

Univerzita Karlova  
Pedagogická fakulta  
Katedra chemie a didaktiky chemie

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Syntetické makromolekulární látky v souvislostech ve výuce chemie  
na gymnáziu

Synthetic Macromolecular Substances in the Context and Teaching Chemistry  
at High School

Bc. Tereza Němcová

Vedoucí práce: prof. PhDr. Martin Bílek, Ph.D.

Studijní program: Chemie se zaměřením na vzdělávání (B0114A130005)

Studijní obor: Chemie se zaměřením na vzdělávání se sdruženým studiem  
Matematika se zaměřením na vzdělávání (B CH-M 20)

Odevzdáním bakalářské práce na téma Syntetické makromolekulární látky v souvislostech ve výuce chemie na gymnáziu potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Praha 2. 12. 2024

Ráda bych poděkovala prof. PhDr. Martinu Bílkovi, Ph.D. za vedení, ochotu a cenné rady.  
Dále také mé rodině za podporu při celém studiu.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá začleněním problematiky syntetických makromolekulárních látek do výuky chemie na gymnáziu. Cílem bylo analyzovat zastoupení této tematiky v kurikulárních dokumentech, konkrétně v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia, ve školních vzdělávacích programech vybraných škol a v dostupných středoškolských učebních textech s chemickým zaměřením. Na základě zjištěných poznatků bylo cílem také vytvořit návrhy školních experimentů a pracovních listů pro laboratorní cvičení, které žákům přiblíží vlastnosti, přípravu a využití těchto látek.

Teoretická část se věnuje historickému kontextu a chemickým a fyzikálním vlastnostem syntetických polymerů, jejich klasifikaci, principům pojmenování, přípravě, možnostem zpracování a zástupcům, se kterými se v běžném životě setkáváme nejčastěji. Praktická část obsahuje analýzu pěti učebních materiálů, které byly porovnány z hlediska rozsahu a kvality zpracování tohoto tématu. Dále byl zkoumán Rámcový vzdělávací program pro gymnázia a školní vzdělávací programy pěti vybraných gymnázií z Královehradeckého kraje, které byly podle zpracování tématu syntetické makromolekulární látky rovněž porovnány. Z výsledků vychází, že některá gymnázia kladou důraz jen na znalost použití a zástupců těchto látek, oproti tomu jiná vyzdvihují souvislosti s dopadem jejich používání na lidské zdraví a životní prostředí.

Na základě provedených analýz byly jednak navrženy příklady propojení učiva o syntetických makromolekulárních látkách s různými odvětvími chemie a dalšími předměty a jednak byly odladěny školní experimenty zaměřené na přípravu zesíťovaného polymeru, degradaci pěnového polystyrenu a tvorbu polyuretanové pěny.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Syntetické makromolekulární látky, plasty, výuka chemie na gymnáziu, učební texty s chemickou tematikou, pracovní listy

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on incorporating the topic of synthetic macromolecular substances into high school chemistry education. The aim was to analyze the representation of this subject in the framework educational program for high schools, the school educational programmes of selected schools, and available high school chemistry educational texts. Based on the findings, proposals for school experiments and worksheets for laboratory work were developed to familiarize students with the properties, preparation, and applications of these substances.

The theoretical part focuses on the historical context and chemical and physical properties of synthetic polymers, their classification, nomenclature principles, preparation, processing possibilities, and common representatives encountered in everyday life. The practical part includes an analysis of five textbooks, which were compared in terms of the scope and quality of their treatment of this topic. Additionally, the framework educational program for high schools and the school educational programs of five selected high schools from the Hradec Králové region were examined and compared based on their approaches to the topic of synthetic macromolecular substances. The findings indicate that some schools emphasize only the knowledge of applications and examples of these substances, while others highlight the impact of their use on human health and the environment.

Based on the analysis, examples were proposed to connect the topic of synthetic macromolecular substances with various branches of chemistry and other subjects. Furthermore, experiments were developed focusing on the preparation of cross-linked polymers, the degradation of foam polystyrene, and the creation of polyurethane foam.

Furthermore, school experiments were designed focusing on the preparation of cross-linked polymer, foam polystyrene degradation and polyurethane foam creation. The thesis also provides examples of integrating the teaching of synthetic macromolecular substances with various branches of chemistry and other subjects.

## **KEYWORDS**

Synthetic macromolecular substances, plastics, chemistry education at high school, chemistry educational texts, worksheets

## Obsah

Úvod .....	8
1 Syntetické makromolekulární látky .....	9
1.1 Historický úvod .....	9
1.2 Základní pojmy a chemická struktura .....	11
1.3 Názvosloví .....	14
1.4 Chemické a fyzikální vlastnosti .....	16
1.5 Klasifikace .....	18
1.6 Příprava .....	19
1.7 Metody zpracování .....	26
1.8 Degradace, recyklace a dopad na životní prostředí .....	29
1.9 Vybraní zástupci .....	33
1.9.1 Polyethylen .....	33
1.9.2 Polypropylen .....	34
1.9.3 Polystyren .....	35
1.9.4 Polyvinylchlorid .....	36
1.9.5 Nylon .....	37
1.9.6 Poly(ethylen tereftalát) .....	38
1.9.7 Poly(methylmethakrylát) .....	39
2 Syntetické makromolekulární látky v RVP G a ŠVP vybraných gymnázií .....	40
2.1 Syntetické makromolekulární látky v RVP G .....	40
2.2 Syntetické makromolekulární látky v ŠVP vybraných gymnázií .....	42
2.2.1 Gymnázium Jaroslava Žáka, Jaroměř .....	43
2.2.2 Lepařovo gymnázium, Jičín .....	44
2.2.3 Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové .....	44

2.2.4	Gymnázium Dvůr Králové nad Labem .....	46
2.2.5	Jiráskovo Gymnázium, Náchod.....	47
2.2.6	Porovnání ŠVP jednotlivých gymnázií .....	48
3	Syntetické makromolekulární látky ve vybraných učebních textech pro gymnázia ...	49
3.1	Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999).....	50
3.2	Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997).....	51
3.3	Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) .....	53
3.4	Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005) .....	54
3.5	Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997).....	55
3.6	Porovnání obsahu tématu Syntetické makromolekulární látky ve vybraných analyzovaných učebních textech .....	56
4	Příprava pracovních listů k zařazení tématu Syntetické makromolekulární látky do výuky chemie na gymnáziu .....	62
4.1	Polyuretanová pěna.....	62
4.1.1	Teoretický úvod.....	62
4.1.2	Cíl experimentu .....	62
4.1.3	Pomůcky, chemikálie a pracovní postup .....	62
4.1.4	Otázky k zamyšlení a vyhodnocení .....	64
4.1.5	Bezpečnost.....	65
4.2	Polymerní sliz.....	65
4.2.1	Teoretický úvod.....	65
4.2.2	Cíl experimentu .....	65
4.2.3	Pomůcky, chemikálie a pracovní postup .....	65
4.2.4	Otázky k zamyšlení a vyhodnocení .....	66
4.2.5	Bezpečnost.....	67

4.3	Rozpouštění pěnového polystyrenu.....	67
4.3.1	Teoretický úvod.....	67
4.3.2	Cíle experimentu .....	67
4.3.3	Pomůcky, chemikálie a pracovní postup .....	68
4.3.4	Bezpečnost.....	69
4.3.5	Otázky k zamyšlení a vyhodnocení .....	69
5	Propojení tématu Syntetické makromolekulární látky s dalšími okruhy nejen ve výuce chemie na gymnáziu .....	70
	Závěr.....	72
	Seznam zkratk a symbolů .....	74
	Seznam použitých informačních zdrojů .....	75
	Seznam příloh.....	81



## Úvod

Syntetické makromolekulární látky představují významnou oblast současné chemie, která zásadně ovlivňuje moderní průmysl, vědu i každodenní život. Tyto látky nacházejí široké uplatnění v různých odvětvích, od výroby plastů a vláken až po biomedicínu, elektroniku či stavebnictví. Studium syntetických makromolekulárních látek na středních školách je proto důležité nejen z hlediska pochopení chemických principů, ale i z hlediska aplikace těchto poznatků v praktickém životě a odpovědného přístupu k problematice ochrany životního prostředí.

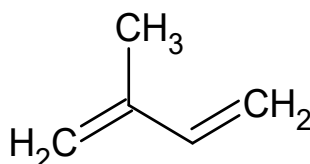
Bakalářská práce se zaměřuje na možnosti zařazení problematiky syntetických makromolekulárních látek do výuky chemie na gymnáziu. Práce zahrnuje teoretické zpracování tématu, analýzu jeho zastoupení v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia a ve školních vzdělávacích programech vybraných škol, stejně jako srovnání jeho prezentace v různých středoškolských učebních textech. Cílem práce je také navrhnout vhodné školní experimenty a pracovní listy pro laboratorní cvičení, které by žákům přiblížily praktické aspekty syntetických makromolekulárních látek, jejich vlastnosti, přípravu a použití. Závěrečná kapitola představuje propojení tématu syntetických makromolekulárních látek s dalšími oblastmi chemie, jako je obecná chemie, organická chemie nebo chemie životního prostředí. Práce zdůrazňuje důležitost mezioborového přístupu a schopnosti aplikovat získané poznatky v různých souvislostech, což vede k rozvoji komplexního pohledu na moderní chemii.

# 1 Syntetické makromolekulární látky

Jak již z názvu napovídá, makromolekulární látky jsou látky složené z makromolekul, tj. z molekul obsahujících velký počet atomů (jejich relativní molekulové hmotnosti se typicky pohybují v řádech stovek a tisíců). Z hlediska původu je lze rozdělit do dvou hlavních kategorií, a to na látky přírodní a látky uměle připravené (syntetické). Historicky se lidé setkali mnohem dříve s těmi přírodními (kaučuk, celulóza, bílkoviny, škrob, bavlna atd.) než je začali uměle připravovat (Sperling, 2006). Vědní obor, který se makromolekulami zabývá, nazýváme makromolekulární chemie. Jedná se však o obor interdisciplinární, který úzce souvisí také z biologií, fyzikou, materiálovými vědami, chemickým inženýrským, potravinářstvím či farmacií (Vohlídal, 1995).

## 1.1 Historický úvod

Přírodní makromolekulární látkou, která měla zásadní roli při vzniku látek syntetických, je **kaučuk**. Už od 18. století byl tento materiál, který se do Evropy dovážel z Ameriky, zkoumán a postupně došlo nejen k rozšíření repertoáru jeho použití (od gumování tuhy a impregnace textilií až po vznik celého nového gumárenského průmyslu), ale zejména k detailnějšímu porozumění jeho chemické struktury. Byly také objeveny různé postupy, jak zlepšit jeho vlastnosti. Nejznámější z nich je vulkanizace sírou (Vohlídal, 1995). Velkým úspěchem bylo zjištění, že přírodní kaučuk je tvořen řetězově pospojovanými molekulami **izoprenu** tj. 2-methylbuta-1,3-dienu (viz obrázek 1), který se dokonce povedlo izolovat. Na přelomu 19. a 20. století byl přírodní kaučuk natolik využíván, že již nestačilo množství, které bylo možné těžít z přírodních zdrojů. V důsledku toho byl vyvíjen čím dál tím větší tlak na vynalezení způsobu umělé přípravy kaučuku, což se na začátku 20. století opravdu podařilo (Ducháček, 1995).



**Obrázek 1** Strukturní vzorec izoprenu

Jiné syntetické makromolekulární látky začaly být připravovány již v první polovině 19. století (Vohlídal, 1995). Patřila k nim různá umělá hedvábí vyráběná například z nitrátu celulózy či z jejího měďnatoamoniakálního roztoku (Ducháček, 1995). První komerčně vyráběnou látkou byla fenol-formaldehydová pryskyřice, kterou v roce 1909 uvedl na trh pod názvem **Bakelit** belgický chemik Leo Beakeland (Vohlídal, 1995). Díky své vysoké teplotní stálosti a elektrickému odporu, byl tento materiál používán zejména jako izolátor v elektrických zařízeních. Také z něj byly vytvářeny šperky a části předmětů běžných v domácnosti (rukojeti žehliček, telefonní sluchátka, lopatky praček). Navzdory všem jeho výborným vlastnostem, bylo od používání Bakelitu upuštěno z důvodu jeho obtížné barvitelnosti (American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks, 2012a).

Na začátku 20. století bylo již vědcům známo, že se makromolekulární látky skládají z velkého počtu chemických jednotek, avšak nebylo zcela objasněno, jakým způsobem jsou jednotlivé molekuly propojeny. To se podařilo zjistit německému chemikovi Hermannu Staudingerovi, který uvedl, že jsou propojeny kovalentními vazbami stejnými jako jsou ty, které se vyskytují v molekulách daleko menších. Několik let sice trvalo, než byla tato teorie přijata, ale později měla velký vliv na vývoj nových metod přípravy syntetických makromolekulárních látek (American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks, 2012b).

Dalším významným objevem byla syntéza nového syntetického polymeru, který připravil Arnold Collins při experimentu založeném na chloraci divinylacetyleny v roce 1930. Jelikož materiál začala vyrábět společnost DuPont, byla nová látka uvedena na trh pod označením DuPren. Dnes však tento chloroprenový kaučuk známe pod názvem neopren (American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks, 2012b).

Velký vliv na rozvoj makromolekulární chemie měla druhá světová válka. Nedostatek přírodních materiálů vedl ke zvýšení produkce látek syntetických. Jednalo se například o polystyren (PS), polyethylen (PE), teflon, nylon 66 či polyvinylchlorid (PVC). V průběhu 20. století se portfolio syntetických makromolekulárních látek mnohonásobně rozšířilo a s ním i pole možností jejich použití (Vohlídal, 1995). V neposlední řadě byly také lépe pochopeny souvislosti mezi jejich chemickou strukturou a fyzikálními vlastnostmi (Sperling, 2006).

V dnešní době se výzkum v oblasti polymerních materiálů zaměřuje na několik klíčových oblastí. Jednou z nich je snaha o nahrazení kovů ve strojírenství. Další důležitou oblastí je využití vláken s vysokou pevností například k ukotvování ropných plošin v oceánech. Dále se zkoumají materiály nehořlavé a ty, které při hoření emitují minimální množství kouře a toxických výparů. Dalším směrem výzkumu jsou rozložitelné polymery, které nejenže pomáhají snižovat množství plastového odpadu, ale také slouží ke kontrolovanému uvolňování léčiv nebo agrochemikálií. Polymery se také zkoumají z hlediska možné náhrady kovů ve vodičích a v neposlední řadě i jejich použití jako katalyzátorů při syntéze proteinů a nukleových kyselin (Stevens, 1999).

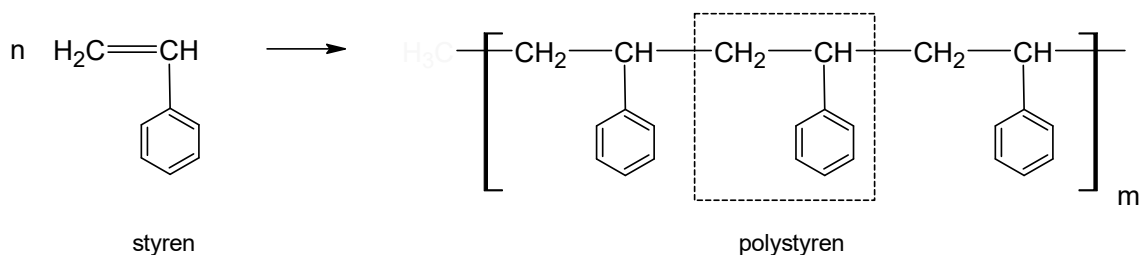
## 1.2 Základní pojmy a chemická struktura

Jak již bylo zmíněno, **makromolekulou** se rozumí molekula, která je složena z velkého množství atomů. Dalším důležitým pojem je **polymer**<sup>1</sup>, tedy makromolekula, která je složena z velkého počtu opakujících se částí tzv. monomerních jednotek (MJ). Jejich počet je zpravidla tak velký, že prodloužení či zkrácení řetězce o několik monomerních jednotek nemá vliv na většinu vlastností polymeru. Pro polymer složený z menšího počtu monomerních jednotek se používá označení **oligomer**. V tomto případě má prodloužení či zkrácení řetězce už o jednu monomerní jednotku zásadní vliv na jeho fyzikální a chemické vlastnosti. Jelikož hranice mezi polymery a oligomery není ostrá, bývá pro molekuly na tomto rozhraní zaváděn pojem **hemipolymer**. Počet MJ v molekule polymeru definujeme jako **stupeň polymerizace** (Vohlídal, 1995).

Další pojmy, které je nutné definovat, jsou monomer a monomerní jednotka. **Monomer** je molekula jejímž řetězením získáme polymer. Zabudováním této molekuly do řetězce polymeru se z monomeru stává **monomerní jednotka** (neboli mer). Pro lepší názornost mějme například polystyren (viz obrázek 2). Monomerem je zde styren. Monomerní jednotka je ve vzniklém řetězci polystyrenu zvýrazněna přerušovaným rámečkem (Ducháček, 1995).

---

<sup>1</sup> Důležité je zmínit, že v některé literatuře (zejména anglické) jsou pojmy makromolekula a polymer chápány jako synonyma, oproti tomu v jiné je pojem makromolekula nadřazený pojmu polymer.



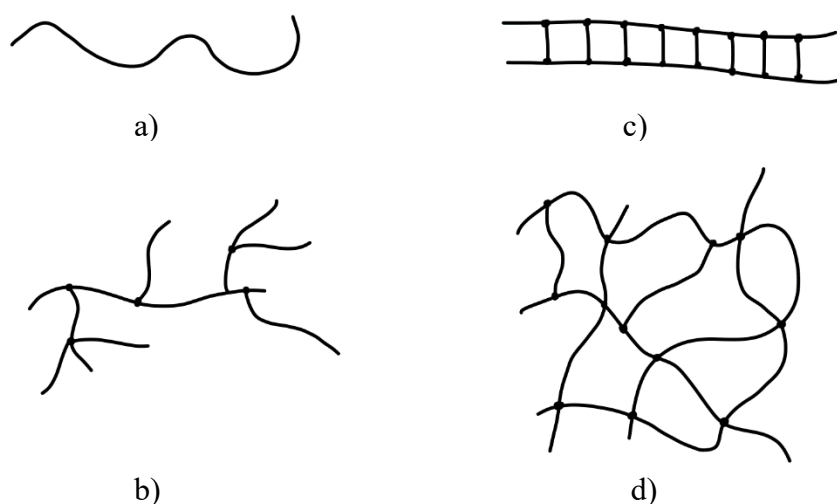
**Obrázek 2** Rovnice přípravy polystyrenu (s vyznačenou monomerní jednotkou) ze styrenu (monomer).

Při popisu struktury polymerů rozlišujeme její čtyři úrovně: kovalentní, konfigurační, konformační a nadmolekulární strukturu. **Kovalentní** struktura udává, z jakých monomerních jednotek se řetězec skládá, resp. z jakých monomerů byl připraven. Polymer vzniklý pouze z jednoho typu monomeru nazýváme **homopolymer**. Pokud polymer vzniká z více typů monomeru, označujeme ho obecně jako **kopolymer**, konkrétně pak pro dva druhy monomeru jako bipolymer (nebo binární kopolymer), pro tři jako tripolymer (ternární kopolymer) atd. Na rozdíl od homopolymeru, u kterého jsou za sebe spojovány stále stejné molekuly, může při formování kopolymeru docházet k jejich různému řazení. Tím dochází ke vzniku řetězců s různým tzv. **sekvenčním uspořádáním**. Mezi jeho základní typy řadíme alterační, periodické a blokové. Jejich obecná schémata jsou uvedena na obrázku 3 (Flory, 1953; Koltzenburg et al., 2023; Vohlídal, 1995).

- a) ....A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B....
- b) ....AABB-AABB-AABB-AABB....
- c) ....A-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B....

**Obrázek 3** Typy sekvenčního uspořádání kopolymerů: a) alterační, b) periodické, c) blokové (Vohlídal, 1995).

Dalším faktorem, který má vliv na podobu vzniklého řetězce je i vaznost monomerních jednotek. Rozlišujeme pak několik geometrických typů řetězců. Pokud jsou monomerní jednotky pouze dvojitě, nemůže nastat jiná možnost, než že jsou všechny pospojovány za sebe a vznikne lineární řetězec (viz obrázek 4). V případě, že se mezi MJ vyskytují i trojitě či vícevazné, dochází k větvení. Tímto způsobem dochází ke vzniku rozvětvených, žebříkových či zesíťovaných řetězců (viz obrázek 4) (Flory, 1953; Vohlídal, 1995).

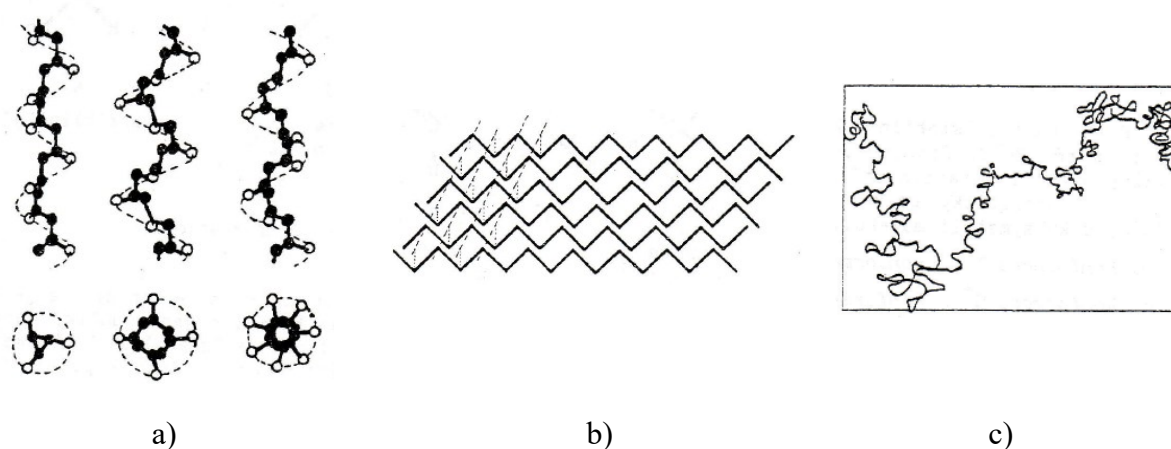


**Obrázek 4** Typy řetězců z hlediska geometrického uspořádání: a) lineární, b) rozvětvený, c) žebříkový, d) zesíťovaný.

**Konfigurační** struktura udává uspořádání substituentů na stereogenních centrech neboli konfigurační izomerii. Týká se především navázání skupin na dvojných vazbách (E-Z izomerie) a na asymetrických atomech uhlíku (R-S konfigurace). Pokud se v posloupnosti konfigurací na jednotlivých chirálních centrech objevuje určitá pravidelnost, nazýváme takové polymery obecně jako **taktické**. Rozlišujeme pak řetězce **izotaktické**, které mají na všech asymetrických atomech uhlíku stejnou konfiguraci, a **syndiotaktické**, u kterých se konfigurace pravidelně střídají. V případě, že je uspořádání konfigurací zcela náhodné, je řetězec **ataktický** (Ducháček, 1995; Lodge & Hiemenz, 2020; Mark, 2006).

