

# Polyftalamidy

Vít Mačák

---

Bakalářská práce  
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít Mačák**  
Osobní číslo: **T16820**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Polyftalamidy**

Zásady pro vypracování:

**Aromatické/alifatické polyamidy označované jako polyftalamidy (PPA) mohou být jak amorfní, tak semikrystalické. Lépe odolávají vysokým teplotám než jejich alifatické protějšky. Vytvářejí jakýsi most mezi alifatickými polyamidy a plně aromatickými termoplasty. Práce by měla představovat ucelený přehled o v současné době vyráběných polyftalamidech. Součástí by měly být způsoby výroby, struktura, vlastnosti a použití, případně nové trendy a současné trendy ve vývoji.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Sabu Thomas, P. M. Visakh, Handbook of Engineering and Specialty Thermoplastics, Scrivener Publishing LLC, 2012, ISBN: 9781118229064, DOI: 10.1002/9781118229064**

**P. M. Visakh, High Performance Polymers and Their Nanocomposites, Wiley-Scrivener, 2018, 1st Edition, ISBN-13: 978-1119363651**

**Rohit Chauhan, Muhammad Shaharyar, Arshia Berry, A Polymer Replace to Aluminium and Magnesium Alloys, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017, ISBN-10: 6202077999**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 25. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně, 17. května 2019

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato rešerše se zabývá polyftalamidy, což je typ semiaromatických polyamidů. Jedná se o skupinu polyamidů s vlastnostmi mezi alifatickými a plně aromatickými polyamidy. Polyftalamidy lépe odolávají vysokým teplotám a mají lepší mechanické vlastnosti než alifatické polyamidy. Rešerše obsahuje popis struktury různých polyftalamidů, jejich způsob výroby, tepelné, mechanické a chemické vlastnosti a jejich využití v praxi.

Klíčová slova:

Polyftalamidy, semiaromatické polyamidy

## **ABSTRACT**

This thesis deals with polyphthalamides, a group of semiaromatic polyamides. They exhibit intermediate properties in between aliphatic and fully aromatic polyamides. Polyphthalamides are more resistant to higher temperatures and have better mechanical and chemical properties than aliphatic polyamides. This thesis contains information about the structure of various polyphthalamides, the processes used to manufacture them, their thermal, mechanical and chemical properties and their usage.

Keywords:

Polyphthalamides, semiaromatic polyamides

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

## OBSAH

ÚVOD .....	8
1 STRUKTURA POLYFTALAMIDŮ .....	10
1.1 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA.....	10
1.2 NADMOLEKULÁRÍ STRUKTURA .....	14
2 VÝROBA .....	16
3 VLASTNOSTI .....	18
3.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI.....	18
3.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI .....	20
3.3 CHEMICKÉ VLASTNOSTI .....	25
4 KOMERČNÍ VYUŽITÍ .....	27
4.1 PA 6T .....	27
4.2 PA 9T .....	27
4.3 PA 10T.....	28
ZÁVĚR.....	29
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	30
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	33
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	34
SEZNAM TABULEK .....	35



## ÚVOD

Polyftalamidy jsou polymerní materiály s vlastnostmi mezi alifatickými a aromatickými polyamidy (polyaramidy). Pro všechny polyamidy je typická přítomnost amidové (peptidové) vazby  $-CO-NH-$  v hlavním řetězci. V přírodě se tato vazba také vyskytuje v bílkovinách. Amidová vazba je polární, je tedy citlivá na polární rozpouštědla, například vodu. Umožňuje vznik vodíkových můstků mezi řetězci polymeru, čímž zlepšuje jeho vlastnosti. [1]

Alifatické polyamidy jsou relativně dobře zpracovatelné, mají dobré mechanické vlastnosti a využívají se v celé řadě průmyslových odvětví, avšak jejich slabinou je tendence navlhat. Mechanické vlastnosti se zlepšují s klesajícím počtem uhlíkových atomů mezi amidovými vazbami (na jednotkovou délku řetězce připadne více amidových vazeb), zároveň ale stoupá navlhavost. [1] Alifatické polyamidy vznikají polykondenzací dikarboxylových kyselin a diaminů, popřípadě otevíráním kruhů cyklických amidů (laktamů). V řetězci polyamidů vznikají vodíkové můstky mezi  $NH$  a  $C=O$  skupinami, což má značný vliv na jejich vlastnosti. Vlastnosti alifatických polyamidů jdou dále upravovat použitím monomerů s jinak dlouhými řetězci (PA 510, 612, 110 atd.), ještě významněji se ale vlastnosti polymeru změní, pokud místo alifatických monomerů budou použity monomery aromatické.

Aromatické polyamidy se označují polyaramidy. Mezi nejznámější patří poly-parafenyltereftalamid – lépe známý pod svým obchodním jménem kevlar. Polyaramidy mají výborné mechanické vlastnosti (ilustrativním příkladem je použití kevlaru v neprůstřelných vestách), které si udrží za velmi nízkých ( $-150\text{ °C}$ ) i velmi vysokých teplot ( $200\text{ °C}$ ), avšak jejich nevýhodou je velmi obtížná zpracovatelnost – tavenina má velmi vysokou viskozitu, nedá se tedy zpracovávat tradičními plastikářskými technologiemi. [1] [2]

Při výrobě polymeru lze využít kombinaci alifatických a aromatických monomerů, čímž vznikne semiaromatický polyamid s přechodnými vlastnostmi mezi alifatickými a aromatickými polyamidy. V hlavním řetězci takového polymeru se střídají alifatické a aromatické segmenty. Mezi nejdůležitější skupinu těchto polymerů se řadí polyftalamidy, kterými se zabývá tato rešerše. Aromatická část řetězce polyftalamidů je odvozena od tereftalové nebo isoftalové kyseliny. Norma ASTM D-5336 uvádí, že polyftalamid je

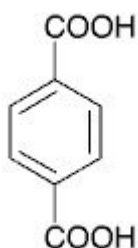
---

polyamid, jehož část řetězce vzešla z dikarboxylové kyseliny byla alespoň z 55 molárních procent odvozena z kyseliny tereftalové, isoftalové, nebo z kombinace obou. [3]

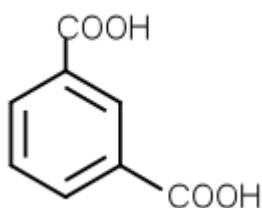
## 1 STRUKTURA POLYFTALAMIDŮ

### 1.1 Molekulární struktura

Polyftalamidy jsou semiaromatické polyamidy, jejichž polymerní řetězce se skládají z alifatických a aromatických segmentů. Aromatické segmenty se do řetězce zakomponují použitím kyseliny tereftalové a isoftalové, jejichž struktura je znázorněna na Obrázcích 1 a 2.

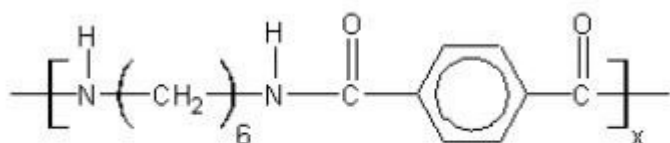


Obrázek 1 – tereftalová kyselina [4]



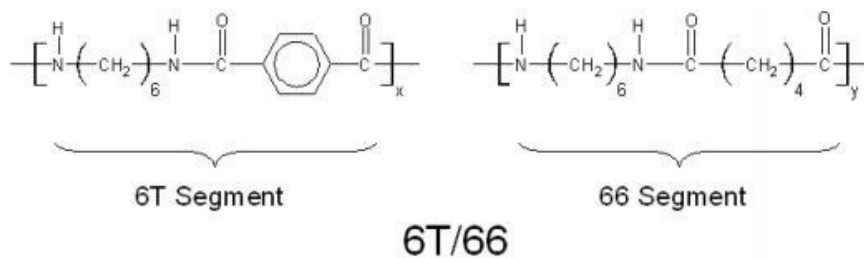
Obrázek 2 – isoftalová kyselina [5]

Tyto kyseliny je možné kombinovat s alifatickými diaminy, čímž vznikne polyftalamid – například kyselina tereftalová a hexametyldiamin spolu vytvoří polyftalamid označovaný PA 6T, zobrazený na Obrázku 3. Číslo šest v názvu odpovídá počtu uhlíků v diaminu, písmeno T označuje použití tereftalové kyseliny. Použitím iso-ftalové kyseliny místo tereftalové vznikne polymer s označením PA 6I. [6]

