

# Polymery ve stavebnictví

Hana Michálková

---

Bakalářská práce  
2016

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Hana Michálková**  
Osobní číslo: **T12221**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Polymery ve stavebnictví**

Zásady pro vypracování:

Student vypracuje literární rešerši na dané téma, na základě zjištěných skutečností vybere nejběžnější výrobky stavebního průmyslu, které se dosud z polymerních materiálů vyrábějí, zdiskutuje jejich výrobu a použití. Dále navrhne nové možnosti využití polymerů ve stavebnictví.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití.. [s.l.] : [s.n.], 2006. 280 s. ISBN 80-7080-617-6.**

**KRATOCHVÍL, Bohumil, Dalibor VOJTĚCH a Václav ŠVORČÍK. Úvod do studia materiálů. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 190 s. ISBN 8070805684.**

**Další zdroje z impaktovaných zahraničních časopisů a dle požadavků vedoucího práce**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Alice Tesaříková Svobodova**  
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

**15. ledna 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**20. května 2016**

Ve Zlíně dne 1. března 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá studiem polymerních materiálů používaných ve stavebnictví. Je zaměřena především na nejpoužívanější typy polymerních materiálů a na jejich požadované užité vlastnosti. Dále se práce zabývá konkrétními aplikacemi polymerních materiálů ve stavebnictví a jejich výrobou. V závěru bakalářské práce jsou navrženy nové možnosti využití polymerů ve stavebnictví.

Klíčová slova: polymery, polyvinylchlorid, polyetylen, polyuretan, polymerbeton.

## **ABSTRACT**

The purpose of this bachelor's thesis is the study of polymeric materials used in construction. It primarily focuses on the most common types of polymeric materials and their desired useful properties. Furthermore, the thesis deals with specific applications of polymeric materials in construction and manufacturing. In conclusion, the thesis proposes new uses of polymers in construction.

Keywords: polymers, polyvinylchloride, polyethylene, polyurethane, polymer concrete.

Zde bych chtěla poděkovat své vedoucí práce paní Ing. Alici Tesaříkové Svobodové, která mi svou pomocí či cennou radou přispěla k vypracování této bakalářské práce. Dále také děkuji i mé rodině, která mě v tomto úsilí podporovala a byla oporou.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 STRUČNÁ HISTORIE POLYMERŮ A JEJICH VYUŽITÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 PRODUKCE PLASTŮ VE SVĚTE I V EU .....	12
1.2 SITUACE PLASTICKÝCH HMOT V ČESKÉ REPUBLICE .....	13
<b>2 POŽADAVKY KLADENÉ NA POLYMERNÍ MATERIÁLY VE STAVEBNICTVÍ</b> .....	<b>16</b>
2.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI.....	16
2.1.1 Tvarový rozměr .....	17
2.1.2 Objemová a měrná hmotnost.....	17
2.1.3 Hutnost.....	18
2.1.4 Pórovitost.....	18
2.1.5 Mezerovitost .....	18
2.1.6 Vlhkost.....	19
2.1.7 Nasákavost.....	19
2.1.8 Navlhavost a vysychavost .....	19
2.1.9 Difúze a propustnost.....	19
2.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI .....	21
2.2.1 Pevnost.....	22
2.2.2 Tvrdost.....	22
2.2.3 Deformační vlastnosti.....	23
2.3 CHEMICKÉ VLASTNOSTI .....	23
2.3.1 Chemická stabilita .....	23
2.3.2 Koroze .....	23
<b>3 POLYMERNÍ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ VE STAVEBNICTVÍ</b> .....	<b>24</b>
3.1 POLYVINYLCHLORID (PVC) .....	24
3.1.1 Vlastnosti .....	24
3.1.2 Výroba PVC .....	25
3.1.3 Stabilizátory.....	26
3.2 POLYETYLEN (PE) .....	26
3.2.1 Vlastnosti .....	26
3.2.2 Výroba PE.....	27
3.3 POLYSTYREN (PS) .....	31
3.3.1 Vlastnosti .....	31
3.3.2 Výroba PS.....	32
3.4 POLYURETANY (PUR) .....	33
3.4.1 Výroba PUR .....	34
<b>4 POLYMERBETONY</b> .....	<b>35</b>
4.1 ZÁKLADNÍ SLOŽKY POLYMERBETONU .....	35
4.2 VLASTNOSTI .....	36
4.3 VÝROBA .....	36
<b>5 APLIKACE VYBRANÝCH POLYMERŮ VE STAVEBNICTVÍ</b> .....	<b>40</b>



5.1	POLYVINYLCHLORID (PVC) .....	40
5.2	PE-HD A PE-MD .....	41
5.3	POLYURETANY (PUR) .....	42
5.4	POLYSTYREN (PS) .....	43
5.5	POLYPROPYLEN (PP) .....	44
5.6	POLYMERBETON .....	44
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>48</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>		<b>49</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>55</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>		<b>57</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>		<b>59</b>

## ÚVOD

Lidé staví svá obydlí již od pravěku, aby se ochránili před nepříznivými vlivy. Bydlelo se v jeskyních, stavěli se závětrné stěny. Používal se přírodní a dostupný materiál. Změna ve výstavbě nastala v období neolitu a chalkolitu, lidé se usadili a stavěli primitivní chatrče. Spojení skupin lidí umožnilo práci s kamenem. Tato doba se nazývá kamenná. V pravěké Evropě se kámen výrazně nepracovával, ale v Egyptě měl tvar hranolu a vršil se na sebe na sucho. Objevení egyptské architektury ovlivnilo vývoj staveb v Evropě [1- 4].

Ve starověké architektuře byla nejdůležitějším stavebním prvkem hlína, která nahradila dřevo nebo kámen. Prvně se používala vyschlá hrouda usušená na slunci, později dostala konkrétní tvar kvádrů různých velikostí, po formování se vypalovala. Cihly se spojovaly hliněnou hmotou, asfaltem nebo sádrovou maltou [3, 5].

Období eneolitu symbolizuje měď. Rozvoj obydlí je závislý na přítomných nalezištích kovů a klíčové je hutnictví. Vytěžený kov se tvaroval, anebo roztavil a nalil do formy. Následuje doba bronzová, čili slitina mědi a cínu. Kov se využívá nejen ve stavitelství, např. jako panty, rámy a ke zpevňování zdiva, ale i pro osobní potřebu. Následuje další velmi významné období - doba železná. Tyto vývojové etapy, jsou v historii lidstva velmi důležité, citelně změnily způsob života [3, 6, 7].

V období starověkého Řecka a Říma se zlepšovaly dostupné materiály, vylepšovaly se metody ve stavitelství, přidala se barva, začalo se používat sklo. Přišel středověk a následně novověk. Vlivem střídání architektonických směrů se měnila i tvář staveb [2].

Během staletí se kovy šířily stále víc. Osvědčily se, ve spojení se sklem, k zastřešování. Stavěly se železné mosty i s pylony i celokovové kolejnice. Železo nebylo jen lité, ale i válcované a v dnes už obvyklých profilech U, I a L. Na přelomu století 19. a 20. přichází novinka pod názvem železobeton. Mezi světovými válkami se začínají o slovo hlásit plasty a k jejich rozmachu dopomohla 2. světová válka. Příkladem může být nylon, který se začal používat na výrobu padáků. Po 2. světové válce se rozšířilo využití kovů, nejen oceli, ale i hliníku. Velké slovo měly montované stavby a o čím dál větší pozornost se ucházejí i plastické hmoty, které doslova zahltí domácnosti. Stále více se objevují nové materiály a hlavně plasty. Polymerní materiály přinášejí nové možnosti a zkušenosti, materiály se natahují, ztenčují, či ohýbají. Vznikají nové stavby v podobě skořepin, hyperbolických parabol a jiných matematických těles. I zde je obrovský prostor pro stále větší možnost použití plastických hmot [7- 9].

# 1 STRUČNÁ HISTORIE POLYMERŮ A JEJICH VYUŽITÍ

Vznik prvního syntetického polymeru se datuje k roku 1835, kdy H. V. Regnault připravil jako první syntetický polymer polyvinylchlorid. V roce 1862 na Velké světové výstavě v Londýně prezentoval Alexander Parkes svůj objev, předchůdce celuloidu, pod názvem Parkesin. Byl to nitrát celu a dostal za něj bronzovou medaili. Jeho vlastnosti vylepšil John W. Hyatt, přidal kafr, pojmenoval ho Celluloid a zviditelnil ho. Používal se na výrobu kulečnických koulí, rukojetí, hřebenů nebo brýlových obrouček. Spolu s bratrem Isaiahem pak získali na 75 patentů na výrobu nových plastů [8].

První viskózní vlákna připravili Ch. F. Cross, E. J. Bevan a C. Beadle roku 1892. Dalším průkopníkem se stal v roce 1909 Leo Hendrik Baekeland se svým počestným bakelitem. Reakcí fenolu s formaldehydem vznikla první umělá pryskyřice, nehořlavý materiál a dobrý izolant našel využití hlavně v elektrotechnice a automobilovém průmyslu. Po vypršení platnosti patentu na bakelit začal masový vývoj plastů, sláva bakelitu začala upadat, a tak během 20. a 30. let 20. století došlo k jejich obrovskému využití. V období let 1930-1940 začal komerční vývoj dnešních komoditních plastů jako je polyvinylchlorid (PVC), polyetylen (PE), polystyren (PS), polymethylmetakrylát (PMMA). Vznikl agresivní marketingový tah, jehož cílem bylo donutit lidi, aby začali nakupovat přepracované, plastové, spotřební zboží a tak si plasty našli cestu do našich domovů [8, 9].

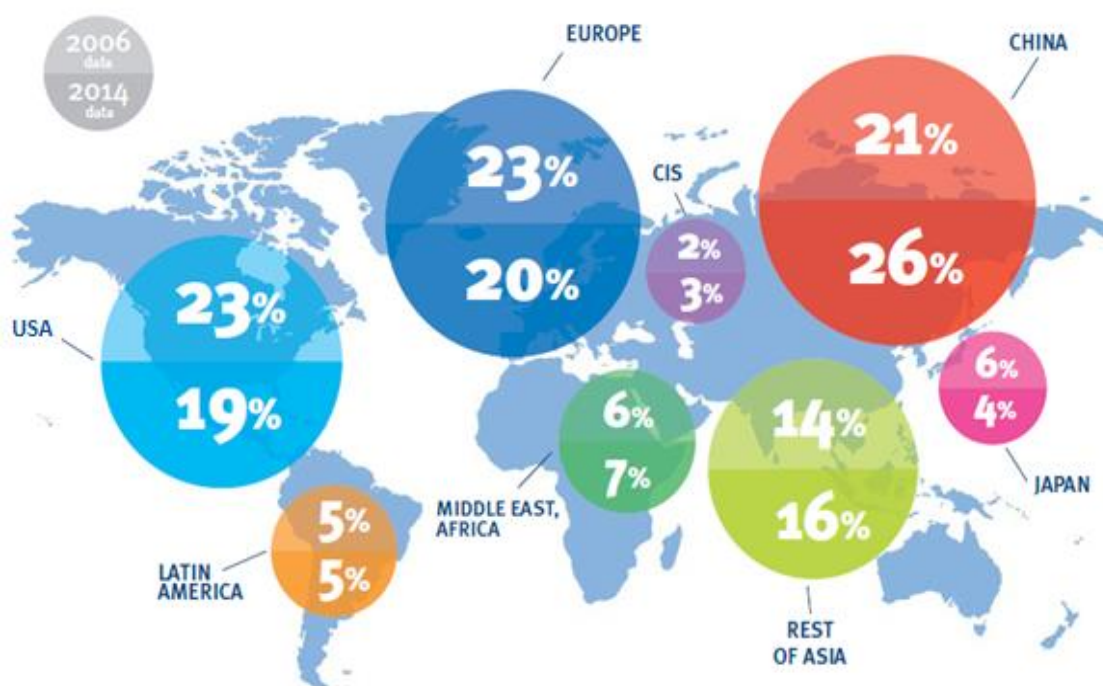
Plasty postupně začaly nahrazovat a stále více nahrazují materiály, jako je dřevo, sklo, různé druhy kovů, papír nebo kůži. Mezi jejich přednosti lze uvést větší pevnost, odolnost proti korozi, lehkost, trvanlivost, tvárnost a lepší izolační vlastnosti. Jejich použití je obrovské a můžeme je najít jak v domácnosti, v lékařství, v průmyslu (automobilový, strojní, chemický) tak i ve stavebnictví [10].

Ve stavebnictví se polymery používají nejčastěji ve formě hydroizolačních folií, na potrubní systémy (odpadové, splaškové, rozvod pitné vody), jako okenní profily a dveře, pro izolaci a pro rozvod plynu nebo elektřiny. Izolační materiál se používá na izolaci tepla, zvuku nebo vlhkosti. Izolaci můžeme použít do základů domu, nebo na zateplení střechy, a také na venkovní zateplení domu. Spotřeba polymerů tedy ve stavebnictví roste. Faktory, které přispívají ke zrychlujícímu se používání plastového materiálu, jsou nízké náklady ve srovnání s běžnými materiály, mají snadnou instalaci, podstatně menší hmotnost, jsou pevnější, nebo naopak ohebnější, tvárnější, nepromokavé, atd.

Ve své podstatě můžeme říci, že žijeme v době polymerní [8, 9].

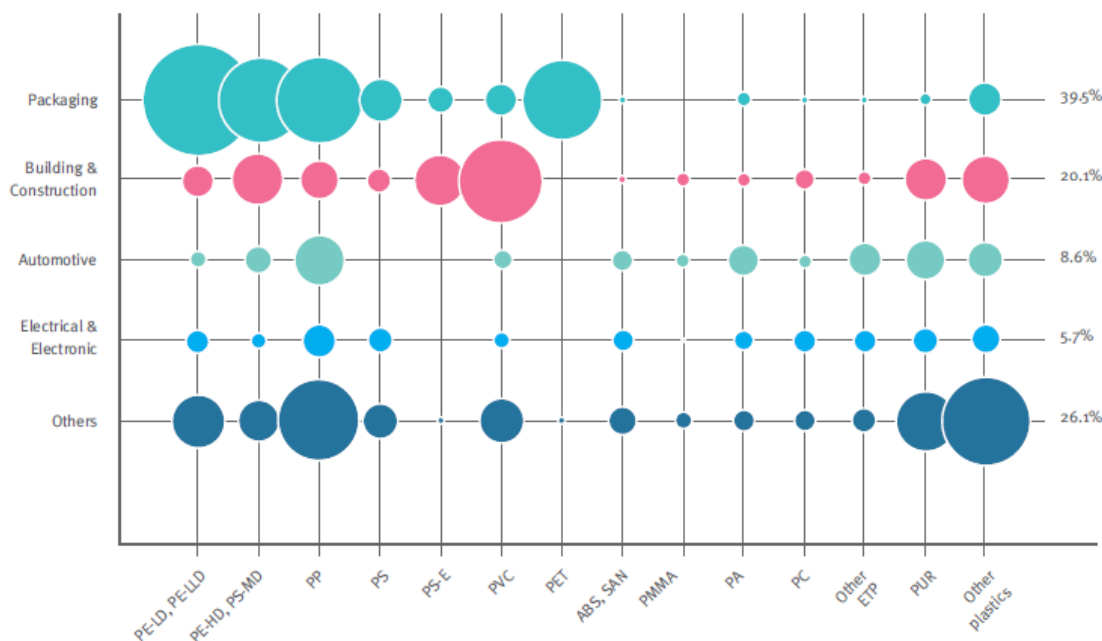
## 1.1 Produkce plastů ve světě i v EU

V bilanci pro rok 2014 se světová produkce plastů opět zvýšila a konečné číslo je 311 milionů tun. Stejně jako v předcházejícím roce je největším výrobcem Čína, přestože následný graf zahrnuje pouze termoplasty a polyuretany, které dohromady čítají 260 milionů vyrobených tun. Na obrázku 1 je porovnání dat mezi lety 2006 a 2014, sledované oblasti jsou Evropa, Čína, USA, Latinská Amerika, Středovýchodní Afrika, ostatní země Asie a Japonsko. [12].



