. I0. J1. K0. R90.	N560	Z9. F4800.
N448	G0 X0. Y0. Z8.	N562	X11.553 Y-21.302
N450	X-11.001 Y-21.302	N564	Z8.
N452	Z11.	N566	Z3. F120.
N454	Z10.	N568	Y21.348
N456	G1 Z5. F120.	N570	Z8. F4800.
N458	Y21.348 F150.	N572	X-11.001 Y-21.302
N460	Z11. F4800.	N574	Z7.
N462	X-3.483 Y-21.302	N576	Z2. F120.
N464	Z10.	N578	Y21.348
N466	Z5. F120.	N580	Z8. F4800.
N468	Y21.348	N582	X-3.483 Y-21.302
N470	Z11. F4800.	N584	Z7.
N472	X4.035 Y-21.302	N586	Z2. F120.
N474	Z10.	N588	Y21.348
N476	Z5. F120.	N590	Z8. F4800.
N478	Y21.348	N592	X4.035 Y-21.302
N480	Z11. F4800.	N594	Z7.
N482	X11.553 Y-21.302	N596	Z2. F120.
		N598	Y21.348
		N600	Z8. F4800.
		N602	X11.553 Y-21.302

N604	Z7.	N724	Z11. F4800.
N606	Z2. F120.	N726	X11.553 Y-21.302
N608	Y21.348	N728	Z10.
N610	Z7. F4800.	N730	Z5. F120.
N612	X-11.001 Y-21.302	N732	Y21.348
N614	Z6.	N734	Z10. F4800.
N616	Z1. F120.	N736	X-11.001 Y-21.302
N618	Y21.348	N738	Z9.
N620	Z7. F4800.	N740	Z4. F120.
N622	X-3.483 Y-21.302	N742	Y21.348
N624	Z6.	N744	Z10. F4800.
N626	Z1. F120.	N746	X-3.483 Y-21.302
N628	Y21.348	N748	Z9.
N630	Z7. F4800.	N750	Z4. F120.
N632	X4.035 Y-21.302	N752	Y21.348
N634	Z6.	N754	Z10. F4800.
N636	Z1. F120.	N756	X4.035 Y-21.302
N638	Y21.348	N758	Z9.
N640	Z7. F4800.	N760	Z4. F120.
N642	X11.553 Y-21.302	N762	Y21.348
N644	Z6.	N764	Z10. F4800.
N646	Z1. F120.	N766	X11.553 Y-21.302
N648	Y21.348	N768	Z9.
N650	Z6. F4800.	N770	Z4. F120.
N652	X-11.001 Y-21.302	N772	Y21.348
N654	Z5.2	N774	Z9. F4800.
N656	Z0.2 F120.	N776	X-11.001 Y-21.302
N658	Y21.348	N778	Z8.
N660	Z6. F4800.	N780	Z3. F120.
N662	X-3.483 Y-21.302	N782	Y21.348
N664	Z5.2	N784	Z9. F4800.
N666	Z0.2 F120.	N786	X-3.483 Y-21.302
N668	Y21.348	N788	Z8.
N670	Z6. F4800.	N790	Z3. F120.
N672	X4.035 Y-21.302	N792	Y21.348
N674	Z5.2	N794	Z9. F4800.
N676	Z0.2 F120.	N796	X4.035 Y-21.302
N678	Y21.348	N798	Z8.
N680	Z6. F4800.	N800	Z3. F120.
N682	X11.553 Y-21.302	N802	Y21.348
N684	Z5.2	N804	Z9. F4800.
N686	Z0.2 F120.	N806	X11.553 Y-21.302
N688	Y21.348	N808	Z8.
N690	G0 Z8.	N810	Z3. F120.
N692	G0 C90.	N812	Y21.348
N694	X-11.001 Y-21.302	N814	Z8. F4800.
N696	Z11.	N816	X-11.001 Y-21.302
N698	Z10.	N818	Z7.
N700	G1 Z5.	N820	Z2. F120.
N702	Y21.348 F150.	N822	Y21.348
N704	Z11. F4800.	N824	Z8. F4800.
N706	X-3.483 Y-21.302	N826	X-3.483 Y-21.302
N708	Z10.	N828	Z7.
N710	Z5. F120.	N830	Z2. F120.
N712	Y21.348	N832	Y21.348
N714	Z11. F4800.	N834	Z8. F4800.
N716	X4.035 Y-21.302	N836	X4.035 Y-21.302
N718	Z10.	N838	Z7.
N720	Z5. F120.	N840	Z2. F120.
N722	Y21.348	N842	Y21.348

