

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití polymerů a jejich slitin v elektrotechnice

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr HLADÍK**
Osobní číslo: **E10N0006K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Využití polymerů a jejich slitin v elektrotechnice**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte přehled nejčastěji používaných polymerů v elektrotechnice.
2. Popište technologie zpracování polymerů.
3. Vysvětlete výrobu a vlastnosti polymerních slitin a jejich význam pro praxi.
4. Zpracujte přehled polymerních slitin používaných v elektrotechnice.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

1. Rous, B. : Materiály pro elektroniku a mikroelektroniku, Praha, SNTL 1991
2. Mleziva, J. : Polymery, výroba, struktura, vlastnosti a použití, Sobotáles, Praha 1993
3. Škeřík, J. : Plasty v elektrotechnice a elektronice, SNTL, Praha 1991
4. Paul, D.R., Bucknall, C.B. : Polymer Blends, John and Sons, Inc.,USA, 2000
5. Internetové a firemní zdroje

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Eva Kučerová, CSc.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Využití polymerů a jejich slitin v elektrotechnice

Anotace

Předkládaná diplomová práce popisuje využití polymerních materiálů a jejich slitin v elektrotechnice. V práci jsem se zaměřil na popis makromolekulárních látek, jejich strukturu, vznik, postup výroby a popsal jsem základní technologie zpracování polymerů a jejich slitin. Diplomová práce se dále věnuje popisu významných zástupců termoplastů, reaktoplastů, elastomerů a polymerních slitin používaných v elektrotechnice. V této části práce jsou popsány vlastnosti vybraných zástupců a zároveň je u nich pojednáno o jejich využití v elektrotechnice.

Klíčová slova

Polymer, polymerní slitina, makromolekulární látka, termoplast, reaktoplast, elastomer, elektrotechnika.

The use of polymers and their alloys in electrical engineering

Abstract

This diploma thesis presents the results of a project conducted to ascertain the outlook of polymers and their alloys. A fundamental part of the thesis is a description of the macromolecular substances, their structure, formation, manufacturing process as well as a basic technology of processing polymers and their alloys. The thesis lists important examples of the thermoplastics, thermosets, elastomers and polymer alloys used in electrical engineering. The thesis also provides a characteristic of the properties of selected representatives. Using polymers and their alloys in electrical engineering is discussed, too.

Key words

Polymer, polymer alloys, macromolecular substances, thermoplastic, thermoset, elastomer, electrical engineering.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 2.5.2012

Bc. Petr Hladík

Poděkování

Úvodem mi dovoluje poděkovat všem, kteří mi pomáhali a podporovali mne při zpracování této diplomové práce.

Jmenovitě děkuji Doc. Ing. Evě Kučerové, CSc., vedoucí diplomové práce za konzultace, doporučení a cenné rady při zpracování této práce.

Děkuji také své rodině a přátelům, že mi dali dostatek času a psychickou podporu pro tvorbu této práce, ale i na celé dosavadní studium.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD.....	11
1 POLYMERY	12
1.1 MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY	12
1.1.1 Makromolekulární látky na bázi přírodních surovin.....	13
1.1.2 Makromolekulární látky syntetické.....	13
1.2 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLYMERŮ	14
1.3 VZNIK POLYMERŮ	16
1.3.1 Polymerace.....	16
1.3.2 Polykondenzace.....	17
1.3.3 Polyadice.....	17
1.3.4 Smíšená polyreakce.....	17
1.4 METODY VÝROBY POLYMERŮ	18
1.5 ROZDĚLENÍ PLASTŮ	19
1.6 VLASTNOSTI PLASTŮ	20
1.6.1 Elektrické vlastnosti	21
1.6.2 Chemické vlastnosti.....	22
1.6.3 Tepelné vlastnosti.....	23
1.6.4 Fyzikálně-mechanické vlastnosti.....	23
2 PŘEHLED POLYMERŮ VYUŽÍVANÝCH V ELEKTROTECHNICE.....	26
2.1 HLAVNÍ PŘEDSTAVITELÉ TERMOPLASTŮ.....	26
2.1.1 Polyetylén.....	26
2.1.2 Polyimidy.....	28
2.1.3 Polyamidy.....	29
2.1.4 Polystyren.....	30
2.1.5 Polypropylen.....	31
2.1.6 Polyvinylchlorid.....	32
2.1.7 Polytetrafluoretylen.....	34
2.2 ZÁSTUPCI REAKTOPLASTŮ	35
2.2.1 Fenoplasty	35
2.2.2 Aminoplasty	36
2.2.3 Epoxidy.....	37
2.2.4 Silikony.....	38
2.3 ZÁSTUPCI ELASTOMERŮ.....	39
2.3.1 Butadien-styrenový kaučuk.....	39
2.3.2 Silikonové kaučuky.....	40
2.4 VODIVÉ POLYMERY	41
3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ.....	44
3.1.1 Lisování.....	44
3.1.2 Vstřikování.....	46
3.1.3 Výtlačování.....	48
3.1.4 Výfukování.....	48
3.1.5 Válcování.....	49
3.1.6 Odlévání.....	50
4 POLYMERNÍ SLITINY	52
4.1 DRUHY POLYMERNÍCH SLITIN	53

4.2	KOMPATIBILIZACE SMĚSÍ POLYMERŮ	55
4.3	VÝROBNÍ METODY POLYMERNÍCH SLITIN.....	56
5	PŘEHLED POLYMERNÍCH SLITIN VYUŽÍVANÝCH V ELEKTROTECHNICE.....	59
5.1	PŘEHLED VYBRANÝCH POLYMERNÍCH SLITIN VYUŽÍVANÝCH V ELEKTROTECHNICE	60
5.1.1	Směs polymerů PPO/PS.....	60
5.1.2	Směs polymerů PPO/PBT.....	61
5.1.3	Směs polymerů PC/ABS.....	61
5.1.4	Směs polymerů PC/PBT, PC/PET.....	62
5.1.5	Směs polymerů PA/ABS.....	62
5.1.6	Směs polymerů PA/PP, PA/PE.....	63
5.1.7	Směs polymerů POM/elastomer.....	63
5.1.8	Směs polymerů Polyester/elastomer.....	64
5.1.9	Směs polymerů PSF/PET.....	64
5.1.10	PVC směsi.....	64
	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	67

Seznam symbolů a zkratk

ABS	Polymer na bázi akrylonitrilu, butadienu a styrenu	PIB	Polyisobutylem
ASA	Polymer na bázi akrylonitrilu, styrenu a akrylátu	POP	Polyfenylenoxid
EP	Epoxidy	PP	Polypropylen
EPM	Ethylen-propylenový kaučuk	PS	Polystyren
ETFE	Ethylen-tetrafluorethylen	PTFE	Polytetrafluorethylen
EVA	Kopolymer ethylen-vinylacetát	PUR	Polyuretan
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou	PVC	Polyvinylchlorid
HMW-HDPE	PE s vysokou molekulovou hmotností	SAN	Kopolymer akrylonitrýnu, styren
HPS	Houževnatý polystyren	SBR	Butadien-styrenový kaučuk
HRC	Zkouška tvrdosti podle Rockwella	SI	Silikon
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou	UHMW-HDPE	PE s ultravysokou molekulovou hmotností
LLDPE	Lineární PE s nízkou hustotou	ULDPE	PE s velmi nízkou hustotou
MDPE	PE se střední hustotou	R [Ω]	Elektrický izolační odpor
NBR	Butadien kaučuk	U_p [V]	Průrazné napětí
PA	Polyamid	T_g [K]	Teplota skelného přechodu
PC	Polykarbonát	ϵ_r [-]	Relativní permitivita
PE	Polyetylén	c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	Měrná tepelná kapacita
PF	Fenoplast	α [K^{-1}]	Teplotní součinitel délkové roztažnosti
PI	Polyimid	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	Součinitelem tepelné vodivosti
		E [MPa]	Modul pružnosti v tahu
		ρ [$kg \cdot m^{-3}$]	Hustota
		R_m [MPa]	Pevnost v tahu
		K_{IC} [$MPa \cdot m^{-2}$]	Lomová houževnatost

Úvod

Během vývoje lidské společnosti si člověk osvojil používání nejrůznějších druhů materiálů jako kámen, bronz, dřevo nebo keramiku. Podle nejpoužívanějších materiálů byly i pojmenovány vývojové epochy lidstva, a to doba kamenná, bronzová či železná. Umění vyrábět a používat nové materiály vždy posunulo úroveň techniky na vyšší stupeň. Nové materiály otevírají člověku nové možnosti a posouvají bariéry jeho vývoje kupředu. [6]

Polymerní materiály nejsou starým materiálem, v průmyslu byly poprvé použity v roce 1909. Ale dnešní svět je již bez jejich použití nepředstavitelný. Všichni jsme polymery, a hlavně pak plasty, obklopeni. Používány jsou snad ve všech průmyslových odvětvích a téměř ve všech lidských oborech. Počínaje automobilovým průmyslem, v elektronice, v energetice, v domácnostech, pro výrobu hygienických výrobků, v kosmickém průmyslu, ale i v tak náročné aplikaci jakou je zdravotnictví.

Z pohledu polymerních materiálů znamenají slitiny polymerů další evoluční skok. Vytvářeny jsou tak, aby u nich převládaly pozitivní vlastnosti a uspokojily i ty nejnáročnější požadavky v extrémních odvětvích v kosmonautice, v letectví, atd. Polymerní slitiny se vyznačují řadou výhodných vlastností, jakými jsou například nízká hustota, široký interval pevností, odolnost proti korozi, odolnost proti opotřebení, minimální tepelná vodivost, elektroizolační schopnosti, ale dnes už i vodivostní vlastnosti. V současné době se klade důraz i na recyklovatelnost či rozložitelnost.

Makromolekulární materiály nalezneme v elektrotechnice nejčastěji jako součást dielektrických či konstrukčních systémů. Od 60. let minulého století, kdy došlo k průlomovým objevům v oblasti makromolekulární chemie, kdy si můžeme podle předem definovaných vlastností vytvořit zcela nový materiál, se v elektrotechnice objevily nové, vysoce tepelně i mechanicky odolné látky, jako jsou například polyetylentereftalát, materiály založené na bázi aromatických polyamidů, kevlar, kapton, nomex atd. Nyní se začínají komerčně aplikovat i v technologiích OFET (polem řízený tranzistor) nebo například OLED (organické LED diody).

V první části diplomové práce jsou popsány polymerní materiály, makromolekulární látky obecně, popis jejich vzniku, struktura, obecné vlastnosti, základní technologické procesy zpracování a aplikace v elektrotechnice. Ve druhé části jsou stejným způsobem popsány slitiny polymerních materiálů.

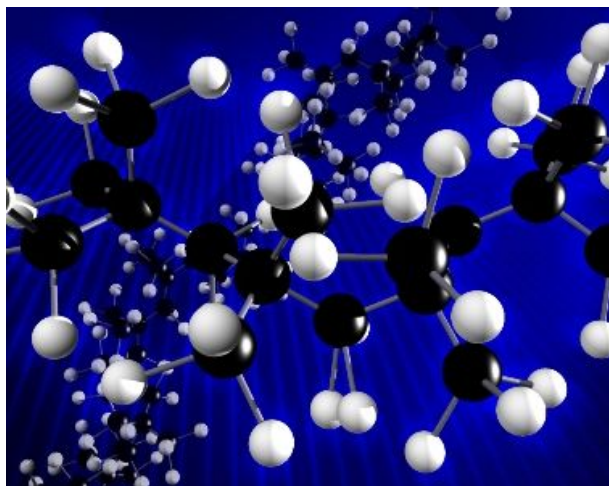
1 Polymery

Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Polymery jsou ve formě výrobku v tuhém stavu, ale při zpracování jsou roztavené, aby za zvýšené teploty a tlaku, mohly být tvarovány do nejrůznějších tvarů, podle předpokládaného použití. Syntetické polymery jsou relativně nové materiály, které ještě před 90 lety v podstatě neexistovaly, ale dnes se používají téměř ve všech oborech lidské činnosti. Polymery jako takové však nejsou úplnou novinkou posledních let, i dříve se zpracovávaly některé přírodní polymery jako například kaučuk, celulóza a její deriváty, kaseinové hmoty atd. [1,8]

Polymery jsou látky s vysokou relativní molekulovou hmotností, která se pohybuje od stovek tisíc do milionů, tedy o mnoho řádů více, než u ostatních, tzv. nízkomolekulárních látek. Příkladem nízkomolekulární látky je například molekula vody, jejíž relativní molekulová hmotnost je 18. Jako příklad polymerní látky může posloužit např. polyvinylchlorid, jehož průměrná relativní molekulová hmotnost se pohybuje v rozmezí 80 až 100 000. Z porovnání těchto dvou hodnot vyplývá, že polymery mají oproti nízkomolekulárním látkám mnohem větší molekuly tvořeny tisíci až milióny atomů. Proto synonymem ke slovu polymer je pojem makromolekulární látka. [8]

1.1 Makromolekulární látky

Makromolekulární látky jsou organické sloučeniny s molekulami vyznačujícími se velkou molekulovou hmotností. Podle svého původu mohou být makromolekulární látky přírodní nebo syntetické. Základní části obou druhů jsou tvořeny atomy uhlíku a vodíku (ale i křemíku u organokřemičitých polymerů), ke kterým se pak vážou i další prvky. Jsou to zejména atomy kyslíku, dusíku, chloru, fluoru, síry atd.



Obr. 1: Polyisobutylen [20]

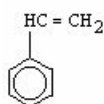
1.1.1 Makromolekulární látky na bázi přírodních surovin

Využívání těchto látek bylo zaznamenáno již v dávnověku. Například ve starém Egyptě se využívala přírodní pryskyřice šelak k přípravě laků, lepidel a tmelů nebo polyterpeny obsažené v gutaperče se v Číně a Indii sloužily k přípravě lepidel a tmelů atd. Umělé zušlechtění přírodních látek živočišného nebo rostlinného původu chemickým zpracováním se začalo využívat až v polovině devatenáctého století. Podstata tohoto zušlechtění, též nazývaná modifikací, spočívá v chemických reakcích přírodních polymerů s nízkomolekulárními sloučeninami, které se částmi svých molekul váží na řetězce makromolekul přírodní látky a pozměňují tak nejen její stavbu, ale i výsledné vlastnosti finálního produktu. Makromolekulární látky na bázi přírodních surovin pak podle náležitosti k základním chemickým skupinám organických sloučenin můžeme dělit na polysacharidy, proteiny, polynukleoidy atd. [4]

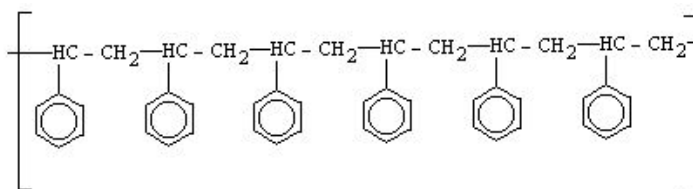
1.1.2 Makromolekulární látky syntetické

Prvním představitelem syntetické makromolekulární látky byl objev materiálu nazývaného po svém tvůrci bakelit. H. Baekelandovi byl udělen v roce 1907 patent na tento materiál. Po smísení fenolického polykondenzátu s vhodnými plnidly připravil tak první plast, který bylo možné tepelně tvářet a vytvrdit na výlisek velmi dobrých mechanických, chemických i elektroizolačních vlastností. Syntetické makromolekulární látky svůj největší rozmach ve vývoji zaznamenaly až v druhé polovině dvacátého století, kdy se začaly průmyslově vyrábět a zpracovávat dnes nejdůležitější a nejrozšířenější materiály. [1,4]

Jejich hlavní složkou jsou zcela synteticky získané vysokomolekulární látky vzniklé z velkého počtu nízkomolekulárních stavebních jednotek (monomerů) reakcemi, označovanými vzhledem k vznikajícím polymerním sloučeninám jako polyreakce. Polyreakcí se mohou zúčastnit pouze organické sloučeniny, které mají v molekule minimálně dvě funkční místa. Příklad vytvoření makromolekulární syntetické látky z monomeru viz (Obr. 2: Monomer (styren)) a (Obr. 3: Polymer (polystyrén)).