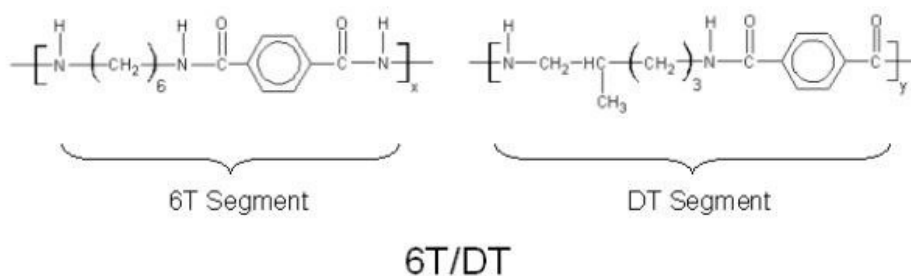


Obrázek 3 – PA 6T [7]

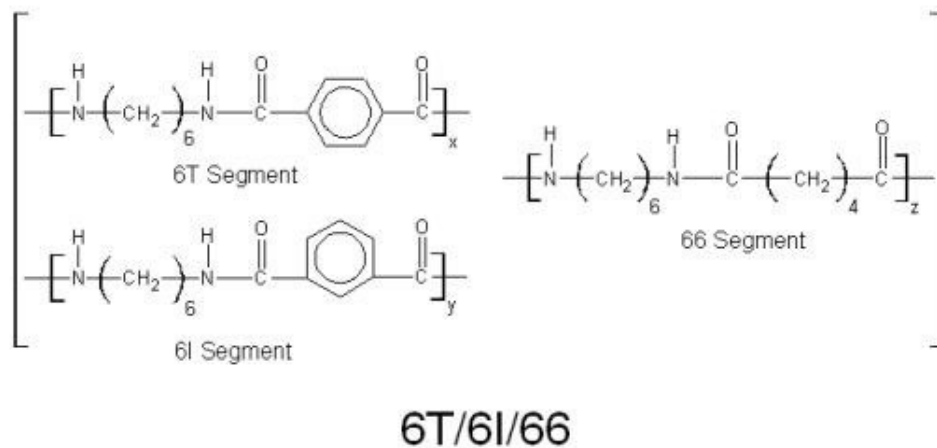
Z důvodu optimalizace vlastností a/nebo zpracovatelnosti v praxi našly uplatnění i kopolymery polyftalamidů. Kombinací výše zmíněných PA 6T a nylonu (PA 66) vznikne kopolymer PA 6T/66 (Obrázek 4). Derivátem PA 6T/66 je PA 6T/DT, pro jehož výrobu se používá (místo monomerů pro PA 66) kyselina tereftalová a 2-metyl pentametylendiamin - viz. Obrázek 5. Existují i terpolymery polyftalamidů, a to například PA 6T/6I/66, jehož sktruktura je na Obrázku 6. [6] [7]



Obrázek 4 – PA 6T/66 [7]



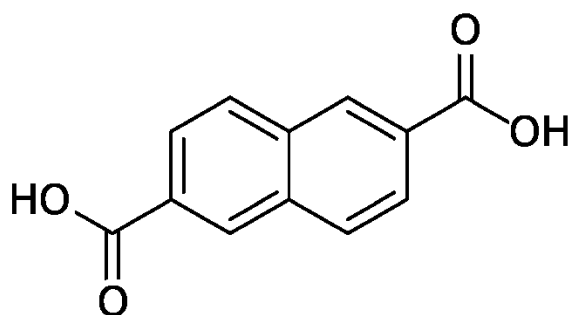
Obrázek 5 – PA 6T/DT [7]



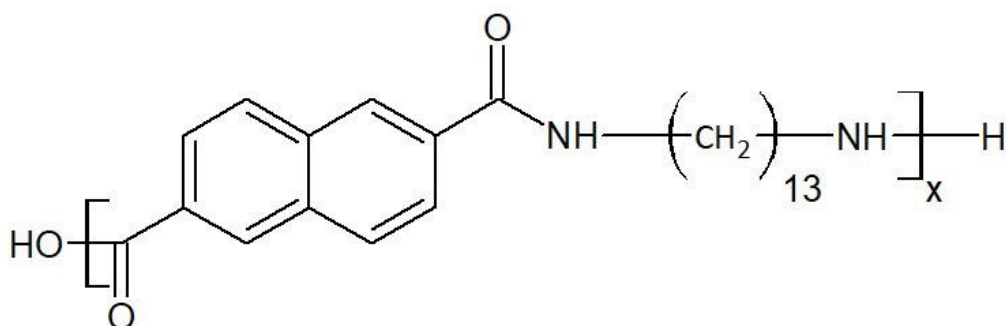
Obrázek 6 – PA 6T/6I/66 [7]

Poměr jednotlivých polymerů není v kopolymeru 50/50, ale mění se podle požadovaných vlastností. Aby mohl být kopolymer považován za polyftalamid, musí kyseliny tereftalová a isoftalová představovat alespoň 55 molárních procent ze všech použitých dikarboxylových kyselin, které tvoří hlavní řetězec kopolymeru. Vlastnosti těchto polyftalamidů i jejich kopolymerů budou detailněji uvedeny v dalších kapitolách této práce.

V poslední době byly patentovány semiaromatické polyamidy podobné polyftalamidům, které však místo tereftalové nebo isoftalové kyseliny vycházejí z 2,6-naftalendikarboxylové kyseliny (Obrázek 7) – v hlavním řetězci mají tedy zakomponovanou naftalenovou skupinu. Takovéto polymery mají velmi dobré mechanické vlastnosti i za vysokých teplot (teplota tání kolem 300 °C), a navíc jsou málo navlhavé. Příkladem takového semiaromatického polyamidu je PA 13N zobrazený na Obrázku 8, který se vyrábí z již zmíněné 2,6-naftalendikarboxylové kyseliny a 1,13-tridekandiaminu. [8]

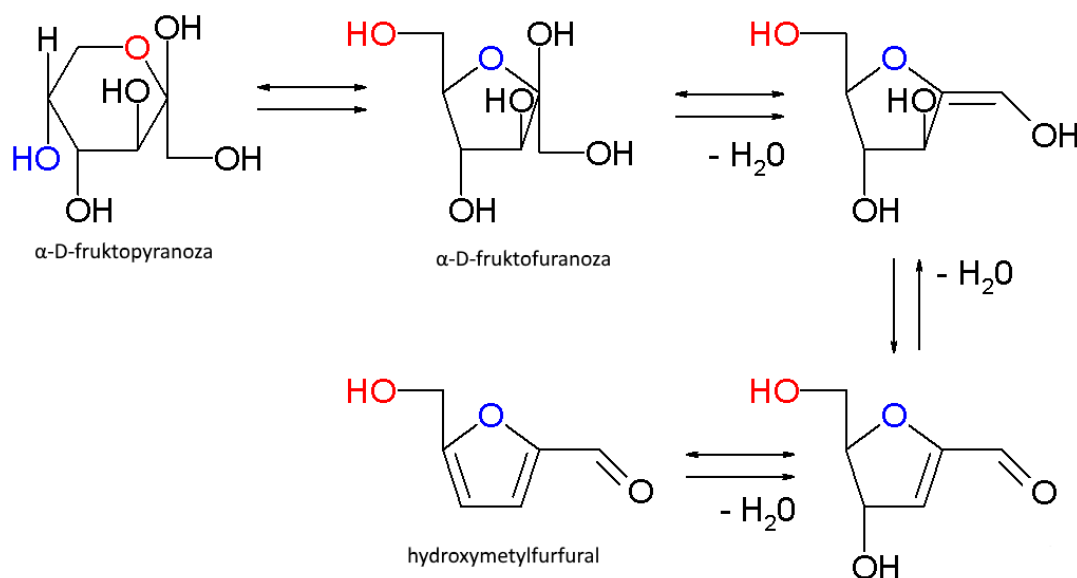


Obrázek 7 – 2,6-naftalendikarboxylová kyselina [9]