N844	Z8. F4800.	N964	Z5. F120.
N846	X11.553 Y-21.302	N966	Y21.348
N848	Z7.	N968	Z11. F4800.
N850	Z2. F120.	N970	X11.553 Y-21.302
N852	Y21.348	N972	Z10.
N854	Z7. F4800.	N974	Z5. F120.
N856	X-11.001 Y-21.302	N976	Y21.348
N858	Z6.	N978	Z10. F4800.
N860	Z1. F120.	N980	X-11.001 Y-21.302
N862	Y21.348	N982	Z9.
N864	Z7. F4800.	N984	Z4. F120.
N866	X-3.483 Y-21.302	N986	Y21.348
N868	Z6.	N988	Z10. F4800.
N870	Z1. F120.	N990	X-3.483 Y-21.302
N872	Y21.348	N992	Z9.
N874	Z7. F4800.	N994	Z4. F120.
N876	X4.035 Y-21.302	N996	Y21.348
N878	Z6.	N998	Z10. F4800.
N880	Z1. F120.	N1000	X4.035 Y-21.302
N882	Y21.348	N1002	Z9.
N884	Z7. F4800.	N1004	Z4. F120.
N886	X11.553 Y-21.302	N1006	Y21.348
N888	Z6.	N1008	Z10. F4800.
N890	Z1. F120.	N1010	X11.553 Y-21.302
N892	Y21.348	N1012	Z9.
N894	Z6. F4800.	N1014	Z4. F120.
N896	X-11.001 Y-21.302	N1016	Y21.348
N898	Z5.2	N1018	Z9. F4800.
N900	Z0.2 F120.	N1020	X-11.001 Y-21.302
N902	Y21.348	N1022	Z8.
N904	Z6. F4800.	N1024	Z3. F120.
N906	X-3.483 Y-21.302	N1026	Y21.348
N908	Z5.2	N1028	Z9. F4800.
N910	Z0.2 F120.	N1030	X-3.483 Y-21.302
N912	Y21.348	N1032	Z8.
N914	Z6. F4800.	N1034	Z3. F120.
N916	X4.035 Y-21.302	N1036	Y21.348
N918	Z5.2	N1038	Z9. F4800.
N920	Z0.2 F120.	N1040	X4.035 Y-21.302
N922	Y21.348	N1042	Z8.
N924	Z6. F4800.	N1044	Z3. F120.
N926	X11.553 Y-21.302	N1046	Y21.348
N928	Z5.2	N1048	Z9. F4800.
N930	Z0.2 F120.	N1050	X11.553 Y-21.302
N932	Y21.348	N1052	Z8.
N934	G0 Z8.	N1054	Z3. F120.
N936	G0 C180.	N1056	Y21.348
N938	X-11.001 Y-21.302	N1058	Z8. F4800.
N940	Z11.	N1060	X-11.001 Y-21.302
N942	Z10.	N1062	Z7.
N944	G1 Z5.	N1064	Z2. F120.
N946	Y21.348 F150.	N1066	Y21.348
N948	Z11. F4800.	N1068	Z8. F4800.
N950	X-3.483 Y-21.302	N1070	X-3.483 Y-21.302
N952	Z10.	N1072	Z7.
N954	Z5. F120.	N1074	Z2. F120.
N956	Y21.348	N1076	Y21.348
N958	Z11. F4800.	N1078	Z8. F4800.
N960	X4.035 Y-21.302	N1080	X4.035 Y-21.302
N962	Z10.	N1082	Z7.

