



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ**

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Bakalářská práce

Využití polymerních materiálů v konstrukci dopravní techniky

Autor práce: Ladislav Hadrbolec

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Zoubek

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou využití polymerních materiálů v konstrukcích dopravní a manipulační techniky. Konkrétně představuje informace o historii polymerních materiálů, způsobech výroby a jejich vlastnostech. Stěžejní část práce zaujímají vybrané polymerní materiály v konkrétních aplikacích dopravní techniky, kde se následně řeší i ekonomické faktory spolu s přihlédnutím k ekologickým aspektům polymerních materiálů. Závěr práce představuje možnosti využití 3D tisku polymerních materiálů k prototypové výrobě dílů využívaných v dopravní a manipulační technice.

Klíčová slova: polymerní materiály, vlastnosti, 3D tisk, aplikace, dopravní technika

Abstract

This bachelor thesis deals with the use of polymeric materials in the construction of transport and handling equipment. Specifically, it presents information about the history of polymeric materials, production methods and their properties. The main part of the work is interested in selected polymeric materials in specific applications of transport technology, where the economic factors are subsequently addressed, considering the ecological aspects of polymeric materials. The conclusion of the work presents the possibilities of using 3D printing of polymeric materials for prototype production of parts used in transport and handling technology.

Keywords: polymeric materials, properties, 3D printing, application, transport technology

Poděkování

Touto formou bych chtěl vyjádřit poděkování Mgr. Tomáši Zoubkovi za odborné vedení mé práce, za jeho čas, velmi cenné rady v průběhu zpracování práce a v neposlední řadě za jeho okamžité reakce a spolupráci během realizace této rešeršní práce.

Obsah

Úvod.....	7
Cíle práce	8
1 Historie polymerních materiálů.....	9
2 Výroba polymerních materiálů	12
2.1 Polymerace	12
2.2 Polykondenzace.....	16
2.3 Polyadice	17
3 Vybrané vlastnosti a zpracování polymerních materiálů	20
3.1 Technologický vývoj polymerních materiálů.....	21
3.2 Formy zpracování polymerních materiálů.....	23
3.2.1 Tváření	24
3.2.2 Tvarování	26
3.2.3 Zpracování na lehčené hmoty	28
3.2.4 Zpracování na vlákna	29
3.2.5 Zpracování v kapalném stavu.....	31
4 Vybrané polymerní materiály v konstrukci dopravní techniky.....	35
4.1 Polyamid 6 (PA6) (Nylon 6)	35
4.2 Polyamid 66 (PA66) (Nylon 66)	36
4.3 Polyamid 6 12 (PA6 12).....	37
4.4 High temperature Nylon (HTN)	38
4.5 Polyarilamidy (Aromatické polyamidy).....	39
4.6 Poly (m-fenyleneisofthalamid) (Nomex)	39
4.7 Poly (p-fenylentereftalamid) (Kevlar).....	41
4.8 Polykarbonát (PC)	42
4.9 Polyethylentereftalát (PET).....	43

4.10	Polyvinylchlorid (PVC).....	44
4.11	Polybutylentereftalát (PBT).....	45
4.12	Epoxidové pryskyřice	46
4.13	Polymethylmetakrylát (PMMA).....	48
4.14	Liquid-crystal Polymer (LCP)	49
5	3D tisk pro výrobu prototypů v dopravní technice	50
5.1	Historie 3D tisku	50
5.1.1	Před rokem 1980	50
5.1.2	Vznik 3D tisku období let 1981–1990	51
5.1.3	Fáze vývoje 1991–2000	51
5.1.4	Druhá fáze vývoje 2001-2010	51
5.1.5	Aktuální stav 2010- dnešní doba.....	52
5.2	3D tiskárny a materiály pro 3D tisk	52
5.3	Vybrané polymerní materiály vhodné pro 3D tisk	53
5.3.1	Acrylonitril Butadien Styren (ABS)	53
5.3.2	Polylactic Acid (PLA).....	54
5.3.3	Nylon (PA).....	55
5.3.4	Akrylonitril Styren Akrylát (ASA)	56
5.3.5	Polyethylentereftalát Glykol (PETG).....	56
5.3.6	Termoplastický Polyurethan (TPU).....	57
5.3.7	High Impact Polystyren (HIPS)	57
5.3.8	Polykarbonát (PC+).....	58
	Závěr	59
	Seznam použité literatury.....	60
	Seznam obrázků	67
	Seznam tabulek	69
	Přílohy	70

Úvod

Polymerní materiály, jejichž valnou část tvoří především plastové materiály jsou v dnešní době největším hybatelem moderní doby ve všech odvětvích průmyslu i podnikání. Ne nadarmo se nynější době říká „doba plastová“, kdy si valnou většinu výrob a aplikací nelze představit bez užití polymerních materiálů.

Důvodem pro dnes již nadměrné využívání polymerních materiálů je jejich nízká cena a velmi dobrá zpracovatelnost. Otázka recyklace polymerních materiálů je momentálně již relativně na vysoké úrovni, a posledních pár let se již lze bavit o efektivní recyklaci a likvidaci použitých polymerních materiálů.

V dopravní technice se primárně jedná o vývoj prototypů do konstrukcí motorových vozidel i zemědělské techniky, kdy se snažíme dosáhnout efektivní substituce některých méně ekologických, nebo velmi drahých materiálů jako je například platina. Nicméně není v lidských ani technologických silách nahradit tyto materiály kompletně.

Problém však nastává po nahlédnutí do ekologického okénka. Recyklovatelnost plastů je na relativně vysoké úrovni, nicméně ani přesto není možné recyklovat polymerní materiály v plné míře. Proto dochází ke hromadění plastů na planetě, které nemají žádné využití. Tento problém mohou řešit moderní ekologické spalovny, které dokážou daný polymer rozložit žehem bez úniku CO₂ a tím pádem tyto výpary neohrožují ozónovou vrstvu naší planety.

Navzdory všem negativům, které jsou spojeny hlavně s ekologickou otázkou polymerních materiálů, si nedokážeme svět bez plastů představit. Polymerní materiály jsou nositeli jednotlivých kombinací vlastností, kterým se například dřevo, či kov nemohou rovnat, například kombinaci hmotnosti a ceny. A právě tyto výhody motivují přední vědce k vynalézání stále inovativnějších metod a přístrojů pro co nejčistší možnou formu opětovného zpracování polymerních materiálů.

Názory veřejnosti se na polymerní materiály značně liší. Polymery mají svá pozitiva, avšak svá negativa a je záhodno na tuto problematiku nahlížet objektivně a s otevřenou myslí. Jelikož pro moderní společnost jsou plasty již součástí našeho každodenního života.

Cíle práce

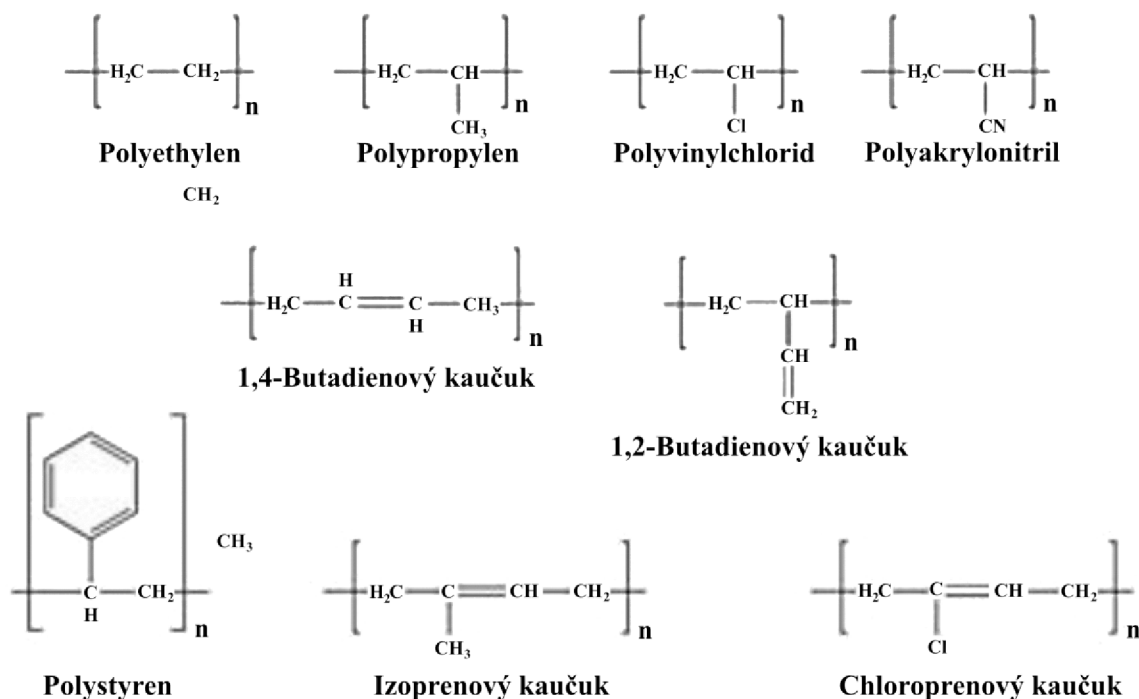
Cílem této bakalářské práce je provedení průzkumu současného stavu využívání polymerních materiálů v konstrukcích dopravní techniky. Dále poskytnutí přehledu vývoje využívání polymerních materiálů na vybraných příkladech a konkrétní demonstrace jednotlivých aplikací v konstrukci dopravní techniky.

1 Historie polymerních materiálů

Na základě teplotního chování jsou polymerní materiály děleny na termoplasty a reaktoplasty. Termoplasty se vyznačují typickou elasticitou, až viskozitou od určité teplotní hranice jsou výhodné právě proto, že po opětovném ochlazení se stanou opět pevnými a tento proces lze účinně opakovat. Reaktoplasty, nebo též termosety jsou naopak zesíťované polymery, které vytvářejí trojrozměrnou síť, která je však patrná až po tváření daného plastu. Pro obraznost jsou termoplasty hlavně různé epoxidové pryskyřice a kaučuky. Jednou ze základních definic termosetů je, že jsou to hmoty, které lze vlivem tepla vytvrzovat. (Sova a Krebs, 2001; Běhálek, 2016).

Polymery jsou tedy obecně organické a primárně chemické látky, které se mohou vyskytovat jako přírodní, kde bychom jako příklad mohli uvést kaučuk. Nebo na opačné straně spektra syntetické, které mohou být jak organického, tak anorganického typu, kam se řadí nespočetné množství polymerů jako jsou silikony a další. (Ducháček, 2011; Mizera, 2015).

Z technického hlediska se však jedná primárně o jejich syntetické sloučeniny, které jsou dále upravovány danými reakcemi a procesy, aby mohli být následně použity v praxi ve formě, jakou všichni znají, a to plast jako takový (Ducháček, 2011).

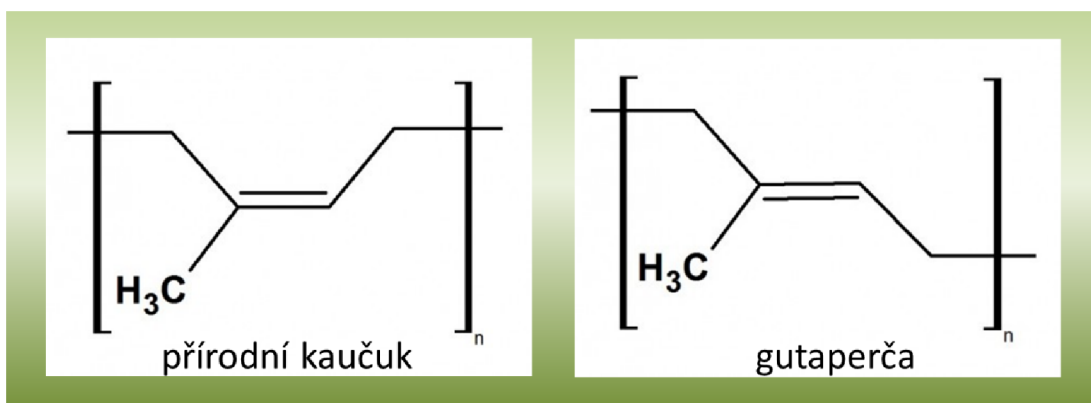


Obrázek 1.1: Chemické vzorce hlavních polymerů (myloview.cz, 2022)

Historie polymerních materiálů sahá mnohem hlouběji, než si běžná populace dokáže představit. Z hlediska moderní doby se ona historie datuje do pouhého dvacátého století, nicméně některé polymerní materiály byly objeveny a užívány mnohem dříve. Příkladem nejstaršího polymerního materiálu je kaučuk, který je pro Evropu znám od roku 1496, kdy tehdejší svět uchvátil Kryštof Kolumbus právě dovezenými kaučukovými míči z „Nového světa“ právě z nově objevené Ameriky (Štěpek et al, 1989).

Kaučuk byl pro tehdejší Evropu opravdovým zázrakem, hlavně díky jeho elastickým vlastnostem, kdy je schopen za pomoci vnější síly výrazně deformovat a získat zpět svůj původní tvar. V dnešní době jsou kaučuky hlavní surovinou pro výrobu pryží, které se v technice využívají například pro výrobu pneumatik.

Z obchodního hlediska se plastovému primu dostalo gutaperče, kdy za objevem stál malajsijský lékař Dr. William Montgomerie. Objev tohoto plastu započal vzbuzovat zájem několika slavných vědců, kdy konkrétně zjištění Michaela Faradaye, že gutaperča je excelentní izolant elektrického proudu, a to i navzdory přítomnosti kapalné vody zapříčinila realizaci propojení Evropy s Amerikou transatlantickým kabelem v šedesátých letech devatenáctého století. V dnešní době se gutaperča využívá ve stomatologii jako vyplňující materiál kořenových kanálků endodontické léčby (Ducháček, 2011; Stevens, 1999).



Obrázek 1.2: Srovnání syntetického a přírodního kaučuku (step.vscht.cz, 2022)

Dalším významným milníkem, a to především i pro nezasvěcené byla výroba syntetického plastu, konkrétně polyvinylchloridu (PVC) H. V. Regnaultem, který se také zasloužil za zavedení termínu polymer v roce 1835. Nicméně k průmyslové výrobě došlo až téměř po sto letech v roce 1925 společností Farbenindustrie, z jejichž názvu byl poté odvozen komerční název Igelit (Ducháček, 2011; Ducháček, 1996).

Za průkopníka syntetického polymeru považujeme nitrát celulózy, který byl znám od roku 1846. Tato sloučenina se z počátku využívala jako výbušnina, až později došlo

k využití pro přípravu polymeru. Zajímavostí je, že u zrodu "prvního" syntetického polymeru nebyl žádný průmysl, nicméně barová hra kulečnick. Pro výrobu kulečnickových koulí byla využívána slonovina, která byla již tehdy velice vzácnou surovinou. V roce 1863 dosáhl její nedostatek kritické meze, že výrobci kulečnicku vypsalí soutěž k vyhledání dokonalé náhrady tohoto materiálu, kterou se rozhodli odměnit částkou 10 tisíc dolarů, která byla na tehdejší dobu opravdu vysoká (Ptáček et al, 2003).

Tato lákavá odměna nenechala klidným mladého tiskaře Johna Wesleyho Hyatta, který ve spolupráci se svým bratrem začal experimentovat s roztokem nitrátu celulózy a kafrem, které se běžně používali k ošetřování drobných a nezávažných poranění v tiskařské dílně. Zanedlouho byli schopni připravit materiál, který při pokojové teplotě připomínal právě tolik žádoucí slonovinu. Bratři Hyattové nikdy nebyli odměněni dle vypsané soutěže, avšak vstoupili do dějin, jelikož vymysleli a připravili vůbec první plast s názvem celuloid, který se později zasloužil o rozvoj filmového průmyslu spolu s kinematografií (Ducháček, 2011; Ptáček et al, 2003).

Pokud budeme ale důslední a přesní, celuloid nebyl první syntetický polymer, jelikož jeho výroba byla založena na přírodní makromolekulární látce, celulóze. Oficiálně první čistě syntetický materiál byl připraven v roce 1907 americkým chemikem Leo Baekelandem, jehož chemická podstata je založena na fenol-formaldehydové pryskyřici, která se lidově nazývá bakelit, který posléze nalezl nespočet uplatnění v elektrotechnice. Každopádně jeho vůbec prvním využitím bylo při výrobě knoflíku u řadící páky luxusního Rolls-Royce. V konkurenci s dřevěnou rukojetí představovalo toto využití nejen zmírnění nároku na práci při soustružení dřevěné rukojetě, ale v první řadě šlo o realizaci symboliky pokroku a vývoje (Meissner a Zilvar, 1987; Ptáček et al, 2003).