Obr. 2: Monomer (styren)

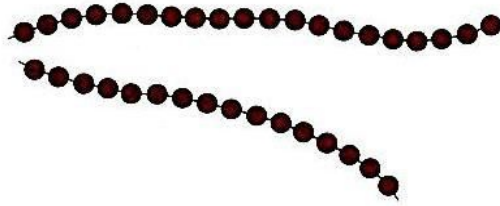


Obr. 3: Polymer (polystyrén)

1.2 Molekulární struktura polymerů

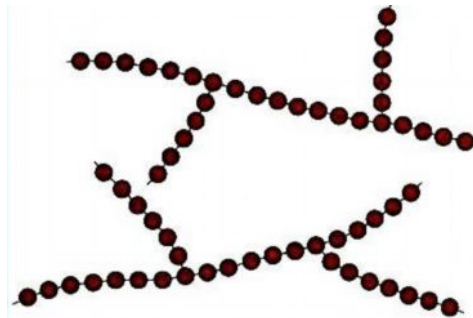
Základní částí polymerů jako vysokomolekulárních látek je makromolekula složená z mnohonásobně se opakujících strukturních jednotek spojených v dlouhé řetězce chemickými nebo jinými silami. Primární chemické vazebné síly působí především uvnitř samotné makromolekuly, jsou buď iontové, nebo kovalentní. Počet monomerních jednotek v jedné makromolekule udává tzv. polymerační stupeň. V závislosti na reakčních podmínkách při polyreakci získávají makromolekuly různé velikosti a různé tvary [1,4] :

- Lineární: makromolekuly vznikají postupným připojováním molekuly výchozí látky v jednom směru. Řetězce jsou přímé, ale vzájemně propletené. Vznikají při existenci minimálně dvou reaktivních míst vzniklých rozštěpením dvojné vazby v molekule monomeru. Lineární makromolekuly se mohou z prostorových důvodů přiblížit více jedna ke druhé a vyplnit tak kompaktnější prostor. Materiál má poté vyšší hustotu. [25]



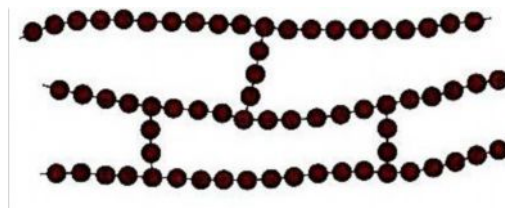
Obr. 4: Lineární uspořádání makromolekul [25]

- Rozvětvené: jsou uspořádány do dlouhých řetězců a mají boční větve. Rozvětvené makromolekuly se nemohou jedna ke druhé dostatečně přiblížit, brání tomu postranní větve. Mají nižší hustotu než lineární uspořádání makromolekul.



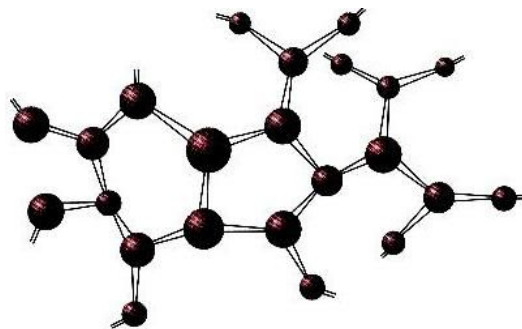
Obr. 5: Rozvětvené uspořádání makromolekul [25]

- Sít'ované: řetězce jsou spojeny kovalentními vazbami, je toho dosahováno přidáním vícefunkčních sloučenin a jejich reakcí s funkčními skupinami na řetězci po jeho vytvoření.



Obr. 6: Sít'ované uspořádání makromolekul [25]

- Prostorově sít'ované: řetězce jsou propojeny do prostorových útvarů. Mohou vzniknout při existenci minimálně tří reaktivních míst v molekule monomeru.



Obr. 7: Prostorově síťované uspořádání makromolekul [25]

1.3 Vznik polymerů

Plasty, které se nevyrábějí chemickým zušlechťením přírodních makromolekulárních látek, vznikají zcela syntetickou cestou přímo z nízkomolekulárních sloučenin. Z takzvaných monomerů. Vznikají několika základními polyreakcemi, mezi které patří polymerace, polykondenzace, polyadice. Vedle těchto hlavních polyreakcí existují ještě další možnosti vzniku makromolekulární látky. Současným nebo postupným průběhem základních reakcí (polymerací, polykondenzací, polyadicí) je možné získat různé uspořádání řetězců molekul polymerních látek.

1.3.1 Polymerace

Jedná se o řetězovou reakci velkého počtu monomerních látek za vzniku dlouhých makromolekul již nové polymerní sloučeniny, která má však stejné elementární složení jako výchozí nízkomolekulární látky. Vznikající vysokomolekulární řetězec narůstá do své konečné délky ve velmi krátkém čase. Při polymeraci se netvoří vedlejší produkty. Odlišujeme tři druhy polymerace, a sice radikálovou polymeraci, iontovou polymeraci a polymeraci s komplexními katalyzátory. Polymerace probíhá ve třech hlavních fázích, kterými jsou iniciace, propagace a terminace. Iniciace představuje začátek reakce a řetězení, propagace růst řetězce, terminace je poté zakončení řetězce. Zakončení řetězce však může nastat v některých případech dvojím způsobem. A to buď způsobem nazývaným rekombinace, nebo disproporcionace.

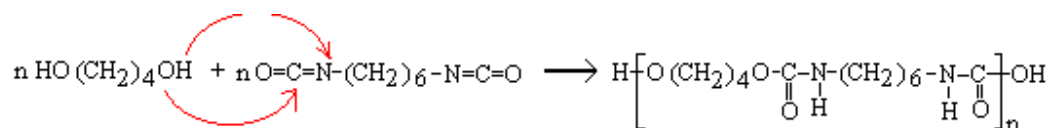
1.3.2 Polykondenzace

Při této polyreakci se získá postupnou kondenzací monomerních látek makromolekulární produkt za současného vzniku jednoduché nízkomolekulární reakční zplodiny, například alkoholu, amoniaku, vody, halogen-vodíku, atd. Reakce probíhá postupně v celé hmotě a vedle již vzniklých vysokomolekulárních látek jsou v soustavě zastoupeny i nižší polymery včetně ještě nezreagovaných částí monomeru. Na rozdíl od látek vytvořených polymerací nemá vytvořený produkt polykondenzací shodné složení jako výchozí monomery. [4]

1.3.3 Polyadice

Polyadice je zvláštním případem polykondenzace. Polyadice je též někdy nazývána adiční polymerací. Jedná se o reakci dvou různých monomerů s různými funkčními skupinami. Ke vzniku makromolekulární látky nedochází však pomocí dvojných vazeb, ale pouhým prostorovým přesunem atomů vodíku. Jedná se tedy o vnitřní molekulární přeměnu. Složení konečného produktu (polyaduktu) se chemicky neliší od výchozích látek. U této reakce však nevzniká žádný vedlejší nízkomolekulární produkt. Typickým příkladem polyadice je vznik polyuretanu z hexametylendiizokyanátu a 1,4-butylenglykolu. [8]. Tato reakce je znázorněna na (

Obr. 8: Vznik polyuretanu polyadicí [27]).



Obr. 8: Vznik polyuretanu polyadicí [27]

1.3.4 Smíšená polyreakce

Kromě základních tří popsaných reakcí (polymerace, polykondenzace a polyadice) existuje mezi jednotlivými způsoby příprav a výrob polymerů mnoho případů vzniku makromolekulárních látek pochody, které se nedají vysloveně označit pouze jednou z těchto reakcí. Vznikat mohou jak metodou, která nelze jednoznačně zařadit do jedné skupiny (polymerace, polykondenzace a polyadice), tak i kombinacemi několika polyreakcí probíhajících následně. [8]

1.4 Metody výroby polymerů

Polymery se vyrábějí několika základními způsoby. Chemicky nejjednodušší je polymerace samotného monomeru, tuto metodu nazýváme polymerace v monomerní fázi. Dalšími základními výrobními postupy jsou roztoková polymerace, suspenzní polymerace, emulzní polymerace a modifikace polymerů. Jen velmi omezený počet monomerů může být polymerován všemi způsoby. Vlastnosti polymerů vyrobených různým způsobem se však liší a proto se při výběru způsobu polymerace také hledí na požadované vlastnosti výsledného produktu.

- Polymerace v monomerní fázi: jak již bylo řečeno, je to nejjednodušší polymerační metoda. Dříve byla označována jako bloková polymerace. Je-li polymer v monomeru rozpustný, vzniká s postupující polymerací stále viskóznější roztok, který nakonec ztuhne na blok zaujímající tvar reakční nádoby (proto se pro ni vžil dnes již zastaralý název bloková polymerace). Nerozpouští-li se vznikající polymer ve výchozím monomeru, vylučuje se v jemných částicích. Nevýhodou této výrobní metody je neschopnost odvádění velkého množství tepla vznikajícího při reakci. Při nedostatečném řešení problému může mít tato nevýhoda vliv na konečné vlastnosti vznikajícího polymeru. V plastu vzniká pnutí, které se v krajním případě může projevit až trhlinami. Pro svůj malý obsah příměsí jsou materiály vyráběné polymerací v monomerní fázi dobrými elektroizolačními materiály. Polymerace v monomerní fázi se využívá zvláště při výrobě polystyrénových látek, polymethylmetakrylátu, polyvinylchloridu, atd. [8]
- Roztoková polymerace: podstatou je použití vhodného rozpouštědla a za přítomnosti příslušného iniciátoru vzniká polymer přímo v roztoku. Reakční teplo lze již odvádět snadněji, avšak každé rozpouštědlo jako takové je i přenašečem radikálu, což způsobuje, že relativní molekulová hmotnost vzniklého polymeru bývá vždy menší než u produktů (vzniklých za jinak zcela stejných podmínek) vzniklých při polymeraci v monomerní fázi. Roztokovou polymerací se vyrábějí lící termoplasty, roztoky polymerů, které jsou dále využívány přímo jako lepidla, atd. [4]
- Suspenzní polymerace: u této výrobní metody monomer polymeruje radikálově, vyvinuta byla především z důvodu odstranění špatného odvodu reakčního tepla (jak je tomu u polymerace v monomerní fázi). Monomer obsahující iniciátor se

rozptýlí mícháním ve vodě na malé částičky, jejichž velikost je určena podmínkami míchání. Suspenzní polymer je kvalitativně stejnoměrnější než polymer vyrobený v monomerní fázi. Výrobky z něj poté vyrobené mají lepší mechanické vlastnosti. Pro svůj malý obsah příměsí jsou suspenzním způsobem vyráběné polymery dobrými elektroizolačními materiály. Tímto způsobem se vyrábí například polystyren nebo polyvinylchlorid. [1,4]

- Emulzní polymerace: polymer vzniká z částic monomeru mechanicky rozptýlených ve vodě za přítomnosti vhodných emulgátoru a iniciátoru. Emulgátor při této reakci představuje důležitou úlohu a bez jeho přítomnosti by polymerace probíhala značně pomalu. Výrobní proces je velmi složitý a probíhá mnoha stádii. Emulzní polymerace se využívá při výrobě polystyrénu, PVC, teflonu, atd. [4,8]
- Modifikace polymerů: představuje velký počet způsobů fyzikálních a chemických přeměn polymerů. Jedná se o záměrnou přeměnu polymerů prováděnou za účelem získání nového polymerního materiálu s odlišnými vlastnostmi. Vzhledem ke stále stoupajícím nárokům na vlastnosti polymerů v souvislosti se stále se rozšiřujícími oblastmi jejich použití význam modifikace polymerů neustále narůstá. K výrobě modifikovaných polymerů se používají tyto tři základní způsoby, fyzikální modifikace, mechanochemické modifikace a chemické modifikace. Nejtypičtějším příkladem síťovací reakce je vulkanizace kaučuků, která také představuje historicky nejstarší chemickou modifikaci polymeru. [1,4,8]

1.5 Rozdělení plastů

Vzhledem k tomu, že polymery jsou velice rozdílných vlastností, rozdílného chemického složení, organické sloučeniny i syntetického původu, nelze je jednoznačně rozdělit dle jednoho kritéria. Polymery proto rozdělujeme podle několika hledisek. Nejpoužívanějším dělicím kritériem je rozdílné chování plastů při zahřívání. Plasty poté dělíme na reaktoplasty a termoplasty.

Termoplasty se skládají z makromolekul s dlouhým řetězcem. Jsou látky, které působením tepla opakovaně měknou a ochlazením opět tuhnou. Změny vlastností při zahřívání jsou vratné. Podstata jevu spočívá v různé pohyblivosti polymerních řetězců

při různých teplotách. Typickým představitelem je PVC, polystyrén, polyetylén, polyamidy atd. Termoplasty patří k dobře zpracovatelným materiálům.

Reaktoplasty jsou látky, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci, prostorovému zasítování struktury (vytvrzování). Prostorové zasítování struktury je děj nevratný a vytvrzené plasty již poté nelze roztavit ani rozpustit. Pokud by se materiál i nadále ohříval, docházelo by pouze k degradaci materiálu. Příčinou tohoto chování je chemická reakce, při které dojde k vytvoření prostorové sítě. Představitelé reaktoplastů jsou fenoformaldehydové lisovací hmoty, polyesterové pryskyřice, epoxidové pryskyřice, síťované polyuretany atd.

Další rozdělení plastů se získá podle původu a výchozích surovin na zcela přírodní látky (látky používané v získaném stavu bez dalších zušlechťovacích úprav), zušlechťené přírodní látky (přírodní modifikované látky) a syntetické látky (organické sloučeniny získané synteticky z jednoduchých nízkomolekulárních látek). Rovněž je možné dělit plasty podle druhů polyreakcí, kterými byly vyrobeny na polymery, polykondenzáty, polyadukty a modifikované plasty. Z hlediska fyzikálně-mechanických vlastností lze rozdělit plasty na dvě skupiny elastomery a plastomery. Elastomery jsou makromolekulární látky s kaučukovitou elasticitou, které se již malým napětím silně deformují a po uvolnění napětí se rychle nebo pomaleji vrací do původního stavu, například polyuretan, syntetický kaučuk atd. Naproti tomu plastomery jsou makromolekulární látky, které zůstávají deformované, i když deformující napětí přestane působit. Další možné dělení je podle odlišnosti chemického složení hlavního řetězce základní makromolekulární látky na uhlíkaté plasty (tvoří většinu plastů) a na křemíkové plasty (řetězce jsou tvořeny vazbami křemíkových atomů). Polymery můžeme dělit i podle rozdílných molekulárních struktur na čtyři skupiny polymery lineární, rozvětvené, síťované a prostorově síťované (bylo již popsáno v kapitole 1.2). [4,5]

1.6 Vlastnosti plastů

Vlastnosti plastů, jejichž podstatu tvoří polymery, se pohybují více nebo méně mezi vlastnostmi tuhých látek a viskózních kapalin. To že se polymery mohou nacházet pouze v kapalném nebo tuhém stavu a neexistuje u nich plynný stav je způsobeno vysokou molekulovou hmotností polymerů. Bod varu je ve všech případech vyšší, než

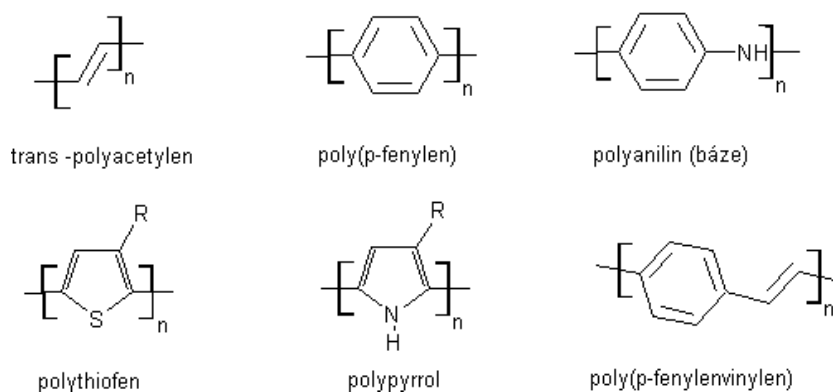
je teplota jejich rozkladu (degradace). Plasty mohou mít jak amorfnní strukturu, tak i částečně krystalickou. V případě amorfnní struktury může jít o klubkovité seskupení nebo o lineární seskupení. Molekulární strukturu je u plastů možné silně ovlivnit procesem jejich zpracování. Změn je možné dosáhnout přidáním různých aditiv a příměsí k polymeru. Mezi nejdůležitější přísady patří tepelné stabilizátory, které polymer chrání před degradací při zpracování za zvýšené teploty, ale i při používání výsledného produktu za různých vnějších podmínek. Další používanou přísadou jsou změkčovadla, která dodávají polymerům ohebnost, tvárnost. Jako aditiva využívaná při výrobě plastů jsou také maziva. Maziva napomáhají k usnadnění zpracování plastů. Dále však i ovlivňují vlastnosti výrobku jako například vzhled povrchu nebo tepelnou a světelnou stabilitu. Dalším využívaným aditivem jsou plniva. Plniva se využívají ke zlepšení mechanických vlastností (zvýšení pevnosti, zlepšení odolnosti vůči oděru, houževnatosti, tuhosti), ke zlepšení odolnosti vůči ohni, korozi, stárnutí nebo teplotě. V neposlední řadě mají také vliv i na konečnou cenu materiálu. Barviva nebo pigmenty jsou používány jako přísady, které ovlivňují barevný vzhled konečného výrobku. [2,7]

1.6.1 Elektrické vlastnosti

Většina plastů se chová jako izolanty. Je to způsobeno tím, že plasty mají valenční elektrony vázány v kovalentních vazbách atomů. Působením elektrického pole mohou v omezené míře pouze orientovat své dipóly a vykazovat tak určitou elektrickou indukci. V důsledku toho má většina plastů schopnost akumulovat určitou elektrickou energii ve formě potenciální energie. Díky potenciální energii je možné u plastů vyčíslit a změřit jejich permitivitu. Izolační vlastnosti závisí na čistotě a vodivosti základních polymerů, ale i na použitých přísadách (změkčovadel, stabilizátorů, pigmentů, atd.). Polymerní izolanty se ve sklovitém stavu vyznačují vysokou rezistivitou, řádově $10^8 \Omega \cdot m$ až $10^{16} \Omega \cdot m$. Plasty ale nepoužíváme pouze na výrobu izolantů, ale i na výrobu kondenzátorů, izolátorů a pro vysokofrekvenční techniku, atd.

