



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE MODERNÍ TECHNOLOGIE PRO VÝROBU PROTOTYPU MODELU FIXAČNÍ RUKOJETI STOJANU PRO KLÁVESY

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING OF PROTOTYPE MODEL OF FIXATION
HANDLE OF KEYBOARD STAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Rozum

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jakub Rozum
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aplikace moderní technologie pro výrobu prototypu modelu fixační rukojeti stojanu pro klávesy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce bude výroba prototypu fixační rukojeti stojanu pro klávesy s využitím moderní technologie vakuového lití. Součástí práce bude výroba silikonové formy, která bude sloužit pro odlití potřebného počtu prototypů fixační rukojeti z komerčně dostupného materiálu (plast). Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením s následným rozбором a celkovým zhodnocením, včetně adekvátnosti použité metody při výrobě modelu prototypu fixační rukojeti.

Cíle bakalářské práce:

- Teoretická část (rozbor výrobku)
- Charakteristika a rozbor aplikovaného materiálu (materiály pro vakuové lití)
- Experimentální část (výroba prototypu fixační rukojeti pomocí slévárenské technologie).
- Technicko–ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

CHUA, C. K., LEONG, K. F., LIM, C. S. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, 2010. 512 pp. ISBN 978-981-277-897-0.

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C.E. In: Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004. 112 pp. ISBN 186-058-465-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na výrobu prototypu modelu fixační rukojeti stojanu pro klávesy pomocí moderní technologie vakuového lití. První kapitola je zaměřena na rozbor výrobku. Následující části práce tvoří rešerše zabývající se problematikou vakuového lití a používanými materiály pro tuto technologii, zejména pak licími pryskyřicemi. Součástí práce je výroba silikonové formy na základě již existujícího dílu, která je použita pro odlití nové součásti. Silikonová forma je vyrobena ze silikonové směsi Silastic T – 4, pro odlití součásti je volena licí hmota SG 2000 / Komp. A + B. Pro vakuování je použita vakuová komora MK Mini. Bakalářská práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením.

Klíčová slova

Fixační rukojeť, silikonová forma, vakuové lití, vakuová komora, licí pryskyřice.

ABSTRACT

This thesis is focused on manufacturing of prototype model of fixation handle of keyboard stand using modern vacuum casting technology. The first chapter is focused on product analysis. The following parts of the thesis consist of research dealing with issues of vacuum casting and materials used for this technology, especially casting resins. Part of the thesis is manufacturing of a silicone mold based on already existing component, which is used for the casting of the new component. The silicone mold is made of a silicone mixture Silastic T – 4, for the casting of the new component is selected casting material SG 2000 / Komp. A + B. For vacuum process is used vacuum chamber MK Mini. Bachelor thesis is completed by technical and economic evaluation.

Key words

Fixation handle, silicone mold, vacuum casting, vacuum chamber, casting resins.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ROZUM, J. *Aplikace moderní technologie pro výrobu prototypu modelu fixační rukojeti stojanu pro klávesy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 44 s., 2 přílohy Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Aplikace moderní technologie pro výrobu prototypu modelu fixační rukojeti stojanu pro klávesy** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jakub Rozum

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji doc. Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D. za výborné vedení bakalářské práce, za jeho ochotu a za jeho cenné rady a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 ROZBOR VÝROBKU	11
1.1 Stojany pro klávesy	11
1.2 Možnosti fixace	11
1.3 Fixační rukojeť.....	12
2 TECHNOLOGIE PRO VÝROBU PROTOTYPU – VAKUOVÉ LITÍ.....	13
2.1 Postup výroby prototypu.....	14
2.1.1 Příprava modelu	14
2.1.2 Výroba formy	14
2.1.3 Odlévání výrobku.....	17
3 CHARAKTERISTIKA ZPRACOVÁVANÉHO MATERIÁLU.....	19
3.1 Přehled materiálů pro výrobu formy	19
3.2 Přehled materiálů pro výrobu prototypu	21
3.2.1 Pomalu tvrdnoucí polyuretanové pryskyřice	21
3.2.2 Rychleschnoucí pryskyřice	23
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
4.1 Výroba silikonové formy	25
4.2 Výroba prvního dílu formy	25
4.3 Výroba druhého dílu formy	27
4.4 Výroba třetího dílu formy	28
4.5 Odlévání licí hmoty.....	29
4.6 Dokončovací úpravy.....	32
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	34
5.1 Náklady na materiál silikonové formy	34
5.2 Náklady na materiál odlitku	34
5.3 Náklady na dokončovací úpravy	35
5.4 Náklady na mzdu pracovníka	35

5.5	Celkové náklady na výrobu jednoho dílu.....	36
5.6	Zhodnocení použité technologie	36
ZÁVĚR		39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		43
SEZNAM PŘÍLOH		44

ÚVOD

V dnešní době nabývá faktor času výroby stále více na důležitosti, proto se také stále zvětšuje snaha čas výrobního procesu co nejvíce zkrátit. Využitím moderních technologií dochází jednak ke zkracování výrobního času součásti, ale také ke snižování nákladů na výrobu. Mezi tyto technologie se řadí především Rapid Prototyping a Rapid Tooling, tedy rychlá výroba prototypů a rychlá výroba nástrojů. Použitím těchto technologií lze v krátkém čase vyrobit tvarově komplikované součásti, které jsou vyhovující pro dané použití jak funkčně, tak svými vlastnostmi.

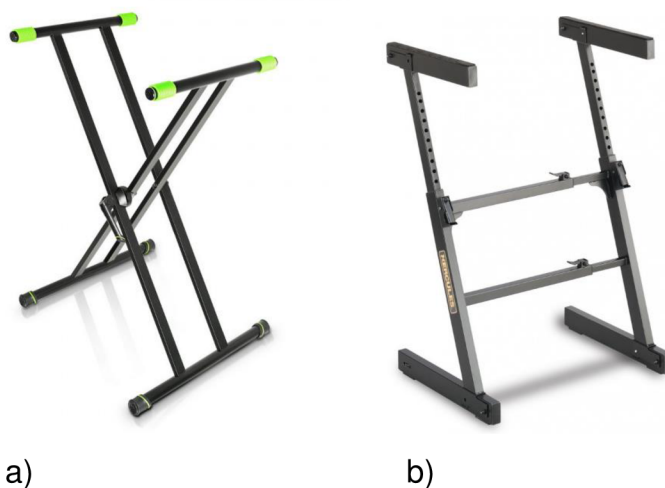
Vakuové lití je technologie, která využívá pro výrobu formy zalití master modelu silikonovou směsí. Vzhledem k tomu, že je potřeba existující master model, jedná se o nepřímou metodu výroby nástroje (formy). Vakuové lití lze použít mimo jiné pro výrobu náhradních součástí, což je také předmětem této práce. Nelze opomenout také využití této metody pro zhotovení voskových modelů pro přesné lití metodou vytavitelného modelu.

1 ROZBOR VÝROBKU

V této kapitole jsou rozebrány typy stojanů pro klávesy a možnosti jejich fixace. Dále je zde popsán stávající stav výrobku – fixační rukojeti.

1.1 Stojany pro klávesy

Klávesy jsou elektronický hudební nástroj vybavený zesilovačem, malými reproduktory, generátory rytmů a automatickými doprovody. Elektronické klávesy jsou schopny vytvořit širokou škálu nástrojových zvuků, mezi které patří např. zvuky klavíru, houslí nebo bicích nástrojů. Mezi přední výrobce kláves patří Casio, Yamaha, Roland, Korg a Sony. Nepostradatelnou součástí vybavy každého hráče na klávesy je stojan. Stojan pro klávesy musí být kvalitní a pevný, aby bylo zabráněno pádu kláves nebo poškození stojanu během přenášení. Stojany pro běžné používání jsou obvykle vyrobeny z hliníku, profesionální stojany pro těžké klávesy mají robustní ocelovou konstrukci. Tyto stojany jsou vyráběny v různých verzích. Mohou být rozděleny na stojany pro jeden nástroj a stojany pro více nástrojů. Nejčastější varianty jsou stojany ve tvaru písmene X a ve tvaru písmene Z. Tyto varianty jsou znázorněny na obr. 1.1 [1].

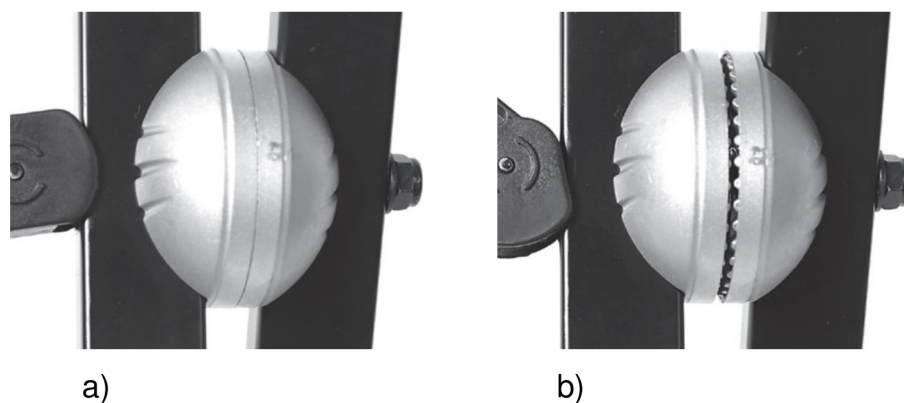


Obr. 1.1 Stojan: a) tvaru X, b) tvaru Z [2].

1.2 Možnosti fixace

Fixace stojanu v určité poloze je důležitá z hlediska ergonomie a z hlediska skladování a přemísťování. Zafixování stojanu musí být spolehlivé. Existuje několik druhů fixace, mezi základní patří fixace pomocí lišty s několika otvory a fixace pomocí rychloupínacího mechanismu. V případě lišty s otvory je fixace možná v několika

polohách (podle počtu otvorů) a je realizována pomocí fixačního šroubu v jednom z několika otvorů. Fixace pomocí rychloupínacího mechanismu umožňuje zafixování ve větším množství poloh. Jeho princip je znázorněn na obr. 1.2. Tento způsob funguje na základě dvou ozubení, která jsou umístěna proti sobě na dvou nohách stojanu. Uvolněním fixační rukojeti ozubení vyjdou ze záběru a je možno nastavit požadovanou polohu. Zavřením fixační rukojeti se ozubení dostanou do záběru a dojde k zafixování stojanu v požadované poloze.



Obr. 1.2 Rychloupínací mechanismus: a) v zafixované poloze, b) v uvolněné poloze [3].