Obr. 1: Celosvětová produkce plastů 2014 [12].

Obrázek 2 znázorňuje graf s produkcí polymerů v jednotlivých odvětvích. V Evropě představují obalové aplikace největší odvětví plastikářského průmyslu a představují 39,5% z celého trhu. Druhým největším odvětvím jsou aplikace, které zahrnují spotřební a domácí zařízení, nábytek, sport, zdraví a bezpečnost. Jako třetí, pro nás nejdůležitější, zaujímá místo stavební průmysl s celkovou produkcí 20,1%. Následuje automobilismus, elektroinženýrství a poslední je zemědělství [12].



Obr. 2: Používané polymery ve vybraných průmyslových odvětvích [12].

Jak je z obrázku 2 patrné, poptávka je hlavně po PVC, PE vysoko (HD) a středněhustotní (MD), dále pak zpeňovatelný PS (PS-E), polyuretany (PUR), v menší míře ale i kopolymery akrylonitril- butadien- styren (ABS) a styren- akrylonitril (SAN), polyamidy (PA) a po ostatních polymerech.

## 1.2 Situace plastických hmot v České republice

Plastikářský průmysl v České republice prožívá v posledních zhruba 10 letech nebývalý rozvoj a jeho postavení se v rámci domácího zpracovatelského průmyslu neustále upevňuje. Během této doby na náš trh vstoupil zahraniční kapitál a desítkám firem byly poskytnuty investiční pobídky, díky kterým se toto odvětví rozvíjelo a stabilizovalo. Význam odvětví ještě vzrostl díky těsné vazbě na dynamicky se rozvíjející automobilový, elektrotechnický průmysl a stavebnictví. Tempo růstu výroby plastů u nás roste ročně ve vazbě na růst výroby ve výše uvedených odvětvích. Jeho perspektiva je dále posilována dobrou surovinovou základnou, širokými dodavatelskými vazbami s navazujícími průmyslovými segmenty, dosavadní nízkou spotřebou plastů na obyvatele v porovnání se zeměmi západní Evropy, i rostoucí konkurenceschopností domácích výrobců díky přílivu špičkových technologií. Problémem ČR je omezený sortiment z výroby plastů pouze na tzv. komoditní typy: PE, PP, PVC a PS (PS-E). Některé z těchto plastů nemají šanci na další rozvoj (nízká kapacita,

ekologie, zastaralost technologií), budou postupně odstavovány (např. PVC). Rozvíjet je nutno kompaundování k přípravě plastů šitých na míru na požadavky zákazníků. Takto by mělo v ČR působit cca 40 malých a středních firem [13].

Český statistický úřad (ČSÚ) neviduje výrobu veškeré produkce plastů, pouze vybraných. Bohužel některé uvedené údaje není možné zveřejnit z důvodu ochrany individuálních dat (i. d.- viz. tabulka 1). I přes neúplné údaje můžeme říct, že i nadále výroba plastů v ČR roste [14].

Tabulka 1: Výroba polymerů sledována ČSÚ [14].

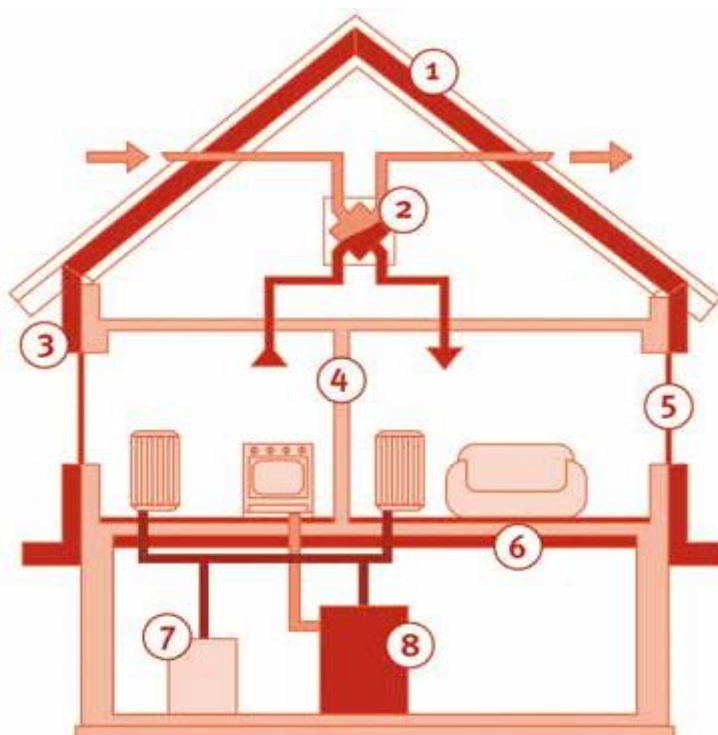
Polymer/ rok výroby	2012 [tuna]	2013 [tuna]	2014 [tuna]
PVC neměkčený smíšený	i. d.	843	i. d.
PP	82 272	77 888	101 589
PP a ostatní olefiny	234 023	237 198	i. d.
PA (-6, -11, -12, -6,6, -6,9, -6.10, nebo -6.12)	i. d.	320	i. d.
PUR	14 287	14 740	13 670

Zajímavým údajem, nebo spíše porovnáním je zpracování dat ČSÚ ve vývoji produkce vybraných komodit od roku 1993. Tabulka č. 2 popisuje sledování komodit od roku 2010.

Tabulka 2: Vývoj produkce vybraných komodit od roku 2010 v tunách [14].

Produkt[tis t]/Rok	2010	2011	2012	2013	2014
Desky, listy, filmy, fólie a pásy z plastů, nevzduščené	245716	266735	268090	276619	290670
Trouby, trubky a hadice, neohebné	37 193	40 860	51 780	43 502	50 905
Pytle a sáčky z polymerů etylenu, včetně kornoutů	27 805	28 172	28 853	27 219	29 599
Dveřní a okenní rámy, zárubně a prahy [tis. ks]	3 312	3 464	1 921	2 041	1 671

Hluběji sledovaná produkce plastů se zavedla od roku 1993. V tomto roce byla produkce u desek, listů a fólií (nevyztužených) 62 605 t, trouby, trubky a hadice (neohebné) začaly na čísle 10 125 t, pytle a sáčky měly 5 535 t, dveřní a okenní profily i s rámy a prahy byly spočteny na 11 620 t. Změna nastala až mezi roky 2007 a 2008, kdy se přestala sledovat produkce profilů v tunách a začala se počítat na kusy. V roce 2007 tento údaj dosáhl v tunách čísla 122 286, z toho vyplývá, že za posledních 13 let se produkce zvedla desetkrát. O rok později se zavedlo sčítání počtu kusů a konečné číslo dosáhlo 6 536 tisíc kusů. I když jsou použité údaje v tabulce od roku 2010, lze i přesto krásně vidět, že produkce plastových výrobků, a tudíž i jejich spotřeba, opět roste i v České republice. Statistické údaje pro rok 2015 budou zveřejněny až v září letošního roku i pro celosvětovou produkci [14].



### Použití plastických hmot

1. Střešní izolace
2. Ventilace (plastové potrubí)
3. Vnější fasádní izolace
4. Vnitřní izolace
5. Trojitá skleněná plastová okna
6. Sklepní izolace
7. Topný systém (plastové potrubí)
8. Palivový člunek

Obr. 3: Příklad aplikací použitelných pro stavbu [12]

## **2 POŽADAVKY KLADENÉ NA POLYMERNÍ MATERIÁLY VE STAVEBNICTVÍ**

Existují určité obecné faktory, které ovlivňují správnou volbu materiálu pro konkrétní stavbu. Nejdůležitějším z nich je klimatické podnebí. Během roku se mění klimatické podmínky a také je rozdíl podnebí v různých částech světa. Dalším důležitým aspektem je ekonomický podíl při výběru materiálů. Rychlý postup konstrukčních metod, změny při zavedení mechanických nástrojů a změny v organizaci ve stavebnictví mohou citelně ovlivnit volbu materiálu. Vzhledem k velké rozmanitosti využívání budov a zařízení je kladeno velké množství požadavků na stavební materiál a volá se po velmi širokém spektru jejich vlastností jako např. pevnost při nízkých a vysokých teplotách, odolnost proti obyčejné a mořské vodě nebo žíravinám, minimální opotřebení nebo nadměrné zatížení. Stejně požadavky jsou kladeny na materiál pro interiér, jeho výzdobu, do zahrad či parků. Vzhledem ke svému každodennímu účelu by měl být materiál vizuálně i na dotek příjemný, odolný a pevný. K předurčení a upřednostnění jejich aplikací slouží hlavní vlastnosti a pouze komplexní znalosti umožňují tu správnou volbu pro konkrétní provozní podmínky. S vývojem nových materiálů a jejich udržení na standardní úrovni musí stavebnictví držet krok s novým materiálem, zlepšit výrobní techniku jak v ekonomické sféře, tak ji udržet i na kvalitativní úrovni a mít zajištěné dostatečné množství [15].

### **2.1 Fyzikální vlastnosti**

Stavební materiál charakterizují fyzikální vlastnosti, na kterých je závislá celá řada dalších vlastností. Zahrnují také kvalitativní popis výrobku. Dnes jsou všechny veličiny tabelovány a tento systém umožňuje lepší orientaci při kladení odlišných nároků na materiál. Proto můžeme předem vybrat vhodný a kvalitní materiál [15].

Charakterizují je:

- Tvarový rozměr,
- Objemová a měrná hmotnost,
- Hutnost,
- Pórovitost a mezerovitost,
- Vlhkost a nasákavost,
- Navlhavost a vysychavost,



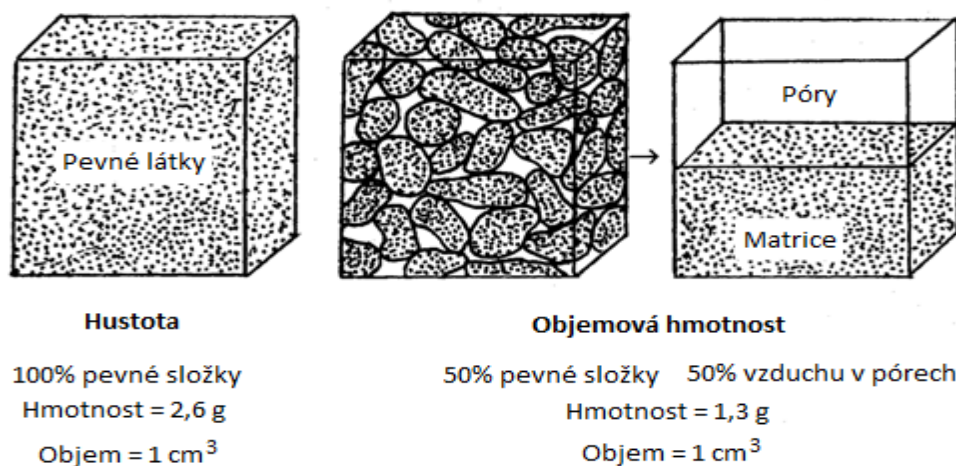
- Difúze a propustnost.

### 2.1.1 Tvarový rozměr

**Tvarový rozměr** popisuje vizuální stav výrobku, případně jeho dodržení, doplněný číselnými hodnotami s příslušnou veličinou (délka, tloušťka, nebo plocha), př. plotna polystyrenu k zateplení, odpadní potrubí z polyvinylchloridu nebo hydroizolační fólie z vysokohustotního polyetyleny [20].

### 2.1.2 Objemová a měrná hmotnost

Definice **objemové hmotnosti** je poměr hmotnosti vzorku k celkovému objemu vzorku materiálu včetně pórů, mezer i dutin. Naopak definicí **měrné hmotnosti** se rozumí poměr hmotnosti vzorku bez pórů, mezer i dutin, čili pouze vlastní látka. Měrnou hmotnost nazýváme také hustotou, charakterizuje pevné látky a kapaliny. U objemové hmotnosti musíme udávat, za jakých podmínek byla stanovena. Pokud nejsou udány, předpokládá se, že byla stanovena ve vysušeném stavu. Navíc pórovitost materiálu ovlivňuje odolnost vůči krystalizaci solí, odolnost vůči mrazovým cyklům a také pevnost. Tato veličina je důležitá pro charakteristiku stavebních materiálů nejenom z hlediska tíhových, ale i v souvislosti s řadou tepelně-fyzikálních veličin (tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita) a akustických veličin. Příkladem může být rozdíl při způsobu zpracování plastu, kompaktní forma bude mít větší měrnou hmotnost, než jeho pěnová forma. U sypkých látek se navíc zavedla objemová hmotnost sypná. Ta se ještě dělí na stav volně sypný anebo stav setřesný, který je udusaný, zhutněný, tedy s co nejmenším množstvím děr [16, 19, 20].



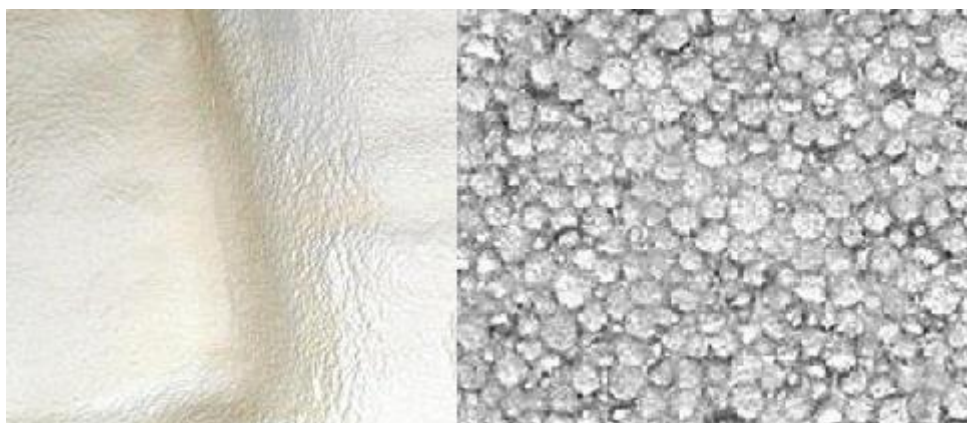
Obr. 4: Rozdíl hustoty a objemové hmotnosti [16].

### 2.1.3 Hutnost

**Hutností** stavebniny je stupeň vyplnění objemu určitého materiálu pevnou látkou. Lze ji definovat pouze u pevných látek a vyjadřujeme ji jako poměr objemu pevné fáze k celkovému objemu či poměr objemové hmotnosti k hustotě. Udává se v procentech nebo jako bezrozměrné číslo [17, 19].

### 2.1.4 Pórovitost

**Pórovitost**, tj. poměr objemu dutin k celkovému objemu materiálu, se dělí na pórovitost otevřenou a uzavřenou. Otevřenou pórovitost charakterizují póry spojené s povrchem látky či materiálu. Vznikají při úniku plynů během výroby (lehčené materiály), nebo postupným odpařováním vody z materiálu (beton). Otevřené póry přímo ovlivňují navlhavost a vysychavost, schopnost difúze kapalin a plynů, zvukově izolační vlastnosti (pohlcují zvuk), tepelně izolační vlastnosti (vést a akumulovat teplo) aj. Naopak uzavřená zahrnuje póry nespojené s povrchem, pevná fáze vytváří pevné přepážky. Vzniká při záměrném provzdušnění (provzdušňovací přísada v betonu - lehké betony) anebo napěněním (tuhá pěna pěnového polystyrenu). Tyto póry neumožňují přijímat vzdušnou vlhkost do objemu materiálu. Součástí může být i určení velikosti a tvaru pórů [17, 19, 20].