U polymerů můžeme dosáhnout i zcela odlišných elektrických vlastností, je možné výrazným způsobem zvýšit hodnoty elektrické vodivosti a to tak, že jsou srovnatelné s vodivostí dotovaných polovodivých nebo kovových materiálů. Nejjednodušší způsob zvýšení vodivosti je homogenní dotace polymerů vodivými aditivy (kovové prášky, vodivé saze), kdy po překročení určité koncentrace vodivého aditiva v polymeru

dochází k prudkému nárůstu vodivosti polymerního filmu. Základem elektrické vodivosti u nedotovaného polymeru je přítomnost konjugovaných dvojných vazeb v polymerním řetězci. Tyto konjugace v makromolekule lze připravit dvěma způsoby. Polymer je možno modifikovat za zvýšené teploty bez přístupu vzduchu nebo ozařovat vysokoenergetickými svazky, například elektrony, ionty, plazmou, laserem, UV-světlem. Tím dochází k degradaci řetězců spojených s tvorbou konjugovaných dvojných vazeb. Další možností je syntéza polymerů s vysokou vodivostí, které v makromolekule obsahují konjugace dvojných vazeb, a proto jsou nazývány vodivými polymery. Tyto polymery nacházejí v současnosti velké uplatnění v elektronice a mikroelektronice například v displejích na bázi organických svítivých diod (OLED), v polymerních fotovoltaických článcích, v organických tranzistorech, atd.



Obr. 9: Vodivé a polovodivé polymery [17]

1.6.2 Chemické vlastnosti

Důležitou vlastností polymerů je jejich odolnost proti chemickým vlivům. Chování polymeru ve styku s určitou chemickou látkou můžeme odhadnout již ze znalosti jejich struktury. Makromolekulární látky podléhají při svých reakcích podobným zákonitostem jako nízkomolekulární sloučeniny. Plasty odolávají nejméně těm chemikáliím, jež mají stejné nebo podobné chemické složení. Nepolární polymery odolávají dobře kyselinám, zásadám a polárním rozpouštědlům. Polární plasty odolávají nepolárním rozpouštědlům. Odolnost některých plastických hmot proti chemikáliím, jež s nimi vstupují do chemických reakcí, je znázorněna v (Tab. 1: Porovnání chemické odolnosti vybraných polymerů [30]). [1]

Polymer	Stupeň odolnosti proti					
	vodě	roztokům solí	kyselinám	zásadám	oxidačním činidelům	rozpuštědlům
Polyolefiny	1	1	1	1	2 až 3	1 až 2
Fluoroplasty	1	1	1	1	1	1
Polyvinylchlorid	1	1	1 až 2	1 až 2	2 až 3	1 až 3
Polystyrén	1	1	1 až 2	1		3 KN
Polymethylmethakrylát	2	1	2	2	2 až 3	3 KN
Polyethyléntetraftalát	1	1	2	3	3	1 až 3
Polykarbonáty	1	1	2 až 3	3	3	2 až 3 KN
Polyoxymethylén	1	1	2	2	3	1 až 3
Polyamidy	2	2	3 KN	2	3	1 až 3 KN
Polyuretany	2	2	3	2	3	1 až 3
Epoxidové pryskyřice	2	2	2	2	3	1 až 3
Polyesterové pryskyřice	1 až 2	1	1 až 2	3	3	1 až 2

Legenda:
1 - velká odolnost, 2 - střední odolnost, 3 - malá odolnost, KN - sklon ke korozi za napětí

Tab. 1: Porovnání chemické odolnosti vybraných polymerů [30]

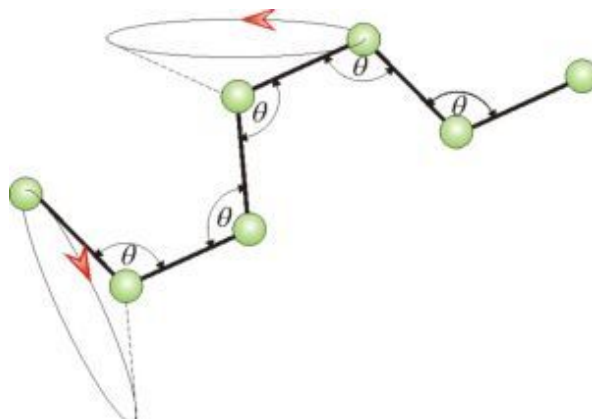
1.6.3 Tepelné vlastnosti

Znalost tepelných vlastností plastů a jejich chování při působení nízkých nebo zvýšených teplot je důležité zejména při aplikaci plastových výrobků. Změny teploty mají vliv nejen na mechanické vlastnosti, ale i na elektrické vlastnosti. Měrná tepelná kapacita c se u plastů pohybuje v rozmezí $1 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ až $3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ při $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplotní součinitel délkové roztažnosti α je přibližně o řád vyšší než u kovů, pohybuje se okolo hodnot 1.10^{-5} K^{-1} až $20.10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Tato nepříznivá vlastnost se negativně projevuje zejména u součástí, kde jsou zalisovány plasty spolu s kovovými díly. Při náhlých změnách teplot dochází k praskání plastů. Součinitel tepelné vodivosti se obvykle u plastů pohybuje v rozmezí $0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ až $1,5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Polymery se slabými primárními vazbami mezi atomy a sekundárními vazbami mezi molekulami mají hodnoty tepelné vodivosti nižší než kovy. Prakticky se blíží hodnotám tepelné vodivosti kapalin. Z plastických hmot jsou nejlepšími tepelnými izolátory lehčené pěnové hmoty, polystyrén, polyvinylchlorid, polyuretany, atd. [1,4,25]

1.6.4 Fyzikálně-mechanické vlastnosti

Vlastnosti polymerů jsou silně ovlivněny geometrií a tuhostí kratších molekulárních úseků, tzv. segmentů. Krátké molekulární řetězce zhoršují mechanické vlastnosti polymeru. Polymer s příliš velkou hmotností má viskózní taveninu a je nutné

jej při lisování zahřívát nad teplotu tání. Výsledný materiál je ale poté houževnatý. Molekulární řetězec však může v prostoru zaujímat různé tvary. Jednotlivé segmenty mohou i rotovat prostřednictvím rotace atomů kolem jednoduché kovalentní vazby v páteři řetězce. Rotace segmentů je zobrazena na (Obr. 10: Rotace polymerních segmentů kolem kovalentních vazeb [27]). Snadnost rotací je ovlivňována teplotou skelného přechodu, teplotní a časovou závislostí modulu pružnosti a dalšími vlastnostmi.



Obr. 10: Rotace polymerních segmentů kolem kovalentních vazeb [27]

Hustota polymerních materiálů je nízká, pohybuje se okolo hodnoty $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nad teplotou skelného přechodu dosahuje dokonce ještě nižších hodnot. Nižší hodnota hustoty je však obecně výhodná, zajišťuje materiálu příznivý poměr pevnosti a hmotnosti. Výsledné produkty jsou pak dostatečně pevné při zachování nízké hmotnosti. Z pohledu mechanických vlastností nás u polymerních materiálů zajímá tuhost, pevnost, tvrdost a houževnatost.

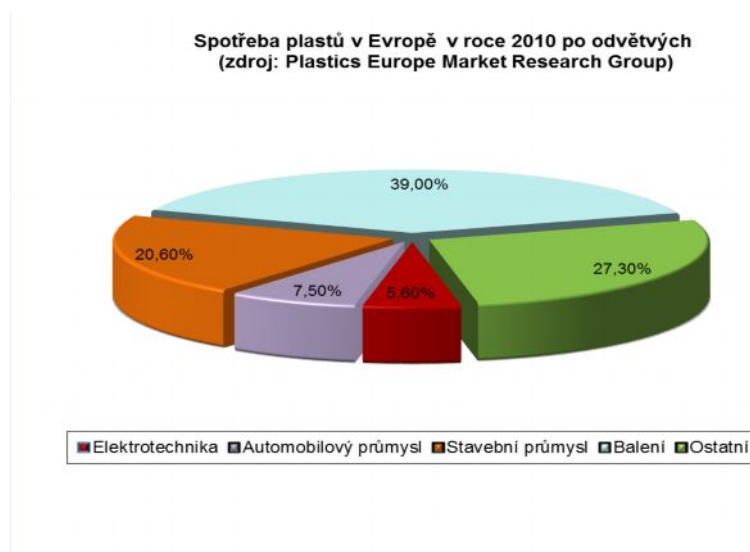
	ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	E při 23°C [GPa]	R_m [MPa]	K_{rc} [$\text{Mpa}\cdot\text{m}^{-2}$]	T_g [K]
Termoplasty					
PE s nízkou hustotou	910 - 940	0,15 - 0,24	7 - 17	1 - 2	270
PE s vysokou hustotou	950 - 980	0,55 - 1,00	20 - 37	2 - 5	300
PS	1100	3,0 - 3,3	35 - 68	2	370
PP	910	1,2 - 1,7	50 - 70	3,5	253
PMMA	1200	3,3	80 - 90	1,6	378
PVC	1400	2,4 - 3,0	40 - 60	2,4	350
PTFE	2200	0,35	17 - 28	-	-
PA	1150	2,0 - 3,5	60 - 110	3 - 5	340
PC	1250	2,2 - 2,5	62 - 67	2 - 4	420

Reaktoplasty					
EP	1200 - 1400	2,1 - 5,5	40 - 85	0,6 - 1,0	380
PES	1100 - 1400	1,3 - 4,5	45 - 85	0,6	340
PF	1127	3,5 - 4,2	35 - 55	-	-
ME	1500	7 - 9	45 - 65	0,7 - 0,9	400
Elastomery					
IR	910	0,002 - 0,1	20 - 35	400 - 900	220
BR	1500	0,004 - 0,1	2 - 26	300 - 700	171
CR	940	0,01 - 0,20	15 - 25	300 - 700	200
MQ	1100	0,01 - 0,04	2 - 10	500 - 900	150

Tab. 2: Základní mechanické vlastnosti vybraných polymerních látek

2 Přehled polymerů využívaných v elektrotechnice

Spotřeba polymerních materiálů zaznamenává stále výrazný celosvětový růst. Globální produkce plastů vyjádřená v objemových jednotkách již dokonce předstihla výrobu oceli. Například globální spotřeba plastů činila v roce 1970 45 miliónů tun, tak již v roce 2011 přesáhla hranici 250 miliónů tun. Elektrotechnika se pak na celosvětové spotřebě plastů podílí přibližně 5,6 %.



Obr. 11: Spotřeba plastů v Evropě

Z hlediska elektrotechniky jsou dnes polymery, i v laické veřejnosti, všeobecně známy jako výborné izolanty. V elektrotechnice však nacházejí daleko širší využití. Využívány jsou i jako konstrukční prvky, pouzdrící materiály, magnetické plasty, dále nacházejí uplatnění v akustice, v optice, ale i jako dielektrika a v poslední době i jako vodiče a polovodiče. V kapitole 2.1 jsou popsány hlavní představitelé polymerních materiálů a jejich využití v elektrotechnice.

2.1 Hlavní představitelé termoplastů

2.1.1 Polyetylén

Polyetylén (PE) je jedním z nejjednodušších termoplastů. Byl poprvé připraven Gustavsonem v roce 1884, k průmyslové výrobě však došlo až v letech 1933. Základní strukturou polyethylenu je uhlovodíkový řetězec, který nenesé žádné substituenty. Polyethylen je vyráběn různými postupy a tvoří širokou paletu produktů s rozličnými vlastnostmi. Podle hustoty dělíme polyetylén na materiál s velmi nízkou hustotou

ULDPE až po UHMW-HDPE, materiál s velmi vysokou hustotou a zároveň ultra vysokou molekulovou hmotností (Tab. 3: Třídění polyethylenu podle hustoty). [1,4]

Zkratka	Typ	Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
ULDPE	PE s velmi nízkou hustotou	888 - 915
LDPE	PE s nízkou hustotou	910 - 955
LLDPE	Lineární PE s nízkou hustotou	918 - 955
MDPE	PE se střední hustotou	925 - 940
HDPE	PE s vysokou hustotou	941 - 954
HMW-HDPE	PE s vysokou molekulovou hmotností	944 - 954 Molekulová hmotnost 200.000 - 500.000
UHMW-HDPE	PE s ultravysokou molekulovou hmotností	955 - 957 Molekulová hmotnost 200.000 - 500.000

Tab. 3: Třídění polyethylenu podle hustoty

2.1.1.1 Vlastnosti polyethylenu a jeho použití v elektrotechnice

Polyethylen má vysokou krystalitu, je to tuhá látka, elastická, téměř průhledná, na omak s voskovým charakterem, látka s vysokou houževnatostí a tažností, stálá proti chemickým činidlům a za normální teploty se nerozpouští v žádném rozpouštědle. Rozpustná je až za teplot nad $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ v aromatických nebo chlorovaných uhlovodících či v dekalinu. Teplota tání se pohybuje v rozmezí $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $136\text{ }^{\circ}\text{C}$. Polyethylen má díky své nepolárnosti molekul výborné elektroizolační vlastnosti. Měrný elektroizolační odpor se pohybuje v rozmezí $10^{14}\ \Omega\cdot\text{m}$ až $10^{15}\ \Omega\cdot\text{m}$, elektrická pevnost okolo $60\cdot 10^3\ \text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$ a činitel dielektrických ztrát $\text{tg } \delta$ 0,001 až 0,004. Na tyto výborné vlastnosti nemají v podstatně vliv změna teploty, vlhkost. Používán je pro výrobu kabelů, kde slouží jako izolace, dále pro silové vodiče, ale i pro izolace dálkových a sdělovacích kabelů, telefonních kabelů a pro výrobu krytů a konektorů. Taktéž je uplatňován ve formě izolačních a technických fólií. Pro své výhodné vlastnosti, které nejsou závislé na kmitočtu, je využíván ve vysokofrekvenční technice. Pro výrobu různých výlisků, pro výrobu koaxiálních kabelů (s izolací z pěnového PE). [1,4]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- nízká cena,
- snadná zpracovatelnost,

- výborné elektroizolační vlastnosti,
- velmi dobrá chemická odolnost,
- nízká permeabilita vodních par,
- tuhost a vláčnost i při nízkých teplotách.