Rozvoj syntetických polymerů započal na začátku minulého století, kdy se jednalo primárně o motivaci a potřebu účinnějších izolantů pro elektrotechnický průmysl, jelikož do této doby bylo hojně využíváno jiných materiálů jako například skla, porcelánu, šelaku, mramoru a dalších přírodních polymerů. V současné době se začínají kupit první zmínky a poznatky o přípravě syntetických kaučuků, které se používají například pro skříně akumulátorů, nebo jako substituce přírodního kaučuku v pneumatikách (Ducháček, 2011; Vohlídal, 1995).

2 Výroba polymerních materiálů

Syntetické polymery jsou primárně získávány z nízkomolekulárních sloučenin dnes již běžnými chemickými reakcemi, které jsou nazývány polymerace. Polymerace lze obecně rozdělit na polymerace adiční a kondenzační. Z chemického hlediska je adiční polymerace popsána jako opakovaný adiční proces, který je iniciován díky přítomným radikálům. Ve skutečnosti se děje to, že v reaktivním místě s dvojnou chemickou vazbou monomer postupně reaguje spolu s rostoucím radikálem. Nicméně při adiční polymeraci nevznikají žádné zbytkové nízkomolekulární látky jako vedlejší produkt proběhlé reakce (Ptáček et al, 2003; Mleziva a Šňupárek, 2000).

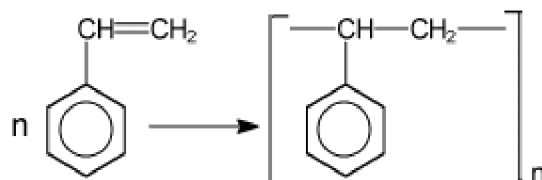
Na opačné straně barikády se nachází kondenzační polymerace. Při této reakci spolu reagují dva rozdílné monomery, během které vzniká polymerní řetězec a vznikají vedlejší nízkomolekulární látky jako je například voda. Jedinou podmínkou, která musí být naplněna je, že spolu musí reagovat nejméně dva druhy reaktivní skupiny v jedné molekule monomeru (Ptáček et al, 2003; Skálová et al, 2010).

V případě průmyslové výroby polymerů, se můžeme bavit o několika způsobech samotné výroby. Z chemického úhlu pohledu je nejsnazší polymerace monomeru, jak již bylo zmíněno. V tuto chvíli máme dvě možnosti, buď je vzniklý polymer rozpustný a získáváme viskózní roztok, který už buď máme v dané nádobě, nebo ho můžeme do nádob vlévat a získáme tím výsledný požadovaný tvar polymeru. Nebo vznikající polymer není rozpustný a vylučuje se ve formě jemných částic, v tomto případě je úkolem získat opět roztok, a proto se do tohoto substrátu přidávají rozpouštědla. Nutno podotknout, že ne všechny polymery lze vyrábět všemi dostupnými způsoby. A proto je kladen velký důraz na zvolení správné metody na konkrétní požadavek a vlastnost výsledného produktu. Tyto dva druhy polymerací jsou brány za základní, nicméně polymery se dají vyrábět dalšími způsoby (Běhálek, 2016; Ducháček, 2011; Ducháček, 2006).

2.1 Polymerace

Polymerace je obecně vzato základní způsob výroby polymerů všech podob. Jejím základem je chemická řetězová reakce obrovského počtu molekul najednou za vzniku právě dlouhého makromolekulárního řetězce nově vzniklého polymeru, jak již bylo zmíněno, při této reakci nevznikají žádné vedlejší produkty a shoduje se s finálním složením polymeru, jako bylo složení původních monomerů (Štěpek et al, 1989; Lenfeld, 2022).

Abychom mohli úspěšně započít polymeraci a proces s ní spojený, je třeba přivést do děje energii, která se nazývá aktivační. Molekuly monomeru je možné aktivovat teplem, zářením, anebo aktivující látkou, která se odborně nazývá iniciátor (Ducháček, 2011; Ducháček, 2006).



Obrázek 2.1: Obecný vzorec polymerace (xantina.hyperlink.cz, 2022)

Polymerace má tři základní podtypy.

- První v řadě je radikálová polymerace, která je vyvolána právě za využití tepelné energie či radiace. Při tomto způsobu výroby polymerů je nutno dodržet základní podmínku a to takovou, že se za probíhající reakce musí odvádět vzniklé reakční teplo aby nedošlo k přehřátí, tudíž dochází k ochlazování (Ducháček, 2011; Kuta, 1999).
- Dalším způsobem je takzvaná iontová polymerace. U tohoto typu je jedinečnost v tom, že v koncích polymerních řetězců dochází k vytvoření polarizovaným seskupením, které pak mezi sebou dokážou daný monomer udržet (Kuta, 1999).
- A v neposlední řadě existuje koordinační polymerace. Jak již název napovídá, u předešlých způsobů tak makromolekuly vznikají nahodile a neuspořádaně. Nicméně v tomto případě je tomu přesně naopak. Monomery se začleňují pravidelně a uspořádaně. Jiným názvem lze tento způsob pojmenovat jako stereo specifická polymerace, nebo jednoslovným výrazem polyinzerce. Zajímavostí je, že zásluhy jsou připisovány Karlu Zieglerovi a Giulio Nattovi, kteří vyvinuli příslušné katalyzátory pro průběh této reakce a stali se nositeli Nobelovy ceny za chemii. Proto se můžeme setkat s názvem Zieglerovy-Nattovy katalyzátory, nebo polymerace podle Zieglera a Natty. Nicméně polymerace má své vlastní a hlavní fáze (Ducháček, 2011; Stevens, 1999; Mleziva a Šňupárek, 2000).

K formě polymerace monomerní fáze v praxi dochází, pokud se jedná buď o iontovou, nebo radikálovou polymeraci. Tento způsob má však jednu značnou nevýhodu,

kdy nejzávažnějším úskalím tak zvané blokové polymerace je velice komplikovaný odvod vzniklé reakční tepelné energie.

Polymerace monomeru doprovází typický úbytek samotného monomeru, díky němuž dochází k výraznému smrštění finálního výrobku. S tímto jevem dále souvisí i riziko potrhání a vzniku prasklin kvůli vznikajícímu pnutí. Tato problematika však vzniká pouze v případě větších výrobků. Co se týče nejvýznamnějších výrobků užitím této konkrétní formy polymerace měla by být zmíněna výroba desek z polymethylmethakrylátů, které známe pod lidovým označením organické sklo, nebo z praxe v technice, plexisklo. Dalším významným zástupcem, který vzniká polymerací v monomerní fázi rotační jsou kontaktní čočky, které jistě známe díky českému vědci a vynálezci Otto Witchterlemu. A v neposlední řadě asi nejběžnější vzniklý práškový polymer polyvinylchlorid (PVC) (Ducháček, 2011; Elias, 1997; Stevens, 1999).



Obrázek 2.2: Podlahová deska z PVC (dumazahrada.cz, 2020)

V případě fáze roztokové polymerace je nasnadě se bavit o mnohem efektivnějším a snadnějším odvodu reakčního tepla. Roztoková polymerace, jak již napovídá název se provádí v prostředí kapalných monomerů jako je benzín, cyklohexan či xylen za nutné přítomnosti katalyzátorů. V tomto případě dochází k zisku výsledných kopolymerů ethylenu a propylenu, či může docházet k výrobě butadienového a izoprenového kaučuku. Dalšími významnými polymery vzniklé touto formou, které jsou hojně využívány i v technice jsou polymery, které jsou rozpustné v kapalinách, a to primárně ve vodě. Taková polymerace je poté nazývána „srážecí“. Takové polymery se posléze

využívají jako lepidla, či po přidání vhodných aditiv jako nátěrové hmoty (Ducháček, 1996; Elias, 1997).

Následujícím způsobem výroby polymerů je suspenzní polymerace, obdobný způsob jako ten předešlý. Za vznikem této formy stála opět výhoda snadného odvodu vzniklého reakčního tepla. Nicméně další výhodou je, že pokud dojde ke správné distribuci monomeru a ke správnému smísení s roztokem, dojde k rozptýlení na malé částičky, kdy je poté monomer schopen překonat povrchové napětí a díky tomu dojde k dokonalému spojení všech dílčích částiček. Avšak i u tohoto způsobu nalezneme některé rizikové faktory. Jelikož s postupující přeměnou monomeru v polymer může docházet ke zvyšující se viskozitě a lepivosti, což může mít za následek jejich slepení. Aby se této nežádoucí situaci zabránilo, dochází k přidání aditiv, které mohou zvýšit viskozitu jako například polyvinylalkohol, nebo želatina (Ducháček, 2011; Ducháček, 1996).

Primární výhodou polymerů vzniklých tímto způsobem bývá kvalitativně stejnoměrný výrobek, který získává mnohem lepší mechanické vlastnosti. Tyto materiály pak bývají velice efektivními elektrickými izolanty. Mezi nejběžnější výrobky patří polystyren, nebo polyvinylchlorid (Janovič, 1997; Lenfeld, 2022; Kyselá et al, 2010).

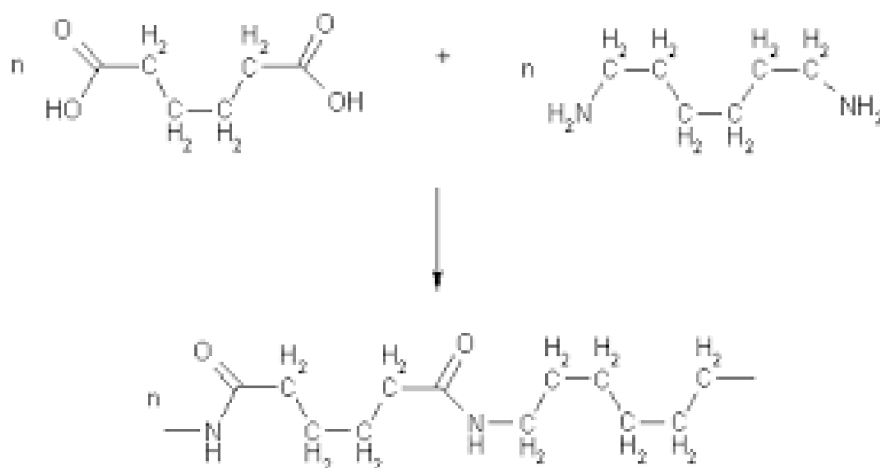
Radikálová emulzní polymerace monomerů, které jsou reálně nerozpustné ve vodě je velice obdobná jako polymerace suspenzní, nicméně její průběh je diametrálně odlišný (Ducháček, 2011). V tomto případě se finální forma polymeru získává ve formě latexu, což je velice jemný a stálý polymer disperzní ve vodě. Tento materiál lze využít okamžitě v jeho ideální formě, nebo pokud dojde k vytvoření suššího mezi-produktu, polymer se poté získává za pomoci koagulace. Jako společná neznámá se uvádí jednoduchý odvod reakčního tepla, který je totožný díky stejnému činiteli, kterým je voda (Stevens, 1999; Vohlídal, 1995).

Emulzní polymerací tudíž můžeme rozumět děj, při němž vzniká polymer z monomeru taktéž mechanicky rozpustný ve vodě, nicméně musí obsahovat tak zvaný emulgátor, jako je na příklad mýdlo, či iniciátor.

Finálními produkty tohoto způsobu výroby polymerů se uvádí nespočet forem syntetických kaučuků, přičemž to jsou primárně homopolymery a kopolymery butadienu. Dále pak polyvinylacetáty a emulzní typy polyvinylchloridu (Ducháček, 2011; Ducháček, 1996).

2.2 Polykondenzace

Polykondenzace se označuje jako sled totožných reakcí funkčních sloučenin, které se opakují. Zásadním rozdílem mezi polymerací a polykondenzací je, že polymer má stejné výchozí látky a vzniká voda jako vedlejší produkt, nicméně polykondenzace je stupňovitá reakce a má ve finální fázi jiné složení, než byla výchozí látka. Taková látka se může nazývat polymerem, nicméně za správné označení je bráno polykondenzát. Obecně vzato, procesem polykondenzace vznikají tak zvané lineární polymery (Ducháček, 2011; Mleziva a Šňupárek, 2000).



Obrázek 2.3: Obecný vzorec polykondenzace (space.fkdesign.cz, 2013)

Dalším rozdílem je, že k zastavení růstu je dosaženo snížením koncentrovaných látek ve sloučenině. Takové látky se nazývají regulátory. Pro tyto účely se hojně využívají látky jako aminy, alkoholy či monokarboxylové kyseliny (Ducháček, 2006; Lenfeld, 2022).

Typickým příkladem využití polykondenzace v praxi je například výroba vláken Tesil, nebo všeobecně známé PET lahve. Polykondenzace byla poprvé použita v roce 1909 a to pro výrobu polymeru s názvem Bakelit. Konkrétně byla využita kondenzace formaldehydu a fenolu. Pro proces polykondenzace se hojně využívají monomery jako jsou polyestery, polyamidy a polyethery. Po vzniku polykondenzátu se tyto výsledné látky dají využít například v textilním průmyslu pro výrobu textilních vláken. V dnešní době se v průmyslové výrobě však musíme bavit o efektivní výrobě tak zvaně chtěných polymerů, které se vyrábějí právě polykondenzací. Mezi takové se primárně řadí polyamidy jako je nylon či silon, polyesterový tesil, nebo silikony. Příklad nylonového textilního vlákna znázorňuje obrázek 2.4 (Maroušek, 2000; Ducháček, 2011; Ducháček 1996).



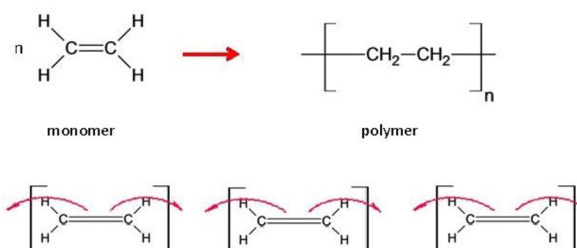
Obrázek 2.4: Nylonové vlákno (modniblog.cz, 2022)

Průběh polykondenzace lze rozdělit do tří základních kroků a těmi jsou iniciace, propagace a terminace. Ve fázi iniciační dochází k aktivaci monomeru přivedením potřebné energie, aby mohlo dojít k rozštěpení dvojných a trojných vazeb monomeru uhlíku. S počátkem fáze propagace dochází k dominovému efektu růstu řetězce spolu s postupným uvolňováním reakčního tepla, které samozřejmě musí být odváděno ze soustavy. A v neposlední řadě s příchodem fáze terminace, získáváme rovnováhu soustavy a dochází k ukončení doposavad rostoucího řetězce (Lechner, 2010; Stevens, 1999).

2.3 Polyadice

Polyadice je využívána v případě, kdy molekuly jsou tvořeny násobnými vazbami, které se spojují a mají-li alespoň dvě funkční skupiny. Proto může tímto způsobem vzniknout polymer. Mezi významné příklady patří polyuretany a silikony

Reakce obecně probíhá za přítomnosti dvou rozdílných monomerů s rozdílnými funkčními skupinami. Podmínkou je přítomnost protonu vodíku v alespoň jednom monomeru, který se uvolní a naváže se na druhý monomer. Tímto aktem se oba monomery spojí v jeden a tento děj se stále opakuje (Ducháček, 2006; Janovič, 1997).



Obrázek 2.5: Chemický proces polyadice (slidetodoc.com, 2022)

Prvním významným produktem této reakce jsou polyuretany. Jsou to polymery, které vznikají polyadící za vzniku uretanové vazby. Reagují spolu diisokyanáty a vícesytné alkoholy. Polyuretany se vyznačují svou lehkostí, pevností, pružností a otěruvzdorností. Právě díky těmto specifickým vlastnostem nacházejí polyuretany využití v praxi jako izolace budov, pro výrobu matrací a nábytku a v neposlední řadě také v automobilovém průmyslu, a to konkrétně pro výrobu laků a barev (Lechner, 2010, Lenfeld, 2022).

