

Studium možností využití polymerních kompozitu u vybraných pomůcek pro kardiaky

Bc. Ivana Schmolzová

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Ivana Schmolzová
Osobní číslo:	T20018
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Řízení jakosti
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Studium možností využití polymerní kompozitů u vybraných pomůcek pro kardiaky

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši na dané téma, jak v časopisech, tak i patentech.
2. Na základě získaných informací ohledně materiálů a požadovaných vlastností navrhnete a připravte zkontrolované kompozity a proměřte jejich vlastnosti.
3. Výsledky zpracujte vhodnými statistickými metodami.
4. Stanovte míru souhlasu s reálnými požadavky a možnost aplikace u vybraného výrobku

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Thomas Sabu, Polymer composites, Weinheim : Wiley-VCH, c2012-2014, ISBN 9783527329854

Kozlov, Georgij Vladimirovič (Editor), Mikitajev, Abdulach Kasbulatovič, 1942- (Editor), Zaikov, Gennadij Jefremovič, 1935- (Editor), Polymer and composites theory and practical applications, New York : Nova Science Publishers, c2011, ISBN 9781617610370

MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4

WHITEHOUSE, David. Surfaces and their measurement. London: Kogan Page Science, 2004. ISBN 1-9039-9660-0.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Dagmar Měřínská, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne: 1.5.2022

Jméno a příjmení studenta:

Bc. Ivana Schmolzová

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá studiem a výrobou vybrané ochranné pomůcky pro kardiaky, kteří mají kardiostimulátor nebo ICD – implantabilní defibrilátor, který by jim měl pomoci hlavně při nárazu a při pohybu.

Na základě toho uvádím materiál a postup ke spokojenosti všech uživatelů. Jelikož sama mám ICD, mohu říct, co by ochranná pomůcka měla splňovat.

Klíčová slova: ICD, ochranná pomůcka, vstříkování, 3D tisk

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the study and production of selected protective equipment for cardiac patients who have a pacemaker or ICD - an implantable defibrillator, which should help them mainly in the event of an impact and movement. Based on this, I present the material and the procedure to the satisfaction of all users. Since I have an ICD myself, I can say what conditions the protective device should meet.

Keywords: ICD, protective aid, injection, 3D printing

Touto cestou bych chtěla poděkovat paní Doc.Ing Dagmar Měřínské Ph.D, vedoucí mé diplomové práce, za čas , který mi věnovala, za ochotu, pomoc, a v neposlední řadě za cenné rady a doporučení.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

OBSAH	7
ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1 CO JE ICD	11
1.1 ICD SYSTÉM	11
1.2 Z ČEHO JE ICD VYROBENO	12
1.3 TERAPIE POMOCÍ ICD	13
1.3.1 DÁLKOVÉ MONITOROVÁNÍ.....	13
1.3.2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA (EMC).....	14
2 POLYMERY	17
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	17
2.1.1 PODLE MOLEKULÁRNÍ STRUKTURY.....	18
2.1.2 NA ZÁKLADĚ TEPLOTNÍHO CHOVÁNÍ, PODLE PŮSOBENÍ TEPLoty [6].....	19
2.1.3 PODLE APLIKACE A PODLE KONSTRUKČNÍ SLOŽITOSTI VYRÁBĚNÝCH DÍLŮ.....	20
2.1.4 PODLE DRUHU PŘÍRAD.....	20
2.1.5 PODLE POLARITY.....	20
2.1.6 PODLE PŮVODU.....	21
2.2 POPIS JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ	21
3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	27
3.1 DEFINICE A DĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	27
3.1.1 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ PODLE GEOMETRIE VÝZTUŽE.....	28
4 NAVLHAVOST, NASÁKAVOST	31
4.1 STANOVENÍ VLHKOSTI	31
5 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ	33
5.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ	33
5.2 DRUHY ZKOUŠEK MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	34
5.3 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	34
5.4 ZKOUŠKA TAHEM	35
5.5 ZKOUŠKA OHYBEM	36
6 NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	37
7 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	38
7.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	38

7.2 VSTŘIKOVACÍ FORMA	38
7.3 RÁM FORMY	39
7.4 VTOKOVÝ SYSTÉM	39
7.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM	39
7.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM	39
7.8 ODVZDUŠNĚNÍ	39
7.9 DOTLAK	40
8 3D TISK	41
8.1 HISTORIE 3D TISKU	41
8.2 PŘÍPRAVA 3D TISKU	41
8.3 LÉKAŘSKÝ PRŮMYSL	41
8.3.1 VYUŽITÍ	42
9 LITERÁRNÍ A PATENTOVÁ REŠERŽE	43
10 3D TISK VERSUS VSTŘIKOVÁNÍ	45
II. PRAKTICKÁ ČÁST	47
11 3D TISKÁRNA	48
11.2 SOFTWARE CURA	50
11.2 NÁKRES	51
12 KALKULACE	63
ZÁVĚR	64
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	66
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
SEZNAM OBRÁZKŮ	69
SEZNAM TABULEK	71
SEZNAM GRAFŮ	72
SEZNAM PŘÍLOH	73

ÚVOD

To, co se mi přihodilo, a z informací od jiných, kteří mají stejný problém a tím, co studuji, jsem se rozhodla přispět společnosti o výrobek, který by mohl pomoci ke zkvalitnění života lidem, kteří mají implantované zařízení ICD nebo KS.

Jedná se o ochrannou krytku, proti nárazu. Krytka by měla být měkká, houževnatá, tvrdá, prodyšná, neměla by zadržovat pot a voděodolná.

V dnešní době se setkáváme s rozvojem různých technologií, a to hlavně v oblasti polymerů a kompozitů.

Výrobky z plastů velmi rychle vytlačují výrobky z materiálů jako je dřevo, kov, ale i sklo. Výrobou výrobků z plastů je vstřikování, ale i v dnešní době velmi moderní technologie, kterou je 3D tisk.

Metoda vstřikování má dlouhou historii a metoda dovoluje vyrobit výrobky složitých tvarů v krátkém čase.

Metoda 3D tisk je poměrně mladá a rozvíjí se.

Oběma metodami se zabývám v teoretické části a v praktické části postup a výrobu ochranné pomůcky na 3D tiskárně.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CO JE ICD

Kardioverter-defibrilátor je přístroj, který se používá k léčbě srdečních arytmii a prevenci náhlé srdeční smrti. Ve většině případů umírá ve vyspělých zemích okolo 1-2 % obyvatel. Většina z nich trpí srdečním onemocněním jako je ischemická choroba srdeční nebo různé formy kardiomyopatie. U malé části nemocných nelze zjistit žádné srdeční onemocnění. Důvodem náhlé srdeční smrti je přitom až v 85 % případů rychlý srdeční rytmus pocházející ze svaloviny komor. Buď jde o tzv. fibrilaci komor, nebo o rychlou komorovou tachykardii. Objevení se jedné nebo druhé arytmie má za důsledek velmi rychlé nebo nekoordinované stahování srdce, a tím pádem nedostatečné pumpování krve do celého těla. O takovém to stavu mluvíme jako o zástavě krevního oběhu. Pokud nedojde během několika minut k přerušení arytmie nebo k zahájení účinné kardiopulmonální resuscitace (tj. nepřímé srdeční masáže a dýchání z úst do úst), postižený umírá. Nejúčinnější cestou přerušení zmíněných arytmii je co nejrychlejší aplikace elektrického šoku přes povrch hrudníku k srdci (tzv. kardio verze, pokud jde o komorovou tachykardii a defibrilace v případě léčby komorové fibrilace). Většina nemocných, kteří prodělali oběhovou zástavu (tj. arytmie přestala spontánně nebo byli úspěšně oživeni-resuscitováni), bez následné léčby je ohrožena opakováním celé situace. Nemocní, kteří upadli opakovaně do bezvědomí v důsledku komorové tachykardie nebo mají opakovaně komorovou tachykardii vyvolatelnou při elektrofyzilogickém vyšetření (kdy je svalovina komor stimulována elektrickými podněty pomocí tenkých katétrů zavedených do srdce). Léčebné možnosti zahrnují podávání léků, chirurgický výkon (revaskularizace doplněná odstraněním místa ze kterého arytmie vzniká), implantaci kardioverteru-defibrilátoru nebo kombinaci těchto metod. [1]

1.1 ICD SYSTÉM

Implantabilní defibrilační systém se skládá:

- Generátoru impulsů, který neustále monitoruje srdce a automaticky poskytuje léčbu pro korekci rychlých srdečních rytmů
- Tenké elektrody, tj. měkké izolované vodiče o velikosti špagety. Elektrody vysílají elektrický impuls z defibrilátoru do srdce a předávají informace o přirozené aktivitě srdce zpět do přístroje

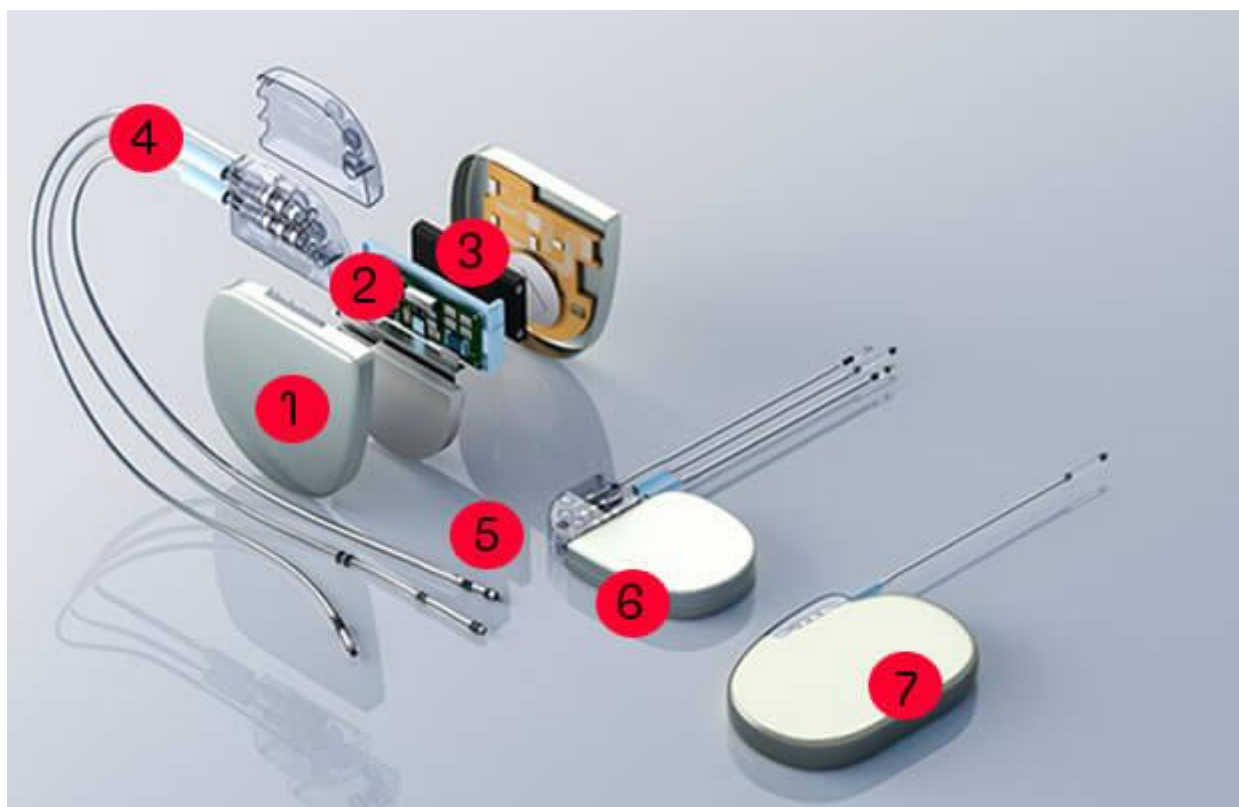
V současné době je implantabilní defibrilátor velmi malé zařízení o velikosti krabičky od sirek. Implantabilní defibrilátor pracuje jako malý počítač. Po celý den získává z elektrod informace o

rytmu srdce. Zejména zkoumá, zda není srdeční rytmus příliš rychlý nebo příliš malý a zda srdce bije pravidelně nebo nepravidelně.

V případě jakýkoliv odchylek od normálního rytmu se informace o těchto odchylkách uloží ve formě EKG záznamu (elektrokardiogram) [2]

1.2 Z čeho je ICD vyrobeno

Vnější vrstva generátoru je vyrobena z titanu a dalších kovů, uvnitř jsou složité obvody a vysokokapacitní baterie. Vodiče mají vnitřní vodiče s vnější silikonovou a polyuretanovou izolací. Hroty vývodů jsou obvykle potaženy platinou nebo jiným podobným kovem. [3]



Obrázek 1 - Složení ICD

1. Vnější vrstva generátoru
2. Složité obvody
3. Vysokokapacitní baterie
4. Dráty, které mají izolovaný povlak
5. Hroty drátu jsou obvykle potaženy platinou nebo podobným kovem

6. Standardní ICD

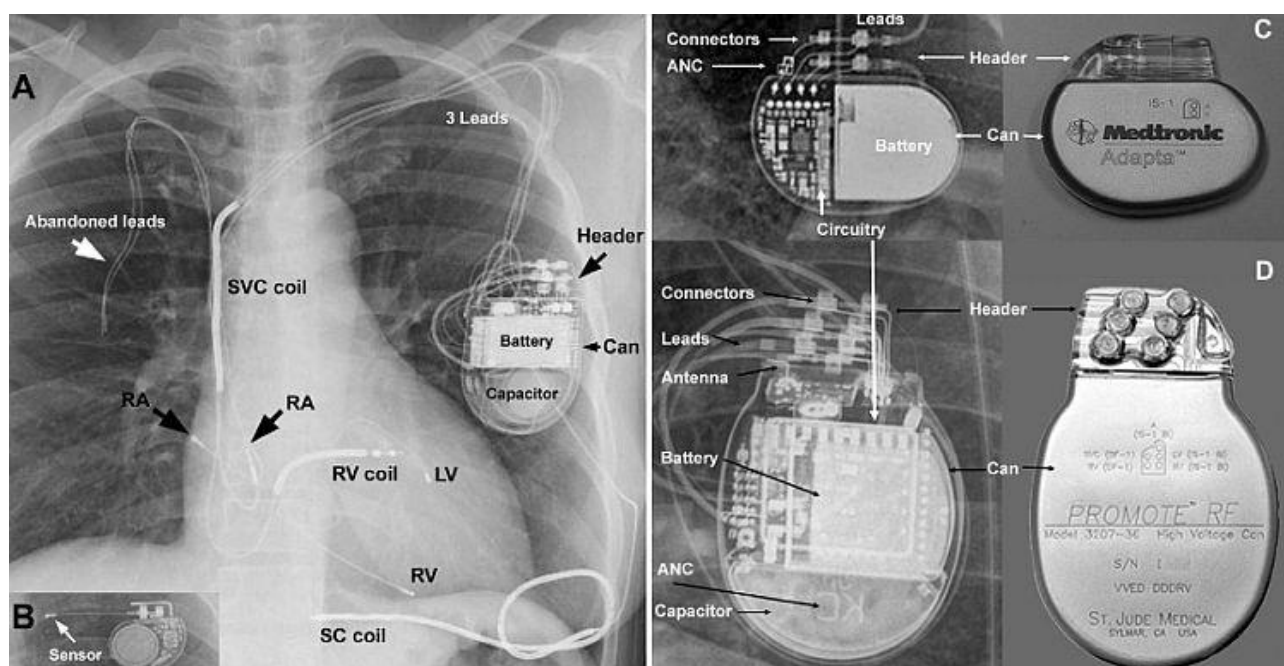
7. Subkutánní ICD (S-ICD)

1.3 Terapie pomocí ICD

ICD nejen, že pozoruje poruchy rytmu, ale v případě potřeby realizuje léčebné intervence. ICD nejprve zasílá do srdce slabé stimulační impulsy, které mají co nejšetrněji zastavit rozvíjející se arytmii.