1.3 Fixační rukojeť

Fixační rukojeť je vyrobena z plastu a při častém používání je vystavena námaze. V tomto případě se rukojeť rozlomila na dvě části, což zapříčinilo nefunkčnost celého stojanu. První možností, jak rukojeť opravit bylo lepení, ukázalo se však, že toto spojení není dostatečně odolné vůči zátěži, která je způsobována běžným používáním. Další možností je nákup nové rukojeti, tento díl však nelze samostatně zakoupit, možné je koupit pouze celý stojan, což je finančně nevýhodné. Třetí možností je výroba nové rukojeti.

2 TECHNOLOGIE PRO VÝROBU PROTOTYPU – VAKUOVÉ LITÍ

Vakuové lití je metoda, která se používá pro rychlou a přesnou výrobu dílů. Tato technologie vznikla v osmdesátých letech. Vakuové lití umožňuje odlévání tvarově složitých modelů, modelů s tenkými stěnami, s negativními úkosy. Metoda nachází uplatnění např. při výrobě skel automobilových světel, částí interiéru vozidel, ozdobných dílů, spotřebního zboží, ale také ve vědě nebo zdravotnictví. Tato metoda je používána i pro výrobu voskových modelů pro vytavitelné lití. V porovnání se vstřikováním plastů nebo výrobou kovových forem je tato metoda úspornější časově i finančně. Metoda je vhodná pro menší série do 100 kusů [4, 5].

Vakuové lití využívá silikonovou formu, která je vyrobena zalitím master modelu silikonovou směsí. Model může být vyroben z různých materiálů, např. ze dřeva, kovu, vosku, plastu, keramiky, sádry nebo modelářské hlíny. Model je často získán některou z metod Rapid Prototyping (RP). RP je označení pro moderní technologie sloužící k rychlé výrobě dílu (např. prototypu), který je svými vlastnostmi a vzhledem velmi podobný finálnímu výrobku, v některých případech může být použit i jako náhrada finálního dílu vyrobeného konvenčními technologiemi. Jedná se o aditivní metody, tzn. technologie, kdy materiál není odebírán (jako např. u obrábění – metoda subtraktivní), ale je přidáván různými způsoby. Zdrojem dat pro výrobu prototypu některou z metod RP je model vytvořený v libovolném CAD systému, který podporuje tvorbu objemového nebo plošného modelu. Master model pro výrobu silikonové formy bývá často zhotovován pomocí metod Fused Deposition Modeling, Laminated Object Manufacturing, Selective Laser Sintering, Solid Ground Cutting a Stereolitografie. Pokud je k dispozici již existující díl, lze pro výrobu formy využít tento díl [5, 6, 7, 8, 9]. Přesnost výrobků je srovnatelná s díly vyrobenými metodou vstřikování plastů, na rozdíl od této metody není nutné vyrábět kovovou vstřikovací formu a snižují se tak náklady na výrobu. Vakuové lití lze použít k výrobě prototypových dílů nebo k výrobě náhradních dílů [10, 11, 12].

Výhody vakuového lití [9, 13]:

- nízké náklady, odpadá investice na výrobu kovových nástrojů,
- vysoká přesnost formy, díky které je dosahováno dobré kvality povrchu, většinou jsou nutné pouze minimální dokončovací úpravy povrchu,

- velké množství materiálů, které lze kombinovat tak, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností, jako jsou např. tvrdost a pružnost, ale také např. barvy výrobku,
- forma, která je použitelná na cca 20 výrobků (životnost závisí na vlastnostech použitého silikonu a licího materiálu),
- rychlá výroba.

2.1 Postup výroby prototypu

Výroba prototypu touto metodou sestává z několika etap, které jsou popsány v následujících podkapitolách.

2.1.1 Příprava modelu

Aby bylo dosaženo kvalitních výsledků, musí se master model před zalitím upravit. Mezi tyto úpravy patří např. úprava povrchu, který je vhodné vybrousit. Pokud se na dílu nachází místa, u kterých je nežádoucí zaplavení silikonem (např. otvory, které se budou obrábět, díry pro šrouby atd.), je vhodné tato místa zalepit. Na povrch je také možno nanést plnicí sprej, který vyplní rýhy a nerovnosti. Dalším krokem před zahájením výroby formy je volba dělicí roviny. Správná volba dělicí roviny je velmi důležitá, při špatné volbě dělicí roviny by mohlo po odlití dojít k poškození modelu nebo celé formy. V případě použití vícedílné formy, která je zhotovena následným rozříznutím, je vhodné dělicí rovinu na model vyznačit, což zjednoduší rozřezávání formy [14, 15].

2.1.2 Výroba formy

Tvorba silikonové formy je označována jako Rapid Soft Tooling. Vzhledem k tomu, že pro výrobu formy je nutné použít master model vytvořený buď metodou RP nebo v podobě existujícího dílu, jde o nepřímou výrobu formy, tedy Indirect Soft Tooling. Prvním krokem při výrobě formy je vytvoření formovací nádoby, do které bude odléván silikon. Tato nádoba má obvykle tvar krychle a může být zhotovena např. ze skleněných desek. Velikost nádoby je volena tak, aby bylo možné dovnitř umístit model s dostatečným prostorem okolo něj, ale také nesmí být příliš velká, protože by se zvětšila spotřeba silikonu, což znamená vyšší náklady [11, 14].

Příprava silikonové směsi

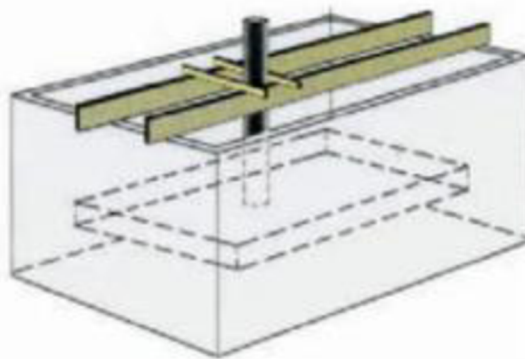
Silikonová hmota, která je obvykle tvořena dvěma složkami, je smíchána v kelímku v požadovaném poměru. Poté je tento kelímek umístěn do vakuové komory. Vakuováním dochází k tzv. varu, kdy se ze silikonové hmoty odstraňují vzduchové bublinky, které jsou nežádoucí, protože zhoršují věrnost kopírování master modelu do silikonové formy. Doba vakuování se odvíjí od objemu silikonové hmoty. Tlak ve vakuové komoře se volí v rozmezí 10 až 20 mbar. Jakmile je vakuování ukončeno, tj. ve stavu, kdy je hladina ustálená a už nevznikají vzduchové bublinky, je hmota odlita do připravené formovací nádoby. Po odlití může být vznikající silikonová forma znovu vakuována. Následuje vytvrzení formy, které probíhá při pokojové teplotě asi 12 hodin v závislosti na použitém materiálu. Pro urychlení vytvrzování a zvýšení rozměrové přesnosti může být forma umístěna do pece a vytvrzování trvá při cca 40 až 70 °C v závislosti na velikosti formy přibližně 3 až 4 hodiny [14, 12, 16].

Výroba jednodílné formy

U jednoduchých modelů s jednostranným reliéfem lze použít jednodílnou formu. Na model, který je umístěn ve formovací nádobě (skleněném boxu) je nanesen separátor. Následně je do formovací nádoby odlita připravená silikonová směs. Pro zvýšení věrnosti kopírování povrchu modelu je vhodné nejprve nanést např. pomocí štětce na povrch modelu vrstvu silikonové směsi a mechanicky rozrušit vzduchové bublinky vzniklé při promíchání směsi a až poté odlít zbytek silikonové směsi do formovací nádoby. Tento postup nanášení silikonu lze použít i u ostatních metod výroby silikonové formy [12].

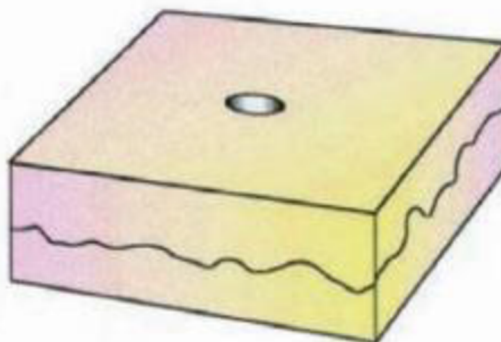
Výroba vícedílné formy následným rozříznutím

Tento postup je používán u jednoduchých modelů. Vtokový kanálek se přilepí k master modelu, který se vhodně umístí do formovací nádoby např. pomocí tenkých drátů viz obr. 2.1.



Obr. 2.1 Formovací nádoba [14].

Forma je poté rozřezána skalpelem podél křivky vlnitého tvaru, což zaručuje, že oba díly formy do sebe lépe zapadnou (vytvoření tzv. zámků formy). Rozřezaná forma je znázorněna na obr. 2.2. Řez dělí formu na dvě nebo více částí nebo je forma rozřezána pouze z části. Model je vyjmut z formy a tím je vytvořena její dutina. Oba díly formy se spojí dohromady (např. pomocí sponek nebo lepicí pásky), dále je vhodné do formy vyvrtat malé otvory (cca o průměru 1 mm) pro únik vzduchu. V tomto stavu je forma připravena k odlévání. Jedná se o jednoduchou a rychlou metodu výroby formy, hrozí ovšem poškrábání nebo naříznutí modelu [14, 12].

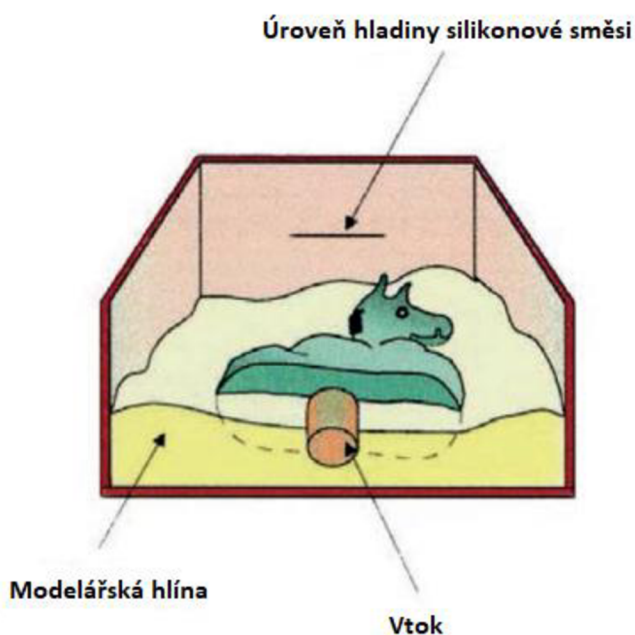


Obr. 2.2 Hotová silikonová forma [14].