**Konformační** struktura se zabývá rotacemi částí řetězce kolem jednoduchých vazeb. Pokud je molekula v takovém stavu, že se objemnější skupiny nacházejí blízko u sebe, dochází na

základě sterické interakce a torzního pnutí ke zvýšení její energie. Pro řetězec jsou tedy některé polohy méně energeticky výhodné než jiné. Polymer však mnohem pravděpodobněji zaujme tu konfiguraci, která vede ke snížení jeho energie. Tyto výhodné konformace můžeme rozdělit na pravidelné a nepravidelné. Mezi pravidelné patří konformace spirálové (helixové) a cik-cak konformace (viz obrázek 5), při kterých dochází navíc ke stabilizaci pomocí intramolekulárních a intermolekulárních interakcí. Jednou z nepravidelných konformací je model statistického klubka (viz obrázek 5) (Flory, 1953; Koltzenburg et al., 2023; Vohlídal, 1995).



**Obrázek 5** Konformace řetězců polymeru: a) spirálová, b) cik-cak, c) statistické klubko (Vohlídal, 1995).

**Nadmolekulární** struktura popisuje, jak se řetězce shlukují v různé typy struktur především na základě nekovalentních interakcí. Z tohoto hlediska rozdělujeme polymery na amorfní a krystalické (Vohlídal, 1995). Bližší charakteristika a souvislosti těchto stavů je objasněna v kapitole 1.4.

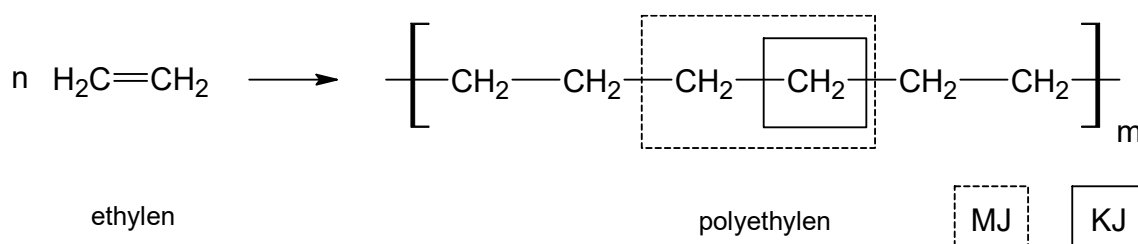
### 1.3 Názvosloví

U polymerních látek rozlišujeme dva typy názvosloví – procesní a strukturální. U obou typů se název skládá z předpony poly-. U **procesního** názvu je kořenem slova, který umísťujeme za předponu poly- do kulatých závorek, triviální název monomeru, ze kterého byl polymer připraven. U monomerů s jednoduchými názvy se závorky často vynechávají (Prokopová, 2007). Pokud monomer obsahuje například více dvojných vazeb, pomocí kterých mohl být řetězec vytvořen, je možné před předponu poly- umístit také lokant této dvojně vazby

v monomeru. S tímto problémem se setkáváme například u polymerace izoprenu (struktura uvedená na obrázku 1), ze kterého mohou vznikat dokonce tři typy řetězců a to 1,2-poly(izopren), 1,4-poly(izopren) a 3,4-poly(izopren) (Prokopová, 2007; Vohlídal, 1995).

Pokud pomocí procesní nomenklatury pojmenováváme kopolymer, umístíme do závorky za předponu poly- názvy obou monomerů oddělené příslušnou spojkou označující, o jaký typ sekvenčního uspořádání se jedná. Pro alterační kopolymer je to spojka -alt-, pro periodický -per- a pro blokový -block-. Například název periodického kopolymeru vzniklého z ethenu a propenu bude poly(ethylen-per-propylen) (Koltzenburg et al., 2023; Vohlídal, 1995).

U **strukturního** přístupu následuje v závorce za předponou poly- název opakující se konstituční jednotky (KJ) vytvořený podle pravidel IUPAC. Konstituční jednotka je nejmenší část, jejímž opakováním získáme daný polymer. Na rozdíl od monomerní jednotky, nemusí mít přímou souvislost se strukturou monomeru. Odlišnost těchto dvou pojmů lze demonstrovat na struktuře polyethylenu (viz obrázek 6). Z procesního názvu poly(ethylen) vyplývá, že monomerem je ethylen neboli ethen. Monomerní jednotkou (na obrázku 6 zvýrazněno přerušovaným rámečkem) je tedy ethan-1,2-diyl. Nejmenší opakující se jednotkou je ale methandiyl (na obrázku 6 znázorněno rámečkem s plnými okraji). Strukturní název tohoto polymeru je tedy poly(methandiyl). U jiných polymerů (zvláště u těch vzniklých ze složitějšího monomeru) se však velmi často stává, že monomerní a konstituční jednotka splývají – například u polystyrenu znázorněného na obrázku 2 (Prokopová, 2007).



**Obrázek 6** Rovnice přípravy polyethylenu (s vyznačenou monomerní a konstituční jednotkou) z ethylenu (monomer).



Pro makromolekulární látky se v praxi také používají názvy triviální, komerční nebo označení pomocí zkratk. Triviální názvy mají svůj původ hlavně v době, kdy nebyla známá struktura a složení daného polymeru. Týká se tedy především látek přírodních, protože s nimi se lidé setkali nejdříve. Příkladem může být celulóza, amylopektin, amyulóza, gutaperča či glykogen. V případě uměle připravených látek se většinou jedná o deriváty látek přírodních – nitrilový kaučuk, chloroprenový kaučuk atd. Komerční názvy představují označení, pod kterým byly látky uvedeny na trh. Jedná se například o silon, nylon, teflon a kevlar. V praxi velmi časté je označování pomocí zkratk. Ty většinou vychází z anglického názvu. Mezi nejznámější patří PVC pro poly(vinylchlorid), PS pro poly(styren), PP pro poly(propylen), PE pro poly(ethylen), PMMA pro poly(methylmethakrylát) nebo PET pro poly(ethylentereftalát) (Mark, 2006; Vohlídal, 1995).

#### 1.4 Chemické a fyzikální vlastnosti

Stejně jako u nízkomolekulárních látek je jednou z hlavních charakteristik polymerů jejich molekulová hmotnost. Ta zde však závisí na stupni polymerizace (delší řetězce ji v porovnání s těmi kratšími vzniklými stejným způsobem mají vyšší). Další skutečností, kterou je nutné vzít v potaz je, že ve vzorku jsou zároveň přítomné různě dlouhé řetězce, které mají odlišné četnosti výskytu. Říkáme, že existuje určitá distribuce stupňů polymerizace, a tedy i molekulových hmotností. Tuto závislost je možné charakterizovat distribuční funkcí. Její tvar je ovlivněn strukturou a chováním daného polymeru. Statistickými metodami se z ní dají vyjádřit vztahy pro parametry, jako je například průměrná molární hmotnost, která bývá pro praxi jako informace o daném polymeru dostačující. Mezi analytické metody, kterými se dají tyto charakteristiky velmi přesně změřit patří gelová permeační chromatografie, osmometrie a viskozimetrie, které využívají souvislosti mezi stupněm polymerizace a fyzikálními vlastnostmi jako je osmotický tlak či viskozita (Meissner & Zilvar, 1982).

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.2, z hlediska nadmolekulární struktury se polymery v pevném skupenství mohou vyskytovat ve dvou základních uspořádáních: **krystalickém** a **amorfním**. V krystalickém stavu jsou makromolekuly pravidelně uspořádány stejně tak, jak je tomu u nízkomolekulárních látek. Na rozdíl od nich zde však vzniklé krystaly dosahují tak malých rozměrů, že je nelze pozorovat ani optickým mikroskopem. Tyto malé útvary

bývají proto označovány jako **krystality**. U většiny reálných materiálu není možné, aby se celé nacházely v krystalickém stavu, tj. vždy je přítomné alespoň malé množství amorfního uspořádání. Tato struktura bývá nazývána jako **semikrystalická** (Peacock & Calhoun, 2006).

V případě amorfního materiálu nepozorujeme žádné pravidelné uspořádání jeho vláken. Rozlišujeme zde však dva stavy, ve kterých se amorfní polymer může v závislosti na teplotě nacházet. První z nich je **kaučukovitý** stav, který se podobá spíše velmi viskózní kapalině. Důležitou vlastností tohoto typu amorfního uspořádání je viskoelastické chování, které je blíže popsáno níže. Pokud budeme amorfní polymer ochlazovat až dojdeme pod tzv. **teplotu skelného přechodu**, změní se struktura z kaučukovité na **sklovitou**. Tento stav je charakteristický křehkostí (Peacock & Calhoun, 2006). Hodnota teploty skelného přechodu závisí na chemické struktuře, a je tedy pro každý polymer specifická. To má mimo jiné za následek i rozdílné vlastnosti různých materiálů za stejných podmínek – ty, které se zrovna nachází ve sklovitém stavu jsou tvrdé a pevné, zatímco ty zaujímající kaučukovitou strukturu měkké a ohebné (Koltzenburg et al., 2023; Peacock & Calhoun, 2006; Prokopová, 2007).

To, zda se polymer bude nacházet v krystalickém či amorfním uspořádání, záleží na tom, jakým způsobem provedený přechod z kapalné do pevné fáze. Pokud budeme látku ochlazovat pozvolna, budou mít vlákna dostatek času na to, aby utvořila krystality a tím vznikla krystalická pevná fáze. V opačném případě, kdy bude ochlazování prudké, nedojde k uspořádání vláken a získáme amorfní polymer (Vohlídal, 1995).

Fyzikální vlastnosti polymerů (například hustota a index lomu) se v počátku růstu řetězce významně mění, protože úzce souvisí s molekulovou hmotností. Nicméně, po dosažení relativní molekulové hmotnosti přibližně 15 000 se stabilizují a další prodlužování na ně již nemá pozorovatelný vliv. Na druhou stranu mechanické vlastnosti, jako je pevnost, křehkost, ohnivzdornost, teplotní stabilita a chemická odolnost, se neodvíjí od délky vlákna, ale od interakcí mezi jednotlivými řetězci, a tedy se mění i při prodlužování již tak dost velkých makromolekul (Stevens, 1999).

Bylo prokázáno, že látky obsahující aromatický systém jsou obvykle teplotně stabilnější než látky bez něj. Aby bylo možné polymer označit jako teplotně odolný, musí mít vysokou teplotu skelného přechodu a nesmí se rozkládat při teplotách nižších než 400 °C.

Ohnivzdornost polymerů se liší – některé nehoří, některé hoří jen v plamenu, a jiné hoří velmi snadno i mimo něj, což souvisí s jejich schopností uvolňovat při rozkladu způsobeném zvýšením teploty hořlavé plyny, které se následně vznítí. Chemická odolnost zahrnuje rezistenci vůči vodě, korozi a degradaci způsobené slunečním zářením. Krystalické polymery jsou v tomto ohledu obvykle odolnější než formy amorfní (Stevens, 1999).

Charakteristickou vlastností polymerů, se kterou se u nízkomolekulárních látek nesetkáváme, je tzv. **viskoelastické chování**, které se projevuje, je-li materiál vystaven mechanické zátěži. Elasticita znamená, že po odstranění působení síly, se materiál navrátí do svého původního stavu. S pojmem viskozita se setkáváme v souvislosti se schopností kapaliny téct. To, které chování se bude u polymeru projevovat, závisí na tom, po jak dlouho budeme deformačními silami působit. V případě krátkého časového intervalu se bude projevovat elasticita. Důvodem je síť, do které jsou vlákna zapletena. Pokud však budeme materiál mechanicky namáhat po delší dobu, začnou se řetězce rozplétat a u polymeru se projeví viskózní chování (Gargallo & Radić, 2009; Lodge & Hiemenz, 2020; Vohlídal, 1995).

Jak již bylo zmíněno výše, chování polymerů lze popsat různými statistickými modely a z nich vyvodit teorie zahrnujícími mimo jiné i fázové diagramy (například výskyt skupenských stavů látky v závislosti na teplotě a molekulové hmotnosti). Z nich bylo zjištěno (a experimentálně potvrzeno), že reálné polymery nemohou existovat v plynném skupenství a některé (například celulóza) ani v kapalném. V těchto případech totiž při zvyšování teploty dojde dříve k rozkladu než ke změně skupenského stavu (Flory, 1953; Vohlídal, 1995).

## 1.5 Klasifikace

Syntetické makromolekulární látky můžeme rozdělovat do skupin podle různých kritérií. Z hlediska fyzikálního rozlišujeme polymery krystalické a amorfní. Jak již bylo zmíněno výše, někdy bývá uváděn také pojem semikrystalická struktura, která zahrnuje látky obsahující jak krystalicity, tak amorfní část (Peacock & Calhoun, 2006).

Z chemického pohledu můžeme syntetické polymery rozdělit podle typu reakce, kterou byly připraveny. Zde rozlišujeme tři dominantní skupiny, a to látky vzniklé polymerací, polyadici

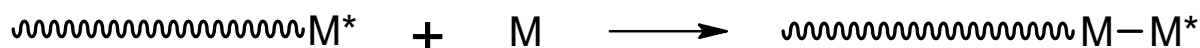
a polykondenzací (Vacík et al., 1999). Také lze použít třídění podle struktury, a to například na základě sekvenčního či geometrického uspořádání, jak bylo uvedeno v kapitole 1.2.

Dalším kritériem hojně používaným pro klasifikaci syntetických makromolekulárních látek je jejich chování za zvýšené teploty. První skupinou jsou látky zvané **termoplasty**. Jejich struktura je tvořena jednotlivými nezesíťovanými vlákny, která po sobě mohou klouzat a tím měnit vzájemnou polohu. Při zvýšené teplotě je tedy možné takovýto materiál tvarovat. Příkladem termoplastů jsou polyvinylchlorid, polyethylen, polypropylen či polyamidy. Druhou skupinu tvoří polymery, jejichž vlákna jsou působením teploty, tlaku či vytvrzovacích prostředků vzájemně propojena, a tudíž změna jejich prostorového uspořádání není možná. Jejich zahříváním už nedochází k měknutí, ale naopak k degradaci. Tyto látky označujeme jako **reaktoplasty** nebo termosety a patří mezi ně například epoxidové pryskyřice. V dnešní době, kdy je výzkumu v oblasti syntetických makromolekulárních látek věnována velká pozornost, už není hranice mezi termoplasty a reaktoplasty tak ostrá. Existují totiž látky, které jsou například jen lehce zesíťované nebo jsou jejich vlastnosti odrazem jiných vlivů než jen teploty. Proto spíše než o dvou oddělených skupinách, hovoříme o spektru, kde na jednom konci stojí termoplasty a na druhém reaktoplasty (Ducháček, 1995; Peacock & Calhoun, 2006).

## 1.6 Příprava

Chemické reakce, kterými jsou syntetické makromolekulární látky připravovány, můžeme rozdělit na dvě hlavní skupiny: řetězové a neřetězové. **Řetězové** chemické reakce jsou typické růstem řetězce připojováním jednotlivých monomerů. Na konci původního řetězce se nachází aktivní centrum, které se připojením dalšího monomeru posouvá opět na kraj. Schematicky je tento posun zobrazen na obrázku 7. Prodlužování řetězců tímto způsobem je velmi rychlé. Řetězové chemické reakce obecně probíhají ve třech (až čtyřech) základních krocích: iniciace, propagace, terminace (a případně přenos řetězce). Při **iniciaci** dochází ke vzniku aktivního centra na monomeru. Při následné **propagaci** dochází k reakci s dalším monomerem, tak jak je znázorněno na obrázku 7, se současným přesunem aktivního centra. Propojením dvou aktivních center dochází k ukončení polymerace neboli k **terminaci**. V některých případech může dojít také k přesunu aktivního centra v rámci řetězce, což bývá označováno jako **přenos řetězce**. Tento jev má za následek vznik různě větvených a

propojených vláken. Aby syntéza mohla probíhat řetězově, je nutné, aby monomer splňoval určité podmínky. V molekule musí být přítomné buďto násobné vazby nebo cyklický systém obsahující heteroatom (například epoxidový kruh) (Lodge & Hiemenz, 2020; Painter & Coleman, 1997).



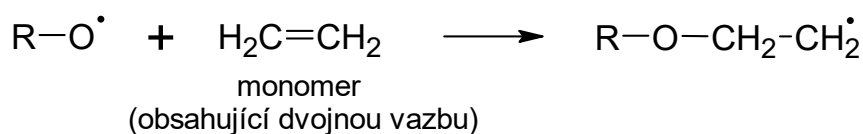
**Obrázek 7** Přesun aktivního centra (označeno hvězdičkou) při prodlužování řetězce (Painter & Coleman, 1997).

Řetězové polymerace mohou probíhat různými mechanismy. Dvěma základními jsou radikálový a iontový. V případě **radikálové** polymerace je při iniciaci nutné vytvořit radikál. K tomu se využívají například peroxidy, které lze velmi snadno rozštěpit na peroxidové radikály, které následně reagují s dvojnou vazbou ve struktuře monomeru, čímž vzniká nový radikál s nepárovým elektronem na atomu uhlíku. Ten pak v dalším kroku (propagaci) reaguje s novou molekulou monomeru, dochází k prodloužení řetězce a přesunu aktivního centra. Tento proces je opakován až do úplného vyčerpání výchozích látek nebo do doby, než dojde k reakci mezi dvěma radikály. Tím dochází k terminaci radikálové polymerace. Velikost a větvení vznikajících řetězců lze ovlivnit vnějšími podmínkami jako je tlak či teplota. Příkladem látek připravovaných tímto způsobem, se kterými se setkáváme v běžném životě, jsou polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid, polytetrafluorethylen (známý jako teflon), polymethylmethakrylát nebo polyethylen na němž je na obrázku 8 demonstrován průběh radikálové polymerace (Koltzenburg et al., 2023; Painter & Coleman, 1997).

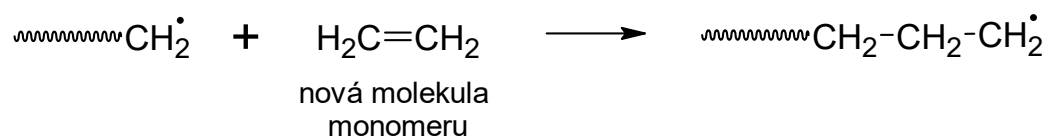
Iontové polymerace můžeme dále rozdělit na aniontové a kationtové. Jak již z názvu vypovídá, u aniontové polymerace je aktivním místem záporně nabitá část řetězce (typicky atom uhlíku či kyslíku). Naopak u kationtové se jedná o část s kladným nábojem (nejčastěji atom uhlíku). Ke vzniku daného iontu dochází opět při iniciaci. V této fázi hraje velmi důležitou roli rozpouštědlo a to, jak dokáže stabilizovat vzniklý ion. Po vzniku aktivního centra dochází stejně jako u radikálového mechanismu k propagaci a prodlužování řetězce. Iontové polymerace se však liší v provedení terminace. Není zde totiž možná reakce mezi

dvěma aktivními centry. V tomto bodě je opět velmi důležité rozpouštědlo, na které může být náboj přesunut například výměnou za atom vodíku. Terminace může být také dosaženo rekombinací s opačně nabitou molekulou, která byla odštěpena při iniciaci (Koltzenburg et al., 2023; Painter & Coleman, 1997).

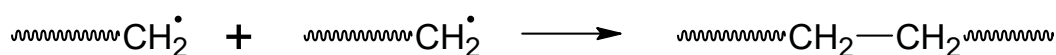
### 1. Iniciace



### 2. Propagace



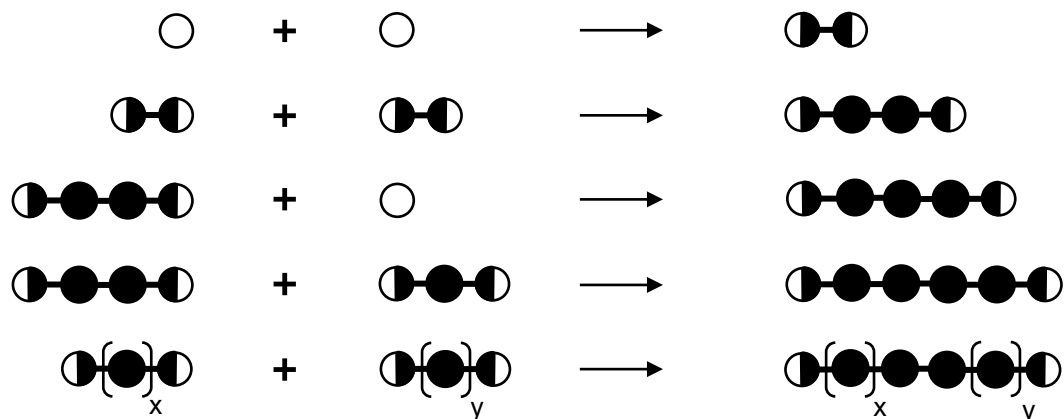
### 3. Terminace



**Obrázek 8** Schéma průběhu radikálové polymerace ethylenu (Painter & Coleman, 1997).

Podstatou **neřetězových** polymerací je tvorba dimerů, trimerů a dalších oligomerů, které jsou následně spojovány v delší řetězce (Painter & Coleman, 1997). Na rozdíl od řetězových průběhů, u kterých se v jednom kroku řetězec prodlouží pouze o jednu MJ, může u neřetězových reakcí dojít k růstu až o desítky MJ. Podstata tohoto typu polymerace je schematicky znázorněna na obrázku 9. Jako monomery je vhodné používat molekuly obsahující alespoň dvě funkční skupiny – jedna z nich reaguje s další molekulou monomeru

za vzniku dimeru a druhá zůstává volná, čímž umožňuje další prodlužování řetězce na druhou stranu (Lodge & Hiemenz, 2020; Vohlídal, 1995).