Mezi nevýhody patří:

- sklon k oxidaci,
- nízká odolnost proti poškrábání,
- nízká pevnost v tahu,
- hořlavost (příčemž při hoření odkapává hořící tavenina)

2.1.2 Polyimidy

Polyimidy (PI) jsou materiály s vynikající tepelnou stabilitou. V produkci vysoce tepelně odolných plastů zaujímají nejvyšší postavení. Ale i přes to je jejich světová roční produkce v řádu jednotek kilo tun. Příprava polyimidů je možná přes předpolymery. Tato výroba je však technicky náročná a problematická. Je to způsobeno tím, že se nese snadno odstraňují poslední zbytky reakční vody ze stále se ztužujícího materiálu a vznikají bubliny v materiálu. [1,4]

2.1.2.1 Vlastnosti polyimidů a jejich použití v elektrotechnice

Jak již bylo zmíněno v úvodu, polyimidy odolávají vysokým teplotám, běžně teplotám do 260 °C. Ve speciálních aplikacích je však možné dosáhnout i vyšších teplotních odolností a to až 480 °C. Polyimidy však nemají jen dobré tepelné vlastnosti, ale mají i dobré mechanické, chemické a elektrické vlastnosti. Polyimidy mají i výborné elektroizolační vlastnosti za zvýšené teploty, zřejmě nejlepší ze všech organických materiálů. Polyimidové izolace umožňují práci elektrickým motorům i při teplotách okolo 250 °C. Tyto materiály odolávají i silnému záření, jsou samozhášivé a v přímém ohni pouze koksovatí (netají). Nejsou rozpustné v žádném organickém rozpouštědle, neodolávají však anorganickým kyselinám. Polyimidy mají rozsáhlé použití, ale vždy jen ve speciálních a náročných případech. V elektrotechnice jsou používány jako izolace elektrických točivých strojů. Izoluje cívky, vodiče, drážky i vývody motorů

a generátorů. Uplatnění nachází i v transformátorech na izolaci závitů, vrstev a přívodů transformátorů. Používají se ve vysokonapěťových strojích. Polyimidy obecně se také využívají jako laky. Takový vytvrzený lak má dobrou adhezi k mědi a odolává více než 20 000 h teplotě 220 °C. Další možností aplikace polyimidů je opláštění kabelů, drážkové izolace nebo lakování drátů. [1,4]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- dobré elektroizolační vlastnosti i za vyšších teplot,
- výborná odolnost proti organickým rozpouštědlům,
- výborné mechanické elektrické i chemické vlastnosti,
- tepelná odolnost,
- nehořlavost.

Mezi nevýhody patří:

- vyšší výrobní náklady,
- neodolávají anorganickým kyselinám,
- neodolávají hydrolyze vroucí vody.

2.1.3 Polyamidy

Polyamidy (PA) jsou lineární polymery obsahující v řetězci amidové skupiny CONH. Nejvýznamnější jsou polyamidy s alifatickými řetězci, používají se však i typy aromatické. První polyamid se podařilo vytvořit W. H. Carothersovi v roce 1934. Jednalo se o vysokopolymerní polyamid o bodu tání 210 °C. Dnes se polyamidy vyrábí pomocí polykondenzace nebo polymerace.

2.1.3.1 Vlastnosti polyamidů a jejich použití v elektrotechnice

Vlastnosti polyamidů se mění v závislosti na výchozích monomerech. Typický polyamid je v tuhém stavu z 30 % až 50 % krystalický a neprůhledný. Krystalická struktura je ovlivněna vodíkovými můstky, kterými jsou propojené řetězové molekuly. Polyamidy jsou houževnaté, tvrdé, odolné proti oděru a mají dobré elektroizolační charakteristiky. Dielektrické vlastnosti v suchém stavu jsou velmi dobré, v prostředí s větší vlhkostí se zhoršují, důsledkem absorbování vlhkosti. Elektrické vlastnosti lze

upravovat přidáním anorganických přísad. Vzhledem k relativně polárnímu charakteru a vysoké nasákavosti nedochází u polyamidů ke vzniku elektrostatického náboje a tím k přitahování prachových částic. Mechanické vlastnosti mají rozličné a jsou závislé na typu, molekulové hmotnosti a obsahu vody. Všechny polyamidy jsou odolné vůči olejům, většinou technických rozpouštědel, roztoků alkálií a i pohonných látek. Polyamidy mají relativně nízkou tavnou viskozitu. Kyseliny, zvláště koncentrované, je rozpouštějí až štěpí. Vzhledem ke své dobré odolnosti vůči oděru se používají v kabelové technice jako ochranný plášť na izolace z polyvinylchloridu nebo polyetylenu. Z důvodu dobrých mechanických vlastností se také používají k výrobě krytů a částí motorů, u nichž by při použití kovových částí mohlo dojít k úrazu elektrickým proudem. Polyamidy se také používají jako elektroizolační laky pro impregnaci vinutí a jako kryty potenciometrů. Poslední oblastí použití je výroba výlisků, polotovarů a vláken. [2,7]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- dobré elektroizolační charakteristiky,
- odolnost vůči oděru,
- tvrdý a houževnatý materiál.

Mezi nevýhody patří:

- jsou nasákavé,
- nejsou odolné vůči kyselinám.

2.1.4 Polystyren

Polystyren (PS) se vyrábí polymerací styrenu. Výsledný polymer je tuhá křehká hmota, v přirozeném stavu dokonale bezbarvá a průsvitná. Dá se ale snadno probarvit do všech barev a může být transparentní, průsvitný i neprůhledný. Na světové výrobě plastů se podílí přibližně 9 % až 10 %. Polystyren můžeme rozdělit do pěti základních skupin, homopolymery styrenu, zpěňovatelné plasty, houževnaté plasty, kopolymery styrenu, polymery ABS. Standartní plasty, tzn. homopolymery styrenu, se vyznačují průzračností a leskem, jsou ale značně křehké. Zpěňovatelné plasty s obsahem nadouvadla umožňují vypěnění materiálu do různých forem pro výrobu lehčených produktů s nízkou hustotou a s výbornými tepelně izolačními vlastnostmi. Houževnaté

plasty se sníženou křehkostí jsou neprůhledné a s nižším leskem. Kopolymery styrenu s akrylonitrilem nebo dalšími monomery jsou vhodné pro aplikace vyžadující zvýšenou odolnost vůči teple. Polymery ABS jsou houževnaté typy. [1,4]

2.1.4.1 Vlastnosti polystyrenu a jeho použití v elektrotechnice

K přednostem polystyrenu patří snadné zpracování, dobré elektroizolační vlastnosti a nízká navlhavost. Elektrická pevnost se pohybuje okolo $50 \cdot 10^3 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ a izolační odpor dosahuje hodnoty až $10^{16} \Omega$. Polystyren je ceněn i pro své mimořádné optické vlastnosti, propouští až 90 % dopadajícího světla. Polystyren odolává minerálním a většině rostlinných olejů, zásadám a kyselinám (kromě kyseliny dusičné), alkoholům a dalším činidlům. Není odolný vůči benzolu, toluenu, xylenu, a jeho směsím, chlorovaným uhlovodíkům, terpentýnu, éteru a petroleji. Nevýhodou PS je malá odolnost vůči teple, jen do 60 °C až 100 °C. V audio technice se používá pro výrobu CD nosičů a jejich krytů. Dále se využívá pro výrobu fototechniky, chladniček, domácí elektroniky, krytů přístrojů. Neupravený polystyren se používá pro nátěrové látky pro vysokofrekvenční techniku, na elektroizolační laky, pro výrobu koster cívek, krytů a elektrotechnických součástek. Z velmi tenkých polystyrenových fólií, které jsou zpevněny orientací molekul, se zhotovují izolace kabelů a dielektrika pro kondenzátory. [2,7]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- nízká cena,
- nenasákavost,
- dobré elektroizolační vlastnosti.

Mezi nevýhody patří:

- poměrně vysoká křehkost,
- špatná chemická odolnost.

2.1.5 Polypropylen

Polypropylen (PP) patří mezi nejmladší plasty, objeven byl G. Nattou až v roce 1954. Polypropylen je krystalický polymer o stupni krystality 60 % až 75 %. Krystalická struktura se dá významně ovlivnit podmínkami při zpracování, velmi

rychlým ochlazením taveniny polypropylenu lze získat vysoce transparentní tenkostěnné výrobky. Pomalejším ochlazením se zvyšuje houževnatost, transparence a flexibilita. [1,4]

2.1.5.1 Vlastnosti polypropylénu a jeho použití v elektrotechnice

Vzhledem k vysoké krystalitě je polypropylen neprůhledný. Bod tání čistého izotaktického polypropylenu je 176 °C. Je to materiál o nízké hustotě 900 kg/m³ až 920 kg.m⁻³. Vykazuje dobrou odolnost proti chemickým činidlům a za normální teploty se nerozpouští v žádném rozpouštědle. Rozpustný je až za teplot nad 90 °C v aromatických nebo chlorovaných uhlovodících či v dekalinu. Polypropylen má dobrou odolnost vůči teplotě, krátkodobě snese až 135 °C, dlouhodobě 100 °C. Polypropylen má obecně nižší odolnost vůči povětrnostním vlivům a v případě, že není stabilizovaný vůči UV záření, dochází u něho po několika týdnech na slunci ke křehnutí a praskání. V případě stabilizovaného materiálu se životnost, při vystavení UV záření, pohybuje okolo 6 let. Strukturu má nepolární, takže vykazuje výborné elektroizolační vlastnosti v široké oblasti frekvencí. Relativní permitivita je 2,3. Elektrická pevnost polypropylen má okolo 80.10³ kV.m⁻¹. Polypropylen se uplatňuje při výrobě, kde je žádána tuhost, mechanická pevnost a výborné elektroizolační vlastnosti. Využívá se při izolaci kabelů, nelze jím však izolovat vodiče z mědi, při výrobě svitkových kondenzátorů, cívek, vypínačů a izolačních pásek, kde se uplatňuje jako nosič. [2,7]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- výborné elektroizolační vlastnosti v široké oblasti frekvencí,
- dobře odolává vroucí vodě a sterilizaci vodní párou.

Mezi nevýhody patří:

- špatná odolnost vůči UV záření,
- nízká odolnost vůči teplotě.

2.1.6 Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid (PVC) je jedním z nejdůležitějších termoplastů. V průmyslové praxi se začal využívat v roce 1930. Velký rozmach výroby však nastal až po druhé světové válce. Dnes se podílí na celkové výrobě plastů přibližně 22 %. Polyvinylchlorid

se vyrábí několika způsoby: syntézou, kombinovaným způsobem, oxychloračními metodami, emulzní polymerací, suspenzní polymeraci nebo polymerací v bloku. [1,4]

2.1.6.1 Vlastnosti polyvinylchloridu a jeho použití v elektrotechnice

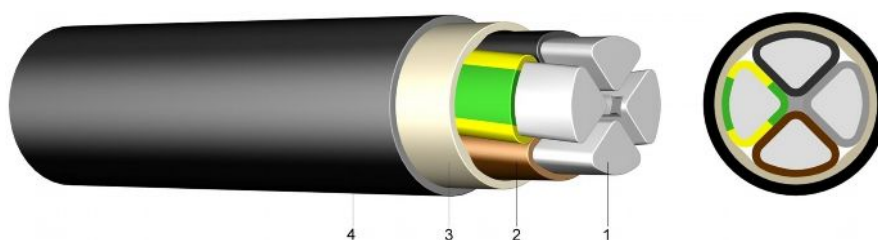
Polyvinylchlorid je termoplast amorfní povahy, příčinou amorfní povahy je nepravidelné prostorové uspořádání atomů chloru na hlavním uhlíkovém řetězci. Čistý polyvinylchlorid je bílá práškovitá hmota, bez zápachu, nerozpustný ve vodě, o hustotě $138 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Stupeň krystality je nízký 3 % až 10 %, lineární řetězce jsou slabě rozvětvené. Neměkčený polyvinylchlorid je tepelně tvarově stálý do $45 \text{ }^\circ\text{C}$, krátkodobě odolává i teplotě $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Mechanické vlastnosti PVC jsou za běžných podmínek praktického využití zcela dostatečné a umožňují výrobu nejrůznějších součástí a dílů pro elektrotechniku, ale i jiné aplikace. Chemická odolnost polyvinylchloridu je vynikající, je rozpustný jen v polárních organických rozpouštědlech. Elektrická pevnost je $40 \cdot 10^3 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ až $50 \cdot 10^3 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, relativní permitivita ϵ_r 4, dielektrické ztráty 0,02, povrchový odpor dosahuje hodnoty $3 \cdot 10^{15}$. Neměkčený polyvinylchlorid se používá na výrobu nejrůznějších konstrukčních prvků, součásti ventilů a armatur, ventilátorů pro chemické provozy, krytů a rozvodných krabic. Měkčený PVC již nedosahuje tak dobrých elektrických vlastností. Důvodem jsou přidaná změkčovadla. Na jednu stranu zlepšují ohebnost materiálu, ale na druhou stranu snižují izolační odpor a elektrickou pevnost, permitivita a činitel dielektrických ztrát se naopak zvyšují. Měkčené PVC se používá především v kabelové technice, převážně na výrobu izolace kabelů do 30 kV. Polyvinylchlorid se také používá na výrobu elektroizolačních pásek. [1,4]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- nízká cena,
- dobré elektroizolační vlastnosti,
- vynikající odolnost vůči vodě a kyselinám,
- vysoká tvrdost a mechanická pevnost,
- odolnost proti oděru.

Mezi nevýhody patří:

- při výrobě je zdravotně závadný,
- hůře zpracovatelný plast,
- menší odolnost vůči teplotě.



Obr. 12: Kabel s PVC izolací [21]

Legenda:

1...Hliníkový vodič, 2...Izolace žil z polyvinylchloridu (PVC), 3...Výplň z polyvinylchloridu,
4...Vnější plášť z polyvinylchloridu

2.1.7 Polytetrafluoretylen

Způsob přípravy polytetrafluoretylenu (PTFE) byl popsán již v roce 1933. Výroba byla v průmyslovém měřítku zavedena během druhé světové války u fy Du Pont pod obchodním názvem Teflon. Výchozí tetrafluorethylen je netoxický plyn, je mimořádně reaktivní a velmi snadno polymeruje a při polymeraci vzniká značné teplo.

2.1.7.1 Vlastnosti polytetrafluoretylenu a jeho použití v elektrotechnice

Polytetrafluoretylen je tvořen nerozvětveným uhlíkovým řetězcem a je z velké části krystalický, 93 % až 97 %. Je bílý až šedavý a má hustotu 2140 kg.m^{-3} až 2200 kg.m^{-3} , je nerozpustný ve všech známých rozpouštědlech, je zdravotně nezávadný a nehořlavý. Má velmi vysokou viskozitu i nad bodem tání a vysokou rázovou houževnatost. Chemickou odolností převyšuje všechny ostatní polymery. Vykazuje výbornou tepelnou odolnost, měknout začíná až při teplotě $327 \text{ }^\circ\text{C}$ a naopak ohebný je i při teplotě $-150 \text{ }^\circ\text{C}$. Je extrémně odolný vůči povětrnostním vlivům a má neobyčejně nízký koeficient tření. Vzhledem ke své nepolární lineární struktuře je PTFE jedním z nejlepších dielektrických materiálů, relativní permitivita ϵ_r 2,1. Dielektrické vlastnosti v podstatě nezávisí na frekvenci a teplotě. PTFE se používá tam, kde jsou kladeny velké

požadavky na izolační, dielektrické a konstrukční účely. Z PTFE jsou vyráběny pásy nebo filmy na vyložení drážek rotorů a statorů. Dále slouží pro výrobu izolátorů, koaxiálních spojek a izolací pro dráty a kabely vystavené vysoké teplotě. Nízký koeficient tření předurčuje tento materiál na výrobu ložisek, membrán, samomazných ložisek. A také pro všechny konstrukční díly, kde dochází k tření, je silně korozivní prostředí nebo vyšší teploty.

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- dobré elektroizolační vlastnosti i za vyšších teplot,
- výborná chemická odolnost,
- je nehořlavý,
- výborná tepelná odolnost.

Mezi nevýhody patří:

- není odolný vůči vysokoenergetickému záření.