Výroba vícedílné formy pro složitější modely

Formy pro modely s větší tvarovou složitostí, tzn. modely s oboustranným složitým reliéfem (nemají ani jednu stranu plochou), nelze zhotovit následným rozříznutím nebo v podobě jednodílné formy. V těchto případech je nutno jednotlivé díly formy vyrábět postupně [12].

Při výrobě prvního dílu formy je spodní část formovací nádoby vyplněna plastickou hmotou (modelářskou hlínou), případně je do formovací nádoby vložen model a prostor kolem něj je vyplněn modelářskou hlínou, což je znázorněno na obr. 2.3. Tímto způsobem je vytvořena dělicí rovina. Pro přesnější sestavení formy je vhodné vytvořit v dělicí rovině tzv. zámky v podobě otvorů nebo vhodně vytvarovat povrch plastické hmoty viz obr. 2.3. Následně je povrch modelu i dělicí rovina potřena separátorem. Po provedení těchto úkonů je možno odlít silikonovou směs a vytvořit tak první díl formy.



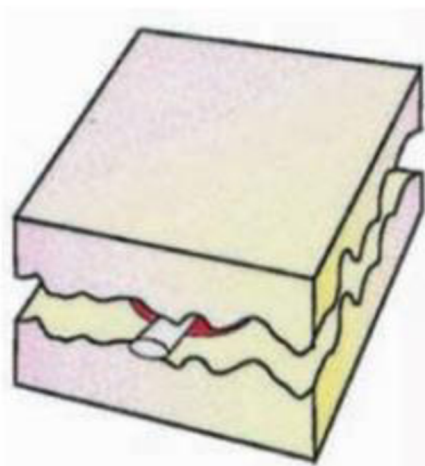
Obr. 2.3 Výroba vícedílné formy s užitím modelářské hlíny [14].

Po vytvrzení je možno přistoupit k výrobě dalšího dílu formy. První díl formy je i s modelem vložen do formovací nádoby. V případě tří a vícedílné formy je pomocí modelářské hlíny vyplněn veškerý prostor, který nebude zhotoven jako druhý díl. V modelovací hlíně se opět vytvoří zámky a následuje separace. V případě dvoudílné formy je nanesen pouze separátor. Velmi důležitá je především separace spoje silikon-silikon [14, 12].

2.1.3 Odlévání výrobku

Pokud je použita vícedílná forma, je potřeba nejprve její díly spojit dohromady např. pomocí kovových sponek nebo lepicí pásky a zajistit tak, aby odlévaný materiál neunikal skrz formu. Před samotným odléváním je vhodné formu zahřát

na 65 až 70 °C, aby se zlepšila zabíhavost licího materiálu. Licí materiál se obvykle skládá ze dvou složek, tyto dvě složky se důkladně promíchají. Stejně jako formu je vhodné i vzniklou směs pro zlepšení zabíhavosti nechat předežhřát v peci přibližně na 70 °C. Pokud má materiál nízkou viskozitu, není nutné jej předežhřívát. Jakmile je licí materiál připraven, umístí se forma do vakuové komory, kde probíhá odlévání. Následuje vytvrzení odlitku buď při pokojové teplotě nebo ve vytvrzovací peci při 70 °C po dobu přibližně 4 hodin. Poté je forma rozdělena viz obr. 2.4, odlitek je vyjmut z formy a může následovat další odlévání [14, 15].



Obr. 2.4 Rozdělená forma po odlití modelu [14].

3 CHARAKTERISTIKA ZPRACOVÁVANÉHO MATERIÁLU

Tato kapitola se věnuje popisu komerčně dostupných materiálů pro výrobu silikonových forem a prototypů metodou vakuového lití. Popis jednotlivých materiálů je doplněn tabulkami, ve kterých jsou uvedeny jejich vlastnosti.

3.1 Přehled materiálů pro výrobu formy

K výrobě forem pro vakuové odlévání se používají silikonové kaučuky. Existuje mnoho druhů těchto materiálů, jejichž použití závisí na řadě faktorů, např. na tvarové složitosti odlitku, použitém materiálu odlitku atd. Při odlévání tvarově složitých dílců je důležitá elasticita silikonu. Díky tomu, že je forma pružná, z ní lze uvolnit i tvarově komplikované odlitky. Další důležitou vlastností je smrštění, které musí být nízké. Při volbě správného materiálu je potřeba brát v úvahu také tvrdost, viskozitu, dobu zpracování a odolnost proti roztržení. Lze použít průsvitný materiál, který zjednodušuje řezání formy [17].

Silastic 3110

Tento materiál je charakteristický svou vysokou tvrdostí, dlouhou dobou zpracovatelnosti a vysokou tekutostí viz tab. 3.1. Nízká viskozita umožňuje snazší odvzdušnění formy. Silastic 3110 je vhodný pro výrobu forem bez hlubokých vpichů a tvarových složitostí [17].

Tab. 3.1 Vlastnosti materiálu Silastic 3110 [17, 18].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Bílá
Poměr míchání	100:10
Viskozita (při 25 °C)	10 000 mPa.s
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	90 až 120 minut
Vytvrzení (při 20 °C)	24 hodin
Tvrdost Shore (při 20 °C)	40 A
Pevnost v tahu	2,4 MPa

Silastic 3120

Stejně jako Silastic 3110 má tento silikon vysokou tvrdost, tekutost a dlouhou dobu zpracovatelnosti viz tab. 3.2. Je vhodný pro formování za vysokých teplot a má výbornou tepelnou odolnost [17].

Tab. 3.2 Vlastnosti materiálu Silastic 3120 [17].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Červená
Poměr míchání	100:10
Viskozita (při 25 °C)	28 000 mPa.s
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	120 až 180 minut
Vytvrzení (při 23 °C)	24 hodin
Tvrдость Shore (při 20 °C)	60 A
Pevnost v tahu	4,8 MPa

Silastic T-4

Jedná se o silikon, který má velmi malé smrštění a dobrou rozměrovou odolnost. Tento materiál je vhodný pro použití za vysokých teplot. Vytvrzení lze urychlit teperací. Tento silikon je vhodný pro malosériovou výrobu. Vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tab. 3.3 [17].

Tab. 3.3 Vlastnosti materiálu Silastic T-4 [17].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Průsvitná
Poměr míchání	100:10
Viskozita (při 25 °C)	35 000 mPa.s
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	90 minut
Vytvrzení (při 23 °C)	12 hodin
Tvrдость Shore (při 20 °C)	40 A
Pevnost v tahu	6,6 MPa

Silastic S

Materiál se střední tvrdostí, vysokou elasticitou, velmi nízkým smrštěním a vysokou pevností proti roztržení (tab. 3.4). Je vhodný pro použití za vysokých teplot. Tento silikon je používán pro výrobu nástrojů a prototypů. Vytvrzení lze urychlit teperací [17].

Tab. 3.4 Vlastnosti materiálu Silastic S [17].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Bílá
Poměr míchání	100:10
Viskozita (při 25 °C)	13 500 mPa.s
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	40 až 60 minut
Vytvrzení (při 23 °C)	7 hodin
Tvrдость Shore (při 20 °C)	25 A
Pevnost v tahu	7 MPa

3.2 Přehled materiálů pro výrobu prototypu

Do silikonových forem lze odlévat např. sádku, vosk, beton, umělý kámen nebo vhodné nízkotavitelné kovy. Často používaným materiálem pro odlévání do silikonových forem jsou licí pryskyřice (epoxidové, polyuretanové). Jedná se o obvykle dvousložkové licí hmoty, jednu složku tvoří pryskyřice a druhou tužidlo. Smícháním těchto dvou složek v určitém poměru lze dosáhnout stejných vlastností jako u sériového dílu (pružnost, tvrdost, barva, průsvitnost, tepelná odolnost). Licí pryskyřice mají podobnost k různým druhům plastů, např. k PE, ABS, PC, PMMA, PPS, PEEK, POM, PS, PA. U licích pryskyřic je důležité především to, aby vzniklá směs měla co nejnižší viskozitu, snadné dávkování složek, nebouřlivou reakci v průběhu tuhnutí a dostatečně dlouhou dobu zpracovatelnosti. Pro zlepšení vlastností licích pryskyřic, např. pevnosti nebo tepelné odolnosti, je možno použít různá plniva. Výrobci dodávají licí hmoty s vmíchanými plnivými nebo licí hmoty neobsahující plniva. Licí hmoty bez vmíchaných plniv lze plnit bezprostředně před odléváním, a to tak, že je plnivo vmícháno až po smíchání pryskyřice s tužidlem. Dalším způsobem je vmíchání plniva do pryskyřice i do tužidla, v tomto případě je ovšem nutné, aby obě složky měly přibližně stejnou viskozitu [12, 19].

3.2.1 Pomalu tvrdnoucí polyuretanové pryskyřice

GM 714 / PUR 4

Pryskyřice: GM 714

Tužidlo: PUR 4

Tato licí hmota se vyznačuje svou rozměrovou přesností, vysokou otěruvzdorností a odolností vůči opotřebení. Vzhledem k velmi nízkému smrštění se hodí pro odlévání

výrobků o velkém objemu. Je vhodná pro odlévání silnostěnných odlitků. Aby nedocházelo k přichycení modelu k formě, je vhodné použít separátor. Vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tab. 3.5 [20].

Tab. 3.5 Vlastnosti materiálu GM 714 / PUR 4 [20].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Šedá
Poměr míchání	100:15
Viskozita (při 25 °C)	5 500 ± 500 mPa.s
Hustota (při 20 °C)	2,1 ± 0,05 kg/dm ³
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	40 až 45 minut
Pevnost v ohybu	60 ± 5 MPa
E-modul (v ohybu)	6 250 ± 170 MPa
Tvrdość Shore	88 ± 3 D
Pevnost v tlaku	63 ± 5 MPa
Rázová houževnatost (Charpy)	5,3 ± 0,6 kJ/m ²
Vytvrzení (při 23 °C)	12 až 18 hodin

GM 725-7 / PUR 13

Pryskyřice: GM 725-7

Tužidlo: PUR 13

Jedná se o licí hmotu, která je vhodná pro odlévání rozměrově velmi přesných výrobků, umožňuje odlévání silnostěnných odlitků. Směs má dobrou tekutost a zabíhavost, což umožňuje odlévání i tvarově komplikovaných dílců. Její vlastnosti ukazuje tab. 3.6 [20].