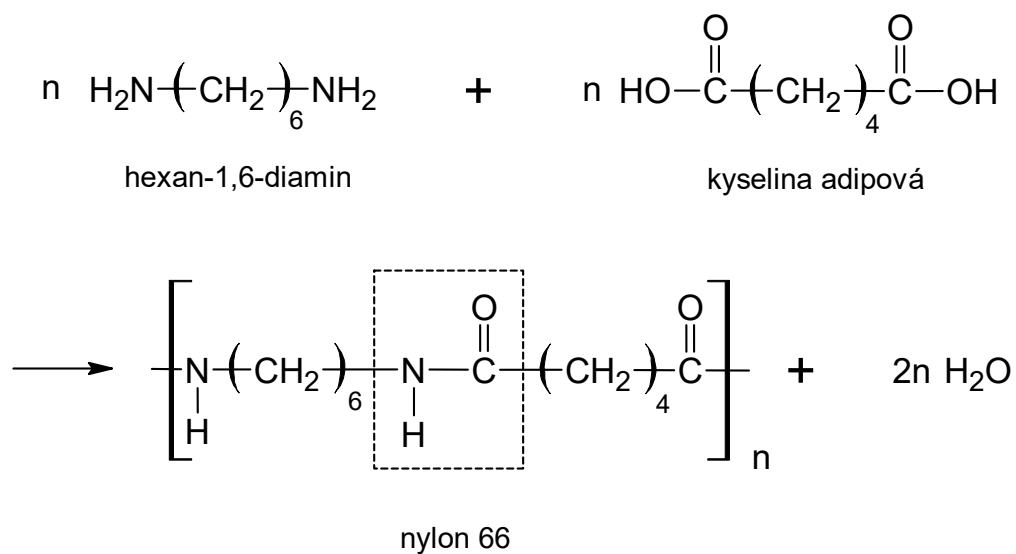


**Obrázek 9** Schéma prodlužování polymerního vlákna při neřetězové polymeraci

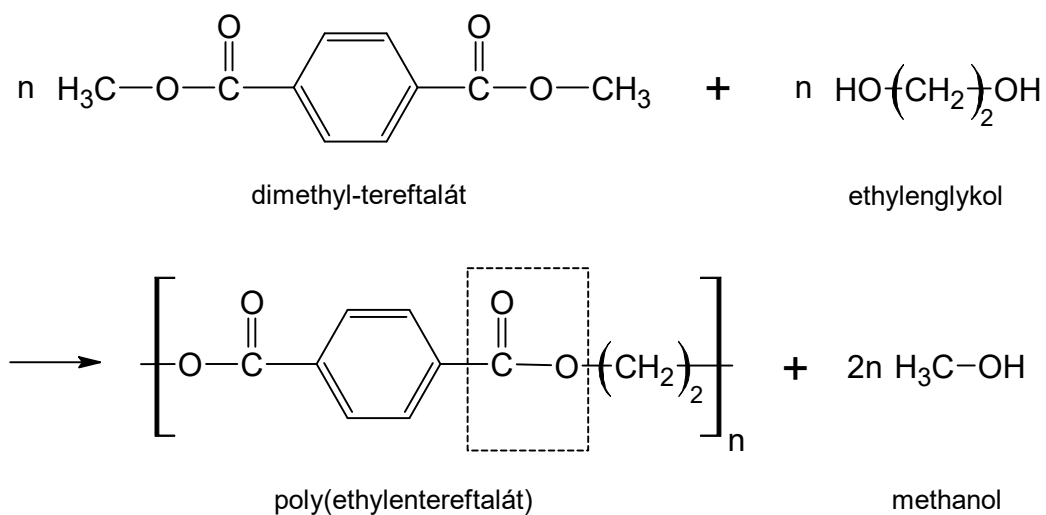
(○ monomer, ◐ částečně zapojený monomer, ● hotová MJ) (Vohlídal, 1995).

Mezi látky, které se tímto způsobem připravují patří polyamidy, polyestery, polyuretany, epoxidové pryskyřice, fenol-formaldehydové pryskyřice a další. U **polyamidů** reakce probíhá mezi dvěma typy monomerů – diaminem a dikarboxylovou kyselinou nebo jejím chloridem (Painter & Coleman, 1997). Mechanismem nukleofilní substituce na atomu uhlíku karbonylové skupiny dochází ke vzniku amidové (peptidické) vazby. Zároveň je odštěpena molekula  $H_2O$  nebo  $HCl$ . Z polyamidů jsou vyráběna velmi pevná a odolná vlákna. Příkladem látek, které patří do této skupiny, jsou nylon 66 a silon. Schéma vzniku nylonu 66 s vyznačenou amidovou vazbou se zobrazeno na obrázku 10 (Lodge & Hiemenz, 2020; Vohlídal, 1995).

**Polyestery** obsahují ve své struktuře esterovou vazbu. Tu je možné vytvořit reakcí diolu s dikarboxylovou kyselinou nebo jejím chloridem či esterem mechanismem nukleofilní substituce stejně jako u polyamidů. Také dochází k odštěpení malé molekuly  $H_2O$ ,  $HCl$  nebo alkoholu. Schéma vzniku tohoto propojení je zobrazeno na obrázku 11. Nejznámějším příkladem polyesteru je poly(ethyltereftalát) označovaný také jako PET (Koltzenburg et al., 2023; Painter & Coleman, 1997).



**Obrázek 10** Schéma syntézy polyamidu nylonu 66 s amidovou vazbou vyznačenou přerušovaným rámečkem (Painter & Coleman, 1997).



**Obrázek 11** Schéma syntézy polyesteru PET s esterovou vazbou vyznačenou přerušovaným rámečkem (Painter & Coleman, 1997)





k protonizaci formaldehydu a následně k jeho navázání mechanismem elektrofilní aromatické substituce na fenol do polohy ortho nebo para. Dalším propojováním molekul je formován lineární řetězec. Při tomto procesu také dochází k odštěpování molekul vody. Jak lze vyvodit z jejich struktury, novolaky patří mezi termoplasty, a proto při zahřívání měknou (Gardziella et al., 2000; Koltzenburg et al., 2023; Vohlídal, 1995; Vohlídal, 1995).

V případě, že má být syntetizován druhý typ produktu, **rezol**, je nutné použít nadbytek formaldehydu a zároveň reakci provádět v bazickém prostředí, jehož vlivem dochází k deprotonizaci fenolu a navázání formaldehydu na aromatické jádro do poloh ortho a para. Vzniklé molekuly jsou pak dále navzájem propojovány do rozvětveného řetězce, přičemž jako vedlejší produkt vzniká opět voda. Díky rozvětveným řetězcům patří rezoly mezi termosety. Pokud budeme látky typu rezol zahřívát, dojde k prostorovému propojení těchto vláken a vzniku nerozpustného pevného materiálu, který nazýváme **rezit**. Z novolaků je také možné rezit vytvořit, avšak vzhledem k jejich termoplastickému charakteru je nutné použít vytvrzovací činidla. Zřejmě nejznámějším zástupcem fenol-formaldehydových pryskyřic je již dříve zmíněný Bakelit (Gardziella et al., 2000; Koltzenburg et al., 2023; Vohlídal, 1995; Vohlídal, 1995).

Další skupinou látek, které lze syntetizovat pomocí neřetězové polymerace, jsou **epoxidové pryskyřice**. Jedná se o polymerní řetězce, které ve své struktuře obsahují nejméně dvě epoxidové skupiny (Peters, 2002). Nejčastěji jsou připravovány reakcí vícesytných alkoholů nebo fenolů (například bisfenolu A) a epichlorhydrinu. Na konci řetězce je vždy zachován oxiranový kruh, který může reagovat s další molekulou (Vohlídal, 1995). Po vytvrzení jsou epoxidové pryskyřice tvrdé a pevné látky, které jsou velmi tepelně a chemicky odolné. Díky svému vysokému elektrickému odporu se používají jako součást elektrických zařízení. Mimo to nalézají uplatnění jako lepidla, laky a jako součást různých kompozitních materiálů (Peters, 2002).

Jak již bylo zmíněno v kapitole týkající se klasifikace syntetických makromolekulárních látek, rozdělujeme je z hlediska přípravy na tři hlavní skupiny. Látkami vzniklými polymerací se většinou rozumí pouze ty, které byly připraveny řetězovou polymerací. Materiály, jejichž výroba je založena na neřetězové polymeraci, zařazujeme pak do zbylých dvou skupin, a to do látek připravených polykondenzací nebo polyadací. V případě

polykondenzace vzniká při reakci kromě polymerního řetězce také malá molekula vedlejšího produktu (například vody). Do tohoto souboru proto z výše uvedených patří polyamidy, polyestery a fenol-formaldehydové pryskyřice. Oproti tomu u polyadice ke vzniku vedlejšího produktu nedochází. Tento případ se týká polyuretanů, epoxidových pryskyřic a dalších (Vacík et al., 1999).

Kromě přímé syntézy polymerů je také další důležitou oblastí, kterou se makromolekulární chemie zabývá, jejich **modifikace**. Důvodem bývá snaha získat nový materiál s lepšími nebo odlišnými vlastnostmi. Rozlišujeme tři základní typy modifikací: fyzikální, mechanochemické a chemické. V případě fyzikálních dochází jednoduše ke smíchání dvou nebo více polymerů. Příkladem je přidání polyvinylchloridu k chloroprenovému kaučuku, což vede ke snížení nákladů na výrobu a zároveň zachování pevnosti. Mechanochemickými modifikacemi rozumíme řízenou degradaci, která může být navíc prováděna v přítomnosti dalšího monomeru. Tímto způsobem lze připravit různé kopolymery a používá například při zpracování přírodního kaučuku. Třetím typem modifikací jsou chemické úpravy, při kterých dochází vlivem činidel nebo úpravou reakčních podmínek k úplné změně struktury polymeru. Patří sem například fluorace polyethylenu, při které má vzniklý produkt mnohem lepší chemickou a tepelnou odolnost a větší elektrický odpor. Dalším důležitým příkladem chemických modifikací polymerů je i jejich síťování, mezi která patří i vulkanizace kaučuků (Ducháček, 1995).

## 1.7 Metody zpracování

Mezi základní metody, kterými jsou syntetické makromolekulární látky<sup>2</sup> zpracovávány na výsledné produkty, patří vytlačování, vstřikování, vyfukování a tvarování za tepla. **Vytlačování** neboli extruze (angl. Extrusion) je proces, při kterém je polymer nejčastěji ve formě granulátu roztaven a pomocí rotace tzv. šneku vytlačován skrze matici. Výsledný produkt pak má tvar profilovacího otvoru (hlavy) v této matici. Zařízení, které se pro tento typ zpracování používá se nazývá extrudér a využívá se i v případě jiných materiálů (například kovů nebo potravin). Tato technika se používá při výrobě předmětů s konstantním profilem, kterými jsou například trubky, desky, optické kabely, vlákna či fólie. Metodou

---

<sup>2</sup> Pokud mluvíme o syntetických makromolekulárních látkách jako o materiálu, jsou často označovány jako plasty

vytlačování jsou nejčastěji zpracovávány termoplasty jako je polypropylen, polyethylen, polystyren, neměkčený polyvinylchlorid nebo polymethylmetakrylát. Při zpracování teflonu se vzhledem k jeho špatné tekutosti nepoužívá extrudér se šnekem, ale pístového vytlačovacího stroje, který se používá také při práci s reaktoplasty (Krebs, 2001; Krebs et al., 2020; Shrivastava, 2018).

Další z hojně využívaných metod zpracování plastů je technika **vstřikování** (angl. Injection Moulding), která nachází široké uplatnění jak u termoplastů, tak i u reaktoplastů. Proces začíná obdobně jako u vytlačování – plastový granulát je nejprve zahřát na požadovanou teplotu, až dojde k jeho roztavení. Roztavená hmota je následně pomocí rotace šneku postupně dopravována směrem k pevné desce s otvorem. Za touto deskou se nachází forma, jejíž tvar odpovídá výslednému produktu. Jakmile se před deskou nahromadí dostatečné množství roztaveného plastu, šnek je prudce posunut vpřed, čímž dochází ke vstříknutí taveniny přímo do formy. Poté následuje klíčová fáze chlazení, během níž plast tuhne a získává trvalou podobu finálního výrobku. Jakmile dojde k úplnému ztuhnutí, forma se otevře a hotový výrobek je vysunut ze vstřikovacího stroje. Po vyjmutí výrobku se forma znovu uzavře a celý cyklus může být opakován od začátku. Tento opakující se proces zaručuje vysokou efektivitu a rychlou produkci plastových dílů v požadovaných tvarech a rozměrech. Mezi výrobky, které se pomocí této techniky zhotovují patří zubní kartáčky, uzávěry od lahví, komponenty počítačů a tiskáren, součástky automobilů (nárazníky, kryty, pedály...), plastové díly sušiček/praček, nádoby na čisticí prostředky, hračky a další (Krebs et al., 2020; Shrivastava, 2018).

**Vyfukování** (angl. Blow Moulding) představuje proces tvarování zahřátého plastu za pomoci tlaku vzduchu, který materiál formuje do přesného tvaru vyfukovací formy. Existují dva hlavní typy tohoto procesu, z nichž každý je vhodný pro odlišné nároky na vlastnosti výrobků. Prvním typem je **vytlačovací vyfukování**. Tento postup začíná vytlačováním duté trubice (tzv. parisonu). Jakmile trubice dosáhne požadované délky, je uložena do formy, kde je zahřáta a pomocí tlaku vzduchu roztáhnuta tak, aby dokonale vyplnila tvar formy. Poté následuje fáze chlazení, po které je výrobek hotový a vyjímá se z formy. Tato metoda se využívá k výrobě různých nádob, jako jsou lahve na kosmetiku a potraviny, sudy, kanystry nebo dokonce kajaky. Díky své konstrukční flexibilitě je vytlačovací vyfukování vhodné

i pro nádoby s objemem až do 1000 litrů. Druhým typem je **vstřikovací vyfukování**, které zahrnuje dva hlavní kroky. Nejprve se metodou vstřikování vytvoří tzv. preforma, což je dutý předlisek podobný zkumavce. Tento předlisek se následně opět zahřeje a pomocí vzduchu vyfoukne do výsledného tvaru, stejně jako u vytlačovacího vyfukování. Vstřikovací vyfukování se nejvíce používá pro výrobu nápojových lahví a transparentních i barevných lahví na kosmetiku. Tento proces je však omezen na menší objemy – obvykle do 5 litrů. Rozpoznání technologie výroby je možné po pohledu na dno nádoby – výrobky vytvořené vytlačovacím vyfukováním mají na dně viditelný šev, který vzniká sevřením konce parisonu ve formě, oproti tomu výrobky vytvořené vstřikovacím vyfukováním tento charakteristický prvek postrádají (Krebs et al., 2020; Shrivastava, 2018).

Další z metod zpracování plastů je **tvárování za tepla** (angl. Thermoforming). Ta je založena na zahřátí tenkých desek z termoplastu, jejich následného tvarování proti povrchu vnější formy a ochlazení výsledného produktu. Dvěma základními způsoby provedení jsou tvarování vnitřní formou (tedy prostřednictvím mechanické síly) a tvarování pomocí vakua. Tvarování za tepla je ve srovnání s předchozími technikami jednoduchá metoda nenáročná na přístrojové vybavení. Mezi výrobky, které se tímto způsobem vyrábí, patří ochranné přilby, skořepinové kufry, kryty na mobilní telefony, tácy nebo nádoby na potraviny (například vanička na rajčata) (Krebs et al., 2020; Shrivastava, 2018).

## 1.8 Degradace, recyklace a dopad na životní prostředí

**Degradace** (nejen) syntetických makromolekulárních látek je proces, při kterém dochází ke změnám chemických a fyzikálních vlastností způsobených nejčastěji štěpením polymerních řetězců na menší molekuly v důsledku působení různých činitelů. K tomuto rozkladu může docházet už v průběhu výroby nebo až při používání daného výrobku. Riziky v průběhu vlastního výrobního procesu jsou zejména působení vysokých teplot a mechanická zátěž, se kterou se lze setkat například při tvarování za tepla. Vlivem vysokých teplot může dojít k tzv. **teplotní oxidaci**, při které dochází ke vzniku peroxidových radikálů (tento proces může být ještě urychlen přítomností kyslíku), které následně způsobují štěpení nebo naopak nechtěné propojování polymerních vláken a tím i změnu mechanických vlastností materiálu hlavně z hlediska jejich dlouhodobé stability. Aby se předešlo teplotní oxidaci materiálu nebo se alespoň snížila pravděpodobnost jejího vzniku, používají se různé antioxidační příměsi. Dalším rizikem, které je s výrobou plastů za vyšších teplot spojeno, je jejich hořlavost, v jejímž důsledku samozřejmě také dochází k degradaci. K předejití vzniku požáru se opět používají různé příměsi, které například vytváří na povrchu polymeru ochrannou vrstvu. To, zda bude mít daný polymer sklony k degradaci během jeho syntézy a zpracování úzce souvisí s jeho strukturou, avšak nelze je zcela předpovědět (Muralisrinivasan, 2019).

Mezi hlavní faktory, které negativně ovlivňují vlastnosti stabilitu plastových výrobků patří teplota, vlhkost, sluneční záření, působení mikroorganismů, vítr a další. Mezi nejčastější projevy těchto činitelů patří ztráta barevnosti, mechanických vlastností a elektrické nevodivosti, změna tvaru nebo zvýšená křehkost. Působením slunečního záření dochází k tzv. **fotooxidaci**. V materiálu může dojít k absorpci UV záření, což v případě, že je jeho energie stejně velká jako disociační energie vazeb v molekulách, způsobí jejich štěpení a vznik volných radikálů, které opět vedou k degradaci, která se projevuje typickým žloutnutím. Jako ochrana před fotooxidací se jako příměsi používají UV absorbenty, antioxidanty nebo jsou aplikovány anorganické povrchy, které toto záření odráží. V případě působení infračerveného záření dochází ke zvýšení vibrace molekul, která se projeví zahřátím materiálu (Shrivastava, 2018)

Jedním z velmi aktuálních témat je biologická degradace plastů (zkráceně také **biodegradace**), tedy jejich rozložení vlivem mikroorganismů nebo jiných biologických

činitelů na produkty, které nejsou toxické. Samotný rozklad je nejčastěji způsoben plísněmi, které jsou pomocí enzymů schopné štěpit například amidové nebo esterové vazby v molekulách (Honzík, 2004). Bohužel, naprostá většina z používaných syntetických makromolekulárních látek (PE, PVC, PET, PP, PS a další) není tímto způsobem rozložitelná vůbec nebo jen velmi pomalu. Tento proces může být urychlen působením výše zmíněných faktorů (teploty, slunečního záření atd.) nebo přidáním speciálních přísad už při výrobě materiálu. Na druhou stranu je v dnešní době kladen velký důraz na vývoj tzv. **bioplastů**, které jsou syntetizovány nejčastěji z biomasy a působením mikroorganismů jsou snadno rozložitelné (Ahmed et al., 2018).

S používáním syntetických makromolekulárních látek je úzce spojena otázka jejich **recyklace**, čímž rozumíme metody znovu zpracování plastového odpadu tak, aby mohl být přeměněn na nové výrobky a zároveň tím byl tak snížen dopad na životní prostředí. Tento proces lze rozdělit na primární, sekundární a terciární recyklaci, přičemž každá z těchto metod má své výhody i omezení. Primární recyklace se týká zpracování zbytkového materiálu, který vzniká přímo při výrobě plastových produktů a který si zachovává své původní vlastnosti, což umožňuje jeho zpracování na nové, ale zároveň stejně kvalitní výrobky. Díky tomu je primární recyklace označována také jako recyklace v uzavřené smyčce. Příkladem je opětovné použití granulátu získaného z odřezků vznikajících při vstřikováním nebo vytlačovacím vyfukování. Ačkoli je tato metoda ekonomicky a environmentálně prospěšná, je uplatnitelná pouze na určitý podíl vznikajícího odpadu, protože nemůže být použita na kontaminované nebo smíšené plasty (Hopewell et al., 2009).

Sekundární recyklace neboli recyklace v otevřené smyčce zahrnuje znovupoužití plastového materiálu od spotřebitelů, který má již nižší mechanickou odolnost, a proto se používá na výrobky, u kterých není vyžadována kvalita tak vysoká, jakou by měl nově syntetizovaný polymer. Příkladem může být výroba oblečení z použitých nápojových lahví. Sekundární recyklace je ekonomicky výhodná a umožňuje recyklovat široké spektrum plastů, včetně polyethylenu, polypropylenu a polyethylentereftalátu. Nevýhodou tohoto přístupu však je, že vede k postupnému zhoršení kvality materiálu, zejména v důsledku tepelné degradace a kontaminace při recyklačních procesech (Kutz, 2017; Rahimi & García, 2017; Shrivastava, 2018).







Podstatou terciární recyklace, známé také pod označením chemická, je zpracování a štěpení plastového odpadu na chemická individua (monomery nebo jiné základní molekuly), která pak mohou být použita pro výrobu nových polymerů. Terciární recyklace zahrnuje chemické procesy jako je pyrolýza nebo depolymerace. Výhodou je možnost zpracovat i vysoce kontaminované nebo smíšené plasty, které by jinak nebylo možné efektivně recyklovat mechanickou cestou (tj. primárně nebo sekundárně). Zásadním problémem jsou však vysoké energetické náklady a náročnost postupů, které často vyžadují speciální zařízení a technologie. Někdy je také vyčleňována kvartérní recyklace, při které je plastový odpad přeměněn na energii pomocí spalování. Tento proces umožňuje získat tepelnou nebo elektrickou energii z plastů, které by jinak byly obtížně mechanicky nebo chemicky recyklovatelné například kvůli vysoké míře kontaminace nebo nízké kvalitě materiálu. Ačkoli kvartérní recyklace není ideálním řešením (zejména kvůli produkci skleníkových plynů a toxických látek), představuje cestu k snížení objemu plastového odpadu ukládaného na skládky a zajišťuje tak jeho alespoň částečné využití (Kutz, 2017; Rahimi & García, 2017; Shrivastava, 2018).

Samotný proces recyklace odpadního plastu od spotřebitelů zahrnuje několik důležitých kroků, které zajišťují efektivní zpracování materiálu a jeho opětovné využití. Prvním krokem je sběr plastového odpadu. V České republice se k tomuto účelu využívají kontejnery žluté barvy. Je však nutné brát v potaz, že do nich nepatří například PVC, plexisklo nebo plasty znečištěné chemikáliemi (ECOSERVIS – komplexní nakládání s odpady s.r.o., 2024). Následuje svoz a rozdělení na třídících linkách podle materiálu a barev. Lisováním, drcením a čištěním vzniká drť (tzv. regranulát), který je dále zpracován na nové výrobky (Jaká je cesta plastového odpadu?, 2020).