Pokud tachykardii nelze ukončit opakovanou stimulací, ICD vyšle jediný intenzivní proudový impuls tzv. elektrický výboj. Tento elektrický výboj je synchronizován se srdečním rytmem.

Výboj, uvolněný při kardio verzi či defibrilaci poskytuje spolehlivou ochranu proti srdeční zástavě. [2,3]



Obrázek 2 - Jak vypadá ICD a kde je umístěn

1.3.1 Dálkové monitorování

Síť Nedtronic Care Link (mám já) umožňuje posílat informace uložené v mém implantovaném srdečním přístroji do zdravotnického zařízení pomocí patientského monitoru viz. Obr. 3 [4]



Obrázek 3 - Inteligentní vysílač

Informace z mého srdečního přístroje jsou potom umístěny na zabezpečené webové stránce, na kterých mohou pracovníci mého zdravotnického zařízení získat přístup k informacím o funkčnosti mého srdce a srdečního přístroje.

1.3.2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

Systémy, které vyrábí nebo využívají elektrickou energii, nebo které přenášejí bezdrátové signály mají kolem sebe elektromagnetické pole. Pokud se takové pole dostane příliš blízko k ICD, tak přístroj detekuje a může dané pole dočasně ovlivnit normální chod našeho přístroje.

Např. jsou to přístroje:

- **Domácnost a zájmová činnost**
- Minimální riziko
 - Elektrické kuchyňské spotřebiče (ruční mixer)
 - Holicí strojek
 - Vysavač
 - Elektrický zubní kartáček
 - Šicí stroj
 - Reproduktory
 - Běžecový pás

- Zvláštní zřetel
 - Automobil
 - Elektrický plot
- Vzdálenost 60 cm
 - indukční vařič
 - detektor kovů
- Nedoporučuje se
 - Elektrická váha s měřením tělesného tuku
 - Magnetická matrace/ polštář
 - Břišní svalový stimulátor
 - Osobní váha a analýzou tělesného tuku

○ **Komunikační a kancelářská technika**

- Minimální riziko
 - Mobilní telefon -3 Watty
 - Sluchátka
 - Tablety
 - Elektronické čtečky
 - Amatérské radiopřijímače
 - Nástěnné skenery

○ **Lékařské výkony**

- Minimální riziko
 - Diagnostický ultrazvuk
 - Léčebný ultrazvuk
- Zvláštní zřetel
 - Svalové stimulátory
 - Radiační terapie

- Zdravotnické prostředky, které aplikují proud do těla
 - Nedoporučuje se

Vysokofrekvenční nebo mikrovlnná diatermie [1,3,5]

Vzhledem výše uvedenému je třeba řešit a možnost by byla zaměřením na pomůcky pro kardiaky, kteří mají ICD, ale i KS. Tato skupina lidí si musí dávat pozor na určité denní činnosti. Jako je náraz, cesta autem po našich silnicích, dále se vyvarovat elektro a elektromagnetickému poli.

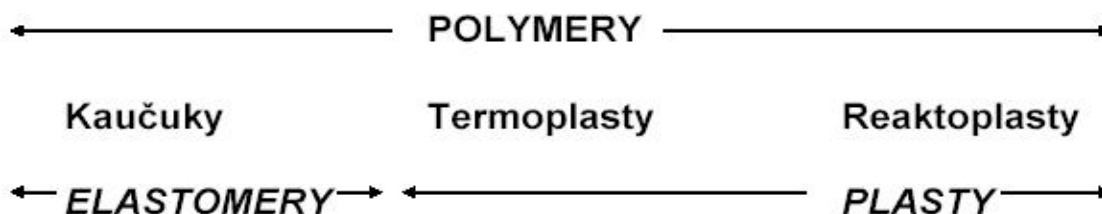
2 POLYMERY

Jak již jsem psala v úvodu, že výrobky z plastů velmi rychle vytlačují výrobky z materiálů jako je dřevo, kov, ale i sklo, proto tedy se budeme zabývat polymery.

Polymery, jsou makromolekulární látky přírodního nebo syntetického původu s vysokou molekulovou hmotností, a to desítek až stovek tisíc. Monomery, pro tyto makromolekulární látky čerpáme z ropy, zemního plynu či uhlí.

Polymer- tento název je odvozen od řeckého slova poly, čili mnoho a slova mer, což znamená část. Mer je tvořen skupinou atomů, která se v makromolekule neboli velké molekule regulérně opakuje. Makromolekuly mají několik set až tisíc atomů uhlíku, vodíku, kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Jsou pevné, za tepla velmi dobře tvarovatelné, mají malou hustotu, dobré izolační vlastnosti, vedou elektrický proud i teplo. Na vzduchu jsou stálé a některé se vyznačují odolností proti účinkům žiravin a jiných chemikálií. Ve formě výrobku jsou v podstatě v tuhém stavu, ale v určitém stadiu zpracování v podstatě ve stavu kapalném, většinou za zvýšené teploty a tlaku, lze udělit budoucímu výrobku požadovaný tvar. [6]

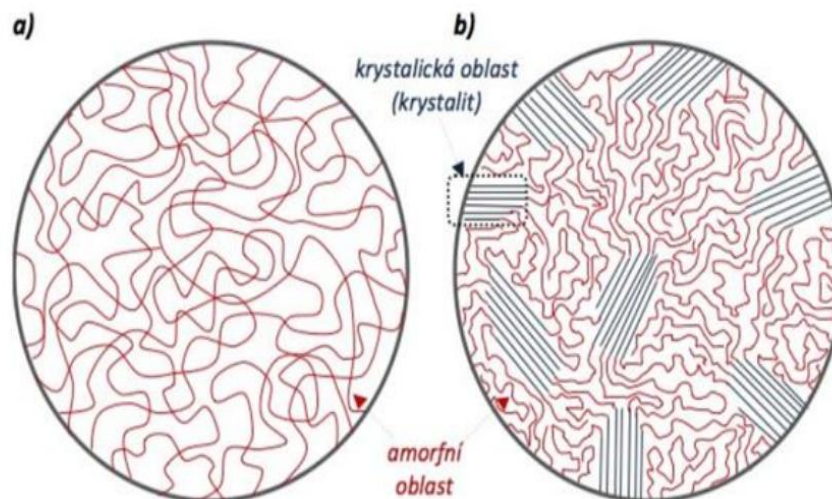
2.1 Rozdělení polymerů



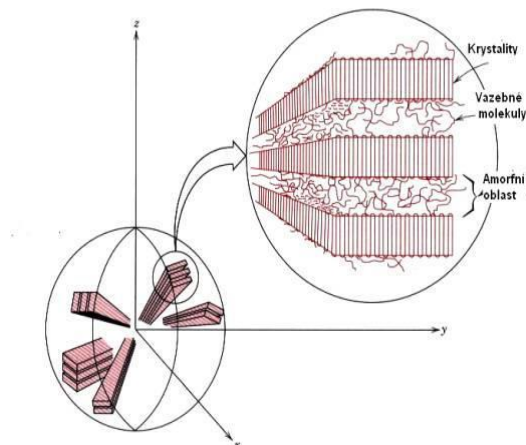
Obrázek 4 - Rozdělení polymerů

2.1.1 Podle molekulární struktury

- amorfní:
 - kde makromolekuly zaujímají zcela příležitostnou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) průhledné, resp. dle propustnosti světla čiré (92 % propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60 % propustnosti světla). Součinitel teplotní roztažnosti alfa je menší než u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zeskenění T_g .
- krystalické (semikrystalické):
 - které vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se stanovuje jako stupeň krystaliniky (pohybuje se od 40 do 90 %) a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM atd. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystaliniky. Použitelnost semikrystalických plastů je téměř do teploty tání T_m



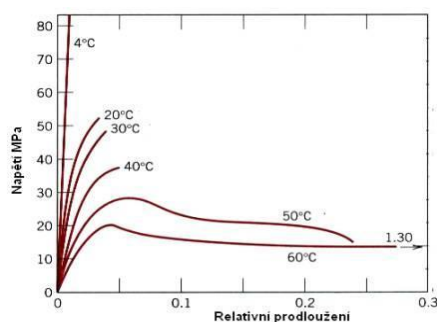
Obrázek 5 - Struktura: a) amorfní b) semikrystalická [4]Voldřich



Obrázek 6 - Sférolit

2.1.2 Na základě teplotního chování, podle působení teploty [6]

- Termoplasty:
 - jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání jdou do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd.
- Reaktoplasty:
 - jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zasíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů se děje mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo velmi obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci).
- Kaučuky, pryže a elastomery:
 - jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale jen omezenou dobu. Postupem dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zasíťování struktury, postupuje tzv. vulkanizace. Probíhá zde pouze fyzikální děj.



Obrázek 7 - Teplotní závislost mechanických vlastností polymerů

2.1.3 Podle aplikace a podle konstrukční složitosti vyráběných dílů

- plasty pro široké použití
 - mezi které patří: • polyolefiny (PE, PP), • polystyrénové hmoty (PS), • polyvinylchlorid (PVC), • fenol formaldehydové (PF) • močoviny formaldehydové hmoty (UF)
- plasty pro inženýrské aplikace, kam lze zařadit:
 - polyamidy (PA), • polykarbonáty (PC), • polyoximetylen (POM), • polymethylmetakrylát (PMMA), • terpolymer ABS, • polyfenilénoxid (PPO), • polyuretan (PU), • epoxidové pryskyřice (EP), • polyesterové pryskyřice (UP), plasty
- pro špičkové aplikace, do kterých lze zařadit:
 - polysulfid (PSU), • polyfenylénsulfid (PPS), • tetrafluoretylén (PTFE), • polyimidy (PI) a další. [7]

2.1.4 Podle druhu přísad

- neplněné plasty:
 - neplněný plast je takový plast, u kterého množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice.
- plněné plasty:
 - plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření apod.

Plniva dávají na hodnotě buď mechanické vlastnosti materiálu, nebo chemickou odolnost či tvarovou stálost a při zvýšené teplotě, jiné jednoduše jen hmotu zlevňují. Rozeznáváme vyztužující (skleněná, uhlíková, kovová či méně účinná bavlněná krátká nebo dlouhá vlákna, popř. textilní ústřížky do obsahu maximálně 50 %, a pro správnou funkci vyztužujícího plniva je důležité, aby bylo dokonale obaleno pojivem) a nevyztužující plniva ve formě prášku, které se přidávají se většinou z důvodu snížení ceny materiálu.

Jiná plniva (např. grafit) zlepšují kluzné vlastnosti, práškové kovy zlepšují tepelnou vodivost. Přídavkem sazí (zejména u polyolefinů) se zvyšuje odolnost proti UV záření atd.

Změkčovadla zlepšují houževnatost, zpracovatelnost a ohebnost materiálu, ovšem na úkor mechanických vlastností. Tvrdidla způsobují vznik příčných vazeb mezi makromolekulami a tím vytvrzení. Iniciátory a urychlovače polyreakcí ovlivňují účinek tvrdidla. Retardéry hoření působí samozhášivé, zpomalují proces hoření plastů nebo vůbec nedovolí zapálení plastu.

2.1.5 Podle polarit

- polární plasty:
 - mají trvalý dipól a mezi polární plasty patří PA, některé pryskyřice apod.

- nepolární plasty:
 - nemají trvalý dipól a patří sem PE, PP, PS apod.

2.1.6 Podle původu

- Přírodní:
 - jsou vloženy na přírodních makromolekulárních látkách, např. na bázi celulózy, latexu, kaseinu atd.
- syntetické
 - k výrobě je použita chemická cesta.

2.2 Popis jednotlivých materiálů

Abychom mohli správně vyrobit výrobek, musíme znát charakteristiku jednotlivých materiálů, o kterých si něco povíme, jde hlavně o materiály ke vstřikování a 3D Tisk.

- **ABS akrylonitrilbutadienstyren [6,7]**

ABS je amorfní termoplastický průmyslový kopolymer, který je odolný vůči mechanickému poškození. Tuhý, houževnatý, dle typu odolný proti nízkým i vysokým teplotám, málo nasákavý, zdravotně nezávadný. Je odolný vůči kyselinám, hydroxidům, uhlovodíkům, olejům, tukům.

Mezi nejzákladnější patří užití při výrobě nábytku, lahví, cestovních kufrů, využití v 3D tisku a při zapravení hran u rovných i u tvarových laminovaných dřevotřískových desek. Na lepení těchto hran jsou určeny speciální stroje (olepovačky hran), které lepí ABS hrany na díly z lamino desek pomocí tavného lepidla. Současně je užívanější než klasické PVC a melaninové hrany při lemování velkoplošných desek. Vyrábí se z něj také většina kostek LEGO a airsoftových zbraní.

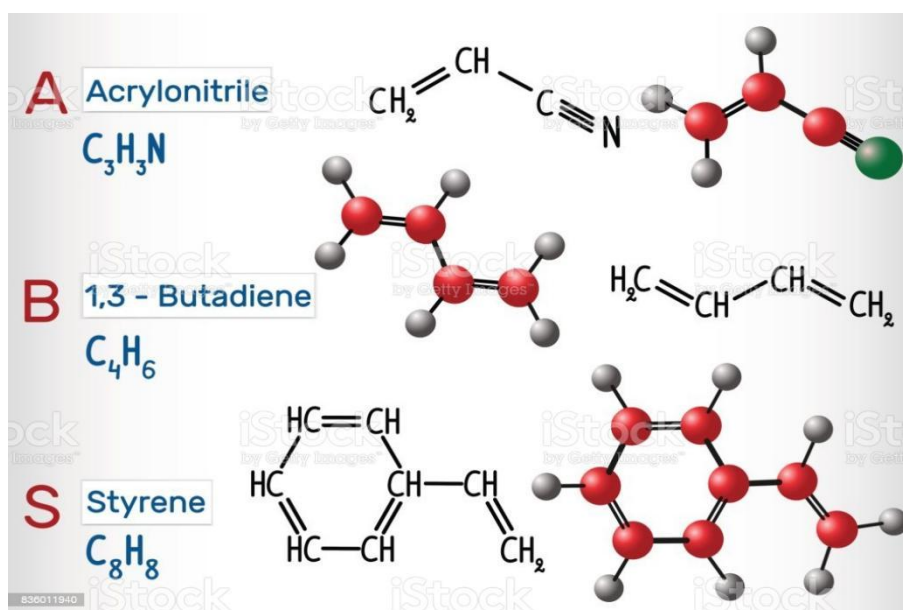
ABS je často používán pro výrobu kojeneckých láhví, kde vyniká vysokou tepelnou odolností zdravotní nezávadností.



Obrázek 8 - Granule ABS



Obrázek 9 - Míč na cvičení



Obrázek 10 - Chemický vzorec ABS

- **PP - Polypropylen**

Je termoplastický polymer, který patří mezi nejběžnější plasty. Používá se v potravinářském, textilním, chemickém průmyslu, ale také i v laboratorních vybaveních. Obecně je tvrdý, pružný, hlavně, když je kopolymerován s ethylenem.



Obrázek 11 - Granule polypropylenu



Obrázek 12 - Výrobek z polypropylenu

- **Pryskyřice**

Pryskyřice je přirozeně se vyskytující látka, kterou vytvářejí určité stromy. Tato viskózní tekutina byla vědci replikována a nazývá se syntetická pryskyřice. Syntetické pryskyřice mají vlastnosti, které jsou velmi podobné jejich přirozeně se vyskytujícím protějškům, z nichž nejdůležitější je schopnost ztvrdnout působením tepla nebo tlaku nebo kombinace obou. Produkty, které jsou vytvořeny pomocí syntetické pryskyřice, zahrnují automobilové díly, nádoby na potraviny a potrubí.