Tab. 3.6 Vlastnosti materiálu GM 725-7 / PUR 13 [20].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Béžová
Poměr míchání	100:15
Viskozita (při 25 °C)	6 000 ± 500 mPa.s
Hustota (při 20 °C)	1,75 ± 0,05 kg/dm ³
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	40 až 50 minut
Pevnost v ohybu	56 ± 5 MPa
E-modul (v ohybu)	8 025 ± 800 MPa
Tvrdość Shore	87 ± 3 D
Pevnost v tlaku	76 ± 8 MPa
Rázová houževnatost (Charpy)	3,6 ± 0,5 kJ/m ²
Vytvrzení (při 23 °C)	12 až 16 hodin

3.2.2 Rychleschnoucí pryskyřice

SG 130 / PUR 11

Pryskyřice: SG 130

Tužidlo: PUR 11

Tato pryskyřice neobsahuje plniva, plnivo se do licí hmoty vmíchá až při promíchání obou komponent. Vyznačuje se svou vysokou pevností a rázuvzdorností (tab. 3.7).

Tato licí hmota je výrobcem označována jako vysokojakostní [21].

Tab. 3.7 Vlastnosti materiálu SG 130 / PUR 11 [21].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Slonová kost
Poměr míchání	100:100
Viskozita (při 25 °C)	75 ± 20 mPa.s
Hustota (při 20 °C)	1,1 ± 0,02 kg/dm ³
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	4 až 5 minut
Pevnost v ohybu	60 ± 5 MPa
E-modul (v ohybu)	1 000 ± 100 MPa
Tvrdość Shore	72 ± 2 D
Pevnost v tlaku	47 ± 5 MPa
Rázová houževnatost (Charpy)	26 ± 2,5 kJ/m ²
Vytvrzení (při 23 °C)	0,5 až 1,5 hodiny

SG 2000 / Komp. A + B

Pryskyřice: SG 2000

Tužidlo: SG 2000

Stejně jako přechodí typ tato licí hmota neobsahuje vmíchané plnivo a je označována jako vysokojakostní. Licí hmota je téměř bez zápachu. Je charakteristická vysokou tekutostí, vysokou možností plnění, dokonalým celkovým vytvrzením, velmi vysokou pevností a tepelnou odolností viz tab. 3.8 [21].

Tab. 3.8 Vlastnosti materiálu SG 2000 / Komp. A+B [21].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Slonová kost
Poměr míchání	100:100
Viskozita (při 25 °C)	50 ± 5 mPa.s
Hustota (při 20 °C)	1,1 ± 0,02 kg/dm ³
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	2,5 až 3,5 minut
Pevnost v ohybu	57 ± 5 MPa
E-modul (v ohybu)	1 500 ± 100 MPa
Tvrдость Shore	72 ± 2 D
Pevnost v tlaku	45 ± 5 MPa
Rázová houževnatost (Charpy)	24 ± 4 kJ/m ²
Vytvrzení (při 23 °C)	0,5 až 1 hodina

SG 700A / PUR 5

Pryskyřice: SG 700A

Tužidlo: PUR 5

Jedná se o licí hmotu, která vzhledem ke svým dobrým mechanickým vlastnostem a snadné zpracovatelnosti umožňuje mnohostranné použití. Vyznačuje se dobrou zabíhavostí a otěruvzdorností, jemnou strukturou a rozměrovou přesností. Mimo barvy uvedené v tab. 3.9 je dodávána i v černé, bílé, červené a zelené barvě [21].

Tab. 3.9 Vlastnosti materiálu SG 700A / PUR 5 [21].

Vlastnost	Hodnota
Barva	Modrá
Poměr míchání	100:15
Viskozita (při 25 °C)	1 800 ± 350 mPa.s
Hustota (při 20 °C)	1,75 ± 0,05 kg/dm ³
Čas zpracování (200 g při 20 °C)	5 až 7 minut
Pevnost v ohybu	43 ± 5 MPa
E-modul (v ohybu)	4 470 ± 450 MPa
Tvrдость Shore	83 ± 3 D
Pevnost v tlaku	53 ± 5 MPa
Rázová houževnatost (Charpy)	4,7 ± 1 kJ/m ²
Vytvrzení (při 23 °C)	1 až 2 hodiny

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této kapitole je rozebrán postup výroby fixační rukojeti pomocí slévárenské technologie – vakuového lití. Při výrobě autor práce postupoval na základě informací uvedených v kapitolách 2 a 3 a za použití odborné literatury [16].

4.1 Výroba silikonové formy

Prvním krokem bylo posouzení součásti, co se týče tvarové složitosti. Forma musí být rozdělena na jednotlivé díly tak, aby z ní bylo možné odlitek bez problémů vyjmout. Z toho plyne, že před zahájením výroby bylo velmi důležité určit počet dílů formy a určit dělicí roviny. Dále bylo také třeba určit, kde bude umístěna vtoková soustava. V případě zadané součásti byla zhotovena třídílná forma. Jako materiál pro výrobu formy byl zvolen silikon Silastic T-4, což je dvousložkový silikonový kaučuk tvořen základní hmotou a tužidlem. Pro zlepšení separačních vlastností materiálu bylo použito tužidlo T-4 O, které má samomazný efekt. Materiál byl dodán firmou Ebalta.

4.2 Výroba prvního dílu formy

Forma byla vyráběna na skleněném podkladu. Jako první bylo nutné zhotovit skleněný box, který byl tvořen čtyřmi skleněnými tabulemi. Tyto tabule byly přilepeny pomocí tavné pistole ke skleněnému podkladu a v rozích k sobě slepeny. Vzdálenost skleněných tabulí od modelu byla volena s ohledem na spotřebu silikonu a na pevnost formy a činila asi 10 až 15 mm. Důležité bylo vytvoření těsných spojů, aby silikon neunikal z formy. Do takto připraveného skleněného boxu byl vhodně umístěn model. Prostor kolem modelu bylo nutné vyplnit plastickou hmotou od skleněné podložky až po dělicí rovinu, tzn. zaplnit plastickou hmotou části, které budou odlity jako druhá a třetí část formy. Plastická hmota byla pro zlepšení formovatelnosti předeřhřáta v peci na teplotu 45°C. Na obr. 4.1 je možné vidět průběh formování plastické hmoty. Otvory na modelu byly částečně ucpány plastickou hmotou. Předlity tak byly pouze důlky, které usnadní vrtání otvorů.



Obr. 4.1 Průběh formování plastické hmoty.

Do povrchu plastické hmoty byly vytvořeny otvory viz obr. 4.2, aby do sebe části formy lépe zapadly. Skleněné tabule, plastická hmota i povrch modelu byly potřeny separátorem, který zajišťuje jednodušší oddělení po vytvrzení silikonu.



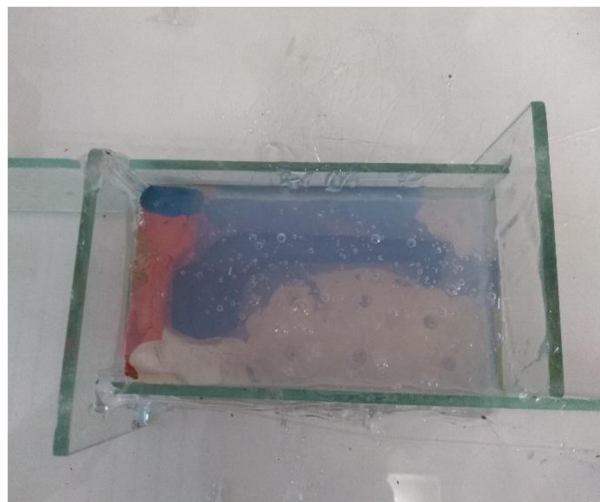
Obr. 4.2 Zaformovaný model.

Další fází bylo odlévání silikonu. Silikonová směs byla tvořena základní hmotou silikonu a tužidlem. Tyto komponenty byly naváženy na digitální váze a smíchány v kelímku v poměru 10:1 (250 g základní hmoty silikonu a 25 g tužidla). Po důkladném promíchání směsi byl kelímek umístěn do předem připravené vakuové komory MK Mini viz obr. 4.3 a). Vakuování trvalo přibližně 20 minut. Proces musel být jednou pozastaven (do vakuové komory byl vpuštěn vzduch), protože silikonová směs zvětšovala svůj objem a hrozilo její vytečení z kelímku. Jakmile se hladina ustálila,

vakuování bylo ukončeno a silikonová směs byla odlita do připraveného skleněného boxu.



a)



b)

Obr. 4.3 a) Vakuová komora MK Mini, b) první díl silikonové formy.

Z obr. 4.3 b) je patrné, že v silikonové formě jsou bubliny vzduchu. Tyto bubliny nejsou na povrchu modelu, takže nesnižují přesnost otištění modelu do silikonové formy. Vytvrzení směsi trvalo 12 hodin.

4.3 Výroba druhého dílu formy

Po vytvrzení prvního dílu formy byl skleněný box rozebrán. Plastická hmota byla odstraněna, bylo nutné odstranit všechny její zbytky z formy i z modelu. Dalším krokem bylo sestavení nového skleněného boxu s rozměry odpovídajícími první části formy. Do tohoto boxu byl umístěn první díl formy i s vloženým modelem. Pomocí plastické hmoty byl opět vyplněn prostor, který bude odlit jako třetí díl, což lze vidět na obr. 4.4. Ucpán byl také otvor, který bude po odlití vyvrtán.



Obr. 4.4 Zaformovaný model.

Poté byly model, první díl formy, plastická hmota i skleněné desky potřeny separátorem. Ve vakuové komoře MK Mini byla připravena silikonová směs o stejné hmotnosti jako při výrobě prvního dílu, tedy 250 g základní hmoty silikonu a 25 g tužidla. Po ukončení vakuování (opět přibližně 20 minut) byla tato směs odlita viz obr. 4.5.

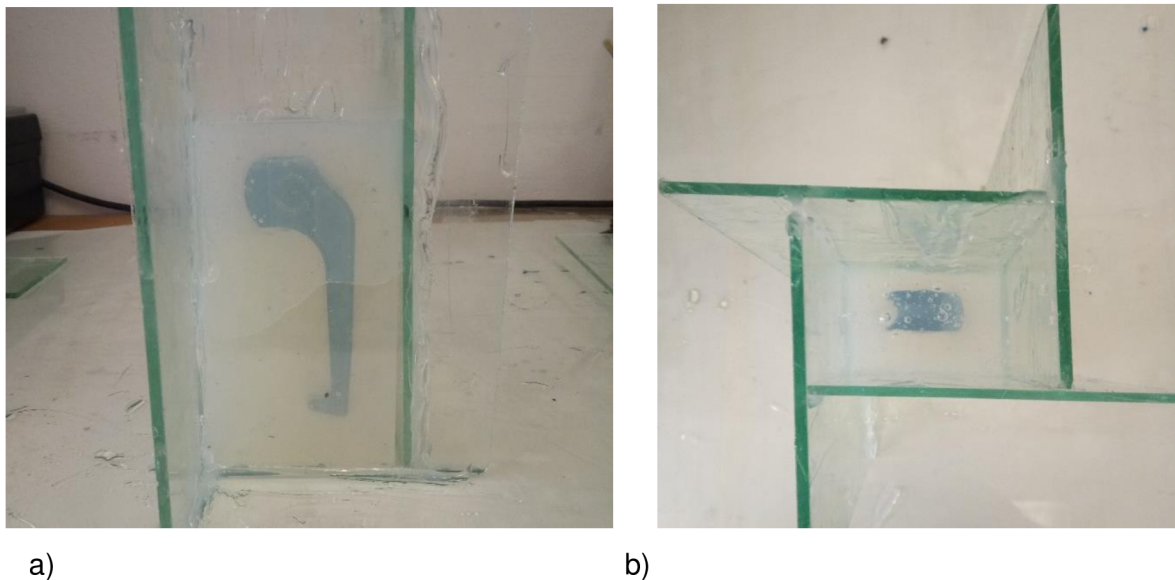


Obr. 4.5 Druhý díl silikonové formy.

