

# **Technologie lití ve vakuu, výroba formy a odlití dílu**

Doplňující technologie pro aditivní výrobu

Ing. Petr Keller, Ph.D.

# Představení technologie

## Vakuová komora MK-Mini



- ovládání komory je manuální
- příslušenstvím je dvojice temperovacích pecí MKT-1
- maximální rozměry formy pro tento systém jsou **450x470x400 mm** a maximální váha odlitku **1,4 kg**
- objem temperovacích pecí je **108 l** a teplotní rozsah **+30 až +220 °C**,

slouží pro předehřátí licích pryskyřic a forem před litím a následně pro vytvrzování a temperaci odlitků a také pro skladování otevřených nádob s licími pryskyřicemi

Vakuový licí systém nabízí jednoduchou metodu výroby plastových prototypů bez potřeby výroby drahých kovových nástrojů. Fyzický model, nebo model vyrobený metodou RP, se použije pro vytvoření měkké formy.

# Tvorba prototypů pomocí technologie lití ve vakuu

- určeno k výrobě malé série prototypových součástí
- je třeba tzv. Master model – existující součást, vyrobená jiným způsobem, často pomocí AM technologií
- prvním krokem je výroba silikonové formy na základě Master modelu
- následuje výroba odlitků z této formy, je možné použít polyuretanové aj. pryskyřice, vosk a další materiály
- závěrečnou fází je začištění odlitků i formy a příprava na další odlití

# Výroba silikonové formy

## 1. Orientace modelu a vyrobení poloviny formy z modelíny:



Zde je ukázán složitější postup – s pomocí modelářské modelíny je připravena polovina budoucí formy – je třeba celý postup výroby formy opakovat pro druhou polovinu znovu.

# Výroba silikonové formy

2. Výroba rámu formy a doplnění modelu vtokové soustavy:



# Výroba silikonové formy

## 3. Příprava silikonu:



Pro polyuretanové pryskyřice se používá tzv. adiční silikon (dvousložkový), pro vosky je vhodnější kondenzační silikon (jednosložkový, tuhne na základě vzdušné vlhkosti).

# Výroba silikonové formy

## 4. Vakuování silikonu – odstranění bublinek vzduchu:



**Proč se používá snižování okolního tlaku pro odstranění bublinek vzduchu rozptýlených v silikonu (příp. poté i v lici pryskyřici)?**

**(jaký fyzikální zákon se zde využívá?)**

Zpracovatelnost adičních silikonů je kolem 60 – 90 minut, také velmi závisí na teplotě!

# Výroba silikonové formy

5. Zalití poloviny formy silikonem při normálním tlaku:



Další krok je možné udělat až po úplném ztuhnutí silikonu, u adičních silikonů to je cca 12 hodin, v závislosti na teplotě.



# Výroba silikonové formy

6. Odstranění rámu a začištění poloviny formy:



Pozor, během odstraňování modelíny se Master model nesmí uvolnit ze silikonu, jinak dojde k znehodnocení formy – odlitky nemusí být tak přesné.

# Výroba silikonové formy

7. Opětovné vytvoření rámu formy a separování silikonu:



# Výroba silikonové formy

8. Druhá polovina formy se vytvoří podobně jako v předchozím postupu:



# Výroba silikonové formy

## 9. Závěrečné začištění formy a vytvoření výfukové soustavy:



Protože úroveň vakua v komoře při odlévání do formy je cca 95%, musí zbylý vzduch z formy odejít – výfuková soustava se nejčastěji dělá vypíchnutím malých otvorů na horních hranách dílu např. pomocí upravené injekční jehly.

# Odlití vlastního dílu

## 1. Příprava a uzavření formy:



K uzavření formy obvykle stačí sponky z nastřelovací pistole, u větších forem je dobré použít pomocný rám nebo tuhou podložku, která podrží tvar formy během zalévání.

# Odlití vlastního dílu

2. Navážení a předeřtání jednotlivých složek pryskyřice a formy:



Poměry míchání složek, teploty a časy zpracování jsou udávány v materiálových listech k jednotlivým pryskyřicím, velmi se liší dle typu pryskyřice.