Důležitou součástí plastových výrobků jsou recyklační symboly, které poskytují spotřebitelům informace o druhu materiálu a jeho možnostech recyklace. Tyto symboly, obvykle ve tvaru trojúhelníku se šipkami, číslem a zkratkou, označují typ polymeru, ze kterého je obal vyroben. Pro plastové materiály (poly(ethylenetereftalát), vysokohustotní polyethylen, polyvinylchlorid, nízkohustotní polyethylen, polypropylen, polystyren a ostatní) rozlišujeme 7 symbolů, které jsou znázorněny v tabulce 1 (Recyklační symboly plastů, 2018).



**Tabulka 1** Recyklační symboly na výrobcích ze syntetických makromolekulárních látek (Wikipedia contributors, 2024)

Symbol	Materiál
	Polyethylentereftalát
	Vysokohustotní polyethylen
	Polyvinylchlorid
	Nízkohustotní polyethylen
	Polypropylen
	Polystyren
	Ostatní plasty (polyamidy, polykarbonáty, polyuretany, epoxidy ...)

Pokud plasty nejsou recyklovány, končí často na skládkách nebo v přírodě, což má vážné dopady na životní prostředí. Na skládkách se jen velmi pomalu rozkládají a akorát pronikají do půdy a vodních zdrojů ve formě tzv. **mikroplastů** (okem sotva viditelných částic o rozměrech v řádech mikrometrů). Mikroplasty se také dostávají do potravních řetězců, což přináší potenciální zdravotní rizika pro mnoho druhů včetně lidí. Plasty v oceánech narušují tamní ekosystémy, protože je živočichové mohou neúmyslně pozřít nebo se do nich zamotat.

V důsledku toho dochází k ohrožení nebo úhynu mořských druhů. Jak již bylo zmíněno výše, výroba a likvidace plastů navíc produkuje skleníkové plyny, což přispívá k nárůstu globálního oteplování a dalším klimatickým změnám (Andrady, 2011).

## 1.9 Vybraní zástupci

Tato kapitola je zaměřena na vybrané syntetické makromolekulární látky, se kterými se v běžném životě setkáváme nejčastěji. Tyto polymery budou představeny z hlediska jejich chemického složení, fyzikálních vlastností a využití v praxi.

### 1.9.1 Polyethylen

Jako polyethyleny (PE) označujeme celou skupinu látek, jejichž struktura je odvozena od struktury nejjednoduššího řetězce vzniklého polymerací ethenu zobrazeného na obrázku 6 – deriváty jsou z něj tvořeny pomocí větvení a propojování jednotlivých vláken nebo změnou koncových skupin (Peacock & Calhoun, 2006). Polyethylen (nebo poly(ethylen)) je pojmenování z hlediska procesní nomenklatury, tj. polymer, který byl připraven polymerací ethylenu. Použitím strukturního názvosloví dostáváme název poly(methylen) (KJ je methylen), který se však používá jen zřídka (Vohlídal, 1995).

Základními dvěma polyethyleny jsou **HDPE** a **LDPE**. První z nich, HDPE (z angl. High Density Polyethylene) neboli vysokohustotní polyethylen, je tvořen pouze lineárními řetězci. Díky této struktuře mohou být vlákna ve větší blízkosti a materiál tak vykazuje nejvyšší hustotu a pevnost ze všech forem polyethylenu (přibližně 0,94 až 0,97 g/cm<sup>3</sup>). HDPE se používá k výrobě potrubí, nádrží na palivo do automobilů, odpadových nádob apod. Tyto výrobky jsou velmi teplotně a chemicky odolné, avšak při mechanickém namáhání dochází po čase k tvorbě drobných mezer, což se kromě ztráty pevnosti projevuje také zbledáním, jelikož dané místo propouští více světla než jeho okolí. Vysokohustotní polyethylen může být také vyfukován do podoby velmi tenkých fólií, které nalézají uplatnění jako sáčky na potraviny nebo pytle na odpad. Druhá základní forma polyethylenu je LDPE (z angl. Low Density Polyethylene) neboli nízkohustotní polyethylen, který je složený z rozvětvených vláken, jejichž postranní řetězce jsou tvořeny především ethylovými a butylovými skupinami. V důsledku toho nemohou být vlákna tak blízko u sebe a LDPE má proto nižší hustotu než HDPE (přibližně 0,91 až 0,94 g/cm<sup>3</sup>). Nízkohustotní polyethylen

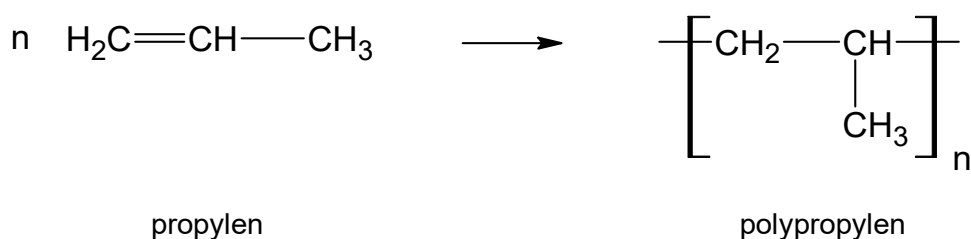
je méně odolný, avšak lépe tvarovatelný než vysokohustotní polyethylen. Nejčastěji je LDPE zpracováván do podoby průhledných fólií, které se používají jako obalové materiály na potraviny a jiné výrobky (včetně strečových fólií), tašky či izolace kabelů. Fólie z LDPE jsou na pohmat měkké na rozdíl od fólií z HDPE, které typicky šustí. Existují i další typy polyethylenů jimiž jsou například LLDPE (lineární nízkohustotní PE), VLDPE (vysoce nízkohustotní PE) nebo XLPE (zesíťovaný PE) (Koltzenburg et al., 2023; Peacock & Calhoun, 2006).

Polyethyleny patří z hlediska přípravy mezi látky vzniklé řetězovou radikálovou polymerací. V případě LDPE se jedná o radikálovou polymeraci zahrnující přenosy řetězců, v jejichž důsledku jsou vytvářeny boční větve. Z organických peroxidů jsou za zvýšené teploty a tlaku vytvářeny volné radikály, které následně napadají molekuly ethylenu, tak jak je ukázáno na obrázku 8. Reakce dále pokračuje propagací, při které dochází k prodloužení řetězce. V této fázi může nastat zmíněný přenos řetězce, kdy dojde k přenosu aktivního místa do středu řetězce a v důsledku reakce s další molekulou ethylenu ke vzniku větvení. Celý proces končí terminací. Při výrobě HDPE je nutné použít katalyzátor (například Zieglerův-Nattaův katalyzátor). V souvislosti s chováním za zvýšené teploty řadíme polyethyleny do skupiny termoplastů (Peacock & Calhoun, 2006).

### 1.9.2 Polypropylen

Polypropylen (zkráceně PP) je syntetická makromolekulární látka, která vzniká polymerací propylenu, proto se jedná o název procesní. Pojmenování tohoto polymeru pomocí strukturní nomenklatury, tedy na základě nejmenší opakující se jednotky, je poly(propan-2,3-diyl) (Prokopová, 2007). Rovnice jeho přípravy je zobrazena na obrázku 13. Polypropylen patří stejně jako polyethylen do skupiny látek, kterým říkáme termoplasty. Jelikož jeho řetězec obsahuje stereogenní centra, může se PP vyskytovat v izotaktické, syndiotaktické nebo ataktické formě (viz kapitola 1.2), která následně velmi ovlivňuje jeho vlastnosti. Izotaktický polypropylen má vysoký bod tání (160 až 180°), v porovnání s ostatními konformacemi nejvyšší hustotu (0,9 g/cm<sup>3</sup>) a vzhledem k jeho dobré schopnosti krystalizovat je velmi pevný (Peacock & Calhoun, 2006; Sigma-Aldrich, 2021). V důsledku vysoké krystalinity je neprůhledný a velmi chemicky a teplotně odolný, což vede k jeho použití na výrobky, u kterých se předpokládá, že budou čelit vysoké teplotě. Příprava syndiotaktického PP je

velmi náročná na přítomnost vhodných katalyzátorů. Vzniklý polymer má nižší bod varu (přibližně 138 °C) a hustotu než izotaktická forma a také menší schopnost krystalizovat, což se projevuje průhledností a menší pevností. Ataktická forma je oproti předešlým dvěma málo odolná, ale díky své vysoké přilnavosti nalézá uplatnění jako součást lepidel (například jako složka asfaltu) (Karian, 2003; Peacock & Calhoun, 2006).



**Obrázek 13** Rovnice přípravy polypropylenu z propylenu (Mandal & Sapcanin, 2023)

K výrobě polypropylenu se stejně jako v případě polyethylenů využívá řetězová radikálová polymerace. V závislosti na kýženém typu takticity a rozložení molekulových hmotností je volen příslušný katalyzátor (používají se opět Zieglerovy-Nattovy katalyzátory nebo metalloceny). Vzhledem k relativně nízkým nákladům na výrobu a vysoké pevnosti, nalézá polypropylen uplatnění v široké škále oblastí. Mezi základní z nich patří zhotovení vláken, která jsou následně zpracována do podoby koberců, přízí, filtrů a dalších. Z PP mohou být také stejně jako u PE vyráběny fólie, které jsou dále používány jako obalový materiál (například na cukrovinky). PP může být také zpracován technikou vstřikování na různé nádoby a předměty (hračky, plastové nádoby, zahradní nábytek, autodíly...) (Karian, 2003; Peacock & Calhoun, 2006).

### 1.9.3 Polystyren

Polystyren (PS) je syntetický polymer patřící mezi termoplasty vyráběný polymerací styrenu. Jeho strukturní název je poly(1-fenylethan-1,2-diyl). Rovnice vzniku polystyrenu je znázorněna na obrázku 2. Stejně jako u polypropylenu mohou v důsledku různých konfigurací na stereogenních centrech vznikat řetězce s různým typem takticity, avšak veškerý komerčně dostupný polystyren je ataktický. V důsledku toho má velmi omezenou schopnost krystalizovat, a proto se běžně vyskytuje jako amorfní pevná látka. Zároveň je jeho teplota skelného přechodu rovna přibližně 100 °C, a tudíž při pokojové teplotě zaujímá

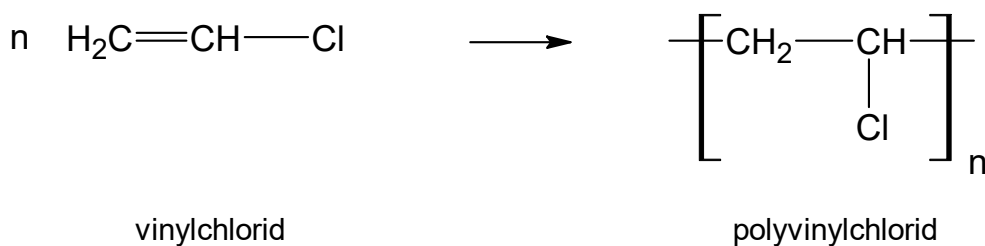
sklovitou strukturu, která se projevuje průhledností, pevností a křehkostí. Polystyren je nejčastěji syntetizován pomocí radikálové řetězové polymerace, avšak lze použít i cestu aniontové polymerace, která má hlavní uplatnění při výrobě blokových kopolymerů (Peacock & Calhoun, 2006; Peters, 2002).

Sklovitá forma polystyrenu (někdy nesprávně nazývána krystalický polystyren) se používá na výrobu hraček, obalového materiálu (potravin, CD disků), kancelářských potřeb a dalších. Velká část vyrobeného polystyrenu se převádí na pěnu (označovanou jako EPS z angl. Expanded Polysyterene), která má hustotu přibližně 16 až 160 kg/m<sup>3</sup> a která ve své struktuře velmi efektivně zadržuje velké množství vzduchu, což z ní dělá výborný izolační materiál. Také umí velmi účinně rozložit mechanickou energii z čehož ve spojitosti s jeho nízkou hmotností plyne jeho časté použití jako ochranný obalový materiál (Peacock & Calhoun, 2006; Peters, 2002).

#### **1.9.4 Polyvinylchlorid**

Polyvinylchlorid (zkráceně PVC) je polymer připravovaný radikálovou polymerací vinyl chloridu. Z hlediska strukturní nomenklatury lze tuto látku pojmenovat jako poly(1-chloroethylen). Rovnice jeho přípravy je znázorněna na obrázku 14. Řetězce PVC opět mohou vykazovat různou takticitu, avšak největší část z nich je ataktická. V důsledku toho má polyvinylchlorid nejčastěji amorfni charakter. Bez přidání stabilizátorů je polyvinylchlorid velmi náchylný k degradaci, která se v důsledku odštěpování molekul HCl a tvorby dvojných vazeb v řetězci projevuje změnou barvy (získání žlutých a růžových odstínů) (Koltzenburg et al., 2023; Peacock & Calhoun, 2006).

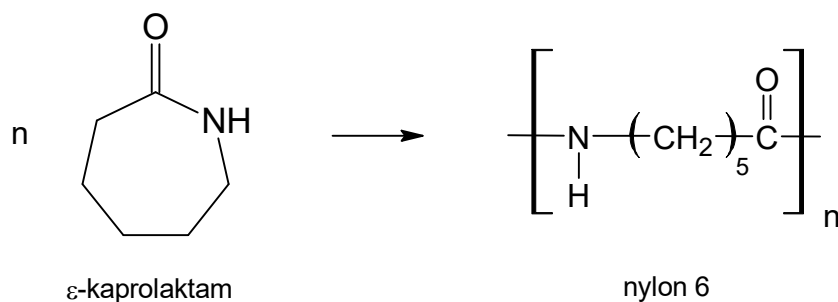
Z hlediska výrobního postupu rozlišujeme měkkčené a neměkkčené PVC. Měkkčené PVC, při jehož syntéze jsou přidávána změkčovadla a lubrikanty, se používá na výrobu fólií, hraček, jednorázových rukavic nebo podlahových krytin. Z neměkkčeného PVC jsou vyráběny okenní rámy, potrubí, platební karty a střešní krytiny (Peters, 2002). Polyvinylchlorid lze zpracovávat v podstatě všemi dříve zmíněnými technikami: vytlačováním je z něj vyráběno potrubí a okapy, vstřikováním zase podrážky bot nebo rukojetě různých předmětů a pomocí vyfukování jsou vyráběny nádoby různých tvarů a velikostí (Koltzenburg et al., 2023; Peacock & Calhoun, 2006).



**Obrázek 14** Rovnice přípravy polyvinylchloridu z vinylchloridu.

### 1.9.5 Nylon

Jako nylony bývají v dnešní době označovány polyamidy, tedy syntetické makromolekulární látky obsahující amidovou vazbu syntetizované nejčastěji polykondenzací z diaminu a dikarboxylové kyseliny nebo jejího chloridu. Atomy peptidických vazeb mezi sebou interagují prostřednictvím vodíkových vazeb, což způsobuje propojování jednotlivých řetězců. Nejvíce používanými zástupci této skupiny jsou nylon 66 a nylon 6. Pro přípravu nylonu 66 se jako výchozí látky používají kyselina adipová a hexan-1,6-diamin, jejichž struktura je znázorněna na obrázku 10. Číslovka 66 znamená, že k syntéze byly použity dvě šestiuhlíkaté molekuly. V případě nylonu 6 (označovaného také jako silon nebo perlon) se při výrobě používá pouze jedna výchozí látka, a to šestiuhlíkatá molekula  $\epsilon$ -kaprolaktamu, jehož strukturální vzorec (stejně jako struktura nylonu 6) je znázorněn na obrázku 15 (Peacock & Calhoun, 2006; Peters, 2002).



**Obrázek 15** Rovnice přípravy nylonu 6 z  $\epsilon$ -kaprolaktamu (Sastri, 2010)

Nylony jsou látky charakteristické vysokou pevností, která je způsobena zejména přítomností vodíkových můstků. V důsledku toho mají nylony také vysoké teploty tání (nylon 66 má teplotu tání 264 °C, nylon 6 teplotu tání 223 °C). Strukturu těchto látek označujeme jako semikrystalickou – propojené řetězce tvoří jednotlivé krystality, jejichž velikost závisí nejen množství amidových skupin, ale i na rychlosti a způsobu chladnutí. Nejčastějším způsobem zpracování nylonů je to podoby vláken, která se pak dále upravují na lana, koberce, textilie, punčochové kalhoty a další výrobky. Díky vysoké chemické odolnosti se nylony používají také na technické a průmyslové aplikace, kde velmi často z ekonomických důvodů nahrazují kovy a jiné materiály (Peacock & Calhoun, 2006; Peters, 2002).

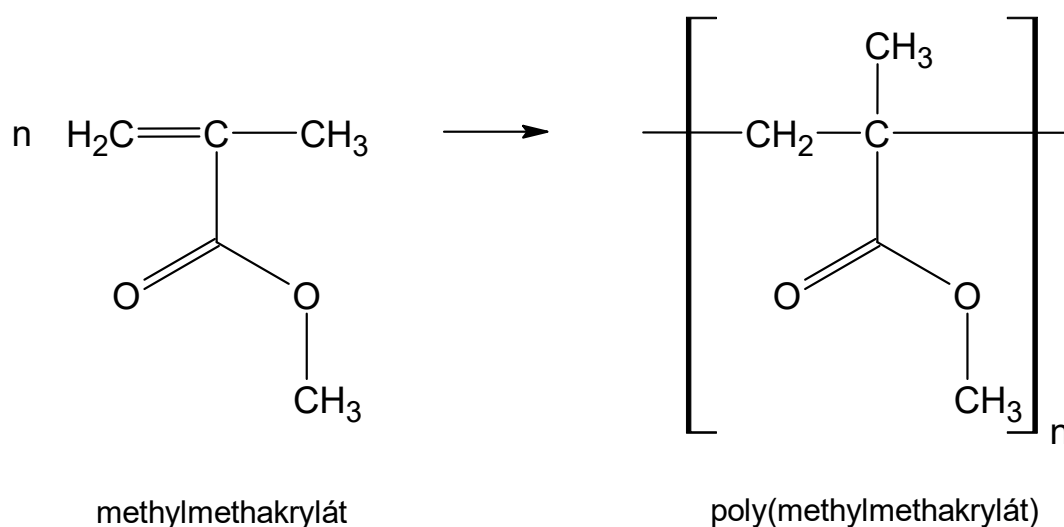
### **1.9.6 Poly(ethylentereftalát)**

Poly(ethylentereftalát) (strukturním názvem poly(oxoethan-1,2-diyloxotereftaoyl); zkráceně PET nebo PETP) je syntetický polymer patřící z hlediska způsobu syntézy do skupiny polyesterů. Výchozími látkami při jeho výrobě jsou kyselina tereftalová a ethylenglykol (systematicky ethan-1,2-diol). Ty jsou následně procesem polykondenzace, jehož rovnice je zobrazena na obrázku 11, propojeny esterovou vazbou. Stejně jako například nylony, řadíme PET spolu s dalšími polyestery mezi semikrystalické polymery, u kterých je velikost krystalitů závislá na průběhu chladnutí. Jelikož je velikost krystalitů jedním z hlavních faktorů ovlivňujících mechanickou odolnost, jsou při výrobě často přidávány různé látky iniciující krystalizaci, díky kterým dochází ke vzniku materiálu se stejnými mechanickými vlastnostmi v celém jeho objemu. PET je teplotně stálým termoplastem s vysokou pevností v tahu a nízkou elektrickou vodivostí, díky čemuž nalézá velké uplatnění v průmyslu (Ducháček, 1995; Peacock & Calhoun, 2006).

PET je jedním z nejpoužívanějších plastů na světě. Největší část jeho produkce je v podobě vláken nebo fólií (De Vos et al., 2021). PET ve formě vláken se hojně využívá pro výrobu textilií určených pro oděvní průmysl, kde se označuje jako PES (Ducháček, 1995). PET fólie se používají jako obalové materiály na potraviny nebo elektroniku. Přibližně 30 % vyrobeného poly(ethylentereftalátu) je zpracováno technikou vstřikovacího vyfukování na nápojové lahve (Ji, 2013).

### 1.9.7 Poly(methylmethakrylát)

Poly(methylmethakrylát) (zkráceně PMMA, známý také jako plexisklo) je syntetický polymer patřící do skupiny termoplastů. K jeho syntéze se používá methylmethakrylát (methylester kyseliny methakrylové) jehož struktura je znázorněna na obrázku 16. PMMA je z tohoto monomeru připravován mechanismem radikálové nebo aniontové polymerace. Vzniklý amorfni materiál připomínající sklo vykazuje výbornou mechanickou pevnost a velmi dobře odolává vnějším vlivům. Díky vysoké propustnosti světla (až 92 %), nízkému indexu lomu (přibližně 1,49) a odolnosti vůči UV záření je PMMA průhledným materiálem, který mezi běžnými polymery nenachází obdobu. Navíc má relativně nízkou hustotu ( $1,18 \text{ g/cm}^3$ ), což jej činí lehčím než sklo. Tyto vlastnosti z něj dělají populární materiál pro optické komponenty, jako jsou čočky, optické hranoly nebo skla dioptrických brýlí. Vzhledem ke své tvrdosti, odolnosti a chemické stabilitě se PMMA hojně využívá v automobilovém a stavebním průmyslu například na střechy nebo akvária (Koltzenburg et al., 2023; Stickler & Rhein, 2000).



**Obrázek 16** Reakce přípravy poly(methylmethakrylátu) z methylmethakrylátu (Forte et al., 2021).



## **2 Syntetické makromolekulární látky v RVP G a ŠVP vybraných gymnázií**

Rámcový vzdělávací program pro gymnázia (RVP G) je veřejný kurikulární dokument na státní úrovni, který definuje úroveň vzdělání dosaženou po absolvování jednotlivých etap vzdělávání. Každé gymnázium si následně podle RVP G vytváří vlastní školní vzdělávací program (ŠVP), který tedy patří do školní úrovně systému kurikulárních dokumentů (MŠMT, 2021).