4.4 Výroba třetího dílu formy

Pomocí nože byly na první i druhé části formy vyřezány otvory, které tvoří zámky pro přesnější dosednutí třetího dílu formy. Pro výrobu třetího dílu formy byl opět vytvořen skleněný box, tentokrát ve svislé poloze. Do skleněného boxu byly umístěny předchozí dvě části formy spolu s vloženým master modelem. Všechny části této sestavy, které

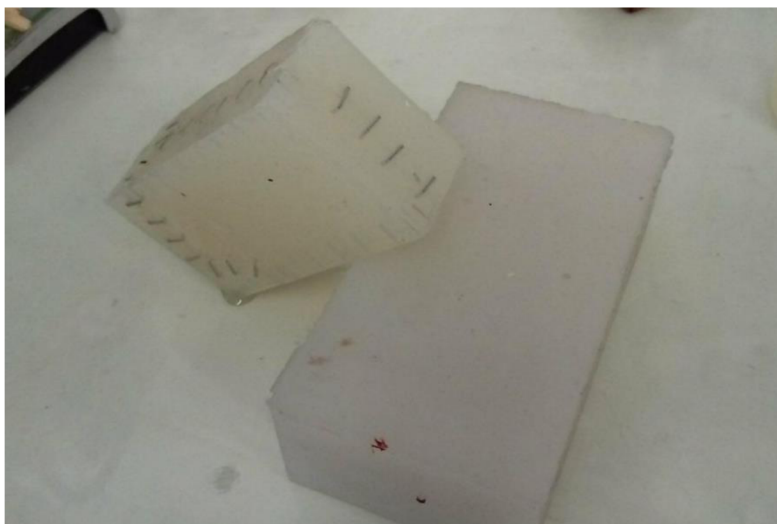
budou v kontaktu s odlévanou silikonovou směsí byly potřeny separátorem. Poté byla do skleněného boxu odlita vakuovaná silikonová směs, kterou v tomto případě tvořilo 55 g základní hmoty a 5 g tužidla. Na obr. 4.6 je skleněný box po odlití silikonové směsi.



Obr. 4.6 Výroba třetího dílu formy a) boční pohled, b) pohled shora.

4.5 Odlévání licí hmoty

Po vytvrzení třetího dílu silikonové formy byl skleněný box rozebrán a master model byl vyjmut z formy. Forma byla sestavena dohromady a všechny tři díly byly spojeny pomocí kovových sponek. Následně byl pomocí nože do formy vyřezán vtokový kanálek. Poté byla forma podepřena tak, že s podložkou svírala úhel přibližně 45° viz obr. 4.7. V tomto stavu byla forma připravena k odlévání.



Obr. 4.7 Silikonová forma.

Pro odlévání dílu byla použita dvousložková rychleschnoucí licí hmota SG 2000 / Komp. A+B. Dle materiálového listu [21] poskytnutého výrobcem byly obě složky smíchány v poměru 1:1, 12,5 g pryskyřice a 12,5 g tužidla. Doba zpracování u tohoto materiálu je 2 až 4 minuty, proto bylo nutné složky licí hmoty smíchat a odlít co nejrychleji. Při odlévání se ukázalo, že spojení formy kovovými sponkami je nedostatečné, jelikož nepatrné množství licí hmoty protéklo skrz formu.

Po vytvrzení prvního odlitku byla forma rozebrána a odlitek vyjmut. Na obr. 4.8 je první odlitek. Na horní straně odlitku došlo k vytvoření pórů viz obr. 4.9. V [14] je uvedeno, že k těmto nedokonalostem může docházet špatným odvodem vzduchu z dutiny formy. Aby bylo tomuto při dalším odlévání zamezeno, do formy byly pomocí jehly vytvořeny otvory pro lepší odvod vzduchu.



Obr. 4.8 První odlitek – boční pohled.



Obr. 4.9 První odlitek – pohled shora.

Před odléváním druhého dílu byly jednotlivé díly silikonové formy spojeny k sobě pomocí plastové lepicí pásky a kovových sponek, aby bylo zabráněno úniku licí hmoty

skrz spoje. Opět byla použita dvousložková rychleschnoucí licí hmota SG 2000 / Komp. A+B ve stejném množství, jako v případě prvního odlitku, tedy 12,5 g pryskyřice a 12,5 g tužidla. Po důkladném smíchání obou složek byla směs odlita. Spojení pomocí plastové lepicí pásky se ukázalo jako nevyhovující, jelikož většina licí hmoty protekla skrz spoje formy.

Při odlévání třetího dílu byla silikonová forma spojena pomocí textilní lepicí pásky a kovových sponek. Bylo použito stejné množství licí hmoty SG 2000 / Komp. A+B, jako v prvních dvou případech (12,5 g pryskyřice a 12,5 g tužidla). Při třetím odlévání již skrz spoje formy licí hmota neunikala, spojení pomocí textilní lepicí pásky a kovových sponek se tedy ukázalo jako vhodné. Po vytvrzení byl třetí odlitek vyjmut z formy. Na horní části odlitku opět došlo k vytvoření pórů, v porovnání s prvním odlitkem ovšem v mnohem menší míře. Na obr. 4.10 a 4.11 je třetí odlitek.



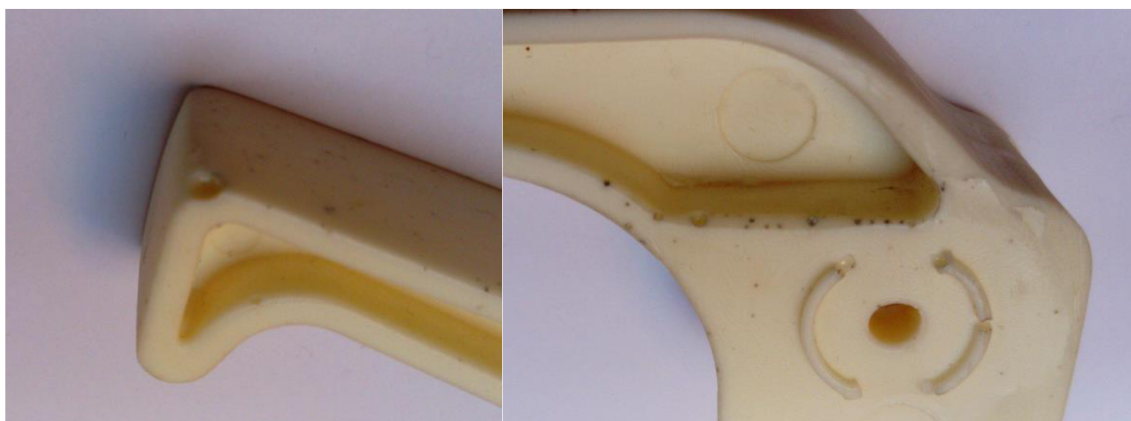
Obr. 4.10 Třetí odlitek – boční pohled.



Obr. 4.11 Třetí odlitek – pohled shora.

4.6 Dokončovací úpravy

Povrch odlitku neměl po vyjmutí z formy z estetického hlediska odpovídající kvalitu, proto bylo nutné provést dokončovací úpravy. Nejprve bylo nutné odstříhnout vtok. Poté byl odlitek upnut do svěráku a zbytek vtoku byl ubroušen pomocí vibrační brusky za použití brusného papíru P 80 a následně ručně pomocí brusného papíru P 120. Aby nedošlo k vytlačení čelistí svěráku do odlitku nebo k jeho poškození, byly mezi odlitek a čelisti svěráku vloženy dvě hladké dřevěné destičky. Mimo již zmíněných pórů na horní části se na odlitku nacházely také stopy po dělicích rovinách v podobě nerovností. Všechny tyto nedokonalosti bylo nutné odstranit pomocí brusného papíru P 400. Pro vyplnění pórů na součásti byl použit plnicí tmel Presto, který je vhodný na plasty. Jedná se o dvousložkový tmel tvořený plnicí složkou a tvrdidlem. Před tmelením bylo nutné povrch očistit a lehce zdrsnit brusným papírem P 120. Po smíchání obou složek byla na povrch nanесena vrstva tmelu. K vytvrzení došlo přibližně za 30 minut, následně byla vrstva tmelu obroušena pomocí brusného papíru P 400. Broušení probíhalo pod vodou. Tento postup byl několikrát opakován, dokud nebylo dosaženo požadované kvality povrchu. Pomocí tmelu byl opraven i výštip v rohu součásti viz obr. 4.12. Poté byly použitím digitálního posuvného měřidla změřeny dva otvory na master modelu, pro které byly na odlitku předlity důlky. Tyto důlky byly provrtány pomocí vrtačky, pro tuto operaci byl použit vrták o \varnothing 4 mm. Následovalo očištění odlitku a nanесení barvy na povrch. Vzhledem k tomu, že originální kus měl černou barvu, i pro tento odlitek byla zvolena černá barva, konkrétně akrylová barva ve spreji značky Bosny. Tato barva má dobrou přilnavost k plastům. Odlitek po dokončovacích úpravách je na obr. 4.13. Na obr. 4.14 je fixační rukojeť namontovaná na stojan.



Obr. 4.12 Nedokonalosti na odlitku.



Obr. 4.13 Hotový výrobek.



a)

b)

Obr. 4.14 Fixační rukojeť: a) v zafixované poloze, b) v uvolněné poloze.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole jsou rozebrány celkové náklady na zhotovení fixační rukojeti stojanu pro klávesy s využitím technologie vakuového lití.