# Odlití vlastního dílu

3. Vakuování pryskyřice, proces odlévání probíhá ve vakuu:



Ve fázi vakuování je každá ze složek ve vlastním kelímku, kelímky jsou v případě této komory ovládány ručně vně komory pomocí pákového systému.

# Odlití vlastního dílu

## 4. Smíchání složek pryskyřice:



Po slití obou složek do většího kelímku dojde po stanovený čas k jejich promíchávání pomocí elektrického míchacího zařízení.



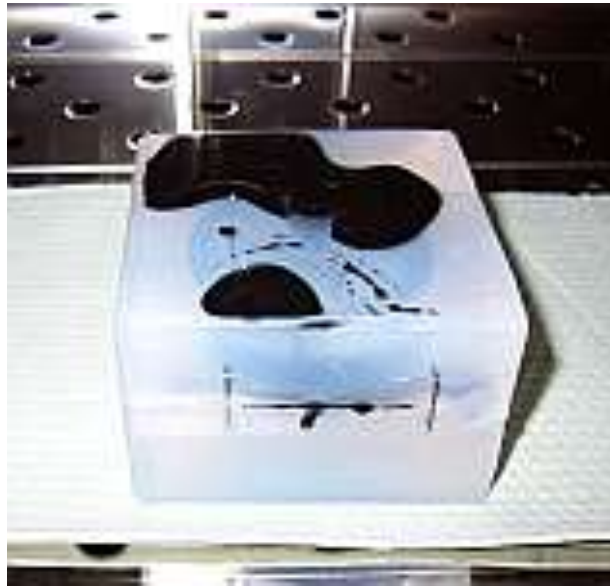
# Odlití vlastního dílu

## 5. Vlastní zalití formy ve vakuu:



# Odlití vlastního dílu

## 6. Vytvrzení odlitého dílu:



Bezprostředně po odlití je odstraněno vakuum z komory. Forma s odlitkem se přemístí do temperovací pece nastavené na teplotu dle materiálového listu pryskyřice. Dále je třeba očistit kelímky a míchadlo od zbytků pryskyřice.

# Odlití vlastního dílu

7. Otevření formy, případná temperace a začištění dílu:

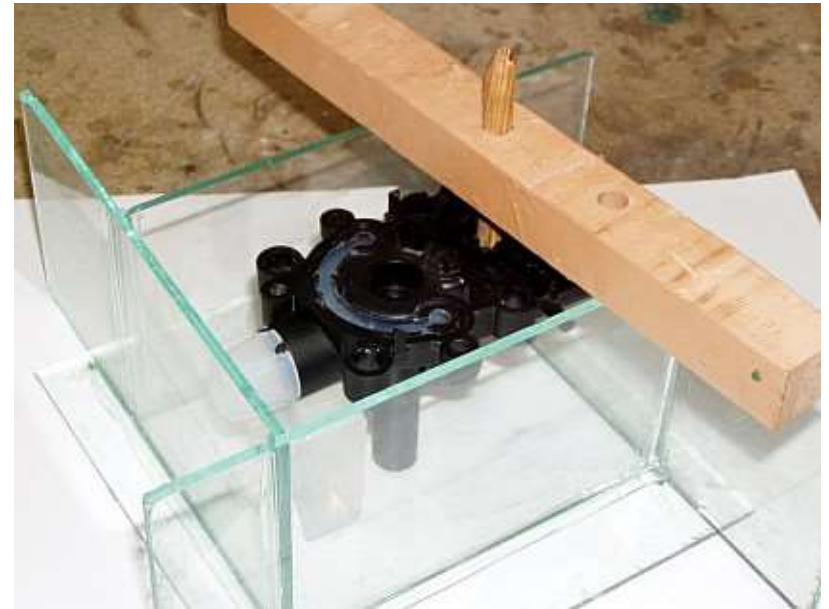


Některé prskyřice potřebují pro dosažení konečných vlastností projít tzv. temperací – ohřevem dílu na předepsaný průběh teploty v čase. Formu je možné připravit na odlití dalšího dílu.