Obr. 5: Příklady pórovitosti materiálu: vlevo - stříkaná polyuretanová pěna; vpravo - zpěnovatelný polystyren [43, 44]

### 2.1.5 Mezerovitost

Na rozdíl od pórovitosti je však **mezerovitost** vlastností sypaných látek a vyjadřuje poměr objemu mezer mezi zrny k celkovému objemu určitého množství sypané látky. Další rozdíl mezi těmito dvěma vlastnostmi je ten, že výsledné číslo není konstantní ale proměnnou v závislosti, zdali je vzorek volně sypaný nebo ztuhlý [17, 19,].

### 2.1.6 Vlhkost

**Vlhkost** udává množství volné nebo fyzikálně vázané vody v látce. Je to poměr množství vody k množství suché látky. Množstvím se rozumí objem nebo hmotnost, a proto se určuje vlhkost hmotnostní nebo objemová. Je to proměnlivá veličina závislá na vlastnostech materiálu a udává aktuální stav pórů zaplněných vodou, např. se vzrůstající vlhkostí stoupá objemová vlhkost. Určujeme vlhkost:

- Přírozenou (vlhkost materiálu při těžbě),
- Počáteční (např. ihned po výrobě),
- Skladovací (udržovaná vlhkost materiálu ve skladu),
- Trvalou (např. vlhkost materiálu zabudovaného ve stavbě).

U trvalé vlhkosti se udává tzv. kritická vlhkost. Tato hodnota je maximální přípustná vlhkost materiálu, kdy se po jejím překročení podstatně mění vlastnosti materiálu a je nevhodný pro použití z hlediska bezpečnosti. Vlhkost se udává v procentech [16, 19, 20].

### 2.1.7 Nasákavost

**Nasákavost** je maximální stav vlhkosti, vyjadřuje se stejným poměrem a stejně tak se určuje objemová a hmotnostní. Objemová nasákavost může dosáhnout 100%, ale hmotnostní může u látek lehčích jako voda toto číslo překročit. Přepokládá se, že nasáklá kapalina (nejčastěji voda) s materiálem nereaguje chemicky, a ani nezpůsobuje fyzikální změny (bobtnání). Závisí na struktuře látky, tj. na otevřené nebo uzavřené pórovitosti, viskozitě vody a době působení [16, 19, 20].

### 2.1.8 Navlhavost a vysychavost

**Navlhavost** (sorpční vlhkost) je druh vlhkosti, kterou mohou materiály přijímat z vlhkého vzduchu. Proces pohlcování probíhá až do rovnovážného stavu vlhkosti a je závislý na teplotě, relativní vlhkosti vzduchu a barometrickém tlaku. Udává se z rozdílu mezi dvěma časovými úseky. Pokud dojde k poklesu vlhkosti okolního prostředí, nastane desorpce, tedy **vysychavost**. Obě veličiny se vyjadřují opět objemově a hmotnostně, jsou závislé na pórovitosti materiálu, velikosti a tvaru pórů [16, 19, 20].

### 2.1.9 Difúze a propustnost

**Difúze** je schopnost pronikání plynu, páry nebo kapaliny do porézního prostoru materiálu. Difúze probíhá z místa s vyšším tlakem do místa nižšího parciálního tlaku. Ve stavebnictví

se nejvíce uplatňuje difúze vodní páry, která je příčinou jejich navlhavosti a vysychavosti a potřebujeme ji znát u těchto materiálů:

- Materiálů bránících pronikání vodní páry (hydroizolační materiál, parozábrany),
- Materiálů pro sanaci vlhkého zdiva (sanační omítky umožňující odvod vlhkosti z konstrukcí systémem pórů),
- Materiálů pro povrchovou úpravu (nátěrové hmoty),
- Materiálů pro současně bránící pronikání vodní páry a plynů z podloží do vnitřního prostoru staveb (protiradonové fólie),
- Pro tepelně-izolační systémy.

K hodnocení difúzních vlastností používáme tyto veličiny:

- Součinitel difúze,
- Faktor difúzního odporu,
- Ekvivalentní součinitel difúze- nehomogenní materiály,
- Ekvivalentní faktor difúzního odporu- nehomogenní materiály,
- Ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu- schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí v závislosti na jeho tloušťce.

**Propustnost** je charakterizovaná součinitelem propustnosti. Technicky se vyjadřuje jako množství kapaliny, která prošla za časovou jednotku vrstvou určité tloušťky při daném přetlaku. Propustnost je způsobena difundující látkou a zároveň látkou pronikající kapilárním systémem, trhlinkami nebo také i většími otevřenými póry. Propustnost je charakteristická spíše pro materiály v oboru mechaniky zemin a ve vodním stavitelství [16, 19, 20].

Vlhkost, nasákavost, navlhavost, vysychavost, difúze a propustnost jsou vlastnosti, které charakterizují stavební materiál, jak je schopný pohlcovat, absorbovat kapalinu (nejčastěji však vodu) nebo plyn i s opačným procesem. Následující obrázek znázorňuje, kterými možnými cestami získá stavba vlhkost nebo vodu do stavebního materiálu. Z toho vyplývá, že vlhkostní vlastnosti jsou jednou z nejdůležitějších vlastností stavebních materiálů a je jim přikládána velká důležitost, protože ovlivňují nároky na celou stavbu. Při nesprávně zvoleném materiálu ve stavbě mohou být zdrojem zbytečných poruch a mohou mít vliv na hygienické parametry, na náklady na vytápění, životnost nebo funkčnost a trvanlivost konstrukce, stavby.



### 2.2.1 Pevnost

**Pevností** se rozumí mezní schopnost materiálu vzdorovat silovým účinkům zatížení. Do pevnosti také zahrnujeme i mez kluzu, jelikož u kovů je rozhodující pro navrhování konstrukcí. Z tohoto vyplývá, že pevnost je nadřazený pojem. Pevnost závisí na způsobu namáhání látky, na tvaru a velikosti zkušebního vzorku, jeho opracování a na rychlosti zatěžování [16, 19, 20].

### 2.2.2 Tvrdost

**Tvrdost** se definuje jako odpor, který materiál uplatňuje proti pronikání zkušebního tělesa. Definice tvrdosti se liší od síly, což představuje odolnost materiálu proti deformaci. Tvrdost je měřítkem vlastností obrušování materiálu. Tvrdost ovlivňuje homogenita materiálu, krystalická struktura, lineárnost či spíše prostorové uspořádání molekul, hustota atomů, přidání plniva nebo vyztužení, také pórovitost a nemalou součástí je i teplota a vlhkost látek. Přesto tato definice nespécifikuje jednotnou metodu s jednotnou jednotkou, kterou by se dala tvrdost klasifikovat pro všechny typy látek a materiálů. Je možné ji několika odlišnými metodami na základě různých způsobů vyvolání odporu stanovit. Používají se metody vrypové, vnikací a odrazové [19, 20].

Metoda *vrypová* je založena na rýpání do povrchu materiálu jinou látkou. Je to nejstarší metoda a její stupnicí je klasifikace podle Mohse mající deset stupňů tvrdosti 1. mastek, 2. kamenná sůl, 3. vápenec, 4. kazivec, 5. apatit, 6. živec, 7. křemen, 8. topas, 9. korund a 10. diamant [19].

*Vnikací* metody jsou založeny na základě vtlačování přesně definovaného tělíska (např. kulička, jehlan, kužel, a jiné) určitou silou. Tento typ metody se používá hlavně pro stanovení tvrdosti stavebních materiálů, patří sem např. metoda podle Vickerse (diamantový jehlan- HV), podle Brinella (kalená kuličková ocel- HB), nebo Rockwella (diamantový kužel- HRC), aj. Podle zvolené metody se hodnota tvrdosti buď odečítá na stupnici tvrdoměrného přístroje, nebo přepočítává přes vynaložený tlak (jeho desetinu v MPa) vrypující části na plochu a udává se za písmennou zkratku. Např. pro stanovení tvrdých plastických hmot se používá metoda podle Brinella a pro měření tvrdosti betonu se používá upravené POLDI kladívko podle Waitzmannova. Jde o metodu měření tvrdosti úderem kladívka současně do zkoušeného materiálu a do standardní tyčinky POLDI, kde vtiskovaná kulička je na rozhraní obou materiálů. U Waitzmannova vylepšení je kladívko navíc opatřeno nástavcem pro větší kuličku [19].

Podstatou metod *odrazových* je hodnota odskoku definovaného tělíska spuštěného z určité výšky nebo vrženého definovanou rychlostí od povrchu měřeného materiálu. Tato metoda se používá ke zkoušení tvrdosti betonu tzv. Schmidtovým tvrdoměrem [19].

### 2.2.3 Deformační vlastnosti

Tyto vlastnosti souvisí s působením tlaku na materiál, ať už vnějším nebo vnitřním působením. Deformace mohou být pružné (vratné) a nepružné (trvalé) a může jimi docházet ke strukturálním změnám. Deformační vlastnosti jsou spíše ukazatelem, jakou bezpečnost jsou nám schopny poskytnout [16, 19].

## 2.3 Chemické vlastnosti

Hlavní faktory ovlivňující tyto vlastnosti jsou chemické složení a vzájemné působení materiálu a okolního prostředí. Stavební materiál může příznivě nebo negativně ovlivňovat okolí a to i s možným dlouhodobým účinkem. Může zatěžovat svými vlastnostmi životní prostředí. Dále může způsobovat pomocí chemické reakce i částečnou afinitu vůči jinému materiálu a zvyšovat nebo snižovat svou kompatibilitu. A také určují, jak se bude chovat za zhoršených podmínek, ty se budou projevovat jako zrání, koroze nebo stárnutí [16, 19, 20].

Mezi chemické vlastnosti můžeme zařadit:

- Chemickou stabilitu materiálů,
- Korozi.

### 2.3.1 Chemická stabilita

**Chemickou stabilitou** se rozumí to, že pod vlivem okolních podmínek a prostředků, s nimi nebude stavební materiál reagovat tak, aby přešel do své stabilnější formy [19].

### 2.3.2 Koroze

**Koroze** probíhá v různém prostředí a vlivem korozivních dějů materiál degraduje, narušuje svou povrchovou strukturu a oslabuje se. Korozi podléhají všechny materiály, plasty nevyjímaje. U plastických hmot dochází k degradaci působením světelného záření, teploty, vzdušného kyslíku aj [16, 20].

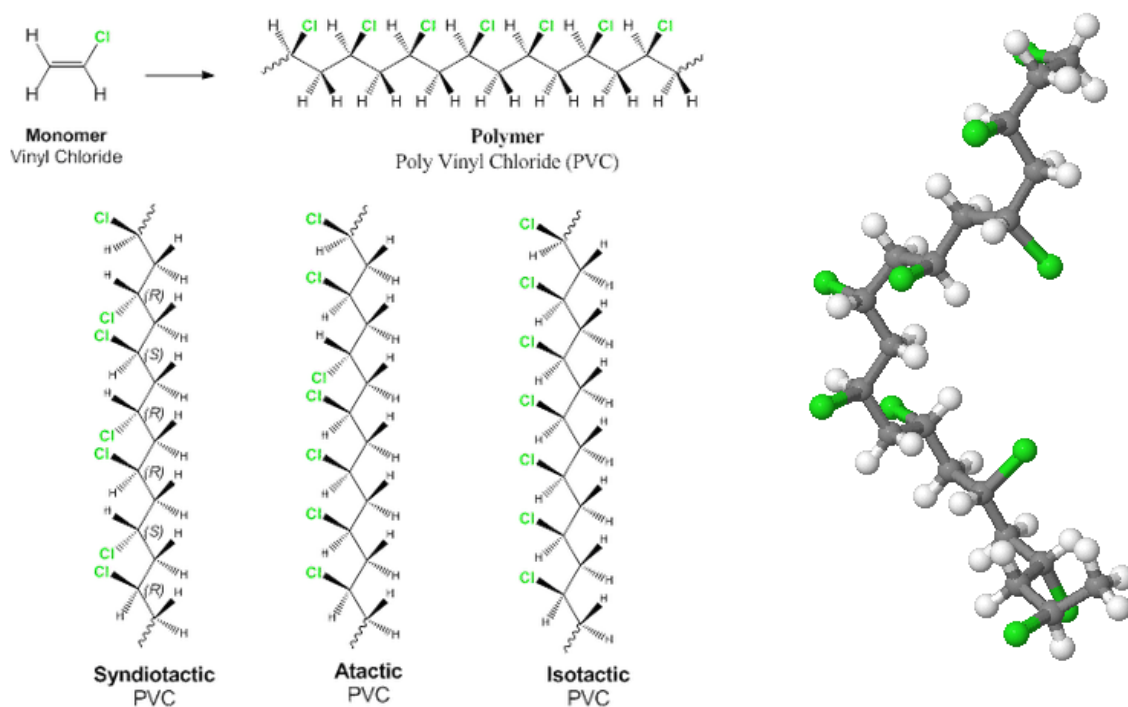
### 3 POLYMERNÍ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ VE STAVEBNICTVÍ

O plastických materiálech internetový portál PlastiscEurope každý rok získává data z Evropské unie i celého světa a bilancuje jejich použití, spotřebu a recyklaci. I pro rok 2014 statisticky vyhodnotil nejpoužívanější polymery ve stavebnictví a v porovnání s ostatními roky je preference polymerů ve stavebnictví stále stejná. První příčku si stále drží PVC, následuje PS-E, dalšími jsou PE-HD a PE-MD a dále PUR [12].

#### 3.1 Polyvinylchlorid (PVC)

##### 3.1.1 Vlastnosti

Polyvinylchlorid je amorfní termoplast, je odolný, lehký, silný, ohnivzdorný, s vynikajícími izolačními vlastnostmi a nízkou propustností. PVC se těžko zpracovává a proto je potřeba přidávat různé stabilizátory, změkčovadla, maziva, plniva, pigmenty, retardéry hoření, bělidla, nadouvadla a modifikátory rázové houževnatosti.



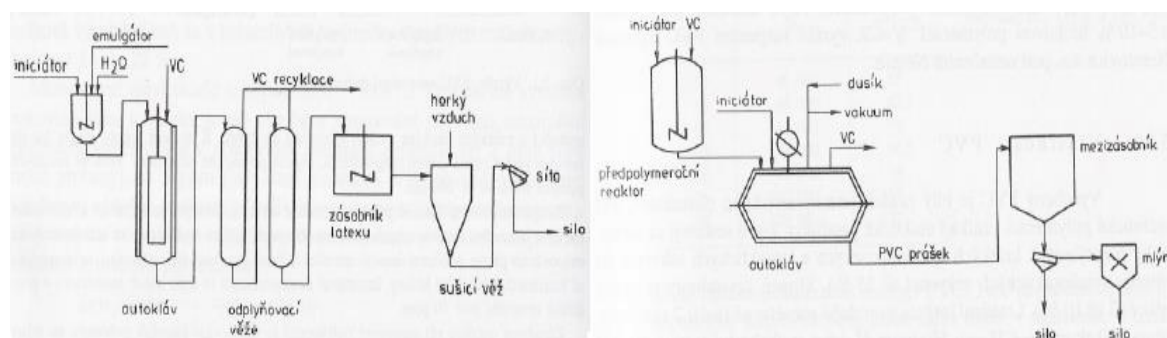
Obr. 7: Prostorové uspořádání PVC [23].