2.2 Zástupci reaktoplastů

2.2.1 Fenoplasty

Pod pojmem fenoplasty (PF) nebo fenolické pryskyřice rozumíme syntetické pryskyřice na bázi fenolů a aldehydů a výrobky z nich. Poprvé se podařilo H.Baekelandovi vytvořit z kondenzátu formaldehydu a fenolu a vhodného plniva látku, která se dala teplem tvářet a až posléze vytvrdit na výlisek velmi dobrých mechanických vlastností, dnes je známý především pod názvem bakelit. Fenoplasty svým základním charakterem patří mezi historicky první z typických reaktoplastů, u kterých působením tepla nastává chemické vytvrzení a látka přechází nevratně do netavitelného a rozpustného stavu. [1,4]

2.2.1.1 Vlastnosti fenoplastů a jejich použití v elektrotechnice

Pohledově jsou fenoplasty čirá pryskyřice žlutohnědého zbarvení. V případě výlisků tmavé barvy a mají charakteristický vzhled tzv. bakelitu. Jednotlivé druhy fenolických materiálů se od sebe liší hlavně fyzikálními parametry, závislými na druhu pryskyřice a plniva. Podle různých se vlastností má samozřejmě každý druh i jiné

použití. Tažnost a vrubovou houževnatost mají nízkou. Tvarová stálost je 125 °C až 135 °C a trvalá teplotní odolnost do 100 °C. Fenoplasty vykazují nízkou teplotní roztažnost. Chemické vlastnosti mají dobré, odolávají alkoholům, rozpouštědlům, uhlovodíkům, olejům, palivům. Naopak neodolávají silným kyselinám, zásadám a horké vodě. Fenoplasty mají dobré elektroizolační vlastnosti, ale dielektrické ztráty mají vysoké. Při používání v praxi nahrazují často fenoplasty klasické kovové materiály ve všech průmyslových odvětvích. V elektrotechnické výrobě slouží pro výrobu konstrukčních součástí pro elektrotechniku, vrstvených hmot pro elektrotechniku, na výrobu vypínačů, jističů. Dále pro kabelové a odrušovací koncovky, kryty, kostry cívek, zátky, svorkovnice, základní desky, patice, objímky žárovek, statory přepínačů, elektroizolanty. [1,4]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- dobré elektroizolační vlastnosti,
- nízká teplotní roztažnost,
- nízká cena.

Mezi nevýhody patří:

- neodolávají hydrolyze vroucí vody,
- neodolávají kyselinám a zásadám.

2.2.2 Aminoplasty

Aminoplasty jsou druhým základním typem reaktoplastů, objeveny byly po již dříve zmíněných fenoplastech. První aminoplast se povedl vytvořit v roce 1920 H. Johnovi, byl to český chemik. Aminoplasty jsou tvořeny kondenzáty formaldehydu s látkami obsahující aminové nebo amidové skupiny.

2.2.2.1 Vlastnosti aminoplastů a jejich použití v elektrotechnice

Aminoplastové materiály mají ve srovnání s fenolickými materiály širší možnosti vybarvení. Od světlých odstínů, kterých nelze u fenolických výlisků dosáhnout až po různé barevné kombinace, zvláště pastelové barvy s nejrůznějšími odstíny. Mechanické vlastnosti jsou velmi dobré a dobře odolávají i UV záření. V případě močovinových materiálů odolávají teplotám do 65 °C, krátkodobě do 90 °C. U melaminových

materiálů je tepelná odolnost výrazně vyšší a dosahuje až 200 °C. Melaminové materiály mají oproti močovinným materiálům i větší povrchovou tvrdost, otěruvzdornost a i vyšší lesk. Elektroizolační vlastnosti močovinných materiálů jsou velmi dobré, avšak melaminové materiály vykazují ještě lepší elektroizolační vlastnosti. Aminoplasty obecně špatně odolávají kyselinám, olejům a tukům, melaminové materiály vykazují lepší odolnost proti horké vodě a podstatně menší nasákavostí. Melaminoformaldehydové materiály se používají na výrobu elektroizolačních součástí, které jsou odolné vůči plazivým proudům a zvýšené teplotě. Dále pak na patice žárovek, objímky, zásuvky, vidlice, ovládací součásti barevně rozlišené. Močovinoformaldehydové se používají zejména na konstrukční součásti elektrických spotřebičů, méně náročné elektroizolanty, kryty přístrojů, součásti ovladačů, knoflíky, tlačítka, páčky. A na jiné různě povrchově zbarvené díly. [1,4,5]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- dobré elektroizolační vlastnosti,
- odolné UV záření.

Mezi nevýhody patří:

- močovinnové materiály odolávají hůře teplotě,
- močovinnové materiály špatně odolávají horké vodě.

2.2.3 Epoxidy

Epoxidy (EP) neboli epoxidové pryskyřice jsou sloučeniny, které obsahují v molekule více než jednu epoxidovou skupinu. V průmyslovém měřítku začala výroba epoxidových pryskyřic za druhé světové války, ale až v poválečném období se výroba masově rozšířila. Dnes se pryskyřice vyrábějí v různých druzích a dodávají se ve formě viskózních sirupovitých kapalin nebo i v tuhém stavu.

2.2.3.1 Vlastnosti epoxidů a jejich použití v elektrotechnice

Epoxidové pryskyřice jsou na pohled nažloutlé až hnědé. Vynikají výjimečnými adhezivními vlastnostmi a to zvláště k těžko lepitelným materiálům jako jsou reaktoplasty, kovy, lamináty, sklo, porcelán, keramika, atd. Samozřejmě spolehlivě spojují i jiné materiály, dřevo papír, lepenku a to i v různých kombinacích. Mechanická

pevnost vytvrzených epoxidů je vynikající, zvláště pevnost ve smyku. Spoje zhotovené epoxidovými lepidly často předčí klasické spoje svařované nebo nýtované. Také tepelná odolnost je velmi dobrá, dle jednotlivých typů jsou v rozmezí od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, při dlouhodobém zatížení snášejí nejlepší epoxidy až $160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Chemická odolnost je také dobrá. Epoxidy odolávají zředěným kyselinám, alkoholům, aromatickým uhlovodíkům, palivům, hydroxidům. Špatně však odolávají acetonům, esterům a chlorovaným uhlovodíkům. Z elektrických vlastností vyniká u epoxidů především vysoká hodnota povrchového odporu a elektrická pevnost. Vysoká polarita epoxidových funkčních skupin však způsobuje to, že jsou permitivita a činitel dielektrických ztrát jsou značně frekvenčně závislé, permitivita ϵ_r v rozsahu kmitočtu 10^2 Hz až 10^8 Hz a činitel dielektrických ztrát $\text{tg } \delta$ v rozmezí hodnot $0,29\%$ až $3,4\%$. V elektronice se používají k zalévání součástí i celých obvodů, lepení součástí, dílů i celých součástek, V elektrotechnice pak k lepení součástí točivých strojů. Epoxidové skelné lamináty se používají jako izolační podkladové materiály nebo protikorozi ochranné látky. Epoxidové lisovací materiály nacházejí uplatnění ve výrobě rozměrných tlustostěnných technických dílů i jemných členitých součástí jako jsou součásti opláštění statorů, rotorů, relé, transformátorů, základních desek a dále jako kryty regulátorů, přepínačů, spínačů. [1,4,5]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- vysoká hodnota povrchového odporu,
- vynikající adhezivní vlastnosti,
- dobrá tepelná odolnost.

Mezi nevýhody patří:

- špatně odolávají některým chemickým látkám.

2.2.4 Silikony

Hromadná výroba těchto materiálů začala až v poválečném desetiletí. Silikony (SI) zahrnují zpravidla všechny organokřemičité sloučeniny. Vyrábí se převážně pomocí dvou hlavních metod. První je Griegmardova syntéza. Druhá, v současné době spíše využívána, metoda přímé syntézy. [1,4,5]

2.2.4.1 Vlastnosti silikonů a jejich použití v elektrotechnice

Silikony vykazují téměř ve všech směrech výjimečné vlastnosti. Mají vynikající odolnost vůči teplotě, dlouhodobě snášejí teploty do 200 °C, krátkodobě dokonce až 350 °C. Základní fyzikální a mechanické vlastnosti se vlivem teploty mění jen minimálně. Dále se vyznačují skvělou odolností vůči chemickým a oxidačním vlivům. Mají značné hydrofobační účinky, jsou inertní vůči účinkům záření a jsou fyziologicky nezávadné, což je předurčuje k použití v lékařství a farmaceutice. Vykazují výborné elektroizolační vlastnosti, mají vysokou elektrickou pevnost a dielektrické vlastnosti se jen minimálně mění s teplotou a frekvencí. Silikonové oleje nachází uplatnění jako oleje do transformátorů, silikonová olejová dielektrika, která zlepšují izolační vlastnosti nebo slouží jako izolační náplně u zařízení značně tepelně namáhaných. Dále se používají v kondenzátorech. Pomocí silikonových olejů se provádí hydrofobace materiálů (např. na skle, keramice atd.). Hydrofobací se provádí zlepšení elektroizolačních vlastností například na keramických izolátorech nebo zlepšení vodoodpudivosti u papíru, textilu. Silikonové kaučuky se používají při výrobě reflektorů, elektrických motorů, turbín, membrán. Používají se i na speciální kabely, u kterých i po shoření je popel nevodivý. Silikonové pryskyřice se uplatňují jako zalévací a pouzdricí materiály pro součástky v elektronice i mikroelektronice. Dále se používají jako izolace vodičů používaných na výrobu elektrických strojů nebo transformátorů. [1,4,5]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- výborné vlastnosti ve všech směrech.

Mezi nevýhody patří:

- oproti jiným plastům vyšší cena.

2.3 Zástupci elastomerů

2.3.1 Butadien-styrenový kaučuk

Butadien-styrenový kaučuk (SBR) byl vyvinut ve třicátých letech minulého století v Německu. Pod pojmem kaučuky rozumíme polymery, které mohou být převedeny fyzikálním nebo chemickým zasíťováním v elastomery. Elastomery lze působením malých sil silně protáhnout, aniž by došlo k jejich poškození, a po skončení působení deformační síly přecházejí do původního stavu. Samozřejmě i tato vlastnost má své

fyzikální limity, při působení nadměrně velké síly se nemusí materiál vrátit úplně do původního stavu nebo může dokonce dojít k jeho nevratnému poškození.

2.3.1.1 Vlastnosti butadien-styrenového kaučuku a jeho použití v elektrotechnice

Butadien-styrenový kaučuk je univerzální kaučuk, který představuje asi 45 % celosvětové výroby syntetických kaučuků. Má podobné vlastnosti jako přírodní kaučuk. Butadien-styrenový kaučuk vykazuje dobrou odolnost mechanickému namáhání. Jedná se o elastický materiál. Použitelný je v rozsahu teplot $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vykazuje částečnou chemickou odolnost vůči vodě, luhům a slabému roztoku kyselin. Naopak není odolný vůči olejům, alifatickým rozpouštědlům, aromatickým rozpouštědlům, palivům. Butadien-styrenový se v elektrotechnice využívá především při výrobě kabelů.

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- elastický materiál,
- dobrá mechanická odolnost.

Mezi nevýhody patří:

- horší chemická odolnost.

2.3.2 Silikonové kaučuky

Silikonové kaučuky se připravují alkalickou nebo kyselou polymerací. Při polymeraci se používá nízká koncentrace katalyzátoru, pod 0,01 %. Je to z důvodu, aby zůstaly zajištěny dobré elektroizolační vlastnosti a tepelná stabilita. Silikonové kaučuky se dělí na typy vulkanizované za tepla a silikonové kaučuky vulkanizované za teploty místnosti. [1,4,5]

2.3.2.1 Vlastnosti silikonového kaučuku a jeho použití v elektrotechnice

Silikonový kaučuk je bezbarvý. Vykazuje výbornou tepelnou odolnost, krátkodobě odolává i $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, dlouhodobě $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Elasticitu si zachovávají i za nízkých teplot, při $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Chemickou odolností se silikonový kaučuk vyrovná kaučuku polychlorprenovému. Ostatní kaučuky pak překonává v odolnosti proti stárnutí. Oproti běžným kaučukům má však, vzhledem k nepatrné hustotě kohezní energie, značně nižší

pevnost v tahu. Silikonový kaučuk má nedostatečnou odolnost vůči organickým rozpouštědlům, alkáliím a špatně odolává i působení přehřáté vodní páry. Elektroizolační vlastnosti má dobré. V elektrotechnice se uplatňuje především jako těsnící a elektroizolační materiál a všude tam, kde je potřebná odolnost vůči zvýšeným teplotám. Používá se v elektrických točivých strojích, v termostatech, při výrobě kabelů. Díky tlumicí vlastnosti nachází uplatnění jako materiál používaný k tlumení vibrační zařízení a přístrojů používaných při vysokých a i nízkých teplotách. [1,4,5]

Mezi výhodné vlastnosti patří:

- dobré elektroizolační vlastnosti,
- velký rozsah teplot použitelnosti.

Mezi nevýhody patří:

- nižší pevnost v tahu,
- nedostatečnou chemickou odolnost.

2.4 Vodivé polymery

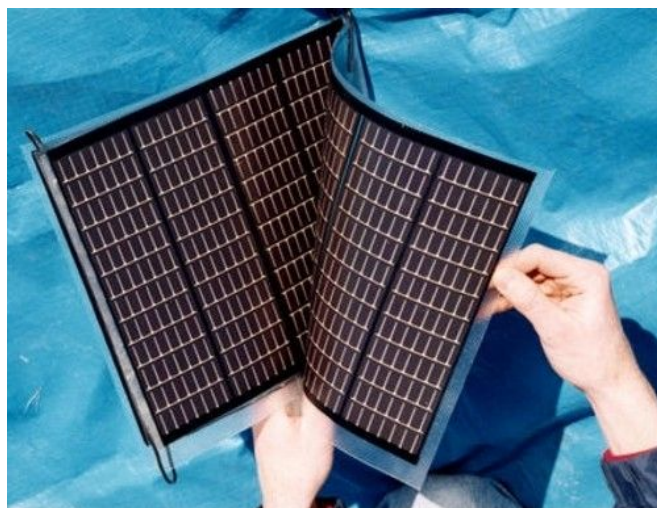
Polymery jsou všeobecně známy jako izolanty, uplatňují se tedy jako materiály izolující vodiče elektrického proudu. Avšak v sedmdesátých letech minulého století se podařilo fyziku Alanu J. Heegerovi a chemikům Alanu G. MacDiarmidovi a Hideki Širakawaovi vytvořit polymer, který se choval jako vodič. Za tento objev obdrželi v roce 2000 Nobelovu cenu za chemii. Vodivé polymery v sobě spojují elektrické chování typické pro polovodiče s materiálovými vlastnostmi umožňujícími jednoduché zpracování. Mohou měnit svou strukturu, a tedy v závislosti na odezvě okolního prostředí i své fyzikální vlastnosti. Jednou cestou pro zajištění vodivosti u polymeru je vytvoření kompozitu obsahujícího saze nebo práškový grafit. Výrazné zvýšení elektrické vodivosti je tedy zajištěno přidáním látky. Vedle vodivých kompozitů existují i konjugované polymery, které mohou vykazovat vlastní vysokou elektrickou vodivost. Umožňuje ji pravidelné střídání jednoduchých a dvojných vazeb (konjugace) v molekulární struktuře. Kromě systému těchto vazeb je nezbytným předpokladem přítomnost pohyblivých nosičů náboje, které transport po konjugovaném řetězci zprostředkovávají. Strukturálně nejjednodušším konjugovaným polymerem je polyacetylen. Pokud tenkou vrstvou polyacetylenu dopujeme parami jodu, vzroste

elektrická vodivost této vrstvy přibližně milionkrát. Z polymerního řetězce je odejmut elektron. Po přenesení elektronu z řetězce polyacetyleny k molekule jodu, která se nabije záporně, nese polyacetylenová molekula kladný pohyblivý náboj. Pro transport elektrického náboje je určujícím momentem přeskok nositelů mezi jednotlivými řetězci. Tento transport je méně efektivní než přenos náboje v kovech, je totiž silně závislý na uspořádanosti makromolekul. Přestože má polyacetylen vysokou vodivost blízkou se vodivostí kovů (až $5 \cdot 10^7 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$), není vhodný pro širší využití, má totiž nízkou stabilitu na vzduchu. Proto se vývoj vodivých polymerů zaměřil na další konjugované polymery, polypyrrol, polythiofen, polyanilin, polyfenylen, poly(p-fenylenvinylen), poly(3,4-ethylendioxythiofen) a využívány jsou nejen jako vodiče, ale své uplatnění nacházejí i jako polovodiče. Nevýhodou je, že některé vodivé polymery jsou ve srovnání s jinými polymerními materiály obtížně zpracovatelné. V běžných rozpouštědlech se nerozpouštějí, nelze je převést do taveniny a manipulace s takovými rozpouštědly, jako je koncentrovaná kyselina sírová, přináší řadu technických potíží. Vodivé polymery jsou ve srovnání s tradičními vodiči nebo polovodiči obecně méně stabilní vůči vyšším teplotám a účinkům kyslíku i dalších chemikálií. Naopak mezi jejich výhody patří lepší mechanické vlastnosti (pružnost, ohebnost) a možnost jemně ladit jejich vlastnosti úpravou chemické struktury. [29]

Polymer	Měrná vodivost [$\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$]	Dopant
polyanilin	$1 \cdot 10^3$	BF_4
polypyrrol	$1 \cdot 10^4$	BF_4
polyacetylen	$5 \cdot 10^7$	AsF_5
poly-fenylén	$3 \cdot 10^5$	Na
polysulfurnitrid	$4 \cdot 10^6$	Br_2

Tab. 4: Přehled vodivosti vybraných polymerů

V elektrotechnice vodivé polymery nacházejí uplatnění v displejích na bázi organických svítivých diod (OLED), v polymerních fotovoltaických článcích, v organických tranzistorech, v polem řízených tranzistorech (OFET), v biochemických a chemických senzorech, při výrobě super kondenzátorů a potenciometrických senzorů.