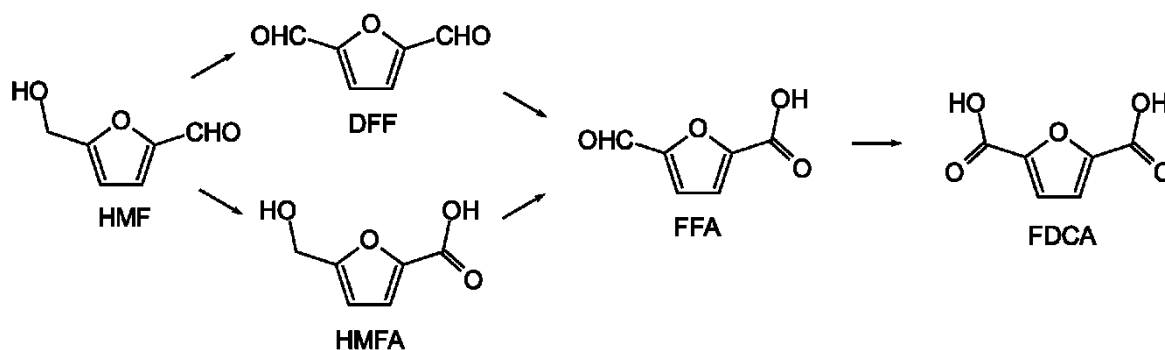


Obrázek 8 – PA 13N

Významným trendem posledních let je důraz na ekologii a udržitelný rozvoj. Součástí tohoto trendu je výzkum a vývoj biopolymerů – polymerů vyrobených z přírodních zdrojů. V případě polyftalamidů se výzkum soustředí na možnost nahrazení tereftalové kyseliny kyselinou, která by byla dostupná z obnovitelných zdrojů (tereftalová kyselina se totiž vyrábí z paraxylenu, který se získává z ropy). Jako možné řešení byla navržena 2,5-furandikarboxylová kyselina, která se vyrábí oxidací z hydroxymetylfurfuralu (HMF – systematický název: 5-(hydroxymetyl)furan-2-karbaldehyd). Schéma reakce je na Obrázku 10. Hydroxymetylfurfural se vyrábí dehydratací fruktózy (ovocného cukru) – viz schéma na Obrázku 9. Fruktóza je přítomna například v cukrové třtině, cukrové řepě, kukuřici, medu nebo ovoci. Tyto biopolymery jsou však stále ve fázi výzkumu. Byly sice syntetizovány v laboratorních podmínkách, nicméně pouze s malou výtěžností a nízkou molekulární hmotností. [10]



Obrázek 9 – dehydratace fruktózy na hydroxymetylfurfural (s meziprodukty) [11]

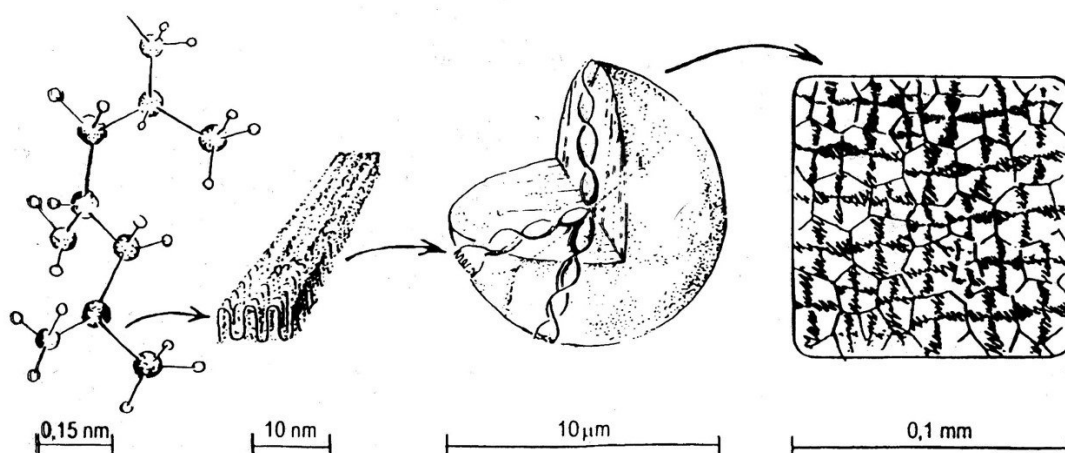


Obrázek 10 – oxidace hydroxymethylfurfuralu (HMF) skrz dva meziprodukty na 2,5-furandikarboxylovou kyselinu (FDCA) [12]

Pokusy o nahrazení tereftalové nebo isoftalové kyseliny materiálem bio původu jsou sice stále ve fázi výzkumu, avšak některé diaminy potřebné na výrobu polyftalamidů jsou dnes již dostupné z obnovitelných zdrojů. Jako příklad může posloužit PA 10I/10T, který byl syntetizován za použití dekandiaminu získaného z ricinového oleje. Jeho mechanické vlastnosti i tepelná stabilita jsou velmi dobré, což naznačuje, že by mohl najít komerční uplatnění. [13]

## 1.2 Nadmolekulární struktura

Polyftalamidy jsou semikrystalické polymery, obsahují tedy amorfni i krystalické oblasti. Amorfni, neboli neuspořádané oblasti v polymeru představují polymerní řetězce v konformaci statistického klubka. Krystalické oblasti v polymeru jsou charakteristické pravidelným uspořádáním polymerních řetězců do prostorových útvarů. Řetězce tvoří svazky, které se během krystalizace skládají do lamel – tenkých destiček tloušťky cca. 10 nm. Řetězce se skládají do lamel vlivem mezimolekulárních sil. Lamely se mohou skládat k sobě, čímž vznikají větší prostorové útvary, které se nazývají sférolity. Sférolity mohou v optimálních podmínkách dosáhnout velikosti až 1 mm; jejich velikost je závislá na teplotě a rychlosti krystalizace. Obrázek 11 schématicky znázorňuje krystalickou strukturu polymerního materiálu.



Obrázek 11 – lamela, sférolit, sférolitická struktura [14]

Předpokladem krystalizace je geometrická pravidelnost úseků polymerního řetězce, aby se tyto mohly snadno uspořádat do pravidelné struktury – například polyetylen nebo polypropylen mají jednoduchou a pravidelnou strukturu, takže krystalizují velmi snadno. Dalším předpokladem je, aby byly polymerní řetězce přitahovány dostatečně velkými mezimolekulárními silami. Díky tomuto předpokladu krystalizují všechny polyamidy (včetně polyftalamidů) – za vysoké mezimolekulární síly jsou zodpovědné vodíkové můstky, které v polyamidech vznikají díky přítomnosti amidové vazby  $-\text{CO}-\text{NH}-$ . Vodíkové můstky pak spojují NH a C=O skupiny napříč polymerními řetězci.

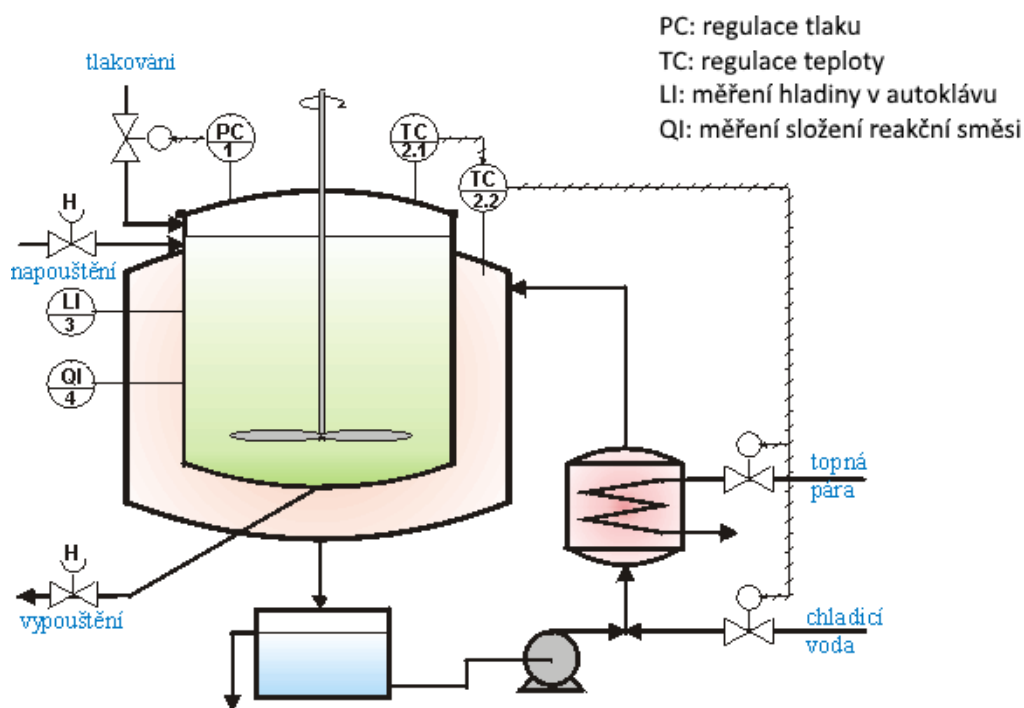
Polyftalamidy jsou polymorfní materiály – v jejich struktuře se vyskytuje více krystalických forem zároveň. Příčiny tohoto jevu lze hledat ve snaze o optimalizaci vnitřní energie krystalů, kterou ovlivňuje konformace amidových skupin v řetězcích, geometrické uspořádání vodíkových můstků a skládání řetězců do těsných lamelárních útvarů. Bylo také zjištěno, že některé polyftalamidy, například PA 10T, vykazují odlišnou krystalickou strukturu mezi vzorky připravenými z roztoku a z taveniny. [15] [16]