Syntetická pryskyřice se obvykle vyrábí za použití procesu chemické polymerace. Zdarem tohoto procesu je vytvoření polymerů, které jsou stabilnější a homogennější než přirozeně se vyskytující pryskyřice. Protože jsou stálejší a levnější, používají se různé formy syntetické pryskyřice v různých výrobcích, jako jsou plasty, barvy, laky a textilie.

Nejběžnějším typem produktu v této třídě syntetických pryskyřic je polyester – také nazývaný nenasyčená polyesterová pryskyřice. Polyester je široce používán v textilním průmyslu pro své vysoce pevné vlastnosti založené na vláknech. Další běžnou aplikací tohoto typu pryskyřice je epoxidová pryskyřice, která se používá v průmyslových materiálech a konstrukcích pro své vysoké pevnostní vlastnosti. Polyuretan je další forma tohoto typu pryskyřice a používá se pro širokou škálu produktů včetně vnějších automobilových dílů, jako jsou pneumatiky a nárazníky, jakož i pro izolační a povlakovací účely.

- **PC - Polykarbonát**

je jedním z termoplastů, který se snadno zpracovává vstřikováním ani na 3D tisk. Materiál je velice pevný, pružný, odolný a nerozbitný. Polykarbonát, který je univerzálním materiálem s atraktivními

zpracovatelskými a fyzikálními vlastnostmi, je lákavý pro nespočetné menší aplikace. Běžně se z něj vyrábí lahve na pití, sklenice a nádoby na potraviny.



Obrázek 13 - Granule polykarbonátu



Obrázek 14 - Výrobek z polykarbonátu

- **PA - Polyamid**

Jsou lineární polymery, používají se nejčastěji jako konstrukční plasty, z kterých se vyrábějí vysoce namáhané součásti pro různorodé odvětví



Obrázek 15 - Granule polyamidu 6-66



Obrázek 16 - Výrobky z polyamidu

- **PE - Polyethylen**

Má nízkou hustotou. Obvykle se nachází v plastových sáčcích a nádobách na skladování potravin.



Obrázek 17 - Granule polyethylenu



Obrázek 18 - Granule polyethylenu

- **TPU- Termoplastický polyurethan**

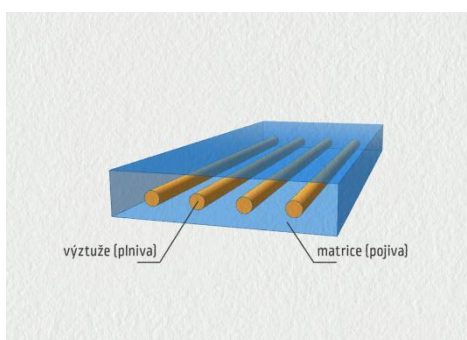
spadá do skupiny elastomerů. Je to materiál charakterizující se vysokou elasticitou a tepelnou zpracovatelností. Vyznačuje se také vysokou kvalitou a nadstandardními vlastnostmi, jimiž převyšuje srovnatelné podlahy na trhu. Termoplastický polyuretan je také vysoce odolný, proto je v současnosti velmi oblíbený.



Obrázek 19 - Výrobek z TPU

3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

I kompozitní materiály patří do skupiny polymerů, které se dají vstříkovat a tisknout na 3D tiskárně. Složené neboli kompozitní materiály mají před homogenními materiály řadu předností. Kombinací dvou nebo více materiálů, případně několika fází, lze výhodně kombinovat i jejich vlastnosti. Často se tak dosahuje lepších výsledných vlastností, než by odpovídalo prostému součtu vlastností složek. Kompozity mohou být lehké, a přitom si zachovat pevnost a tuhost. K tomu přistupuje vyšší houževnatost, tepelná odolnost, rozměrová stálost, odolnost proti oděru a také nižší cena. Jsou to materiály, jejichž význam ve všech oblastech techniky neustále roste. [8]



Obrázek 20 - Struktura kompozitních materiálů

3.1 Definice a dělení kompozitních materiálů

Kompozitem rozumíme materiál, který je složený z matrice neboli pojiva (tato fáze je v kompozitu spojitá) a z výztuže ve formě částic nebo vláken. Obvykle jsou použity částice nebo vlákna tužší a pevnější než matrice, takže zvyšují její tuhost a pevnost, mluvíme proto o vyztužujících elementech.[3]

Při rozšiřujících se možnostech kombinování složek, které kompozity vytvářejí, stává se jejich členění komplikované. [8]

Kompozity se nejčastěji dělí:

a) podle materiálu matrice na:

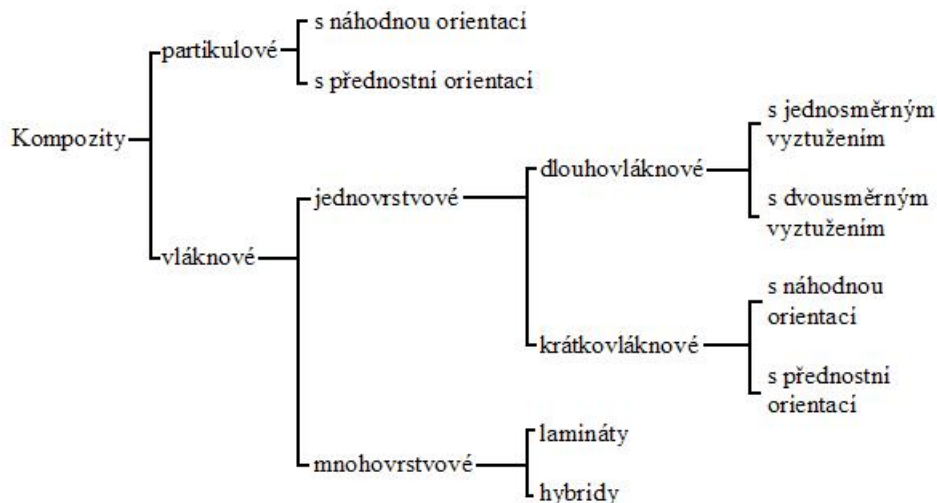
- kovové kompozity (např. slitiny, kovy zpevněné disperzemi, kovy vyztužené částicemi, kovy vyztužené vlákny)
- polymerní kompozity (termoplasty, reaktoplasty)
- keramické kompozity a ostatní organické kompozity (obvykle na silikonové, vápenaté nebo síranové bázi)

b) podle druhu zpevňující fáze:

- kompozity s kovovou zpevňující fází

- kompozity se skleněnou zpevňující fází
- kompozity s keramickou zpevňující fází
- kompozity zpevněné vláknovými monokrystaly (whiskery)

c) podle tvaru výztuže plniva:



d) podle použití:

- vysoko pevné kompozity pro použití při běžných teplotách,
- žárupevné kompozity pro použití při vysokých teplotách
- speciální složené materiály. [5,7,8]

3.1.1 Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie výztuže

Při geometrickém popisu systému je třeba uvažovat jednak charakteristiky dispergované fáze, zejména:

- tvar částic
- velikost a distribuci velikosti částic, jednak charakteristiky systému, tj.: - koncentraci a koncentrační distribuci částic
- orientaci částic
- topologii částic. [5]

Tvar částic

základních idealizovaných tvarů částic plniva je pět: sférický (kulovitý), kubický (kostkový), pinakoidální (hranolový), lamelový (šupinkovitý), jehlicovitý (fibrilární, vláknitý). Většina reálných plniv má však částice, které se navzájem odlišuje tvarem a velikostí. Tvar částic se mění od pravidelných krystalických forem až po celkem nepravidelné zrnité a vláknité formy, které vznikají při úpravě např. drcením a mletím.

Velikost a distribuce

velikosti částic určují texturu materiálu a spolu s objemovým poměrem fází také vnitřní povrch, který je důležitý pro vzájemně působící chování fází.

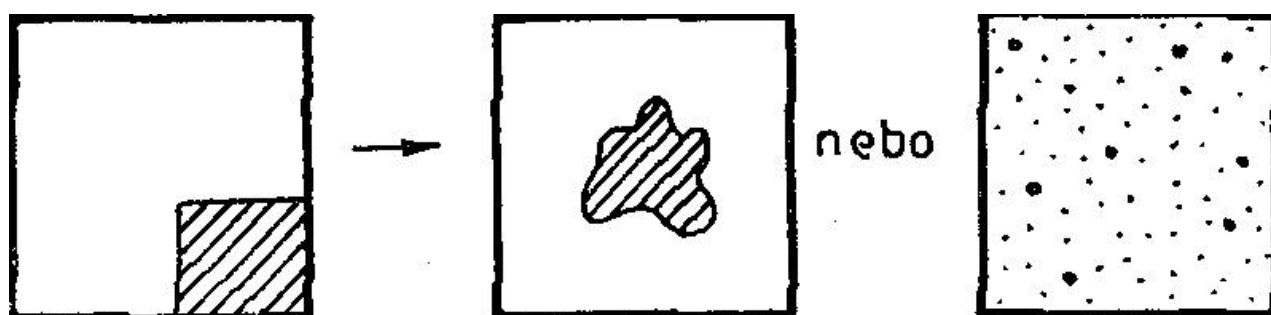
Distribuce velikosti částic je charakterizována kvantitativním zastoupením jednotlivých velikostí částic ve vzorku plniva. Granulometrické složení plniva se znázorňuje obvykle distribuční křivkou.

Koncentrace

je objemová část dispergované fáze. Někdy se uvádí jako hmotnostní podíl, avšak s ohledem na rozdílné měrné hmotnosti fází a různé povrchy jsou takové údaje téměř bezcenné pro popis a predikci chování kompozitu.

Koncentrační distribuce

popisuje rozsah smíšení fází a lze ji považovat za nejdůležitější jednotné měřítko quazihomogenity systému.

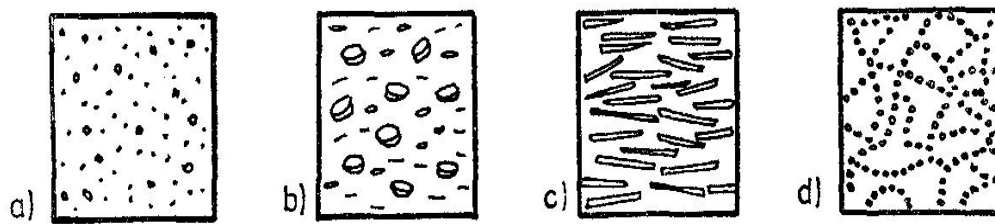


Obrázek 21 - Různé koncentrační distribuce

Každá jiná nezávislá geometrická proměnná, která může být popsána distribuční funkcí je nezávisle ovlivněna smíšením a zpracováním a je zvláštním kritériem quazihomogenity.

Orientace částic

ovlivňuje izotropii systému. Výrobní technologie míšení, válcování, lisování, vytlačování atd. budou v případě nekulových částic způsobovat neplánovanou orientaci částic, a tím budou vytvářet anizotropii (obr. č.7). Vznik nechtěné orientace je jedním z hlavních problémů průmyslové výroby kompozitu. Zamýšlená orientace naproti tomu přináší jednu z největších výhod při návrhu konstrukcí z kompozitu.



Obrázek 22 - Některá možná uspořádání částic

- a) náhodně uspořádané koule
- b) orientované destičky
- c) orientovaná diskontinuální vlákna
- d) řetězcově agregované koule [5,7,8]

Topologií

Topologií částic rozumíme jejich vzájemný prostorový vztah. Např. disperze stejných kulových částic tvoří agregát, v němž jsou částice v dotyku, může vzniknout i při značně rozdílných koncentracích. [6, 11]

4 NAVLHAVOST, NASÁKAVOST

Abychom mohli správně zvolit na výrobu daný polymer, musíme znát i navlhavost a nasákavost.

Vlastnosti polymerů podléhá na obsahu vlhkosti. Nasákavost a navlhavost je měřítkem odolnosti polymeru proti vodě jako fyzikálně aktivnímu prostředí. Přijímání vody polymerem z vlhkého ovzduší se nazývá navlhavost, přijímáním do vody nasákavost [10]

Navlhavost je obecně schopnost látek přijímat vlhkost z okolního prostředí. Jedná se o dlouhodobý proces, který probíhá do té doby, než je dosaženo tzv. rovnovážného stavu, kdy vlhkost látky, potažmo polymeru, odpovídá relativní vlhkosti okolního prostředí. Nejedná se tedy o materiálovou konstantu. Doba, po kterou bude polymer navlhat, závisí především na jeho chemickém složení, relativní vlhkosti a teplotě okolí i tloušťce polymerního dílu. [11]

Důsledkem navlhavosti polymerů je:

- pokles meze pevnosti a modulu pružnosti,
- zvýšení houževnatosti a tažnosti,
- zhoršení elektrických izolačních vlastností,
- zhoršení odolnosti materiálu vyšším teplotám,
- pokles pevnosti svarového spoje,
- zvětšení rozměrů výrobku apod.

4.1 Stanovení vlhkosti

K měření vlhkosti polymeru lze přistoupit několika způsoby. V technické praxi se uplatňují jiné metody:

- Stanovení vlhkosti pomocí halogenového analyzátoru. Metoda pracuje na termogravimetrickém principu, kdy vlhkost materiálu je stanovena na základě úbytku hmotnosti při jeho zahřívání. Výhodou halogenového analyzátoru je rychlost zahřívání, neboť halogenový modul potřebuje kratší dobu pro dosažení maximálního topného výkonu než např. infračervený modul.
- Stanovení vlhkosti pomocí sondy s vyhodnocovacím přístrojem na principu měření rovnovážné vlhkosti. Zařízením se měří vlhkost nasycených par mezi granulemi v sušárně. Přístroj měří v % relativní vlhkosti, a pokud chceme znát skutečnou vlhkost v % obsahu

vody polymeru, je nutné do vyhodnocovacího přístroje zadat příslušnou sorpční křivku pro daný materiál. Nevýhodou této orientační (nepřesné) metody je potřeba znalosti sorpčních křivek polymerů, které jsou pro přesné vyhodnocení vázány na příslušné složení materiálu.

- Zda je materiál dostatečně vysušený lze v praxi orientačně zjistit *metodikou TVI* (Tomasetti's Volatile Indicator) firmy Bayer. Při testu se porovnávají obrazce vzniklé roztavením polymeru uzavřeného mezi dvě laboratorní sklíčka, která jsou umístěna na topné desce. [2,10]

5 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ

Pokud chceme vyrábět věci z polymerů nebo kompozitů, musíme znát jejich tuhost, pevnost, tvrdost, houževnatost, deformaci a jakými zkouškami můžeme kontrolovat, abychom měli výrobek, jaký chceme mít.

5.1 Mechanické vlastnosti polymerů

● Tuhost

vyjadřuje sílu, kterou je nutno vynaložit pro deformaci tělesa v pružné oblasti deformací. Mírou této síly je modul pružnosti ve smyku a v tahu.

● Pevnost

polymerů se odlišuje v návaznosti na jejich molekulární i nad molekulární strukturu. Tvary tahových křivek se liší podle toho, zda daný polymer se nachází v oblasti teplot pod či nad teplotou skelného přechodu T_g . U amorfních polymerů pod T_g dochází k přetržení tělesa ihned po překonání pružné deformace. Některé semikrystalické polymery mají schopnost se dále zpevňovat po překonání meze kluzu a napětí na mezi pevnosti pak může být i několikrát větší než napětí na mezi kluzu.

● Tvrdost

je složitou veličinou, která souvisí jak s kvalitou povrchu, tak s vnitřními vlastnostmi polymeru. Zejména u elastomerů existují empirické vztahy přepočtu mezi tvrdostí a modulem pružnosti ve smyku. Literatura uvádí tvrdosti, které jsou obvykle používány pro charakterizaci elastomerů, dále tvrdosti HRC pro tvrdé polymerní materiály pod T_g a nejobsáhleji používané tvrdosti vtiskem kuličky.