Obr. 13: Fotovoltaický článek z organických polymerů [28]

3 Technologie zpracování polymerů

Plasty obecně nelze bezprostředně zpracovávat v hotové výrobky. Nejdříve musí projít technologiemi přípravného zpracování, kdy se nezpracovává jen samotný čistý polymer, ale dle požadavků nejrůznějších průmyslových oborů se k němu přidávají další pomocné látky. Často zcela odlišného složení a charakteru, dodávající však konečnému produktu nové speciální vlastnosti, které základní polymer nemá. Dochází tak k ovlivnění fyzikální a chemické struktury plastů. Polymerům musí být dán také tvar pro další zpracování, granulát, prášek, tablety, kaše, atd. Tyto technologie se potom označují jako technologie přípravného zpracování a představují mezistupeň mezi výrobou polymeru a vlastním zpracováním. Technologie zpracování plastů se významně podílí na konečných vlastnostech a kvalitě výrobků. K hlavním přednostem zpracování plastů patří především neobyčejná efektivnost jejich tvářecích způsobů. [9]

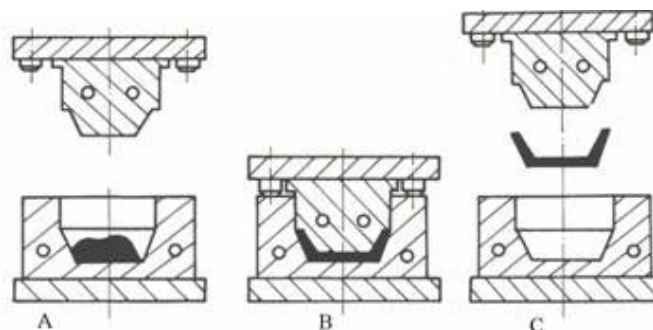


Obr. 14: Primární granulát [18]

3.1.1 Lisování

Lisování se používá převážně při zpracování reaktoplastů. Rozlišují se dva hlavní typy lisování, a to přímé a nepřímé, též nazývané přetlačování a používány jsou i jiné způsoby lisování, například lisování v etážových lisech, lisování za nízkých tlaků atd. Lisování je nejstarší způsob zpracování polymerů. Jedná se o tváření polymerů ve vyhřívané, nejčastěji ocelové formě, která udává svým tvarem tvar výsledného výrobku. Na materiál ve formě je působeno tlakem pro vytvoření požadovaného tvaru výrobku.

- **Lisování přímé:** při přímém lisování se lisovací materiály tvářejí v ocelových vyhřívaných lisovacích formách. Forma se vyhřívána většinou na teplotu 130 °C až 190 °C. Lisovací forma je obvykle dvoudílná a je upevněna v hydraulickém lisu. Lisovací tlak bývá v rozmezí 10 MPa až 60 MPa. Hodnota tlaku ovlivňuje kvalitu povrchu vylisku, smrštění. Nastavení velikosti tlaku závisí na druhu hmoty, geometrii výrobku, na teplotě předeřevu a teplotě lisování. Při lisování se vkládá do dutiny materiál buď práškový, nebo tablety o přesně stanoveném objemu. Po uzavření lisovací formy je na formu vyvíjen tlak. Materiál tlakem a vlivem tepla změkne a vyplní dutinu formy. Forma je po celou dobu odvzdušňována tak, aby mohly unikát vzniklé plyny. Pokud by se tak neučinilo, ve výsledném materiálu by vznikly vzduchové bublinky a tím by byl celý výrobek znehodnocen. Odvzdušňování probíhá tak, že lisování je na krátkou dobu přerušeno, forma se otevře, unikne vzniklý plyn a forma se znovu uzavře a pokračuje se v lisování. Po lisování probíhá vytvrzení materiálu. Doba vytvrzování je závislá na druhu materiálu. Po ukončení tvrzení se forma otevře a výrobek je hotov, případně jde na další pracovní operaci. [4]

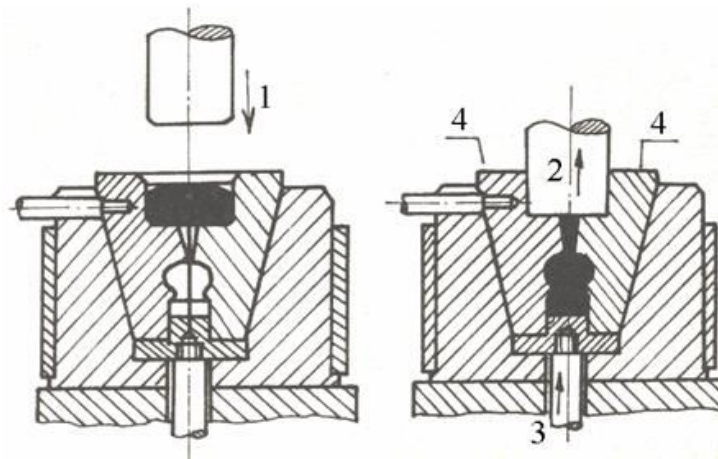


Obr. 15: Přímé lisování [27]

A – vložení reaktoplastu do dutiny formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyhození vylisku

- **Lisování nepřímé:** při nepřímém lisování (též nazývané přetlačování se používá lisovacích forem, které na rozdíl od forem na přímé lisování mají materiálovou komůrku, do níž se vkládá lisovací plast vždy pro jednu operaci. Přetlačovací tlaky jsou oproti přímému lisování vyšší, bývají kolem 50 MPa až 100 MPa. Komůrka je obvykle umístěna uprostřed formy a z ní se materiál roztéká jedním nebo několika rozváděcími kanálky do dutiny formy. Forma je konstrukčně

řešena tak, že se materiál v tlakové komůrce pohybem pístu stlačí a kanálky se vtlačí do dutiny formy. Po vytvrzení se forma otevře a vyjme se hotový produkt, zároveň tím dojde k odtržení výsledného produktu od vtokových kanálků. Přetlačovací forma se dle druhu zpracovávaného materiálu buď ohřívá, nebo naopak ochlazuje. Při přetlačování dílů z polyvinylchloridu se ochlazuje. Při zpracování reaktoplastů se stejně jako u přímé metody lisování ohřívá. Metoda nepřímého lisování je vhodná pro zhotovování členitých výlisků s tenkými stěnami. [4]



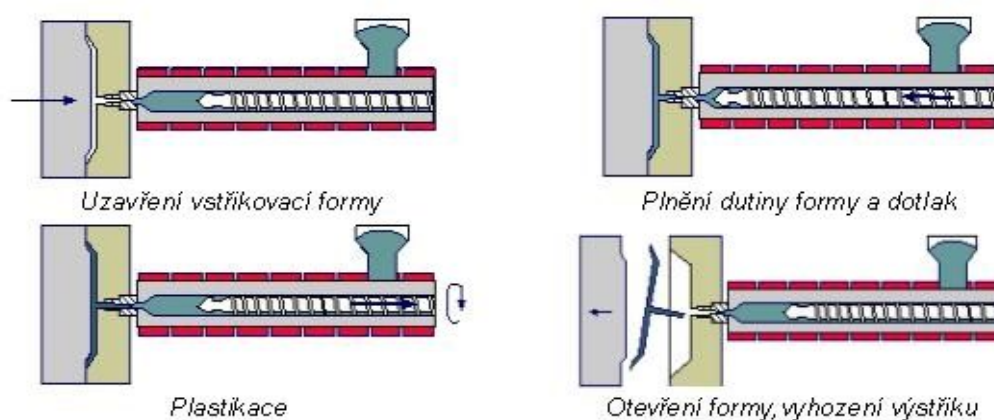
Obr. 16: Nepřímé lisování [27]

1 – přetlačení vloženého plastu, 2 – pohyb tvárníku, 3, 4 – vyhození výlisku

3.1.2 Vstříkování

Vstříkování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstříkovacího stroje a zásoba vstříkovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstříkování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou. Ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady. Vstříkováním se vyrábějí polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku nebo i takové produkty, které mají charakter konečného výrobku. Výsledné produkty zhotovené vstříkováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností. Technologie vstříkování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstříkováním lze zpracovávat

téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře lze zpracovávat i některé reaktoplasty a kaučuky. Pro vstřikování se využívá prvotní plast v podobě granulí. Ten je nasypán do násypky, z níž je odebrán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast je ve formě ochlazován, až ztuhne ve finální výrobek (Obr. 17: *Vstřikovací cyklus* [27]). Potom se forma otevře a výrobek je vyjmut a celý proces se může opakovat. [27]



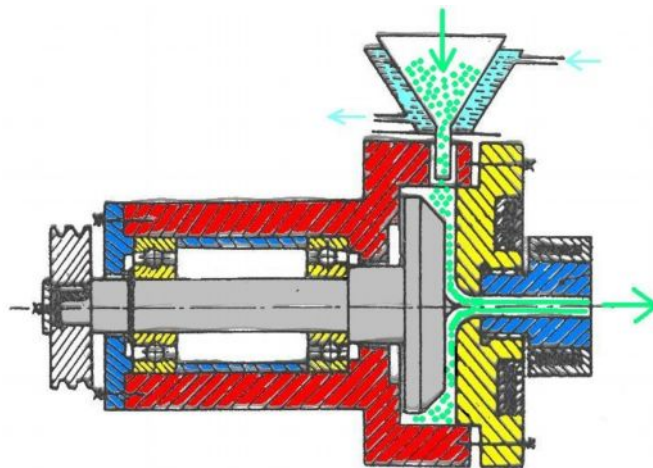
Obr. 17: Vstřikovací cyklus [27]

Vstřikování můžeme rozdělit na několik způsobů:

- Standartní vstřikování: tímto způsobem se zpracovávají zejména termoplasty, například polystyrény, polyetylény, polypropyleny, celulózy, polyamidy, acetáty atd. Materiál se vstřikuje v plastickém stavu do chladné lisovací formy. Důležitými parametry při tomto procesu tváření plastů jsou zejména teplota taveniny, teplota vstřikovací formy, vstřikovací tlak a doba vytvrzování.
- Vstřikování zpěňovatelných termoplastů: při tomto způsobu vstřikování je rozdíl pouze v používaném vstupním materiálu. Primární termoplastový granulát obsahuje navíc ještě 1 % až 3 % chemického nadouvadla, například formamid.
- Více komponentní vstřikování: tento způsob výroby dovoluje vyrábět vícevrstvé vstřikované díly, u nichž je například jádro tvořeno vylehčeným polymerem a krajová vrstva je zpevněna homogenním materiálem. Umožňuje to speciální trojcestný ventil, který vstřikuje do formy oba polymery jeden po druhém.

3.1.3 Vytlačování

Vytlačování je způsob tváření plastů, při kterém se nevyužívá forma jako u vstřikování nebo lisování. Jedná se o nepřetržitý způsob tváření, při kterém je tavenina plastu kontinuálně vytlačována přes profilovací zařízení do volného prostoru. Hlavní funkční částí vytlačovacího stroje (Obr. 18: Diskový vytlačovací stroj [27]) je pracovní válec s vložkou z kalené nebo nitridované oceli, v němž se otáčí šnek. Válec je zároveň vyhříván. Vytlačovací stroj je zařazený do výrobní linky, která kontinuálně vytlačovaný profil posouvá, kalibruje rozměry, případně upravuje povrch profilu a na závěr navíjí na bubny, nebo rozřezává na požadovanou délku. V případě že je zpracováván reaktoplast, musí být do linky zařazena navíc průběžná pec pro vytvrzování. Technologie vytlačování je vhodná pro výrobu trubek, desek, folií, vícevrstvých folií, vláken, opláštění, atd. Zpracovávat lze jak reaktoplasty tak i termoplasty.



Obr. 18: Diskový vytlačovací stroj [27]

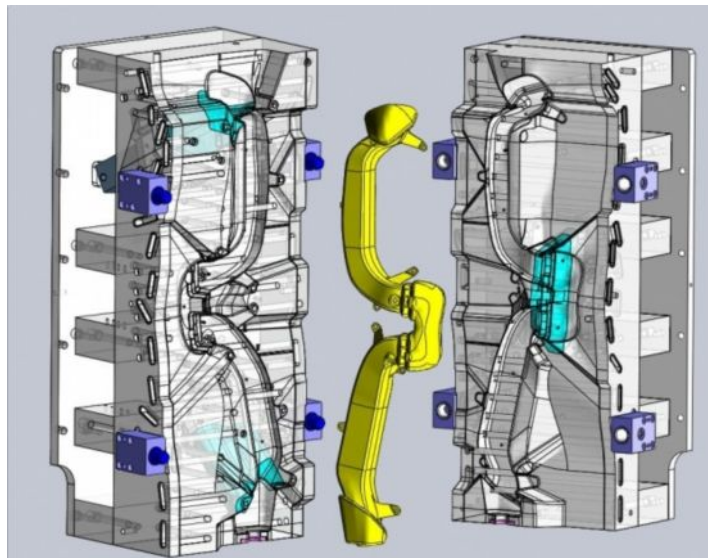
3.1.4 Vyfukování

Vyfukování je technologický způsob tváření termoplastů, především polyolefinů, polystyrénu, polyvinylchloridu. Vyfukování umožňuje vyrábět uzavřené nebo otevřené duté výrobky, například kanystry, láhve atd. Technologie vyfukování lze rozdělit dle pracovního postupu do dvou skupin, vytlačovací vyfukování a vstřikovací vyfukování. Materiál se musí zahřát do plastického stavu, kdy hmota vykazuje potřebnou tvarovatelnost, ale přitom si ještě udržuje dostatečnou soudržnost. Polotovarem může být předlisek vyráběný vstřikováním, vytlačováním nebo i fólie. Vyfukování je vhodné

pouze pro termoplasty. Zpracovávají se hlavně polypropylen, polyvinylchlorid, polyetylén, polykarbonát, polyoxymethylen, atd.

Při vstřikovacím vyfukování je na speciální ocelový trn v dutině vstřikovací formy nastříknuta tavenina plastu. Trn se poté přenesse do formy nebo je forma přesunuta k němu a v té posléze probíhá vyfouknutí výrobku do tvaru dutiny vyfukovací formy. Následuje ochlazení a ztuhnutí plastu, otevření formy a sejmутí výrobku z trnu.

Vytláčovací vyfukování probíhá mírně odlišně od vstřikovacího vyfukování. Nejprve je vytláčováním vytvořen předlisek. V okamžiku, kdy dosáhne předlisek požadované délky je odstříhnut od vytláčovacího stroje a přenesen do formy, kde je nasazen na trn. Poté je přiveden tlakový vzduch a proběhne vyfouknutí výrobku do tvaru vyfukovací formy. Dále se již proces neliší od vstřikovacího vyfukování.