## Lze i rychleji – viz dále

- obvykle pracnějšší rozdělení formy
- je zde riziko poškození formy i master modelu
- ale časově méně náročné – celá forma se odlije najednou a poté se „chirurgicky“ rozřízne
- z důvodu menší časové náročnosti použijeme na praktickém cvičení právě následující postup
- pro toto cvičení budeme potřebovat **master model** – máte něco relativně malého pro vytvoření homogenní kopie? (např. zlomený plastový díl, který už po slepení nemá požadovanou pevnost)

## Výroba silikonové formy – 2. způsob



díl s již vytvořeným silikonovým jádrem

zaformování dílu

Nyní je ukázán rychlejší postup – master model je zalit silikonem celý najednou, po ztuhnutí silikonu je forma následně rozříznuta skalpelem.

# Výroba silikonové formy – 2. způsob



navážení množství  
silikonu

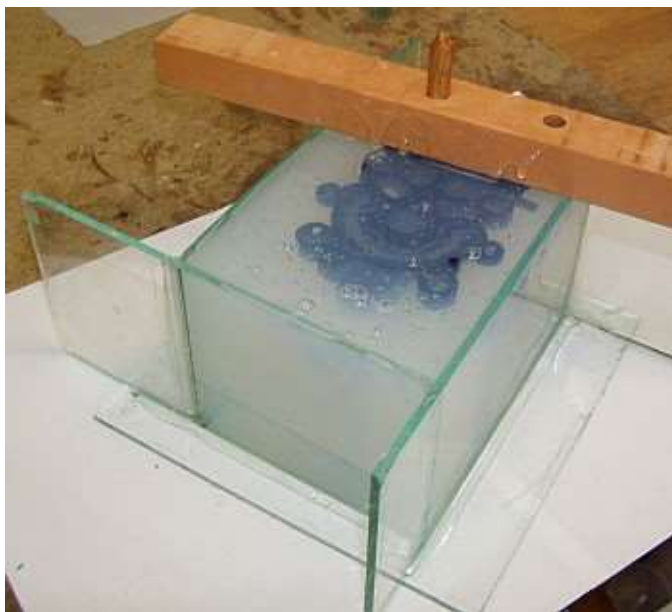


zamíchání složek  
silikonu

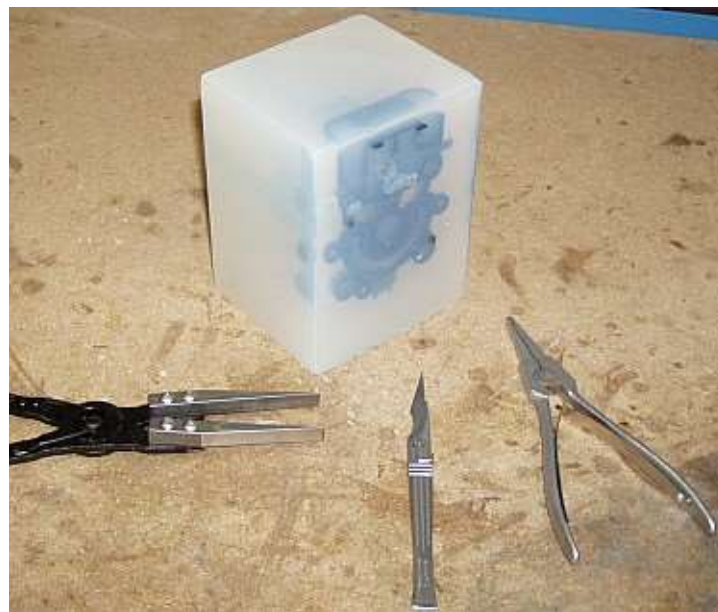
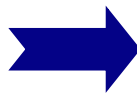