Vyrobený PVC je bílý prášek. Dlouhodobě vydrží teplotu 60-65°C, okolo 80°C měkne a zahřátím nad 100°C se zvolna začíná rozkládat za odštěpování chlorovodíku (HCl). Nad teplotu 160°C je odštěpování HCl už velmi rychlé, a proto je vhodné používat stabilizátory. Vlastnosti závisí na viskozitě PVC, která se označuje tzv. K- hodnotou. Tato hodnota rozděluje PVC na tvrdý typ (K=56-65) a měkčený typ (K=65-80). Čím vyšší je tato hodnota, tím jsou vyšší mechanické vlastnosti, ale hůře se zpracovává. Tvrdý PVC je znám pod pojmem NOVODUR a měkčený pod názvem NOVOPLAST. Prostorové uspořádání PVC s polymerační reakcí je na obrázku 7 [21].

### 3.1.2 Výroba PVC

Způsobů výroby PVC je několik, buď emulzní, suspenzní nebo bloková s radikálovým mechanismem. V současné době se používají peroxidy (peroxydikarbonáty, acetyl cyklohexylsulfonil peroxid) jako iniciátory. Emulzní a suspenzní polymerace mají podobný průběh. Suspenzní polymerace se provádí zahříváním (45-75°C) a míchá se, aby se udržel ve vodě rozptýlený monomer. Probíhá v inertní atmosféře a tlaku do 1,4 MPa. Z produktu se odstraní voda a zbaví se monomeru. Získaný polymer má celkem vysokou čistotu. Bloková polymerace probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni se provede konverze monomeru do 10%, ve druhém stupni se ke směsi přidá nízkoteplotní iniciátor pro zachování nízké teploty, tj. do 20°C, a za použití míchadel se provede konečná konverze až do 85%. Současně se odvádí teplo i přes stěnu reaktoru chladícími plášti, dříve byl odvod tepla u tohoto procesu největší problém. Výhodou je, že získáme velmi čistý produkt a můžeme touto technologií ovlivňovat velikost zrn. Prozatím je majoritní výroba PVC založena na suspenzní polymeraci a s touto polymerací docílíme vyšší čistoty než u polymerace emulzní. Na obrázku 8 je schéma výroby [11, 21, 22].



Obr. 8: Příklad výroby PVC; vpravo- emulzní výroba; vlevo- kontinuální bloková do neúplné konverze [21]

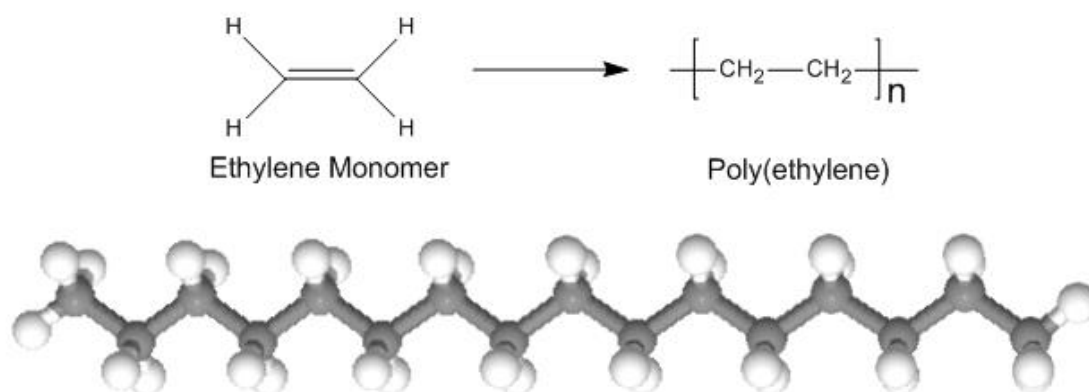
### 3.1.3 Stabilizátory

Aby se neodštěpoval HCl, musíme použít stabilizátory. Jejich mechanismus funguje jako akceptor HCl, jako antioxidant, absorbér UV- záření nebo tak, že se vážou na dvojnou vazbu vzniklou odštěpením HCl. Jsou anorganického i organického typu. Příkladem organického typu jsou např. dibutylcindilaurát, kovová mýdla Ba, Ca nebo Zn, nebo organické dusíkaté sloučeniny. Dále se používají tzv. *kostabilizátory*, mezi které patří organofosfáty (trialkylfenylfosfit), epoxidované butylestery sojových mastných kyselin nebo epoxidovaný sojový olej. Tyto epoxidované produkty zároveň slouží jako změkčovadla. Použití stabilizátorů a kostabilizátorů je nezbytné při výrobě PVC. Kromě tepelných stabilizátorů je také nutné používat látky na ochranu proti slunečnímu záření, používají se modifikované benzofenony a benzotriazoly. Pro zpracování tvrdého PVC je potřeba maziv, docílí se přesnějšího tvarování, např. steran vápenatý, glycerylestery, oleje, parafíny a jiné [8, 21, 22].

## 3.2 Polyetylen (PE)

### 3.2.1 Vlastnosti

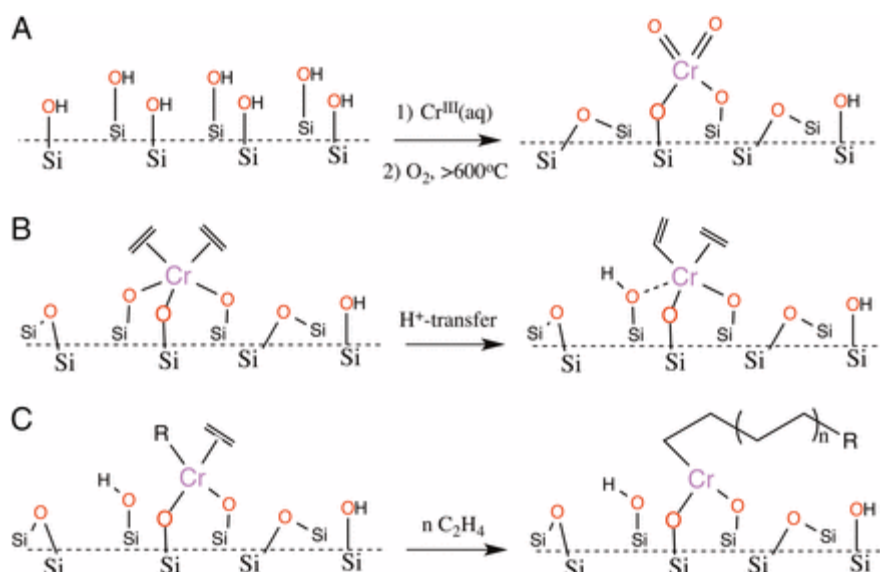
Základní strukturou polyetyleny je uhlovodíkový řetězec, který nenesé žádný substituent. Je to tuhá látka, ohebná, elastická a v tenké vrstvě téměř průhledná. Polyetylen se vyrábí ve dvou základních formách: nízko- hustotní (low-density polyethylene- PE-LD) a vysoko- hustotní (high-density- PE-HD). Kromě dvou těchto forem se setkáváme ještě s polyetylenem lineárně nízko- hustotním (linear low-density- PE-LLD), s polyetylenem s ultravysokou molekulární hmotností (ultra-high molecular-weight- PE-UHMW) a s polyetylenem se střední hustotou (medium-density- PE-MD). Všechny typy mají vysokou krystalinitu, nejvíce však PE-HD a to až 95%. PE-HD má vysokou houževnatost a tažnost, je velmi stálý proti chemickým činidlům, jeho molekuly jsou lineárnější a mezimolekulové síly větší. Omezená je jeho stálost proti oxidačním činidlům a za normální teploty se nerozpouští v žádném rozpouštědle. Polymerační reakce a prostorové uspořádání je znázorněna na obrázku 9 [21, 22].



Obr. 9: Obecná reakce a prostorové uspořádání polyetyleny [25].

### 3.2.2 Výroba PE

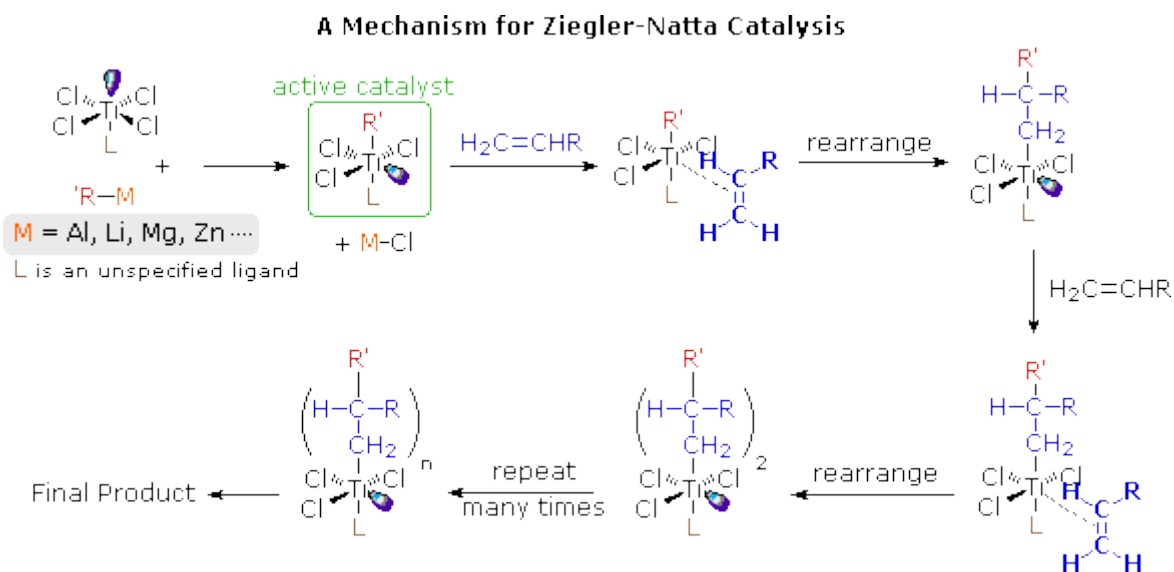
Polyetylen se vyrábí několika způsoby, jejichž výběr závisí na konečném produktu. PE-HD se vyrábí třemi technologickými postupy- roztokovým, suspenzním a v plynné fázi. Dále můžeme polymerní proces dělit podle typu použitých katalytických systémů. Můžeme použít katalyzátory označované Kaminského typu, které poskytují produkty specifických vlastností. Další skupinou jsou katalyzátory vyvinuté firmou Philips, které jsou založeny na bázi chromu naneseném na aluminosilikátovém nosiči ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ).



Obr. 10: Průběh Philipsových katalyzátorů [26]

Nosič, v tomto případě  $\text{SiO}_2$ , se dostane do kontaktu s vodným roztokem sloučeniny chromu (III), následuje oxidace za přítomnosti kyslíku při teplotách 600 až 900°C. Reakce kyslíku při takto vysoké teplotě oxiduje povrchově vázaný chrom na Cr(VI), vznikne tzv. Phillipsův prekurzor katalyzátoru. Chrom se redukuje z VI na III, heterolytickým štěpením vazby C-H se regeneruje organokovový- vinylový- chromový komplex. Rychlým, opakovaným vkládáním etylenu do chrom-oxid  $\sigma$ -vazby to vede k růstu polymerního řetězce. Reakce probíhá jako polyinserce. Jejich mechanismus je znázorněn na obrázku 10, ale jejich opravdový mechanismus je předmětem velkých debat a diskuzí [26].

Nejběžnějším systémem katalyzátorů jsou Ziegler- Nattaovy katalyzátory, jejich mechanismus je znázorněný na obrázku 11.



Obr. 11: Mechanismus Ziegler-Natta katalyzátorů [27]

Jsou to sloučeniny vzniklé z přechodných kovů IV.- VIII. skupiny a organokovových sloučenin I.-III. skupiny periodické tabulky. Příkladem takového katalyzátoru je komplex  $\text{TiCl}_4$ -  $\text{Al-R}_3$ , kde R je alkyl. Na kov katalyzátoru se naváže halogenový atom, uvolní se místo pro alkyl. Vazba se oslabí a rychlým vsunutím se naváže monomer, přesmykne se mezi kov a alkyl a dochází k dalšímu vsunutí a prodlužování řetězce. V konečné fázi se molekula polymeru oddělí [21, 27].

### 1) Suspenzní technologie

Je to srážecí polymerace v rozpouštědle monomeru, v němž je polymer nerozpustný za intenzivního míchání. Teplota polymerace musí být nižší než teplota tání výsledného polymeru. Čím nižší hustota vyrobeného PE-HD, tím nižší musí být reakční teplota. Do reaktoru s míchadlem se přivádí čistý etylen spolu se suspenzí katalyzátoru (Ziegler- Natta) a s čistým rozpouštědlem. Střední molární hmotnost se řídí přidavkem vodíku. Nezareagovaný monomer se recykluje. Suspenze polymeru s katalyzátorem v rozpouštědle je vedena do rozkladného reaktoru, kde se ochladí. Po přidavku alkoholu se katalyzátor rozloží. Vzniklý polymer zbavíme odstředěním zbytku rozpouštědla a katalyzátoru. Propere se vodou, zředěným NaOH pro neutralizaci vzniklé HCl a opět vodou. Po vysušení v sušárnách se granuluje. Touto technologií můžeme připravit PE-HD s velmi vysokou molekulovou hmotností [21].

### 2) Roztokový postup

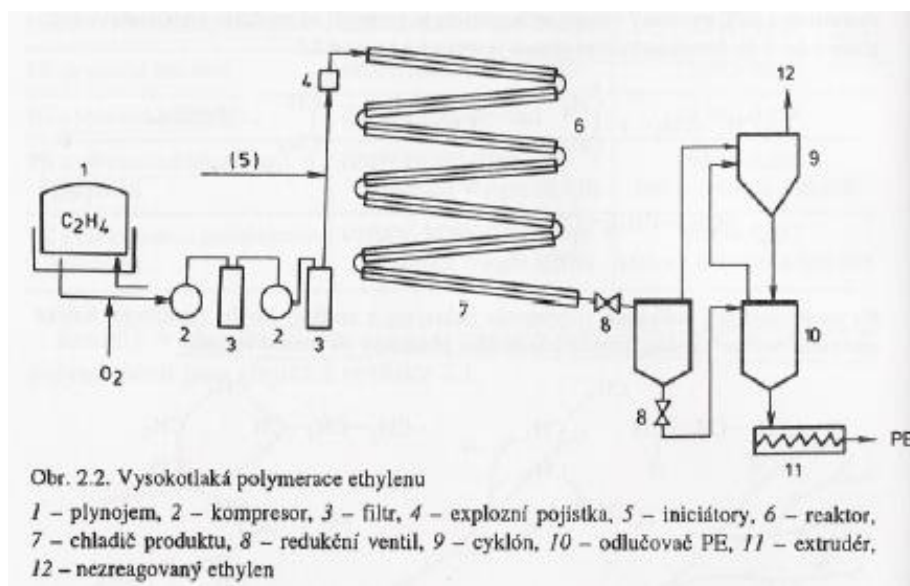
Monomer i polymer jsou rozpuštěny ve společné rozpouštědle v blízkosti bodu tání PE-HD. Teplota je obvykle 150 - 300°C. Tlak závisí na teplotě, typu rozpouštědla, typu komonomeru a samozřejmě na konverzi monomeru, pohybuje se v rozmezí 0,3 - 20MPa. Vyšším tlakem se zabrání separaci fází. Technologie je kontinuální s využitím Ziegler-Nattaových katalyzátorů a H<sub>2</sub> pro regulaci molekulové hmotnosti. Po dobu 10 minut se polymer zdržuje v reaktoru a konverze dosahuje až 95%. Vzniklý roztok obsahuje až 25% polymeru. Katalyzátor je deaktivován a následně odstraněn v absorpční koloně. Rozpouštědlo a monomer jsou recyklovány. Nevýhodou tohoto postupu je, že dosahuje příliš vysokých viskozit, při kterých nelze dosáhnout hodnoty indexu tání nižší než 1 cm/10 min [21].