Obr. 19: Vyfukovací forma [19]

3.1.5 Válcování

Válcování neboli kalandrování je způsob tváření polymerů, kterého se používá k výrobě folií a desek a k nanášení polymerů na textilní podložky. Kalandrování patří mezi nejproduktivnější technologie výroby folií. Folie se vyrábějí na válcovacích strojích různých konstrukcí, které se od sebe liší počtem a uspořádáním válců. Nejběžnějším typem jsou stroje čtyřválcové. Válcování probíhá postupně a každým dalším průchodem materiálu mezi dvojicí válců se zlepšuje kvalita prohnětení a kvalita povrchu. První štěrbina mezi válci je zásobována páskem polymerní směsi z míchacího

dvouválců nebo kontinuálního hnětače. Všechna přiváděná hmota však nemůže projít úzkou štěrbinou a hromadí se před ní v otáčející se roli. Proudění v ní je takové, že spodní část fólie vystupuje ze štěrbin prakticky nezmenšena, zatímco horní část je strhávána do středu role a znovu hnětena. Intenzita hnětení je tím větší, čím větší je rozdíl v obvodových rychlostech válců. Protože role vznikají před všemi štěrbinami kalandru, vytváří se průchodem mezi každou dvojicí válců na fólii kvalitnější povrch. [8]



Obr. 20: Válnocací stroj [30]

3.1.6 Odlévání

Odlévání dělíme podle pohybu na odlévání do statických forem a odstředivé lití. Při odstředivém lití pomáhá odstředivá síla lepšímu zatékání roztaveného plastu i do složitějších profilů formy. Nejprve je nalito potřebné množství pasty do formy z lehkého kovu. Forma se otáčí kolem několika os tak, aby se vytvořil rovnoměrný povlak. Po celou dobu je forma zahřívána. Poté co povrch materiálu začne tuhnout (tzv. želatinovat), forma se přestane zahřívát a po vychladnutí se z formy vyjme výrobek. U statického odlévání se forma ohřeje na 90 °C až 110 °C, naplní se pastou a nechá se v ní po dobu odpovídající požadované tloušťce povlaku. Během této doby se vytvoří stykem se zahřátou stěnou formy před želatinový povlak a přebytek pasty se vyleje. Forma s před želatinovaným povlakem se pak zahřeje na 130 °C až 170 °C a po určité předem definované době se ochladí na normální teplotu. Nyní je možné z formy vyjmout hotový výrobek. Odléváním se zpracovávají reaktoplastové i termoplastové pryskyřice. Z reaktoplastových pryskyřic se odlévají hlavně pryskyřice fenolformaldehydové, epoxidové, polyesterové. Z termoplastů především polyvinylchloridové pasty, deriváty celulózy, polymetalkrylát, polyamid,

polykarbonáty, polyetylén. Výhodou odlévání je výroba dílů bez vnitřního pnutí, výroba tvarově rozdílných dílů najednou, minimální odpad, konstrukční jednoduchost, nízké náklady na formy a stroje. Nevýhodou je nízká rozměrová přesnost, dlouhé pracovní cykly. [4]



Obr. 21: Izolační a konstrukční prvky vyrobené z polyamidu odléváním [30]

4 Polymerní slitiny

Dnešním obecným trendem je nahrazování přírodních materiálů materiály syntetickými, popřípadě jejich modifikacemi. Děje se tak především z důvodu potřeby materiálu, jehož vlastnosti jsou vytvořeny na míru pro danou aplikaci. V současné době existuje hned několik metod pro zmíněnou modifikaci polymerů, polymerní směsi, roubované polymery a vytvrzené polymery. Tyto způsoby přípravy polymerů jsou většinou cenově výhodnější, než příprava zcela nového typu polymeru nebo modifikace známých polymerů. Polymerní směsi se začaly průmyslově využívat v osmdesátých letech minulého století, kdy výrazně klesly ceny komoditních plastů a otevřel se tak prostor pro přípravu nových materiálů jednoduchou kombinací vhodných složek. Druhým impulzem pro růst výroby polymerních směsí bylo objevení kompatibilizátorů. Ty při vhodné chemické struktuře zabezpečili lepší dispergaci složek a zlepšili i mezifázovou adhezi a umožnili tak vytvářet směsi z libovolných kombinací výchozích polymerů. Není tedy žádných pochyb, že tím největším důvodem pro tvorbu polymerních směsí je ekonomika. Ale pro tvorbu polymerních směsí nehovoří jen ekonomické hledisko, ale i ten fakt, že například požadujeme polymerní materiál takových rozličných vlastností, že ani není možné využití žádného jiného jednoduchého polymeru. Jako velice přínosná se ukazuje i možnost zpracování polymerního recyklátu, který by nebylo možné jiným způsobem využít a zpracovat. Polymerní směsi ovšem přináší řadu výhod i pro samotné výrobce polymerů. Jde především o vylepšení výroby, jednotnost produktů a redukci špatných výrobků. Mezi další výhody lze zahrnout například flexibilitu strojních zařízení, vysokou produktivitu.

Výběr komponent pro vytvoření polymerních směsí provádíme tak, že vybereme polymerní látku, aby její výhodné vlastnosti kompenzovali nedostatky druhé polymerní látky. V současné době představují polymerní směsi přibližně 39 % celkové produkce v polymerním průmyslu. Dle mého názoru, díky neustálé tendenci zvyšování produkce způsobené potřebou materiálů se speciálními vlastnostmi (za přijatelnou cenu), se tento poměr bude i nadále zvyšovat ve prospěch polymerních směsí.

Typ polymerní směsi	Spotřeba [kt]
Na bázi PC: PC/ABS PC/ASA	362,2
Na bázi PPO: PPO/PS PPO/PA	355,3
Na bázi PBT PBT/PET PBT/PC	62,4
Na bázi PA: PA/ABS PA/SMA PA/PP	22,8
Celkem	802,7

Tab. 5: Světová spotřeba plastů na bázi polymerních směsí v roce 2008 [26]

Mezi kladné vlastnosti polymerních slitin oproti jednoduchým polymerům patří:

- lepší mechanické, elektrické, fyzikální vlastnosti,
- vylepšení výroby (jednotnost produktů, redukci špatných výrobků, vysoká produktivita),
- vývoj materiálů s velkým rozsahem žádoucích vlastností,
- přizpůsobení stavby směsi zákaznickým požadavkům,
- ředění konstrukčních polymerů levnějšími polymery,
- možnost zpracování polymerního recyklátu.

Mezi nevýhody polymerních slitin oproti jednoduchým polymerům patří:

- v některých případech vyšší cena oproti jednoduchým polymerům,
- v případě nemísitelných polymerů nutnost použití kompatibilizátorů.

4.1 Druhy polymerních slitin

Při směšování dvou polymerů navzájem můžeme o úplné mísitelnosti hovořit jen tehdy, když dojde k úplnému propletení řetězců polymeru A s řetězcí B s uplatněním jejich mezimolekulárních sil. Ve dvousložkovém systému se můžou vyskytovat tři druhy mezimolekulárních interakcí a to A-A, B-B, A-B. Při dokonalém smísení by měla převažovat interakce A-B. A-B představují interakce intermolekulární a A-A, B-B jsou interakce intramolekulární. Při mísení dvou polymerů může docházet k samovolnému mísení, tento jev je však možné sledovat jen velmi málo a vyskytuje se jen u blízkých

polymerů, analogů. Ale tento jev je spíše ojedinělý. Jelikož je většina polymerů nemísitelných, došlo by při smíchání ke vzniku dvou oddělených fází. Při výrobě polymerních slitin se tedy nejčastěji používá nucené smíšení polymerů. Jak již bylo uvedeno, je většina polymerů nemísitelných. Základní rovnicí, jež předpovídá mísitelnost či nemísitelnost dvou polymerů, je rovnice pro vyjádření Gibbsovy energie mísení:

$$\Delta G_M = \Delta H - T \cdot \Delta S_M$$

kde ΔG_M představuje změnu Gibbsovy energie mísení, ΔH směšovací entalpii, T teplotu a ΔS_M směšovací entropii. Pro mísitelnost je nutná podmínka, aby hodnota změny Gibbsovy energie mísení byla záporná, tedy $\Delta G_M < 0$. [12]

Mísitelné		Nemísitelné	
Polymer A	Polymer B	Polymer A	Polymer B
Polystyren	Poly 2,6-dimetylfenilen oxid	Polystyren	Polybutadien
Polystyren	Polyvinylmethylether	Polystyren	Polymethylmethakrylát
Polyvinylchlorid	Polybutylentereftalát	Polystyren	Polydimetylsioxolan
Polymethylmethakrylát	Polyvinylidenfluorid	Polyamid 6	Polyetylentereftalát
Polyetylen oxid	Polyakrylová kyselina	Polybutadien	Styren-butadienový kaučuk

Tab. 6: Přehled vybraných dvojic polymerů a jejich mísitelnost

Druhy polymerních slitin:

- Termoplastické elastomery – jedná se o materiál, jenž má při pokojové teplotě vlastnosti elastomeru, ale dá se zpracovávat jako termoplast. V podstatě jde o polymerní materiál, který obsahuje tvrdé a měkké domény, charakterizované různými teplotami zesklenní T_g nebo tání T_m .
- Elastomerové směsi – jsou směsi složené z amorfních polymerů, o nízké teplotě zesklenní T_g . Elastomerové směsi mají jako primární materiál elastomer a taktéž další přidané materiály jsou elastomery. Do skupiny elastomerových směsí však patří i směsi elastomer-termoplast, například EVA/PP. Ve směsích elastomer-termoplast však stále složka elastomeru je dominantní.
- Směsi Elastomer (nízké T_g) a materiál o vysokém T_g nebo krystalický polymer
- Polymerní slitiny obsahující krystalické polymery – slitiny obsahující krystalické polymery se dále rozdělují na směsi krystalický polymer – amorfní polymer,

například směs PP/PC. A na směsi krystalický polymer – krystalický polymer, například PP/PBT.

- Polyolefinové směsi – jedná se o směsi složené z početné skupiny materiálů, například polyethylenů, polypropylenů, atd. Do této skupiny patří například směs LDPE/EVA.
- Emulzní směsi – emulzní směsi často přinášejí kvalitní mechanicky stabilní směsi. Skládají se především z nemísitelných směsí, existují však vhodné kompatibilizátory.
- Kapalné krystalické polymerní směsi a molekulární kompozity – obsahují krátká vlákna. Vykazují uspořádání kapalných krystalů (nízkou viskozitu), což vede k novým vlastnostem a to především k dobrým mechanickým vlastnostem a dobré pevnosti.
- Polymerní směsi obsahující blokové kopolymery – tyto směsi představují speciální skupinu polymerních směsí s charakteristickou kovalentní vazbou mezi jednotlivými molekulami, které tvoří celé bloky.
- Směsi na bázi PVC – polyvinylchlorid představuje zřejmě nejvíce používaný materiál pro tvorbu polymerních směsí v případě, že je potřeba dosáhnout trvalé plastifikace nebo v případě zlepšení tepelných vlastností výsledné slitiny. Například směs PVC/PPC.
- Směsi na bázi přírodních polymerů – skládají se úplně nebo jen částečně z přírodních polymerů. Využívány byly především při nedostatku syntetických polymerů.
- Kompozitní polymerní směsi – jedná se o směs polymerů, která navíc ještě obsahuje nepolymerní složku. Přidanou nepolymerní složkou lze dosáhnout některých lepších vlastností než u pouhých polymerních směsí a to především tepelné odolnosti, nehořlavosti a lepších mechanických vlastností.

4.2 Kompatibilizace směsí polymerů

K přípravě polymerní směsi velmi často nestačí pouhé prosté smíchání polymerů. Hlavním důvodem mísení polymerů je nedosažení požadovaných a cílených vlastností výsledné směsi, proto se velký zájem obrací na proces kompatibilizace, jenž umožňuje

získat materiály s požadovanými vlastnostmi. Kompatibilizace je tedy postup zvyšující snášenlivosti mezi nemísitelnými složkami směsi, snížením mezifázového napětí, tedy postup, který vede ke zlepšení soudržnosti, a tedy ke zlepšení mechanické pevnosti výsledného směsného materiálu. Výsledným produktem kompatibilizace by měl být stabilní a zcela homogenní materiál. Rozeznáváme několik druhů kompatibilizace, například přidáním lineárního nebo blokového polymeru, roubovaného či random kopolymeru. Tato kompatibilizace se nazývá Fyzikální kompatibilizace. Aditivní postup kompatibilizace je založen na přidávání speciálních přísad, nazývaných kompatibilizátory, do složky směsi. Méně často využívaný, avšak novější reaktivní postup je založen na účinku vhodných iniciátorů, které způsobí chemickou reakci mezi různými plasty ve směsi. Kompatibilizátory jsou obecně makromolekulární látky, vykazující žádanou aktivitu v heterogenní polymerní směsi. Řetězce kompatibilizátoru obvykle obsahují objemnou strukturu, přičemž jedna část je mísitelná s jednou a druhá část s druhou složkou polymerní směsi. [12, 23, 24]

Hlavní cíle kompatibilizace jsou:

- umožňuje mísitelnost nemísitelných polymerních směsí,
- snižuje povrchové napětí a tím umožňuje lepší dispergaci,
- zajišťuje, že vygenerovaná struktura nebude zničena vysokým tlakem a namáháním během zpracování,
- zvyšuje adhezi mezi fázemi a tím zlepšuje mechanické vlastnosti výrobků z polymerních směsí.

4.3 Výrobní metody polymerních slitin

Příprava polymerních směsí může být provedena pomocí těchto metod:

- Míchání v tavenině: (nejpoužívanější metoda) jednotlivé složky se nejprve zahřejí nad teplotu skelného přechodu a poté jsou míchány v extruderech nebo násadových hnětačích. Strukturu výsledné směsi je možné řídit podmínkami míchání. Nevýhodou u této metody je energetická náročnost a možnost chemických změn složek při zvýšených teplotách nebo při delším tepelném a mechanickém namáhání. Další nevýhodou je také v některých případech dlouhá zdržná doba, která je nutná pro dokonalé promíšení. Negativně je pak ovlivněna stabilita polymerů.

- Míšení v roztoku: polymery jsou nejdříve rozpuštěny v ko-rozpouštědle (*Tab. 7: Rozpouštědla vybraných polymerů*). Fázová struktura výsledné směsi se vytváří v procesu srážení, výrazně je pak ovlivněna použitým rozpouštědlem. Na závěr procesu musí být rozpouštědlo odstraněno. Výhodou této metody je energetická nenáročnost a rychlé promíšení materiálu. Při tomto výrobním postupu je energeticky nejnáročnější odstranění vody. Celková energetická bilance tohoto procesu je však výhodnější než při míchání v tavenině.
- Směšování latexů: podmínkou pro využití této metody je, že všechny zpracovávané polymery musí být dostupné ve formě latexu. Samotný proces představuje pouze smíšení latexů všech složek. Výsledná směs je s heterogenitou řádově μm a bez organických rozpouštědel. U této metody je taktéž nízká energetická náročnost.
- Částečná bloková a roubovací kopolymerace: během této metody vzniká dostatečné množství kopolymeru, které je schopné zabezpečit dobrou adhezi mezi doménami nemísitelných homopolymerů. Výsledným produktem jsou pak převážně homopolymery. Touto metodou se získají lepší vlastnosti materiálu než při míšení v tavenině.
- Syntéza vzájemně se pronikajících sítí: při této metodě se nejprve síť jednoho polymeru nechá nabobtnat druhým monomerem nebo prepolymérem na gel, poté se gel síťuje na výsledný produkt.

[12, 23, 24]

Polymerní slitiny se mohou, stejně jako jednoduché polymery, zpracovávat všemi tradičními způsoby, vstříkáním, vytlačováním, vyfukováním, atd. To samé platí i pro sekundární postupy. Polymerní slitiny je tedy možné upravovat svařováním, lepením, lakováním, pokovováním, potiskováním, atd.