5.1 Náklady na materiál silikonové formy

Cena jednoho kg silikonové směsi Silastic T-4 tvořené základní hmotou a tužidlem T-4 O činila 900 Kč. Na první a druhý díl formy bylo použito v obou případech 275 g silikonové směsi, pro výrobu třetího dílu bylo použito 60 g silikonové směsi. Celková hmotnost použité silikonové směsi tudíž činila 610 g. V následujícím výpočtu byla použita přepočtená cena za 1 g, tedy $0,9 \text{ Kč} \cdot \text{g}^{-1}$. Vztah pro výpočet ceny materiálu na zhotovení formy má tedy tvar:

$$N_{SF} = m_{SF} \cdot C_S \text{ [Kč]}, \quad (5.1)$$

kde: N_{SF} [Kč] – náklady na materiál silikonové formy,
 m_{SF} [g] – hmotnost silikonové formy,
 C_S [Kč · g⁻¹] – cena jednoho g silikonové směsi.

$$N_{SF} = 610 \cdot 0,9$$

$$N_{SF} = 549 \text{ Kč}$$

5.2 Náklady na materiál odlitku

Licí hmota SG 2000 je tvořena dvěma složkami (A+B). Cena obou složek byla shodná a činila 240 Kč za 1 kg, cena za 1 g byla tedy 0,24 Kč. Pro výrobu jednoho odlitku bylo použito 12,5 g složky A a 12,5 g složky B. Vztah pro výpočet ceny materiálu na zhotovení jednoho odlitku má tvar:

$$N_O = m_A \cdot C_A + m_B \cdot C_B \text{ [Kč]}, \quad (5.2)$$

kde: N_O [Kč] – náklady na materiál odlitku,
 m_A [g] – hmotnost použité složky A,
 C_A [Kč · g⁻¹] – cena jednoho g složky A,
 m_B [g] – hmotnost použité složky B,
 C_B [Kč · g⁻¹] – cena jednoho g složky B.

$$N_O = 12,5 \cdot 0,24 + 12,5 \cdot 0,24$$

$$N_O = 6 \text{ Kč}$$

5.3 Náklady na dokončovací úpravy

K úpravě povrchu odlitku byly použity 3 brusné papíry různé zrnitosti o velikosti 230 x 280 mm. Všechny brusné papíry měly stejnou cenu, a to 15 Kč. Na úpravu povrchu odlitku vystačila vždy přibližně polovina brusného papíru. Balení obsahující 250 g tmelu mělo cenu 119 Kč. Celkem bylo použito 18 g tmelu, což je $\frac{9}{125}$ celkového obsahu balení. Cena spreje, který obsahoval 300 g barvy (400 ml), činila 99 Kč. Bylo spotřebováno 12 g barvy, což je $\frac{1}{25}$ obsahu spreje. Vztah pro vyčíslení nákladů na dokončovací úpravy má tvar:

$$N_{DÚ} = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot C_{BP} + \frac{9}{125} \cdot C_T + \frac{1}{25} \cdot C_S, \quad (5.3)$$

kde: $N_{DÚ}$ [Kč] – náklady na dokončovací úpravy,
 C_{BP} [Kč] – cena jednoho brusného papíru,
 C_T [Kč] – cena tmelu,
 C_S [Kč] – cena spreje.

$$N_{DÚ} = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 + \frac{9}{125} \cdot 119 + \frac{1}{25} \cdot 99$$

$$N_{DÚ} = 35 \text{ Kč}$$

5.4 Náklady na mzdu pracovníka

Vzhledem k tomu, že minimální hrubá mzda je od 1.1. 2018 73,2 Kč·h⁻¹, stanovil autor práce hrubou mzdu pracovníka na 140 Kč·h⁻¹. Pro získání reálnějších výsledků je ovšem vhodné počítat se superhrubou mzdou, která odpovídá celkovým nákladům zaměstnavatele na mzdu pracovníka. Tato mzda je určena vynásobením hrubé mzdy koeficientem superhrubé mzdy, který je roven 1,3442 a následným zaokrouhlením nahoru na celé stovky. Náklady na hodinu práce pracovníka tedy činí 200 Kč [22, 23]. Časová náročnost jednotlivých činností je uvedena v tab. 5.1. V položce odlévání jsou zahrnuty všechny úkony spojené s odlitím jednoho kusu, včetně kompletace formy pomocí kovových sponek a přípravy licí hmoty. Tab. 5.1 naopak nezahrnuje časy vytvrzení jednotlivých směsí, protože během této doby může pracovník vykonávat jinou činnost.

Tab. 5.1 Časová náročnost jednotlivých pracovních činností.

Pracovní činnost	Časová náročnost [h]
Výroba 1. dílu silikonové formy	1
Výroba 2. dílu silikonové formy	1
Výroba 3. dílu silikonové formy	0,5
Odlévání	0,25
Úprava povrchu	1
Celkem	3,75

Vztah pro náklady na mzdu pracovníka má tvar:

$$N_{MP} = t_P \cdot N_{HP} [Kč], \quad (5.4)$$

kde: $N_{MP} [Kč]$ – náklady na mzdu pracovníka,
 $t_P [h]$ – celkový čas práce pracovníka,
 $N_{HP} [Kč]$ – náklady na hodinu práce pracovníka.

$$N_{MP} = 3,75 \cdot 200$$

$$N_{MP} = 750 \text{ Kč}$$

5.5 Celkové náklady na výrobu jednoho dílu

Celkové náklady na výrobu jednoho dílu jsou tvořeny součtem nákladů na materiál silikonové formy, nákladů na materiál odlitku, nákladů na dokončovací úpravy a nákladů na mzdu pracovníka. Z toho plyne, že vztah pro výpočet celkových nákladů na výrobu jednoho dílu má tvar:

$$N_C = N_{SF} + N_O + N_{DÚ} + N_{MP} [Kč], \quad (5.5)$$

kde: $N_C [Kč]$ – celkové náklady na výrobu jednoho dílu.

$$N_C = 549 + 6 + 35 + 750$$

$$N_C = 1\,340 \text{ Kč}$$

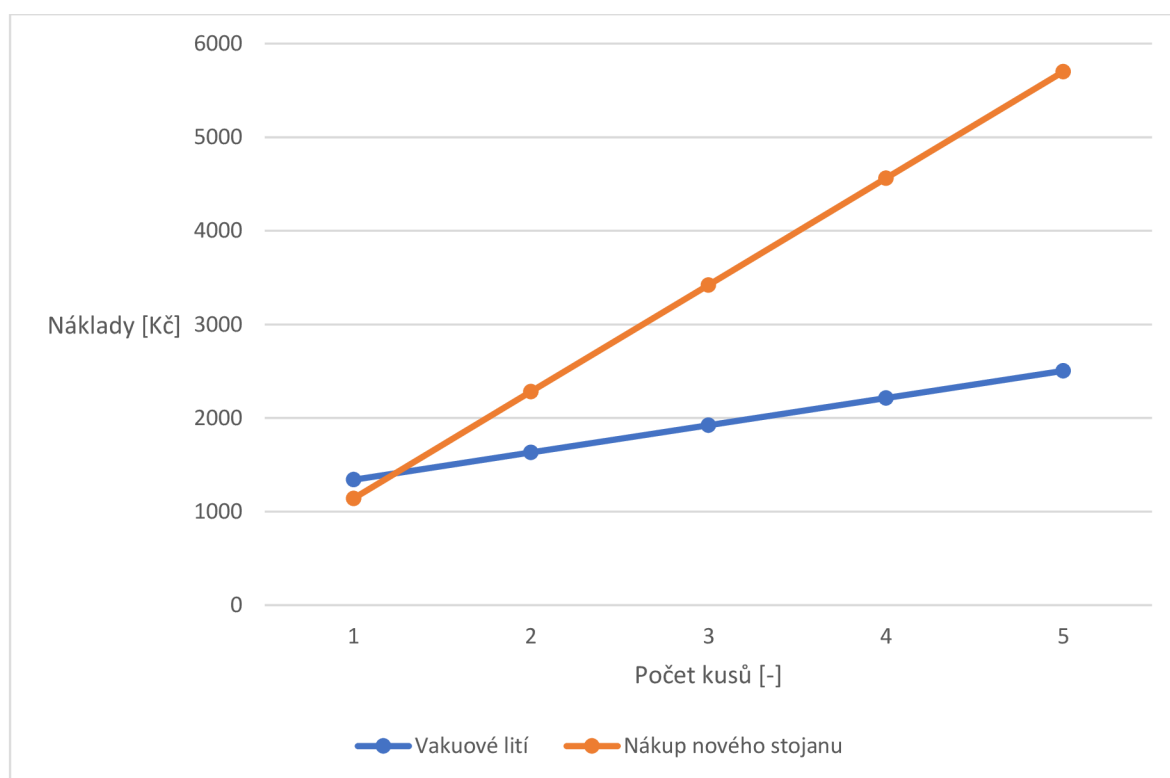
5.6 Zhodnocení použité technologie

Pro posouzení vhodnosti použité metody z ekonomického hlediska byly celkové náklady porovnány s cenou nového stojanu. Vzhledem k tomu, že tento stojan již není v prodeji, byl pro porovnání vybrán klávesový stojan K&M 18933, jehož cena je 1 140 Kč a který se svými parametry shoduje se stojanem, pro který byla vyráběna fixační rukojeť. Ukázalo se tedy, že koupě nového stojanu je finančně výhodnější, rozdíl v ceně je 200 Kč. Je ovšem třeba brát v úvahu, že značná část nákladů na výrobu dílu je tvořena náklady na zhotovení formy. Náklady na výrobu formy

(včetně mzdy pracovníka při výrobě formy) činí 1 049 Kč, což je 78,28 % z celkových nákladů. V kapitole 2 je uvedeno, že silikonová forma je použitelná na cca 20 výrobků, při výrobě více dílů by se tedy náklady na jeden díl postupně snižovaly. Tento fakt dokazuje tab. 5.2 a grafická závislost na obr. 5.1 [24].

Tab. 5.2 Náklady na 5 kusů.