vakuování

## Výroba silikonové formy – 2. způsob

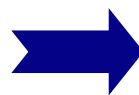


zalití formy silikonem  
doba tuhnutí 12 hodin



před rozdělením

## Výroba silikonové formy – 2. způsob



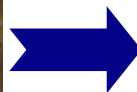
řezání formy



## Výroba silikonové formy – 2. způsob

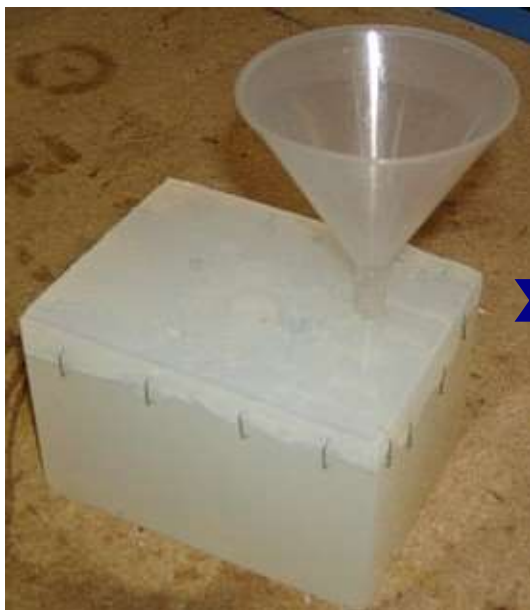


rozdělená forma



vytváření výfuků

# Pro úplnost – postup odlití dílu



uzavření formy



navážení licích složek



vakuování v komoře

# Postup odlití dílu



vzduchové bubliny

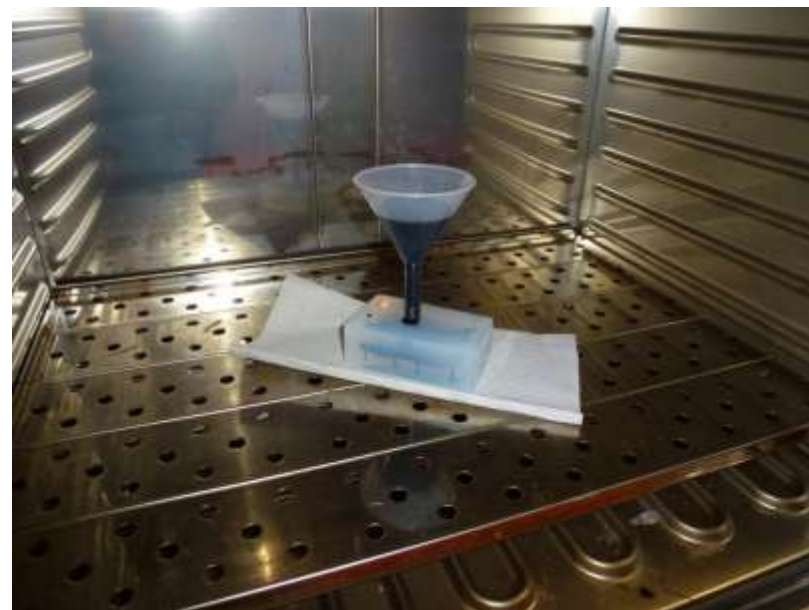


smíchání obou komponent  
pryskyřice ve vakuu

# Postup odlití dílu



nalití směsi do formy



vytvrzení v peci

# Postup odlití dílu



odformování



odlitek s přetoky

# Postup odlití dílu



očistěný díl

## **Výhody odlévání ve vakuu do silikonových forem**

- snadná a relativně rychlá reprodukovatelnost prototypových dílů libovolných tvarů a částečně i barev
- schopnost detailně reprodukovat i ty nejmenší detaily a textury vícenásobné použití silikonové formy – levnější výroba prototypových sérií dílů
- použitím „měkké“ silikonové formy lze zaformovat i díly s negativními tvary, případně je možné formu dodatečně bez poškození rozdělit rozřezáním pomocí různých materiálů licích pryskyřic je možné napodobit různé konvenční materiály (od měkké gumy po různě tvrdé a houževnaté plasty, příp. je možné použít i prášková kovová plniva)

## **Nevýhody odlévání ve vakuu do silikonových forem**

- vysoká pracnost
- některé složky pryskyřic jsou zdravotně závadné nebo mají negativní vliv na životní prostředí