## 2 VÝROBA

Polyftalamidy se v laboratorním i průmyslovém měřítku vyrábějí polykondenzací diaminů a dikarboxylových kyselin za vysoké teploty. Aromatické dikarboxylové kyseliny mají tendenci vytvářet řadu nežádoucích vedlejších produktů, které mohou v některých případech vést až k síťování mezi polymerními řetězci a vzniku gelů. Diaminy zase mohou reagovat sami se sebou a vytvářet nežádoucí trojfunkční skupiny (například hexametylendiamin může vytvářet bis-hexametylentriamin), popřípadě se také mohou diaminy zacyklit, čímž znemožní další růst polymerních řetězců. Aby se zamezilo těmto nežádoucím reakcím, je potřeba velmi přesně nastavit reakční podmínky a čas reakce zkrátit na co nejkratší dobu.

V průmyslu se polyftalamidy často vyrábějí v autoklávu. Autokláv, stejně jako vsádkový reaktor, pracuje v cyklech – nejedná se tedy o nepřetržitý výrobní proces. Nejdříve se do autoklávu (reakční komory) napustí reakční směs (monomery a katalyzátor), následně proběhne reakce a produkty se z autoklávu odčerpají. Schéma autoklávu je na Obrázku 12. K dosažení optimálních vlastností konečného produktu je potřeba přesně kontrolovat teplotu, tlak a dobu reakce. [6] [17]



Obrázek 12 – Schéma autoklávu [5]

Pro výrobu polyftalamidů se reaktanty nejprve smíchají a rozpustí ve vodném roztoku tak, aby vznikla homogenní fáze. Po vyčerpání do autoklávu se následně zvedne teplota (cca 275–330 °C) a udržuje se vysoký tlak, aby nedošlo k odpaření vody a reaktanty zůstaly v homogenní fázi; obsah vody se nicméně drží na potřebném minimu. Až teplota v autoklávu stoupne na teplotu potřebnou k polymerizaci, sníží se tlak a dojde k samotné polykondenzaci. Po polykondenzaci se produkt (polymer) z autoklávu odčerpá a převede do finální podoby – granulí. Aby se zkrátila reakční doba, používají se katalyzátory na bázi fosforu. Ty také omezují nežádoucí reakce, čímž umožňují dosáhnout vyšších stupňů konverze. Tento výrobní proces byl vyvinut v 90. letech minulého století firmou Amoco ve Spojených státech, dnes tuto technologii využívají například firmy Solvay nebo DuPont. [6]

Polyftalamidy a jiné semiaromatické polyamidy lze vyrábět i jiným způsobem než je popsán výše. Firma BASF vyvinula a patentovala dvojstupňový proces založený na kontinuálním procesu, kterým se běžně vyrábí alifatické polyamidy. Monomery se nejdříve smíchají s vodou za vzniku 50% roztoku při teplotě 80 °C. Následně se zvedne teplota na 295 °C a tlak na cca 520 kPa, čímž dojde k odpaření vody a částečné polymeraci – vznikne prepolymer. Současně se tímto také odpaří část reaktivních monomerů, které se ale zachytí a v dalším kroku přivedou zpět k prepolymeru, který je nyní ve formě taveniny. Zbylé monomery a prepolymer se nechají reagovat při 290 °C po dobu cca 10 minut, čímž vznikne konečný produkt. [6]

Podobným postupem byly v laboratorních podmínkách syntetizovány polyftalamidy podobné PA 6T. Polykondenzací tereftalové kyseliny a diaminů s různým počtem uhlíků v řetězci se získají obecně polyftalamidy označované PA  $nT$ , kde  $n$  značí počet uhlíků v řetězci diaminu. Experimentálně bylo zjištěno, že polyftalamidy PA 9T až 13T jsou méně navlhavé než PA 6T, a zároveň jsou zpracovatelné tradičními plastikářskými metodami. K jejich výrobě byl použit dvojstupňový proces, kde se nejprve z roztoku připraví prepolymer, který následně prochází polymerací v pevném stavu. [18]

### 3 VLASTNOSTI

#### 3.1 Fyzikální vlastnosti

Jak již bylo zmíněno polyftalamidy kombinují vlastnosti alifatických a aromatických polyamidů. Jednou ze základních vlastností jakéhokoliv polymeru jsou teplota skelného přechodu ( $T_g$ ), teplota tání ( $T_m$ ) u semikrystalických polymerů, popřípadě teplota tečení ( $T_f$ ) u amorfních polymerů. Teplota skelného přechodu obecně označuje takovou teplotu, pod kterou již není možný pohyb segmentů polymerního řetězce – látka se stává tuhou, vykazuje vysoký modul pružnosti. Je nutné zmínit, že teplota skelného přechodu není pro danou látku pevně stanovená hodnota – jedná se o oblast, kde dojde k přechodu ze sklovitého na kaučukovitý stav.  $T_g$  se mění například s rychlostí ochlazování/ohřívání. Za teplotou tání/tečení polymery přechází do stavu taveniny, jedná se o stav viskózního toku. V této oblasti se polymery zpracovávají klasickými plastikářskými metodami jako je například vstřikování nebo vyfukování. Z toho logicky vyplývá, že vysoká  $T_f/T_m$  je sice výhodná ve smyslu dobré odolnosti vysokým teplotám, avšak značně komplikuje zpracovávání tradičními metodami. Teploty skelného přechodu, tání a tečení slouží jako vhodný prvotní ukazatel o vlastnostech polymeru a teplotního rozsahu jeho použití – Tabulka 1 srovnává tyto hodnoty pro vybrané alifatické, semiaromatické a aromatické PA. [6] [7]

Tabulka 1 – Teplota skelného přechodu a teplota tání PA 66, PA 6T, PA 10T, PA 13T, PPPTA [6] [7]

Polymer	$T_g$ [°C]	$T_m$ [°C]
PA 66 (nylon)	65	263
PA 6T (polyftalamid)	-	370
PA 10T (polyftalamid)	133	313
PA 13T (polyftalamid)	111	285
PPPTA (kevlar)	-	>500

\*  $T_g$  PPPTA je vyšší než jeho teplota degradace

Z Tabulky 1 vyplývá, že polyftalamidy mají lepší tepelné vlastnosti než alifatické polyamidy, čehož se v praxi využívá pro náročné aplikace, kde je potřeba vyšší tepelná odolnost, než jakou nabízí alifatické polyamidy (například v automobilovém průmyslu v prostoru pod kapotou, kde motor vytváří vysoké teploty). Zároveň se ale lépe zpracovávají než aramidy, což je výhodné z hlediska praktičnosti i ceny výrobku. Tepelné vlastnosti polyaramidů jsou nicméně lepší. V tabulce lze také vidět, že se stoupající délkou diaminových řetězců použitých na výrobu polyftalamidu (PA 13T = diamin má 13 uhlíků v hlavním řetězci) klesá jak teplota skelného přechodu, tak teplota tání. Zároveň ale klesá navlhavost takového polymeru.