N1084	Z2. F120.	N1204	X4.035 Y-21.302
N1086	Y21.348	N1206	Z10.
N1088	Z8. F4800.	N1208	Z5. F120.
N1090	X11.553 Y-21.302	N1210	Y21.348
N1092	Z7.	N1212	Z11. F4800.
N1094	Z2. F120.	N1214	X11.553 Y-21.302
N1096	Y21.348	N1216	Z10.
N1098	Z7. F4800.	N1218	Z5. F120.
N1100	X-11.001 Y-21.302	N1220	Y21.348
N1102	Z6.	N1222	Z10. F4800.
N1104	Z1. F120.	N1224	X-11.001 Y-21.302
N1106	Y21.348	N1226	Z9.
N1108	Z7. F4800.	N1228	Z4. F120.
N1110	X-3.483 Y-21.302	N1230	Y21.348
N1112	Z6.	N1232	Z10. F4800.
N1114	Z1. F120.	N1234	X-3.483 Y-21.302
N1116	Y21.348	N1236	Z9.
N1118	Z7. F4800.	N1238	Z4. F120.
N1120	X4.035 Y-21.302	N1240	Y21.348
N1122	Z6.	N1242	Z10. F4800.
N1124	Z1. F120.	N1244	X4.035 Y-21.302
N1126	Y21.348	N1246	Z9.
N1128	Z7. F4800.	N1248	Z4. F120.
N1130	X11.553 Y-21.302	N1250	Y21.348
N1132	Z6.	N1252	Z10. F4800.
N1134	Z1. F120.	N1254	X11.553 Y-21.302
N1136	Y21.348	N1256	Z9.
N1138	Z6. F4800.	N1258	Z4. F120.
N1140	X-11.001 Y-21.302	N1260	Y21.348
N1142	Z5.2	N1262	Z9. F4800.
N1144	Z0.2 F120.	N1264	X-11.001 Y-21.302
N1146	Y21.348	N1266	Z8.
N1148	Z6. F4800.	N1268	Z3. F120.
N1150	X-3.483 Y-21.302	N1270	Y21.348
N1152	Z5.2	N1272	Z9. F4800.
N1154	Z0.2 F120.	N1274	X-3.483 Y-21.302
N1156	Y21.348	N1276	Z8.
N1158	Z6. F4800.	N1278	Z3. F120.
N1160	X4.035 Y-21.302	N1280	Y21.348
N1162	Z5.2	N1282	Z9. F4800.
N1164	Z0.2 F120.	N1284	X4.035 Y-21.302
N1166	Y21.348	N1286	Z8.
N1168	Z6. F4800.	N1288	Z3. F120.
N1170	X11.553 Y-21.302	N1290	Y21.348
N1172	Z5.2	N1292	Z9. F4800.
N1174	Z0.2 F120.	N1294	X11.553 Y-21.302
N1176	Y21.348	N1296	Z8.
N1178	G0 Z8.	N1298	Z3. F120.
N1180	G0 C270.	N1300	Y21.348
N1182	X-11.001 Y-21.302	N1302	Z8. F4800.
N1184	Z11.	N1304	X-11.001 Y-21.302
N1186	Z10.	N1306	Z7.
N1188	G1 Z5.	N1308	Z2. F120.
N1190	Y21.348 F150.	N1310	Y21.348
N1192	Z11. F4800.	N1312	Z8. F4800.
N1194	X-3.483 Y-21.302	N1314	X-3.483 Y-21.302
N1196	Z10.	N1316	Z7.
N1198	Z5. F120.	N1318	Z2. F120.
N1200	Y21.348	N1320	Y21.348
N1202	Z11. F4800.	N1322	Z8. F4800.