● Houževnatost

je důležitou vlastností materiálu, která vyjadřuje množství práce potřebné na vznik nového povrchu. Tuto vlastnost materiálu lze nejlépe vystihnout hodnotou lomové houževnatosti K_c a hnací síly trhliny G . Tyto údaje se naneštěstí v literatuře nevyskytují a jsou předmětem dalších zkoušek. Většinou je nutné se omezit na údaje, které poskytují plastikářské zkušební metody, tj. rázová houževnatost metodou Charpy a Izod s vrubem a bez vrubu. Vzhledem k tomu, že pro vysoce houževnaté materiály je nutné použít tělesa s jiným tvarem vrubu než u méně houževnatých materiálů, je vzájemné srovnání na základě číselných údajů o vynaložených energiích složité. [6]

5.2 Druhy zkoušek mechanických vlastností

Při technickém použití plastů nás běžně zajímá jejich mechanická pevnost proti různým působením síly. Používané zkušební metody můžeme rozdělit do tří skupin:

- **Statické zkoušky** – při těchto zkouškách je materiál namáhán pomalu se měnícími silami. Síla se zvyšuje rovnoměrně pomalu, běžně do okamžiku porušení tělíska.
- **Dynamické zkoušky** – působením síly se mění buď rázem, nebo za velmi krátký časový úsek. Někdy se pracuje také tak, že působení síly je dlouhodobé, ale její velikost se mění periodicky v extrémně krátké době.
- **Únavové zkoušky** – Mechanické vlastnosti se zkoušejí dlouhodobě za předepsaných podmínek časově proměnného namáhání, obvykle až do porušení materiálu. Pro jednotlivé druhy plastů tyto zkoušky bývají rozličné.

Mechanické zkoušky většinou neprovádíme na samotné součásti, ale na zkušebních vzorcích předepsaného tvaru a rozměrů. [6]

5.3 Příprava zkušebních těles

Výsledky mechanických zkoušek jsou závislé nejen na vlastnostech polymeru, tj. chemické složení, molekulové hmotnosti, krystalinitě, obsahu nečistot apod., ale ve značné míře i na režimu zpracování a způsobu přípravy zkušebních tělísek. Pro přípravu zkušebních tělísek neexistuje jednotný předpis pro všechny polymery, nebo pro všechny zkoušky. Zde je možno vysvětlit jen obecné zásady a v jednotlivých konkrétních případech je nutné se řídit materiálovými nebo zkušebními normami.

V principu se zkušební vzorky připravují buď:

- **Přímo ze zkoušené suroviny**

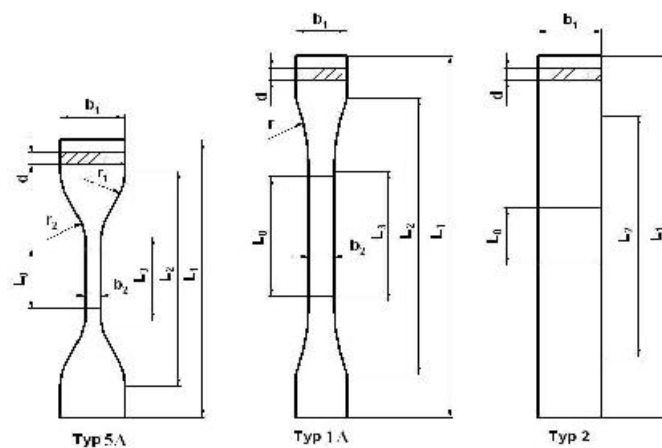
Používá se metod vstřikování, lisování, nebo vytvrzování v náležejících formách. Při každém způsobu je nutný určitý dohodnutý systém. Při vstřikování do chladné formy dojde na stěnách k prudkému ochlazení taveniny a tělísko má pak na povrchu převážně amorfní strukturu, do středu přibývá krystalické struktury, a zvláště u silnostěnných tělísek jsou vyvinuté i sférolity. Ve výstřiku se pak ještě dlouhou dobu po vytažení z formy vyvíjí krystalická struktura a je proto pro zkoušky nevhodný.

Při vstřikování do teplé formy tavenina chladne pomalu a vyvíjí se dobře krystalická struktura. Tělísko je buď již s krystalickou strukturou, nebo se růst krystaliniky dokončí při kondicionování. Jiným způsobem přípravy zkušebních tělísek je vytvrzování v příslušných formách. Provádí se to např. pro epoxidové kompozice. Epoxidová pryskyřice (tekutá) s tvrdidlem se vlije do formy.

Vzhledem k tomu, že epoxidové pryskyřice mají znamenitá přilnavost ke kovům, vznikají problémy s vyjmutím tělísek. Formy jsou proto poteflonovány nebo se používá silikonových separátorů.

● Vyřiznutím a strojním opracováním

V některých případech se zkouší jakost výrobků tak, že na předem určených místech se část vyřízne a strojně opracuje. Musí se opět dbát na to, aby při strojním opracování nedošlo k mechanickému porušení, tj. štípání, tavení apod. Zkušební tělíska se pak ještě jemně dobrušují a leští. Zkušební tělíska ať jsou již připravena jakýmkoliv způsobem, mívají různé tvary buď podle předepsané zkoušky, nebo podle druhu materiálu.



Obrázek 23 - Tvary zkušebních tělísek pro zkoušky tahem

5.4 Zkouška tahem

Jednou z nejdůležitějších zkoušek materiálu hodnotících jeho pevnost je tahová zkouška. Při zkoušce tahem je materiál zatěžován silou tak, že dojde k jeho porušení. Je nutné si předem uvědomit pochody při namáhání tahem. Jestliže budeme působit na průřez tělesa S silou F , bude osově napětí působící v průřezu zkušební tělesa při tahové zkoušce

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

Průřez tělesa se nám při zkoušce však bude měnit až do momentu, kdy se dosáhne rovnováhy mezi deformací a napětím. Při dalším zatěžování síly se dostaneme do okamžiku, kdy se těleso roztrhne. Jelikož průřez tělesa se při zkoušce stále mění, je zjišťování skutečného napětí obtížné. V praxi se obvykle pracuje s tak zvaným **smluvním napětím**, což je síla vztažená na počáteční průřez zkušební tělesa:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1.2)$$

Tento způsob vyjadřování je vžitý pro kovy a byl také převzat pro plasty. Tam, kde dochází k malým deformacím, jako jsou reaktoplasty, polystyren apod., tento stav ještě vyhovuje.

U elastomerů, kde nadchází prodloužení o několik desítek procent, je však již potom podstatné zmenšení průřezu tělesa a tím i velký rozdíl mezi napětím na začátku a na konci zkoušky.

5.5 Zkouška ohybem

Zkouška ohybem dává podstatné konstrukční podklady pro ty polymerní materiály, které jsou při aplikaci zatěžovány na ohyb, což je velmi častý případ. Ohybová zkouška také umožňuje stanovit modul pružnosti E u materiálů, u kterých to nelze dostatečně přesně určit z tahových nebo tlakových zkoušek. Při ohybu je napětí v principu rozloženo tak, že v horních vrstvách je tahové a směrem k neutrální ose se zmenšuje a přes nulové napětí se mění v dolní polovině průřezu na tlakové. [8,9]

6 NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Jelikož jsem se rozhodla pro vstřikování a 3D Tisk, tak si musíme povědět o materiálech ke vstřikování.

Nezákladnější skupinou materiálů použitelných pro vstřikování jsou termoplasty, jelikož umožňují velmi produktivní a laciné zpracování a současně nabízejí obrovskou škálu vlastností a barev. Jsou vyráběny v sortimentu od levných plastů širokého použití až k drahým tzv. konstrukčním plastům, které mají chemickou odolnost a větší pevnost za zvýšených teplot. [10,11]

7 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikováním se vyrábějí polotovary či konečné výrobky. Takto zhotovené výrobky jsou charakterizovány velmi dobrou rozměrovou a tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Jedná se o nejpoužívanější technologii využívanou pro zpracování plastů. Touto technologií se zpracovávají téměř všechny termoplasty a v omezené míře i některé reaktoplasty a kaučuky. Vstřikováním se zpracovávají plasty tak, že je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta do uzavřené tvarové dutiny kovové formy, kde vstříknutý plast zaujímá její tvar a tvrdne ve finální výrobek. Výhodou této technologie je krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s žádanými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou kvalitou povrchu, dále i možnost odstranění potřeby konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou této technologie jsou pak vysoké prvotní investiční náklady, dlouhé doby výroby forem a velké zástavbové rozměry strojního zařízení, neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem. [6]

7.1 Vstřikovací cyklus

Tento cyklus začíná prázdnou tvarovou dutinou a otevřenou vstřikovací formou. Stroj dostává impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se uzavírá a uzamyká. Poté dochází k pohybu šneku v tavicí komoře a začíná vstřikování taveniny do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává axiální pohyb a neotáčí se, plní funkci pístu. Po naplnění formy dochází k dalšímu stlačení taveniny v dutině a tlak dosahuje maximální hodnoty. Při chladnutí dochází ke smrštění hmoty a zmenšení objemu, aby na výstřiku nevznikaly propadliny a staženiny, je nutno kompenzovat zmenšování objemu do tlakem taveniny do dutiny formy. Aby bylo možno taveninu dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem tekutého plastu. [6]

7.2 Vstřikovací forma

Vstřikovací forma je nástroj, který je upínán na vstřikovací stroj a v průběhu vstřikování plněn roztaveným plastem. Celá forma je složena z jednotlivých částí, které plní požadované funkce. Těmito funkčními systémy je vyhazování výstřiku, temperace formy a její odvzdušnění. Dalším důležitým prvkem je rám formy, který je nositelem funkčních částí, a případně i posuvné boční čelisti apod. [6]

7.3 Rám formy

Rám formy tvoří základní stavební jednotku, v které jsou uloženy jednotlivé funkční části. Dělí se na pojízdnou a pevnou část. Rám formy je sestaven z desek a obsahuje vodící elementy pro pohyblivé části formy. Musí zajistit vystředění a bezpečné upnutí na vstřikovací stroj. [6]

7.4 Vtokový systém

Kvalita a jakost výstřiku je výrazně působena právě vtokovým systémem. Je tvořen ústím vtoku a systémem kanálů, které musí zajistit správné naplnění dutiny formy a snadné odloučení či vyhození vtokového zbytku. Druh a umístění ústí vtoku má značný vliv na proudění taveniny v dutině formy, vytváření studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod.[6]

7.5 Temperační systém

Pro dosažení neměnných teplotních podmínek je nutné využít temperačního systému, který je tvořen soustavou kanálů, jimiž proudí chladící či vyhřívací medium. Nejvhodnější teplota uvnitř nástroje je dosažena ochlazováním případně vyhříváním celé formy nebo její části.

Temperace napomáhá dohmátnout optimálně krátkého (tedy ekonomického) pracovního cyklu vstřikování při zachování technologických požadavků na výrobu. Dále má významný vliv na plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. [6]

7.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k vytlačování nebo vysunutí zhotoveného výstřiku z formy. Tento systém napomáhá zajistit automatizaci výrobního cyklu. Vyhazování má dvě fáze. V první fázi se koná dopředný pohyb, který zajišťuje vlastní vyhození výstřiku. V druhé fázi se koná zpětný pohyb, kdy se vyhazovací systém vrací do původní polohy. [6]

7.8 Odvzdušnění

Vzhledem ke krátké době vstřiku je odvzdušnění tvarové dutiny formy velmi důležité. Bez odvzdušnění může docházet k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny taveninou plastu, k nebezpečnému zvýšení tlaku, k poklesu pevnosti v místech studených spojů nebo k tzv. diesel efektu, kdy dochází až ke spálení výstřiku. [6]

7.9 Dotlak

Fáze dotlačování kompenzuje zmenšení objemu taveniny, ke které dochází vlivem jejího chladnutí. Dílčím úkolem je kompenzovat prudký nárůst tlaku v dutině formy, tzv. tlakovou špičku, která může vzniknout na konci fáze vstřikování. Zdáli dojde k prudkému nárůstu tlaku, závisí na přesném načasování přepnutí na dotlak. Pokud dojde k přepnutí na dotlak opožděně, následuje prudký nárůst tlaku (tlaková špička) a je ho nutné kompenzovat, protože při zachování takto vysokého tlaku v dutině formy by mohlo dojít k její pružné deformaci a také vyvolání vnitřního pnutí a kroucení ztuhlého výstřiku, což by vedlo ke komplikacím s vyjmutím výstřiku z formy. Pokud však dojde k přepnutí na dotlak příliš brzo, je tlak ve formě při tuhnutí výstřiku příliš nízký a dochází, zejména u tlustostěnných výstřiků, k tvorbě povrchových propadlin a vnitřních staženin. Fáze dotlačování má tedy značný vliv na výsledné vlastnosti výstřiku a její správný průběh napomáhá k dokonalému vyplnění formy. [6]

8 3D TISK

8.1 Historie 3D tisku

Počátky technologie 3D tisku spadají do druhé poloviny 20. století, kdy si Charles Hull nechal v roce 1986 patentovat technologii stereo litografie. Hull je dnes označován často jako „otec 3D tisku“. Tato technika spočívá v trojrozměrném laserovém tisku s využitím UV laseru a tekutého fotopolymeru. Před koncem 90. let pak Hull pod hlavičkou jeho nové firmy 3D Systems vytvořil první zařízení tisknoucí v 3D formátu pro širokou veřejnost, tzv. stereo litografický aparát SLA-1. V té době se tomu ještě neříkalo 3D tiskárna, nicméně modely SLA se také staly základem vývoje dnešních 3D tiskáren či CNC strojů. SLA-1 byl využíván pouze beta zákazníky a postupně upravován až přišla na svět podoba SLA-250, která byla nabídnuta široké veřejnosti. StereoLithography Apparatus SLA-1 je doposud k vidění ve Fordově muzeu v Dearborn, Michigan.

8.2 Příprava 3D tisku

Předtisková příprava – Pokud máme již 3D model, který chceme vytlačit, musíme ho upravit do podoby, které bude tiskárna rozumět. Umožní nám také model otáčet, posouvat nebo měnit velikost. Následně už jen zvolíte jak detailní a pevný výrobek.

U 3D tisku musíte dodržet specifická pravidla.

Osobní 3D tiskárna ovšem není jen hračka. Je to také výrobní zařízení, které může malým a středním podnikům ušetřit mnoho času, práce a hlavně peněz. Je to ideální nástroj pro výrobu návrhů, funkčních prototypů ale i malých sérií.

8.3 Lékařský průmysl

V oblasti lékařského průmyslu je klíčové sloučit proces 3D tisku s pacientem. Je tak vhodné vytvářet nástroje na míru pro konkrétní pacienty, tím ušetřit drahocenný čas a také určit pro pacienty vhodná a pohodlná řešení, právě díky aditivní výrobě. Lze tak vyrábět mnoho zdravotnických prostředků, od naslouchátek a protéz, až po protetické ruce. Benefitem aditivní výroby je tvorba prvotních prototypů, umožňujících flexibilitu a schopnost reagovat na současné podněty ve velmi krátkém čase. Např. výroba ortéz, protéz a jiných zdravotnických nástrojů či materiálu dnes není pouze pro velké průmyslové společnosti. Tištěné implantáty nebo protetický tisk se stávají stále běžnějšími a dostupnějšími. Profesionální 3D tiskárny vytvářejí přesné anatomické repliky částí těla, podle potřeby

z lékařských snímků pacienta, nebo podle databází lékařských digitálních souborů. Touto trojrozměrnou reprezentací lze uskutečňovat předoperační trénink a procvičování různých výukových školení.[25]

8.3.1 Využití

V oblasti profesionální individuální péče o pacienty je 3D tisk stále rozšířenější technologií s cílem zlepšit zdravotní stav pacienta a kvalitu služeb. Provizorní protézy představují jen minimum toho, co lze pokročilejšími technikami vytisknout. Drasticky se tak mění průmyslová odvětví, od ortopedie, až po protetickou stomatologii. [25]

Aditivní výroba v oblastech biomedicíny představuje jedinečný proces, založený na přidávání látek se schopností vylepšit a upravit díly, které jsou extrémně komplikované. Tisk těchto biomateriálů se značně rozvíjí a umožňuje vyrábět kompatibilní tkáně nebo orgány. Především do budoucna by mohlo jít o velký pokrok v oblasti transplantace orgánů, nicméně tisk z plastu je samozřejmě primitivní oproti tisku živých buněk. I po výtisku takového orgánu ještě není vyhráno. Samotný tisk orgánů a tkání je v teprve v počátku, ale existují společnosti, které již využívají biotisk pro výrobu tištěných orgánů pro předklinické testování. Brzy se začnou nabízet modely tištěných lidských jater a uvažuje se dále o tisku lidských uší, srdečních chlopní nebo ledvin. Stále je ovšem velice obtížné zkoordinovat takové orgány, aby přesně došlo k přijetí pacientem.