Nutno zmínit dva nejznámější typy polyuretanů, mezi které řadíme pěnový polyuretan a termoplastický polyuretan. Pěnový je měkký a tuhý a v dnešní době tento výrobek známe pod názvy jako molitan či Borex. Právě tyto hmoty nacházejí uplatnění v automobilovém průmyslu. Dále pak termoplastický, který lze nalézt ve formě termosetu, či termoplastu jako takového. Využití těchto polymerů lze nalézt ve sloučeninách pro operaci lisování, či v textilním průmyslu ve formě elastomeru, nebo jako nátěrové hmoty jimiž jsou polyuretanová lepidla (Lechner, 2010; Běhálek, 2016).



Obrázek 2.6: Pěnový polyuretan (izolace-info.cz, 2022)

Dále jsou velice významné i silikony. Silikony, v chemii spíše známy pod názvem polysiloxany jsou anorganicko-organické polymery vyráběny právě polyadící. Hlavní vlastností silikonů, která je staví do popředí pelotonu před ostatní polymery je relativní stálost v rozmezí teplot, tato vlastnost se nazývá inertnost. Tepelná odolnost, velmi obstojná inertnost vůči živým organismům, nehořlavost, elektroizolační vlastnosti, olejovzdornost, to všechno jsou výhodné vlastnosti silikonů, díky kterým nachází využití v široké škále různých průmyslových odvětví. V lékařském prostředí to jsou implantáty, silikonové rukavice a kosmetika. Z tohoto materiálu je vyrobena valná většina moderního kuchyňského nádobí. Dále různé pěny, emulze, oleje a laky. Příklady jsou uvedeny na obrázcích 2.7 a 2.8 (Meissner a Zilvar, 1987; CEFIC, 2016).



Obrázek 2.7: Silikony a tmely ve stavebnictví (obchodprodilnu.cz, 2022)



Obrázek 2.8: Silikonové lékařské implantáty (medimplant.cz, 2022)

3 Vybrané vlastnosti a zpracování polymerních materiálů

Nezaměnitelnou výhodou polymerů a elastomerů jsou jejich specifické mechanické vlastnosti. Jsou velmi lehké, velice dobře tvárné a s vysokou mírou odolnosti vůči možné korozi. Na druhou stranu, ale dále nutno zmínit, že oproti kovům mají nízké mechanické vlastnosti jako takové. Polymery jsou méně odolné na změnu teploty a vzato v potaz, jejich nízký modul pružnosti nezajišťuje plastovým konstrukcím žádoucí pevnost a tuhost. Proto můžeme s jistotou říct, že uplatnění polymerních materiálů lze nalézt především v konstrukcích dopravní techniky jako například u automobilů, letadel a železničních vagónů. Nutno také podotknout, že užití polymerních materiálů v konstrukcích stavebních, je nutno vážně zvažovat. Nicméně to je posléze závislé na daných typech staveb, či specifickému užití daných materiálů. Jelikož ne každý druh polymeru je vhodný na dané aplikace v závislosti na nejen jeho fyzikálních, ale i mechanických vlastnostech. Například lze zmínit, že polystyren je vynikající tepelný izolant a používá se jako materiál pro zateplování, nicméně nelze ho používat jako základní stavební materiál, kvůli odolnosti, životnosti a složení materiálu. (Ptáček et al, 2003; Ducháček, 2011; Stevens, 1999).



Obrázek 3.1: Těsnící komponenty z pryžového elastomeru (hbfuller.com, 2022)

Proto v dnešní době dochází primárně k využívání kompozitních materiálů, jelikož ty dokážou ideálně propojit silné stránky všech použitých materiálů. Z toho důvodu finální výrobek je složen ze silných stran všech složených materiálů. Lze ale také doplnit, že momentálně existují plastové materiály, které dosahují srovnatelné pevnosti dokonce někdy i vyšší než u kovů. Jediné, co stále zůstává, je jejich citlivost na zvyšující se teplotu. Velkou roli hraje i fakt, že mají velice nízký koeficient tření a jsou extrémně dobře tvarovatelné (Ducháček, 2011; Krebs et al, 2020).

V praxi se poté konkrétně jedná o matrice kompozitních materiálů, z pravidla buď plastové či kovové, které vyplňují posilující vlákna. A právě proto, plasty hrají tak nezaměnitelnou roli jako nikdy v historii. Kdyby nebylo možnosti využít plastových materiálů jako příměsí do kovových kompozitů, nebylo by možno zaručit ochranu před korozi. Nicméně se stále bojuje s finanční a technologickou náročností ve spojení s výrobou kompozitů, a proto polymerní materiály jsou stále mnohem výhodnější než kovové. S ohledem na vlastnosti, zpracovatelnost a v neposlední řadě i cenovou dostupnost (Ptáček et al, 2003; Krebs et al, 2020; Kinzlink, 2005).

3.1 Technologický vývoj polymerních materiálů

Jak v běžném každodenním životě, tak i v materiálovém inženýrství je zapotřebí rozlišovat realitu od slibných zítřků. Jelikož to, co žádáme od polymerních materiálů v některých případech může být pouhá utopie, nicméně i přesto se soustředíme na efektivní zavedení do průmyslové výroby a na samotnou aplikaci v praxi (Ducháček, 2011; Janovič, 1997).

Hlavním záměrem dnešní doby je samotný praktický vývoj polymerních materiálů a zlepšení jejich užitkových a zpracovatelských vlastností. Z těch užitných se jedná primárně o mechanické a fyzikální vlastnosti materiálů, ty vlastnosti, které jsou pro uživatele nejdůležitější. Nicméně velkou váhu přikládáme i životnosti a možnosti recyklace, kde možnost používat daný výrobek vícekrát, je pro tržní ekonomiku neméně důležitá skutečnost. Jak bychom si tato kritéria odstupňovali, je jen na nás, záleží totiž na směru konkrétní aplikace v praxi (CEFIC, 2016; Stevens, 1999).

Na obrázku 3.2 je možné vidět čtyři základní stupně životnosti a odolnosti polymerních materiálů a jejich nejběžnější zástupce vůči UV záření. V praxi si tyto stupně lze vyložit jako dobu, po kterou jsou polymerní materiály schopny dalšího používání bez známky regrese, či degradace. Excelentní jsou v podstatě imunní vůči UV záření, nicméně je vidno, že pouhý jeden polymerní materiál je v této kategorii. Nejběžnějšími

jsou polymery nízké odolnosti, kdy určitou míru záření snesou, nicméně nelze se bavit o dobré odolnosti. V neposlední řadě, polymery se špatnou odolností, jsou prakticky nevhodně volené materiály. (CEFIC, 2016; Kinzlink, 2005).

PI	LCP PEI PEEK PPS	PC/ABS PPO PET PBT PC PA-12 PA-11 PA-6 PP	POM ABS PA-46 PA-66
excelentní	dobrá	nízká	špatná

Obrázek 3.2: Míry stárnutí vybraných polymerů (publi.cz, 2022)

V tomto ohledu se musí brát zřetel i poměr kvalita-cena. Přičemž cena musí uspokojit hned několik proměnných. Celková cena totiž musí být relativně zajímavá jak pro výrobce, zpracovatele tak i pro koncového zákazníka čili odběratele. Zpracovatelské vlastnosti, jimž se přikládá momentálně největšího zřetele, zejména u termoplastů, charakteristické jejich výhodnými reologickými vlastnostmi, pak jsou jedním z hlavních určujících faktorů, které ovlivňují efektivitu a náklady na zpracování daného materiálu. V dnešní době jsou v jasném popředí zpracovatelské vlastnosti polymerních materiálů především u aplikací v automobilovém průmyslu (Čermák, 2022; Lenfeld, 2022).

Požadovanými materiály jsou ty s širším rozsahem technologických podmínek zpracování a s vyšší rychlostí zpracování, kde se lze bavit o zkrácení doby vstřiku a zvýšení rychlosti vytlačování. V neméně důležité sféře se nachází i životnost materiálu. Ta je totiž hlavním určujícím inhibítorem spolehlivosti a bezpečnosti výrobku. Životnost polymerů lze efektivně ovlivnit přidáním aditiv ve formě stabilizátorů, které jsou vyvíjeny s ohledem na provozní prostředí (PlasticsEurope, 2016; Ducháček, 2011).

Aktuálně se jedná o vývoj spolehlivějších a ekonomicky výhodnějších stabilizátorů pro polymery, které nacházejí využití právě v automobilovém průmyslu. Jimiž jsou primárně odolnost vůči palivům a jejich účinkům, a taktéž proti chladícím médiím

v kombinaci s vyšší teplotou, než je záhodno. Taktéž ale i pro elektroizolační materiály hovoříc ve speciálních podmínkách průmyslové výroby a pro výrobu energie. Obecně se tedy mluví o nežádoucích zatíženích (Lenfeld, 2022; PlasticsEurope, 2016).



Obrázek 3.3: Plastové komponenty z 3D tiskárny (vakuotechnika.cz, 2022)

Momentálními požadavky při vývoji nových polymerních materiálů stále zůstává navýšení jejich bezpečnosti při provozu a samotné spolehlivosti při vylučování ekologických rizik a úskalí během procesu recyklace nebo při terminaci po ukončení života výrobku. Výzvou do budoucna však stále zůstávají i nově vyvinuté polymerní materiály pro technologii 3D tisku, které by se mohli svými mechanickými vlastnostmi přiblížit polymerům, které jsou do dneška zpracovávány konvenčními metodami (Vörös, 2013 b; Prusa, 2018; Prusa, 2019).

Dalším nezanedbatelným trendem moderní doby v automobilovém průmyslu s potencionálním rozvojem plastů, je aditivní začlenění výroby pomocí 3D tisku v oblasti prototypingu jednotlivých dílců. Výhledově lze očekávat, že technologie aditivní výroby může být využívána také při výrobě specializovaných konstrukčních dílů pro omezené série osobních a nákladních automobilů (Vörös, 2013 b; Čermák, 2022).

3.2 Formy zpracování polymerních materiálů

Polymerní materiály se v praxi dají zpracovávat a vyrábět mnohými formami a způsoby. Tato kapitola je věnována těm nejběžnějším a nejefektivnějším pro průmyslovou výrobu žádaných polymerních materiálů. Mezi takové ve většině případů patří termoplasty, reaktoplasty a elastomery (Kyselá et al, 2010; Stevens, 1999).

3.2.1 Tváření

Obecná terminologie nám udává, že tváření obecně je proces zpracování polymerů, které se nacházejí v tak zvaném plastickém stavu. Tento způsob se využívá pro tři hlavní typy polymerů, kterými jsou elastomery, termoplasty a reaktoplasty.

Výhodou termoplastů je bezpochyby jejich tepelná odolnost, nicméně na druhou stranu je potřeba hlídat stav během tváření a bezprostředně po procesu tváření je nutno výrobek okamžitě ochladit ještě před vyjmutím z formy. Tato operace se provádí, aby se zabránilo deformaci. Naopak reaktoplasty a směsi kaučuku lze vyjmout bez ochlazení (Ducháček, 2011; Kyselá et al, 2010).

Nejstarším způsobem tváření polymerů je lisování. Počátky této operace sahají až ke konci 19. století. Lisování je takový způsob tváření, ke kterému dochází při vysokých teplotách a také tlacích, přičemž je nutno zmínit, že tvar výrobku nedostaneme sám od sebe, nicméně velkou roli pro finální tvar výrobku hraje forma. Lisování můžeme dále dělit podle velikosti tlaku, který je při lisování použit, a to na vysokotlaké a nízkotlaké lisování. Jednoduše řečeno, za vysokotlaké lisování uvažujeme takové, které přesahuje hodnotu 3 MPa. Vysokotlaké lisování se dále rozděluje na přímé a nepřímé. Dvouetážový lis je možno vidět na obrázku 3.4 níže (Ducháček, 2011; Ducháček a Hrdlička, 2009).



Obrázek 3.4: Dvouetážový lis (sekon.cz, 2022)

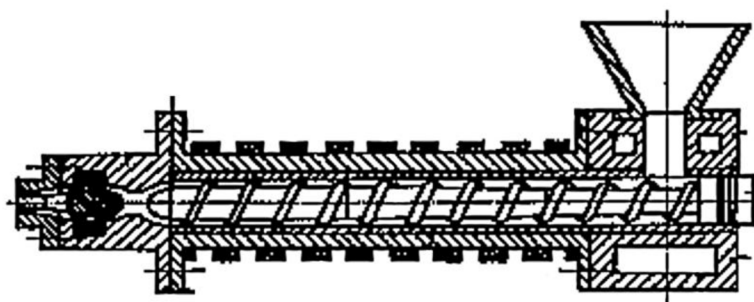
Dalším rozšířeným způsobem tváření plastů je válcování, nebo také „*kalandrování*“. Tímto způsobem se primárně vyrábí fólie a desky pro nanášení polymerů na textilie. Mezi válci dochází k velmi přesným operacím, při kterých vznikají podlahoviny, či

koženky. Tohoto způsobu je nejčastěji užíváno při zpracování termoplastů. U kaučkových směsí vede válcování také k vytvoření plošných polotovarů, které se dále využívají k výrobě konfekcí, a to především pneumatik a dopravních pásů pro manufaktury. Principem válcování je šterbina mezi válci, která je zásobena polymerní směsí z míchacího dvouválce. Všechna hmota se poté shromažďuje v roličkách. Kvalita výsledného procesu válcování tedy závisí na počtu roliček a počtu šterbin, kdy příklad čtyřválcového kalandru lze vidět na obrázku 3.5 (Šňupárek, 2003; Ducháček a Hrdlička, 2009).



Obrázek 3.5: Čtyřválcový kalandr (buzuluk.com, 2022)

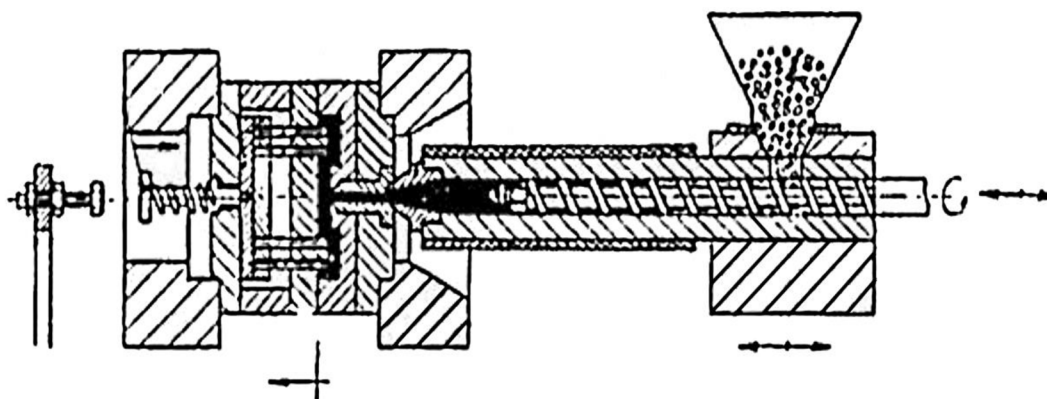
Vytlačování se charakterizuje jako nepřetržitý typ tváření, při kterém se zplastikovaný polymer vytlačuje z tlakové komory profilovacím zařízením neboli hubicí. Z hubice je tedy polymer vytlačen do volného prostoru, a ne do formy, jak tomu bylo u lisování. A to proto, že tvar výrobku zajišťují již tvar hubice, ze které je vytlačován. Touto formou tváření se zpracovávají primárně termoplasty a kaučkové směsi. Pro tuto operaci se používají vytlačovací šnekové stroje viz. Obrázek 3.6 (Ducháček, 2011).



Obrázek 3.6: Jednošnekový vytlačovací stroj (techportal.cz, 2022)

Vstřikování je jen o stopové množství času mladší způsob tváření polymerů nežli lisování. Počátkem této metody lze brát taktéž konec 19. století. Z technologického úhlu pohledu je velice podobný způsobu přetlačování. Nicméně tento způsob se vyznačuje

tavnou komorou, která je oddělena od tvářecí formy, přičemž jde o zásadní krok při vstřikování termoplastů, kdy forma sama musí být ochlazována. Jedná se taktéž o jeden z hlavních způsobů zpracování kaučukových směsí, a nejen termoplastů samotných. K realizaci této operace se využívají pístové vstřikovací stroje (Ducháček, 2011; Maroušek, 2000; Ducháček, 1996).