N1324	X4.035 Y-21.302	N1438	G1 Z4.
N1326	Z7.	N1440	G41 X10.393 F150.
N1328	Z2. F120.	N1442	Y-0.346
N1330	Y21.348	N1444	Y14.148
N1332	Z8. F4800.	N1446	Y24.148
N1334	X11.553 Y-21.302	N1448	G40 X4.393
N1336	Z7.	N1450	G0 Z5.
N1338	Z2. F120.	N1452	Y-10.346
N1340	Y21.348	N1454	G1 Z3. F120.
N1342	Z7. F4800.	N1456	G41 X10.393 F150.
N1344	X-11.001 Y-21.302	N1458	Y-0.346
N1346	Z6.	N1460	Y14.148
N1348	Z1. F120.	N1462	Y24.148
N1350	Y21.348	N1464	G40 X4.393
N1352	Z7. F4800.	N1466	G0 Z5.
N1354	X-3.483 Y-21.302	N1468	Y-10.346
N1356	Z6.	N1470	G1 Z2. F120.
N1358	Z1. F120.	N1472	G41 X10.393 F150.
N1360	Y21.348	N1474	Y-0.346
N1362	Z7. F4800.	N1476	Y14.148
N1364	X4.035 Y-21.302	N1478	Y24.148
N1366	Z6.	N1480	G40 X4.393
N1368	Z1. F120.	N1482	G0 Z5.
N1370	Y21.348	N1484	Y-10.346
N1372	Z7. F4800.	N1486	G1 Z1. F120.
N1374	X11.553 Y-21.302	N1488	G41 X10.393 F150.
N1376	Z6.	N1490	Y-0.346
N1378	Z1. F120.	N1492	Y14.148
N1380	Y21.348	N1494	Y24.148
N1382	Z6. F4800.	N1496	G40 X4.393
N1384	X-11.001 Y-21.302	N1498	G0 Z5.
N1386	Z5.2	N1500	Y-10.346
N1388	Z0.2 F120.	N1502	G1 Z0.2 F120.
N1390	Y21.348	N1504	G41 X10.393 F150.
N1392	Z6. F4800.	N1506	Y-0.346
N1394	X-3.483 Y-21.302	N1508	Y14.148
N1396	Z5.2	N1510	Y24.148
N1398	Z0.2 F120.	N1512	G40 X4.393
N1400	Y21.348	N1514	G0 Z5.
N1402	Z6. F4800.	N1516	G69.5
N1404	X4.035 Y-21.302	N1518	M154
N1406	Z5.2	N1520	G28 U0 V0 W0
N1408	Z0.2 F120.	N1522	G0 B90. C345. G53.5
N1410	Y21.348	N1524	G68.5 X11.541 Y3.532 Z0. I0. J1. K0. R90.
N1412	Z6. F4800.	N1526	X0. Y0. Z10.
N1414	X11.553 Y-21.302	N1528	X4. Y-24.984 Z5.
N1416	Z5.2	N1530	G1 Z4. F120.
N1418	Z0.2 F120.	N1532	G41 X10. F150.
N1420	Y21.348	N1534	Y-14.984
N1422	G0 Z8.	N1536	Y-0.49
N1424	G69.5	N1538	Y9.51
N1426	M154	N1540	G40 X4.
N1428	G28 U0 V0 W0	N1542	G0 Z5.
N1430	G0 B90. C15. G53.5	N1544	Y-24.984
N1432	G68.5 X11.77 Y-2.696 Z0.393 I0. J1. K0. R90. G17	N1546	G1 Z3. F120.
N1434	X0. Y0. Z10.	N1548	G41 X10. F150.
N1436	X4.393 Y-10.346 Z5.	N1550	Y-14.984
		N1552	Y-0.49