9 LITERÁRNÍ A PATENTOVÁ REŠERŽE

Polymerní materiály můžeme rozdělit podle tepelného chování na termoplasty, reaktoplasty, elastomery a termoplastické elastomery. Pro technologii vstřikování se nejčastěji používají termoplasty. Základ polymerů tvoří makromolekuly, které jsou složeny z monomerů. Tyto makromolekuly se podle struktury dělí na lineární, rozvětvené a zesíťované. Z hlediska uspořádanosti makromolekul rozlišujeme polymery amorfnní a semikrystalické. Do jaké skupiny materiál spadá, ovlivňuje nastavení vstřikovacího lisu při vstřikování. U semikrystalických polymerů se musí brát ohled na velikost smršnění v důsledku krystalizace. Do termoplastů vhodných ke vstřikování se přidávají různé přísady a plniva pro zlepšení jejich zpracovatelnosti a výsledných fyzikálních vlastností. Plniva se dělí na částicová, vyztužující a nanoplňiva. Materiál obsahující plnivo, nebo směs dvou a více materiálů se nazývá kompozit. Polyamidy jsou semikrystalické materiály vhodné pro vstřikování. Používají se pro tvorbu vláken a jako konstrukční plasty. Mají velkou tvrdost, tepelnou odolnost, tuhost a pevnost a jsou značně navlhavé.

Hlavními výhodami této technologie je vysoká rychlost výroby, velká opakovatelnost, nízká cena práce a možnost zpracování různých plastových materiálů. Nevýhodou bývá především vysoká pořizovací cena vstřikovacího stroje a náklady na zhotovení vstřikovací formy. Vstřikování se v současnosti provádí převážně na šnekových vstřikolisech. Každý vstřikovací lis se skládá z několika komponent a k samotnému procesu vstřikování je potřeba vstřikovací forma s vtokovým systémem.

Princip vstřikování spočívá v natavení materiálu většinou v podobě granulátu pomocí šneku a topných pásem v plastikační komoře a jeho následném vstříknutí pod vysokým tlakem do ohřáté formy. Vstřikovací proces je cyklický a můžeme ho rozdělit na fázi plastikační, vstřikovací, dotlakovou a chladicí. Tento proces ovlivňuje několik parametrů, které můžeme měnit přímo na řídicí jednotce stroje. Jednotlivé parametry mají vliv na výsledné vlastnosti výrobku – výstřiku. Nejdůležitějšími z nich jsou: teplota formy, teplota jednotlivých zón v plastikační komoře, vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost, zpětný odpor šneku, obvodová rychlost šneku, velikost a doba dotlaku a doba chlazení.

Podobný výrobek má zapsaný patent SICHUAN PROVINCIAL PEOPLES HOSPITAL.

Předložený vynález se týká ochranného zařízení vhodného k poskytování ochrany uživatelům elektrických implantabilních lékařských prostředků před nárazy. Přesněji se předkládaný vynález týká ochranného zařízení vhodného k poskytnutí uživatelům kardiostimulátorů, jak vnitřních, tak vnějších, před ochranou před nárazy působením aplikovaných nebo vnějších sil. Přístroj obsahuje tuhý nebo polotuhý vnější plášť nebo vrstvu, nárazuvzdornou vnitřní podložku nebo vrstvu a

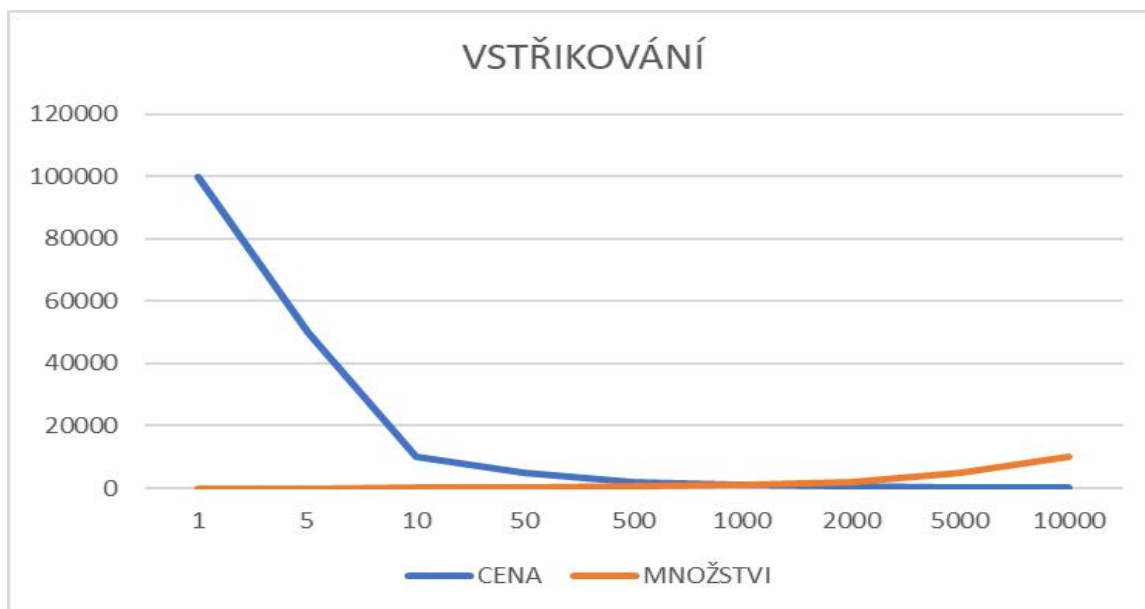
volitelně vybrání pro uložení externího elektronického zařízení. Vnější plášť nebo vrstva poskytuje odolnost proti nárazu a deformaci při rozložení nárazových sil. Vnější plášť nebo vrstva je vytvořena pomocí dostatečně tepelně poddajného materiálu, který je schopen formovat se na část těla obsahující nebo v kontaktu s elektronickým zařízením. Elektrické implantovatelné zdravotnické prostředky jsou dále chráněny vnitřní vložkou nebo vrstvou obsahující pěnu s uzavřenými buňkami o vysoké hustotě. Externí elektrický implantovatelný lékařský prostředek může být dále chráněn ve volitelném vybrání obsahujícím pěnu s otevřenými buňkami o nízké hustotě.

10 3D TISK VERSUS VSTŘIKOVÁNÍ

3D tisk je při větších objemových výrobních procesech často považován za dražší než vstřikování, ale už tomu dávno tak není. V mnoha situacích je 3D tisk cenově dostupnější díky rozsáhlým 3D tiskovým farmám, které využívají desítky až stovky 3D tiskáren pracujících 24/7.

Stačí se podívat na níže uvedený graf. Jedná se o porovnání nákladů za kus při výrobě vstřikováním a 3D tiskem.

Předpokládejme, že forma stojí zákazníka kolem sta tisíc korun. Náklady na formu pro vstřikovací lis se samozřejmě liší, záleží na velikosti a složitosti formy. Když vezmeme čas, práci a případné iterace tak je sto tisíc velmi dobrý odhad. Po vytvoření formy je cena za jeden kus velmi malá, počítejme kolem pěti korun.



GRAF 1 - Od kolika kusů je vhodná metoda vstřikování

Náklady na 3D tisk dílu, který by stál pět korun za kus vstřikováním, jsou však jen přibližně 30 korun (v případě sérií od vyšších stovek kusů) a není potřeba žádná počáteční investice.

3D tisk je výhodnější, pokud vyrábíte méně než přibližně 1 – 3 000 kusů, protože cena za kus s připočítanou cenou za formu u vstřikování spadne pod hranici ceny 3D tisku většinou někde mezi tímto množstvím.

Další výhodou 3D tisku je, že můžeme měnit design naší součástky a během výroby kdykoli, a tak můžeme změnit design. A u vstřikování znamená drahou výrobu další formy. S 3D tiskem

dostaneme náš produkt na trh mnohem rychleji, jelikož nemusíme čekat na dlouhou výrobu formy a ani na nastavení lisu.

Vše, co je potřeba k uvedení našeho produktu do výroby je soubor, modul 3D

Celkově je 3D tisk mnohem dostupnější než vstřikování plastů, jelikož na rozdíl od vstřikování je 3D tisk mnohem rozšířenější. Vstřikování je industriální proces, který nabízí jen velké firmy, které zpravidla neberou malé zakázky. 3D tisk snižuje naše riziko i výdaje, a proto je naprosto ideální i menší firmy.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

11 3D TISKÁRNA

Tisknu na tiskárně Ultimaker 2 + Comfort. Na této tiskárně můžeme tisknout doma, v kanceláři v učebně, určitě na ni oceníme, že má nejširší nabídku materiálů a stejně tak jako bezpečnou práci s nimi. Tiskárna je spolehlivá a má minimální údržbu.

Volitelné zakrytování Air Manager nabízí podtlakovou ventilaci s velkým filtrem pohlcujícím ultralehké částice.



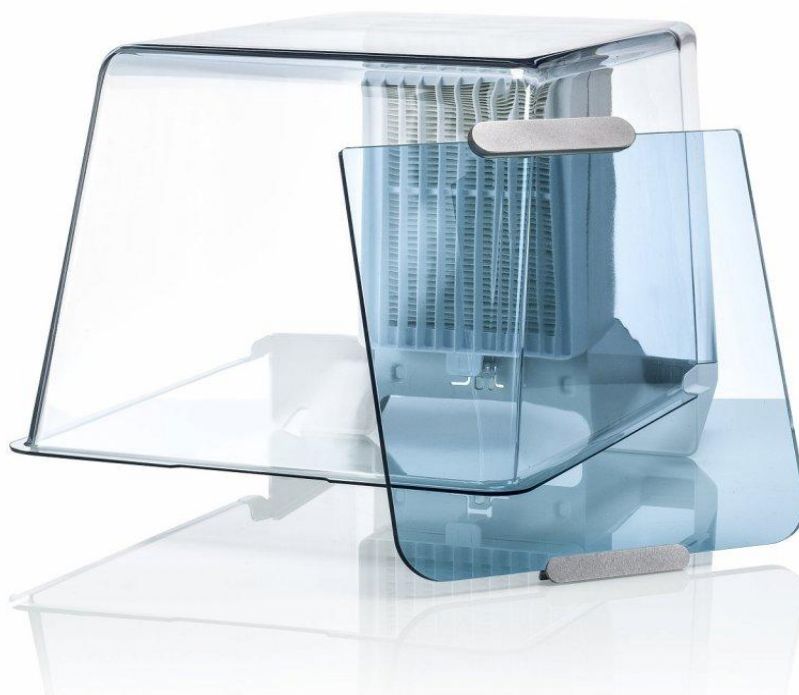
Obrázek 24 - 3D tiskárna Ultimaker 2 + Comfor



Obrázek 25 - Filtr Air Manager



Obrázek 26 - Filtr Air Manager

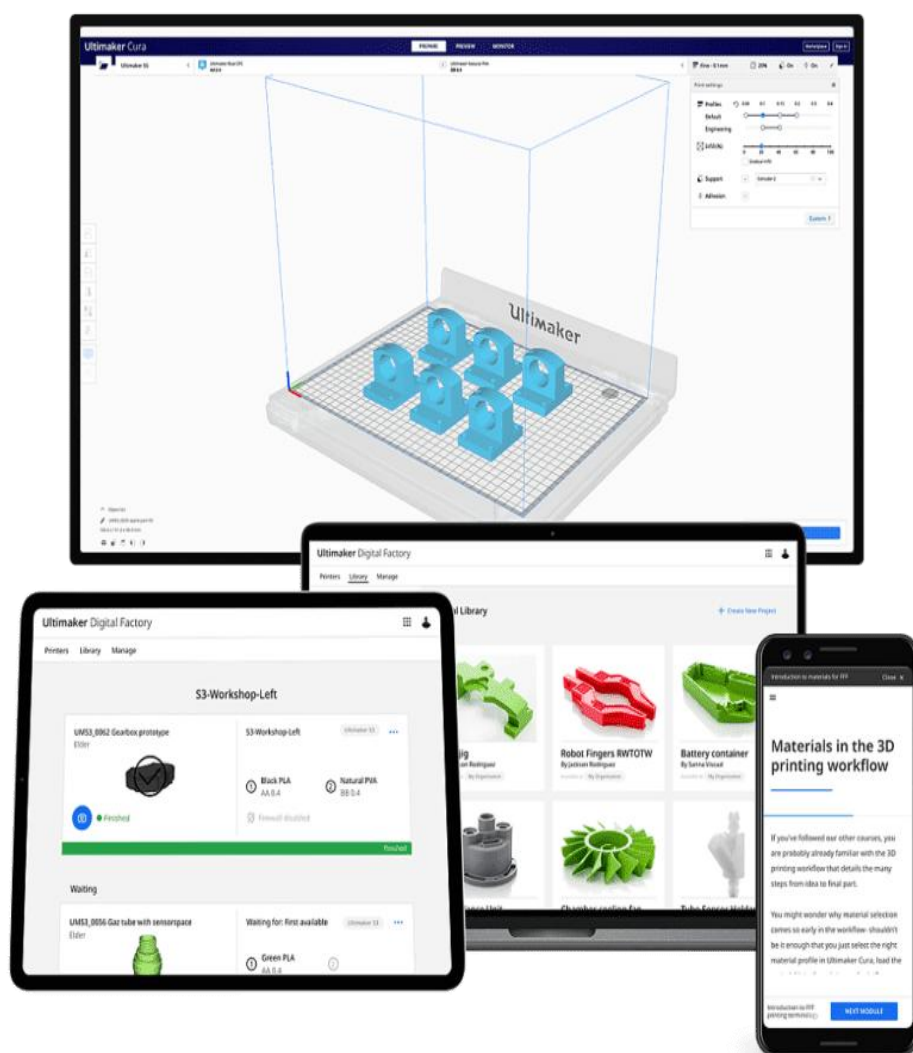


Obrázek 27 - Filtr Air Manager

Volitelné zakrytování přináší uživatelům větší jistotu při tisku náročnějších materiálů i více možností při umístění tiskárny na pracovišti. Je navrženo pro zvýšení bezpečnosti uživatelů, odfiltrovává až 95% ultrajemných částic. Horní a přední kryt chrání uživatele před nechtěným kontaktem s horkými a pohyblivými částmi 3D tiskárny.