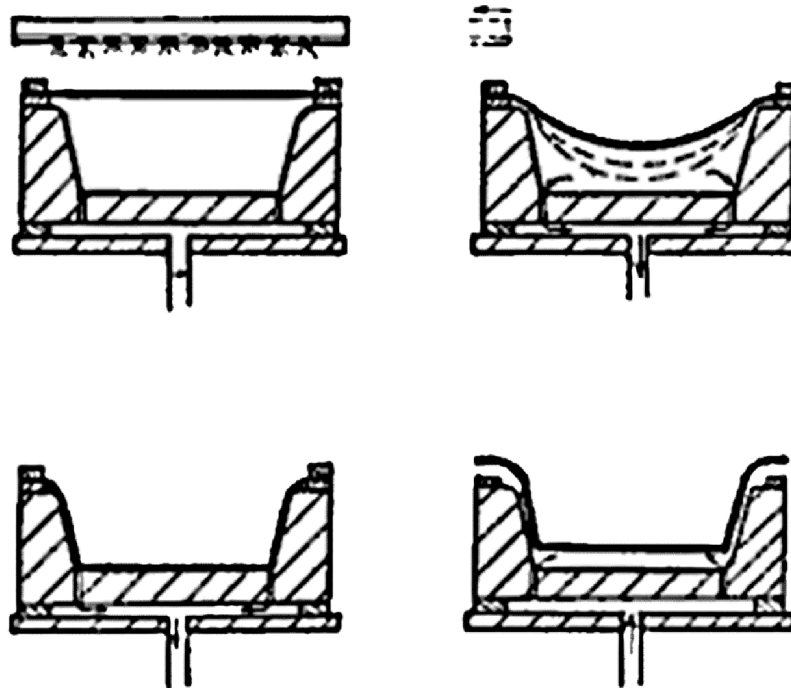
Obrázek 3.7: Schéma vstřikovacího lisu (ksp.tul.cz, 2022)

3.2.2 Tvarování

Oproti způsobu tváření, zde u tvarování nacházíme rozdíl ve skupenství zpracovávaného polymeru. Tvarované polymery se nachází v kaučukovitém, či tuhém stavu. Tvarování tedy představuje buď samotné procesy jako jsou smršťování a tvarování za běžné, či zvýšené teploty, pro které se používají již předem vytvořené polotovary, nebo posléze dochází ještě k dokončovacím operacím, jako je vyfukování (Ducháček, 2011; Ducháček, 2006; Vohlídal, 1995).

Běžně známo, polymerní materiály postupem času mění své vlastnosti některé i vlivem deformací, či působením běžného okolního prostředí. Pokud je ale změna provedena za účelem, hovoříme o tak zvané výrobě orientovaných polymerů. Samotná orientace se běžně provádí dloužením, nebo protahováním za vysokých teplot. Nejběžnějšími výslednými výrobky bývají buď orientované, či smršťitelné fólie (Šňupárek, 2003; Maroušek, 2000).

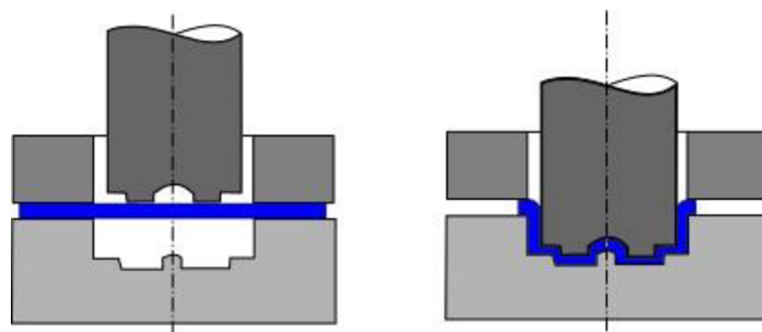
Tvarování za zvýšené teploty mění skupenství měněného polymeru do formy kaučukovité, za použití teplovzdušné komory, předehřívacích desek či infračervených zářičů. V tomto procesu se užívá dvou základních principů a to, pozitivního a negativního. Rozdílem je, že při pozitivním principu přejímá fólie tvar tvárníku, přičemž u negativního způsobu přejímá fólie tvar tvárnice. Schéma tvarování na obrázku 3.8 (Ducháček, 2011; Běhálek, 2016).



Obrázek 3.8: Schéma pozitivního, negativního a kombinovaného tvarování (techportal.cz, 2022)

Tvarování za běžné teploty, taktéž velmi běžně označované jako tvarování za studena, je dodnes prakticky jedním z nejmladších způsobů zpracování termoplastů. Jedná se o trojrozměrnou deformaci fólie, to znamená, že jde o tvarování ve formě. Dochází k nahrazení matrice pružným vakem, který je naplněn tlakovou kapalinou, a patrici nahrazuje tvarovací plunžr (Ducháček, 2011; Kyselá et al, 2010).

Výhodou této metody je nekompromisně nesnižující se pevnost materiálu, nicméně na druhou stranu je nevýhodou nutnost větších tahových napětí. V obecném měřítku, je tato metoda velmi nenáročná oproti tvarování za zvýšené teploty, jelikož dochází pouze k samotné změně požadovaného tvaru polymerního materiálu (Maroušek, 2000; Kinzlink, 2005; Krebs et al, 1998).



Obrázek 3.9: Tvarování za studena (publi.cz, 2022)

3.2.3 Zpracování na lehčené hmoty

Již od dávných dob byly lidmi vyhledávány právě takové materiály, které dokázali skloubit lehkost a pevnost a zároveň se taktéž pyšnilo výbornou tepelnou izolací. Zprvu se jednalo primárně o přírodní materiály, mezi které bychom zařadily například pemzu, korek, balzové dřevo či mořskou houbu. V pozdější době, a to konkrétně během masivního rozvoje techniky ve světě vznikl právě pojem „lehčené hmoty“. Tyto materiály se vyznačují takovými speciálními dutinkami neboli póry všech možných velikostí a tvarů. Tyto póry mají za následek snížení hustoty původního nelehčeného materiálu. Zejména se takové lehčené polymerní hmoty vyrábí z homopolymerů, polyurethanů, fenoplastů či syntetických kaučuků. Mezi velmi lákavé a hojně chtěné patří také lehčené PVC, které se pyšní velmi malou hořlavostí (Kuta, 1999; Ducháček, 2011; Čermák, 2020; Kyselá et al, 2010).



Obrázek 3.10: Kryt akvária vyrobený z lehčeného PVC (rybicky.net, 2022)

Způsobů výroby je hned několik. Mezi ty nejčastější patří vmíchání dutých plniv, vymývání rozpustného plniva, odpaření těkavého plniva, či specifickými polymerickými reakcemi a postupy. Přičemž mezi naprosto nejčastější metodu se řadí tak zvané napěňování. Při tomto procesu se setkáváme se třemi stádii. Se samotným vznikem pórů, jejich růstem a následném ustálení. Vznik pórů probíhá buď mechanicky našleháním kapalně polymerní směsi či vypařováním kapalin. K ustálení dochází ochlazením polymeru pod teplotou tání daného polymeru. U termoplastů hovoříme o zesílení a u reaktoplastů o zesíťování a v neposlední řadě o vulkanizaci u kaučukových hmot (Mleziva a Šňupárek, 2000; Lenfeld, 2022; Stevens, 1999; Kuta, 1999).

Je nutné dodržet přesný postup těchto operací, jelikož nechceme, aby došlo k nežádoucím účinkům. Mezi takové řadíme nerovnoměrnou strukturu pórů, nebo nedostatečná vylehčenost. (Ducháček, 2010; Vohlídal, 1995; Běhálek, 2016).

3.2.4 Zpracování na vlákna

Tak zvaným zvlákňováním rozumíme takové způsoby zpracování polymerů, při kterých dochází k protlačování otvory trysek, díky čemuž získáváme vlákna. Takový vlákna získáváme buď z roztoku, taveniny či ze zplastikovaného vláknotvorného polymeru (Ducháček, 2011; Kyselá et al, 2010).

Tabulka 3.1: Způsoby zvlákňování vybraných polymerů (Ducháček, 2011)

Polymer	Způsob zvlákňování	Teplota zvlákňování v °C	Odtahová rychlost
Viskóza	Z roztoku, mokrý	40 až 50	60 až 140
Acetát celulózy	Z roztoku, mokrý, suchý	-10 až 50	100 až 200 400 až 600
Polyakrylonitril	Z roztoku, mokrý, suchý	20 až 100 100 až 120	4 až 28 12 až 90
Chlorovaný PVC	Z roztoku, mokrý, suchý	20 až 30 50 až 60	40 až 60 150 až 200
Polyvinylidenchlorid	V plastickém stavu	150 až 170	150 až 200
Polypropylen	Z taveniny	230 až 250	200 až 300
Polyamid 6	Z taveniny	250 až 270	300 až 1200
Polyamid 66	Z taveniny	270 až 290	300 až 1200
Polyethyltereftalát	Z taveniny	285 až 290	300 až 1200

V tabulce 3.1 výše lze vidět několik zmíněných způsobů samotného zvlákňování. Způsob zvlákňování v roztoku je výhodný u polymerů, které mají příliš velký interval mezi teplotou tání a měknutí. U tohoto způsobu je velmi důležitá správná volba rozpouštědla. Základními specifikacemi jsou nízká viskozita, velká rozpouštěcí schopnost pro dané polymery a alespoň dostačující teplota varu. Dále nutno zmínit faktory jako je zdravotní nezávadnost, nehořlavost a výbušnost (Elias, 1997; Vohlídal, 1995).

Mokrým způsobem zvlákňování rozumíme protlačování daného roztoku polymeru tak zvanou zvlákňovací tryskou, kde se vlákno zpevní do takové míry, kdy je vhodné pro další zpracování.

Suchý způsob naopak od mokrého využívá mnohem viskóznějších roztoků a je považován za nejstarší způsob této metody. Je proto umožněno dosáhnout mnohem

3.2.5 Zpracování v kapalném stavu

Zvlákňování není jediným účinným kapalným způsobem zpracování polymerů. Mimo jiné známe mnoho dalších jako máčení, odlévání a natírání. Dále pak lepení a potiskování. Tyto metody a postupy slouží primárně k výrobě polymerních povlaků, a to konkrétně k trvalé povrchové úpravě, či jen k přechodné. Také lze podotknout, že tyto úpravy nám pomáhají získat požadovanou míru ochrany daného polymerního materiálu (Ducháček, 2006; Kinzlink, 2005; Čermák, 2020).

Postupem máčení se nejčastěji zpracovávají různé roztoky, pasty, latexy, či jiné nízko viskózní taveniny. Alfou a omegou této formy je zisk a výroba širokého spektra ochranných prostředků a povlaků. Pasty se naopak získávají díky schopnosti polymerních částic, která dovoluje polymerům rozpouštět se jen částečně a vytvářet tím dosti stabilní disperzi. O takových polymerech poté hovoříme jako o pastotvorných typech polymerů, kdy jejich vlastnosti jsou definovány tvarem, rozměrem a jedinečnou distribucí polymerních částic. Máčení se obecně rozděluje na dva základní způsoby, a to na máčení za běžné teploty neboli za studena a na máčení za tepla. Máčení za studena je doporučováno pro velmi tenké povlaky a pro výrobky složitějších tvarů. Naopak pro tlusté nánosy a z pohledu zlepšené reprodukovatelnosti je vhodnější máčení za tepla (Ducháček a Hrdlička, 2009; Krebs et al, 1998; Čermák, 2020).



Obrázek 3.12: Diskontinuální technologie máčení (publi.cz, 2022)

Mezi nejdůležitější způsoby přípravy jak tenkých, tak tlustších povlaků řadíme natírání. Využívá se hojně a primárně pro tvorbu tak zvané umělé kůže, jelikož touto me-

todou lze dosáhnou měkkého „omaku“. Prostředku k výrobě se používají pasty z nejrůznějších materiálů, nicméně mezi nejběžnější minulé doby patřily oleje a kaučukové disperze. V dnešní době se však od těchto způsobů upustilo a začalo se využívat PVC past (Prekop et al, 1998; Janovič, 1997; Čermák, 2020).

Právě i díky této novodobé inovaci se několikanásobně zjednodušila a zkomerčnila výroba „koženky“ jakožto levné náhrady za pravou kůži. Samotné nátěry probíhají na opryžovaném válci pod volným a visutým nožem putujícím po pryžovém pásu. Dochází tedy k nánosu kapalného plastu ve formě nátěrové hmoty na žádaný finální výrobek. Dalšími formami nánosu mohou být například technika obráceného válce, či nátěr pomocí želatinačního stroje (Kuta, 1999; Ducháček, 2011; Lenfeld, 2022).

Velmi častou metodou zpracování termoplastů, tak reaktoplastů je odlévání. Používají se speciální licí pryskyřice, které jsou taktéž reaktivní. Nejběžnějšími pryskyřicemi jsou fenol-formaldehydové, epoxidové, polyesterové a polyurethanové. Co se týče termoplastů, tak se nejčastěji užívá PVC past, polyamidů, či polykarbonátů. Mezi výrobky, které bychom mohli naleznout pod záštitou této metody, jsou převážně polotovary bloků, profilů atp. Záhodno je také zmínit výrobek, se kterým se setkáváme v běžném životě. Jimi jsou klasické urethanové knoflíky viz. Obrázek 3.13 (Kyselá et al, 2010; Ducháček, 2011).



Obrázek 3.13: Urethanové knoflíky (armycom.cz, 2022)

S vlivem i k automobilovému průmyslu je důležité zmínit epoxidové pryskyřice, kterými se impregnují vodiče motorů a transformátorů právě formou odlívání. Odlévání má však vliv i v jiných odvětvích podnikání. Velmi běžná je také výroba celofánových fólií a taktéž různorodé výduťové předměty za pomoci odstředivého lití (Běhálek, 2016; Lenfeld, 2022).

Následující metoda využití kapalných polymerních materiálů je lepení, tudíž se jedná o lepidla, či odborněji adheziva. Adhezivy se obecně chápe materiál, či hmota, která má vlastnost spojit dva různorodé materiály. Je nutné brát v úvahu nejen adhezi

čili přilnavost, ale i kohezi, rozuměje soudržnost lepených materiálů. Není totiž sto procentní slepovat všechny materiály s požadovanou úspěšností. Základní složkou lepidel je tak zvané pojivo jakožto základní pojící složka. Nicméně v dnešní době je naprosto běžné přidávání aditiv neboli modifikátorů, a to za vidinou zlepšení nejrůznějších vlastností lepidel dle potřeby. Všechné druhy a typy lepidel jsou popsány v příložené tabulce 3.2 (Ducháček, 2011).

Tabulka 3.2: Druhy lepidel (Ducháček, 2011)

Podle původu	Přírodní Klihová Pryskyřičná Bitumenová	Polosyntetická Z derivátů Škrobu, Bílkovin, Celulózy	Syntetická Polymerační Polykondenzační Polyadiční
Podle pojiva	Reaktoplastická Aminoplastická Epoxidová Polyurethanová Polyesterová	Termoplastická Z polymerů, Vinylových, Styrenových, Akrylových, Z derivátů celulózy	Elastomerní Z kaučuku přírodního, Butadien-styrenového a-akrylonitrilového, Chloroprenového, Silikonového, Z polyizobutylenu
Podle reaktivity a nosiče	X	Nereaktivní Disperzní, Roztoková, Tavná, Přilnavá	Reaktivní Bezrozpouštědlová, Jednosložková, Vícesložková
Podle konzistence	Tuhá Tavná	Polotuhá Přilnavá, Tmely, Pasty	Kapalná Disperzní, Roztoková, Bezrozpouštědlová
Podle odolnosti spoje k vodě	Neodolná Škrobová, Bílkovinná, Polyvinyl-alkoholová, Methyl-celulósová, Karboxymethyl-celulósová	Krátkodobě Močovino-formaldehydová, Polyvinyl-acetátová, Polyvinyl-etherová, Nitrocelulósová, Elastomerní	Trvale odolná Fenoplastická, Melamino-formaldehydová, Polyurethanová, Epoxidová, Polymethyl-methakrylátová

Jako poslední zmíněný způsob zpracování zmíníme natírání a nátěrové hmoty specificky. Nátěrová hmota je definována jako tekutá, či polotekutá hmota, která je využívána k povrchové úpravě materiálu. Po nanesení tato hmota vytvoří tenký „film“ v požadované formě, barvě a stylu. Bývá pravidlem, že se provádí několik hned několik vrstev nátěru, pro mnohem lepší životnost. Základním kamenem nátěrových hmot je taktéž pojivo, ale taktéž některé typy obsahují i tak zvaná plniva (Šňupárek, 2003).