N1554	Y9.51	N1670	G1 Z1. F120.
N1556	G40 X4.	N1672	G41 X10. F150.
N1558	G0 Z5.	N1674	Y-28.
N1560	Y-24.984	N1676	Y0.
N1562	G1 Z2. F120.	N1678	Y7.
N1564	G41 X10. F150.	N1680	G40 X4.
N1566	Y-14.984	N1682	G0 Z5.
N1568	Y-0.49	N1684	Y-35.
N1570	Y9.51	N1686	G1 Z0.2 F120.
N1572	G40 X4.	N1688	G41 X10. F150.
N1574	G0 Z5.	N1690	Y-28.
N1576	Y-24.984	N1692	Y0.
N1578	G1 Z1. F120.	N1694	Y7.
N1580	G41 X10. F150.	N1696	G40 X4.
N1582	Y-14.984	N1698	G0 Z5.
N1584	Y-0.49	N1700	Y-35.
N1586	Y9.51	N1702	G1 Z0. F120.
N1588	G40 X4.	N1704	G41 X10. F150.
N1590	G0 Z5.	N1706	Y-28.
N1592	Y-24.984	N1708	Y0.
N1594	G1 Z0.2 F120.	N1710	Y7.
N1596	G41 X10. F150.	N1712	G40 X4.
N1598	Y-14.984	N1714	G0 Z5.
N1600	Y-0.49	N1716	G69.5
N1602	Y9.51	N1718	M154
N1604	G40 X4.	N1720	G28 U0 V0 W0
N1606	G0 Z5.	N1722	G0 B90. C150.
N1608	G69.5		G53.5
N1610	M154	N1724	G68.5 X9.124 Y12.196 Z-
N1612	G28 U0 V0 W0		10. I0. J1. K0. R90.
N1614	G0 B90. C180.	N1726	X-10. Y0. Z10.
	G53.5	N1728	X-7. Y-0.928 Z5.
N1616	G68.5 X10. Y14. Z0. I0.	N1730	G1 Z4. F120.
	J1. K0. R90.	N1732	G41 Y-6.928 F150.
N1618	X-10. Y0. Z10.	N1734	X0.
N1620	X4. Y-35. Z5.	N1736	X15.
N1622	G1 Z4. F120.	N1738	X22.
N1624	G41 X10. F150.	N1740	G40 Y-0.928
N1626	Y-28.	N1742	G0 Z5.
N1628	Y0.	N1744	X-7.
N1630	Y7.	N1746	G1 Z3. F120.
N1632	G40 X4.	N1748	G41 Y-6.928 F150.
N1634	G0 Z5.	N1750	X0.
N1636	Y-35.	N1752	X15.
N1638	G1 Z3. F120.	N1754	X22.
N1640	G41 X10. F150.	N1756	G40 Y-0.928
N1642	Y-28.	N1758	G0 Z5.
N1644	Y0.	N1760	X-7.
N1646	Y7.	N1762	G1 Z2. F120.
N1648	G40 X4.	N1764	G41 Y-6.928 F150.
N1650	G0 Z5.	N1766	X0.
N1652	Y-35.	N1768	X15.
N1654	G1 Z2. F120.	N1770	X22.
N1656	G41 X10. F150.	N1772	G40 Y-0.928
N1658	Y-28.	N1774	G0 Z5.
N1660	Y0.	N1776	X-7.
N1662	Y7.	N1778	G1 Z1. F120.
N1664	G40 X4.	N1780	G41 Y-6.928 F150.
N1666	G0 Z5.	N1782	X0.
N1668	Y-35.	N1784	X15.