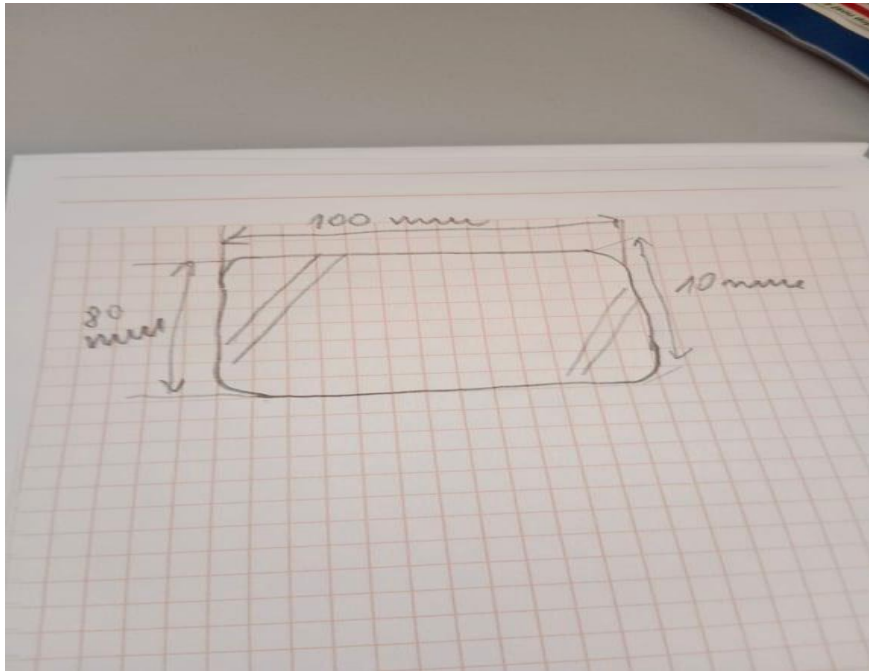
11.2 Software Cura

Spolehlivě tisknout 3D a skenovat není možné bez kvalitního softwaru pro práci s trojrozměrnými daty. Funguje tak, že rozřezává soubor modelu uživatele do vrstev a generuje g-kód specifický pro tiskárnu. Po dokončení může být g-kód odeslán do tiskárny pro výrobu fyzického předmětu.

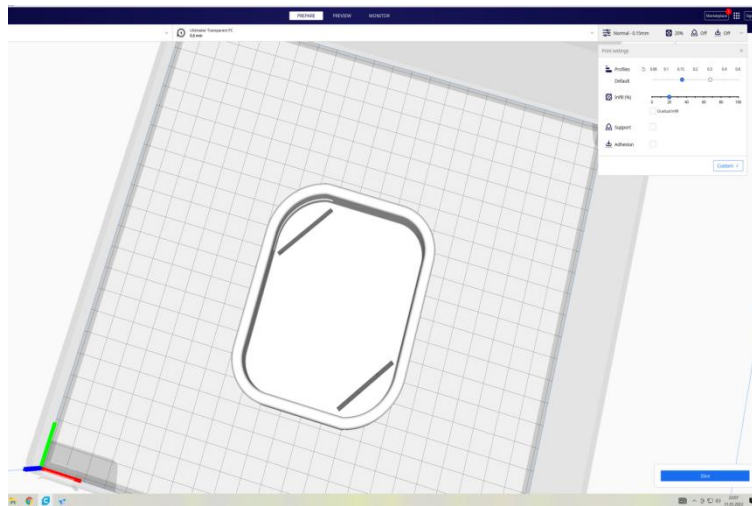


Obrázek 28 - Software Cura

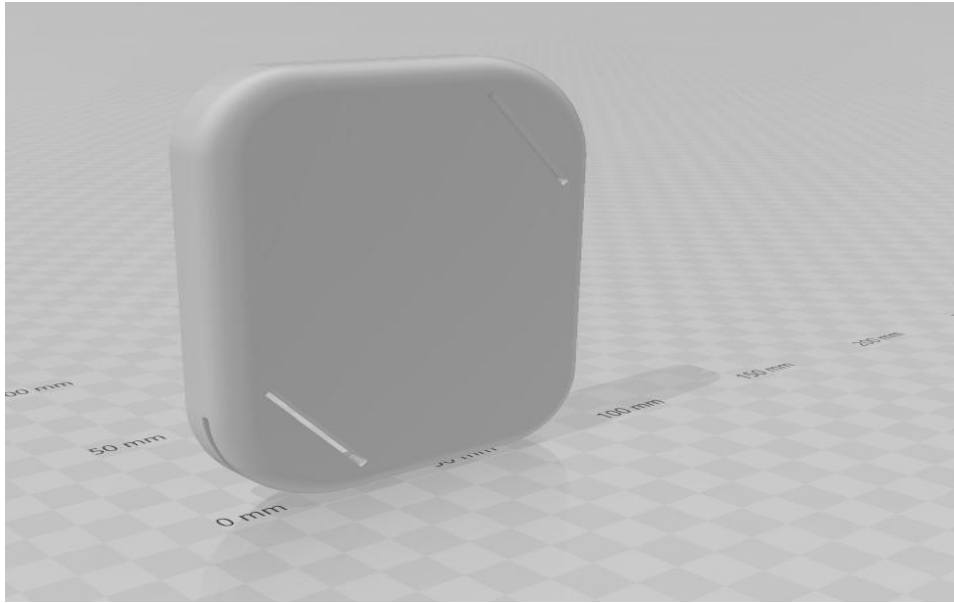
11.2 Nákres



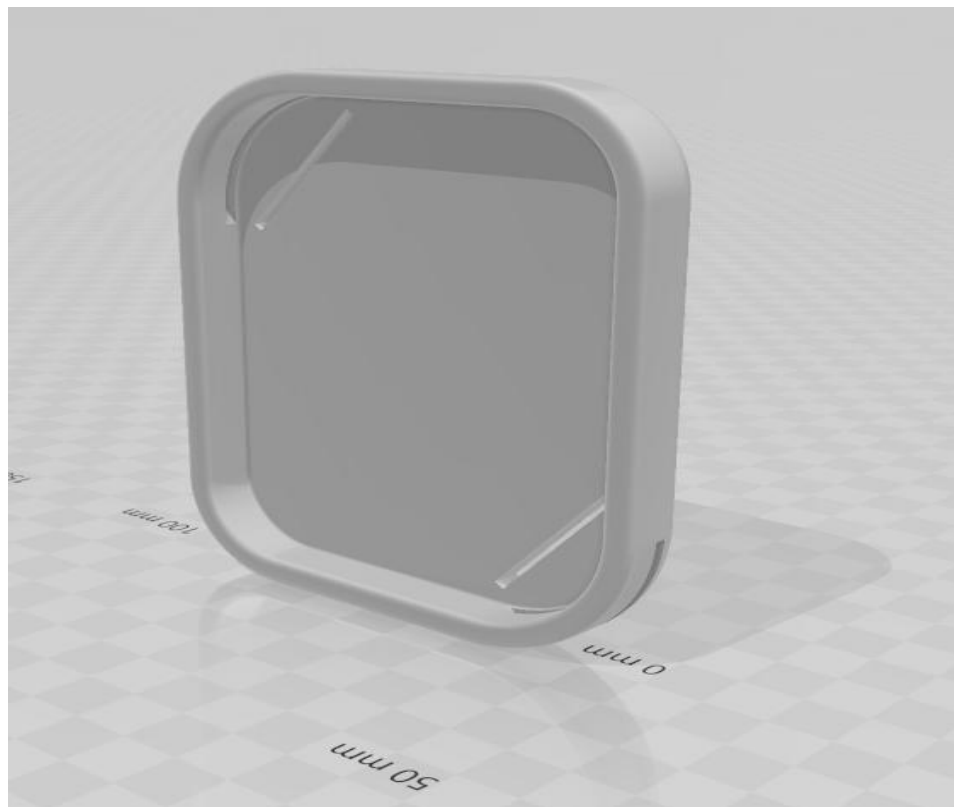
Obrázek 29 - Náčrt krytky



Obrázek 30 - Model do 3D tiskárny



Obrázek 31 - Vymodelovaný návrh



Obrázek 32 - Vymodelovaný návrh

V rámci praktické části jsem se zaměřila na studium polymerních kompozitů, ale zaměřila jsem se i na výrobu daného výrobku, který pomůže pacientům s ICD a KS mít plnohodnotný život a nemusí se bát poškození přístroje.

Možný materiál pro výrobu :

BASF Ultrafuse PA - Tisková struna postavená na materiálu Ultramid přináší unikátní mechanické vlastnosti díky svému chemickému složení, mj. vysokou pevnost, tuhost a teplotní stabilitu.



Obrázek 33 - Tisková struna BASF Ultrafuse PA

BASF Ultrafuse TPU 85A- Tiskový materiál využívající Elastollan nabízí vynikající odolnost proti hydrolýze, mikrobiologickým vlivům i opotřebení, dobrou pružnost při nízkých teplotách, vysokou pevnost v tahu a dobré tlumící vlastnosti.

	měření 1	měření 2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	190	210	230	250	300
Charpy kJ/m ²	6,42	6,02	5,8	5,4	4,98
Modul v ohybu Mpa	84,68	83,21	82,98	81	77,24
tvrdost D	82	84,23	84,65	85	86,25

Tabulka 1 - Materiálů BASF Ultrafuse PA



Obrázek 34 - Tisková struna BASF Ultrafuse TPU 85A

	měření 1	měření 2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	190	210	230	250	300
Charpy kJ/m ²	59				
Modul v ohybu Mpa	45,29	45,86	46,01	45,6	45,98
tvrdost A	88,95	89,54	89,78	90	98,6

Tabulka 2 - Vlastnosti materiálů BASF Ultrafuse TPU 85A

Igus Iglidur i150-PF - Vysoce otěruvzdorný materiál obohacený o pevná maziva, vhodný i pro styk s potravinami. Díky vysoké odolnosti proti opotřebení a dobrým mechanickým vlastnostem (pevnost, houževnatost, soudržnost vrstev) se jedná o univerzální materiál vhodný pro většinu aplikací 3D tiskáren.



Obrázek 35 - Tisková struna Igus Iglidur i150-PF

	měření 1	měření 2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	100	120	130	160	200
Charpy kJ/m ²	0	10,98	11,23	11,5	12,06
Modul v ohybu Mpa	0	64,25	64,52	64	63,41
tvrdost D	0	61,52	61,86	62	61,64

Tabulka 3 - Vlastnosti materiálů Igus Iglidur i150-PF

Kimya ASA-S -ASA nabízí podobné materiálové vlastnosti jako ABS, avšak hodí se i pro dlouhodobé venkovní použití. Odolává povětrnostním vlivům, často se využívá třeba v automobilovém průmyslu.



Obrázek 36 - Tisková struna Kimya ASA-S

	měření 1	měření2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	190	210	230	260	300
Charpy kJ/m ²	12	11,67	11,32	10,9	10,42
Modul v ohybu Mpa	26,32	26,67	27,12	27,3	27,09
tvrdost D	64,94	65,06	65,37	66	66,78

Tabulka 4 - Vlastnosti materiálů Kimya ASA-S

Kimya PETG Carbon- Materiál vyztužený karbonovým plnivem vyniká nad běžnými strunami PETG především skvělými mechanickými vlastnostmi. Díky své tuhosti nachází uplatnění u speciálních dílů, třeba pro zdravotnictví nebo automobilový průmysl.



Obrázek 37 - Tisková struna Kimya PETG Carbon

	měření 1	měření2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	200	220	240	260	300
Charpy kJ/m ²	3,57	3,86	4	4,1	3,7
Modul v ohybu Mpa	3,26	3,06	2,89	2,65	2,58
tvrdost D	73,98	74,35	74,68	75	74,89

Tabulka 5 - Vlastnosti materiálů Kimya PETG Carbon

Kimya ABS-S- Akrylonitrilbutadienstyren (ABS) nabízí vysokou nárazu vzdornost, při relativní tuhosti a nízké hmotnosti. Díky svému atraktivnímu povrchu je ABS často využíváno třeba pro zakrytování a pohledové součásti.



Obrázek 38 - Tisková struna Kimya ABS-S

	měření 1	měření2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	200	250	260	270	300
Charpy kJ/m ²	23,34	24	24,23	24,7	24,52
Modul v ohybu Mpa	2	1,89	1,55	1,44	1,32
tvrdost D	59,89	69,76	69,89	70	69,95

Tabulka 6 - Vlastnosti materiálů Kimya ABS-S

Kimya PETG-S - Materiál PETG nabízí perfektní vyvážení pružnosti a mechanické odolnosti, stejně jako možnost 3D tisku průsvitných dílů. Je příbuzný velmi oblíbeného materiálu PET používaného například v potravinářství a obalovém průmyslu.



Obrázek 39 - Tisková struna Kimya PETG-S

	měření 1	měření2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	180	195	210	220	250
Charpy kJ/m ²	1,92	1,89	1,52	1,4	1,35
Modul v ohybu Mpa	62,2	62,6	62,8	63,9	52,2
tvrdost D	75,68	76	76,2	76,6	77

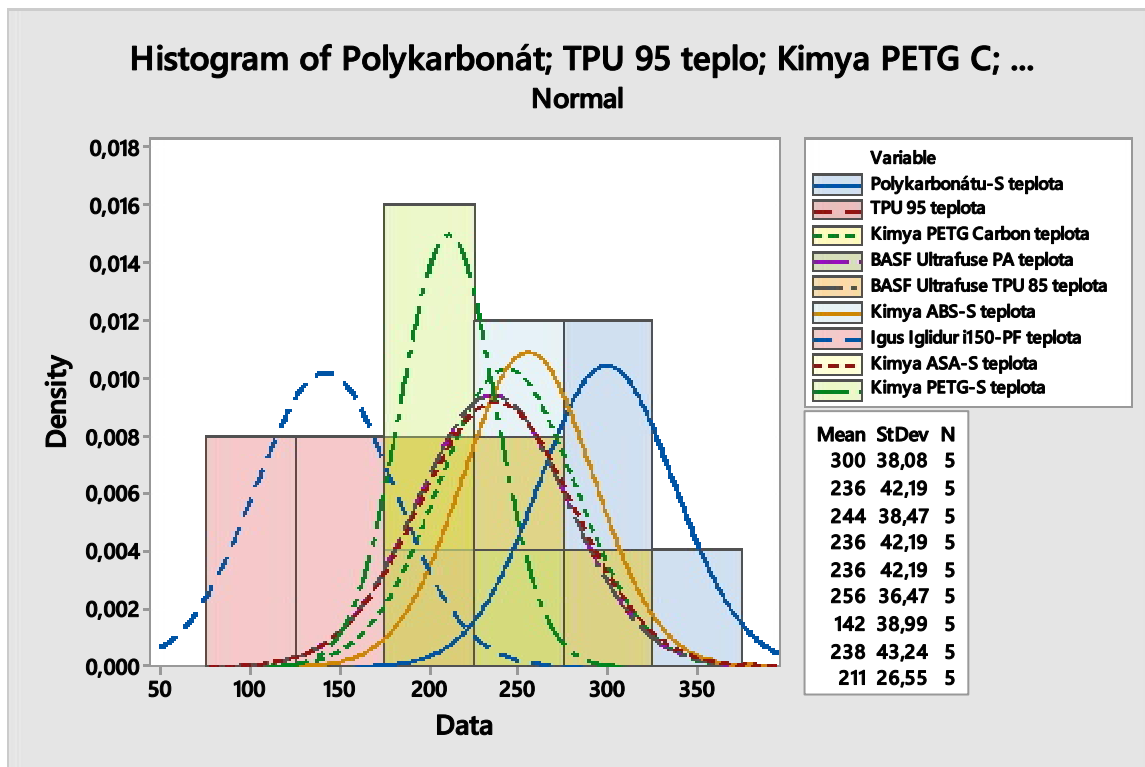
Tabulka 7 - Vlastnosti materiálů PETG- S

	měření 1	měření2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	250	280	300	320	350
Charpy kJ/m ²	12,9	10,2	8,8	7,9	6,8
Modul v ohybu Mpa	1,75	1,69	1,65	1,64	1,58
tvrdost D	109	102	84,6	79,2	68