Navlhavost je obecně slabinou alifatických polyamidů. Mají tendenci absorbovat vzdušnou vlhkost, což ovlivňuje zpracovatelnost i mechanické vlastnosti konečného výrobku. Před zpracováním je nutné alifatické polyamidy sušit, po zpracování je nutné vzít v úvahu, že výrobek bude absorbovat vzdušnou vlhkost, čímž se zhorší jeho mechanické vlastnosti. Tabulka 2 ukazuje navlhavost a jiné důležité vlastnosti několika polyftalamidů, a porovnává je s vlastnostmi alifatických polyamidů. Jedná se o komerčně dostupné polymery vyráběné společností DuPont. [7]

Tabulka 2 – Vybrané vlastnosti některých polyftalamidů a polyamidů [7] [19]

Polymer	T <sub>g</sub> [°C]	T <sub>m</sub> [°C]	Absorbce H <sub>2</sub> O [%]
PA 6T/DT	140	300	0,5
PA 6T/6I/66	125	312	0,5
PA 6T/66	90	310	0,5
PA 66	65	263	1,5
PA 6	47	215	2,4

% absorbované vody jsou měřena po 24 hodinách

Z tabulky jasně vyplývá, že polyftalamidy jsou významně méně navlhavé než alifatické polyamidy, a mohou tedy být použity v aplikacích, kde je navlhavost alifatických polyamidů problémem.

### 3.2 Mechanické vlastnosti

Vlastnosti polyftalamidů se v praxi často modifikují přidavkem anorganických plniv. V aplikacích, které vyžadují vysokou mechanickou pevnost, tuhost a tvarovou stabilitu se polyftalamidy plní skleněnými vlákny. Takovéto směsi mohou být použity například pro senzory nebo konektory v automobilovém průmyslu, rámy a součástky motorů nebo čerpadel. Poly-ftalamidy se také modifikují retardéry hoření, pokud je zapotřebí, aby byl materiál nehořlavý. [6] U skelných vláken je potřeba brát v úvahu, že sice zlepšují mechanické vlastnosti polymeru, zároveň ale stěžují jeho zpracování. Takovýto kompozit bude mít větší viskozitu, a například při zpracování vstřikováním budou vlákna v tavenině částečně orientovaná, čímž vznikne anizotropie vlastností (různé vlastnosti ve směru/kolmo na směr toku), na druhou stranu bude ale vykazovat výrazně lepší mechanické vlastnosti. V Tabulce 3 jsou pro demonstraci těchto jevů porovnány neplněný PA 9T s PA 9T plněným skleněnými vlákny. Jedná se o komerčně dostupné polymery vyráběné firmou Kuraray. [19]

Tabulka 3 – porovnání vlastností PA9T plněného a neplněného skleněnými vlákny [19]

Polyftalamid	PA 9T	PA 9T 30 % GR	PA 9T 50 % GR
<b>Obsah skelných vláken [%]</b>	0	30	50
<b>Absorbce H<sub>2</sub>O [%]</b>	0,25	0,19	0,13
<b>Pevnost v tahu [MPa]</b>	85	190	250
<b>Pevnost v ohybu [MPa]</b>	178	270	370
<b>Smrštění ve zpracovatelské formě – ve směru toku [%]</b>	1,4	0,3	0,2
<b>Smrštění ve zpracovatelské formě – kolmo na směr toku [%]</b>	1,5	0,9	0,8

\*GR v názvu polymeru označuje plnění skelnými vlákny (z anglického glass-reinforced)

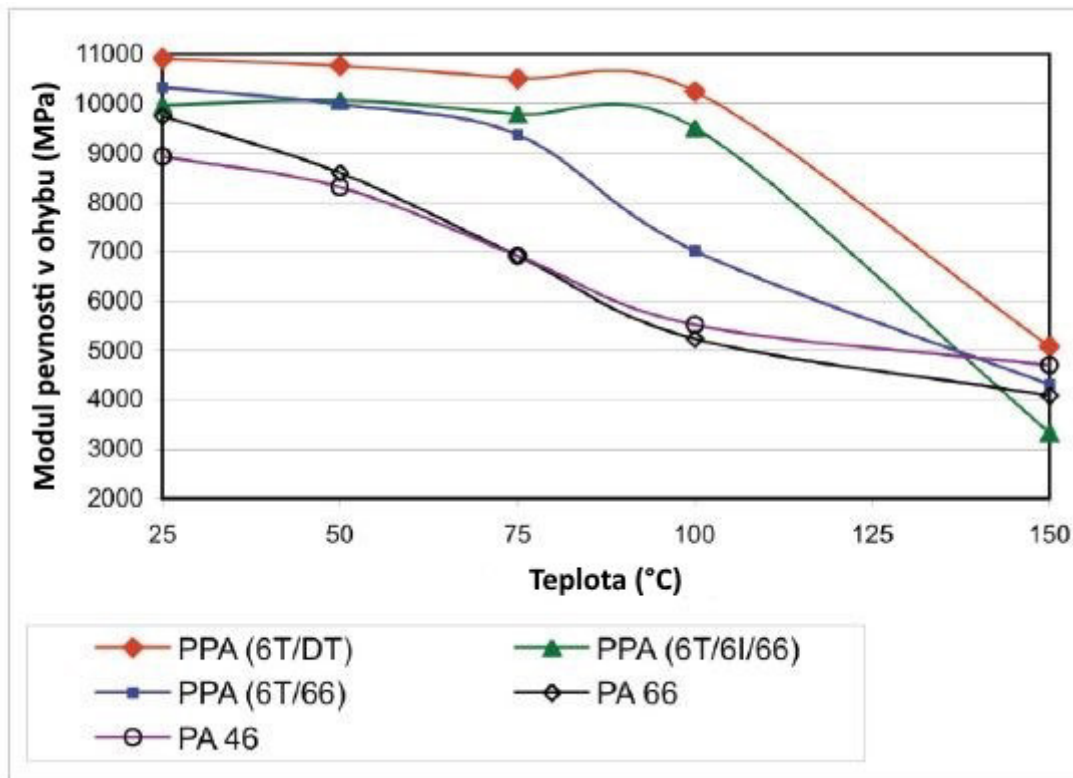
Z tabulky je patrné, že skleněná vlákna významně zlepšují všechny důležité mechanické vlastnosti. Zejména pevnost v tahu výrazně vzrostla – při 30% plnění stoupla více než dvojnásobně, při 50% plnění skleněnými vlákny skoro trojnásobně. Vysvětlení tohoto jevu

spočívá v tom, že skleněná vlákna jsou orientovaná ve směru tahu a na jejich přetržení je potřeba významně vyšší síla, než na přetržení polymerních vláken. Je ale nutné zmínit, že i pevnost v tahu samotného (neplněného) PA 9T je velmi dobrá – je podobná například hodnotě pro čistý hliník (kolem 90 MPa).

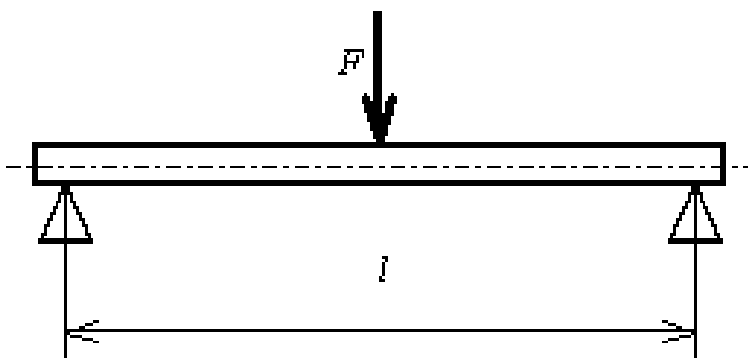
Smrštění ve zpracovatelské formě odkazuje k chování polymeru během procesu vstřikování. Polymer se do zpracovatelské formy vstříkuje ve formě taveniny, uvnitř pak dochází k ochlazení a krystalizaci, čímž dochází k jeho smrštění. Ze zpracovatelského hlediska se jedná o zásadní vlastnost, kterou je nutné brát v potaz při designu polymerních výrobků. PA 9T plněný skleněnými vlákny se smršťuje výrazně méně, a to zejména ve směru toku. Za povšimnutí stojí vzrůstající anizotropie smrštění se vzrůstající koncentrací skelných vláken.