N1786	X22.	N1902	G1 Z0.2 F120.
N1788	G40 Y-0.928	N1904	G41 Y6.928 F150.
N1790	G0 Z5.	N1906	X15.
N1792	X-7.	N1908	X0.
N1794	G1 Z0.2 F120.	N1910	X-7.
N1796	G41 Y-6.928 F150.	N1912	G40 Y0.928
N1798	X0.	N1914	G0 Z5.
N1800	X15.	N1916	X22.
N1802	X22.	N1918	G1 Z0. F120.
N1804	G40 Y-0.928	N1920	G41 Y6.928 F150.
N1806	G0 Z5.	N1922	X15.
N1808	X-7.	N1924	X0.
N1810	G1 Z0. F120.	N1926	X-7.
N1812	G41 Y-6.928 F150.	N1928	G40 Y0.928
N1814	X0.	N1930	G0 Z5.
N1816	X15.	N1932	G69.5
N1818	X22.	N1934	M154
N1820	G40 Y-0.928	N1936	G28 U0 V0 W0
N1822	G0 Z5.		
N1824	G69.5		
N1826	M154	N1938	(ÚDAJ UŽIVATELE)
N1828	G28 U0 V0 W0	N1940	G17
N1830	G0 B90. C210. G53.5	N1942	M200 (MILL MODE)
N1832	G68.5 X9.124 Y-12.196 Z- 10. I0. J1. K0. R90.	N1944	T13.01 T04 M6 D40
N1834	X-10. Y0. Z10.	N1946	G97 S2400 M203
N1836	X22. Y0.928 Z5.	N1948	G98
N1838	G1 Z4. F120.	N1950	G122.1
N1840	G41 Y6.928 F150.	N1952	G0 B0. G53.5
N1842	X15.	N1954	G0 X30. Z1.
N1844	X0.	N1956	M212
N1846	X-7.	N1958	G0 C0.
N1848	G40 Y0.928	N1960	G17 UH
N1850	G0 Z5.	N1962	M211
N1852	X22.	N1964	G12.1
N1854	G1 Z3. F120.	N1966	G1 X52.4 C14. F150.
N1856	G41 Y6.928 F150.	N1968	Z-26. F120.
N1858	X15.	N1970	G41 X28. F150.
N1860	X0.	N1972	C-14.
N1862	X-7.	N1974	X-28.
N1864	G40 Y0.928	N1976	C14.
N1866	G0 Z5.	N1978	X28.
N1868	X22.	N1980	G40 C26.2
N1870	G1 Z2. F120.	N1982	G0 Z2.
N1872	G41 Y6.928 F150.	N1984	G13.1
N1874	X15.	N1986	Z-10.
N1876	X0.	N1988	M212
N1878	X-7.	N1990	G0 C0.
N1880	G40 Y0.928	N1992	G17 UH
N1882	G0 Z5.	N1994	M211
N1884	X22.	N1996	G12.1
N1886	G1 Z1. F120.	N1998	G1 X36.463 C22.953
N1888	G41 Y6.928 F150.	N2000	G41 X12.894 C19.796
N1890	X15.	N2002	X26.608 C-5.796
N1892	X0.	N2004	G40 X50.177 C-2.638
N1894	X-7.	N2006	G0 Z2.
N1896	G40 Y0.928	N2008	C2.638
N1898	G0 Z5.	N2010	G1 Z-10. F120.
N1900	X22.	N2012	G41 X26.608 C5.796 F150.
		N2014	X12.894 C-19.796

N2016 G40 X36.463 C-22.953  
N2018 G0 Z2.  
N2020 G13.1  
N2022 G69.5  
N2024 M154  
N2026 G28 U0 V0 W0

N2028 (UPICHOVACI NUZ -  
PLANZETA, PRAVA SPICKA)  
N2030 G18  
N2032 M202 (TURN MODE)  
N2034 T04.02 T14 M6 D04  
N2036 G50 S2000 R1  
N2038 G96 S80 M4  
N2040 G99  
N2042 G123.1  
N2044 G0 B90.  
G53.5  
N2046 G0 X45. Z-71.  
N2048 G1 X15. F0.05  
N2050 G0 X45.  
N2052 G1 Z-70.  
N2054 X0  
N2056 G0 X45.  
N2058 M154  
N2060 G28 U0 V0 W0  
N2062 M30

### **Příloha 3: Tabulky naměřených hodnot bez vakua**

	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	průměrná hodnota [mm]
A	34,476	34,568	34,331	34,458
B	19,496	19,497	19,644	19,546
C	69,044	68,924	68,987	68,985
D	24,569	24,656	24,661	24,629
E	27,647	27,637	27,627	27,637

Tab. 1.: Naměřené hodnoty odlitku při 65°C pro 1. formu

	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	průměrná hodnota [mm]
A	34,611	34,567	34,477	34,552
B	19,691	19,566	19,573	19,610
C	69,087	69,021	68,984	69,031
D	24,665	24,658	24,636	24,653
E	27,541	27,546	27,641	27,576

Tab. 2.: Naměřené hodnoty odlitku při 65°C pro 2. formu

	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	průměrná hodnota [mm]
A	34,536	34,609	34,591	34,579
B	19,671	19,677	19,678	19,675
C	69,143	69,150	69,167	69,153
D	24,619	24,644	24,653	24,639
E	27,598	27,586	27,605	27,596

Tab. 3.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C pro 1. Formu

	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	průměrná hodnota [mm]
A	34,547	34,524	34,509	34,527
B	19,656	19,649	19,574	19,626
C	68,985	68,926	68,885	68,932
D	24,670	24,616	24,609	24,632
E	27,691	27,635	27,577	27,634