Hmotu v požadované formě lze nanášet hned několika způsoby. Tou nejčastější a pro neodbornou veřejnost nejsnazší formou je nanášení hmoty štětcem za použití manuální práce. Technologicky náročnější formou je stříkání. Tento způsob je velmi často k vidění právě v automobilových dílnách při nanášení laků na karoserii automobilů. Zároveň je tato forma velmi výhodná i z ekonomických důvodů, jelikož je velice praktická pro sériovou výrobu a zároveň šetří čas (Sova a Krebs, 2001; Štěpek et al, 1989; Čermák, 2020).

Typy nátěrových hmot jsou dále popsány a rozděleny v příložené tabulce 3.3.

Tabulka 3.3: Typy nátěrových hmot (Ducháček, 2011)

Podle původu	Přírodní Asfaltové, Olejové, Pryskyřičné	Polosyntetické Z derivátů celulózy	Syntetické Polymerační, Polykondenzační, Polyadiční
Podle pojiva	Reaktoplastické Fenoplastické, Aminoplastické, Epoxidové, Polyurethanové, Polyesterové, Silikonové	Termoplastické Z polymerů vinylových, Styrenových, akrylo- vých, Z derivátů celulózy, Asfaltové, pryskyřičné	Elastomerní Z kaučuku přírodního, chloroprenového
Podle reaktivity		Nereaktivní Termoplastické, Elastomerní	Reaktivní Reaktoplastické, Olejové
Podle nosiče	Disperzní Termoplastické, Elastomerní	Roztokové Lihové, Vodorozpustné, Elastomerní, Termoplastické, Z derivátů celulózy	Bezrozpuštědlové Asfaltové, Olejové, Práškové, Reaktoplastické
Podle konzistence		Tuhé Asfaltové, Práškové	Kapalné Disperzní, Roztokové

4 Vybrané polymerní materiály v konstrukci dopravní techniky

V konstrukci dopravní techniky lze naléznout nespočet aplikací různých druhů materiálů. Od kompozitů až po kovy, nicméně my se budeme bavit o konkrétních příkladech vybraných polymerních materiálů. Tyto materiály byly vybrány na základě jejich častého využití v praxi, mechanických a fyzických vlastností a v neposlední řadě spojitosti s aplikací v dopravní a manipulační technice. Součástí budou i vybrané speciální plasty, které sice nejsou tak běžné, nicméně jsou svými vlastnostmi a strukturou tak zajímavé a výhodné, že je záhodno je zařadit mezi vybrané polymerní materiály, na opačné straně barikády je ale nutné zmínit jejich relativně vysokou pořizovací cenu.

4.1 Polyamid 6 (PA6) (Nylon 6)

Primární vlastností PA6 je tvrdost a je to světle žlutě zbarvený plast. Není rozpustný v běžně dostupných rozpouštědlech, nýbrž je nutnost rozpouštět ho ve fenolech, kyselině mravenčí či bezvodé kyselině octové. Vyznačuje se obstojnými mechanickými vlastnostmi, nízkým koeficientem tření, dobrou rázovou houževnatostí, je velice dobrý izolant, nicméně se také vyznačuje velkou navlhavostí. Jednou z nevýhod je nízká odolnost vůči anorganickým kyselinám a oxidačním činidlům. Zvláknění PA6 probíhá protlačováním taveniny přes trysku. V průběhu dochází k tak zvanému dloužení vlákna a k jeho praní, díky kterému ho zbavíme přebývajícího monomeru. Vlákná se vyznačují velkou pevností v tahu, znamenitou odolností proti otěru, zároveň i odolností vůči mikroorganismům a potu. Nicméně nutno podotknout, že tato vlákna jsou méně odolná oproti povětrnostním podmínkám a jsou taktéž oslabena vlivem vyššího tepla (Mleziva a Šňupárek, 2000; Ducháček, 2011).



Obrázek 4.1: Polyamidový kryt motoru Mercedes (plasticstoday.com, 2022)

Polyamid 6 se v praxi využívá jako konstrukční materiál pro výrobu ložisek, ozubených kol, vaček, cívek, ovládacích elementů a dalších. Konkrétní vlákna z PA6 se

v prostředí dopravní techniky používají jako hedvábná vlákna, stříž a kordy do pneumatik či krytů motorů. Vlastnosti PA 6 jsou uvedeny v tabulce 4.1 (Mleziva a Šňupárek, 2000; Kuta, 1999).

Tabulka 4.1: Vlastnosti PA 6 (inspirováno: vacula.cz, 2022)

Tabulka vlastností Polyamidu 6	
Hustota (g/cm³)	1,13-1,15
Pevnost v tahu (N/mm²)	40-65
E-modul (N/mm²)	900-1700
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m², 23 °C)	30- bez lomu
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	55-80
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	140-170
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	80-110
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-30
Navlhavost při nasycení %	2,15-3,4

4.2 Polyamid 66 (PA66) (Nylon 66)

Polyamid 66 a Polyamid 6 jsou obdobné polymery, které se liší v pouhých maličkostech, které jsou ale z pohledu techniky a jejich mechanických vlastností důležité. V jejich případě se jedná o vyšší bod tání, vyšší pevnost a jako největší rozdíl je o dost menší navlhavost polyamidu 66. Proto v tomto případě získáváme jednodušší technologický postup, jelikož nemusí docházet k procesu praní díky absenci volného monomeru v molekule PA66. (Ducháček, 2011; Meissner a Zilvar, 1987; Kuta, 1999).



Obrázek 4.2: Příklad využití PA66 v motorové instalaci (greencarcongress.com, 2022)

V praxi bychom mohli PA66 využít jako polymer, ze kterého lze vyrobit vlákna a fólie. V příložené tabulce 4.2 lze nalézt vlastnosti PA 66 (Mleziva a Šňupárek, 2000).

Tabulka 4.2: Vlastnosti PA 66 (inspirováno: vacula.cz, 2022)

Tabulka vlastností Polyamidu 66	
Hustota (g/cm³)	1,12-1,14
Pevnost v tahu (N/mm²)	55-70
E-modul (N/mm²)	1200-2500
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m², 23 °C)	15-25
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	70-100
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	170-200
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	80-120
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-30
Navlhavost při nasycení %	2,6-3

4.3 Polyamid 6 12 (PA6 12)

Tabulka 4.3 vyjadřuje typické vlastnosti polymeru PA 612.

Tabulka 4.3: Vlastnosti PA 6 12 (inspirováno: vacula.cz, 2022)

Tabulka vlastností Polyamidu 6 12	
Hustota (g/cm³)	1,01-1,02
Pevnost v tahu (N/mm²)	38-46
E-modul (N/mm²)	1200-1350
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m², 23 °C)	16-20
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	40-50
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	140-150
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	70-80
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-70
Navlhavost při nasycení %	0,7-1,1

Navzdory nejběžněji užívaným polyamidům 6 a 66. Polyamid 612 lze klasifikovat jako vylepšenou verzi těchto dvou, který dosahuje lepších vlastností. PA612 je charakteristický svou vyšší pevností v tahu a značně menší nasákavostí. Typická aplikace PA 612

je znázorněna na obrázku 4.3 (Mleziva, Šňupárek, 2000; Ducháček, 2011; PlasticsEurope, 2016).



Obrázek 4.3: Pryžové komponenty v automobilovém průmyslu z PA612 (vestamid.com, 2022)

4.4 High temperature Nylon (HTN)

Zařazení tohoto polymeru lze postavit téměř na hranu spektra konstrukčních a speciálních polymerů. Výhodami HTN je nižší nasákavost než u Polyamidů 6 a 66, obstojná rozměrová stálost a dosahuje vynikajících mechanických vlastností. Mezi ně se řadí nízká kríповost spolu s chemickou odolností. Je velice dobře zpracovatelný při vstříkování a vyznačuje se vysokou teplotou skelného přechodu.

Jako hlavní nevýhody je záhodno zmínit nízkou tažnost, problematické metody sušení a značně pomalou krystalizaci (Ducháček, 2011; Stevens, 1999; Lenfeld, 2022).



Obrázek 4.4: Turbo vyfukování z HTN (plastix-world.com, 2022)

Využití v praxi lze nalézt v prvcích bezpečnosti automobilů, konkrétně u senzorů airbagů, ABS senzorů, rychlostních a teplotních senzorů. V neposlední řadě jako konektory objímek, je součástí automobilového motoru, objevuje se i v ložiskách převodovek, u přítlačných kotoučů a ozubených kol (Campo, 2008; Mizera, 2015; Kuta, 1999).

4.5 Polyarilamidy (Aromatické polyamidy)

Tyto materiály lze efektivně využít pro výrobu vláken s neskutečnou odolností vůči teplu a ohni obecně. Dále je lze využít v extrémních podmínkách pevnosti a modulech pružnosti. Polyarilamidová vlákna, u nichž se vyskytuje alespoň 85 % amidových skupin, které jsou navázány na alespoň dvě aromatická jádra, jsou profesně označována jako aramidová vlákna. Tato vlákna se vyznačují nulovou mírou tání, vysokou mírou elektrické pevnosti a velmi dobrou chemickou odolností (Mleziva, Šňupárek, 2000; Campo, 2008; Běhálek, 2016).



Obrázek 4.5: Chladič plnicího vzduchu (ptonline.com, 2022)

4.6 Poly (m-fenylenisoftalamid) (Nomex)

Tento konkrétní polymer se v praxi využívá pro výrobu netavících se vláken. Jelikož se vyznačuje vysokou tepelnou odolností, kdy rozklad začíná až při 370 stupních celsia. To je také jeden z důvodů, proč tento materiál nelze zpracovat metodami vstříkování a vytlačování, nýbrž pouze metodou lisování. Teplotní odolnost se pohybuje kolem 200 až 250 stupňů celsia a to trvale. V tabulce 4.4 jsou znázorněny typické vlastnosti Nomexu (Ducháček, 1996; Ducháček, 2011; Campo, 2008).

Tabulka 4.4: Vlastnosti Nomexu (inspirováno: odetka.cz, 2022)

Tabulka vlastností Poly (m-fenylenisoftalamidu)	
Pevnost vlákna [cN/tex]	47
Tažnost [%]	22 %
Bod křehnutí [°C]	X
Bod tání [°C]	371

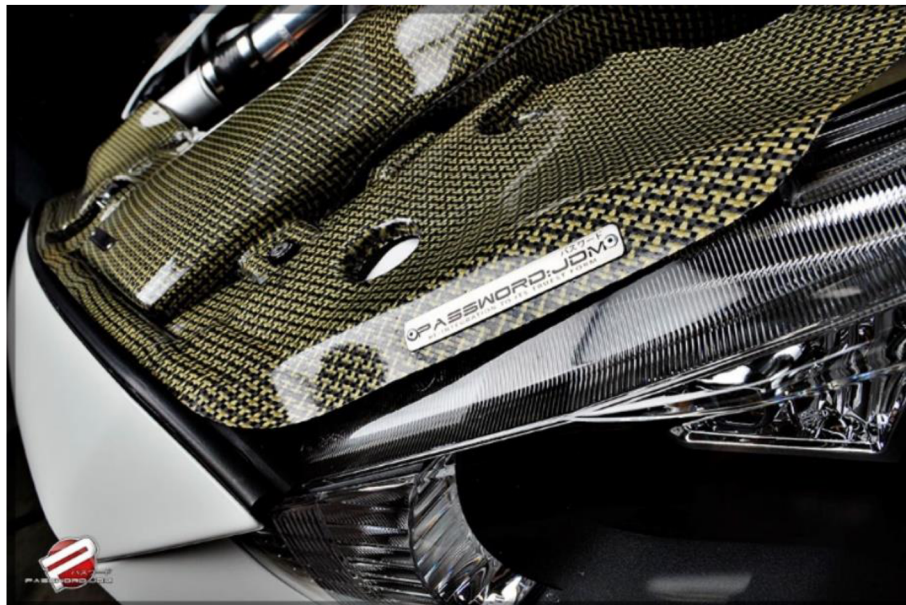
Modul pružnosti je u Nomexu čtyřnásobně vyšší než u Polyamidu 66. Proto se využívá jako odolný filtrační materiál, pro nehořlavé oděvy, a především jako základ výroby speciálního elektroizolačního papíru, který se natírá polyamidovým lakem, který nachází primární využití u izolací při působení vysokých teplot. Ve spojených státech je vyráběn firmou DuPont a má zarytý obchodní název Nomex (Mleziva, Šňupárek, 2000; Campo, 2008; Ducháček, 2011).



Obrázek 4.6: Audio reproduktor Nomexu (alibaba.com, 2022)

4.7 Poly (p-fenyltereftalamid) (Kevlar)

Poly p-fenyltereftalamid, lidově zaryto jako kevlar, je vysoce krystalický typ polymeru, který se vyznačuje samozhášivostí, nedochází u něj k tání a za extrémně vysokých teplot uhehlnatí.



Obrázek 4.7: Karbon-Kevlarová kapota (dsgperformance.wordpress.com, 2022)

Vyznačuje se vyšším modulem pružnosti v porovnání s Nomexem. V tomto případě je modul pružnosti srovnatelný dokonce s ocelí a sklem. Nutno zmínit, že Kevlarem zesílované spojkové obložení pro automobily je využíváno předními světovými výrobci automobilů (Kuta, 1999; Běhálek, 2016; PlasticsEurope, 2016).

Specifickou vlastností Kevlarových vláken je, že při 260 stupních celsia dosahují stejné pevnosti v tahu jako naprosto běžná textilní vlákna při pokojové teplotě. Kevlarová vlákna se dále v dopravní technice používají k vyztužování pneumatik, hadic, dopravních pásů, kabelů a řemenů. Právě pro své nesmírně výhodné odolné vlastnosti je přiložena tabulka 4.5 s popisem. (Mleziva, Šňupárek, 2000; Ducháček, 2011).

Tabulka 4.5: Vlastnosti Kevlaru (inspirováno: odetka.cz, 2022)

Tabulka vlastností Poly (p-fenyltereftalamidu)	
Pevnost vlákna [cN/tex]	194
Tažnost [%]	4 %
Bod křehnutí [°C]	-196
Bod tání [°C]	450

4.8 Polykarbonát (PC)

Polykarbonát je velice zajímavý, a především transparentní polymer. Obecně vzato s propustností světla až 85 % a s velmi vysokým indexem lomu. Další jeho velmi užitečnou vlastností je jeho velmi dobrá rozpustnost chlorovaných uhlovodíků, na druhou stranu je však velmi těžko rozpustný v esterech, aromatických uhlovodících a ketonech (Mleziva, Šňupárek, 2000; Ducháček, 1996; Kyselá et al, 2010).



Obrázek 4.8: Přední rozdělovač (waterjets.org, 2022)

Co se týče jeho vlastností a výhod, tak bychom měli zmínit jeho vysokou houževnatost v rázu, a to i v prostředí s nízkou teplotou. Má velice obstojné elektroizolační vlastnosti, vysokou mechanickou pevnost. Je taktéž odolný proti UV záření a velmi dobře odolává roztokům různých kyselin a celé řadě alkoholů (Čermák, 2020; Běhálek, 2016; Campo, 2008)

Na opačné straně spektra má jako každá látka i své stinné stránky, zejména jeho dlouhodobá špatná odolnost vůči parám a vroucí vodě. Dále pak se snižuje jeho odolnost vlivem amoniaku. Degradace je v tomto případě z dlouhodobého hlediska opravdu značná (Mleziva, Šňupárek, 2000; Ducháček, 2011; Kuta, 1999).

Z hlediska jeho využití v praxi doprání techniky bychom si měli zmínit technologii vstřikování. Jako další příklady lze uvést výrobu fólií, tyčí a profilů.

Z polykarbonátu se také hojně vyrábí tak zvané blendy. Jsou to konkrétně slitiny, které nalézají využití v automobilovém průmyslu a v elektrotechnice. V tabulce 4.6 níže jsou vyobrazeny typické vlastnosti PC. (Zeman, 2009; Ducháček, 2011; Kyselá et al, 2010).