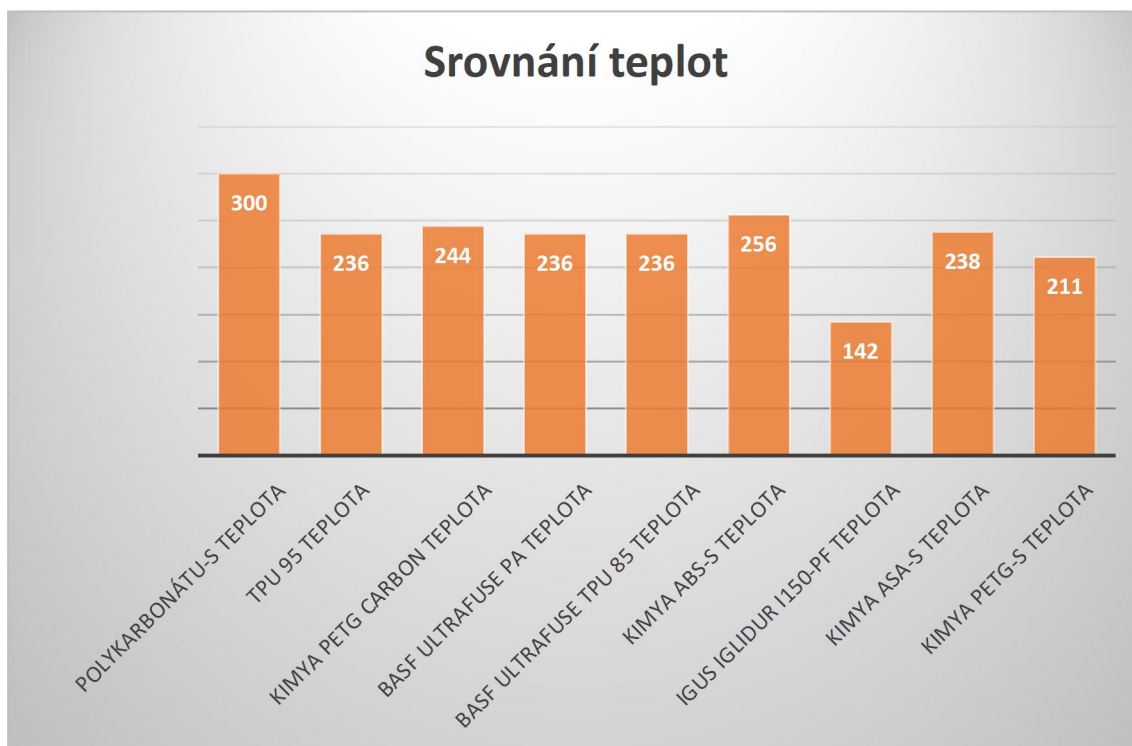
Tabulka 8 - Vlastnosti materiálů Polykarbonátu-S

	měření 1	měření2	měření 3	měření 4	měření 5
teplota °C	190	210	230	250	300
Charpy kJ/m ²	2,99	3,45	3,68	3,84	2,8
Modul v ohybu Mpa	79	79,95	80,25	81	83,06
tvrdost A	82,3	85,6	87,9	90	92,3