### **2.1 Syntetické makromolekulární látky v RVP G**

Rámcový vzdělávací program pro gymnázia představuje dokument Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT) ČR, který definuje základní principy, cíle a obsah vzdělávání na čtyřletých gymnáziích a na vyšším stupni víceletých gymnázií. V současnosti je v platnosti verze vydaná v roce 2021. Dokument také uvádí, že výuka na tomto typu škol by měla rozvíjet žákovy klíčové kompetence, a to konkrétně kompetenci k učení, kompetenci k řešení problémů, kompetenci k podnikavosti, kompetenci komunikativní, kompetenci sociální a personální a kompetenci občanskou. RVP G vymezuje osm vzdělávacích oblastí (Jazyk a jazyková komunikace, Matematika a její aplikace, Člověk a příroda, Člověk a společnost, Člověk a svět práce, Umění a kultura, Člověk a zdraví, Informatika a informační a komunikační technologie), do kterých jsou rozřazeny jednotlivé vzdělávací obory (MŠMT, 2021).

Chemie patří spolu s fyzikou, biologií, geografii a geologií do vzdělávací oblasti Člověk a příroda, která vede žáky k hlubšímu porozumění přírodním jevům, ukazuje jim metody a prostředky, kterými je lze zkoumat, a zároveň jim poskytuje prostor pro diskusi o možných problémech a dopadech. Tato vzdělávací oblast si klade za cíl rozvoj klíčových kompetencí spojených s formulací otázek, prováděním měření a experimentů, používání matematických prostředků a moderních technologií k řešení problémů a interpretaci naměřených dat, a v neposlední řadě také s ochranou životního prostředí (MŠMT, 2021).

Vzdělávací obor chemie je dále rozdělena do čtyř částí: Obecná chemie, Anorganická chemie, Organická chemie a Biochemie. Syntetické makromolekulární látky jsou zařazeny

do části Organická chemie. Očekávané výstupy žáka, které si tato část klade za cíl a které souvisí s tématem syntetické makromolekulární látky jsou:

*Žák:*

- *zhodnotí vlastnosti atomu uhlíku významné pro strukturu organických sloučenin,*
- *aplikuje pravidla systematického názvosloví organické chemie při popisu sloučenin s možností využití triviálních názvů,*
- *charakterizuje základní skupiny organických sloučenin a jejich významné zástupce, zhodnotí jejich surovinové zdroje, využití v praxi a vliv na životní prostředí,*
- *aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na konkrétních příkladech,*
- *využívá znalosti základů kvalitativní a kvantitativní analýzy k pochopení jejich praktického významu v organické chemii. (MŠMT, 2021, s. 29).*

## 2.2 Syntetické makromolekulární látky v ŠVP vybraných gymnázií

Jak již bylo zmíněno výše, školní vzdělávací program si každá škola sestavuje na základě Rámcového vzdělávacího plánu sama, avšak musí při tom dodržovat určitá pravidla, která bývají uvedena například na konci příslušného RVP. Soulad ŠVP s RVP prověřuje Česká školní inspekce. Hlavní zodpovědnost za přípravu, kvalitu a uvedení programu do praxe má ředitel školy, přičemž na tvorbě se podílejí také ostatní pedagogové, kteří zároveň zprostředkovávají jeho zavedení do výuky. Návrh i následnou realizaci ŠVP posuzuje školská rada, která také rozhoduje o systému hodnocení žáků. Program musí být přizpůsoben konkrétním cílům školy, zkušenostem pedagogů, potřebám žáků, podmínkám školy, požadavkům rodičů, zřizovatele i regionu. Stejně jako RVP, musí i ŠVP být veřejným dokumentem (MŠMT, 2021).

K porovnání zahrnutí tématu syntetické makromolekulární látky v rámci různých školních vzdělávacích programů bylo vybráno pět gymnázií v Královehradeckém kraji: Gymnázium Jaroslava Žáka v Jaroměři, Lepařovo Gymnázium v Jičíně, Gymnázium Boženy Němcové v Hradci Králové, Gymnázium Dvůr Králové nad Labem a Jiráskovo gymnázium v Náchodě. Tato gymnázia byla vybrána vzhledem k dostupnosti autorky práce tak, aby bylo možné konzultovat případné nejasnosti osobně.

### 2.2.1 Gymnázium Jaroslava Žáka, Jaroměř

Gymnázium Jaroslava Žáka (2021) sídlící na adrese Lužická 423, 551 23 Jaroměř založené v roce 1919 je škola nabízející dva studijní obory: osmileté a čtyřleté studium. V roce 2021, kdy bylo ŠVP naposledy aktualizováno, byla kapacita školy stanovena na 444 žáků v celkem 12 třídách (4 třídy čtyřletého oboru a 8 tříd osmiletého oboru). Chemie je vyučována v 1. a 2. ročníku čtyřletého gymnázia (a odpovídajících ročnících osmiletého programu) – v obou ročnících 3 hodiny týdně z čehož jedna hodina jsou laboratorní cvičení. Téma syntetické makromolekulární látky je zařazeno do 2. ročníku. V ŠVP není uvedena poznámka, která by se týkala mezipředmětových vztahů nebo souvisejících průřezových témat. Očekávané výstupy (společné s tématy Uhlovodíky a jejich klasifikace, Deriváty uhlovodíků a jejich klasifikace, Heterocyklické sloučeniny a Léčiva, pesticidy, barviva a detergenty) jsou následující:

*Žák:*

- *zhodnotí vlastnosti atomu uhlíku významné pro strukturu organických sloučenin,*
- *aplikuje pravidla systematického názvosloví organické chemie při popisu sloučenin s možností využití triviálních názvů,*
- *charakterizuje základní skupiny organických sloučenin a jejich významné zástupce, zhodnotí jejich surovinové zdroje, využití v praxi a vliv na ŽP,*
- *aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na konkrétních příkladech,*
- *využívá znalosti základů kvalitativní a kvantitativní analytické analýzy k pochopení jejich praktického významu v organické chemii. (Gymnázium Jaroslava Žáka, 2021, s. 149)*

V ŠVP Gymnázia Jaroslava Žáka (2021) je dále uvedeno, že na 3. a 4. ročník si žáci volí první volitelné předměty, mezi které patří i možnost semináře a cvičení z chemie. V učebních osnovách tohoto semináře však nejsou syntetické makromolekulární látky blíže zmíněny a jsou zřejmě součástí učiva Chemie organických sloučenin, jejíž očekávaným výspem je:

*„Žák ovládá principy názvosloví organických sloučenin, vytváří vzorce a názvy látek. Rozlišuje skupiny uhlovodíků a derivátů uhlovodíků, navrhuje způsoby jejich přípravy, odvozuje typické reakce“ (Gymnázium Jaroslava Žáka, 2021, s. 208).*

### 2.2.2 Lepařovo gymnázium, Jičín

Lepařovo gymnázium (2017), které sídlí na adrese Jiráskova 30, 506 01 Jičín bylo založeno v roce 1624, což z něj činí nejstarší gymnázium v Královéhradeckém kraji. Škola nabízí čtyřletý a šestiletý vzdělávací program. V roce 2017, kdy byl ŠVP naposledy aktualizován, byla kapacita školy stanovena na 200 žáků pro čtyřletý obor a 396 žáků pro víceletý obor. Chemie je vyučována v 1., 2. a 3. ročníku čtyřletého studia (a odpovídajících ročních šestiletého studia) s hodinovými dotacemi: v 1. ročníku 2 hodiny, v 2. ročníku 2,5 hodiny (z čehož 0,5 hodiny týdně jsou laboratorní cvičení) a v 3. ročníku 2 hodiny týdně. Samostatné téma Makromolekulární syntetické látky je zařazeno (jako sedmé ze čtrnácti) ve 3. ročníku. Opět nejsou uvedena žádná související průřezová témata. Jako výsledky vzdělávání pro toto učivo jsou uvedeny:

„Žák:

- *charakterizuje pojmy monomer a polymer,*
- *umí zapisovat rovnice polymerace,*
- *zná významné polymery a syntetická vlákna, která nahrazují přírodní materiály,*
- *srovnává výhody a nevýhody přírodních a syntetických materiálů“ (Lepařovo gymnázium, 2017, s. 159).*

Žáci Lepařova gymnázia si na poslední dva roky studia volí z nabídky seminářů, mezi kterými je i seminář z chemie. Ačkoli je sylabus tohoto kurzu velmi konkrétní, syntetické makromolekulární látky v něm nefigurují (Lepařovo gymnázium, 2024).

### 2.2.3 Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové

Gymnázium Boženy Němcové (2023a) sídlící na adrese Pospíšilova tř. 324, 500 03 Hradec Králové založené v roce 1978 je škola otevírající pouze šestileté studium. Maximální kapacita tohoto vzdělávacího zařízení byla ve verzi ŠVP z roku 2023 stanovena na 612 žáků v celkem 18 třídách. Chemie je vyučována ve 3., 4. a 5. ročníku (což odpovídá 1., 2. a 3. ročníku čtyřletého studia) s časovou dotací 3 hodiny týdně ve 3. ročníku a 2 hodiny týdně ve 4. a 5. ročníku. Syntetické makromolekulární látky jsou zmíněny v učebních osnovách dominantně v 5. ročníku (odpovídajícímu 3. ročníku čtyřletého studia) v kapitole s názvem Organická chemie v praxi, která obsahuje témata „*syntetické makromolekulární*

*látky, tenzidy, barviva, léčiva, potravinářská aditiva, pesticidy, BCHL<sup>3</sup> – jejich vlastnosti, způsoby využívání, příp. zneužívání člověkem, chemická výroba a její vliv na životní prostředí, sběr a recyklace odpadu, odpady jako významný zdroj surovin a energie“* (Gymnázium Boženy Němcové, 2023a, s. 195). Výstupy, které by měl žák ovládat, spojené s tímto učivem jsou následující:

- *orientuje se ve výrobě a využívání látek v praktickém životě, jejich vlivech na zdraví člověka a životní prostředí,*
- *posoudí využívání prvotních a druhotných surovin z hlediska trvale udržitelného rozvoje ne Zemi,*
- *argumentuje pro maximální využívání obnovitelných zdrojů energie a odpovědný přístup lidí k problematice životní prostředí.* (Gymnázium Boženy Němcové, 2023a, s. 195)

Kapitola Organická chemie v praxi je zahrnuta v průřezovém tématu Environmentální výchova – konkrétně jsou vyjmenovány body Lidské aktivity a problémy životního prostředí, Člověk a životní prostředí a Životní prostředí regionu a České republiky. Také je zmíněno průřezové téma Mediální výchova – konkrétně Mediální produkty a jejich význam (Gymnázium Boženy Němcové, 2023a).

Syntetické makromolekulární látky jsou také uvedeny v rámci 4. ročníku v části věnující se uhlovodíkům jako jeden z výstupů žáka:

*„Prověří možnosti náhrady některých přírodních materiálů plasty na bázi polymerů uhlovodíků“* (Gymnázium Boženy Němcové, 2023a, str. 189).

Gymnázium Boženy Němcové nabízí také volitelný předmět ve 5. a 6. ročníku s názvem Volitelná chemie. Součástí jeho obsahu však syntetické makromolekulární látky nejsou (Gymnázium Boženy Němcové, 2023b).

---

<sup>3</sup> BCHL – bojové chemické látky

#### 2.2.4 Gymnázium Dvůr Králové nad Labem

Gymnázium (2024), které se nachází na adrese náměstí Odboje 304, 544 01 Dvůr Králové nad Labem, bylo založeno v roce 1890. Škola nabízí šestileté a čtyřleté studium a její kapacita byla stanovena na 300 žáků v celkem 10 třídách (6 tříd šestiletého studia a 4 třídy čtyřletého studia). Chemie je zde vyučována v 1., 2. a 3. ročníku čtyřletého studia (a odpovídajících ročnících šestiletého studia) a to s časovou dotací 3 hodiny týdně v 1. ročníku a 2,5 hodiny týdně v 2. i 3. ročníku. Učivo syntetických makromolekulárních látek je zařazeno v 3. ročníku čtyřletého oboru v sekci Organická chemie (spolu s tématy Léčiva, pesticidy, barviva a detergenty a Heterocyklické sloučeniny). Propojená průřezová témata jsou z oblastí Osobnostní a sociální výchova (témata Seberegulace, organizační dovednosti a efektivní řešení problémů, Sociální komunikace a Spolupráce a soutěž), Výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech (téma Globální problémy, jejich příčiny a důsledky) a Environmentální výchova (téma Člověk a životní prostředí). Uvedené očekávané školní výstupy spojené s touto látkou jsou:

„Žák:

- *aplikuje pravidla systematického názvosloví organické chemie při popisu sloučenin s možností využití triviálních názvů,*
- *charakterizuje základní skupiny organických sloučenin a jejich významné zástupce, zhodnotí jejich surovinové zdroje, využití v praxi a vliv na životní prostředí“* (Gymnázium Dvůr Králové nad Labem, 2024, s. 259).

Gymnázium žákům umožňuje zvolit si pro 3. a 4. ročník volitelné předměty, mezi kterými je i chemický seminář. Jeho náplň se však týká především obecné chemie a biochemie, a tudíž syntetické makromolekulární látky neobsahuje (Gymnázium Dvůr Králové nad Labem, 2024).

### 2.2.5 Jiráskovo Gymnázium, Náchod

Jiráskovo Gymnázium (2024a), které sídlí na adrese Řezníčkova 451, 547 01 Náchod, bylo založeno v roce 1896. Na škole je možné studovat čtyřletý a osmiletý obor. Kapacita gymnázia je stavena na 720 žáků v celkem 24 třídách. Chemie je vyučována všechny čtyři roky studia po 2 hodinách týdně. Syntetické makromolekulární látky jsou zařazeny do části Organická chemie a biochemie k bodu Organická chemie v praxi vyučovaného ve 4. ročníku. Detailněji je specifikováno, že dílčími výstupy týkající se těchto látek jsou, že žák:

- *prezentuje výrobky ze základních typů plastů (PE, PS, PVC, PAN<sup>4</sup> aj.) využívané v každodenním životě a posoudí vliv jejich praktického využívání na člověka a jeho okolí,*
- *prezentuje příklady syntetických vláken a makromolekulárních sloučenin, ze kterých jsou vyrobeny léčiva, pesticidy, barviva a detergenty. (Jiráskovo gymnázium, 2024a, s. 122)*

Dále jsou v ŠVP Jiráskova Gymnázia (2024a) k této kapitole přiřazeny výstupy z RVP

*„objasní strukturu a funkci sloučenin nezbytných pro důležité chemické procesy probíhající v organismech a aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na konkrétních příkladech“* (s. 122-123).

Škola také přikládá seznam prováděných laboratorních úloh, které jsou však realizovány pouze v 1. až 3. ročníku, a proto se žádné z nich syntetických makromolekulárních látek netýkají (Jiráskovo Gymnázium, 2024a).

V rámci volitelných předmětů si žáci mohou zvolit dvouletou variantu (na 3. a 4. ročník) s názvem Seminář a cvičení z chemie nebo jednoletou formu (na 4. ročník) Seminář z chemie. Jelikož je dvouletý seminář věnovaný základům analytické chemie a jednoletý seminář obecné chemii, není téma syntetické makromolekulární látek v sylabu ani jednoho z nich (Jiráskovo Gymnázium, 2024b).

---

<sup>4</sup> PAN – polyakrylonitril



### 2.2.6 Porovnání ŠVP jednotlivých gymnázií

Časově dotace chemie na jednotlivých vybraných gymnáziích se výrazně liší, a to jak v celkovém počtu hodin za čtyřleté studium, tak v jejich rozložení v jeho průběhu. Nejméně hodin chemie absolvují žáci Gymnázia Jaroslava Žáka v Jaroměři (6 hodin za celé studium). V počtu hodin chemie za celé studium následuje Lepařovo gymnázium v Jičíně (s 6,5 hodinami za celé studium), Gymnázium Boženy Němcové v Hradci Králové (7 hodin za celé studium). Nejvíce hodin chemie v rámci celého studia absolvují žáci Jiráskova gymnázia v Náchodě a Gymnázia Dvůr Králové nad Labem (v obou případech 8 hodin). Gymnázium Jaroslava Žáka má zároveň chemii vyučovanou v nejméně ročnících (pouze v 1. a 2.). Poté následují Lepařovo gymnázium, Gymnázium Boženy Němcové a Gymnázium Dvůr Králové nad Labem, na kterých je chemie vyučována v 1., 2. i 3. ročníku. Nejlépe je na tom z tohoto hlediska Jiráskovo gymnázium, na kterém mají žáci předmět chemie po dobu celého studia čtyřletého oboru. Laboratorní výuka je explicitně zahrnuta pouze na Gymnáziu Jaroslava Žáka a na Lepařově gymnáziu.

Téma syntetické makromolekulární látky je zařazeno v ŠVP všech gymnázií. U všech se jedná o učivo posledního ročníku, ve kterém je předmět chemie na škole vyučován. U Gymnázia J. Žáka a Gymnázia Dvůr Králové n. L. není téma blíže rozvedeno a výstupy jsou uvedeny přesně tak, jak tomu je v RVP G (u druhého zmíněného gymnázia se dokonce jedná jen o část výstupů z RVP G). Ostatní tři gymnázia k tomuto tématu uvedeny výstupy mnohem konkrétnější. ŠVP Jiráskova gymnázia je zaměřený hlavně na zástupce, výrobky a použití. Lepařovo gymnázium se soustřeďuje na základní pojmy, přípravu, zástupce a také na výhody a nevýhody, které syntetické polymerní materiály mají oproti přírodním látkám. V ŠVP Gymnázia Boženy Němcové je téma vymezeno hlavně v souvislosti s praktickým životem, surovinovými zdroji a dopadem na lidské zdraví a životní prostředí.

Propojení této kapitoly v rámci průřezových témat je uvedeno pouze v ŠVP Gymnázia B. Němcové a Gymnázia Dvůr Králové nad Labem. U prvního z nich se jedná o průřezová témata Environmentální výchova a Mediální výchova. U druhého je to Výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech, Osobnostní a sociální výchova a opět Environmentální výchova.

Přestože mají žáci všech uvedených gymnázií možnost si chemii zvolit jako volitelný předmět, není na ani jedné škole téma syntetické makromolekulární látky součástí jeho osnov. U Gymnázia J. Žáka je alespoň uvedena část Chemie organických sloučenin, která by zejména vzhledem k jejím výstupům mohla teoreticky syntetické makromolekulární látky zahrnovat.

### **3 Syntetické makromolekulární látky ve vybraných učebních textech pro gymnázia**

Ze seznamů nejpoužívanějších učebnic a dalších učebních textů na gymnáziích a středních školách, které ve svých výzkumech uvádějí Huvarová (2010) a Klečka (2011), bylo vybráno pět titulů, které zahrnují téma syntetických makromolekulárních látek. Jedná se o knihy:

- Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999)
- Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997)
- Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014)
- Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005)
- Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997)

Jednotlivé učební texty byly zkoumány z hlediska obsahu (které kapitoly týkající se syntetických makromolekulárních látek jsou zahrnuty) i didaktického a vizuálního pohledu (například obsahuje-li učebnice příklady z každodenního života, jsou-li zahrnuty doplňující otázky, úkoly, projekty či pokusy nebo jaké grafické prvky jsou použity). Na základě těchto aspektů byly učebnice také mezi sebou porovnány.

### 3.1 Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999)

Publikace s názvem Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999) je učební text zahrnující všechny oblasti chemie vyučované na gymnáziu (tj. obecnou, anorganickou, organickou i biochemii). Syntetické makromolekulární látky jsou uvedené v rámci bodů Syntetické polymery, Přehled důležitých plastů a Přehled důležitých elastomerů v oblasti organické chemie v kapitole s názvem Organická chemie v moderní společnosti. Tato kapitola se zároveň věnuje také tématům jako jsou uhlí, ropa, zemní plyn, detergenty, léčiva, pesticidy, výbušniny a bojové chemické látky.

Z hlediska obsahu se publikace (část Syntetické polymery) nejprve zaměřuje na základní chemické a fyzikální vlastnosti (např. zavedení pojmu  $\eta_{sp}/c$ , rozebrání mechanických vlastností, vyvození teplotních vlastností v závislosti na struktuře). Poté následuje odstavec věnující se přípravě a rozdělení reakcí na řetězové a stupňovité a dále obecná charakteristika polymerace, polykondenzace a polyadice do zmíněných dvou kategorií. Polymerace je demonstrována na syntéze polyvinylchloridu, polykondenzace na vzniku nylonu 66 a polyadice na přípravě polyuretanu. Dále jsou uvedeny možnosti úpravy syntetických polymerů (přídavek změkčovadel, stabilizátorů, pigmentů atd.)

Následující kapitola Přehled důležitých plastů rozděluje zástupce do tří skupin na základě způsobu jejich přípravy. Kategorie látek připravených polymerací obsahuje PE, PP, PS, PVC, PMMA, teflon, poly(akrylonitril), poly(oxymethylen) a poly(vinylacetát). Charakterizace těchto látek je velmi stručná (uvedeno je ve většině případů pouze použití a obrázek ukazující strukturu bez pojmenování výchozích látek). U plastů vyráběných polykondenzací jsou uvedeny polyamidy, lineární polyestery, zesíťované polyestery, fenoplasty, aminoplasty, epoxidové pryskyřice a silikony. U této kategorie jsou již uvedeny názvy výchozích látek. Také jsou uvedeni neznámější zástupci a jejich použití, avšak struktura je schematicky zobrazena pouze u nylonu 66, silonu a PET. U poslední kategorie (tedy látky vyráběné polyadicí) jsou uvedeny polyuretany, avšak zmíněny jsou jen obecně prekurzory jejich výroby a použití.

Poslední kapitola s názvem Přehled důležitých elastomerů je věnována syntetickým kaučukům. Struktura je schematicky znázorněna pouze u tří zástupců (polybutadienu,

polyisopren a chloropren). U všech příkladů (navíc ještě butadien-styrenový kaučuk a butadien-akrylonitrilový kaučuk) je uvedeno pouze použití.

Co se týče vizuální stránky zpracování materiálu, jedná se o souvislý text členěný do odstavců. Názvy kategorií jsou uvedeny tučným písmem, důležité pojmy kurzívou. Obrázky v textu zcela chybí. Kapitola obsahuje celkem tři rovnice a tři schémata ukazující strukturu látek (struktura celkem 15 zástupců). Nejsou přítomné žádné otázky k procvičení nebo náměty na laboratorní cvičení. Jelikož je charakterizace zástupců zaměřena zejména na jejich použití, učebnice poskytuje relativně velké propojení s běžným životem. Učebnice se tématu syntetické makromolekulární látky věnuje na 5 stranách z celkových 365 (což odpovídá 1,4 %).