V úvodu této kapitoly bylo uvedeno, že polyftalamidy mají lepší mechanické vlastnosti než alifatické polyamidy, díky čemuž nacházejí uplatnění zejména v náročných aplikacích v automobilovém průmyslu – například v součástkách, které musí odolávat velkému mechanickému namáhání za zvýšených teplot, popřípadě jsou vystaveny styku s chemikáliemi, kterým jiné polymery špatně odolávají. Mezi tyto chemikálie se řadí například chladicí nebo brzdové kapaliny v automobilech.

Na Obrázku 13 je zobrazen průběh modulu pevnosti v ohybu v závislosti na teplotě pro vybrané polyftalamidy a alifatické polyamidy. Modul pevnosti v ohybu se testuje tak, že je na testovací tělísko, které leží horizontálně, vyvíjena síla vertikálně dokud se tělísko nepřelomí. Tato síla je snímána a testovací přístroj z ní vypočítá hodnoty modulu v ohybu. Schéma tohoto testu je na Obrázku 14. Všechny polymery jsou z 30 % plněny skleněnými vlákny. Zkouška byla provedena podle standartu ISO 178. [7]



Obrázek 13 – Modul pevnosti v ohybu vybraných polymerů [7]

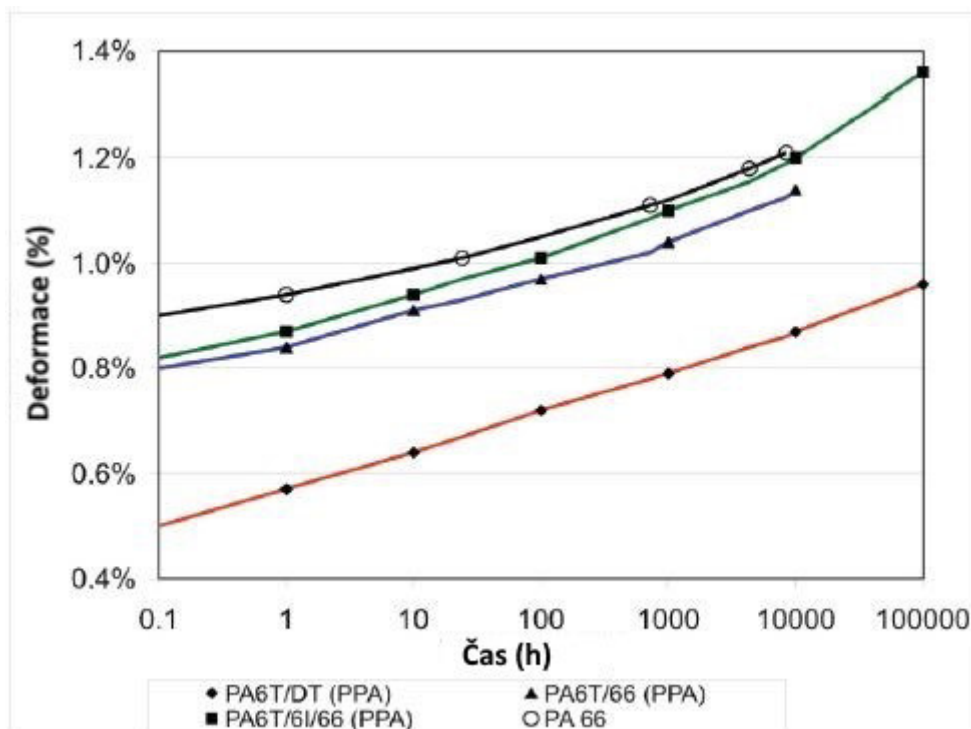


Obrázek 14 – Schéma zkoušky pevnosti v ohybu

Data z Obrázku 13 vypovídají o tom, v jakém teplotním rozsahu je daný polymer schopen udržet přijatelné mechanické vlastnosti (modul v ohybu). Je vidět, že modul PA 66 a 46 (zde zastupují alifatické polyamidy) stabilně klesá již od cca 40 °C, zatímco u polyftalamidů 6T/DT

a 6T/6I/66 se drží na stabilní hodnotě až do přibližně 100 °C. Je zřejmé, že polyftalamidy lépe odolávají vyšším teplotám, než jejich alifatické protějšky.

Zkouška pevnosti v ohybu představuje dynamickou zkoušku mechanických vlastností. V reálných podmínkách ale musí výrobky z polymerních materiálů často odolávat i statickému silovému působení. Dobrým ukazatelem pro tyto vlastnosti je měření krípu (toku za studena) – neboli deformace pod konstantním statickým napětím. Kríp vyjadřuje deformaci, materiály s nízkým krípem se tedy pod napětím deformují méně (tzn. nízký kríp je žádoucí). Obrázek 15 ukazuje vývoj krípu v průběhu času pro vybrané polyftalamidy a PA 66. Měření byla provedena pod napětím 28 MPa při 150 °C. Zvýšená teplota se používá z čistě praktického hlediska – test trvá kratší dobu. Z naměřených hodnot je pak možné aproximovat použitím statistických modelů chování při různých teplotách a pro různé časy. Jedná se o stejné materiály jako na obrázku 13. [7]

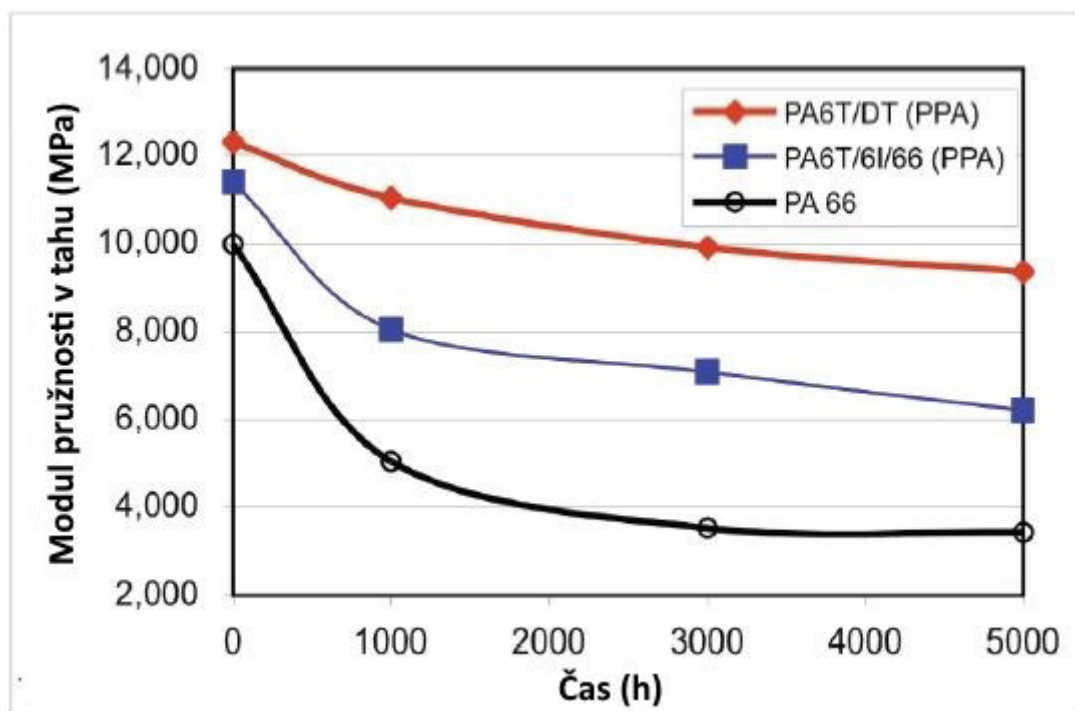


Obrázek 15 – Závislost deformace na čase při konstantním napětí [7]



Z obrázku je patrné, že PA 6T/DT vykazuje významně nižší kríp než ostatní měřené polyftalamidy i PA 66 – i po 100 000 hodinách (více než jedenácti letech) bude deformace menší než 1 % (pod daným napětím).