Tabulka 4.6: Vlastnosti PC (inspirováno: vacula.cz, 2022)

Tabulka vlastností Polykarbonátu	
Hustota (g/cm³)	1,20
Pevnost v tahu (N/mm²)	55-65
E-modul (N/mm²)	2300-2400
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m², 23 °C)	20-35
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	135-140
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	135
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	100-130
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-100
Navlhavost při nasycení %	0,15

4.9 Polyethylentereftalát (PET)

Polyethylentereftalát je v novodobé historii tím nejvýznamnějším plastem, který lidstvo poznalo. Tento materiál je výhodný hned z několika hledisek. Je neobyčejně tvárný a dle typu zpracování získává četné vlastnosti, které jsou výhodné pro mnohé průmysly (Lenfeld, 2022; Ducháček, 2011; Janovič, 1997).



Obrázek 4.9: Termoizolační PET fólie (bauhaus.cz, 2022)

Zejména je třeba si zmínit jeho využití ve strojírenství a elektrotechnice. Jelikož po správném zpracování PET nabývá skvělé pevnosti, rozměrové stálosti a také vlastní velice dobré kluzné vlastnosti (Ducháček, 2011). Primárně se z něj vyrábí metalizované fólie, různé hadičky a trubky. Tabulka 4.7 s vlastnostmi PET uvedena níže. (Mleziva a Šňupárek, 2000; Kyselá et al, 2010; Ducháček, 2011).

Tabulka 4.7 Vlastnosti PET

Tabulka vlastností Polyethyltereftalátu	
Hustota (g/cm³)	1,3-1,5
Pevnost v tahu (N/mm²)	110-130
E-modul (N/mm²)	4200-8100
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m², 23 °C)	20-30
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	X
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	310
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	250
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-60
Navlhavost při nasycení %	0,3

4.10 Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid je jedním z nejhojněji používaných polymerů. Vyznačuje se mnohými dobrými vlastnostmi a relativně nízkou cenou. První z jeho předností je značně obsáhlé spektrum jeho využití. Primárně se dělí na dva druhy, a sice na měkčené PVC a neměkčené PVC. Také ho lze upravit do lehčené formy a na houževnaté PVC. Jako značné nevýhody PVC bychom mohli uvést jeho velmi obtížnou zpracovatelnost v porovnání s ostatními polymery. Proto je nutností během zpracovávání PVC užití maziv, změkčovadel či stabilizátorů. Příslušenství interiéru automobilu je možné vidět na obrázku 4.10, jedná se konkrétně o interiérové koberce, které má v automobilu každý vlastník motorového vozidla (Ducháček, 2011; Mleziva a Šňupárek, 2000; Kuta, 1999; Krebs et al, 1998).



Obrázek 4.10: Koberce do auta z PVC (m.made-in-china.com, 2022)

Jako příklad využití v praxi relevantně k tématu bych zmínil lehčený měkký PVC, který lze nalézt jako materiál užívaný ve stavebnictví, kde slouží k výrobě těsnění a obkladů spolu s komponenty v interiéru vozidla (Mleziva a Šňupárek, 2000).

4.11 Polybutylentereftalát (PBT)

V případě polybutylentereftalátu je záhodno se bavit o vynikajících zpracovatelských vlastnostech. Nejběžnějšími způsoby zpracování jsou vstřikování a vytlačování.

Jelikož má značně nižší mechanické vlastnosti a také nižší teplotu skelného přechodu, jeho praktické využití není vhodné v prostředí s vysokými teplotami. PBT je ale odolný vůči oděru a celé škále chemikálií. Vyznačuje se velkou rázovou houževnatostí, rozměrovou stabilitou a značně malou absorpcí vody (Zeman, 2009; Kinzlink, 2005; Ducháček, 2011; Stevens, 1999).



Obrázek 4.11: Ozubená kola vyrobená z PBT (plastum.cz, 2022)

V technice je využíván především pro své kluzné vlastnosti a pro jeho rozměrovou stabilitu. Ze slitin, které se z PBT vyrábějí lze uvést PBT/PC (Polybutylentereftalát / Polykarbonát), z kterého se vyrábějí metodou vstřikování, automobilové nárazníky. Tabulka 4.8 popisuje základní vlastnosti PBT. (Mleziva a Šňupárek, 2000; Skálová et al, 2010; Čermák, 2020).

Tabulka 4.8: Vlastnosti PBT (inspirováno: vacula.cz, 2022)

Tabulka vlastností Polybutylentereftalátu	
Hustota (g/cm³)	1,30-1,32
Pevnost v tahu (N/mm²)	50-60
E-modul (N/mm²)	2500-2800
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m², 23 °C)	3-5
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	70
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	160-170
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	100-120
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-30
Navlhavost při nasycení %	0,25

4.12 Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice, nebo taktéž nazývané Resin, základní definicí epoxidové pryskyřice rozumíme polymerní materiál, který je syntetického původu. Jsou zároveň velmi dobrými reaktoplasty. Jedná se primárně o pryskyřičné látky, které obsahují více nežli jednu epoxidovou vazbu. Tyto látky se vyznačují nesmírně dobrou adhezí k mnohým druhům materiálů a po následném vytvrzení získávají další výhodné vlastnosti v podobě chemické odolnosti, tvarové stálosti, dobré tepelné odolnosti a taktéž tvrdosti. Příkladem můžou být velmi běžné tak zvané zalévací epoxidové pryskyřice. Názornou aplikaci zalévací epoxidové pryskyřice lze vidět na obrázku 4.12 (Ducháček, 2006; Ducháček, 2011; Mizera, 2015).



Obrázek 4.12: Zalévací epoxidová pryskyřice (barvy-na-drevo.cz, 2022)

V současnosti rozdělujeme epoxidové pryskyřice do čtyřech kategorií dle barevného spektra na:

- Čiré epoxidové pryskyřice
- Barevné průhledné epoxidové pryskyřice
- Metalické epoxidové pryskyřice
- Barevné neprůhledné epoxidové pryskyřice

Nejčastější forma výroby těchto pryskyřic je polykondenzace. Použití pak takové pryskyřice nacházejí ve formě lepidel, lisovacích hmot, pojiv a práškových barev. Oproti ostatním zmíněným polymerním materiálům mají epoxidové pryskyřice diametrálně rozdílné vlastnosti, a proto byly taktéž zvoleny do tabulky 4.9.

Tabulka 4.9: Vlastnosti Epoxidových pryskyřic (inspirováno: vacula.cz, 2022)

Tabulka vlastností Epoxidových pryskyřic	
Hustota (g/cm³)	1,7-1,8
Pevnost v tahu (N/mm²)	70-84
E-modul (N/mm²)	352,5-3000-3900
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m², 23 °C)	3-3,5
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	15-100
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	90-95
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	85-95
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-20
Navlhavost při nasycení %	0,1-0,2

4.13 Polymethylmetakrylát (PMMA)

PMMA, tento polymer, běžně známý pod názvy jako plexisklo, či akrylátové sklo je průhledný syntetický polymer, který má vlastnosti termoplastu. Přípravu tohoto druhu polymeru lze provést za pomoci blokové polymerace, suspenzí či i emulzně u roztokově (Mleziva a Šňupárek, 2000; Mleziva a Kálal, 1986; Stevens, 1999).



Obrázek 4.13: Světlo mety vyrobené z PMMA (terplastics.com, 2022)

Primárně se vyznačuje průhledností a bezbarvostí dokonce i v tlustších vrstvách. Nutno podotknout, že PMMA je relativně ekonomicky náročný plast, užíval se primárně v zábavním průmyslu jako materiál pro výrobu hudebních nástrojů, v nábytkářském průmyslu, či pro výrobu šperků (Mleziva a Kálal, 1986; Čermák, 2020).

V dnešní době se tento termoplast využívá jako náhražka skla, kdy výhodou oproti klasickému sklu jsou výrobní náklady, odolnost, pružnost a životnost. Nejznámější aplikací jsou ochranná plexiskla v hokejových halách. Tabulka 4.10 přibližuje vlastnosti PMMA (Kinzlink, 2005; Lenfeld, 2022; Čermák, 2020).

Tabulka 4.10: Vlastnosti PMMA (inspirováno: vacula.cz, 2022)

Tabulka vlastností Polymethylmetakrylátu	
Hustota (g/cm ³)	1,15-1,20
Pevnost v tahu (N/mm ²)	38-75
E-modul (N/mm ²)	2700-3200
Vrubová houževnatost Charpy (KJ/m ² , 23 °C)	2
Tvarová stálost – HDT 1,8 Mpa (°C)	75-105
Tepelná odolnost (°C) max. krátkodobá	85-105
Tepelná odolnost (°C) max. trvalá	65-90
Tepelná odolnost (°C) min. trvalá	-40
Navlhavost při nasycení %	0,6

4.14 Liquid-crystal Polymer (LCP)

Tekuté krystalické polymery jsou polymery s vlastnostmi tekutého krystalu, obvykle obsahující aromatické kruhy ve formě mezogenů. Navzdory nezesíťným tekutým polymerům, mohou polymerní materiály jako například elastomery s tekutými krystaly vykazovat tekutou krystalinitu (White a Broer, 2015).

Nicméně zesíťené LCP mají různou hustotu křížových vazeb. Jsou typickými zástupci na trhu digitálních displejů. Kromě toho mají LCP jedinečné vlastnosti, jako je tepelná aktivace, anizotropní bobtnání a měkkou elasticitu. Proto mohou být dobrými akčními členy a senzory. Jednou z nejznámějších a neklasičtějších aplikací pro LCP je Kevlar, silné, ale lehké vlákno s širokým uplatněním včetně neprůstřelných vest. Strukturální vzorec LCP a příklad výtisků jsou znázorněny na obrázcích 4.14 a 4.15 (Danqing a Broer, 2014; Kularatne et al, 2017).



Obrázek 4.14: 3D komponenty vyrobené z LCP (additively.com, 2022)

5 3D tisk pro výrobu prototypů v dopravní technice

Tradiční subtraktivní metoda výroby, kdy je materiál odebírán z celku pro vytvoření žádaného výrobku byla tou jedinou známou metodou až do 80. let 20. století. V tomto období byl navržen nový způsob výroby a sice tak zvaný aditivní způsob, kdy právě naopak materiál vrstvíme pro získání výsledného výrobku namísto odebírání materiálu. Právě touto metodou aditivní výroby se tvoří 3D objekty. Počínaje prázdnotou, až k tíženému zisku požadovaného prototypu či výrobku (Savini a Savini, 2015).

Trojrozměrný tisk, který je velmi často zaměňován jako aditivní forma výroby, je mladou a nově vznikající technologií pro vytváření nesčetných objektů s mnohými designovými flexibilitami za pomoci sekvenčního vrstvení. Výzkum 3DP zaměřený na vývoj různě výkonných materiálů je stále ve své mladé fázi, nicméně narůstá exponenciální řadou po celém světě. Nejširší aplikace technologie 3DP lze nalézt v mnohých technických průmyslech. Mezi takové patří automobilový, letecký, stavební, kovový, elektronický, a dokonce i biomedicínský (Fijur Kabir S.M. et al., 2020).

5.1 Historie 3D tisku

Historie technologie 3D tisku je velmi mladou technologií, jelikož je pouze čtyři desetiletí stará. Vskutku revoluční nárůst výzkumu ve vědě, ve strojírenství a technologii, dovedl tuto nadčasovou inovaci na vysokou úroveň. Chronologický vývoj technologie 3D tisku může být nahlížen z různých úhlů pohledu, jako je čas (Fink, 2019), různé charakteristiky i technologie samotné (Bensoussan, 2016). Během významné doby své historie nebyly 3D tiskárny cenově dostupné pro širokou veřejnost, ani pro firmy, ale nyní se cena výrazně snížila z přibližně 20 000 \$ za kus (před rokem 2009) na 500-1 000 \$ za kus. Někteří badatelé rozdělili časovou osu historie 3D tiskáren a tisku samotného na pět časových období (Horvath, 2014).

5.1.1 Před rokem 1980

Předpokládá se, že základ konceptu 3D tisku započal v roce 1860 pařížský fotograf Francis Willene. Vytvořil vynález pod názvem „mechanická socha“ jako vzor pro vytvoření 3D portrétované sochy zachycené fotoaparátem, a konkrétně fotografie s větší přesností a kratším možným časem (až 48 hodin) než poskytují tradiční metody, které v té době vyžadovaly několik až měsíců (Herron, 1981).

Do roku 1940 nebyl nalezen ani vyvinut žádný další vývoj těchto myšlenek. Nicméně Pereyra použil podobnou metodu k vytvoření 3D mapy nařezáním a polepením vrstevnic na list vyrobený z lepenky (Horvath, 2014; Herron, 1981).

Finální myšlenka 3D tisku byla vryta do povědomí ve jménu rychlého prototypování založeného na pokračující koncepci propojení fotopolymery s laserem, kterou teoretizovali Hideo Kodama a Alan Herbert. Podali také návrh na patent, avšak ten byl zamítnut, protože nebylo v jejich silách předložit úplnou patentovou specifikaci do jednoho roku od podání žádosti (Industry, 2014; Fink, 2019; Practise, 2019).

5.1.2 Vznik 3D tisku období let 1981–1990

Toto desetiletí představilo oficiální zavedení dvou oblíbených a široce používaných 3D tiskáren, kterými byli „Selektivní laserové slinování“ (SLS) a FDM. Vůbec první patent s nálepkou 3D tisku s názvem „přístroj pro výrobu trojrozměrných předmětů stereolitografie“ byl udělen Chuckovi Hullovi v roce 1986, pro jeho první komerční 3D tiskárnu (Fink, 2019; Savini a Savini, 2015).

Nejčastěji viděná 3D stolní tiskárna, FDM, byla zkonstruována v roce 1989 Scottem Crumpem a zavedena na trh společností Stratasys. Využívala software pro počítačové navrhování objektů. Tyto programy pro 3D tiskárny vyvinula společnost EOS v Německu (Fink, 2019; Industry, 2014).

5.1.3 Fáze vývoje 1991–2000

Tato dekáda vedla nejen k velkému vývoji již existujících 3D tiskáren, ale i nových tiskáren a nových materiálů pro tyto tiskárny. První tiskárny se vyznačovali velkými technickými omezeními a nedostatky, které je omezovaly ve vztahu k průmyslové výrobě 3D objektů (Savini a Savini, 2015; Fink, 2019).

V průběhu tohoto desetiletí byly také vyvinuty některé nové tiskárny na jiných bázích, jako byla 3D vosková tiskárna, Z tiskárny a 3D tiskárna kovů. Taktéž došlo k několika přelomovým vývojům mnohých úžasných objevů, včetně nejpozoruhodnějších inovací ve zdravotnictví, jako je vývoj 3D tištěného orgánu, močového měchýře vytvořeného z vlastních kmenových buněk pacienta. Dále flexibilita designu, která umožnila realizaci tisku tvrdých i měkkých materiálů s různou estetikou a funkcemi (Practise, 2019; Industry, 2014; Savini a Savini, 2015).

5.1.4 Druhá fáze vývoje 2001-2010

Druhá fáze vývoje 3D tisku je v duchu výčtu těchto vlastností. Funkční flexibilita, hromadné přizpůsobení, přesnost, vysoké rozlišení, osobní domácí tiskárny, uživatelská přívětivost, snadná dostupnost spolu s boomem výzkumu pro výrobu nových materiálů se sofistikovanými vlastnostmi produktů jsou zmiňovanými pokroky, ke kterým došlo během tohoto desetiletí (Savini a Savini, 2015; Fink, 2019).

Jednou z přelomových myšlenek desetiletí byl projekt „RepRap“, který přinesl 3D tiskárnu do domova prostřednictvím snadno dostupného open source systému a sebereplikující se přírody (Wohlers a Gornet, 2014; Industry, 2014).

Kromě toho došlo k obrovskému nárůstu materiálů. V této době také nacházíme širší přijetí této technologie všemi zúčastněnými stranami. To však nepřišlo okamžitě a bez obav, jelikož následovaly až po vývoji prvního standardu ASTM pro aditivně vyráběné produkty jako žádaná reference kvality a terminologie (Practise, 2019).