### **3.2 Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997)**

V učebnici Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997) je, jak již z názvu vyplývá, zahrnuta jen část učiva chemie, a to pouze biochemie a organická chemie. Syntetické makromolekulární látky jsou pod označením Plasty a syntetická vlákna opět součástí sekce Organická chemie dominantně v kapitole s názvem Chemické výrobky kolem nás v otázkách a úkolech. Tato kapitola je věnována také tématům uhlí, ropa, zemní plyn, tenzidy, barviva, pesticidy, léčiva a potravinářská aditiva.

Kapitola Chemické výrobky kolem nás v otázkách a úkolech nejprve uvádí, kterými reakcemi lze dané látky připravit (uvedena je polykondenzace a polyadice) a také, že výchozí látky jsou označovány jako monomery. Dále je blíže rozebrána polykondenzace a vyjmenování zástupci, kterých se tento způsob přípravy týká. Poslední odstavec je zaměřen na zpracování vzniklých látek – jsou jmenovány přísady (změkčovadla, pigmenty atd.) a dokonce i techniky (vytlačování, lisování, vyfukování). Nakonec jsou zmíněny různé oblasti, kde lze výrobky ze syntetických makromolekulárních látek nalézt. Kapitola je doplněna dvěma obrázky – první z nich ukazuje vaky z polypropylenu a druhý závěsná a tažná lana z polypropylenu nebo jeho směsi s polyamidy nebo polyestery.

Syntetické makromolekulární látky jsou však zmiňovány i mimo kapitolu Chemické výrobky kolem nás v otázkách a úkolech, a to hlavně v souvislosti s uhlovodíky nebo jejich deriváty. Samotná definice polymerace je uvedena u alkenů, kde je také uvedeno schéma

kationtové polymerace s ethenem jako výchozí látkou. Zároveň jsou zde vysvětleny pojmy jako je monomer, polymer nebo polymerační stupeň. U alkadienů jsou jmenovány izopren a 1,3-butadien (včetně rovnice vzniku přírodního a syntetického kaučuku) a dále také vysvětlen pojem kopolymer. V kapitole věnované alkynům je u acetylenu zmíněno jeho použití na tvorbu polyacetyleny. Další zmínka je u halogenderivátů v souvislosti s chloroprenem (jako složkou kaučuků), polyvinylchloridem a teflonem, která je navíc doplněna jednak obrázkem znázorňujícím výrobky z plastů obsahujících fluor a jednak rovnicemi přípravy PVC, teflonu a chloroprenu. U vícesytných alkoholů jsou zmíněny polyestery. U aldehydů je u formaldehydu uvedeno jeho použití k výrobě fenol-formaldehydových a močovino-formaldehydových pryskyřic, které je doplněno schématem polykondenzace, kterou tyto látky vznikají. U cyklohexanonu (v kapitole věnující se ketonů), je uvedeno jeho využití k přípravě  $\epsilon$ -kaprolaktamu a dále polyamidu 6, u kterého je uvedena i rovnice. V kapitole karboxylové kyseliny je u uvedeno schéma polykondenzace kyseliny tereftalové a ethylenglykolu ta vzniku PET. U amidů je zmíněna možnost přípravy polyamidů (nylon 6 a nylon 66) a zároveň jsou uvedeny rovnice jejich přípravy. U nitrilů je zmínka o možnosti přípravy poly(akrylonitrilu) a rovnice jeho přípravy z akrylonitrilu. V případě funkčních derivátů kyseliny uhličitě je malý odstavec věnován polyuretanům, který je navíc doplněn znázorněním jejich struktury.

Z hlediska vizuálního se opět jedná o souvislý text členěný do odstavců. Zřejmě z důvodu, že je učebnice formátu A4, je stránka členěna do dvou sloupců. Názvy kapitol a významné pojmy jsou zvýrazněny tučným písmem nebo kurzívou. V souvislosti s plasty jsou v učebnici uvedeny tři obrázky a 9 schémat. Kapitola Plasty a syntetická vlákna je doplněna 13 otázkami, které většinou navádějí čtenáře k hledání více informací k jednotlivým zástupcům (například vyhledat více informací o epoxidových pryskyřicích v souvislosti s dvousložkovými lepidly) nebo nalezení materiálu s určitými vlastnostmi (například vyhledat polymer s polovodivými vlastnostmi. Jedna z otázek, požadující nalezení polymeru, který vzniká polykondenzací a při zahřívání neměkne, a následně ověření této vlastnosti plamenovou zkouškou, by mohla být námětem na laboratorní cvičení. Samotná kapitola i některé z otázek poskytují dobré propojení s běžným životem. Publikace se tématu syntetické makromolekulární látky věnuje na přibližně 3 celých stranách z celkových 128 (což odpovídá 2,3 %).

### 3.3 Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014)

Učební text Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) zahrnuje veškeré učivo chemie. Syntetické makromolekulární látky tvoří vlastní kapitolu v sekci organické chemie. Z obsahového hlediska je nejprve uvedena charakteristika této skupiny, včetně základních pojmů (makromolekula, mer, polymerační stupeň, monomer, polymer, polyreakce, termoplast, termoset, elastomer) a obrázku (plastové granule). Také je připojeno schéma lineárních, rozvětvených a prostorově zesíťovaných řetězců. Další část je věnována jejich výhodným a nevýhodným vlastnostem a dále přípravě, kde je rozlišena polymerace, polykondenzace a polyadice (u každého z těchto tří typů je uvedena konkrétní rovnice, na které je reakce demonstrována).

Největší část textu se zabývá zástupcům, které rozděluje do tří skupin na základě jejich syntézy. U materiálů vyráběných polymerací jsou uvedeny PE, PP, PS, PVC, PMMA, teflon, poly(vinylacetát), poly(akrylonitril) a butadien-styrenový kaučuk. U každého z nich je zapsán strukturní vzorec samotného polymeru i monomeru, ze kterého je připraven. Také je připojeno 5 obrázků (fóliovník z PE folie, PE trubky, PP vlákna v mikroskopu, PS výrobky a voda zachycená na membráně z expandovaného Teflonu). Další kapitola je věnována plastům vyráběným polykondenzací (konkrétně polyesterům, polyamidům, fenol-formaldehydovým pryskyřicím, močovino-formaldehydovým pryskyřicím a epoxidovým pryskyřicím). U těchto látek jsou dokonce uvedeny přímo celé rovnice jejich syntézy. Kapitola je doplněna třemi obrázky (silonových punčoch, bakelitového telefonu a epoxidového lepidla. V poslední kapitole zabývající se materiály vyráběnými polyadice jsou uvedeny pouze polyuretany bez žádného schématu ani obrázku. U všech zástupců (všech tří skupin) jsou velmi konkrétně popsány jejich vlastnosti a možnosti jejich použití.

V celé učebnici je text psaný ve formě odrážek, což velmi přidává na jeho přehlednosti. Jednotlivé podkapitoly (vlastnosti, příprava atd.) jsou graficky odděleny ve formě bílých obdélníků na světle fialovém pozadí. Důležité pojmy jsou zvýrazněny barvou (fialovou nebo modrou) nebo dokonce napsané velkými písmeny. V celé kapitole se nachází celkem 9 obrázků a 12 schémat (popisujících strukturu látek nebo rovnice jejich přípravy). Nejsou zařazeny žádné doplňující otázky nebo náměty na laboratorní cvičení, avšak v pruhu na okraji stránky je uvedeno množství zajímavostí nebo velmi konkrétních příkladů z běžného

života. Téma syntetické makromolekulární látky je uvedeno na 5 stranách z celkových 192 (což odpovídá 2,6 %).

### **3.4 Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005)**

Učebnice Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005) se zaměřuje pouze na dvě části chemie, a to na deriváty uhlovodíků a na biochemii. Syntetické makromolekulární látky jsou zařazeny ve své vlastní kapitole v části deriváty uhlovodíků. První odstavce jsou věnovány charakteristice této skupině látek (vysvětlení pojmů monomer, polymer, homopolymer, kopolymer, polymerační stupeň), která je doplněna dvěma schémata, která blíže pomáhají pochopit souvislosti těchto pojmů. Dále je v úvodu zmíněno, že tyto látky lze připravit polymerací, polyadící a polykondenzací. Následují podkapitoly Polymerace, Polyadice a Polykondenzace. V první z nich je nejprve uvedena charakteristika polymerace včetně jejího dělení na radikálovou a iontovou. Radikálová polymerace je (včetně důležitých pojmů) demonstrována na syntéze polyvinylchloridu. Také je přiložena tabulka ukazující přehled vybraných polymerů vznikajících tímto typem polymerace včetně vzorce a názvu příslušného monomeru a vzorce a obchodního názvu daného polymeru. Zahrnutý jsou PE, PS, PVC, poly(buta-1,3-dien), polyisopren a chloropren. Iontová polymerace je opět charakterizována a následně rozdělena na kationtovou a aniontovou. V rámci kationtové i aniontové polymerace jsou uvedeny například i používané katalyzátory a jejich průběh s jeho jednotlivými kroky je ukázán na schématech obecných řetězců.

V podkapitole Polyadice je uvedena charakteristika tohoto způsobu přípravy a doplněno schéma přípravy polyuretanu. U polykondenzace je kromě obecné charakteristiky také přidána zmínka o výrobě prvního syntetického polymeru vzniklého kondenzací fenolu s formaldehydem. Dále je pozornost věnována polyesterům (schéma přípravy PET) a polyamidům (schéma přípravy nylonu 66).

Celá kapitola je psána jako souvislý text, ve kterém jsou důležité pojmy zvýrazněny tučným písmem. Pro lepší názornost je zařazeno 11 schémat, jedna tabulka, avšak žádné obrázky. Poznámky na okraji stránky, které říkají, čemu se daný odstavec věnuje, pomáhají s lepší orientací v textu. Nejsou zařazeny žádné otázky nebo náměty na laboratorní cvičení ani bližší spojitosti s běžným životem (na látky je nahlíženo hlavně s důrazem na jejich strukturu

a přípravu). Učebnice téma syntetické makromolekulární látky prezentuje na 6 stranách z celkových 250 (což odpovídá 2,4 %).

### **3.5 Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997)**

Učební text Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997) zahrnuje pouze organickou chemii a biochemii. Syntetické makromolekulární látky jsou součástí organické chemie v podkapitole s názvem Synteticky významné organické látky, kde se nachází také barviva, pigmenty a drogy.

Začátek kapitoly je vysvětlena základní chemická struktura této skupiny látek za použití dvou schémat (vznik polypropylenu a vznik butadienstyrenového kaučuku) a základních pojmů jako je mer, polymer a polymerační stupeň. Dále jsou uvedeny výhodné a nevýhodné vlastnosti plastů a jejich rozdělení na termoplasty, termoreaktivní pryskyřice, reaktoplasty a elastomery. Následuje rozdělení reakcí, kterými lze tyto látky připravovat, na polymeraci, polykondenzaci a polyadici. Zbytek kapitoly Syntetické makromolekulární látky má podobu stručné charakterizace dané polyreakce a přiřazení přírodních zástupců. U polymerace je blíže popsán mechanismus radikálového průběhu včetně rovnic vzniku polyethylenu. Menším písmem je pak nastíněn průběh kationtové polymerace. Následuje výčet zástupců (PE, PP, PS, PVC, PMMA, poly(vinylacetát), poly(akrylonitril), teflon, poly(oxymethylen) a syntetické kaučuky), u kterých je uvedeno jejich použití a přibližně v polovině případů také strukturní vzorec.

U polykondenzace je zmíněno šest skupin látek (polyamidy, polyestery, fenoplasty, aminoplasty, epoxidové pryskyřice a silikony), u kterých je napsaná stručná charakterizace jejich výroby (u prvních tří skupin doplněná rovnicí), vlastností, použití a případně další rozdělení (například na lineární a zesítěné u polyesterů). V celé podkapitole věnující se polykondenzaci jsou uvedeni pouze dva zástupci (tesil a umakart). Poslední část věnující se plastům vyráběným polyadici zmiňuje pouze obecnou výrobu (doplněna schématem) a popis použití polyuretanů.

Z hlediska vizuálního zpracování se jedná o text psaný v bodech (každý bod má délku jedné až dvou vět). Ke zvýraznění důležitých pojmů je použito tučné písmo, pro nadpisy modrá barva textu nebo modrý rámeček (v závislosti na úrovni nadpisu). Kapitola je doplněna



celkem 18 schémata, avšak žádnými obrázky. Také nejsou uvedeny žádné otázky k procvičení nebo náměty na laboratorní cvičení. Vzhledem k tomu, že konkrétní použití je uvedeno pouze u přibližně jedné třetiny zástupců látek, není učební text do velké míry propojen s praktickým životem. V učebnici je tématu syntetické makromolekulární látky věnováno 4,5 stran z celkových 135 (což odpovídá 3,3 %).

### **3.6 Porovnání obsahu tématu Syntetické makromolekulární látky ve vybraných analyzovaných učebních textech**

K porovnání vybraných učebních textů z hlediska množství obsahu týkajícího se syntetických makromolekulárních látek vztaženého na celkový počet stran byly publikace rozděleny do dvou skupin. První z nich obsahuje učební texty, které zahrnují všechny oblasti chemie a patří do ní Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999) a Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014). Z těchto dvou publikací se tématu rozsahově více věnuje kniha Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) (2,6 % z celkového rozsahu). Oproti tomu v publikaci Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999) daná problematika zaujímá pouze 1,4 % z jejího celkového rozsahu. Druhou skupinou jsou učební texty zpracovávající se pouze organickou a biochemií. Patří sem Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005), Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997) a Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997). Nejlépe je na tom kniha Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997), která se tématu věnuje na 3,3 % rozsahu, následuje Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005) s 2,4 % a na posledním místě je publikace Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997), ve které problematika zabírá pouze 2,3 % rozsahu.

Pro možné porovnávání učebních textů z hlediska detailnosti a množství informací o syntetických makromolekulárních látkách byla zvolena následující kritéria:

1. Je uveden pojem kopolymer?
2. Jsou uvedeny výhodné a nevýhodné chemické a fyzikální vlastnosti?
3. Je uvedeno rozdělení mechanismů reakcí na řetězové a stupňovité?
4. Je zmíněn postup tvorby názvů polymerních látek?
5. Je zahrnuto alespoň něco z historie?
6. Jsou uvedeny možné způsoby zpracování syntetických makromolekulárních látek?
7. Je zmíněna problematika degradace a dopadu na životní prostředí?
8. Jsou uvedeny možnosti recyklace?
9. Kolik zástupců se zapsaným strukturním vzorcem je uvedeno?

Výsledky porovnání učebních textů na základě těchto devíti kritérií jsou pro větší přehlednost uvedeny v tabulce 2.

Jelikož všechny učební texty osahovaly v rámci popisu chemické struktury základní pojmy jako je monomer, polymer, stupeň polymerace, rozhodla jsem se detailnost tohoto popisu porovnat pomocí zavedení pojmu kopolymer. Ten obsahovaly všechny učební texty kromě Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997). Zároveň bych řekla, že tato publikace se vysvětlení struktury polymerů věnovala nejméně (pouze vysvětleny pojmy mer, polymer, monomer a polymerační stupeň bez dalších větších souvislostí).

Dalším kritériem bylo porovnání výhodných a nevýhodných vlastností syntetických makromolekulárních látek (resp. plastů). To bylo uvedeno pouze u učebních textů Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999), Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) a Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997). V publikaci Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997) byly vlastnosti uvedeny pouze přímo u jednotlivých zástupců a zároveň nebyly rozděleny na výhodné a nevýhodné. V učebnici Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005) nebyly vlastnosti uvedeny vůbec.

Všechny učební texty obsahovaly rozdělení reakcí na polymeraci, polykondenzaci a polyadici. Pro jejich srovnání z hlediska přípravy polymerů jsem zvolila kritérium, zda

obsahují také rozdělení mechanismu na řetězový a stupňovitý. To bylo uvedeno pouze v knize Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999) a Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997).

Jelikož všechny učební texty zahrnují kapitolu o tvorbě názvů organických sloučenin, zajímalo mně, zda je tato úloha aplikována i na syntetické makromolekulární látky. Bohužel ani v jedné z publikací není uvedena ani jediná zmínka o nomenklatuře polymerů.

Co se historického kontextu týče, ve všech učebních textech kromě Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997) byla uvedena alespoň informace o Bakelitu jakožto prvním uměle připraveném polymeru (doplněno rokem a vynálezcem). V publikaci Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) byly dokonce další historické souvislosti (například okolnosti zahájení výroby PVC a silonu). V knize Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997) sice bakelit jmenován byl, ale pouze jako příklad skupiny fenoplastů bez dalších charakteristik.

Ve většině učebních textech bylo uvedeno více či méně příkladů, co lze z plastových materiálů vyrobit. Ovšem pouze v knize Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997) byly jmenovány příklady způsobů, jakými lze tyto předměty vytvořit. Konkrétně byly uvedeny metody vytlačování, lisování a vyfukování.

Uvedení alespoň nástinu problematiky degradace a vlivu syntetických polymerních materiálů na životní prostředí koreluje se zmínkou o jejich výhodných a nevýhodných vlastnostech. V publikacích Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999), Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) a Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997) bylo totiž jako jedna z nevýhodných vlastností jmenována odolnost vůči mikroorganismům, a tedy obtížný a pomalý rozklad. Jiné zmínky o ekologických problémech ani v těchto, ani ve zbylých učebnicích textech uvedeny nebyly. Recyklace, jakožto téma s degradací a vlivem na životní prostředí úzce související, nebyla zmíněna v žádné z publikací.

Z hlediska počtu uvedených zástupců bylo nutné kritérium zformulovat konkrétněji. Některý učební text totiž uvádí pouze název podskupiny (například fenoplasty) a dále rozebírá její vlastnosti a použití na konkrétních příkladech, avšak bez uvedení velkého množství

zástupců. Jiná publikace zase zmiňuje pouze (často triviální) názvy mnoha polymerů, které jsou doplněny nekonkrétními informacemi o struktuře a použití (například výborné mechanické vlastnosti nebo velmi se podobá přírodnímu kaučuku). Jelikož strukturní vzorec považuji za velmi důležitou charakteristiku polymerního materiálu, rozhodla jsem se počítat pouze ty zástupce, u kterých je uveden. Zjistila jsem, že u všech učebních textů je počet takto spočtených příkladů velmi podobný (10 až 15). Mezi nejčastější uváděné patří PE, PP, PS, PVC, teflon, PET a nylon 66.

Při porovnávání publikací z hlediska didaktického a vizuálního byla zvolena kritéria:

- a. Je chemická struktura spolu se základními pojmy vysvětlena na schématu?
- b. Obsahuje kapitola obrázky?
- c. Kolik schémat je v kapitole uvedeno?
- d. Jsou zahrnuty doplňující otázky nebo náměty na laboratorní cvičení?
- e. Jakým způsobem je text prezentován (souvislý text, v bodech...)?
- f. Jsou uvedeny příklady z praktického života?

Výsledky porovnání učebních textů na základě kritérií z hlediska didaktického a vizuálního jsou opět uvedeny v tabulce 2.

Jak již bylo uvedeno u porovnávání z obsahové stránky, všechny učební texty zahrnují popis struktury polymerních materiálů. Myslím, že pro lepší pochopení souvislosti jednotlivých pojmů je přínosné doplnit výklad ilustrací. Proto bylo zahrnuto kritérium, zda publikace schéma v této části obsahuje nebo ne. Popis struktury je takto doplněn pouze u knih *Odmaturuj! z chemie* (Benešová et al., 2014), *Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl* (Mareček & Honza, 2005) a *Chemie II. v kostce pro střední školy* (Kotlík & Růžičková, 1997), kde je použito znázornění přípravy polystyrenu, polypropylenu a butadienstyrenového kaučuku. Ve zbylých publikacích výklad schématem rozšířen není.

Dále byly učební texty porovnány dle přítomnosti obrázků. V knize *Odmaturuj! z chemie* (Benešová et al., 2014) je uvedeno celkem 9 barevných obrázků, na kterých jsou znázorněny hlavně předměty vyrobené ze syntetických polymerních materiálů. V publikaci *Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia* (Kolář et al., 1997) jsou uvedeny 3 černobílé

obrázky, na kterých jsou také ukázány možnosti použití těchto materiálů. V ostatních učebních textech obrázky zařazeny nejsou.

Přestože obrázky se nacházejí pouze ve dvou publikacích, schémata jsou přítomna ve všech. Nejvíce (celkem 18) jich obsahuje kniha Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997). Poté následují publikace Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) s 12 a Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005) s 11 schématy. Ještě méně (9) jich obsahuje Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997) a nejméně (3) Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999).

Doplňující otázky ověřující nabyté znalosti nebo motivující čtenáře ke hledání více informací o problematice jsou zahrnuty pouze v publikaci Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997). 13 otázek je uvedeno na závěr kapitoly vyčleněné pouze syntetickým makromolekulárním látkám a další 4 otázky s touto tematikou jsou napsány v učebnici dříve u uhlovodíků a jejich derivátů. Jak již bylo uvedeno výše, některé z nich by mohly sloužit i jako námět na laboratorní cvičení. Ostatní učební texty rozšiřující otázky neuvádí.

Faktorem, který má jistě vliv na přehlednost publikace, je zvolený způsob prezentace textu. Ve všech učebních textech jsou nadpisy a důležité pojmy graficky odlišovány. V případě publikací Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) a Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997) je text psán v bodech, což velmi napomáhá v orientaci. V ostatních knihách jsou informace ve formě souvislého textu.

Posledním kritériem, na jehož základě byla pětice vybraných učebních textů porovnávána, je přítomnost příkladů nebo jiného propojení s praktickým životem. Všechny knihy až na publikaci Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005), obsahují velké množství příkladů, kde se se syntetickými makromolekulárními látkami můžeme setkat. Jediná jmenovaná učebnice se soustředí spíše na detailní vysvětlení průběhu jednotlivých chemických reakcí a příklady použití neobsahuje.

**Tabulka 2** Výsledky porovnání vybraných publikací na základě různých kritérií (✓ = obsahuje, prázdné pole = neobsahuje).