Jak již bylo zmíněno výše, polyftalamidy nacházejí uplatnění jako konstrukční plasty v automobilovém průmyslu. Důležitou vlastností některých součástek je, aby si zachovaly mechanické vlastnosti, i když jsou v kontaktu s agresivními chemikáliemi. Jako příklad nám mohou posloužit nemrznoucí chladicí kapaliny – ty jsou většinou na bázi etylenglykolu a vody, s příměsí na bázi organických kyselin, které fungují jako inhibitory koroze. Obrázek 16 ukazuje vývoj modulu pružnosti v tahu v závislosti na čase pro vybrané polymery, které byly po dobu testování ponořeny v roztoku nemrznoucí chladicí kapaliny při teplotě 130 °C. [7]



Obrázek 16 - vývoj modulu pružnosti v závislosti na čase v nemrznoucí chladicí směsi [7]

Data jasně ukazují, že PA 66 ztrácí mechanické vlastnosti velmi rychle, a to již během prvních 1 000 hodin (41 dní), což se zjevně neslučuje s použitím ve výrobcích, u kterých se očekává, že budou v provozu několik let – například automobily, klimatizace, chladicí

systemy, výměníky tepla apod. I u polyftalamidů je zde také patrná ztráta mechanických vlastností, nicméně zejména u PA 6T/DT není dramatická v porovnání s PA 66.

### 3.3 Chemické vlastnosti

Důležitou vlastností polyftalamidů je jejich dobrá chemická odolnost. Přesný efekt různých chemikálií na daný polymerní materiál je v obecné rovině těžké předvídat, nicméně na základě měření provedených společnostmi Solvay a DuPont na jejich polyftalamidech je možné sestavit následující Tabulku 4 sloužící k přibližné orientaci. Měření proběhlo následující metodou: nejdříve byl změřen modul pružnosti testovaných polyftalamidů. Následně byly testovací vzorky ponořeny po dobu 30 dní do srovnávané chemikálie při teplotě dané normou ASTM D-638. Po 30 dnech byly vzorky vyjmuty a modul pružnosti byl změřen znovu a porovnán s původní hodnotou. Pokud byl modul po 30 dnech v dané chemikálii menší max. o 10 %, byla odolnost proti této chemikálii ohodnocena jako „výborná“. Pokud modul klesl o 10–50 %, byla odolnost označena za „dostatečnou“. Pokud modul klesl o více než o polovinu, odolnost proti této chemikálii je považována za „nedostatečnou“. Výsledky měření jsou zaznamenány v Tabulce 4. [6]

Tabulka 4 – Odolnost polyftalamidů vůči vybraným činidlům [6]

Činidlo	Odolnost
Alifatické uhlovodíky	Výborná
Aromatické uhlovodíky	Výborná
Oleje	Výborná
Tuky	Výborná
Chlorované uhlovodíky	Výborná
Dichlormetan	Dostatečná
Chlor-fluorované uhlovodíky	Výborná
Ketony	Výborná
Estery	Výborná
Metanol	Dostatečná

## 4 KOMERČNÍ VYUŽITÍ

Díky výše zmíněným vlastnostem si polyftalamidy našly uplatnění v širokém spektru aplikací. V automobilovém průmyslu se polyftalamidy využívají díky vysoké tepelné i chemické odolnosti například jako úchyty pro ložiska v oblasti motoru, plášť termostatu klimatizačního systému, elektrické konektory pro kontrolní jednotku motoru nebo v systémech pro chlazení palivové nádrže. V čerpadlech chladičů polyftalamidy úspěšně nahradily hliník a jiné kovy díky svým dobrým vlastnostem, lehčí váze a nižší ceně. Toyota zakomponovala součástky z polyftalamidů přímo do motorů – v oblasti válců slouží k usměrňování toku chladicí kapaliny, čímž pomáhají k rovnoměrnějšímu chlazení válců a hladšímu chodu motoru. [20] Dle dat Toyoty toto vedlo ke snížení spotřeby o cca 1 %. [7] Polyftalamidy našly své uplatnění i v elektronice. Používají se jako nejrůznější konektory ve velkém i malém měřítku. Na polyftalamidy lze narazit i ve spotřební elektronice – vyrábí se z nich například USB konektory [21] nebo součástky pro usazení fotoaparátů v mobilních telefonech. [20]

Průhledné (často amorfní) polyftalamidy se používají pro výrobu reflektorů LED osvětlení i LCD televizí a mobilních telefonů. [17]

### 4.1 PA 6T

Čistý PA 6T, tedy polymer z hexandiaminu a tereftalové kyseliny, je v praxi nepoužitelný, protože jeho teplota tání (370 °C) je vyšší, než jeho teplota rozkladu 350 °C. Pro praktické použití je potřeba vyrobit kopolymery, a to s takovými komonomery, které sníží jeho teplotu tání tak, aby šel zpracovat tradičními plastikářskými technikami. Komerčně vyráběný PA 6T se kopolymeruje například s 2-methylpentandiaminem, adipiovou nebo isoftalovou kyselinou. Na trhu lze najít kopolymery PA 6T s teplotou tání mezi 235 °C a a 325 °C. [17] Kopolymery PA 6T se používají například pro kryty a součástky mobilních telefonů, notebooků, LCD televizí, ale také pro součástky v automobilovém průmyslu.

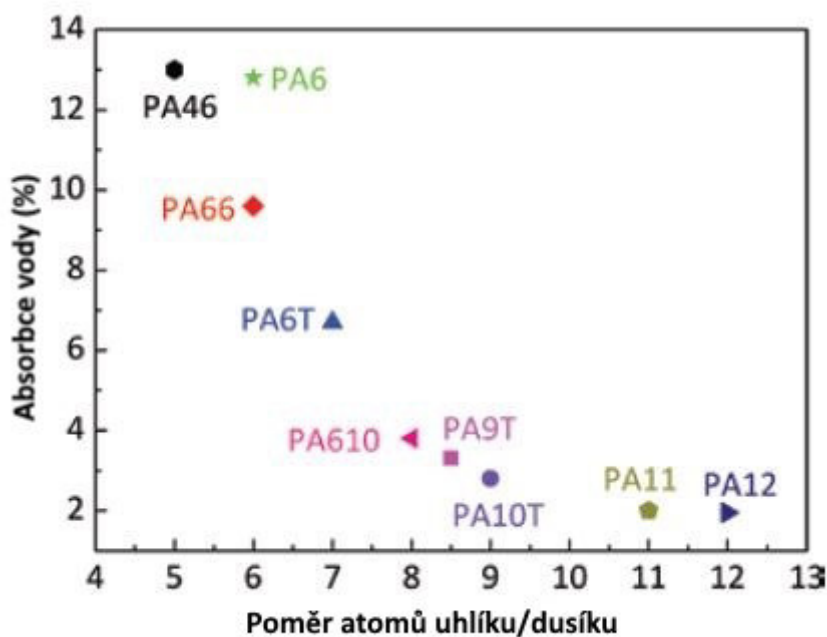
### 4.2 PA 9T

PA 9T se vyrábí z nonandiaminu nebo 2-methyloktadiaminu a kyseliny tereftalové. V porovnání s PA 6T je méně navlhavý díky menšímu počtu amidových skupin na danou délku řetězce. Zároveň je také v řetězci více metylových skupin, takže jeho řetězce jsou

ohebnější a krystalizuje rychleji než PA 6T. Vykazuje také dobrou tvarovou stabilitu a pevnost i za vysoké teploty, používá se tedy například jako uložení pro ložiska, nebo součástky v převodovkách a chladičích, jak u automobilů, tak v průmyslových strojích. Díky menší tendenci navlhat je také vhodný pro použití v elektronických součástkách a LED lampách a svítelnách. Vykazuje také dobrou odolnost benzínům a olejům, je tedy vhodný pro součástky kolem palivových nádrží v automobilech. [17]

### 4.3 PA 10T

PA 10T je polymer vyrobený z tereftalové kyseliny a dekandiaminu. Od výše popsanych polyftalamidů se liší tím, že dekandeamin lze získat z přírodních zdrojů, konkrétně z ricinového oleje. Jedná se tedy částečně o bio polymer. PA 10T je ohebnější než 9T nebo 6T, zároveň je také nejméně navlhavý z této trojice. Porovnání s vybranými polymery je zobrazena na Obrázku 17.



Obrázek 17 – Navlhavost vybraných polyamidů [17]

Ohebnosti PA 10T se využívá zejména v automobilovém průmyslu, a to například v součástkách, které vedou stlačený vzduch do brzd, turbodmychadla nebo výfuku, nebo na hadice pro hydraulické a chladicí kapaliny.