5.1.5 Aktuální stav 2010- dnešní doba

Historie právě probíhající éry se primárně zabývá cenovou dostupností 3D tiskáren z hlediska ekonomické náročnosti a používání této technologie pro vznikající hraniční materiály s vícerozměrnými účely, obsahující jak osobní, tak průmyslové produkty. Takové jsou například potraviny, hračky, šperky, automobily, budovy, letadla, oděvy, módní doplňky, biomedicína či robotika. Náklady na 3D tiskárny typu FDM mezi roky 2012–2013 dramaticky klesly nejen z pěti ciferních hodnot na čtyři, ale dokonce i na tři ciferní hodnoty, což zvýšilo cenovou dostupnost této technologie spolu s poptávkou (Goldberg, 2018; Wohlers a Gornet, 2014).

Zajímavostí je, že v roce 2011 představil časopis „Time“ 50 nejlepších vynálezů roku, který zahrnoval 3D tištěné flexibilní šaty navržené Iris van Herpenovou. V doporučeném článku „The Guardian“ zmínil Chucka Hulla, jako praotce 3D tisku a uvedl citaci: „Hull věděl, že jeho vynálezu bude trvat až 30 let, než si najde cestu do lidských domovů. Dnes se možnosti zdají nekonečné.“ Výsledkem je, že prostřednictvím technologie 3D tisku musí ještě přijít mnoho „wow“ faktorů.“ (Fink, 2019; Practise, 2019; Wohlers a Gornet, 2014; Hickey, 2014).

5.2 3D tiskárny a materiály pro 3D tisk

Typů a značek 3D tiskáren je nespočetné množství. Vlivem snižující se pořizovací ceny pro konečného zákazníka, nastal obrovský „boom“ co se týče zprostředkování prodeje 3D tiskáren. Nicméně ne všechny značky jsou zárukou kvality, a kolikrát dojde k tak zvanému špatnému kupu, kdy kvalita tiskárny a tisku samotného neodpovídá cenovce na daném zařízení. Kdy jedním z předních výrobců je český výrobce a návrhář Josef Průša, který vynálezem svých 3D tiskáren změnil pohled na 3D modelování. 3D tiskárny se honosí primárně uživatelskými pozitivy s návazností na cenovou dostupnost, která je odstupňovaná dle nároků zákazníka na typ tiskárny, dalším poziti-

vem je snadná montáž, kdy přístroj samotný přijde s uživatelským návodem na sestavení. Materiálům využívaných pro realizaci 3D tisku se říká filanty. Filament je odborný název pro materiály, které se používají jako aktivní látka pro provedení samotného 3D tisku. Materiálů pro výrobu filamentů je nespočetné množství, avšak každý materiál má svá pozitiva i negativa a každý jednotlivý materiál je vhodný pro rozdílný typ tisku dle nároku na tisk samotný. Tyto materiály mohou být ve formě polymeru, kovu, pryskyřic, či pryže. A právě polymerní směsi jsou velmi zajímavé jakožto aktivní látka pro 3D tisk (NA3D, 2022; Prusa, 2018; Prusa, 2019).



Obrázek 5.1: Příklad 3D tiskárny (prusa3d.com, 2022).

5.3 Vybrané polymerní materiály vhodné pro 3D tisk

Polymerní materiály jsou velmi výhodným materiálem, který je velmi často přednostně volený pro výrobu filamentů k realizaci samotného 3D tisku. Je to ovlivněno cenovou dostupností, požadovanými vlastnostmi a širokou škálou možných požadovaných aplikací.

5.3.1 Acrylonitril Butadien Styren (ABS)

Prvním možným materiálem pro výrobu filamentů je termoplast ABS. Zkratka ABS znamená „Acrylonitrile Butadiene Styrene“, jedná se tedy o butadienovou sloučeninu styrenu. Tento materiál je charakteristický svou trvanlivostí, pružností a lehkostí. Jako každý materiál i tento materiál má svá negativa, kterými jsou požadavky na vyšší tep-

lotu tání, při spěšném chlazení často dochází ke zkroucení tištěného výrobku. V neposlední řadě taktěž výpary, které jsou vylučovány během tisku. Jedná se o škodlivé výpary, které mohou ohrozit zdraví jak lidí, tak zvířat (Lugy, 2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.2: Prototyp tachometru vyrobený z ABS (zortrax.com, 2022)

5.3.2 Polylactic Acid (PLA)

Dalším velmi hojně využívaným je biologicky odbouratelný termoplast PLA neboli „polylactic acid“, který je vyráběn z recyklátu a za pomoci biomasy ve formě kukuřičného škrobu, či cukrové třtiny. Díky tomuto faktu, jsou vlákna PLA mnohem šetrnější s ohledem na životní prostředí než jiné materiály pro výrobu filamentů. Nesmírnou výhodou PLA je, že během tisku vůbec nevane a je taktěž znám pod přívlastkem „zelený plast“. Vyznačuje se větší tuhostí, nežli tomu je ABS, právě proto jsou výtisky křehčího charakteru. Automobilový komponent, který je vhodný pro substituci kovového materiálu byl vybrán na obrázek 5.3 (Lugy, 2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.3: Automobilová součástka z PLA (matterhackers.com, 2022)

5.3.3 Nylon (PA)

PA/Nylon, v práci již zmíněný polymer pod názvem polyamid, či právě lidovým názvem Nylon. Je dalším materiálem vhodným pro výrobu filamentů pro 3D tisk. Nylonová vlákna se obecně vyznačují velkou pevností, pružností a otěruvzdorností. V základu je mnohem méně křehký než předešlé polymerní materiály. Zajímavostí je, že nylonové 3D vlákna dokážou absorbovat okolní vlhkost, proto je důležitá dbát zvýšeného zřetele během skladování (Lugy,2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.4: Distanční vložka vyrobená z PA (learn.colorfabb.com, 2022)

5.3.4 Akrylonitril Styren Akrylát (ASA)

ASA je velmi silné vlákno vhodné pro 3D tisk s výhodou zachování fyzikálních vlastností. Další výhodnou vlastností je odolnost vůči chemikáliím a povětrnostním podmínkám. Zajímavou výhodou je také schopnost stálosti tvaru a barvy v průběhu životnosti výtisku oproti ostatním 3D vláknům, které jsou více náchylné na žloutnutí.

Akrylonitril Styren Akrylát je také velmi dobře rozpustný v acetonu, vyznačuje se vysokou mírou životnosti a z hlediska náročnosti na tisk se řadí mezi průměrné (Lugy, 2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.5: Ozubené kolo z filamentu ASA (eshop.3dwiser.com, 2022)

5.3.5 Polyethylentereftalát Glykol (PETG)

Polyethylentereftalát Glykol je ko-polyester, který je vyráběn ze směsi polyethylentereftalátu a glycerolu. Mezi jeho hlavní pozitiva patří vysoká pevnost kombinovaná s flexibilitou. Stejně jako tomu bylo u ASA, i u PETG nacházíme výhodu ve vysoké životnosti. Vyznačuje se vyšším bodem tání a kvalitnější přilnavostí.

Typickými vlastnostmi jsou mírná náročnost tisku spolu s menší mírou smršťování během ochlazovacího procesu. PETG se v dnešní době hojně využívá jako materiál pro tisk komponentů do automobilů, kde na obrázku 5.6 lze pozorovat aplikaci pro rychlostní zásobníky z automobilu Mazda Miata (Lugy, 2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.6: Rychlostní zásobníky z Mazdy Miata vyrobené z PETG (reddit.com, 2022)

5.3.6 Termoplastický Polyurethan (TPU)

Termoplastický Polyurethan, jak již název napovídá, je řazen mezi velice flexibilní 3D filament. Za použití tohoto materiálu lze vyrábět předměty, které jsou charakteristické velkou mírou roztažitelnosti, tudíž dosahují určité míry elasticity. Právě proto jsou tyto objekty velmi odolné vůči napětí a zároveň jsou mnohem pevnější než PLA a ABS. Nutno podotknout, že tento materiál je velmi náročný na zpracování díky tendencím vytlačovat extruder (Ługy, 2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.7: Prototyp pryžových pneumatik z TPU (materialpro3d.cz, 2022)

5.3.7 High Impact Polystyren (HIPS)

Polymerní materiál HIPS je hojně využívaným materiálem v potravinářském průmyslu pro výrobu balení všeho druhu. Zajímavostí je, že v odvětví 3D tisku neslouží pro výrobu předmětů, či objektů, nicméně je předním představitelem druhotné suroviny při duálním tisku.

Vyznačuje se jako konstrukční podpora jiného komplexního předmětu, a to nejčastěji v kombinaci s Akrylonitril Styren Akrylátém. Primární výhodou je, že po dokončení tisku je možné HIPS okamžitě rozpustit za použití limonenu (Lugy, 2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.8: Prototypová helma vyrobená z HIPS (amaze-techno.in, 2022)

5.3.8 Polykarbonát (PC+)

Polykarbonát je ze zmíněných typů filamentů nejsilnějším. Ačkoli je charakterizován vysokou mírou tuhosti, je zároveň značně neohebný. Nicméně je ale velmi odolný vůči teplotám nad hranici 100 stupňů Celsia, a právě proto se užívá v konstrukcích strojírenství při výrobě osvětlení a obecně při všech aplikacích, kde dochází ke střetu s vysokými teplotami.

PC+ se dále vyznačuje velmi kvalitními mechanickými vlastnostmi, díky kterým dosahuje vyšší pevnosti a odolnosti proti nárazům (Lugy, 2022; Materiály pro 3D, 2022; NA3D, 2022).



Obrázek 5.9: Tepelně odolný automobilový díl vyrobený z PC+ (matterhackers.com, 2022)

Závěr

V této bakalářské práci bylo rešeršní formou zpracováno téma využití polymerních materiálu v konstrukci dopravní techniky. Byla využita celá řada jak knižních, tak internetových zdrojů za účelem širokého pojetí tohoto tématu v požadované šíři.

Začátek práce byl věnován obecnému zařazení polymerních materiálů pro konstrukci dopravní techniky spolu s jejich historií. Historie polymerních materiálů sahá až do roku 1492, kdy díky Kryštofu Kolumbovi byl do Evropy dovezen vůbec první polymerní materiál, který byl do té doby jen neznámou pro civilizovanou Evropu. V návaznosti na toto téma byla vyhotovena přílohová tabulka s časovými milníky historie polymerních materiálů. Nejpoužívanějším zdrojem této kapitoly byl chemik Vratislav Ducháček, který se přímo touto problematikou zabýval.

V následující části práce se pojednávalo o způsobech výroby polymerních materiálů, kdy těmi nejzákladnějšími a nejznámějšími byly tři základní typy polyreakcí. Polymerace, polykondenzace a polyadice, které byly dále rozvedeny a rozčleněny do jejich postupných fází a byly zmíněny typické aplikace a látky, které se za pomoci těchto polyreakcí vyrábějí.

Třetí kapitola byla věnována vlastnostem polymerních materiálů spolu se způsoby konkrétní průmyslové výroby právě polymerů neboli plastů. Byly vybrány ty nejpoužívanější způsoby výroby jako například tváření, tvarování či zpracování na lehčené hmoty. Tyto způsoby byly dále popsány a rozepsány, aby čtenář byl dostatečně seznámen s danou problematikou.

Stěžejní kapitolou byla kapitola čtvrtá, kde došlo k podrobnému popisu vybraných polymerních materiálů přímo pro konstrukci dopravní techniky. Byly záměrně vybrány nejen známě polymery, které nacházejí využití v mnohých aplikacích, ale i zajímavější speciální polymery, které se liší cenovou dostupností, ale na opačné straně barikády svými specifickými vlastnostmi. Spolu s popisem těchto materiálu se dostalo i na otázku efektivity a ekologické náročnosti.

Práce byla zakončena pojednáním o inovativním moderním způsobu využití 3D tisku prototypů v konstrukci dopravní techniky, kde byly také ukázané názorné příklady aplikací z dopravní technice.

Seznam použité literatury

- Additively.com, (2022). *Liquid crystal polymers, new high performance AM materials*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://additively.com/en/c/liquid-crystal-polymers-new-high-performance-am-materials-nematx-ag>
- Alfredo Campo, E. (2008). *Industrials Polymers*. Carl Hanser Verlag, Munich, Germany. ISBN 978-3-446-41119-7
- Alibaba.com, (2022). *Audio speaker*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/best-quality-for-car-audio-speaker_60770573015.html
- Amaze-techno.in, (2022). *Zortrax 3D printer raw material*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.amaze-techno.in/products/z-hips/9>
- Armycom.cz, (2022). *Army and outdoor, knoflíky*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.armycom.cz/knoflíky>
- Barvy-na-drevo.cz, (2022). *Zalévací epoxidová pryskyřice*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.barvy-na-drevo.cz/epoxydy--penetrace--doplňky/zalévaci-epoxidova-pryskyrice-hahn-color-epox--a-b/>
- Bauhaus.cz, (2022). *PET termoizolační fólie*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.bauhaus.cz/mirelon-termoizolacni-folie-pet-22841902>
- Běhálek, L. *Polymery*. publi.cz, 2016.
- Bensoussan H. (2016). *The history of 3D printing: 3D printing technologies from the 80s to today*. Innovation & Business strategy 2016 [online] [cit. 6. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/>.
- Buzuluk.com, (2022). *4 válcové kalandry*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/kalandry/4-valcove-kalandry>
- CEFIC (2016): *The European Chemical Industry. Facts and Figures 2016*.
- Čermák R. (2022). *Konstrukční polymery I* [online]. [cit. 2022-21-02] Dostupný z: http://procesniinzenyrstvi.wz.cz/2_rocnik/polymery/KP_P_2009.pdf
- Danqing L. a Broer D. (2014). *Liquid Crystal Polymer Networks: Preparation, Properties and Applications of Films with Patterned Molecular Alignment*. [online] [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la500454d>
-

-
- Dsgperformance.wordpress.com, (2022). *DSG Performance, karbon kevlar*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://dsgperformance.wordpress.com/tag/carbon-kevlar/>
- Ducháček V. (1996). *Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní znaky, učební text*. Vyd. VŠCHT, Praha 1996.
- Ducháček V. (2006). *Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery*. Česká společnost průmyslové chemie – GS, Zlín 2006.
- Ducháček V. (2010). *Světlá plniva*. Česká společnost průmyslové chemie – GS, Zlín 2010.
- Ducháček V. a Hrdlička Z. (2009). *Gumárenské suroviny a jejich zpracování, učební text* vyd. 4. Vydavatelství VŠCHT, Praha 2009.
- Ducháček, V. (2011). *Polymery: Výroba, Vlastnosti, Použití*. VŠCHT, Praha. ISBN 978-80-7080-788-0.
- Dumazahrada.cz, (2022). *Podlaha z PVC, kvalita a nezávadnost*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.dumazahrada.cz/clanek/podlaha-z-pvc-jak-pozname-kvalitni-a-zdravotne-nezavadnou.html>
- Elias, H.G. (1997). *An introduction to Polymer Science*. VCH, Weinheim, 1997.
- Eshop.3dwiser.com, (2022). *ASA tisková struna*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://eshop.3dwiser.com/tiskove-struny/filamentum-asa/>
- Fijul Kabir S.M. et al. (2020). *A critical review on 3D printed continuous fiber-reinforced composites: History, mechanism, materials and properties, Composite Structures*, Volume 232, 2020,111476, ISSN 0263-8223
- Fink J. (2019). *Methods of 3D printing, in 3D industrial printing with polymers*, Editor. 2019, John Wiley & Sons Inc.: Hoboken, NJ, USA. p. 60.
- Goldberg D. (2018). *History of 3D printing: it's older than you are (that is, if you're under 30)*. Manufacturing 2018 [online] [cit. 6. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/>.
- Greencarcongress.com, (2022). *Ascend launching new high-temperature and long-chain polyamides for automotive*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2019/09/20190918-ascend.html>
- Hbfuller.com, (2022). *Elastomers*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.hbfuller.com/en/north-america/products-and-technologies/markets-and-applications/elastomers>
- Herron R. (1981). *The light beam profiler-past, present, and future. in Three-Dimensional Machine Perception*. 1981. International Society for Optics and Photonics.
-