KRITÉRIUM	PUBLIKACE				
	Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999)	Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014)	Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005)	Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžicková, 1997)	Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997)
1. Pojem kopolymer	✓	✓	✓		✓
2. Výhodné a nevýhodné vlastnosti	✓	✓		✓	
3. Řetězový a stupňovitý mechanismus	✓			✓	
4. Tvorba názvů					
5. Historie	✓	✓	✓	✓	
6. Metody zpracování					✓
7. Degradace a dopad na životní prostředí	✓	✓		✓	
8. Recyklace					
9. Zástupci se strukturním vzorcem	15	12	10	14	14
a. Struktura a základní pojmy ukázány na schématu		✓	✓	✓	
b. Obrázky		✓			✓
c. Schémata	3	12	11	18	9
d. Doplnující otázky					✓
e. Text (S – souvislý, B – v bodech)	S	B	S	B	S
f. Příklady z praktického života	✓	✓		✓	✓

## **4 Příprava pracovních listů k zařazení tématu Syntetické makromolekulární látky do výuky chemie na gymnáziu**

Pracovní listy představují důležitý materiál, který umožňuje nejen podpořit teoretické pochopení dané problematiky, ale také rozvíjet praktické dovednosti a schopnost samostatné práce. V této kapitole je popsán proces tvorby pracovních listů pro tři laboratorní úlohy, které lze v souvislosti se syntetickými makromolekulárními látkami s žáky na gymnáziu realizovat.

### **4.1 Polyuretanová pěna**

Námět na úlohu byl převzat z publikace *Chemie kolem nás* (Zaspalová et al., 2012). Vlastní pracovní list k této úloze lze nalézt v příloze 1.

#### **4.1.1 Teoretický úvod**

Jak již bylo zmíněno v kapitole věnující se charakterizaci syntetických makromolekulárních látek, polyuretany patří mezi látky vznikající polyadicí (nedochází k odštěpení malé molekuly vedlejšího produktu), při které dochází k reakci mezi diizokyanátem a diolem. Pokud izokyanátová skupina reaguje s vodou, dojde ke vzniku aminu a hlavně oxidu uhličitého, což má za důsledek napěnění materiálu a vzniku polyuretanové pěny.

#### **4.1.2 Cíl experimentu**

Cílem experimentu je, aby žák získal základní představu o chemické syntéze polyuretanů. Dále aby pozoroval tvorbu polyuretanové pěny a pochopil vliv přítomnosti oxidu uhličitého na její strukturu. Žák by měl být schopen vysvětlit vliv přítomnosti vody na tvorbu polyuretanové pěny a v neposlední řadě uměl popsat její vlastnosti s možným využitím v praxi.

#### **4.1.3 Pomůcky, chemikálie a pracovní postup**

Pracovní postup byl vytvořen na motiv stejnojmenné úlohy z publikace *Chemie kolem nás* (Zaspalová et al., 2012)

K provedení experimentu je nutné zajistit polyuretanovou pěnu. Jedná se o běžně dostupnou montážní pěnu, která je k sehnání prakticky v jakémkoliv hobbymarketu nebo obchodu se stavební chemií. K sehnání je ve dvou variantách: jednosložkové, která je tvořena už

připraveným polymerem ve formě kapaliny, a dvousložkové, u které je nejprve nutné smíchat monomery. Použít se dají obě varianty. Dále je ještě potřeba připravit kádinku s vodou (stačí z vodovodu).

Pomůcky nutné k provedení tohoto experimentu jsou pouze dvě krabičky od zápalek a případně stopky.

Jednu z krabiček od zápalek namočíme ve vodě. Druhá krabička zůstává suchá. Obě krabičky otevřeme přibližně do poloviny a do každé z naneseeme přibližně stejné množství zakoupené polyuretanové pěny. Pozorujeme narůstání polyuretanové pěny, které probíhá odlišnou rychlostí v suché a v mokré krabičce. Je možná také provést pokus postupně, tedy nejprve naplnit suchou krabičku a změřit čas, po který se objem pěny zvětšuje a až poté naplnit mokrou krabičku, opět změřit čas a následně naměřené časy porovnat.

Ukázka provedení pokusu je na obrázcích 17 a 18. Ze zkušeností z vlastního provedení pokusu je doporučeno spíše provedení s měřením času. Manipulace s tlakovou lahví totiž není úplně snadná a pěna se tvoří relativně rychle i v suché krabičce. Pokus byl vyzkoušen celkem třikrát (tedy ve třech suchých a ve třech mokrých krabičkách) a přitom byly změřeny časy (uvedené v tabulce 3), kdy se zvětšoval objem pěny. Měření času je doporučeno provádět ve spolupráci s druhou osobou (jeden manipuluje s pěnou, druhý měří čas).



**Obrázek 17** Suchá (vlevo) a mokrá (vpravo) krabička od zápalek.





**Obrázek 18** Suchá (vlevo) a mokrá (vpravo) krabička od zápalek po vytvoření polyuretanové pěny.

**Tabulka 3** Naměřené hodnoty času, po který se zvětšoval objem polyuretanového pěny.

Měření	Čas (suchá krabička)	Čas (mokrá krabička)
1	9,93 s	3,52 s
2	8,42 s	2,95 s
3	8,78 s	3,68 s

#### 4.1.4 Otázky k zamyšlení a vyhodnocení

Důležitou součástí experimentu je také shrnutí pozorování, k čemuž mohou pomoci doplňkové otázky. Důležité je se věnovat tomu, co žáci pozorovali, tedy zařadit popis vzniklé polyuretanové pěny (například na začátku se jednalo o řídkou zelenou kapalinu, která se změnila v světle zelenou hustou pěnu). Jelikož byl experiment prováděn ve dvou krabičkách, které se lišily množstvím vody, je nutné porovnat tyto dva výsledky a určit, čím byl rozdíl způsoben: v mokré krabičce vzniká pěna rychleji kvůli přítomnosti většího množství vody, díky kterému rychleji vzniká oxid uhličitý zodpovědný za napěnění; u suché krabičky je přítomna pouze vzdušná vlhkost a vznik oxidu uhličitého a napěnění probíhá pomaleji. K lepšímu propojení s praktickým životem je jistě vhodné také zařadit otázky týkající se možného využití tohoto experimentu v praxi. Návrh doplňkových otázek včetně příkladu jejich řešení je součástí vytvořeného pracovního listu.

#### 4.1.5 Bezpečnost

Při práci s polyuretanovou pěnou je dodržovat určité bezpečnostní zásady. Při manipulaci je nutné používat ochranné rukavice a brýle, tak aby nedošlo ke kontaktu s kůží nebo očima. Zároveň je nutné vzít v potaz, že nádoba s pěnou je pod tlakem a její obsah je extrémně hořlavý. Proto je nutné předejít zahřívání nebo kontaktu s otevřeným ohněm. Další informace jsou dostupné například v bezpečnostním listu (Soudal, 2021).

### 4.2 Polymerní sliz

Námět na úlohu byl převzat z publikace Chemie kolem nás (Zaspalová et al., 2012) a webu Databáze chemických pokusů (Masarykova univerzita, 2021). Vlastní pracovní list k této úloze je uveden v příloze 2.

#### 4.2.1 Teoretický úvod

Jak již bylo uvedeno výše, kovalentní struktura polymerů (zejména vaznost monomerních jednotek) má vliv na jejich geometrické uspořádání. Rozlišujeme například řetězce lineární, rozvětvené, žebříkovité nebo zesíťované (jejichž struktura je znázorněna na obrázku 4) (Vohlídal, 1995).

Pokud k polyvinylacetátu přidáme borax, dojde k interakci mezi lineárními řetězci polymeru a aniontem  $[B(OH)_4]^-$  a tím k prostorovému zesíťování materiálu (Masarykova univerzita, 2021).

#### 4.2.2 Cíl experimentu

Cílem tohoto experimentu je jistě demonstrovat různá geometrická uspořádání polymerních řetězců. Žák by tedy měl dokázat popsat vztah mezi geometrickým uspořádáním řetězců a dalšími charakteristikami materiálu (jako je například pevnost nebo tekutost). Žák by měl být také schopen popsat, jak se změnila vlastnosti původního polymeru (lepidla) po přidání boraxu.

#### 4.2.3 Pomůcky, chemikálie a pracovní postup

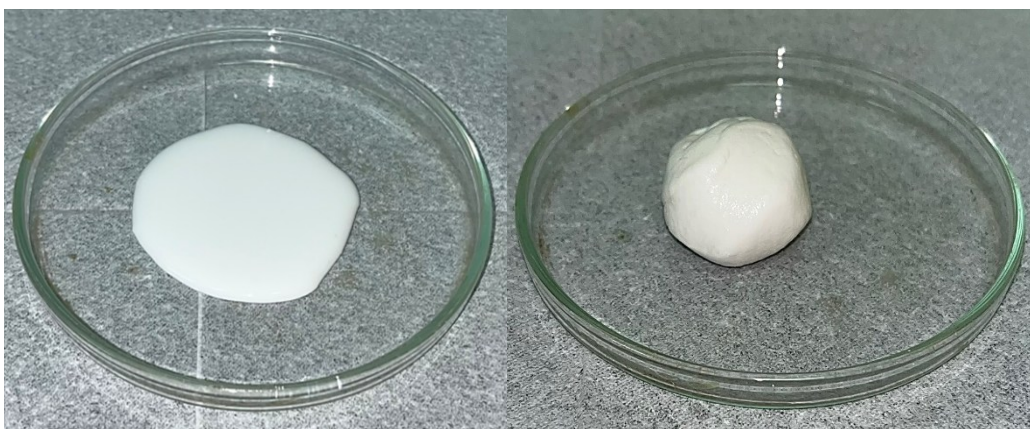
Pracovní postup byl vytvořen na motiv úlohy Výroba slizu na webu Databáze chemických pokusů (Masarykova univerzita, 2021) a úlohy Polymerizace z publikace Chemie kolem nás (Zaspalová et al., 2012).

K provedení pokusu je potřeba bílé lepidlo na bázi polyvinylacetátu (například Herkules), borax a teplá voda (stačí z vodovodu). Volitelně může být použito také barvivo.

Pomůckami jsou dvě kádinky, lžička, skleněná tyčinka a váhy.

V první kádince rozpustíme přibližně 6 g boraxu v asi 15 ml teplé vody. Ve druhé kádince zředíme lepidlo v poměru 1:1 smícháním cca 25 ml bílého lepidla s přibližně 25 ml teplé vody. Následně pomalu přidáváme roztok boraxu ke zředěnému lepidlu a mícháme. V tomto kroku lze přidat také barvivo (pokud chceme vytvořit barevný sliz). Vzniklý zesíťovaný polymer můžeme vyndat z kádinky a dále hníst v ruce.

Z vlastní zkušenosti při provádění pokusu doporučujeme (stejně jako uvádějí v publikaci *Chemie kolem nás* (Zaspalová et al., 2012)), aby voda, ve které je rozpouštěn borax, byla opravdu teplá. V případě, že byla voda pouze vlažná se totiž borax nedařilo rozpustit. Voda, kterou je zředováno lepidlo, stačí i vlažná. Porovnání samotného lepidla (obsahující lineární řetězce) a vzniklého polymerního materiálu (obsahujícího zesíťované řetězce) je na obrázku 19.



**Obrázek 19** Bílé lepidlo obsahující lineární řetězce (vlevo) a vzniklý polymerní materiál obsahující zesíťované řetězce (vpravo).

#### 4.2.4 Otázky k zamyšlení a vyhodnocení

Zásadní prvek experimentu je rovněž závěrečné zhodnocení. To by mělo jistě obsahovat popis toho, co žáci pozorovali po smíchání obsahů obou kádinek tedy k jakým změnám ve struktuře a vlastnostech materiálu došlo. Žáci by také měli být schopni vysvětlit jaké geometrické uspořádání má původní a připravený polymerní materiál (původní materiál obsahuje lineární řetězce, připravený materiál obsahuje zesíťované). V neposlední řadě by

mělo být věnována pozornost možným využití polymerního slizu v běžném životě. Návrh doplňkových otázek včetně příkladu jejich řešení je součástí vytvořeného pracovního listu.

#### **4.2.5 Bezpečnost**

Přestože práce s boraxem a lepidlem nepředstavuje žádná zdravotní rizika, doporučuje se pracovat v rukavicích a ochranných brýlích a po ukončení práce si umýt ruce. V žádném případě nevkládejte vzniklý sliz do úst.

### **4.3 Rozpouštění pěnového polystyrenu**

Námět na úlohu byl převzat z webu Studium chemie (Katedra učitelství a didaktiky chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, 2024).

#### **4.3.1 Teoretický úvod**

Polystyren je syntetický polymer, který je běžně používán ve formě pěnového materiálu například při balení křehkých předmětů, výrobě jednorázového nádobí či izolací. Tento materiál vzniká řetězovou polymerací styrenu. Pěnový polystyren obsahuje velké množství vzduchu, což vysvětluje jeho nízkou hustotu (Katedra učitelství a didaktiky chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, 2024).

Chemické rozpouštění polystyrenu ukazuje reakci mezi polymerem a organickými rozpouštědly (například acetonem). Aceton je polární rozpouštědlo, které dokáže rozrušit vazby mezi polystyrenovými řetězci, čímž dojde ke kolapsu jeho struktury a uvolnění vzduchu. Tato vlastnost se využívá při průmyslové recyklaci polystyrenu, kde je cílem snížit objem tohoto odpadu a usnadnit jeho další zpracování (Katedra učitelství a didaktiky chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, 2024).

#### **4.3.2 Cíle experimentu**

Cílem tohoto experimentu je jistě ukázat na fyzikální vlastnosti pěnového polystyrenu, zejména jeho nízkou hustotu. Žák by měl být tedy schopen uvést souvislost mezi nízkou hustotou a chemickou strukturou pěnového polystyrenu. Dále by měl žák umět popsat průběh interakce polymeru s organickým rozpouštědlem a navrhnout využití této reakce v praxi.

### 4.3.3 Pomůcky, chemikálie a pracovní postup

K provedení tohoto pokusu je třeba pěnový polystyren, aceton (postačí i technický) a kádinka nebo Petriho miska.

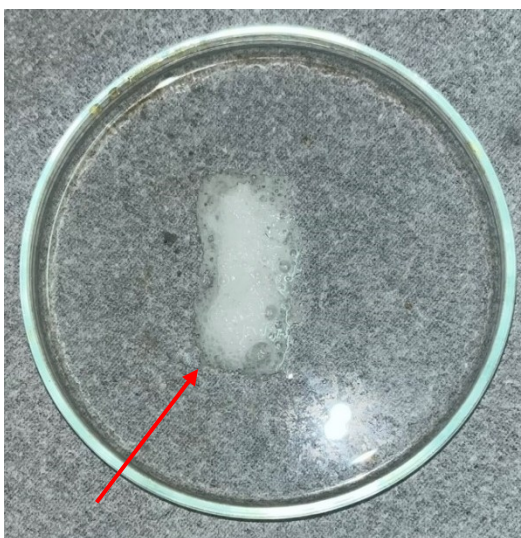
Do kádinky nebo Petriho misky nalijte malé množství acetonu tak, aby měl sloupec výšku přibližně 1 až 2 cm. Postupně přidávejte kousky pěnového polystyrenu do nádoby s acetonem a sledujte jejich rozpuštění. Pozorujte a zaznamenejte relativní změny objemu (zda došlo k jeho zmenšení nebo zvětšení) polystyrenu. Jak je vidět na obrázcích 20, 21 a 22, při provedení experimentu skutečně dochází ke zmenšení objemu polystyrenu.



**Obrázek 20** Velikost kousku pěnového polystyrenu (vlevo) v porovnání s použitou Petriho miskou.



**Obrázek 21** Rozpuštění pěnového polystyrenu v acetonu.



**Obrázek 22** Rozpuštěný pěnový polystyren v acetonu.

#### **4.3.4 Bezpečnost**

Aceton je vysoce hořlavý, proto je nutné pracovat mimo zdroje otevřeného ohně a zajistit dostatečné větrání. Při práci s acetonem je doporučeno používat rukavice a ochranné brýle, aby nedošlo k jeho kontaktu s pokožkou nebo očima.

#### **4.3.5 Otázky k zamyšlení a vyhodnocení**

Důležitým prvkem experimentu je také závěrečné zhodnocení, které by mělo obsahovat popis toho, co žáci pozorovali po vkládání pěnového polystyrenu do acetonu. Dále by měla být věnována pozornost tomu, co se děje s polystyrenem na molekulární úrovni, když je vystaven působení acetonu (tj. aceton narušují prostorovou strukturu materiálu, což způsobí uvolnění zadržovaného vzduchu). V neposlední řadě by žáci měli být schopni uvést příklady použití pěnového polystyrenu v běžném životě, možnosti využití provedené reakce v rámci recyklace polystyrenu a její výhody a nevýhody. Návrh doplňkových otázek spolu s příkladem jejich řešení je součástí vytvořeného pracovního listu.



## 5 Propojení tématu Syntetické makromolekulární látky s dalšími okruhy nejen ve výuce chemie na gymnáziu

Téma syntetických makromolekulárních látek má mnoho souvislostí v různých oblastech chemie a vědy obecně. Jeho zařazení do výuky chemie na gymnáziu proto nabízí příležitost propojení s dalšími okruhy chemie. Takové propojení umožňuje nejen hlubší pochopení učiva, ale také rozvoj schopnosti aplikace teoretických poznatků v praxi.

Syntetické makromolekulární látky jsou úzce spjaty s tématy **organické chemie** – monomery jsou totiž organické molekuly. Polymery lze proto zařadit i při výuce uhlovodíků, karboxylových kyselin a jejich derivátů například tak, jak tomu bylo v učebnici Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997). Na syntetických makromolekulárních látkách lze demonstrovat například vlastnosti a reaktivitu různých funkčních skupin, příklady mechanismů různých typů organických reakcí nebo propojení s izomerií a geometrickým uspořádáním molekul.

Z pohledu **biochemie** mohou být syntetické makromolekulární látky porovnávány s biopolymery jako jsou polysacharidy, proteiny a nukleové kyseliny, jelikož obě skupiny látek vznikají na stejném principu propojování malých molekul v dlouhé řetězce. Tuto podobnost lze nejlépe diskutovat na polypeptidech a syntetických polyamidech, jelikož oba typy látek obsahují amidovou (peptidickou) vazbu  $-NHCO-$ . Zároveň je možné věnovat se tématu biodegradace plastů a zkoumat enzymy, které tento proces umožňují.

Syntetické makromolekulární látky nabízí také široké pole možností pro aplikaci pojmů z **obecné chemie**. Polymery jsou tvořeny kovalentními vazbami mezi atomy v základním řetězci. Lze proto využít například polymerace ethenu k demonstraci vzniku jednoduchých kovalentních vazeb. Přítomnost mezimolekulárních interakcí (jako jsou například vodíkové můstky), lze spojit s vlastnostmi polymerů jako je pevnost a pružnost. Další možnosti propojení nabízí chemické reakce, kterými jsou polymery připravovány. Lze je diskutovat například z hlediska termodynamiky, reakční kinetiky nebo ovlivňování jejich rovnováhy.

V souvislosti s **anorganickou chemií** je možné zaměřit se na ty metody syntézy polymerů, při kterých se využívají anorganické katalyzátory (například Ziegler-Nattovy katalyzátory při výrobě polyethylenu a polypropylenu). Dále je možné zabývat se tím, které anorganické

sloučeniny se používají jako plniva a příměsi a které vlastnosti polymerů jsou tím ovlivňovány.

V rámci **fyzikální chemie** mohou být syntetické makromolekulární látky propojeny se studiem fázových přechodů (například mezi sklovitou a kaučukovitou formou). Dále lze na polymerních látkách také zkoumat jejich viskoelastické chování nebo z hlediska elektrochemie jejich elektrickou vodivost.

V neposlední řadě je možné zařadit syntetické makromolekulární látky v rámci chemie životního prostředí nebo přímo **environmentální výchovy** (jak bylo například uvedeno v ŠVP Gymnázia Boženy Němcové v Hradci Králové a Gymnázia Dvůr Králové nad Labem) a detailněji popsat dopady výroby a používání plastů na naši planetu. Dalším důležitým tématem týkající se tohoto předmětu by jistě měla být otázka recyklace plastů a hledání alternativních materiálů. Další možností doplnění tohoto tématu v rámci environmentální výchovy je jistě i zařazení exkurze do některé z třídících linek.

Syntetické makromolekulární látky mohou být propojeny i jinými vyučovanými předměty, než je pouze chemie. V rámci **fyziky** mohou být zahrnuty při studiu mechanických vlastností pevných látek jako jsou deformace a pevnost v tahu. Ve **společenských vědách** lze otevřít otázku etiky a odpovědnosti spojené s používáním těchto materiálů zejména ve vztahu k udržitelnosti a budoucnosti lidské společnosti. Je také možné debatovat o legislativě týkající se nakládání s odpady a výroby plastů. Téma syntetických makromolekulárních látek lze také propojit s **dějepisem** prostřednictvím historického vývoje chemického průmyslu, důležitých objevů, které toto odvětví přineslo a jejich vlivu na formování společnosti. Konkrétně může být zkoumáno, jak tyto objevy a výroba syntetických polymerů ovlivnily technologický pokrok, hospodářství a každodenní život lidí.



## Závěr

V bakalářské práci jsme se zaměřili na syntetické polymery a jejich zastoupení v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia včetně porovnání jejich implementace ve školních vzdělávacích programech pěti vybraných gymnázií z Královehradeckého kraje (Gymnázia Jaroslava Žáka v Jaroměři, Lepařova Gymnázia v Jičíně, Gymnázia Boženy Němcové v Hradci Králové, Gymnázia Dvůr Králové nad Labem a Jiráskova gymnázia v Náchodě). U všech gymnázií jsou syntetické makromolekulární látky učivem posledního ročníku, ve kterém je předmět chemie na škole vyučován. V ŠVP Gymnázia J. Žáka v Jaroměři a Gymnázia Dvůr Králové nad Labem jsou výstupy uvedeny přesně tak, jak tomu je v RVP G. Jiráskovo gymnázium v Náchodě se soustředí zejména na zástupce, výrobky a použití. Lepařovo gymnázium v Jičíně se zaměřuje na základní pojmy, přípravu, zástupce a výhody a nevýhody, které materiály z těchto látek mají oproti látkám přírodním. V ŠVP Gymnázia B. Němcové v Hradci Králové je téma vymezeno hlavně v souvislosti s praktickým životem a dopadem na lidské zdraví a životní prostředí. Gymnázium Dvůr Králové nad Labem a Gymnázium B. Němcové navíc tuto kapitolu propojují v rámci průřezových témat. Ani na jedné škole není téma syntetické makromolekulární látky náplní volitelných předmětů. Je tedy zřejmé, že k zařazování tohoto tématu do výuky přistupují různá gymnázia různým způsobem, od tradičního faktografického pojetí až k provázání s tématy lidského zdraví a životního prostředí. Téměř se nevyskytuje explicitní zařazování souvisejících experimentálních činností.