### 3) Polymerace v plynné fázi

Je nejnovější technologie, při které se používají Philipsovy katalyzátory. Etylen je polymerován ve fluidní vrstvě v plynné fázi bez použití kapalného média. Katalyzátor obsahuje malé množství Al, je vysoce aktivní a nemusí se po polymeraci odstraňovat. Jeho vlastnosti je možno měnit poměrem obsahu Al a Cr, teplotou aktivace (480 - 650°C), druhem chromové sloučeniny a dobou sušení po dekantaci a sušení (12 - 48hod). Polymerace ve fluidní vrstvě probíhá za tlaku 2 MPa a teplotě 85 - 110°C. Práškový polyetylen je vynášen do zásobníků, pneumaticky se dopravuje k homogenizaci. Po přidavku aditiv se granuluje za chlazení proudem vody. Výsledným produktem jsou téměř dokonalé kuličky. Výhodou jsou odpadající problémy s viskozitou nebo s rozpustností, odpadá recyklace rozpouštědel.

Monomerní eten působí jako médium pro přenos tepla a zároveň fluidizuje reakční směs. Nevýhodou je pouhá 2% konverze etenu, na jeden průchod reaktorem a vysoká citlivost katalyzátorů ke katalytickým jedům [21].

Mechanismus výroby PE-LD je radikálový za vysokého tlaku. Je to stará, ale nejvíce používaná technologie. Etylen se stlačí kompresory na tlak 150 – 300 MPa. K reakci se využívají peroxidy nebo jiná oxidační činidla jako iniciátory při teplotě 200°C. Při reakci je uvolňováno značné množství tepla, proto je reaktor opatřen pláštěm s chladícím médiem. Polymerace probíhá v plynné fázi a teplota dosahuje místy až 360°C. Podle různých faktorů ovlivňující výrobu, např. teplota v různých místech reaktoru, koncentrace iniciátorů nebo rychlost průchodu reaktorem, je ovlivněno větvení polymerního řetězce. Konverze je do 35% a zbylý eten je od PE oddělen a následně recyklován. Takto probíhá výroba v tubulárním reaktoru vytvarovaným do různých smyček. Vyroběný polymer je z reaktoru vytlačěn, granuluje se a smíchává s antioxidanty. Příklad této výroby je znázorněn na obrázku 12 [21, 22].



Obr. 12: Tubulární reaktor [21]

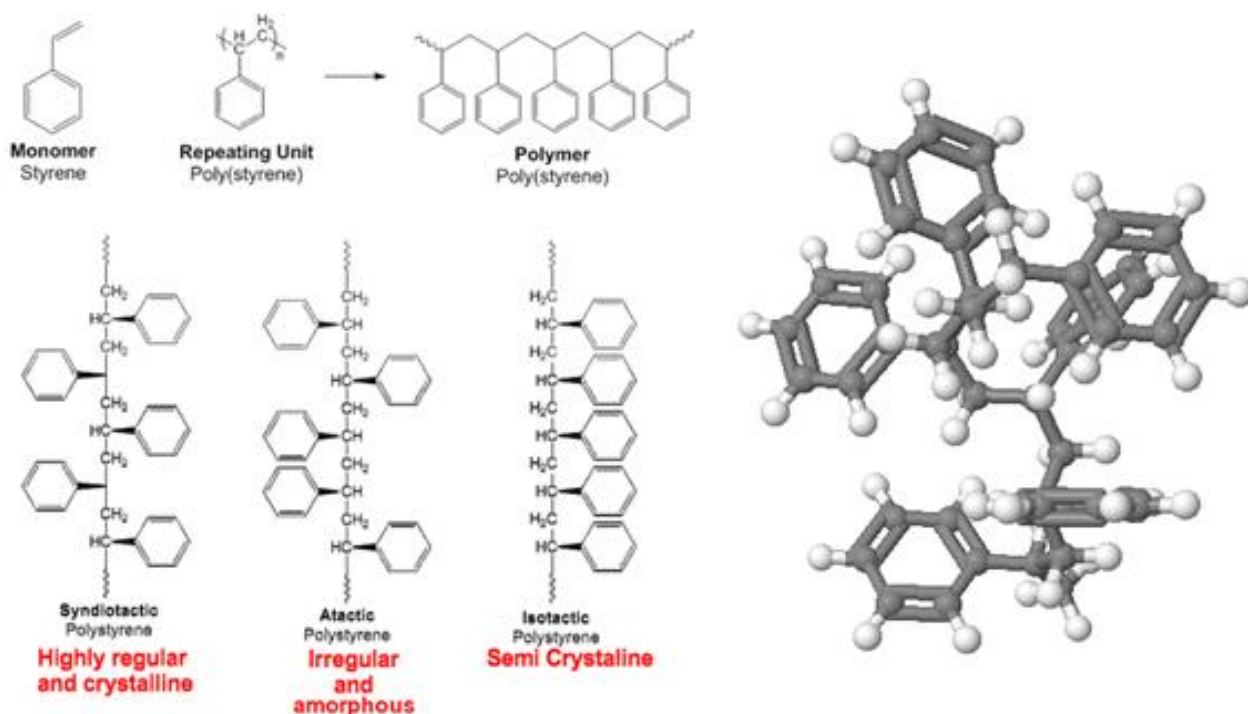
A při výrobě PE-LLD se používá iontová polymerace. Provedení technologie je obdobné jako u výroby PE-HD. Jedná se kopolymeraci a obvykle se používá 1-buten. Tímto me-

chanismem dosáhneme lepších tokových vlastností, ale jeho mechanické zůstávají nezměněné jako u PE-HD.

### 3.3 Polystyren (PS)

#### 3.3.1 Vlastnosti

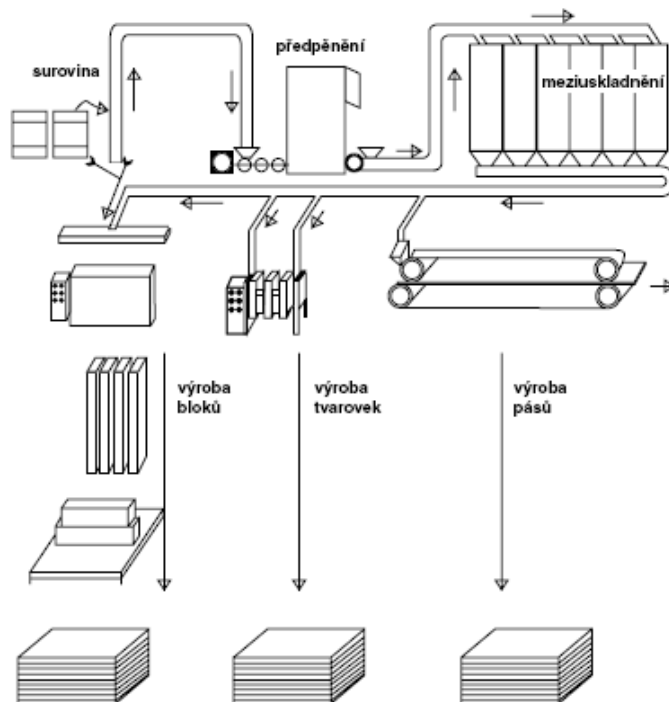
Polystyren je tvrdý, vodojasný (viditelné světlo propouští z 90%), má vysoký lesk a výborné elektroizolační vlastnosti, je odolný vůči vodě, alkoholům a olejům. Pro svou velmi velkou křehkost, je jeho použitelnost v mnoha aplikacích omezená, proto se polystyren modifikuje například akrylonitrilem, butadienem a akrylátem. Není vhodný pro venkovní použití, neodolává oxidaci. Ve stavebnictví se používá hlavně zpěnovatelný (PS-E), který má výborné izolační vlastnosti. Pro svou křehkost nelze použít jako izolaci na podlahu, není samonosný. Na obrázku 13 níže je znázorněna jeho polymerační reakce s prostorovým uspořádáním [8, 21].



Obr. 13: Prostorové uspořádání PS [28].

### 3.3.2 Výroba PS

Monomer styren polymeruje velmi snadno již za normální teploty bez přítomnosti inhibitorů. Během jednoho roku je schopen sám zpolymerovat z 80%. Styren snadno polymeruje a můžeme ho připravit všemi dostupnými polymeracemi, ale na průmyslovou výrobu se používá radikálový mechanismus s technikou suspenzní, emulzní nebo blokovou, záleží na výsledném produktu. Obrázek č. 14 znázorňuje schéma výroby polystyrenu [8,21].

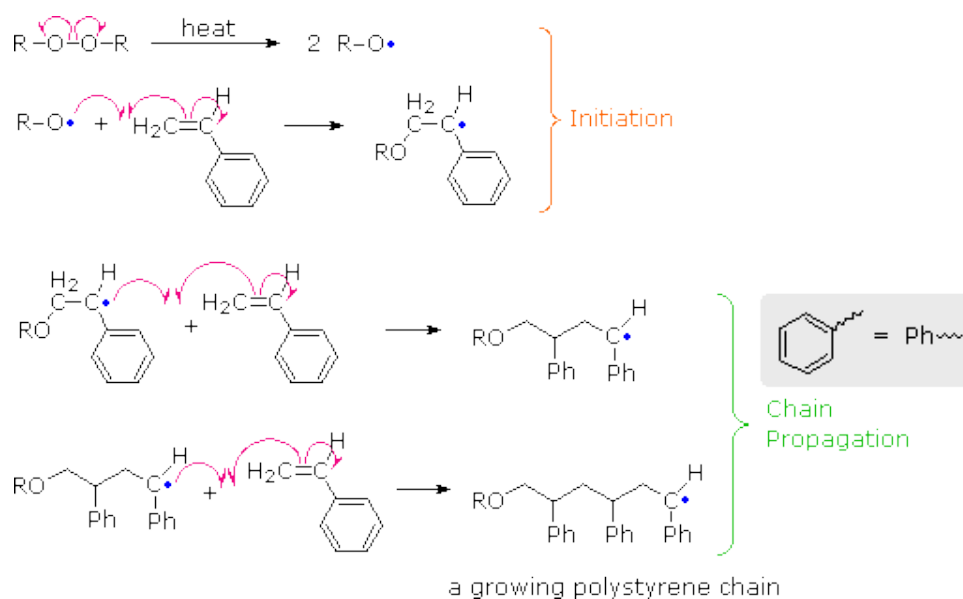


Obr. 14: Schéma výroby PS [39].

Pro výrobu izolačních ploten se používá suspenzní polymerace v přítomnosti těkavých alifatických uhlovodíků, které jsou rozpustné v monomeru, ale nejsou rozpustné v polymeru. Alifatický uhlovodík se používá pentan. Za normálního tlaku je to plyn, proto se polymerace provádí za zvýšeného tlaku. Vlastní polymerace probíhá ve třech krocích:

1. Předpolymerace do konverze 50% při teplotě 80-90°C s organickými rozpouštědly.
2. Stabilizace roztokem PVAL.
3. Tlaková polymerace po přidání pentanu.

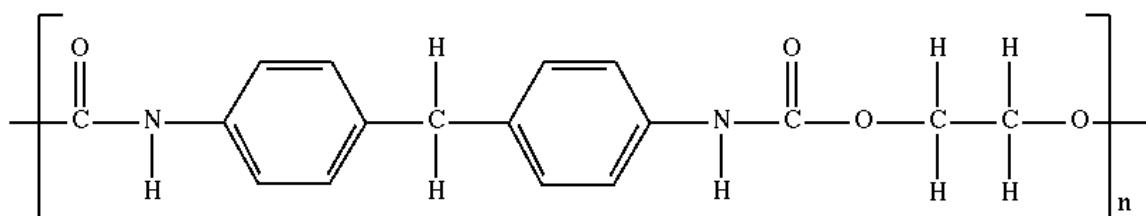




Obr. 15: Polymerace styrenu organickými peroxidy [27].

### 3.4 Polyuretany (PUR)

PUR jsou skupinou heterogenních polymerů, které jsou produktem reakce isokyanátů s hydroxylsloučeninami. Obsahují uretanovou vazbu a mohou být považovány za estery kyseliny karbamové. Při reakci s diolem vzniká lineární PUR, zatímco s polyolem reakce vede k zesíťování. Ureтанová skupina není jedinou funkční skupinou, která se polymerační reakce účastní, je často doprovázena dalšími vedlejšími reakcemi, které přispívají k rozsahu užití polyuretanů. Škála PUR se pohybuje od tuhých termosetových materiálů k měkkým elastomerům. Skládá se ze střídajících tvrdých (polyether, polyester) a měkkých (diisokyanát) segmentů. Podle použití výchozích reakčních látek může docílit různých produktů použitelných k různým aplikacím, např. od lehčených hmot, přes lepidla až k nátěrovým hmotám [22, 29].



Obr. 16: Strukturní vzorec PUR [22]

### 3.4.1 Výroba PUR

Polyuretany se nejčastěji připraví ve dvou stupních. Nejdřív se připraví předpolymer a následuje prodlužování řetězců. Tohoto postupu se běžně používá pro výrobu elastomerního typu. V prvním kroku reaguje diisokyanát s krátkým řetězcem polyeteru nebo polyesteru (např. poly(etylglykoladipát)). Ve druhém kroku se tento produkt prodlouží následnou reakcí s diolem s krátkým řetězcem (např. etylenglykol) nebo s diaminem. Zesíťované systémy mohou být získány použitím multifunkčních monomerů a pro výrobu tuhé a flexibilní pěny se používají polyoly s více než 3 hydroxylovými skupinami. Reakce je katalyzovaná terciálním i aminy nebo organickými sloučeninami cínu. Při výrobě tuhé pěny se používá nadouvadlo, tento efekt vytvoří určené množství vody. Voda reaguje s isokyanátovou skupinou za vzniku nestabilní kyseliny karbamové, která se rozkládá na odpovídající amin a plyn  $\text{CO}_2$ . Uvolněním plynu vznikají bubliny, které prochází matricí za vzniku strukturované pěny [26].

Pro porovnání, v roce 1997 ve Spojených státech byl přijat patent, který se zabývá použitím polyeterpolyolů vhodných pro uretanové pěny připravených společným zahájením vodných roztoků polyhydroxylových iniciátorů. Tento patent se zabývá vhodným hmotnostním složením vody pro konečné použití při různých teplotách [30].



Obr. 17: PUR panel [40]

## 4 POLYMERBETONY

Malty a betony vyráběné z portlandského cementu jsou známy po celém světě více jak 170 let, ale bohužel mají určité nevýhody jako nízkou tahovou pevnost, vysoké smrštění a podobně. Pro snížení těchto nevýhod bylo vyzkoušeno použití polymerů jako pojiv namísto cementu. Průkopníky těchto pokusů představují obecně nazývané polymery modifikované malty, tedy polymercementové malty (PCM) a betony (PCC), které jsou vyráběny modifikací cementových materiálů pomocí latexů, redispersovatelných polymerních prášků, vodou ředitelných polymerů, kapalných pryskyřic a monomerů. I když jsou PCM a PCC průkopníky v použití polymerů, jsou tu ještě další dvě skupiny- betony impregnované polymerem (PIC) a polymerbeton (PC). Mluvíme tedy o kompozitním materiálu, jelikož spojením s polymerem vznikne nový materiál s lepšími vlastnostmi, kterých by každý zvlášť nemohl dosáhnout [30].