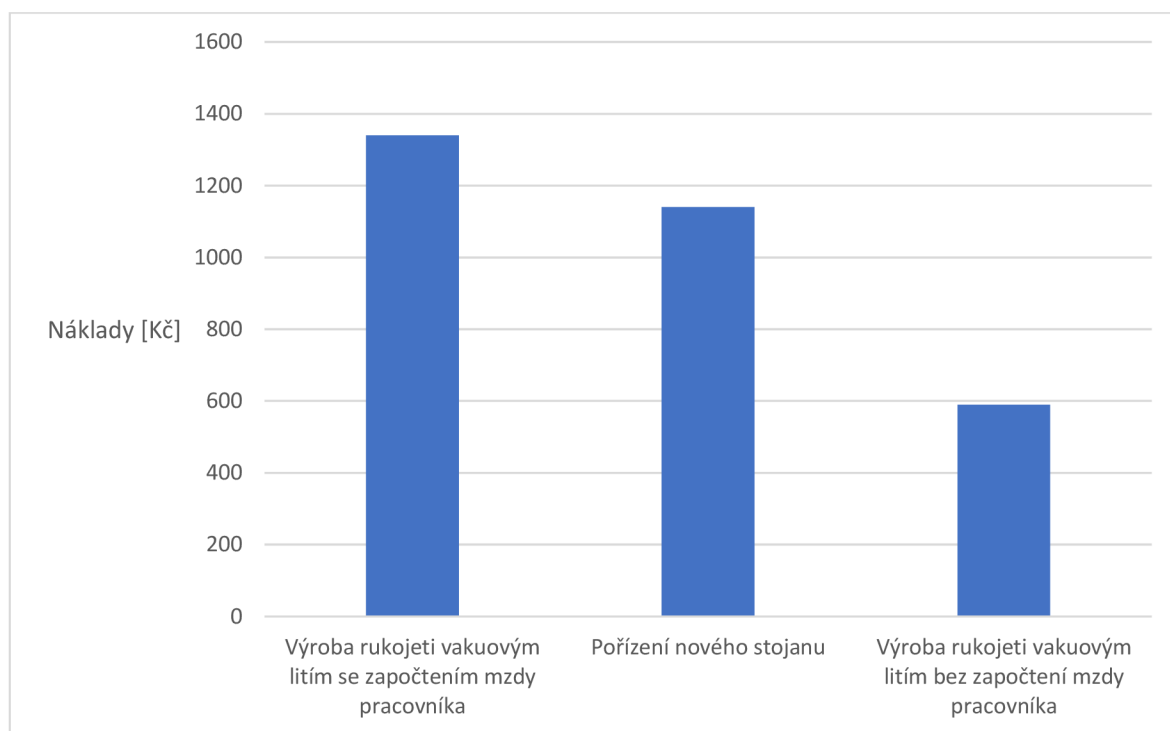
Počet kusů	Výroba rukojeti vakuovým litím [Kč]	Nákup nového stojanu [Kč]
1	1 340	1 140
2	1 631	2 280
3	1 922	3 420
4	2 213	4 560
5	2 504	5 700



Obr. 5.1 Grafická závislost s náklady na 5 kusů.

Z grafu 5.1 je patrné, že využití technologie vakuového lití je v porovnání s nákupem nového stojanu výhodnější již od dvou vyráběných kusů, od druhého vyráběného kusu totiž není potřeba hradit náklady na materiál silikonové formy a náklady na mzdu pracovníka při výrobě formy.

Také musí být zohledněno to, že součást byla vyráběna v prostředí fakulty autorem práce, náklady na mzdu pracovníka tedy nemusely být hrazeny. Finanční výhodnost po odečtení nákladů na mzdu pracovníka ukazuje grafická závislost na obr. 5.2.



Obr. 5.2 Porovnání nákladů na různé způsoby získání fixační rukojeti.

Náklady na výrobu fixační rukojeti vakuovým litím po odečtení mzdy pracovníka činí 590 Kč. Tato částka tvoří 51,75 % z ceny nového stojanu, výroba rukojeti vakuovým litím (bez mzdy pracovníka) je tedy o 48,25 % levnější. Vzhledem k tomu, že použitím této metody byla uspořena téměř polovina nákladů, lze metodu z ekonomického hlediska považovat za vhodnou.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla výroba modelu fixační rukojeti stojanu pro klávesy s využitím moderní technologie vakuového lití. První tři kapitoly, které tvořily teoretický přehled o dané problematice, obsahovaly rozbor výrobku, popis použité technologie a přehled používaných materiálů doplněný tabulkami s jejich vlastnostmi. Experimentální část obsahovala postup výroby modelu. Práce byla ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením.

Stěžejní částí práce byla výroba silikonové formy na základě existujícího master modelu. Fakt, že byl tento master model k dispozici, celou výrobu usnadnil, nebylo totiž nutné tento díl vyrábět např. pomocí 3D tisku. Silikonová forma byla vyrobena ze silikonové směsi Silastic T-4. Tato směs byla před použitím vakuována ve vakuové komoře MK Mini. Forma se skládala ze tří dílů. Po spojení těchto dílů pomocí textilní lepicí pásky a kovových sponek následovalo odlití. Jako materiál odlitku byla zvolena licí hmota SG 2000 / Komp. A + B. Po vytvrzení následovaly úpravy odlitku, které zahrnovaly odstranění vtoku, vybroušení nedokonalostí na povrchu odlitku, provrtání předlitých důlků a nanesení černé barvy. Na obr. 6.1 je klávesový stojan s vyrobenou fixační rukojetí.

V rámci technicko-ekonomického zhodnocení byly vypočteny celkové náklady na zhotovení fixační rukojeti, včetně finálních úprav a mzdy pracovníka. Ukázalo se, že výroba součásti metodou vakuového lití je po odečtení nákladů na mzdu pracovníka, které nemusely být hrazeny, finančně výhodnější než nákup nového stojanu.

Závěrem lze říci, že všechny cíle bakalářské práce byly splněny.



Obr. 6.1 Stojan pro klávesy s vyrobenou fixační rukojetí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. JIRSÁK, Martin. Jak vybírat... IV - stojan pro klávesy do studia. *Muzikus* [online]. 2010, 2010(12) [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-workshopy/Jak-vybirat-IV-stojan-pro-klavesy-do-studia~16~cerven~2011/>
2. Stojany na klávesy. *Hudební nástroje Houdek* [online]. Plzeň [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.houdek.cz/klavesy/stojany-klavesy/>
3. Stojan na klávesy: Návod k použití - bezpečnostní upozornění. *Streetlife Music* [online]. Adorf, 2014 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: http://www.streetlife-music.com/fileadmin/streetlife/manuals/101199_LIDL_KeyboardStand.pdf
4. SHENG, Ai a Yizhong WANG, ed. *Manufacturing and Engineering Technology* [online]. London: CRC Press/Balkema, 2015 [cit. 2018-02-19]. ISBN 978-1-315-76072-8. Dostupné z: Google Knihy
5. Vakuové lití plastů. *Renishaw* [online]. Brno, c2001-2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/vakuove-liti-plastu--15266>
6. Aditivní technologie, Reverzní inženýrství. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, s. 200-229. ISBN 978-80-214-4025-8.
7. CHUA, Chee Kai., Kah Fai. LEONG a Chu Sing. LIM. *Rapid prototyping: principles and applications*. 2nd ed. New Jersey: World Scientific, c2003. ISBN 98-123-8117-1.
8. BOPARAI, Kamaljit Singh, Rupinder SINGH a Harwinder SINGH. Development of rapid tooling using fused deposition modeling: a review. *Rapid Prototyping Journal*. 2016, 22(2), 281-299. DOI: 10.1108/RPJ-04-2014-0048. ISSN 1355-2546. Dostupné také z: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/RPJ-04-2014-0048>
9. Porovnání metod Rapid Prototypingu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 2002(1), 32 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/porovnaní-metod-rapid-prototypingu.html>
10. Rapid Prototyping. *Evektor* [online]. Kunovice, c1999-2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.evektor.cz/cz/rapid-prototyping>
11. Rapid Soft Tooling and Rapid Bridge Tooling. *Rapid tooling: technologies and industrial applications* [online]. New York: Marcel Dekker, c2000 [cit. 2018-02-19]. ISBN 0-8247-8788-9. Dostupné z: <http://cnqzu.com/library/Anarchy%20Folder/Workshop/Rapid%20Tooling%20Technologies%20&%20Industrial%20Applications.pdf>
12. Technologický postup. In: *Lučební závody Kolín* [online]. Kolín [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.lucebni.cz/data/File/lukopren/Lukopren-N-MT-G-katalyzator/Prospekty/TPLukoprenN.pdf>

13. Vacuum Casting Service. *Star Rapid* [online]. Hong Kong, c2017 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.starrapid.com/services/vacuum-casting>
14. Renishaw Vacuum Casting Techniques. In: *MillenniTek* [online]. Knoxville, c2015 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://millennitek.com/wp-content/uploads/2016/08/H-5800-0660-01-A-EN-Vacuum-Casting-Techniques-User-Guide-Screen.pdf>
15. *Zařízení pro vakuové lití do silikonových forem*. Brno, 2007. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
16. CHARVÁT, Ondřej. Možnosti aplikace metod Rapid prototyping s použitím technologie vytavitelného modelu. Brno: Fakulta strojního inženýrství.
17. Silikony. *Ebalta* [online]. Kotvrdovice, c2007 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/silikony>
18. *Product Information: Silastic 3110*. Dostupné také z: <http://www.lindberg-lund.fi/files/Tekniske%20datablad/DC-3110-TD.pdf>
19. Rapid Prototyping. *ACR Czech resins & composites* [online]. Most, c2011 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.axson.cz/aplikace/rapid-prototyping>
20. Polyuretanové pryskyřice. *Ebalta* [online]. Kotvrdovice, c2007 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/polyuretanove-lici-hmoty/polyuretanove-pryskyrice>
21. Rychleschnoucí licí pryskyřice. *Ebalta* [online]. Kotvrdovice, c2007 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/rychleschnouci-lici-pryskyrice>
22. Informace o minimální mzdě od 1. ledna 2018. In: *Ministerstvo práce a sociálních věcí* [online]. Praha [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: https://www.mpsv.cz/files/clanky/31800/Informace_o_MMe_od_1_ledna_2018_na_web_MPSV.pdf
23. Co je dobré vědět o superhrubé mzdě?. *Finance.cz* [online]. Praha, 2018, 20.9. 2017 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/zpravy/finance/445479-co-je-dobre-vedet-o-superhrube-mzde/>
24. K&M 18933 X-stojan na keyboard. *Clarina Music* [online]. Brno: Clarina Music, c2008-2018 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.clarina.cz/km-18933-x-stojan-na-keyboard>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam
ABS	AkrylonitrilButadienStyren
CAD	Computer Aided Design
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PEEK	Polyéteréterketón
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymethylen
PPS	Polyfenylsulfid
PS	Polystyren
RP	Rapid Prototyping

Symbol	Jednotka	Význam
\emptyset	[mm]	Průměr
C_A	[Kč.g ⁻¹]	Cena jednoho g složky A
C_B	[Kč.g ⁻¹]	Cena jednoho g složky B
C_{BP}	[Kč]	Cena jednoho brusného papíru
C_{SM}	[Kč.g ⁻¹]	Cena jednoho g silikonové směsi
C_S	[Kč]	Cena spreje
C_T	[Kč]	Cena tmelu
N_C	[Kč]	Celkové náklady na výrobu jednoho dílu
$N_{DÚ}$	[Kč]	Náklady na dokončovací úpravy
N_{HP}	[Kč]	Náklady na hodinu práce pracovníka
N_{MP}	[Kč]	Náklady na mzdu pracovníka
N_O	[Kč]	Náklady na materiál odlitku
N_{SF}	[Kč]	Náklady na materiál silikonové formy
m_A	[g]	Hmotnost použité složky A
m_B	[g]	Hmotnost použité složky B
m_{SF}	[g]	Hmotnost použité silikonové směsi
t_p	[h]	Celkový čas práce pracovníka

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Silastic T-4

Příloha 2: SG 2000 / Komp. A + B

PŘÍLOHA 1

SILASTIC® T-4



Silikonový kaučuk – základní hmota a tužidlo T-4/T-4

Vysoce pevný silikonový tepelně odolný kaučuk

Použití:

Silastic T-4 je vysoce pevný silikonový kaučuk k výrobě forem pro prototypy a malé série. Byl vyrobena zejména pro rychlou výrobu prototypů.