Tab. 4.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C pro 2. Formu

	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	průměrná hodnota [mm]
A	34,448	34,459	34,434	34,447
B	19,603	19,568	19,543	19,571
C	69,093	69,013	68,996	69,034
D	24,623	24,652	24,632	24,636
E	27,656	27,603	27,633	27,631

Tab. 5.: Naměřené hodnoty odlitku při 71°C pro 1. Formu

	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	průměrná hodnota [mm]
A	34,591	34,543	34,567	34,567
B	19,455	19,443	19,445	19,448
C	69,026	69,081	69,056	69,054
D	24,615	24,645	24,608	24,623
E	27,560	27,604	27,557	27,574

Tab. 6.: Naměřené hodnoty odlitku při 71°C pro 2. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,531	34,566	34,597	34,565
B	19,397	19,420	19,430	19,416
C	69,041	69,128	69,146	69,105
D	24,609	24,628	24,612	24,616
E	27,502	27,618	27,561	27,560

Tab. 7.: Naměřené hodnoty odlitku při 74°C pro 1. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,406	34,356	34,413	34,392
B	19,444	19,391	19,427	19,421
C	69,009	69,095	69,021	69,042
D	24,464	24,493	24,518	24,492
E	27,422	27,485	27,538	27,482

Tab. 8.: Naměřené hodnoty odlitku při 74°C pro 2. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,591	34,620	34,570	34,594
B	19,409	19,414	19,405	19,409
C	69,131	69,032	69,011	69,058
D	24,633	24,655	24,631	24,640
E	27,533	27,552	27,500	27,528

Tab. 9.: Naměřené hodnoty odlitku při 77°C pro 1. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,423	34,501	34,524	34,483
B	19,368	19,377	19,377	19,374
C	68,961	68,928	68,995	68,961
D	24,588	24,548	24,566	24,567
E	27,454	27,485	27,508	27,482

Tab. 10.: Naměřené hodnoty odlitku při 77°C pro 2. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,663	34,629	34,570	34,621
B	19,412	19,468	19,379	19,420
C	68,907	68,963	69,101	68,990
D	24,658	24,638	24,639	24,645
E	27,483	27,538	27,562	27,528

Tab. 11.: Naměřené hodnoty odlitku při 80°C pro 1. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,489	34,351	34,368	34,403
B	19,415	19,343	19,376	19,373
C	69,010	69,141	69,006	69,052
D	24,565	24,560	24,591	24,572
E	27,448	27,551	27,561	27,520

Tab. 12.: Naměřené hodnoty odlitku při 80°C pro 2. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,531	34,519	34,509	34,520
B	19,370	19,506	19,516	19,464
C	68,947	69,05	69,048	69,015
D	24,459	24,601	24,481	24,514
E	27,664	27,623	27,722	27,670

Tab. 13.: Naměřené hodnoty odlitku při 83°C pro 1. Formu

	1. měření[mm]	2. měření[mm]	3. měření[mm]	průměrná hodnota[mm]
A	34,588	34,609	34,476	34,558
B	19,363	19,415	19,38	19,386
C	68,828	68,856	69,092	68,925
D	24,44	24,509	24,607	24,519
E	27,652	27,701	27,562	27,638

Tab. 14.: Naměřené hodnoty odlitku při 83°C pro 2. Formu

#### **Příloha 4: Tabulky naměřených hodnot s vakuem s postupným připoštěním**

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,437	34,434	34,44	34,437	0,006
B	19,435	19,438	19,421	19,431	0,017
C	68,704	68,71	68,727	68,714	0,023
D	24,385	24,447	24,404	24,412	0,062
E	27,614	27,59	27,587	27,597	0,027

Tab. 1.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,95baru pro 1. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,504	34,532	34,503	34,513	0,028
B	19,534	19,532	19,573	19,546	0,041
C	68,898	68,87	68,887	68,885	0,028
D	24,424	24,406	24,396	24,409	0,028
E	27,618	27,629	27,635	27,627	0,017