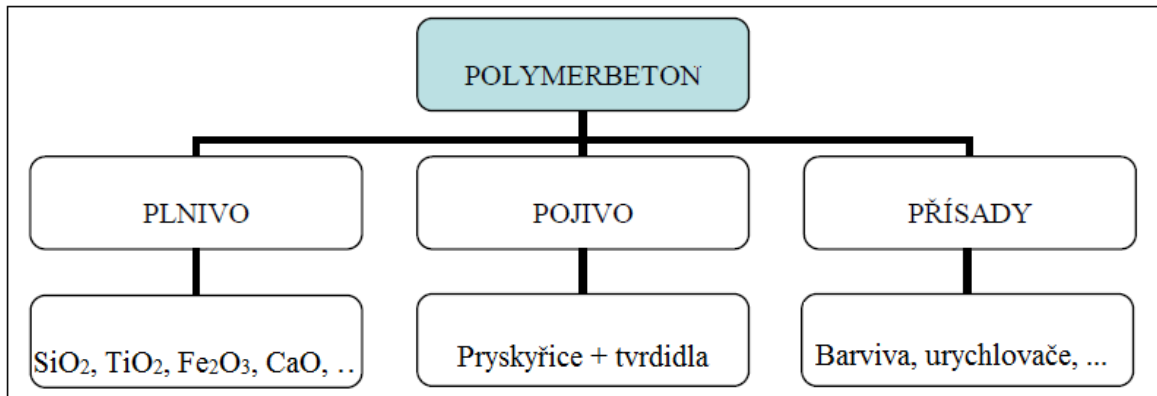
### 4.1 Základní složky polymerbetonu

Princip polymerbetonů je takový, že portlandský cement sloužící jako **pojivo**, se nahradí pojivem z plastických hmot. Používají se zejména pryskyřice:

- epoxidové,
- polyesterové,
- polyuretanové,
- fenolformaldehydové,
- polymethylmetakrylátové aj.

Nejčastěji se používá epoxidová pryskyřice, která vyniká malým objemovým smrštěním po vytvrdnutí (méně jak 5%), ostatní typy pryskyřic vykazují až 12% smrštění. Nedílnou součástí je **plnivo**, které tvoří až 80% celkové směsi. Používá se přírodní materiál ve formě nerostů ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , ...) nebo materiál ve formě skleněných nebo kovových kuliček. Naopak, pro výrobu tzv. lehkých betonů se jako plnivo používá materiál schopný expanze- keramzit. Další složku tvoří **přísady**, mezi které ředíme barviva, látky snižující viskozitu, reaktanty, urychlovače nebo látky usnadňující vyjmutí výrobků z forem. Vhodnou kombinací těchto složek docílíme požadovaných parametrů [32, 33].

Obrázek č. 18 pro lepší přehled znázorňuje složení polymerbetonu.



Obr. 18: Složení polymerbetonu.

## 4.2 Vlastnosti

Nevýhodou klasického betonu je jeho velká míra opotřebení plynoucí z oddělených částic pojiva splených k sobě. Nahrazením pojiva polymerní složkou vznikne v podstatě jeden kus s plnivem uvnitř a předá materiálu nedosažitelné vlastnosti. Mezi jeho přednosti patří vysoká statická i dynamická tuhost, na vysoké úrovni tlumí rázy a chvění (až 8x rychleji než šedá litina), má nízkou teplotní vodivost. Malé vnitřní pnutí a minimální smrštění jsou ideální pro výrobu odlitků s maximální přesností a výsledný produkt se již nemusí obrábět. Je odolný vůči korozi a odolný vůči působení chemických látek, chladících a mazacích kapalin a čisticích prostředků. Vlivem vyplnění pórů polymerem se snižuje jeho absorpce vody a jeho kompaktnost zvyšuje odolnost proti cyklickým výkyvům tepla, kterým běžný beton rychleji podléhá vlivem vyšší pórovitosti povrchové struktury. Přes jeho velkou škálu výborných vlastností, ovlivňuje výběr pojiva jeho nedostatky, s nimiž se musí počítat a také zvyšuje jeho cenu [32, 33].

## 4.3 Výroba

Technologie výroby je velmi důležitá už od prvního kroku, kdy dochází k přesnému nadvákování všech komponent. Ty jsou homogenně smíchány a poté jako tekutý polymerbeton odlity do předem připravených forem a ztuhněny. Dochází k vytvrdnutí a vyjmutí konečného výrobku z forem a případné konečné opracování vyjmutého výrobku. Aby se docílilo kvalitní a opakovatelné směsi, používá se strojové zařízení s automatizací. Výroba je složena z pěti kroků.

1. Dávkování
2. Smíchání

3. Odlít do formy
4. Zhutnění
5. Vytvrzení

**Dávkování** se provádí dávkovacími šneky (pro sypký materiál), dávkovacími čerpadly (tekutý materiál) anebo pomocí přesného gravimetrického vážení. Každá složka má svůj zásobník a podle zvolených požadavků se automaticky nadávkuje. Čím přesnější je dávkování, tím lépe se docílí požadovaných vlastností výsledného produktu s co nejmenším objemovým smrštěním. Na obrázku 19 jsou příklady dávkovacích zařízení i s míchadlem umístěným pod zásobníky [32- 34].



Obr. 19: Příklady dávkovacího a mísícího zařízení [36, 37].

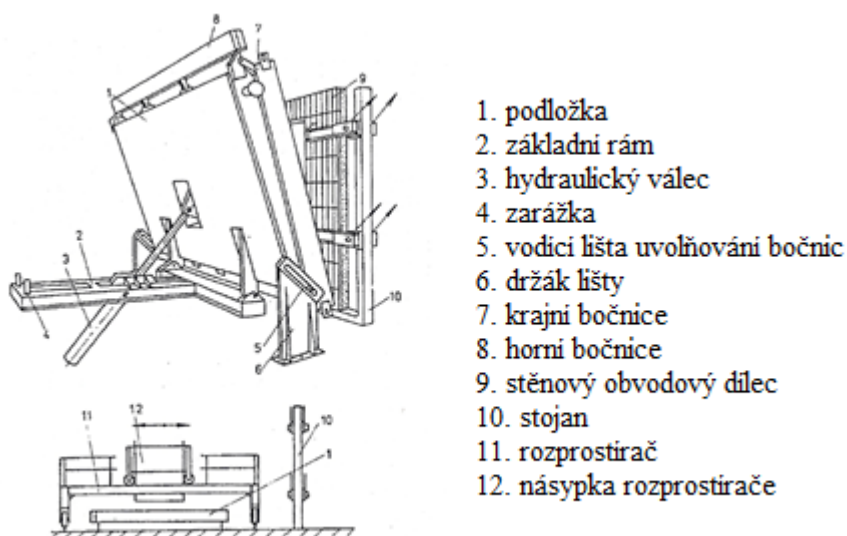
**Smíchání** všech komponent se provádí dvou fázově. První fází je oddělené promíchání plniva různých frakcí podle křivky zrnitosti a promíchání tvrdidla s pryskyřicí a ve druhé fázi dochází ke smísení všech složek na výsledné složení směsi. Je vhodné, aby výchozí směsi byly suché. Pokud toto není zajištěno, musí se brát ohled na možnost změny výsledného materiálu způsobenou vlhkostí. Takto připravený tekutý beton se **odlévá do** předem připravených **forem**, odlévání probíhá ihned po smíchání zpod míchačky anebo licími pánvemi. Je ekonomické odlévat několik výrobků najednou, pokud nejsou nadměrných rozměrů. Odlévání do formy vidíme na obrázku 20 [32- 34].



Obr. 20: Vylévání do formy [35]

**Zhutnění** se používá ke snížení objemu vzduchových pórů, který se mohl zvýšit i během předchozích kroků. Principů k zhutnění se používá několik, ale pro výrobu polymerbetonů se nejvíce osvědčily setřásací stoly a nepřímá (vnější) vibrace. Platí obecné pravidlo, že pro velké a těžké formy se používají malé otáčky s velkou silou a pro lehké a deskové formy je tomu naopak. Při předimenzování vibrací může dojít až k rezonanci částic, nastane turbulentní proudění a naopak dochází k pohlcování vzduchu. V některých případech může pomoci i zvýšení teploty až do 70°C [32- 34].

Při **vytvrzování** dochází k exotermnímu úniku tepla dosahující teplot až 50°C, minimálně po 12 hodinách můžeme odlitek vyjmout a zhruba po 24 hodinách má odlitek požadované vlastnosti a lze jej dodatečně opracovat. Ale další opracování je neefektivní, je ekonomičtější docílit požadovaných vlastností při tvarování formy [32].



Obr. 21: Příklad sklopné formy i s popiskem [34]

Důležitý aspekt v tomto celém procesu je kladen na výrobu forem, zvláště pak na rozměrovou přesnost odlitku, životnost a kompatibilitu. Formy se vyrábí z plastu, dřeva, kovu (hliník, litina, ocel), ale i jejich možnou různou kombinací. Pro menší díly se používá jedna forma s několika odlitky. Formy se ošetřují pro lepší vyjmutí odlitku a také pro hladší a odolnější povrch. Na životnost formy působí zhuťování. Na obrázku 21 na předcházející straně je znázorněn stroj pro výrobu stejných výrobků ve větším množství najednou [32, 34, 35].



Obr. 22: Příklady betonových výrobků [38]

## 5 APLIKACE VYBRANÝCH POLYMERŮ VE STAVEBNICTVÍ

Poptávka po polymerech a jejich použití, jak už ve stavebnictví ale i v jiných oborech, je obrovská. V této kapitole se budeme zabývat konkrétními aplikacemi polymerů ve stavebnictví, zejména pak PVC, PE-HD a PE-MD, PUR pěnou, PS-E, PP a zajímavým se jeví také použití polymeru v betonu (viz kapitola 4).

### 5.1 Polyvinylchlorid (PVC)

Je to druhý nejuniverzálnější a nejpoužívanější plast na světě po polyetylenu, ale podle Evropského sdružení výrobců plastů je ve stavebnictví největší poptávka právě po PVC. Nejvíce se ho ve stavebnictví používá na potrubí pro pitnou a užitkovou vodu, okenní a dveřní profily, podlahové a stěnové krytiny, fólie nebo na opláštění kabelů či k zastřešení. Používá se i jako vložky pro bednění při betonování. Různé použití vychází z jeho schopností být spojován s různými přísadami s různou molekulovou hmotností, jež jsou plasty, které sahají od tuhých až po ohebné. Nejvyšších preferencí dosahuje PVC v Německu, z celé produkce výroby okenních profilů je téměř 43% plastových oken a z toho 70% oken je vyrobených právě z PVC [11, 21, 22, 26].



Obr. 23: Příklady použití PVC [42].

Zhruba polovina světové produkce PVC se používá na výrobu potrubí. Vyrábí se vytlačováním nebo vstřikováním. Volbu pro tento polymer podporuje nízká cena, malá hmotnost a malé nároky na údržbu a spoje se dají jednoduše svařovat nebo lepit. Nevýhodou je, že například uložení potrubního systému musí být kvalitně provedeno, aby nedošlo k podélnému praskání. Další velkou skupinou, kde se hojně používá PVC, jsou okenní a dveřní profily, okapové žlaby nebo venkovní trubky. Pro tuto výrobu se používá houževna-



tý PVC. K polymeru se přidává 10-20% chlorovaného polyetyleny nebo elastomerních akrylátů, aby se zvýšila odolnost, jelikož je materiál vystaven vlivům povětrnostních podmínek. Své místo si PVC našel i ve výrobě podlahovin, střešních krytin a fólií. Linoleum - jak zní označení těchto podlah, známe snad v každé domácnosti. Jsou složeny ze čtyř vrstev - horní je povrchově upravená, druhá je nášlapná s dekorem, třetí je podkladová a čtvrtá je spodní vrstva. Dále je použití PVC vhodné k izolaci elektrických kabelů pro nízké napětí, pro tento účel se používá změkčený druh [21, 22, 45].

## 5.2 PE-HD a PE-MD

Polyetyleny se v celosvětovém měřítku vyrábí nejvíce, ale ve stavebnictví zaujímá druhé místo a to ve formě PE-HD a PE-MD. Používají se i PE-LD a PE-LLD, ale jejich poptávka je daleko menší. Ve stavebnictví slouží hlavně k výrobě potrubí a izolaci kabelů, viz obr. 21 [12].



Obr. 24: Příklad použití PE [46].

Stále více se do popředí dostávají PE-MD trubky, i proto je PE-MD zahrnut spolu s PE-HD na druhé místo v poptávce polymerů ve stavebnictví. Jedná se o dvouvrstvou koextrudovanou trubku. Základem je princip vrstveného materiálu, který je složen ze dvou typů vrstev různě silných a dvou typů PE. Silnější (vnější) vrstva je ze středně hustotního PE a tenčí (vnitřní) vrstva je z PE-LLD. Během výrobního procesu jsou trubky k sobě spojeny, jsou neoddělitelné [47].

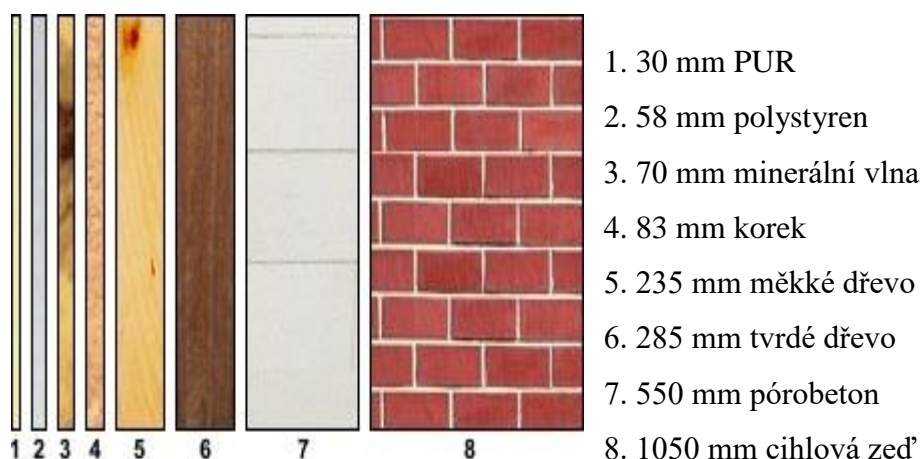


Obr. 25: PE-MD trubka [47]

### 5.3 Polyuretany (PUR)

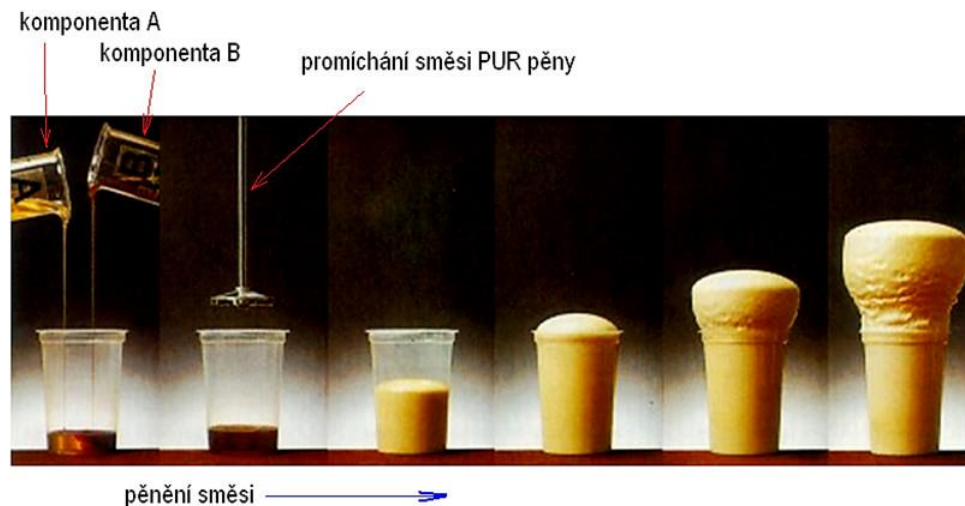
Ve stavebnictví se aplikují hlavně tvrdé PUR pěny. Jejich uzavřená buněčná struktura vytvořená ze síťovaných polymerů zlepšuje odolnost vůči organickým rozpouštědlům a anorganickým látkám. Hlavní zájem je o tepelně izolační materiál, např. pro potrubí a k vyplňování dutin. Další formou užívaného PUR jsou licí pryskyřice, které se používají na podlahoviny, pro zalévání spár ve stavebnictví nebo kabelových koncovek [21, 22].