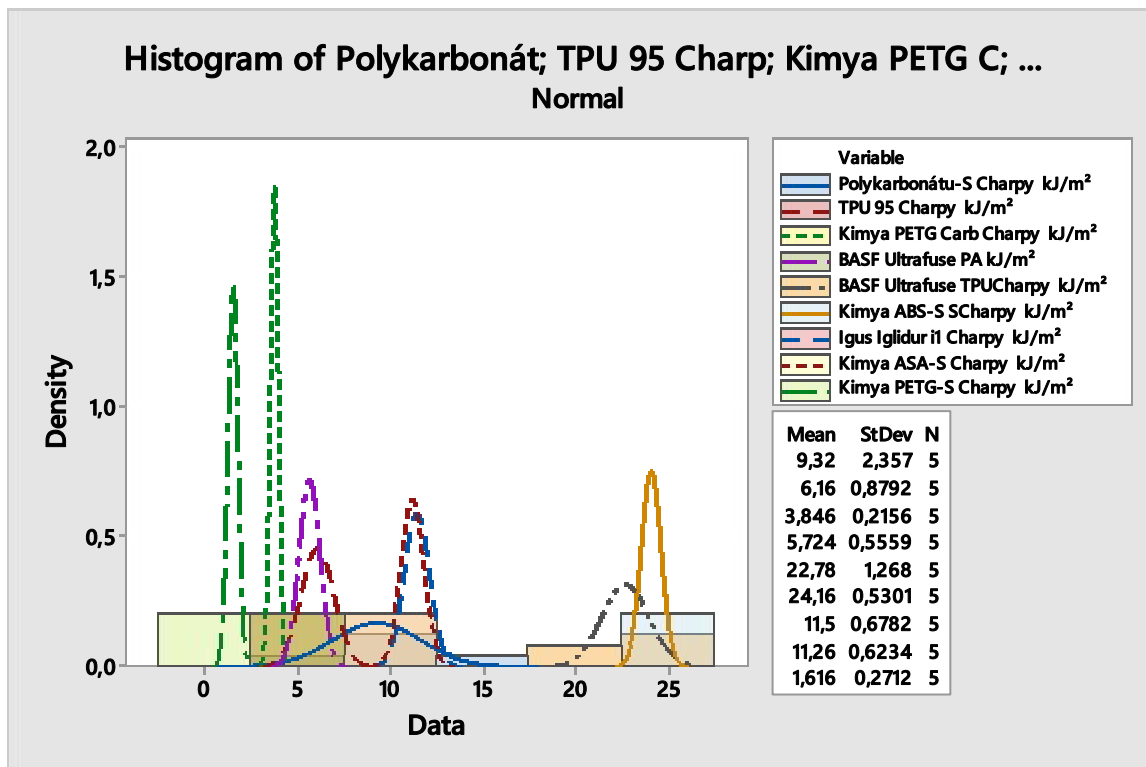
Tabulka 9 - Vlastnosti materiálů TPU 95



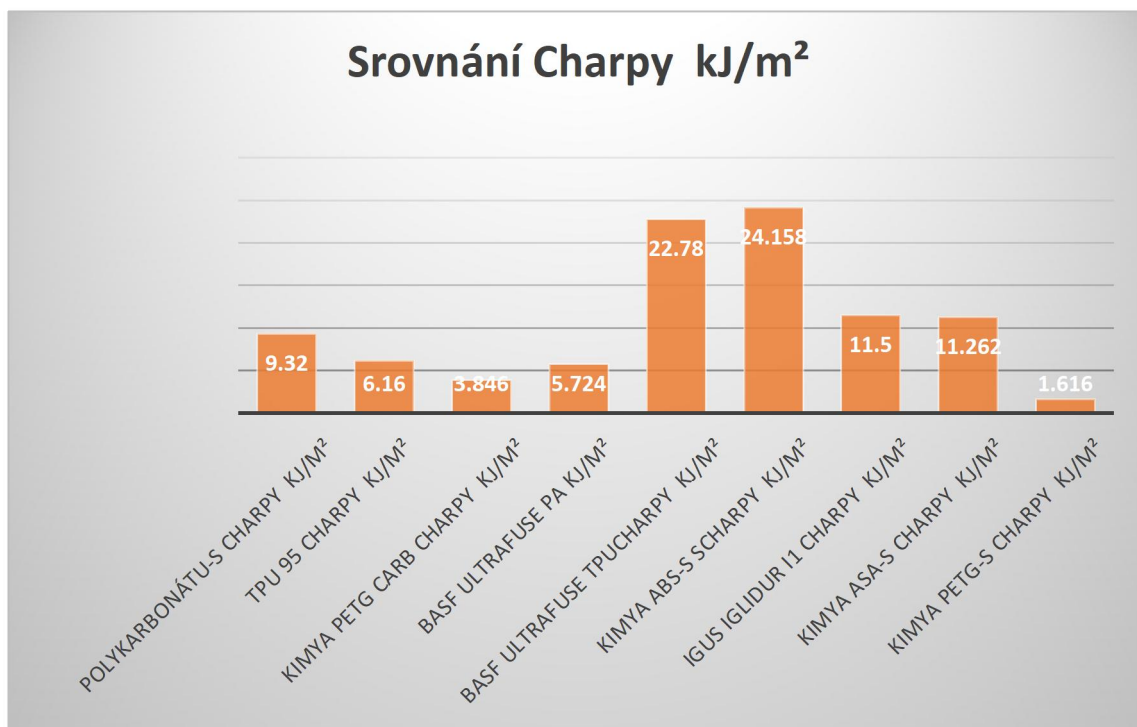
GRAF 2 - Srovnání teploty



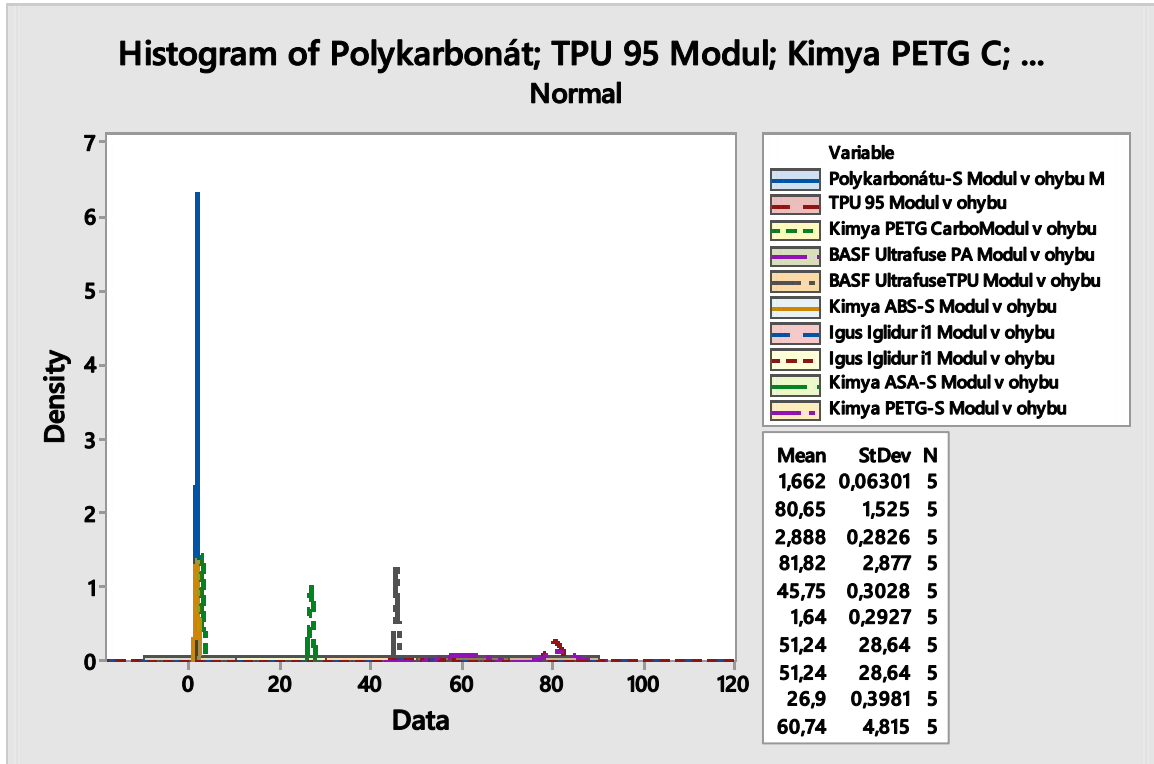
GRAF 3 - Průměrná teplota



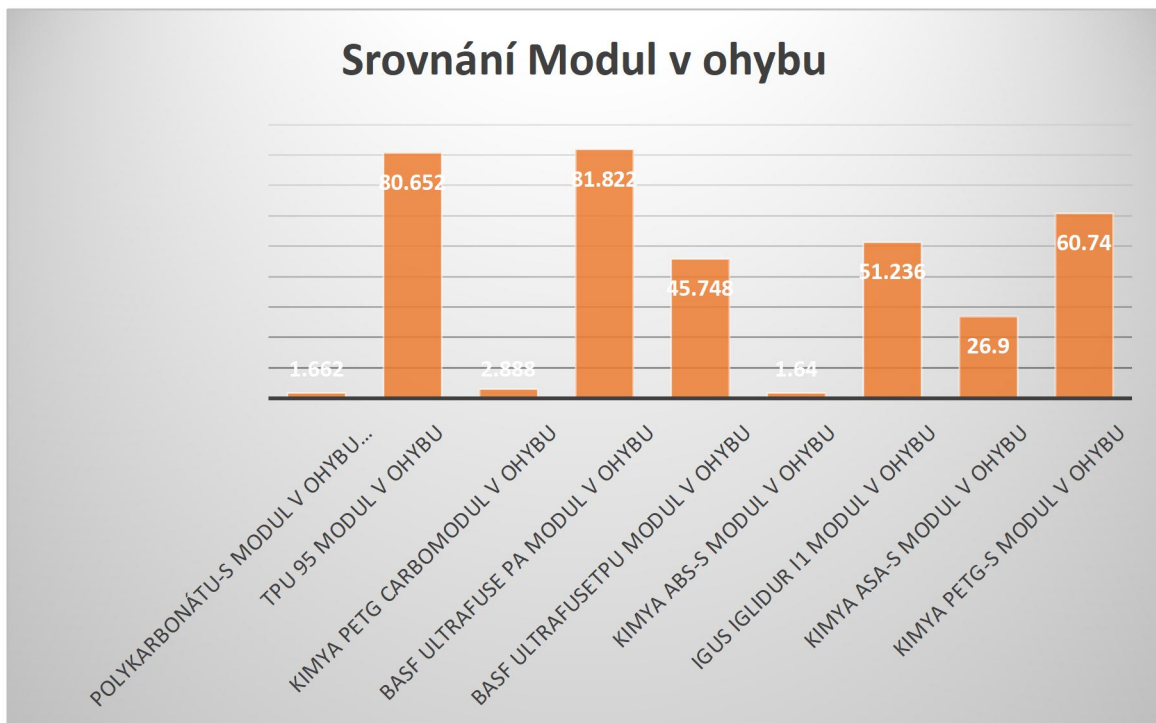
GRAF 4 - Srovnání Charpyho kladivo



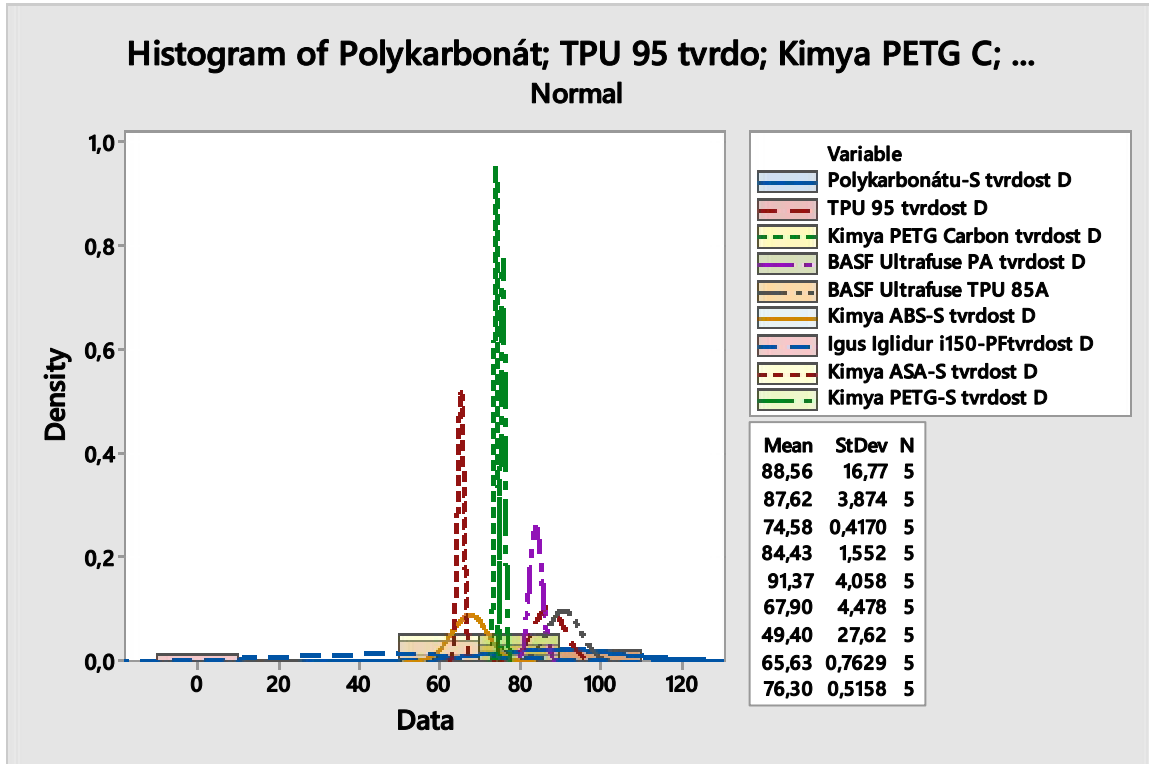
GRAF 5 - Průměr Charpyho kladivo



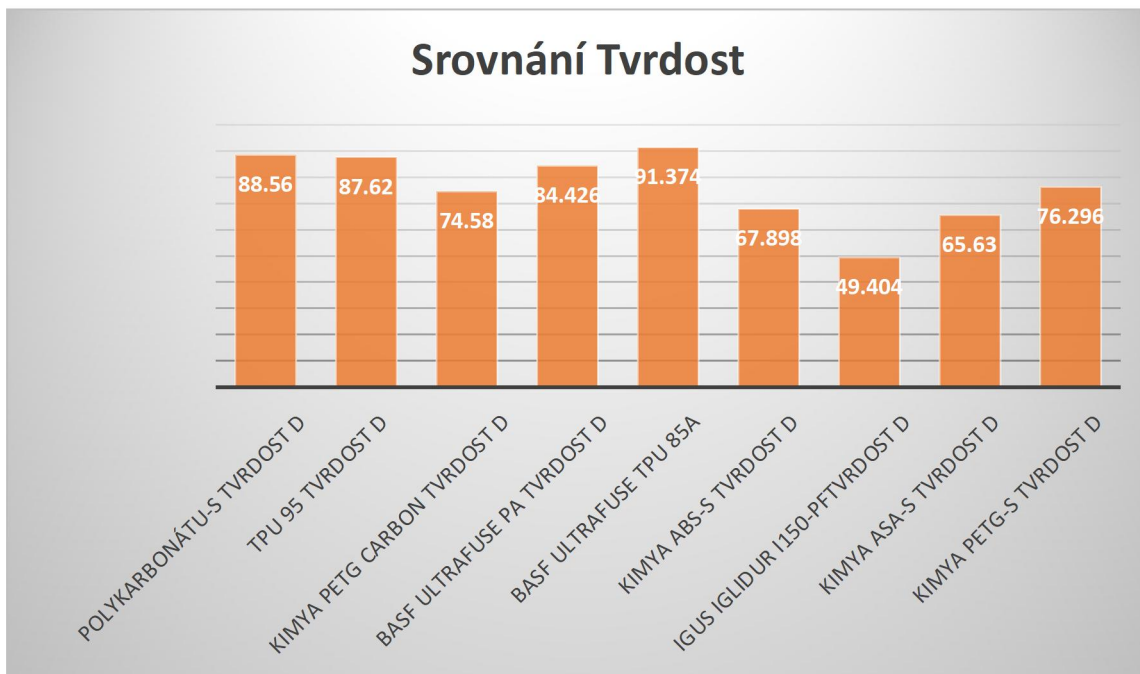
GRAF 6 - Srovnání modulu ohybu



GRAF 7 - Průměr modul v ohybu



GRAF 8 - Srovnání tvrdosti



GRAF 9 - Průměr tvrdosti

Na grafech 6 a 8 vidíme srovnání materiálů, které jsou nebo nejsou vyhovující.

Jak vidíme na grafu (graf 6), tak nejlepší modul v ohybu dle Charpyho kladiva je materiál PETG-S, oproti materiálu PC-S, který je zcela nevyhovující ani v modulu ohybu, ale ani v tvrdosti.

Materiál ABS-S, má vlastnosti, které jsou právě vyhovující v modulu v ohybu, ale je nevyhovující v modulu tvrdosti (graf 8).

Proto jsem se rozhodla vytisknout na srovnání výrobek z PC-S, který je zcela nevyhovující a TPU 95, který odpovídá požadavkům na výrobek.

Všechny zkoušky jsou stanovené normou ISO 527 a ISO 179.

ISO 527 - Metody se používají ke zkoumání tahového chování zkušebních vzorků a ke stanovení pevnosti v tahu, modulu tahu a dalších aspektů vztahu tahového napětí a deformace za definovaných podmínek.

ISO 179- specifikuje metodu pro stanovení Charpyho rázové houževnatosti plastů za definovaných podmínek. Je definována řada různých typů vzorků a zkušebních konfigurací. Jsou specifikovány různé zkušební parametry podle typu materiálu, typu zkušebního vzorku a typu zářezu.

Tuto metodu lze použít ke zkoumání chování specifikovaných typů vzorků za definovaných podmínek nárazu a k odhadu křehkosti nebo houževnatosti vzorků v rámci omezení spojených se zkušebními podmínkami. Může být také použit pro stanovení srovnávacích údajů z podobných typů materiálů

12 KALKULACE

PC-S

nákladově vychází na 25kč za díl, při ceně 1070 Kč za 750g materiálu

doba tisku je 3 hodiny a 47 minut a váha dílu je 35gramů

TPU 95

tiskové nastavení: Tryska 0,6mm, výška vrstvy 0,15mm

doba tisku dílu z TPU 95A – 4 hodiny a 14 minut

Náklady na materiál jsou 100 Kč, při ceně vstupního materiálu 1696 Kč bez DPH za 750g

spotřebováno bylo 44g materiálu

obecné náklady na jednu hodinu tisku jsou cca 5kč za tiskovou hodinu (náklady na elektřinu, amortizaci a odpisy stroje)

zakázkově pak vychází většinou 1 hodina tisku na 60-120Kč + cena materiálu.

ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo studium kompozitních materiálů pro výrobu zdravotnické pomůcky pro kardiaky, kteří mají KS nebo ICD.

V teoretické části popisuji co je ICD a jak by se dala vyrobit krytka a tím popisuji různé druhy polymerů, kompozitních materiálů, jejich mechanických vlastností a možnost vstřikování nebo tisku na 3D tiskárně.

V praktické části se zabývám tisknutím této krytky a porovnáním různých tiskařských strun.

Výrobky jsem tiskla na 3D tiskárně z několika materiálů, abych zjistila, ze kterého materiálu je nejlepší tisknout tuto pomůcku.

Měřením jsem zjistila, jak který materiál se mění při určité teplotě v ohybu (graf 6) a tvrdosti (graf 8).

Jelikož ochranná krytka bude přímo na těle, musela jsem z ohledit různá stanoviska, aby byl materiál měkký, pružný, lehký.

Daná data z měření jsem si zadala do miniTabu14, kde jsem vytvořila grafy pro lepší srovnání. Z toho mně vyšlo, že :

Nejlepší materiál v ohybu je PETG- S (graf 6), a ve tvrdosti (graf 8) je to BASF Ultrafuse TPU 85A.

Každé měření jsem uvedla v tabulce pod daným materiálem (tabulky 2-9), kde vidíme, jak který materiál reagoval na teplotu, modul v ohybu a v tvrdosti.

Pro výrobu a srovnání jsem si vybrala Polycarbonát-S a TPU 95.

První vzorek byl z polykarbonátu-S. Polykarbonát je trvanlivý materiál a i když má vysokou odolnost proti nárazu, má nízkou odolnost proti poškrábání.

Bohužel se ukázalo, že výrobek je příliš tvrdý a nedal se nosit. Na těle byla tato krytka velmi nepříjemná. Dokonce jsem musela změnit i původní rozměr a udělat o něco větší.

Druhý vzorek jsem vyrobila z TPU 95 a vytiskla jej na 3D tiskárně. Tento výrobek se zdá být už dobrý.

Termoplastický polyuretan se řadí mezi termoplastický elastomery (TPE), někdy též nazývané jako termoplastické kaučuky, jež se vyznačují svou velkou pružností. Při působení vnější síly je lze tedy výrazně deformovat a poté opět zaujmou původní tvar.

TPU je jemný, měkký, elastický, ohebný a přesto silný a odolný materiál. Použití je běžné, jak v automobilovém průmyslu, tak ve zdravotnictví, pro výrobu elektrického nářadí, či pro výrobu ochranných pouzder na mobilní telefony a tablety. Je netoxický a schopný rozkladu.

V závislosti na použitých příměsích velmi dobře odolává olejům a tukům, ale není vhodné jej vystavovat rozpouštědlům a kyselinám.

Použití: Hodí se na vše, kde potřebujete ohebný, flexibilní materiál. Nepříliš snadný je tisk detailů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ASCHERMANN, Michael, Petr WIDIMSKÝ, Josef VESELKA, Aleš LINHART a Jiří KRUPIČKA. *Kardiologie*. Praha: Galén, 2004. ISBN isbn80-7262-290-0.
2. LUKL, Jan a Petr HEINC. *Moderní léčba arytmií*. Praha: Grada, 2001. ISBN isbn80-7169-998-5.
3. ŠTEJFA, Miloš. *Kardiologie*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN isbn978-80-247-1385-4.
4. VOJÁČEK, Jan, Jiří KETTNER a Jan BYTEŠNÍK. *Klinická kardiologie*. Hradec Králové: Nukleus HK, 2009. ISBN isbn978-80-87009-58-1.
5. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN isbn978-80-7372-467-2.
6. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2015. ISBN 978-80-7204-919-6
7. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.1
8. ŠUBA, Oldřich. *Mechanické chování těles*. Vyd. 2. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2004. ISBN isbn80-7318-101-0.
9. ŠUBA, Oldřich. *Dimenzování a navrhování výrobků z plastů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005. ISBN isbn80-7318-287-4.
10. MURRAY, Robert K. *Harperova Biochemie*. Praha: H & H, 1998. Lange medical book. ISBN isbn80-85787-38-5.
11. BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 4. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2002. ISBN isbn80-708-0475-0.
12. KULICKE, Werner-Michael a Christian CLASEN. *Viscosimetry of polymers and polyelectrolytes*. Berlin: Springer, 2004. ISBN isbn35-404-0760-x.
13. HEYDA, Mark. *MBH Engineering Systems*. [cit. 2022-01-12].

14. MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD*. Praha: Academia, 2002. ISBN isbn80-200-1008-4.
15. WHITEHOUSE, David. *Surfaces and their measurement*. London: Kogan Page Science, 2004. ISBN isbn1-9039-9660-0.
16. SABU, Thomas. *Polymer composites*. Weinheim: Wiley-VCH, c2012-2014, ISBN 9783527329854
17. KOZLOV, Georgij Vladimirovič. (Editor), Mikitajev, Abdulach Kasbulatovič, 1942- (Editor), Zaikov, Gennadij Jefremovič, 1935- (Editor), *Polymer and composites theory and practical applications*, New York: Nova Science Publishers, c2011, ISBN 9781617610370
18. HAUSMAN, Kalani Kirk a Richard HORNE. *3D printing for dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014. ISBN isbn978-1-118-66077-5.
19. *Publi* [online]. [cit. 2022-03-24].
20. KRAJÍČEK, Martin. *Ústav výrobních strojů a zařízení: Návrh pohybové osy posuvu vstříkovací jednotky INTEC Electric*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
21. HENDRYCH, Josef, Jaroslav DOLEŽAL a Antonín WEBER. *Standardizace rámů a součástí forem pro vstříkování termoplastů*. Praha: SNTL, 1986
22. ZEMAN, Lubomír. *Vstříkování plastů: Teorie a praxe* [online]. [cit. 2022-03-25]. ISBN 978-80-247-2818-6.
23. BOBČÍK, Ladislav, ed. *Formy '85 pro zpracování plastů: sborník přednášek*. Brno: Dům techniky ČSVTS, 1985
24. *Netinbag* [online]. [cit. 2022-03-25].
25. *3D Printing in Medical Inadustry: Organs and Medical Parts* [online]. [cit. 2022-04-21]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ICD	Defibrilátor
KS	Kardiostimulátor
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
PA	Polyamid
PSU	Polysulfid
PPS	Polyfenylénsulfid
PTFE	Tetrafluoretylén
PI	Polyimidy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Složení ICD	12
Obrázek 2 - Jak vypadá ICD a kde je umístěn	13
Obrázek 3 - Inteligentní vysílač	14
Obrázek 4 - Rozdělení polymerů	17
Obrázek 5 - Struktura: a) amorfni b) semikrystalická [4]Voldřich	18
Obrázek 6 - Sfěrolit	19
Obrázek 7 - Teplotní závislost mechanických vlastností polymerů	19
Obrázek 8 - Granule ABS	21
Obrázek 9 - Míč na cvičení	22
Obrázek 10 - Chemický vzorec ABS	22
Obrázek 11 - Granule polypropylenu	22
Obrázek 12 - Výrobek z polypropylenu	23
Obrázek 13 - Granule polykarbonátu	24
Obrázek 14 - Výrobek z polykarbonátu	24
Obrázek 15 - Granule polyamidu 6-66	25
Obrázek 16 - Výrobky z polyamidu	25
Obrázek 17 - Granule polyethylenu	26
Obrázek 18 - Granule polyethylenu	26
Obrázek 19 - Výrobek z TPU	26
Obrázek 20 - Struktura kompozitních materiálů	27
Obrázek 21 - Různé koncentrační distribuce	29
Obrázek 22 - Některá možná uspořádání částic	30
Obrázek 23 - Tvary zkušebních tělísek pro zkoušky tahem	35
Obrázek 24 - 3D tiskárna Ultimaker 2 + Comfor	48
Obrázek 25 - Filtr Air Manager	48
Obrázek 26 - Filtr Air Manager	49
Obrázek 27 - Filtr Air Manager	49
Obrázek 28 - Software Cura	50
Obrázek 29 - Náčrt krytky	51
Obrázek 30 - Model do 3D tiskárny	51
Obrázek 31 - Vymodelovaný návrh	52
Obrázek 32 - Vymodelovaný návrh	52
Obrázek 33 - Tisková struna BASF Ultrafuse PA	53
Obrázek 34 - Tisková struna BASF Ultrafuse TPU 85A	53

Obrázek 35 - Tisková struna Igus Iglidur i150-PF	54
Obrázek 36 - Tisková struna Kimya ASA-S	55
Obrázek 37 - Tisková struna Kimya PETG Carbon	55
Obrázek 38 - Tisková struna Kimya ABS-S	56
Obrázek 39 - Tisková struna Kimya PETG-S	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Materiálů BASF Ultrafuse PA	53
Tabulka 2 - Vlastnosti materiálů BASF Ultrafuse TPU 85A	54
Tabulka 3 - Vlastnosti materiálů Iglidur i150-PF	54
Tabulka 4 - Vlastnosti materiálů Kimya ASA-S	55
Tabulka 5 - Vlastnosti materiálů Kimya PETG Carbon	55
Tabulka 6 - Vlastnosti materiálů Kimya ABS-S	56
Tabulka 7 - Vlastnosti materiálů PETG- S	57
Tabulka 8 - Vlastnosti materiálů Polykarbonátu-S	57
Tabulka 9 - Vlastnosti materiálů TPU 95	57

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 - Od kolika kusů je vhodná metoda vstřikování.....	45
GRAF 2 - Srovnání teploty.....	58
GRAF 3 - Průměrná teplota.....	58
GRAF 4 - Srovnání Charpyho kladivo.....	59
GRAF 5 - Průměr Charpyho kladivo.....	59
GRAF 6 - Srovnání modulu ohybu.....	60
GRAF 7 - Průměr modul v ohybu.....	60
GRAF 8 - Srovnání tvrdosti.....	61
GRAF 9 - Průměr tvrdosti.....	61

SEZNAM PŘÍLOH