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

Vlastnosti:

- vynikající samoseparační vlastnosti
- vytvrzení je možno urychlit teplem
- velmi nepatrné smrštění a dobrá dimenzní odolnost
- Velmi tvrdý, ale flexibilní a tuhý
- Vhodný zejména pro použití při vyšších teplotách
- Dvě silikonová tužidla:
 - T-4 S (standard) nebo
 - T-4 O (olejové)

Popis:

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

Informace pro zpracování

		Směs SILASTIC S	Hmota	Tužidlo
Barva		průsvitná	-	-
Poměr míchání	Hmot. díly	-	100	10
Viskozita	mPas	cca 35 000	cca 70 000	cca 300
Čas zpracování	minut	90	-	-
Vytvrzení při pokoj. teplotě	Hod.	8	-	-

Vlastnosti

	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Tvrdost Shore	DIN 53505	Shore A	cca 40
Pevnost v tahu	EN ISO 527	MPa	6,7
Protažení	EN ISO 527	%	400
Odolnost proti přetržení	DIN ISO 34-1	kN/m	-
Hustota při 23°C	-	g/cm ³	-
Lineární smrštění	Interní pokyny	%	<0,1

Zpracování a použití:

Po smíchání s tužidlem v poměru 10:1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na transparentní (průhledný) kaučuk. Tužidlo T-4 O vyvolává "samomazný efekt", čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky:

- rychlé vytvrzení za 6-8 hodin při pokojové teplotě
- nízká viskozita - snadné míchání a odplynění
- dobré separační vlastnosti

Povrch originálu musí být čistý bez zbytků staré hmoty. Při porézním povrchu používáme separátor voskový anebo PTFE sprej. Mícháme v poměru 100:10 v čisté nádobě, důkladně až k úplnému spojení obou složek. Mícháme ručně nebo pomocí míchadla, plynule v menších dávkách a dbáme, aby teplota během míchání nestoupla nad 35°C. Doporučujeme směs podrobit vakuování pro odstranění vzduchu (1 - 2 min.). Během vakuování nabude směs až 5-ti násobku výchozího stavu, s čímž je třeba počítat při volbě velikosti mísící nádoby. Když vakuování neprovádíme, naneseme vlasovým štětcem malou vrstvu (1-2 mm). Po jejím vytvrzení pak pokračujeme dále. Odléváme co nejdříve, abychom snížili možnost pohlcení vzduchu. Vytvrzení do stavu flexibilní gumy nastane při teplotě 22-24°C za 6-8 hodin, pak můžeme rozebírat. Zkrácení vytvrzovací doby dosáhneme ohřevem, ale jen za cenu větší smrštivosti.

UPOZORNĚNÍ:

Všechny elastomery vytvrzované tužidly, jsou při styku s určitými materiály náchylné k nedokonalému vytvrzení, to jest do 24 hod. Dojde jen k částečnému vytvrzení, anebo kontaktní plocha s druhým materiálem zůstává lepivá. Materiály, které obsahují aminy, organické sloučeniny cínu, nebo látky složené ze sloučenin kyselin, působí mimořádně silně proti vytvrzování. Proto doporučujeme přezkoušet míchací nádoby, formy, vlastní modely a separátory, zda nebrání vytvrzování.

Použití:

Formy ze SILASTIC T-4 mají i při vysokých teplotách dlouhou životnost. Stálé používání nad 200°C však po delší době způsobuje snížení elasticity. Použití pro teploty nad 250°C se nedoporučuje.

Po úplném vytvrzení je SILASTIC T-4 velmi odolný chemikáliím. Dlouhodobý styk s pryskyřicemi a dalšími agresivními hmotami může mít vliv na fyzikální vlastnosti, dělitelnost, eventuálně na přesnost rozměrů formy. Doporučuje se proto pravidelně rozměry forem přezkoušet.

Omezené ručení – prosím čtěte pozorně

Údaje obsažené v tomto návodu byly zhotoveny dle nejlepšího svědomí na základě výzkumů provedených v Dow Corning. Protože D. C. nemůže ovlivnit způsoby použití a podmínky, za kterých se výrobky používají, je nutno provést testy, aby se zjistilo, že výrobky v ohledu na výkon, účinek a spolehlivost jsou vhodné pro určité použití zákazníkem. Návrhy na použití výrobků nejsou chápány jako pokus o porušení patentových práv. Dow Corning dává záruku pouze na to, že výrobky odpovídají v době dodání aktuálnímu popisu výrobku. Nároky na záruku a jim odpovídající povinnosti výrobce Dow Corning v případě uznání záruky se omezí na náhradní dodávku nebo vrácení kupní ceny daného produktu.

Dow Corning neručí za náhodné nebo následné škody.

PŘÍLOHA 2

SG 2000 / Komp. A + B



Označení : vysoce jakostní, velmi tekutá rychletvrdnoucí licí hmota

Pryskyřice : SG 2000 Komp. A

Tužidlo : SG 2000 Komp. B

Barva : slonová kost

Použití - slévárenské modely

- jaderníky
- formovací desky
- negativy
- prototypy
- vakuové hlubokotažné formy
- kopírovací modely

Vlastnosti materiálu - neplněná

- velmi tekutá
- vysoká možnost plnění
- dokonalé celkové vytvrzení
- velmi vysoká pevnost
- vysoká tepelná odolnost

Informace pro zpracování

Výrobek		Směs SG 2000 / Komp. A + B	Pryskyřice SG 2000 Komp.A	Tužidlo SG 2000 Komp. B
Barva		slonová kost	bílá	žlutavá
Poměr míchání	hm. díly		100	100
Viskozita při 25°C	mPas	50 ± 5	80 ± 10	25 ± 5
Hustota při 20°C	g/cm ³	1,10 ± 0,02	1,02 ± 0,02	1,14 ± 0,02
Čas zprac. 200g/20°C	minut	4	-	-
Vytvrzení při pokojové tep.	hod.	0,5 - 1	-	-

Fyzikální informace

Vlastnosti	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Pevnost v ohybu	EN ISO 178	MPa	57 ± 5
E-Modul (v ohybu)	EN ISO 178	MPa	1500 ± 100
Deformace ohybem v okamžiku lomu	EN ISO 178	%	7,5 ± 0,4
Pevnost v tlaku	EN ISO 604	MPa	45 ± 5
Rázová houževnatost (Charpy)	EN ISO 179	kJ/m ²	24 ± 4
Tepelná odolnost tvaru dle Martens	DIN 53458	°C	66 ± 3
Tvrdost Shore	DIN 53505	Shore D	72 ± 2
Koeficient délkové roztažnosti	DIN 53752	10 ⁻⁶ K ⁻¹	-
Lineární smrštění	interní	%	-

Forma dodání:

Karton:

Jednotlivé balení: Pryskyřice SG 2000 Komp.A 1 kg; 5 kg; 25 kg
Tužidlo SG 2000 Komp.B 1 kg; 5 kg; 25 kg

Poznámky ke zpracování

Plniva by se měla do jednotlivých komponent vmíchat tak, aby měli asi stejnou viskozitu. Poté se dají obě komponenty velmi dobře společně promíchat.

Při malém množství a při dostatečných zkušenostech, je také možné nejdříve smíchat nenaplněné komponenty a teprve poté vmíchat plnivo, aniž by byla doba zpracování pro lití příliš krátká.

Odlévat na suchý a čistý povrch, který byl předem ošetřen vhodným separátorem.

Všeobecně

U řady SG 2000 se jedná o vysoce hodnotné, téměř bezzápachové dvoukomponentní polyuretanové lepicí hmoty bez vmíchaného plniva. Toto plnivo se vmíchá teprve při promíchání obou komponent. K výběru jsou různé pryskyřičné komponenty, které se zpracovávají se stejným tužidlem. Jednotlivé typy se liší v době zpracování a vytvrzení.

Rychlé vytvrzení těchto materiálů způsobuje krátkou dobu doformování. Velmi nízká viskozita nám umožňuje vysoký stupeň plnění. Přidáním různých druhů plniv ovlivníme výsledné vlastnosti a pevnosti.

Nádoby s komponenty by se měly před použitím pečlivě promíchat (protřepat).

Stupeň plnění a způsob dodání plniv jsou uvedeny ve zvláštní tabulce.

Použitím surovin se mohou u výrobku vyskytnout barevné rozdíly, které nemají vliv na kvalitu a vlastnosti pryskyřice.

Skladování

V temperovaných místnostech (18 – 25°C) v neotevřeném originálním balení lze skladovat 6 měsíců.

Rozdělaná balení vždy uzavřít a co nejdříve zpracovat.

Ochranná opatření

Při zpracování tohoto produktu by se mělo dbát ochranných opatření odborového svazu chemického průmyslu.

Řídit se bezpečnostními radami.

Likvidace

Vytvrzené materiály lze po domluvě s příslušným úřadem likvidovat jako domovní odpad.

Nevytvrzené výrobky se musí dle domluvy s příslušným úřadem náležitě zlikvidovat.

K upozornění

Tyto údaje a doporučení byly stanoveny s největší starostlivostí na základě důkladných pokusů a dlouholetých, praktických zkušeností. Protože není možné kontrolovat zpracování přímo u spotřebitele, možnosti použití a pracovní metody jsou velice různorodé, není možné přebírat záruku za jednotlivé případy. Tyto údaje jsou nezávaznými informacemi nejsou zárukou za určité příznaky nebo vlastnosti produktu. Naše informace neosvobozují zákazníka od provedení vlastních průkazných zkoušek ve vztahu k používání a postupům. V případě nutnosti záruky za údaje je nutná doplňující písemná dohoda.