Tab. 2.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,95baru pro 2. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,42	34,424	34,441	34,428	0,017
B	19,436	19,417	19,422	19,425	0,019
C	68,904	68,919	68,946	68,923	0,042
D	24,323	24,326	24,336	24,328	0,013
E	27,62	27,613	27,602	27,612	0,018

Tab. 3.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,8 baru pro 1. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,554	34,544	34,55	34,549	0,006
B	19,61	19,603	19,613	19,609	0,01
C	68,866	68,858	68,877	68,867	0,019
D	24,325	24,375	24,433	24,378	0,108
E	27,623	27,605	27,62	27,616	0,018

Tab. 4.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,8 baru pro 2. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,472	34,487	34,483	34,481	0,015
B	19,427	19,432	19,425	19,428	0,007
C	68,964	68,892	68,875	68,910	0,089
D	24,502	24,494	24,455	24,484	0,047
E	27,607	27,62	27,625	27,617	0,018

Tab. 5.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,6 baru pro 1. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,483	34,515	34,527	34,508	0,044
B	19,43	19,424	19,412	19,422	0,018
C	68,871	68,852	68,864	68,862	0,019
D	24,49	24,503	24,48	24,491	0,023
E	27,587	27,577	27,573	27,579	0,014

Tab. 6.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,6 baru pro 2. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,513	34,464	34,48	34,486	0,049
B	19,443	19,444	19,416	19,434	0,028
C	68,844	69,033	68,994	68,957	0,189
D	24,428	24,454	24,467	24,450	0,039
E	27,615	27,64	27,619	27,625	0,025

Tab. 7.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,4 baru pro 1. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,546	34,59	34,56	34,565	0,044
B	19,449	19,481	19,517	19,482	0,068
C	68,921	68,991	68,928	68,947	0,07
D	24,455	24,435	24,419	24,436	0,036
E	27,64	27,63	27,635	27,635	0,005

Tab. 8.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,4 baru pro 1. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,324	34,405	34,379	34,369	0,081
B	19,632	19,627	19,641	19,633	0,014
C	68,87	68,925	68,78	68,858	0,145
D	24,454	24,5	24,399	24,451	0,055
E	27,501	27,522	27,466	27,496	0,026

Tab. 9.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,2 baru pro 1. Formu

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,466	34,467	34,503	34,479	0,037
B	19,426	19,429	19,434	19,430	0,008
C	68,966	69,004	68,922	68,964	0,082
D	24,328	24,319	24,373	24,340	0,054
E	27,688	27,629	27,663	27,660	0,059

Tab. 10.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,2 baru pro 2. Formu

### **Příloha 5: Tabulky naměřených hodnot s konstantním vakuem**

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,473	34,469	34,498	34,480	0,029
B	19,401	19,409	19,426	19,412	0,025
C	68,925	68,905	68,911	68,914	0,02
D	24,47	24,432	24,472	24,458	0,04
E	27,595	27,598	27,606	27,600	0,011

Tab. 1.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,8 baru

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	největší rozdíl
A	34,528	34,515	34,474	34,506	0,054
B	19,429	19,417	19,434	19,427	0,017
C	68,815	68,812	68,802	68,810	0,013
D	24,536	24,483	24,489	24,503	0,053
E	27,61	27,578	27,629	27,606	0,051

Tab. 2.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,6 baru pro

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	Největší rozdíl
A	34,507	34,535	34,471	34,504	0,064
B	19,481	19,48	19,445	19,469	0,036
C	68,833	68,861	68,852	68,849	0,028
D	24,453	24,444	24,485	24,461	0,041
E	27,65	27,617	27,626	27,631	0,033

Tab. 3.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,4 baru

	1. měření	2. měření	3. měření	průměrná hodnota	Největší rozdíl
A	34,515	34,549	34,597	34,554	0,082
B	19,299	19,321	19,316	19,312	0,022
C	68,835	68,871	68,826	68,844	0,045
D	24,453	24,552	24,521	24,509	0,099
E	27,576	27,601	27,609	27,595	0,033

Tab. 4.: Naměřené hodnoty odlitku při 68°C a podtlaku -0,2 baru