Pokud jde o izolaci budov, jeví se tuhá PUR pěna jako efektivní izolant. Oproti jiným izolacím dokáže při tenké vrstvě dosahovat stejných parametrů, viz obrázek 23 níže.



Obr. 26: Srovnání z hlediska tepelné izolace [44].

Aplikací je několik, PUR se mohou vyrábět ve formě izolačních desek, jako PS, instalace probíhá na staveništi a jsou kompatibilní s jinými materiály. Dalším použitím jsou sendvičové panely. Jedná se o profilové jádro s kovovým obložením z hliníku nebo lakované oceli na horní i dolní ploše. Z těchto panelů se mohou postavit za velmi krátkou dobu celé budovy, např. sklady. Jejich lehkost je podmíněna tím, že na hlavní konstrukci nejsou kladeny tak vysoké nároky. Mají vysoký stupeň bezpečnosti a dají se instalovat za jakýchkoliv povětrnostních podmínek. Nejzajímavější je aplikace stříkané PUR pěny. V naší zemi se proslavila pod pojmem „chytrá izolace“. Vyrábí se ze směsi velmi rychle reagující pěny, která se míchá v přístroji a ihned stříká na konkrétní povrch, velmi rychle expanduje a tvrdne. Hustota pěny se mění v důsledku požadavků na konkrétní aplikace. Používá se nejčastěji k izolaci podkroví, stěn a stropů, ke stříkání mezer a prasklin, je vhodná i na nerovný povrch [48, 58].



Obr. 27: Expanze PUR pěny [49]

Aplikace dvousložkového lepidla je taková, že obě složky se smíchají, nanáší se stěrkou nebo špachtlí. Aplikací doba trvá 25-45min a tvrdnutí okolo 24 hodin při pokojové teplotě. Používá se na opravy gumových hadic, na lepení kovů, skla a dřeva [22].

## 5.4 Polystyren (PS)

Ve stavebnictví je to třetí nejpoužívanější polymer a uplatňuje se především jeho zpěnovatelný typ. Z jeho celkové produkce se 70% používá ve stavebnictví. Aplikuje se hlavně na izolaci stěn a střeš. Jeho hlavní devizou je cena/výkon. Mimo klasickou izolaci staveb je jeho předností i aplikování při budování silničních základů, odvodnění nebo polystyrenových cihel/tvárnice. Tyto speciálně vyrobené tvárnice mající zámkový systém, kterým se do sebe „uzamknou“ a následným spojením vznikne ztracené bednění s oboustrannou izolací. Takto poskládaný systém se vyplní betonem o předepsané objemové hmotnosti. Na obrázku 24 jsou příklady použití PS-E. [50, 51]



Obr. 28: Polystyrenové izolační plotny a tvárnice [50].

## 5.5 Polypropylen (PP)

Polypropylen je další z komoditních plastů, který našel uplatnění i ve stavebnictví. Velký zájem pro jeho využití je na výrobu potrubí, které se vyrábí vytlačováním nebo tvarováním. Tyto výrobky mají využití pro pitnou vodu, teplovodní vytápění, ale i pro chladicí a regenerační systém. Další aplikací je i izolace kabelů, které se v současnosti označují zkratkou LZSH (low smoke zero halogen). Cílem je snížit hořlavost tohoto materiálu a zamezit unikání halogenu z opláštění, protože při styku s vodou vzniká příslušná kyselina, která dráždí. A možnost, jak využít PP, je i pro střešní izolaci, tedy izolační fólii. [21, 52]

## 5.6 Polymerbeton

Polymerbetony používané pro tenké vrstvy a v malém množství se aplikují ručně pomocí stěrek. Řidší konzistence se zpracovávají litím. Preferuje se výroba tenkostěnných konstrukčních prvků navržených tak, aby optimálně vyvážila jejich užitné vlastnosti. Takto zušlechtnuté polymerní betony se kvůli ekonomické náročnosti používají hlavně:

- při rekonstrukci podlah,
- na opravy a zesilování železobetonových konstrukcí,
- v chemickém průmyslu pro výrobu odolných dílů,
- na výrobu dlažeb, silničních a mostových obrubníků,
- na výrobu podstavců a rámců pro obráběcí a měřicí stroje,
- na výrobu koryt a žlabů pro domácí chov,
- odpadní šachty, kanalizační trouby a jejich lepení a lepení velkých dílů,
- mostní profily [32, 33].



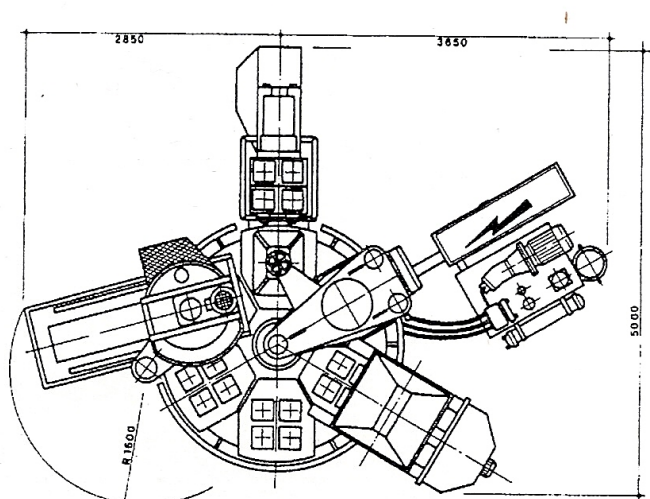
Obr. 29: Využití polymerbetonu [53].

Možností, jak aplikovat polymerbeton, je více. Pokud je ve formě rozlévací hmoty, používá se jako ochranná nebo horní vrstva na podlahy. Ve většině případech se podklad musí dokonale očistit, nejlépe napanetrovat lepidlem se stejným druhem pryskyřice a poté zalít polymerním betonem. Povrch se upraví pomocí vibračních latí nebo rotačních hladíček. Používá se v chemickém průmyslu nebo všude tam, kde je způsobeno agresivní prostředí. Obrázek nám ukazuje názorný příklad, jak je možné polymerbeton využít. Stejný princip se využívá i při opravě a zesilování železobetonových konstrukcí [33].



Obr. 30: Ukázka hlazení horní vrstvy a její užití [54].

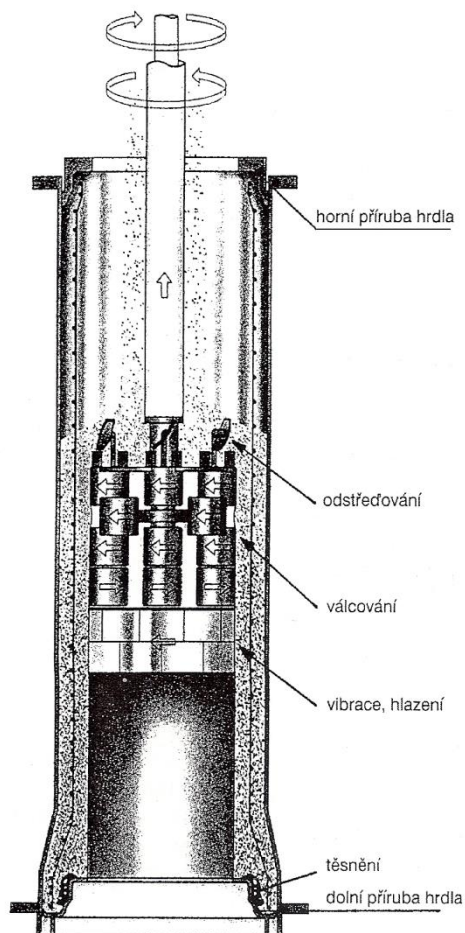
Dlažby, silniční a mostové obrubníky se vyrábí vibrolisováním, kdy dochází současně k vnějšímu působení lisovací síly a vibracím. Je to nejčastější kombinace při zhutňování. Výroba se provádí na stacionárním nebo pojízdném vibrolisu.



Obr. 31: Revolverový lis s otočným stolem [34].

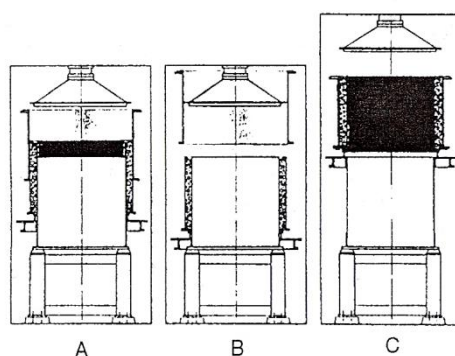
Například revolverový lis má otočný stůl s 6 polohami. Každá poloha je opatřena vibrátorem a pohyb dna je ovládán pneumaticky. Ve dvou polohách se formy plní, další poloha podléhá lisování. To probíhá dvoufázově, nejdřív nízkým a pak vysokým tlakem. Stroje

mohou vyrobené díly dokonce skládat vedle sebe. Odpadové šachty a kanalizační trouby musí odolávat vysoké vlhkosti a agresivnímu prostředí, které může dosahovat hodnot od 3,5-12 pH. Je kladen vysoký nárok a je tedy vhodné použití polymerního betonu [34].

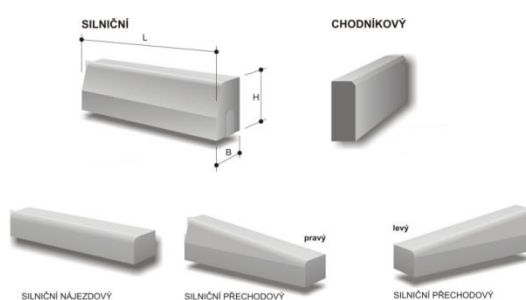


Obr. 32: Lisovací jádro s vnitřním zhutňováním válců [34].

Pro výrobu trub se používá lis, kde se čerstvý beton zhutňuje ve vertikální poloze jádrem. Trouba se lisuje na dolní přírubě hrdla, které je opatřeno těsněním a postupuje nahoru. Vylisované a zhutněné trouby jsou dopravovány ve vertikální poloze do vytvrzovací komory a odtud se odebírají po 24 hodinách, ukládají se do polohy horizontální na palety. Lis je obvykle použitelný pro více typů průměrů a dosahuje délky 2500 mm. Na obrázku níže vidíme příklad lisovací linky pro výrobu kanalizační trouby. Výroba šachetních dílců se může provádět dvěma způsoby. První způsob se provádí synchronně, rychle a najednou vnější i vnitřní formu. Druhý způsob je, že se vytvoří první vnitřní forma a pak vnější, vytvoří se lepší vnitřní plocha [34].



Obr. 33: Výroba šachetních dílů; A- synchronní pro vnější i vnitřní formu, B- první vnější a pak vnitřní výroba formy, C- vysunutí formy [34].



Obr. 34: Silniční a chodníkové obrubníky [55].

Zhutňování se provádí vibrací a používají se dva stupně frekvence vibrace. První je nižší a po doplnění betonu se automaticky zvýší až na dvojnásobek vibrací po dobu 2,5 minut. Mohou se přidat žlábký či odbočky. Výroba betonových mostů je rozdělena do několika segmentů, které na sebe navazují, vždy jedna strana dílu kopíruje spojovací stranu druhého dílu. Je na ně kladená vysoká přesnost. Skládají se z předepjatých nosníků dosahujících délky i 30 metrů a váhy 30 tun a menších segmentů pro jednodušší montáž. Vyrábí se v kontaktních formách a díly se vyrábí v pořadí, v jakém se budou montovat [34, 57].



Obr. 35: Lávka v Olomouci; grafický návrh, prefabrikovaný segment, konečná stavba [56].

## ZÁVĚR

Ke stavbě obydlí se nejprve používal přírodní a hlavně dostupný materiál, uplatnil se kámen, později se přidaly kovy- bronz, měď a pak železo. Po objevení plastů, se začaly ve stavebnictví využívat pro své prokazatelné přednosti. Lepší vlastnosti, kterými se prokazuje, jsou lehkost, odolnost, výborné mechanické vlastnosti, odolnost vůči navlhavým vlastnostem a izolační schopnost. Jsou na ně kladeny vysoké požadavky z hlediska nezávadnosti, při použití pro potrubí pro pitnou vodu, při výrobě okenních a dveřních profilů nebo podlah. Mezi nejpoužívanější, podle PlasticsEurope, patří PVC, PE-HD a PE-MD, PUR a PS-E. Další velmi zajímavou skupinou jsou polymerbetony. Jejich devizou je mnohdy výhodná cena/hmotnost. Jsou to komoditní materiály a jejich výroba je dnes již naprosto běžná. Pro každý polymer se najde ve světě široké uplatnění, nejen ve stavebnictví. I přesto jsou polymerní materiály stále podrobovány výzkumu, aby se jejich vlastnosti zlepšili. Příkladem je spojení dvou polyetylenů (HD a MD) v jeden lepší a odolnější materiál.

V porovnání s přírodními materiály jako jsou dřevo nebo kámen, jsou polymery odolnější proti navlhavosti a nasákavosti, při správně zvoleném (zušlechtěném) polymeru, jsou odolnější i vůči slunečnímu záření. Plasty také lépe udrží teplo, izolují hluk, nejsou tak nasákaivé. Použití polykarbonátu na skleníky nebo polymethylmethakrylátu jako náhrady skla se jeví také jako vhodné a účelné. Vyrobené polymerbetony také mají větší tvrdost a lepší odolnost, jejich výroba kvůli těmto vlastnostem však musí být přesná, ale oproti běžnému betonu tak brzy nedegradují.