-
- Hickey S. (2014). *Chuck Hull: the father of 3D printing who shaped technology*. In The Guardian 2014, Guardian Media Group: Kings Place, London.
- Horvath J. (2014). *A brief history of 3D printing, in Mastering 3D Printing*, Apress: Berkeley, CA. p. 3–10.
- Industry P. (2014). *The free beginner's guide to 3D printing*. New York, NY. 2014.
- Izolace-info.cz, (2022). *Polyurethan*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/polyuretan/>
- Janovič Z. (1997). *Polimerizacije i polimeri*. HDKI, Zagreb 1997.
- Kinzlink J. (2005). *Technilogie chemických látek*.
- Krebs S. et al. *Teorie zpracování plastů a kompozitů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2020. ISBN 978-80-01-06722-2.
- Ksp.tul.cz, (2022). *Vstřikování plastů*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- Kularatne R. et al. (2017). *Liquid crystal elastomer actuators: Synthesis, alignment and applications*. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. [online] [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/polb.24287>
- Kuta, A. (1999). *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů, učební text*, vyd. VŠCHT, Praha 1999.
- Kyselá G. et al. (2010). *Výroba a spracovanie kaučukov a gumy, učební text*. Slovenská technická univerzita v Bratislave 2010.
- Learn.colorfabb.com, (2022). *Car parts made with PA-CF Low warp*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://learn.colorfabb.com/car-parts/>
- Lechner, M. D. (2010). *Makromolekulare Chemie: ein Lehrbuch für Chemiker, Physiker, Materialwissenschaftler und Verfahrenstechniker*. 4. vyd. Basel: Birkhäuser, 2010. 536 s. [online] [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.worldcat.org/title/makromolekulare-chemie-ein-lehrbuch-fur-chemiker-physiker-materialwissenschaftler-und-verfahrenstechniker/oclc/647854377>. ISBN 978-3-7643-8891-1.
- Lenfeld P. (2022). *Technologie II: Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit.2022-21-02]. Dostupný z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- Leverone A.C. et al. (2014). *Design of a three dimensional scaffold to grow cartilaginous thick tissue*. Worcester Polytechnic Institute: Worcester, Massachusetts (2014)
-

-
- Lugy (2022). Popis materiálů. [online]. [cit. 2022-04-04], Dostupné z: <https://www.3dfil.cz/popismaterialu/>
- M.made-in-china.com, (2022). *PVC car parts*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://m.made-in-china.com/product/PVC-Car-Parts-Floor-Mat-for-Honda-697610262.html>
- Maroušek V. (2000). *Chemie a technologie monomerů, učební text*. Vyd. VŠCHT, Praha 2000.
- Materiál pro 3D (2022). Materiálový slovník. [online]. [cit. 2022-04-03], Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/flex-test/>
- Materialpro3d.cz, (2022). *Flexibilní materiály pro 3D tisk*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/flex-test/>
- Matterhackers.com, (2022). *3D printed custom car parts*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/news/3d-printed-custom-car-parts>
- Matterhackers.com, (2022). *Owens Corning 3D printing filamnet*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/store//owens-corning-xstrand-3d-printing-filament-gf30-pc-glass-filled-polycarbonate/sk/MPYQHK5P>
- Medimplant.cz, (2022). *Prsní implantáty*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.medimplant.cz/prsni-implantaty-mentor/>
- Meissner, B. a Zilvar, V. (1987). *Fyzika Polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*: celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty vysokých škol chemicko-technologických studijního oboru 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Mizera, A. (2015). “*Studium teplotní odolnosti termoplastů*,” UTB ve Zlíně, Fakulta technologická 2015.
- Mleziva J. a Kálal J. (1986). *Základy makromolekulární chemie*.
- Mleziva, J. a Šňupárek, J. (2000). *Polymery: Výroba, Struktura, Vlastnosti a Použití*. 2. vyd. Sobotáles, Praha. ISBN 80-85920-72-7
- Modniblog.cz, (2022). *Nylon a vše o něm*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://modniblog.cz/pruvodce-materialy-vse-o-nylonu/>
- Myloview.cz, (2022). *Strukturální chemické vzorce polymerů*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://myloview.cz/fototapeta-strukturalni-chemicke-vzorce-hlavnich-polymeru-c-1C3F909>
- NA3D (2022). *Filamenty*. [online]. [cit. 2022-04-06], Dostupné z: https://www.na3d.cz/c/filamenty?fbclid=IwAR31_H-KJIqqMcGhZdW2OMS9dCd1HOWwlmLofUOfIRMxiH6UYJLbJSHplw8
-

-
- Nanoed.tul.cz, (2022). *E-learningový portál TUL*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/9319/mod_resource/content/0/5.pdf
- Obchodprodilnu.cz, (2022). *Silikony a tmely. Rozdíly, použití a typy*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.obchodprodilnu.cz/blog/silikony-a-tmely-rozdily-pouziti-typy.html>
- Odetka.cz, (2022). *Speciální materiály*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: https://odetka.cz/snury/specialni-materialy/?fbclid=IwAR1smFKnSITQOBD0E_n4tYwMmjGMwfwv-cduC9rallKu4CGGVhsp4GIGXgw
- PlasticsEurope (2016): *Plastics – the Facts 2016, An analysis of European plastics production, demand and waste data*.
- Plasticstoday.com, (2022). *10 years on: Polyamide proves its worth in auto sector*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.plasticstoday.com/10-years-polyamide-proves-its-worth-auto-sector>
- Plastix-world.com, (2022). *High temperature compounds*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.plastix-world.com/nylon-66-high-temperature-progress/>
- Plastum.cz, (2022). *Polybutylentereftalát*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://plastum.cz/zakladni-technicke-plasty/pbt/>
- Practice P. (2019). *Brief history of 3D printing technology – a timeline*. 2019 [online] [cit. 6. 4. 2022]. Dostupné z: <https://pixelpractice.nyc/history-3d-printing/>.
- Prekop et al. (1998). *Gumárská technológia I*. Žilinská univerzita v Žilině, 1998.
- Prusa, J. (2018). *Prusa 3D manual MK3*. Prusa Research a.s., Praha
- Prusa, J. (2019). *Basic of 3D printing*. Prusa Research a.s., Praha.
- Prusa3d.com, (2022). *Original Prusa i3 MK3S+*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s-3/>
- Ptáček, L. et al. (2003). *Nauka o materiálu I*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.
- Ptonline.com, (2022). *Automotive applications*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/articles/new-engineering-materials-for-challenging-automotive-applications>
- Publi.cz, (2022). *Stárnutí polymerů*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/16.html>
- Publi.cz, (2022). *Tvarování za studena*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/08.html>
-

Publi.cz, (2022). *Technologie máčení*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/12.html>

Reddit.com, (2022). *Velocity stacks for Miata*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: https://www.reddit.com/r/Miata/comments/gwperx/whats_the_best_thing_youve_3d_printed_for_your/

Rybicky.net, (2022). *Kryt z lehčeného PVC*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://rybicky.net/clanky/1608-vyroba-krytu-z-lehceneho-pvc>

Savini A. a Savini G. (2015). *A short history of 3D printing, a technological revolution just started. in History of High. Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON), 2015 ICOHTEC/IEEE International*. 2015. Tel Aviv, Israel IEEE.

Sekon.cz, (2022). *Dvouetážový lis*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <http://www.sekon.cz/zpracovani-pryze02.html>

Skálová, V. et al. (2010). *Nauka o materiálech*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010.

Slidetodoc.com, (2022). *Alkeny*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://slidetodoc.com/alkeny-rndr-marta-najbertov-gymnizium-a-jazykov-kola/>

Sova, M. a Krebs, J., *Termoplasty v praxi*. Praha, 2001.

Space.fkdesign.cz, (2022). *Polykondenzace, lineární polymery*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <http://space.fkdesign.cz/nufik/PR6%20Polykondenzace%20linearni.pdf>

Step.vscht.cz, (2022). *Gutaperča a přírodní kaučuk*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <http://step.vscht.cz/zajimavosti/veci-zname-nezname-gutaperca-prirodni-kaucuk/>

Stevens M.P. (1999). *Polymer Chemistry – an Introduction*. Oxford University Press, New York 1999.

Šňupárek J. (2003). *Úvod do makromolekulární chemie, učební text*. Univerzita Pardubice, Pardubice 2003.

Štěpek, J. et al. (1989). *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.

Techportal.cz, (2022). *Jednošnekový vytlačovací stroj*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/jednosnekovy-vytlacovaci-stroj-pro-zpracovani-termoplastu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxSVh2iDtFvRo/>

Techportal.cz, (2022). *Negativní, pozitivní a kombinované tvarování plastů*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/negativni-pozitivni-a-kombinovane-zpusoby-tvarovani-plastu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxnXoGLJOvipM/>

Terplastics.com, (2022). *Polymethylmethacrylate*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.terplastics.com/en/produkte/technische-kunststoffe/transparente-abs-pmma.php>

The history of 3D printing, (2013). *Uncategorised*. [online] [cit. 6. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.redorbit.com/reference/the-history-of-3d-printing/>.

Vacula.cz, (2022). *Charakteristika plastů*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.vacula.cz/prehled-polymeru/charakteristika-plastu/>

Vakuotechnika.cz, (2022). *3D tisk*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.vakuotechnika.cz/3d-tisk.html>

Vestamid.com, (2022). *Polyamide 612*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.vestamid.com/en/products-services/VESTAMID-D>

Vohlídal J. (1995). *Makromolekulární chemie, učební text*. Karolinum, Praha 1995.

Vörös, F. (2013b): *Udržitelné plasty – část II: Výroba a spotřeba, Plasty a kaučuk*, 50, 2013, č. 11 – 12, str. 331.

Waterjets.org, (2022). *Race car parts*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://waterjets.org/archive/parts-made-by-waterjets/fun-parts/race-car-parts/>

White T. a Broer D (2015). *Programmable and adaptive mechanics with liquid crystal polymer networks and elastomers*. *Nature Materials*. [online] [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/nmat4433>

Wohlers T. a Gornet T. (2014). *History of additive manufacturing*. Wohlers report, 2014. 24(2014): p. 118.

Xantina.hyperlink.cz, (2022). *Polymerace*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://xantina.hyperlink.cz/organika/polymerace.html>.

Zeman, L. (2009). *Vstřikování plastů*. 1.vyd. BEN, Praha. ISBN 978-80-7300-250-3

Zortrax.com, (2022). *Z-ABS*. [online] [8. 4. 2022]. Dostupné z: <https://zortrax.com/filaments/z-abs/>

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Chemické vzorce hlavních polymerů (mylovieview.cz, 2022).....	9
Obrázek 1.2: Srovnání syntetického a přírodního kaučuku (step.vscht.cz, 2022).....	10
Obrázek 2.1: Obecný vzorec polymerace (xantina.hyperlink.cz, 2022).....	13
Obrázek 2.2: Podlahová deska z PVC (dumazahrada.cz, 2020).....	14
Obrázek 2.3: Obecný vzorec polykondenzace (space.fkdesign.cz, 2013).....	16
Obrázek 2.4: Nylonové vlákno (modniblog.cz, 2022).....	17
Obrázek 2.5: Chemický proces polyadice (slidetodoc.com, 2022).....	17
Obrázek 2.6: Pěnový polyuretan (izolace-info.cz, 2022).....	18
Obrázek 2.7: Silikony a tmely ve stavebnictví (obchodprodilnu.cz, 2022).....	19
Obrázek 2.8: Silikonové lékařské implantáty (medimplant.cz, 2022).....	19
Obrázek 3.1: Těsnící komponenty z pryžového elastomeru (hbfuller.com, 2022)....	20
Obrázek 3.2: Míry stárnutí vybraných polymerů (publi.cz, 2022).....	22
Obrázek 3.3: Plastové komponenty z 3D tiskárny (vakuotechnika.cz, 2022).....	23
Obrázek 3.4: Dvouetážový lis (sekon.cz, 2022).....	24
Obrázek 3.5: Čtyřválcový kalandr (buzuluk.com, 2022).....	25
Obrázek 3.6: Jednošnekový vytlačovací stroj (techportal.cz, 2022).....	25
Obrázek 3.7: Schéma vstřikovacího lisu (ksp.tul.cz, 2022).....	26
Obrázek 3.8: Schéma pozitivního, negativního a kombinovaného tvarování (techportal.cz, 2022).....	27
Obrázek 3.9: Tvarování za studena (publi.cz, 2022).....	27
Obrázek 3.10: Kryt akvária vyrobený z lehčeného PVC (rybicky.net, 2022).....	28
Obrázek 3.11: Schéma zvlákňování z taveniny (nanoed.tul.cz, 2022).....	30
Obrázek 3.12: Diskontinuální technologie máčení (publi.cz, 2022).....	31
Obrázek 3.13: Urethonové knoflíky (armycom.cz, 2022).....	32
Obrázek 4.1: Polyamidový kryt motoru Mercedes (plasticstoday.com, 2022).....	35
Obrázek 4.2: Příklad využití PA66 v motorové instalaci (greencarcongress.com, 2022).....	36
Obrázek 4.3: Pryžové komponenty v automobilovém průmyslu z PA612 (vestamid.com, 2022).....	38
Obrázek 4.4: Turbo vyfukování z HTN (plastix-world.com, 2022).....	38
Obrázek 4.5: Chladič plnicího vzduchu (ptonline.com, 2022).....	39
Obrázek 4.6: Audio reproduktor Nomexu (alibaba.com, 2022).....	40

Obrázek 4.7: Karbon-Kevlarová kapota (dsgperformance.wordpress.com, 2022)....	41
Obrázek 4.8: Přední rozdělovač (waterjets.org, 2022).....	42
Obrázek 4.9: Termoizolační PET fólie (bauhaus.cz, 2022).....	43
Obrázek 4.10: Koberce do auta z PVC (m.made-in-china.com, 2022).....	45
Obrázek 4.11: Ozubená kola vyrobená z PBT (plastum.cz, 2022).....	45
Obrázek 4.12: Zalévací epoxidová pryskyřice (barvy-na-drevo.cz, 2022).....	47
Obrázek 4.13: Světlomety vyrobené z PMMA (terplastics.com, 2022).....	48
Obrázek 4.14: 3D komponenty vyrobené z LCP (additively.com, 2022).....	49
Obrázek 5.1: Příklad 3D tiskárny (prusa3d.com, 2022).....	53
Obrázek 5.2: Prototyp tachometru vyrobený z ABS (zortrax.com, 2022).....	54
Obrázek 5.3: Automobilová součástka z PLA (matterhackers.com, 2022).....	55
Obrázek 5.4: Distanční vložka vyrobená z PA (learn.colorfabb.com, 2022).....	55
Obrázek 5.5: Ozubené kolo z filamentu ASA (eshop.3dwiser.com, 2022).....	56
Obrázek 5.6: Rychlostní zásobníky z Mazdy Miata vyrobené z PETG (reddit.com, 2022).....	57
Obrázek 5.7: Prototyp pryžových pneumatik z TPU (materialpro3d.cz, 2022).....	57
Obrázek 5.8: Prototypová helma vyrobená z HIPS (amaze-techno.in, 2022).....	58
Obrázek 5.9: Tepelně odolný automobilový díl vyrobený z PC+ (matterhackers.com, 2022).....	58

Seznam tabulek

Tabulka 3.1: Způsoby zvlákňování vybraných polymerů (Ducháček, 2011)	29
Tabulka 3.2: Druhy lepidel (Ducháček, 2011).....	33
Tabulka 3.3: Typy nátěrových hmot (Ducháček, 2011)	34
Tabulka 4.1: Vlastnosti PA 6 (inspirováno: vacula.cz, 2022).....	36
Tabulka 4.2: Vlastnosti PA 66 (inspirováno: vacula.cz, 2022).....	37
Tabulka 4.3: Vlastnosti PA 6 12 (inspirováno: vacula.cz, 2022).....	37
Tabulka 4.4: Vlastnosti Nomexu.....	39
Tabulka 4.5: Vlastnosti Kevlaru	41
Tabulka 4.6: Vlastnosti PC (inspirováno: vacula.cz, 2022).....	43
Tabulka 4.7 Vlastnosti PET	44
Tabulka 4.8: Vlastnosti PBT (inspirováno: vacula.cz, 2022)	46
Tabulka 4.9: Vlastnosti Epoxidových pryskyřic (inspirováno: vacula.cz, 2022)	47
Tabulka 4.10: Vlastnosti PMMA (inspirováno: vacula.cz, 2022)	48

Přílohy

Příloha č.1- Tabulka historických milníků vývoje polymerních materiálů