## ZÁVĚR

V této práci byla popsána struktura polyftalamidů a vlastnosti, které z ní vyplývají. Polyftalamidy se vyznačují velmi dobrými mechanickými a tepelnými vlastnosti, považujeme je za vysoce výkonné konstrukční plasty. Mají také výbornou chemickou odolnost. Díky těmto vlastnostem si našly široké uplatnění například v automobilovém průmyslu, kde jsou používány pro nahrazení kovových součástek. Mají srovnatelné vlastnosti, jsou však lehčí a často i levnější. Díky nižší navlhavosti než u alifatických polyamidů se mohou polyftalamidy používat i v součástkách vystavených vysoké vlhkosti, kde není použití polyamidů z tohoto důvodu možné. Zpracovatelnost některých polyftalamidů může být složitá kvůli vysokým teplotám tání, nicméně tu lze upravit vhodnými kopolymery tak, aby bylo možné polyftalamidy zpracovávat například vstřikováním. To umožňuje výrobu tvarově přesných dílů, které si uchovají tvarovou stálost po dlouhou dobu. Polyftalamidy dále našly uplatnění v elektronice, existují i transparentní druhy, které lze použít v LED lampách a svítilnách. Nejnovější trendy ve výzkumu a vývoji polyftalamidů směřují i do oblasti polymerů bio původu a tím snížení závislosti na fosilních zdrojích. Uplatnění zde našly hlavně amidy získané z ricinového oleje, výzkum směřuje ale i do využití kyselin získaných z glukózy.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] C. A. Harper, *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*, 4th edition, McGraw-Hill Professional, 2002.
- [2] D. J. Kemmish, *Practical Guide to High Performance Engineering Plastics*, Shawbury: Smithers Rapra, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, United Kingdom, 2011.
- [3] ASTM D5336-15a, *Standard Classification System and Basis for Specification for Polyphthalamide (PPA) Injection Molding Material*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- [4] Neznámý, „Karboxylové kyseliny - zástupci,“ [Online]. Available: <http://files.janderova.webnode.cz/200000232-b472bb56af/Karboxylov%C3%A9%20kyseliny%20-%20z%C3%A1stupci.pdf>. [Přístup získán 5 2019].
- [5] Vysoká škola chemicko technologická, „ECHO,“ [Online]. Available: <http://147.33.74.135/echo/organika/T0044.html>. [Přístup získán 5 2019].
- [6] S. Thomas a V. P.M., *Handbook of Engineering and Specialty Thermoplastics, Volume 4*, Salem, MA: Scrivener Publishing, 3 Winter Street, Salem, MA-01970, 2012.
- [7] D. Glasscock, W. Atolino, G. Kozielski a M. Martens, *High Performance Polyamides Fulfill Demanding Requirements for Automotive Thermal Management Components*, DuPont Engineering Polymers.
- [8] S. Yang, P. Fu, M. Liu, Y. Wang a Q. Zhao, „Synthesis of Polyundecamethylene 2,6-Naphthalamide as Semiaromatic Polyamide- Containing Naphthalene ring,“ *Journal of Applied Polymer Science, Vol. 118*, pp. 1094-1099 , 2010.
- [9] Sigma-Aldrich, „Product catalogue,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/523763?lang=en&region=CZ>. [Přístup získán 5 2019].

- [10] T. Cousin, *Synthesis and Molecular Modelling of Bio-based Polyamides*, Lyon: Thesis submitted to École doctorale Matériaux de Lyon, 2013.
- [11] Wikimedia Commons, „File:NewhydroxymethylfurfuralSynthesis.png,” 7 2006. [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NewhydroxymethylfurfuralSynthesis.png>. [Přístup získán 5 2019].
- [12] J. Lewkowski, „Synthesis, chemistry and applications of 5-hydroxymethylfurfural and its derivatives,” Department of Organic Chemistry, University of Łódź, 2001.
- [13] B. Liu, G. Hu, J. Zhang a C. Fang, „Synthesis, characterization and thermal decomposition kinetics of bio-based transparent nylon 10I/10T,” *Designed Monomers and Polymers*, sv. 21, č. 1, 2018.
- [14] M. Sova, „Tech portál,” 6 1 2015. [Online]. Available: [https://www.techportal.cz/33/nadmolekularni-struktura-polymeru-morfologie-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ei10ff\\_PHbnv3QrrmAHliVA/](https://www.techportal.cz/33/nadmolekularni-struktura-polymeru-morfologie-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ei10ff_PHbnv3QrrmAHliVA/). [Přístup získán 16 5 2019].
- [15] M. Li, „Study on Melting and Polymorphic Behavior of Poly(Decamethylene Terephthalamide),” *Journal of Polymer Science*, č. 57, 2019.
- [16] Z. Wang, G. Hu, J. Zhang, J. Xu a W. Shi, „Isothermal Crystallization Kinetics of Nylon 10T and Nylon T10/1010 Copolymers: Effects of Sebacic Acid as a Third Comonomer,” *Journal of Wuhan University of Technology-Mater*, sv. 33, č. 5, 2018.
- [17] C. Zhang, „Progress in semicrystalline heat-resistant polyamides,” *ePolymers*, sv. 18, č. 5, 2018.
- [18] W. Wang, X. Wang, R. Li, B. Liu, E. Wang a Y. Zhang, „Environmental-friendly synthesis of long chain semiaromatic polyamides with high heat resistance,” *Journal of Applied Polymer Science*, sv. 114, č. 4, 2009.
- [19] Kuraray Co., Ltd, „Genestar Product Information,” 2013. [Online]. Available: [https://www.genestar.kuraray.com/en/common/pdf/automotive\\_catalog.pdf](https://www.genestar.kuraray.com/en/common/pdf/automotive_catalog.pdf).



- [20] G. Zhang, G.-M. Yan, T. Yu, J.-H. Lu, X. Huang, X.-J. Wang a J. Yang, „Semiaromatic Polyamides Containing Carboxyl Unit: Synthesis and Properties,“ *Industrial & Engineering Chemistry Research*, sv. 56, 2017.
- [21] A. Zistrel, „DuPont’s Zytel HTN selected for use in USB Type-C 3.1 connectors,“ 2015. [Online]. Available: <https://www.connectortips.com/duPonts-zytel-htn-selected-for-use-in-usb-type-c-3-1-connectors/>.
- [22] C. Zaniboni, *Oligomere Technologies for Cost-effective Processing High-performance Polyphthalamide Composites*, Zurich, Switzerland: A dissertation submitted to ETH Zurich, 2010.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PA	Polyamid
PPA	Polyftalamid
ASTM	American Society for Testing and Materials
HMF	Hydroxymetylfurfural
FDCA	Furaldikarboxylová kyselina
$T_g$	Teplota skelného přechodu
$T_m$	Teplota tání
$T_f$	Teplota tečení
PPPTA	poly-parafenyltereftalamid (Kevlar)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – tefertalová kyselina [4] .....	10
Obrázek 2 – isoftalová kyselina [5] .....	10
Obrázek 3 – PA 6T [7].....	10
Obrázek 4 – PA 6T/66 [7] .....	11
Obrázek 5 – PA 6T/DT [7].....	11
Obrázek 6 – PA 6T/6I/66 [7] .....	11
Obrázek 7 – 2,6-naftalendikarboxylová kyselina [9] .....	12
Obrázek 8 – PA 13N .....	12
Obrázek 9 – dehydratace fruktózy na hydroxymetylfurfural (s meziprodukty) [11]..	13
Obrázek 10 – oxidace hydroxymetylfurfuralu (HMF) skrz 2 meziprodukty na 2,5- furandikarboxylovou kyselinu (FDCA) [12].....	14
Obrázek 11 – lamela, sférolit, sférolitická struktura [14] .....	15
Obrázek 12 – Schéma autoklávu [5] .....	16
Obrázek 13 – Modul pevnosti v ohybu vybraných polymerů [7] .....	22
Obrázek 14 – Schéma zkoušky pevnosti v ohybu .....	22
Obrázek 15 – Závislost deformace na čase při konstantním napětí [7].....	23
Obrázek 16 - vývoj modulu pružnosti v závislosti na čase v nemrznoucí chladící směsi [7].....	24
Obrázek 17 – Navlhavost vybraných polyamidů [17] .....	28

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Teplota skelného přechodu a teplota tání PA 66, PA 6T, PA 10T, PA 13T, PPPTA [6] [7].....	18
Tabulka 2 – Vybrané vlastnosti některých polyftalamidů a polyamidů [7] [19].....	19
Tabulka 3 – porovnání vlastností PA9T plněného a neplněného skleněnými vlákny [19] .....	20
Tabulka 4 – Odolnost polyftalamidů vůči vybraným činidlům [6] .....	26