Dále byla provedena analýza pěti učebních materiálů, která odhalila rozdíly v rozsahu i kvalitě zpracování tématu, což je způsobeno i jejich rozdílným charakterem a zaměřením. Po obsahové stránce mají největší zastoupení tématu syntetických makromolekulárních látek publikace Přehled středoškolské chemie (Vacík et al., 1999), Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014) a Chemie II. v kostce pro střední školy (Kotlík & Růžičková, 1997), které obsahují detailní popis struktury, vlastností a metod přípravy syntetických polymerů. Ani jeden z učebních textů však nezahrnuje téma názvosloví nebo recyklace syntetických makromolekulárních látek. Z didaktického hlediska je na tom nejlépe učebnice Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia (Kolář et al., 1997), která nejenže obsahuje příklady z praktického života, ale také jako jediná nabízí množství doplňujících otázek.

Z vizuálního pohledu je nejlépe zpracována publikace Odmaturuj! z chemie (Benešová et al., 2014), která obsahuje velké množství obrázků a informace jsou v ní uváděny pomocí odrážek v bodech, což velmi napomáhá v orientaci v textu. Poslední z pěti učebních textů, Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl (Mareček & Honza, 2005), se věnuje zejména přípravě těchto látek, což ukazuje na několika schématech. Tato publikace psaná v souvislém textu však nenabízí žádné obrázky nebo doplňující otázky.

Na základě analýz výše uvedených kurikulárních dokumentů jsme v praktické části zpracovali návrhy na provedení tří školních experimentů včetně podoby pracovních listů, které nabízejí způsob, jak obohatit výuku a podpořit u žáků rozvoj praktických dovedností spolu s lepším pochopením souvislostí mezi chemií a každodenním životem. Dále byla navržena možná propojení tématu syntetické makromolekulární látky s dalšími okruhy v rámci chemie i jiných předmětů vyučovaných na gymnáziu. Výsledky této práce mohou sloužit jako inspirace pro pedagogy při aktualizaci vzdělávacích materiálů a používaných výukových metod a pro rozvoj mezioborové výuky chemie na gymnáziích.

## Seznam zkratek a symbolů

BCHL	Bojové chemické látky
EPS	Pěnový polystyren
HDPE	Vysokohustotní polyethylen
IUPAC	Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii
KJ	Konstituční jednotka
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
LLDPE	Lineární nízkohustotní polyethylen
MJ	Monomerní jednotka
PAN	Poly(akrylonitril)
PE	Polyethylen
PET	Poly(ethyltereftalát)
PMMA	Poly(methylmethakrylát)
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
VLDPE	Vysoce nízkohustotní polyethylen
XLPE	Zesíťovaný polyethylen
ŽP	Životní prostředí

## Seznam použitých informačních zdrojů

- Ahmed, T., Shahid, M., Azeem, F., Rasul, I., Shah, A. A., Noman, M., Hameed, A., Manzoor, N., Manzoor, I., & Muhammad, S. (2018). Biodegradation of plastics: Current scenario and future prospects for environmental safety: current scenario and future prospects for environmental safety. *Environmental Science And Pollution Research*, 25(8), 7287-7298. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1234-9>
- American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks. (2012a). *Bakelite: The world's first synthetic plastic*. American Chemical Society. Dostupné 14 květen 2024, z <http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/bakelite.html>
- American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks. (2012b). *Foundations of polymer science: Wallace Carothers and the development of nylon*. American Chemical Society. Dostupné 16 květen 2024, z <https://archive.ph/20130223153201/http://portal.acs.org/portal/PublicWebSite/education/whatischemistry/landmarks/carotherspolymers/index.htm#selection-375.0-375.78>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Benešová, M., Pfeiferová, E., & Satrapová, H. (2014). *Odmaturuj! z chemie* (2. vyd.). Didaktis.
- De Vos, L., Van de Voorde, B., Van Daele, L., Dubruel, P., & Van Vlierberghe, S. (2021). Poly(alkylene terephthalate)s: From current developments in synthetic strategies towards applications: From current developments in synthetic strategies towards applications. *European Polymer Journal*, 161, 110840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110840>
- Ducháček, V. (1995). *Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vysoká škola chemicko-technologická.

- ECOSERVIS – komplexní nakládání s odpady s.r.o. (2024). *Co se děje se starými plasty?* Ecoservis. Dostupné 11 listopad 2024, z <https://ecoservis.eu/co-se-deje-se-starymi-plasty/>
- Flory, P. J. (1953). *Principles of polymer chemistry*. Cornell University Press.
- Forte, M., Silva, R., Tavares, C., & Silva, R. (2021). Is poly(Methyl methacrylate) (PMMA) a suitable substrate for ALD?: A review. *Polymers*, 13(8), 1346. <https://doi.org/10.3390/polym13081346>
- Gama, N. V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane foams: Past, present, and future. *Materials*, 11(10), 1841. <https://doi.org/10.3390/ma11101841>
- Gardziella, A., Pilato, L. A., & Knop, A. (2000). *Phenolic resins: Chemistry, applications, standardization, safety and ecology* (2nd ed). Springer Berlin.
- Gargallo, L., & Radić, D. (2009). *Physicochemical behavior and supramolecular organization of polymers*. Springer Dordrecht.
- Gymnázium Boženy Němcové. (2023a). *Školní vzdělávací program: Škola bez bariér*. [https://drive.google.com/file/d/1PdWwdxg2hKMjKzV4mRQxF-kbX-T0veD5/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1PdWwdxg2hKMjKzV4mRQxF-kbX-T0veD5/view?usp=drive_link)
- Gymnázium Boženy Němcové. (2023b). *ŠVP volitelné*. [https://www.gybon.cz/gybon-ext/SVP\\_volitelne/svpv.pdf](https://www.gybon.cz/gybon-ext/SVP_volitelne/svpv.pdf)
- Gymnázium Dvůr Králové nad Labem. (2024). *Školní vzdělávací program pro vyšší stupeň šestiletého gymnázia a čtyřleté gymnázium, který byl zpracován podle Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia: „Plod přijde časem...“*. [https://www.gym-dk.cz/wp-content/uploads/2018/07/svp\\_20240901.pdf](https://www.gym-dk.cz/wp-content/uploads/2018/07/svp_20240901.pdf)
- Gymnázium Jaroslava Žáka. (2021). *Školní vzdělávací program: Část pro vyšší a čtyřleté gymnázium*. [https://www.goajaro.cz/wp-content/uploads/2016/05/SVP\\_2021\\_VG\\_osnovy-1.docx](https://www.goajaro.cz/wp-content/uploads/2016/05/SVP_2021_VG_osnovy-1.docx)
- Honzík, R. (2004). Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich degradace. *Biom.cz*. <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/plasty-se-zkracenou-zivotnosti-a-zpusoby-jejich-degradace>

- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities: Challenges and Opportunities. *Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London. Series B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- Huvarová, M. (2010). *Nejpoužívanější středoškolské učebnice na gymnáziích* [Bakalářská práce]. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra anorganické chemie.
- Jaká je cesta plastového odpadu?* (2020). Samosebou.cz. Dostupné 11 listopad 2024, z <https://www.samosebou.cz/2020/03/31/jaka-je-cesta-plastoveho-odpadu/>
- Ji, L. (2013). Study on preparation process and properties of polyethylene terephthalate (PET). *Applied Mechanics And Materials*, 312, 406-410. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.312.406>
- Jiráskovo Gymnázium. (2024a). „*I cesta může být cíl*“: ŠVP pro čtyřleté gymnázium a vyšší stupeň osmiletého gymnázia, zpracovaný dle RVP G. [https://www.gymnachod.cz/wp-content/uploads/2017/11/SVP-I-cesta-muze-byt-cil-verze-3\\_0.pdf](https://www.gymnachod.cz/wp-content/uploads/2017/11/SVP-I-cesta-muze-byt-cil-verze-3_0.pdf)
- Jiráskovo Gymnázium. (2024b). Školní vzdělávací program „*I cesta může být cíl*“: Nabídka volitelných předmětů pro školní rok 2024-2025. <https://www.gymnachod.cz/wp-content/uploads/2017/11/Volitelne-predmety-nabidka-2024-25.pdf>
- Karian, H. (Ed.). (2003). *Handbook of polypropylene and polypropylene composites* (2nd ed). Marcel Dekker.
- Katedra učitelství a didaktiky chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. (2024). *Rozpouštění polystyrenu v acetonu*. Studium Chemie. Dostupné 25 listopad 2024, z <https://studiumchemie.cz/experiment/rozpousteni-polystyrenu-v-acetonu/>
- Klečka, M. (2011). *Teorie a praxe tvorby učebnic chemie pro střední školy* [Disertační práce]. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra učitelství a didaktiky chemie.
- Kolář, K., Kodíček, M., & Pospíšil, J. (1997). *Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia*. SPN - pedagogické nakladatelství.

- Koltzenburg, S., Maskos, M., & Nuyken, O. (2023). *Polymer chemistry* (2nd ed). Springer.
- Kotlík, B., & Růžičková, K. (1997). *Chemie II. v kostce pro střední školy: Organická chemie a biochemie* (2. vyd.). Fragment.
- Krebs, J. (2001). *Teorie zpracování nekovových materiálů* (2. vyd.). Technická univerzita.
- Krebs, S., Kolařík, L., & Bryksí Stunová, B. (2020). *Teorie zpracování plastů a kompozitů*. České vysoké učení technické v Praze.
- Kutz, M. (Ed.). (2017). *Applied plastics engineering handbook: processing, materials, and applications* (2nd ed). Elsevier.
- Lepařovo gymnázium. (2017). *Školní vzdělávací program Lepařova gymnázia Jičín: vytvořený podle RVP ZV a RVP GV* (4. vyd.). <https://gymjc.cz/wp-content/uploads/2021/09/%C5%A0VP-platnost-z%C3%A1%C5%99%C3%AD-2017.docx>
- Lepařovo gymnázium. (2024). *Nabídka seminářů*. Dostupné 19 listopad 2024, z <https://gymjc.cz/nabidka-seminaru/>
- Lodge, T. P., & Hiemenz, P. C. (2020). *Polymer chemistry* (3rd ed). CRC Press.
- Mandal, Š., & Sapcanin, A. (2023). Polymeric materials in gluing techniques. *Journal Of Sustainable Technologies And Materials*, 3(4), 36-48. <https://doi.org/10.57131/jstm.2023.4.6>
- Mareček, A., & Honza, J. (2005). *Chemie pro čtyřletá gymnázia. 3. díl*. Nakladatelství Olomouc.
- Mark, J. E. (Ed.). (2006). *Physical properties of polymers handbook* (2nd ed). Springer.
- Masarykova univerzita. (2021). *Výroba slizu*. Databáze Chemických Pokusů. Dostupné 25 listopad 2024, z <https://is.muni.cz/do/sci/UChem/um/dchp/pages/pokusy.html?exp=9f138Zw>
- Meissner, B., & Zilvar, V. (1982). *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. SNTL.

- MŠMT. (2021). *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. [https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2021/09/001\\_RVP\\_GYM\\_uplne\\_zneni.pdf](https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2021/09/001_RVP_GYM_uplne_zneni.pdf)
- Muralisrinivasan, N. S. (2019). *Plastics waste management: processing and disposal* (2nd ed). Scrivener Publishing.
- Painter, P. C., & Coleman, M. M. (1997). *Foundamentals of polymer science: An introductory text* (2nd ed). CRC Press.
- Peacock, A. J., & Calhoun, A. (2006). *Polymer chemistry: properties and applications*. Carl Hanser Verlag.
- Peters, E. N. (2002). Plastics: thermoplastics, thermosets, and elastomers. In *Handbook of materials selection* (s. 335-355). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470172551.ch11>
- Prokopová, I. (2007). *Makromolekulární chemie* (2. vydání). Vydavatelství VŠCHT.
- Rahimi, A. R., & García, J. M. (2017). Chemical recycling of waste plastics for new materials production. *Nature Reviews Chemistry*, 1(6). <https://doi.org/10.1038/s41570-017-0046>
- Recyklační symboly plastů*. (2018). Samosebou.cz. Dostupné 11 listopad 2024, z <https://www.samosebou.cz/2018/01/15/recyklacni-symboly-plastu/>
- Sastri, V. R. (2010). Chapter 7 - Engineering thermoplastics: acrylics, polycarbonates, polyurethanes, polyacetals, polyesters, and polyamides: Acrylics, Polycarbonates, Polyurethanes, Polyacetals, Polyesters, and Polyamides. In *Plastics design library* (s. 121-173). William Andrew Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-2027-6.10007-8>
- Shrivastava, A. (2018). *Introduction to plastics engineering*. William Andrew Publishing.
- Sigma-Aldrich. (2021). *Bezpečnostní list: Propylene*. <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/cs/sds/aldrich/427888?userType=anonymous>



- Soudal. (2021). *Bezpečnostní list: Montážní pěna, montážní pěna pistolová, pistolová pěna nízkoexpanzní, montážní pěna zimní, montážní pěna pistolová zimní, studnařská montážní pěna, pistolová montážní pěna, nízkoexpanzní pěna, nízkoexpanzní pistolová pěna, montážní pěna zimní* (8. vyd.). [https://www.soudal.cz/images/soubory-produkty/2023/bezpecnostni-listy/\\_BL\\_51803\\_21.pdf](https://www.soudal.cz/images/soubory-produkty/2023/bezpecnostni-listy/_BL_51803_21.pdf)
- Sperling, L. H. (2006). *Introduction to physical polymer science* (4th ed). Wiley-Interscience.
- Stevens, M. P. (1999). *Polymer chemistry: An introduction* (3rd ed). Oxford University Press.
- Stickler, M., & Rhein, T. (2000). Polymethacrylates. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/14356007.a21\\_473](https://doi.org/10.1002/14356007.a21_473)
- Vacík, J., Barthová, J., Pacák, J., Strauch, B., Svobodová, M., & Zemánek, F. (1999). *Přehled středoškolské chemie* (2. vyd.). Státní pedagogické nakladatelství.
- Vohlídal, J. (1995). *Makromolekulární chemie*. Karolinum.
- Wikipedia contributors. (2024, říjen 10). *Recycling codes*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Dostupné 11 listopad 2024, z [https://en.wikipedia.org/wiki/Recycling\\_codes](https://en.wikipedia.org/wiki/Recycling_codes)
- Zaspalová, J., Fendrychová, A., Volmutová, I., Šmejkal, P., Martínek, V., Hrubý, M., & Teplný, P. (2012). *Polymery kolem nás: Vzdělávací modul chemie, Výukový a metodický text, Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi - projekt OPPA. P3K.*

## **Seznam příloh**

Příloha 1 – Pracovní list k úloze Polyuretanová pěna

Příloha 2 – Pracovní list k úloze Polymerní sliz

Příloha 3 – Pracovní list k úloze Rozpouštění pěnového polystyrenu

## **Příloha 1 – Pracovní list k úloze Polyuretanová pěna**

### **Polyuretanová pěna**

Polyuretany patří mezi syntetické makromolekulární látky připravované polyadící. Výchozími látkami pro jejich přípravu je jednak molekula obsahující minimálně dvě izokyanátové skupiny  $-N=C=O$  a jednak molekula obsahující minimálně dvě hydroxylové skupiny  $-OH$ . Jejich vzájemnou reakcí dochází k propojení pomocí vazby  $-NH-CO-O-$  a vzniku polyuretanu. Pokud samotná izokyanátová skupina přijde do styku s molekulou vody, dojde k uvolnění oxidu uhličitého a tím k napěnění vzniklého polyuretanu.

#### **Úkol:**

- Vytvořte polyuretanovou pěnu.
- Zkoumejte její vlastnosti a faktory, které ovlivňují její přípravu.

**Pomůcky:** dvě krabičky od zápalek, kádinka, stopky

**Chemikálie:** polyuretanová pěna ve spreji, voda

#### **Pracovní postup:**

- Jednu z krabiček od zápalek namočte kádinky s vodou. Druhá krabička zůstává suchá.
- Obě krabičky otevřete přibližně do poloviny.
- Naneste malé množství polyuretanové pěny ve spreji do suché krabičky a změřte čas, po který dochází ke zvětšování jejího objemu.
- Naneste podobné množství polyuretanové pěny ve spreji do suché krabičky a změřte čas, po který dochází k zvětšování objemu pěny.
- pěny zvětšuje a až poté naplnit mokrou krabičku, opět změřit čas a následně naměřené časy porovnat.
- Odpovězte na otázky.

### Otázky:

- Co jste pozorovali po nanesení obsahu spreje do krabičky?  
*Nanesená látka zvětšila svůj objem a vytvořila se pěna.*
- Jaké vlastnosti má (nebo nemá) vzniklá pěna v porovnání s obsahem spreje?  
*Oproti obsahu spreje (kapalina) má vzniklá pěna mnohem větší objem.*
- Probíhala reakce rychleji u suché nebo mokré krabičky? Proč tomu tak bylo?  
*Reakce probíhala rychleji u mokré krabičky než u suché. Mokrý krabička obsahuje více vody, a tudíž dochází k rychlejšímu vzniku oxidu uhličitého, který vytváří pěnu.*
- Najděte, k jakému účelu se polyuretanová pěna používá v praxi? Která její vlastnost je přitom využívána?  
*Polyuretanová pěna se nejčastěji používá ve stavebnictví jako izolační materiál, protože obsahuje velké množství vzduchu (špatný vodič tepla).*

## **Příloha 2 – Pracovní list k úloze Polymerní sliz**

### **Polymerní sliz**

Polymery jsou látky složené z dlouhých řetězců opakujících se jednotek (zvaných monomery). Tyto řetězce mohou zaujímat různá geometrická uspořádání: lineární řetězce jsou dlouhé, nerozvětvené a nijak nepropojené; rozvětvené řetězce také nejsou propojené s ostatními vlákny, ale už obsahují větvení a zesíťované uspořádání obsahuje vlákna, která jsou nejen větvená, ale také vzájemně propojená pomocí nekovalentních interakcí čímž vytváří síť. Bílé lepidlo obsahuje dlouhé lineární řetězce poly(vinylalkoholu). Po přidání boraxu (obsahujícího anionty tetrahydridoboritanového komplexu) dojde k propojení vláken vodíkovými můstky a tím ke změně nejen geometrického uspořádání.

#### **Úkol:**

- Vytvořte zesíťovaný polymer.

**Pomůcky:** dvě kádinky, lžička, skleněná tyčinka, váhy

**Chemikálie:** borax, bílé lepidlo (Herkules), voda, barvivo

#### **Pracovní postup:**

- V první kádince rozpust'ete navážku 6 g boraxu v přibližně 15 ml teplé vody.
- Do druhé kádinky smíchejte přibližně 25 ml bílého lepidla s 25 ml teplé vody.
- Za stálého míchání pomalu přidávejte roztok boraxu do kádinky se zředěným lepidlem.
- Po přidání veškerého roztoku boraxu přidejte malé množství barviva a opět důkladně míchejte.
- Vzniklý zesíťovaný polymer vyndejte z kádinky a dále zpracujte v ruce.
- Odpovězte na otázky.

### Otázky:

- Jaké vlastnosti měl polymer (lepidlo) v původním lineárním uspořádání?

*Lepidlo bylo kapalné, velmi tekuté a přizpůsobovalo se tvaru nádoby.*

- Jaké změny jste pozorovali po přidání boraxového roztoku?

*Po přidání boraxového roztoku lepidlo začalo houstnout a lépe držet pohromadě.*

*Bylo možné ho vzít do ruky a tvarovat.*

- Jaké vlastnosti má výsledný sliz (tedy zesíťovaný polymer)?

*Sliz byl oproti lepidlu elastický, pevnější, tvarovatelný a méně tekutý.*

- Jaké aplikace mohou mít podobné polymerní materiály v každodenním životě?

*Podobné polymerní materiály se mohou používat jako těsnění a nárazuvzdorné materiály ve stavebnictví, jako gely pro různá použití v kosmetice nebo jako součást hraček.*

## **Příloha 3 – Pracovní list k úloze Rozpouštění pěnového polystyrenu**

### **Rozpouštění pěnového polystyrenu**

Polystyren je syntetický polymer připravovaný polymerací styrenu. Pokud je do něj při výrobě zároveň vháněn vzduch, dojde ke vzniku pěnového polystyrenu. Dlouhá lineární vlákna tohoto polymeru mezi sebou interagují prostřednictvím slabých van der Waalsových sil, což vede ke vzniku zesíťované prostorové struktury, která je schopna zadržet velké množství vzduchu a tím mnohonásobně zvětšit svůj objem. Po přidání acetonu (polárního organického rozpouštědla) dojde k narušení interakcí mezi vlákny a tím i ke změně fyzikálních vlastností tohoto materiálu.

#### **Úkol:**

- Pozorujte, co se stane po přidání pěnového polystyrenu do acetonu.

**Pomůcky:** kádinka nebo Petriho miska

**Chemikálie:** pěnový polystyren, aceton

#### **Pracovní postup:**

- Do kádinky (nebo Petriho misky) nalijte malé množství acetonu tak, aby měl sloupec výšku přibližně 1 až 2 cm.
- Postupně přidávejte kousky pěnového polystyrenu do nádoby s acetonem.
- Pozorujte a zaznamenejte, jak se mění objem polystyrenu (zda se zmenšuje nebo zvětšuje).
- Odpovězte na otázky.

## Otázky:

- Kde se v běžném životě setkáváte s pěnovým polystyrenem? Jaké má tento materiál vlastnosti?

*V běžném životě se s pěnovým polystyrenem setkáváme například v rámci obalových materiálů nebo termoboxů. Tento materiál je velmi lehký a dobře tepelně izoluje.*

- Jak se změnil objem polystyrenu po jeho přidání do acetonu?

*Po přidání pěnového polystyrenu do acetonu došlo ke zmenšení jeho objemu a postupně až k jeho plnému rozpuštění.*

- Jaká je role acetonu v tomto experimentu? Co se stane s polystyrenem na molekulární úrovni, když je vystaven acetonu?

*Aceton je polární organické rozpouštědlo, které narušuje slabé interakce mezi vlákny polystyrenu, čímž dojde ke kolapsu jeho prostorové struktury a vypuštění vzduchu.*

- Jaké je možné využití této reakce v rámci recyklace polystyrenu? Jaké jsou její výhody a nevýhody?

*Rozpuštění pěnového polystyrenu v acetonu lze využít ke snížení objemu polystyrenového odpadu, což je také jedna z výhod. Nevýhodou může být riziko pro životní prostředí, jelikož aceton je toxická a hořlavá látka. Zároveň nevýhodou může být ekonomická náročnost tohoto procesu.*