Jelikož se plasty ve stavebnictví používají dnes již téměř všude, v základech, jako ztracené bednění, do betonu, na izolace vnější, vnitřní, do střeš, pro potrubní systém (pitnou vodu, splaškový a tepelný systém), okenní a dveřní profily, jeví se nápady na jejich další aplikace jako velmi zúžené. Směr, ve kterém by se přesto jejich další použití mohlo uplatnit, je například výroba radiátorů nebo komínových vložek. Při výrobě radiátorů by se využilo jejich nízké hmotnosti a přestup tepla by mohl být rychlejší než u klasických radiátorů. Odpadla by koroze a případně i usazování vodního kamene. Pro komínové vložky by se dalo využít jejich tepelné odolnosti. Pokud by se dal využít „know how“ opláštění kabelů PE-LSZH (nízký kouř žádný halogen), byl by i velmi dobrý izolant, který by nepodporoval případně vzniklý požár.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VLČEK, Pavel. *Dějiny architektury pravěku a starověku*. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03187-X (brož.).
- [2] Bukovský, Jan a kolektiv. *Dějiny stavitelství: přehled vývoje architektury a stavebnictví*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-7204-215-7.
- [3] SYROVÝ, Bohuslav. *Vývoj stavebnictví a architektury ve starověku*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959.
- [4] DUDÁK, Vladislav, Rudolf POŠVA a Bořek NEŠKUDLA. *Encyklopedie světové architektury: od menhiru k dekonstruktivismu*. Vyd. 2., rev. a dopl. Praha: Baset, 2002. ISBN 80-86223-07-8 (váz.).
- [5] *Naše info: Stavby a stavebnictví: Obvodové konstrukce a materiály: Jaká je historie cihly?* [online]. Brno [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/obvodove-konstrukce-a-materialy/jaka-je-historie-cihly>.
- [6] *Essential Humanities: The Stone, Bronze, and Iron Ages* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.essential-humanities.net/history-overview/stone-bronze-iron-ages/>
- [7] *Encyclopaedia Britannica: Iron Age: History* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/event/Iron-Age>
- [8] Ducháček, Vratislav. *Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006n. 1. ISBN 80-7080-617-6.
- [9] *SPI: History of Plastics* [online]. Washington [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://www.plasticsindustry.org/AboutPlastics/content.cfm?ItemNumber=670>
- [10] VERMOUZEK, Michal. *Renovace plastových součástí svařováním*. 2010, Brno. Bakalářská práce. Mendlova univerzita, Argonomická fakulta. Vedoucí práce Ing. Jiří Votava, Ph.D.
- [11] JAMES W, Summers. *A review of vinyl technology*. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 1997, 3(2), 130-139. DOI: 10.1002/vnl.10179. ISSN 1548-0585.
- [12] *Plastics - the Facts 2015*. In: *PlasticsEurope: Association of Plastics Manufacturers* [online]. Brussels, 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics---the-facts-2015.aspx>

- [13] *Rok průmyslu a technického vzdělání* [online]. In: . 2015. s. 89 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument161359.html>
- [14] Výroba vybraných výrobků v průmyslu - 2014: Část A: Oddíl 20; Část B: Oddíl 22. *Český statistický úřad* [online]. 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vyroba-vybranych-vyrobku-v-prumyslu-2014>
- [15] DUGGAL, S.K. *Building materials*. 3rd rev. ed. New Delhi: New Age International, 2008. ISBN 978-812-2429-756.
- [16] ČVUT v Praze: Fakulta stavební: Katedra materiálového inženýrství a chemie: Stanovení základních materiálových parametrů. In: *DOCPLAYER* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/8189726-Katedra-materialoveho-inzenyrstvi-a-chemie-stanoveni-zakladnich-materialovych-parametru.html>
- [17] Hutnost, pórovitost, mezerovitost. *Stavební materiály: pro SPŠ stavební*. Praha: Grada, 2012, s. 23-24. Studium (Grada). ISBN 978-80-247-4070-6.
- [18] Vysušování zdiva obecně. In: *AQUAPOL* [online]. Tábor [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.aquapol.cz/13druhu.htm>
- [19] Jeřábek V., Keprová V., Kolář K., Novák J., Novotný J., Tobolka Z., Weiss V.-*Stavební hmoty I*, ČVUT Praha, 1975
- [20] ADÁMEK, Jiří, Bohumil NOVOTNÝ a Jan KOUKAL. *Stavební materiály*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996.
- [21] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
- [22] P. *Polymers a property database*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor, 2009, s. 333-1027. ISBN 9781420005707.
- [23] *University of Liverpool: Poly Vinyl Chloride (PVC)* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://www.chemtube3d.com/polymer/\\_PVCF.html](http://www.chemtube3d.com/polymer/_PVCF.html)
- [24] Polymers: Poly (chloroethene) (Polyvinyl chloride). *The Univesity of York* [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polychloroethene.html>
- [25] *University of Liverpool: Polyethylene* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://www.chemtube3d.com/polymer/\\_PolyethyleneF.html](http://www.chemtube3d.com/polymer/_PolyethyleneF.html)
- [26] THEOPOLD, K. H. Deprotonation of coordinated ethylene may start Phillips catalysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2014, **111**(32),

- 11578-11579 [cit. 2016-05-11]. DOI: 10.1073/pnas.1411822111. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1411822111>
- [27] RAUSCH, William. *Polymers* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/polymers.htm>
- [28] *University of Liverpool: Polystyrene* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://www.chemtube3d.com/polymer/\\_PolystyreneF.html](http://www.chemtube3d.com/polymer/_PolystyreneF.html)
- [29] LI, Yingyuan, Bart A.J. NOORDOVER, Rolf A.T.M. VAN BENTHEM a Cor E. KONING. *Bio-based poly(urethane urea) dispersions with low internal stabilizing agent contents and tunable thermal properties*. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2015.04.018. ISBN 10.1016/j.porgcoat.2015.04.018. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300944015001332>
- [30] *POLYETHER POLYOLS SUITABLE FOR FLEXIBLE POLYURETHANE FOAM PREPARED BY CO-INITIATION OF AQUEOUS SOLUTIONS OF SOLID POLYHYDROXYL INITIATORS*. 1996. Unites States. 5,652,279. Uděleno Jul. 29, 1997. Zapsáno Oct. 21, 1996.
- [31] OHAMA, Yoshihiko. *Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology*. Park Ridge, N.J.: Noyes Publications, 1995. ISBN 0-8155-1358-5.
- [32] SNOECK, D., L.F. VELASCO, A. MIGNON, S. VAN VLIERBERGHE, P. DUBRUEL, P. LODEWYCKX a N. DE BELIE. The effects of superabsorbent polymers on the microstructure of cementitious materials studied by means of sorption experiments. *Cement and Concrete Research*. 2015, **77**, 26-35. DOI: 10.1016/j.cemconres.2015.06.013. ISSN 00088846. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884615001829>
- [33] JEŘÁBEK, Václav, Jaroslav NOVÁK, Zdeněk TOBOLKA, Vlasta KEPROVÁ, Jaroslav NOVOTNÝ a Vladimír WEIS. *Stavebni hmoty II*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1976.
- [34] Zpracování čerstvého betonu, Vytváření průmyslových výrobků. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, s. 195-271. Učebnice (VUTIUM). ISBN 80-214-1647-5.

- [35] *HelloTrade: Steel Composite Machines* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.hellotrade.com/epucret-mineralgusstechnik-gmbh-cokg/steel-composite-machines.html>
- [36] *PROBET s. r. o.: Reference horizontální betonárny* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [http://www.probet.cz/obrazky/reference/FEROBET\\_1.JPG](http://www.probet.cz/obrazky/reference/FEROBET_1.JPG)
- [37] *VÁHOSEKVIS, s.r.o.: Dávkovací váhy* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.vahosekvis.cz/servis-vyroba-a-prodej-vah/davkovaci-vahy/>
- [38] *M- SILNICE a. s.: Prefa Nový Bydžov* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.msilnice.cz/portfolio/prumyslova-vyroba/produkty.htm>
- [39] *TZBinfo: Vlastnosti expandovaného pěnového polystyrenu (EPS)* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8482-vlastnosti-expandovaneho-penoveho-polystyrenu-eps>
- [40] *HALOVÉ SYSTÉMY: PUR panely* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.halovesystemy.cz/pur-panely-skladem#.VzjkW76Q9f4>
- [41] MANAS CHANDA, Salil K. Roy. *Plastics Technology Handbook* [online]. 4th ed. Hoboken: Taylor, 2007 [cit. 2016-05-11]. ISBN 978-142-0006-360. Dostupné z: <http://www.crcnetbase.com.proxy.k.utb.cz/isbn/978-0-8493-7039-7>
- [42] *Google: PVC Images* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: [https://www.google.cz/search?q=polystyrene&hl=en-CZ&biw=1517&bih=741&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=k3pkVYqKBYTLyAO\\_-oDwCQ&sqi=2&ved=0CAYQ\\_AUoAQ&dpr=0.9#hl=en-CZ&tbm=isch&q=PVC](https://www.google.cz/search?q=polystyrene&hl=en-CZ&biw=1517&bih=741&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=k3pkVYqKBYTLyAO_-oDwCQ&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#hl=en-CZ&tbm=isch&q=PVC)
- [43] *Google: Polystyren* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://www.google.cz/search?q=PS&client=firefox-b-ab&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjN3OvD29zMAhVJiywKHUf5APAQsAQIMw&biw=1440&bih=767#tbm=isch&q=Polystyren&imgsrc=ouwW73lCL5rj2M%3A>
- [44] *Nástřík PUR pěny. FASE spol. s.r.o.: Stavebně obchodní společnost Litoměřice* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.fase-sro.cz/nastrik-pur-peny.php>
- [45] *Fatra, a. s.: Fatrafloor: PVC v rolích lino* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.fatrafloor.cz/produkty/pvc-podlahoviny/pvc-v-rolich-lino/>

- [46] *Google: polyetylen* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://www.google.cz/search?q=PS&client=firefox-b-ab&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjN3OvD29zMAhVJiywKHUf5APAQsAQIMw&biw=1440&bih=767#tbm=isch&q=polyetylen+trubky>
- [47] *Vaše topení: trubka PE-MD 32x4,4mm PN12,5 - návin (á100m)* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.vasetopeni.cz/trubka-pe-md-32x4-4mm-pn12-5-navin-a100m--3693cz/>
- [48] *Polyurethane and Polyisocyanurate Foams: Insulation that works* [online]. In: . Washington, DC 20002: District of Columbia 20002-4308, 2011, s. 11 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://polyurethane.americanchemistry.com/resources-and-document-library/11362.pdf>
- [49] *Nábytkářský informační systém: Polyuretanová pěna – PUR pěna* [online]. 2013 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/polyuretanova-pena--pur-pena/page/458/>
- [50] *Zelená úsporám: Vlastnosti stavebního systému MED MAX* [online]. In: . s. 4 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://registrace.zelenausporam.cz/gallery/247500-medmax.pdf>
- [51] WANG, Chong-qing, Hui WANG, Guo-hua GU, Qing-quan LIN, Ling-ling ZHANG, Luo-luo HUANG a Jun-yao ZHAO. Ammonia modification for flotation separation of polycarbonate and polystyrene waste plastics. *Waste Management*. 2016, **51**, 13-18. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.02.037. ISSN 0956053x. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X16300848>
- [52] *Wikipedia: Polyethylene* [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene>
- [53] *Google: Polymerbeton* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.google.cz/search?q=polymerbeton&biw=1440&bih=767&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjGrNHzoc\\_MAhUKmh4KHZp-DYQQ\\_AUIBigB](https://www.google.cz/search?q=polymerbeton&biw=1440&bih=767&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjGrNHzoc_MAhUKmh4KHZp-DYQQ_AUIBigB)
- [54] *Podlahy. KK stav concrete s.r.o.* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://m.kkstav.cz/cz/nabidka-sluzeb/pryskyricne-podlahy-a-povrchy/epoxidove-podlahy/>

- [55] Obrubníky. *Betonika spol. s. r. o* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.betonika.cz/rubriky/produkty/obrubniky/>
- [56] *Betonové konstrukce 21. století: betony s přidanou hodnotou*. Praha 4: BETON TKS, S. R. O., 2012, **Dvanáctý** (Samostatná příloha k časopisu, v). ISSN 1213-4116.
- [57] JAILLET, Fanny, Emilie DARROMAN, Amédée RATSIMIHETY, Bernard BOUTEVIN a Sylvain CAILLOL. *Synthesis of cardanol oil building blocks for polymer synthesis*. DOI: 10.1680/jgrma.15.00004. ISBN 10.1680/jgrma.15.00004. Dostupné také z: <http://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jgrma.15.00004>
- [58] BEAR, Jeremiah D., Gregory D. BRINER a Thomas L. MCNEAL. *Resin-polyester blend binder compositions, method of making same and articles made therefrom*. 2015. USA. Uděleno Sep 3, 2015. Zapsáno May 15, 2015.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Kopolymer akrylonitril- 1-butadien- styren
SAN	Kopolymer styren- akrylonitril
PA	Polyamid
ČR	Česká republika
např.	Například
ČSÚ	Český statistický úřad
i. d.	Individuální data
T	Tuna
Ks	Kus
aj.	A jiné
HCl	Chlorovodík
MPa	Megapascal
%	Procenta
°C	Stupěň Celsia
Ba	Barium
Ca	Vápník
Zn	Zinek
PE-UHMW	Polyetylen s ultravysokou hustotou
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid hlinitý
SiO <sub>2</sub>	Oxid křemičitý
TiCl <sub>4</sub>	Chlorid titaničitý
NaOH	Hydroxid sodný
Cm	Centimetr
Min	Minuta
CO <sub>2</sub>	Hliník

TiO <sub>2</sub>	Oxid titaničitý
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid železitý
TiCl <sub>4</sub>	Vodíkový exponent; záporný dekadický logaritmus oxoniových kationtů
Mm	Milimetr



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Celosvětová produkce plastů 2014 [12].	12
Obr. 2: Používané polymery ve vybraných průmyslových odvětvích [12].	13
Obr. 3: Příklad aplikací použitelných pro stavbu [12].	15
Obr. 4: Rozdíl hustoty a objemové hmotnosti [16].	17
Obr. 5: Příklady pórovitosti materiálu: vlevo - stříkaná polyuretanová pěna; vpravo - zpěnovatelný polystyren [43, 44].	18
Obr. 6: Příklady možných vlhkostních vlastností na stavbu [18].	21
Obr. 7: Prostorové uspořádání PVC [23].	24
Obr. 8: Příklad výroby PVC; vpravo- emulzní výroba; vlevo- kontinuální bloková do neúplné konverze [21].	25
Obr. 9: Obecná reakce a prostorové uspořádání polyetyleny [25].	27
Obr. 10: Průběh Philipsových katalyzátorů [26].	27
Obr. 11: Mechanismus Ziegler-Natta katalyzátorů [27].	28
Obr. 12: Tubulární reaktor [21].	30
Obr. 13: Prostorové uspořádání PS [28].	31
Obr. 14: Schéma výroby PS [39].	32
Obr. 15: Polymerace styrenu organickými peroxidy [27].	33
Obr. 16: Strukturní vzorec PUR [22].	33
Obr. 17: PUR panel [40].	34
Obr. 18: Složení polymerbetonu.	36
Obr. 19: Příklady dávkovacího a mísícího zařízení [36, 37].	37
Obr. 20: Vylévání do formy [35].	38
Obr. 21: Příklad sklopné formy i s popiskem [34].	38
Obr. 22: Příklady betonových výrobků [38].	39
Obr. 23: Příklady použití PVC [42].	40
Obr. 24: Příklad použití PE [46].	41
Obr. 25: PE-MD trubka [47].	41
Obr. 26: Srovnání z hlediska tepelné izolace [44].	42
Obr. 27: Expanze PUR pěny [49].	43
Obr. 28: Polystyrenové izolační plotny a tvárnice [50].	43
Obr. 29: Využití polymerbetonu [53].	44
Obr. 30: Ukázka hlazení horní vrstvy a její užití [54].	45

Obr. 31: Revolverový lis s otočným stolem [34].....	45
Obr. 32: Lisovací jádro s vnitřním zhutňováním válců [34].....	46
Obr. 33: Výroba šachetních dílů; A- synchronní pro vnější i vnitřní formu, B-první vnější a pak vnitřní výroba formy, C- vysunutí formy [34]......	47
Obr. 34: Silniční a chodníkové obrubníky [55]. .....	47
Obr. 35: Lávka v Olomouci; grafický návrh, prefabrikovaný segment, konečná stavba [56]. .....	47

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Výroba polymerů sledována ČSÚ [14]. .....	14
Tabulka 2: Vývoj produkce vybraných komodit od roku 2010 v tunách [14]. .....	14