Polymery	Skupiny rozpouštědel
polyamidy	vodný fenol, roztok CaCl ₂ v CH ₃ OH
polyvinylchlorid	cyklohexanol, tetrahydrofuran, dichlorbenzen
polykarbonát	methylenchlorid, ethylenchlorid, chloroform, trichlorethylen, chlorbenzen
polystyren	toulen, xylen, methylenchlorid, ethylenchlorid, chloroform, trichlorethylen, chlorbenzen
polyfenylenoxid	methylenchlorid, ethylenchlorid, chloroform, trichlorethylen, chlorbenzen
ABS	methylethylketon, tetrahydrofuran, CH ₂ Cl ₂
polyvinylacetát	ketony, estery, methylenchlorid, ethylenchlorid, chloroform, trichlorethylen, chlorbenzen
polyetylén	xylen nad 80 °C
polypropylen	xylen nad 80 °C, tetralin, chlorovaná aromatická rozpouštědla
polyoxymethylen	chlorfenol, dimethylformamid nad 80 °C v koncentraci 5 %
polyvinylidenchlorid	tetrahydrofuran za tepla, dimethylformamid

Tab. 7: Rozpouštědla vybraných polymerů

5 Přehled polymerních slitin využívaných v elektrotechnice

Hlavními polymerními aplikačními obory pro polymerní směsi jsou především automobilový průmysl, s přibližně 40 % spotřeby. Elektrotechnika (zahrnující elektroniku, výpočetní techniku i energetiku) s podílem na spotřebě 39 % a zbytek připadá na stavebnictví, strojírenství a obalovou techniku. Nejvýznamnější aplikací polymerních slitin v elektrotechnice představují především kryty na mobilní telefony, kryty na počítače a kryty pro příslušenství k výpočetní technice. Dále se používají i na kryty a vnitřní součásti televizních přijímačů. Pro tyto aplikace se používá především směs PC/ABS. Pro elektrotechnické aplikace, jako jsou zástrčky, vypínače a malé elektropřístroje, jsou ideálním materiálem směsi na bázi polyesterů. Částečně se používají i krystalické termoplastické polyestery na bázi polybutilén-, polyethylén-, nebo polycyklohexan-tereftalát (PBT, PET, PCT). Tyto směsi spojují dobré mechanické, tepelné a i elektrické vlastnosti. Dále vykazují výbornou odolnost vůči chemikáliím a tvarovou stálost.

Polymerní směs	Obchodní název	Výrobce	Přednosti materiálu
PPO/PS	Noryl	Sabic	tepelná odolnost, tuhost, dobrá zpracovatelnost, nízká cena, nízká nasákavost
PPO/PA	Noryl GTX	General Electric	vysoká tepelná odolnost, chemická odolnost, nízká nasákavost, rozměrová stálost
PPO/PBT	Gemax	General Electric	vysoká tepelná odolnost, rozměrová stálost, zpracovatelnost
PC/ABS	Triax 2000 Bayblend T Pulse Cycloy Geloy	Bayer Bayer Dow General Electric General Electric	tepelná odolnost, houževnatost za nízkých teplot, zpracovatelnost
PC/PBT	Xenoy Ultrablend Azloy	Sabic BASF Azdel Inc.	vysoká houževnatost v širokém oboru teplot, chemická odolnost
PC/PET	Xenoy Resin Ultrablend UT	Sabic BASF	houževnatost za nízkých teplot, chemická odolnost, odolnost vůči UV záření
PC/TPE-U	Ulterm UT	General Electric	tepelná odolnost, zpracovatelnost, omezená hořlavost, nižší cena
PA/ABS	Triax Terblend	Bayer BASF	tuhost, houževnatost za nízkých teplot
PA/elastomery	Zytel ST Capron	Du Pont Allied	vyšší houževnatost, únavová odolnost, chemická odolnost, tepelná odolnost

PA/PE	Selar RB	Du Pont	tepelná odolnost, chemická odolnost, odolnost vůči oděru
PA/PP	Orgalloy Ultramid KR	Atochem BASF	dobrá zpracovatelnost, snížená nasákavost, rozměrová stálost, nízká propustnost kapalin a par
POM/elastomer	Derlin Ultraform	Du Pont BASF	tuhost, houževnatost, odolnost vůči oděru
PP/EPM (EPDM)	Xenoy Ultrablend	General Electric BASF	vysoká houževnatost v širokém oboru teplot, chemická odolnost
Polyester/elastomer	Rynite SST Valox VCT Pocan	Du Pont General Electric Bayer	Vysoká tepelná odolnost, odolnost vůči rozpouštědlům, houževnatost, tuhost
PSF/PET	Mindel B	Solvay	tepelná odolnost, tuhost
ABS/PSF	Mindel A	BP Amoco	tepelná odolnost, zpracovatelnost, nižší cena
PEEK/PES	Victrex	ICI	vysoká tepelná odolnost, zpracovatelnost

Tab. 8: Polymerní směsi používané v elektrotechnice [13]

5.1 Přehled vybraných polymerních slitin využívaných v elektrotechnice

5.1.1 Směs polymerů PPO/PS

Noryl je směs polyfenilenoxidu (PPO) a polystyrenu, objeven byl již v roce 1966. Vyrábí se v široké škále úprav tak, aby splňoval požadavky dané aplikací, například Flexible Noryl (flexibilní Noryl), Foam Noryl (pěnový Noryl), Noryl Resin, atd. Přidání polystyrenu do PPO se zvyšuje teplota skelného přechodu T_g nad $100\text{ }^\circ\text{C}$, je to způsobeno vysokým T_g PPO. Směs PPO/PS je stabilní ve vroucí vodě, vykazuje dobré elektrické vlastnosti, vynikající hydrolytickou stabilitu, vynikající rozměrovou stabilitou, dobrou zpracovatelnost a má nízkou specifickou hmotnost. Směs PPO/PS se vyrábí i vyztužená vláknitými plnivy, jedná se poté o materiál s výbornými mechanickými vlastnostmi. Elektrické vlastnosti jsou však ztužením ovlivněny nepříznivě. Takovýto typ materiálu je pak v elektronice využitelný pouze na výrobu konstrukčních prvků. Slitina PPO/PS se využívá na četné aplikace v elektronice, elektrických zařízeních a elektrických strojích především jako tepelně a mechanicky odolný konstrukční materiál, například na výrobu rozvodných krabic, dále je používán na výrobu konektorů. V současnosti se materiál Noryl začíná používat při výrobě vodíku, na výrobu elektrod do elektrolyzérů, nahrazuje tak drahé vzácné prvky, zároveň je testován i jako možná náhrada polykarbonátu používaného při výrobě Blu-ray disků. Mnohostranné využití směsi PPO/PS dokazuje (Obr. 22: Gramofonová přenoska vyrobená ze směsi PPO/PS [35]), gramofonová přenoska je vyrobena z materiálu Noryl.



Obr. 22: Gramofonová přenoska vyrobená ze směsi PPO/PS [35]

5.1.2 Směs polymerů PPO/PBT

Polymerní směs polyfenilenoxidu (PPO) a poly-butyltereftalatu (PBT) byla poprvé vytvořena firmou General Electric, která ho vyrábí pod označením GEMAX. Jedná se o směs nových polymerních materiálů, a protože se jedná o směs nemísitelných polymerů, je nutné pro smíchání obou materiálů použít kompatibilizér. Slitina PPO/PBT spojuje výhodné vlastnosti obou materiálů, velkou pevnostní odolnost, nízkou nasákavost a vykazuje vysokou tepelnou odolnost a rozměrovou stabilitou. Směs má hustotu 1150 kg/m^3 , mez pevnosti v tahu $42,9 \text{ MPa}$ a tepelnou odolnost do $152 \text{ }^\circ\text{C}$, při zatížení ($1,82 \text{ MPa}$) do $93 \text{ }^\circ\text{C}$. Vzhledem k dobré tepelné odolnosti se využívá pro teplotně odolné nátěry. Využíván je také pro výrobu elektrických a elektronických součástí.

5.1.3 Směs polymerů PC/ABS

Polymerní směs PC/ABS (polykarbonát/ABS) je jedním z nejpoužívanějších průmyslových termoplastů, využívá lepší vlastnosti obou materiálů, větší pevnost a tepelnou odolnost polykarbonátu a flexibilitu ABS. Tato slitina se vyznačuje i dobrou zpracovatelností, výrazně lepší než samostatného polykarbonátu. Směs těchto polymerů v současné době vyrábí mnoho firem, například General Electric, Bayer, Dow, atd. Směs PC/ABS se začala dostávat do popředí díky nízké výrobní ceně a i díky možnosti snížení tloušťky stěny výsledného produktu. Tenkostěnný materiál má své opodstatnění nejenom z ekonomického důvodu, ale je vyžadován i z důvodu designu. Požadavky elektronického průmyslu na neustále menší a tenčí komponenty, však sebou nesou obrovskou výzvu a velké požadavky na konstrukční materiál, které však tento materiál může nabídnout. Vyznačuje se i ideální kombinací houževnatosti a tuhosti. Tepelná odolnost je mezi $112 \text{ }^\circ\text{C}$ a $142 \text{ }^\circ\text{C}$. PC/ABS směsi jsou běžně používané v elektronice na výrobu krytů počítačů, monitorů, spotřební elektroniky, AC adaptéry, atd.

V telekomunikačních aplikacích na kryty mobilních telefonů, stolních telefonů, atd.



Obr. 23: Kryt mobilního telefonu vyrobený ze směsi PC/ABS [26]

5.1.4 Směs polymerů PC/PBT, PC/PET

Polymerní směsi na bázi polykarbonát (PC) a polyethyltereftalátu (PET) nebo polybutylene-tereftalátu (PBT) spojují výhody polykarbonátu s polyestery. Vyráběny jsou několika různými firmami pod různými označeními, například Xenoy od firmy General Electric, atd. Materiály ze směsí PC/PBT, PC/PET vykazují dobrou odolnost proti nárazu při nízkých teplotách, vynikající odolnost vůči únavě materiálu, vysokou chemickou odolnost vůči motorovým olejům, motorovým palivům, čističům a dalším průmyslovým chemikáliím. Dále mají dobré elektrické vlastnosti a nízkou nasákavost. Pokud jsou směsi vhodně modifikovány, vykazují i dobrou odolnost vůči UV záření. V elektrotechnice nachází díky vynikajícím vlastnostem široké pole využití. Vzhledem k dobré odolnosti i při nízkých teplotách se používají při výrobě ručního elektrického nářadí, stavebních strojů a zařízení, na kryty přenosné spotřební elektroniky (například vysílačky), na výrobu antén. Využívány jsou taktéž při výrobě lékařských a diagnostických zařízení. Předurčuje je k tomu kombinace následujících vlastností: dobrá chemická odolnost vůči dezinfekčním prostředkům, tuhost, houževnatost, tepelná odolnost.

5.1.5 Směs polymerů PA/ABS

ABS/PA je směs na bázi polyamidu a ABS. Nové technologie umožňují výrobu této vysoce stabilní směsi, která kombinuje výhodné vlastnosti jednotlivých komponent. Slitina ABS/PA poskytuje zajímavou kombinaci užitečných vlastností, vynikající

rázovou houževnatost při nízkých teplotách, vysokou kvalitu povrchu, odolnost vůči křehnutí materiálu, snadné zpracování, chemickou odolnost vůči chemikáliím, nižší nasákavost ve srovnání s polyamidy a tepelnou stabilitu přibližně stejnou jako má polykarbonát. PA/ABS směsi se vyznačují vynikající tekutostí při zpracování, která se odráží v optimálním tvarování materiálu v dutinách. Slitiny PA/ABS jsou k dispozici v jejich přirozené barvě, tzn. částečně průhledné, nebo neprůhledné v různých barevných variacích. V závislosti na konkrétní aplikaci, je možné do směsi přidat ještě skleněná vlákna a dosáhnout tím ještě lepších hodnot tuhosti. Použití směs PA/ABS nalézá při výrobě přístrojových desek automobilů, spínačů, reproduktorů, rozvodných skříní, na kryty zvlhčovačů, na kryty elektrických holicích strojků.

5.1.6 Směs polymerů PA/PP, PA/PE

Polyamid/polypropylen směs (PA/PP) a polyamid/polyethylen (PA/PE) představují novou generaci produktů s vlastnostmi, které jsou podobné polyamidu, ale bez negativních vlastností polyamidu (vyšší absorpci vlhkosti). Směsi PA/PP a PA/PE vykazují dobrou rázovou houževnatost i u čerstvě vylisovaných dílů a díky nižší absorpci vlhkosti mají slitiny PA/PP, PA/PE dobrou rozměrovou stálost, odolnost vůči oděru. Oproti samotnému polyamidu mají směsi více konstantní mechanické vlastnosti, rozměrovou stálost a vyšší houževnatost. Zpracovávat je lze jak vstřikováním, tak vytlačováním. Výhodou při zpracování těchto směsí je, že lze zpracovávat ve vstřikovacích formách určených pro polyamidy. Slitina PA/PP, PA/PE se v elektrotechnice využívá při výrobě rozvaděčů, desek plošných spojů, spínačů, chrániče kabelů, atd.

5.1.7 Směs polymerů POM/elastomer

Směs polyomexymethylenu (POM) s elastomerem tvoří nemísitelné směsi s extrémně nízkou kompatibilitou. Proto je nutné při vytváření těchto směsí použití vhodných kompatibilizátorů. Díky své vysoké krystalitě je směs POM/elastomer tužší a pevnější a má relativně konstantní mechanické vlastnosti v poměrně širokém rozsahu teplot od 50 °C až do 120 °C. Při pokojové teplotě má výraznou mez průtažnosti asi 8 % až 10 % napětí. Pod touto hranicí vykazuje dobrou odolnost i při opakovaném zatížení, a proto je vhodný především pro pružné prvky. Kromě toho má vysokou pevnost při tečení a nízký sklon k tečení. Absorbuje velmi málo vody: cca. 0,2 % za obvyklých

podmínek. Mechanické vlastnosti se však mohou velice lišit podle stupně modifikace s elastomerem. Elastomer dodává směsi podstatně vyšší úroveň odolnosti proti nárazu a vyšší energetickou absorpční kapacitu avšak se zvyšujícím poměrem elastomeru se snižuje tuhost a tvrdost. Směs polymerů POM/elastomer má dobré elektrické izolační vlastnosti a vysokou elektrickou pevnost. Díky velmi nízké nasákavosti materiálu jsou díly vyrobené z této směsi velmi vhodné pro použití ve spotřební elektronice a telekomunikacích.

5.1.8 Směs polymerů Polyester/elastomer

Směs polyesterů a elastomerů nabízí vysokou tepelnou odolnost, tvrdost, stejně jako vynikající protiskluzové vlastnosti a vysokou odolnost proti oděru, dobrou odolnost vůči chemikáliím, nízkou nasákavost. Často se do těchto směsí přidávají zpomalovače hoření. V elektrotechnice se využívají pro opláštění kabelů, na konstrukční prvky, například na plášť konektorů, konstrukční části jističů, ale například firma Philips využívá směs polyesteru/elastomeru na rámeček touchscreen monitoru. Uplatnění směsi polyester/elastomer nachází i při výrobě konstrukčních prvků pro elektromotory.

5.1.9 Směs polymerů PSF/PET

Směs polysulfonu (PSF) a polyethyltereftalátu (PET) vykazuje výbornou rozměrovou stálost, tuhost, tepelnou odolnost a dobrou chemickou odolnost. V elektrotechnice se používá na výrobu relátek, stykačů, jističů, spínačů, optoelektronických součástí. Vzhledem ke své zdravotní nezávadnosti se používá i pro výrobu součástí pro zdravotnictví.

5.1.10 PVC směsi

Směsi na bázi PVC jsou společně se slitinou PC/ABS nejvíce používanými slitinami polymerů v elektrotechnice. Směsi PVC jsou tvořeny z různých polymerů, vždy přesně podle specifik dané aplikace, například PVC/EVA, PVC/POE, PVC/ABS, PVC/ASA, PVC/SMA, atd. Směsi jsou formulovány tak, aby ke standartním vlastnostem PVC byly přidány další požadované vlastnosti, které samostatné PVC nevykazuje. Je proto nutné vždy pečlivě zvážit, s jakým polymerem je vhodné PVC mísit, aby bylo dosaženo maximální úrovně požadovaných vlastností. Podle

požadovaných vlastností tak směs PVC může vykazovat zvýšenou pevnost i za nízkých teplot, odolnost proti oděru, vysokou rázovou pevnost, zvýšenou chemickou odolnost, případně chemickou odolnost zvýšenou vůči konkrétní chemické látce. V elektrotechnice jsou směsi PVC používány především jako izolační materiály, například opláštění vodičů a kabelů určených do speciálních prostředí, například pro podmořské kabely, kabely odolné vysokým teplotám, kabely používané při svařování (u kterých musí být zvýšená odolnost nejenom vůči teplotě, ale i UV záření), atd.



Obr. 24: Kabel s izolací, která je vyrobena ze směsi NBR/PVC [36]

Závěr

Potřeba lepších izolantů stála na počátku dvacátého století za rozvojem výroby moderních plastů pro elektrotechnický průmysl. Symbióza mezi vývojem polymerů a elektrotechnikou ostatně pokračuje až do dnešní doby. Velké elektrotechnické firmy, jako například General Electric, investují do výzkumu nových polymerů (polymerních slitin) nemalé finanční prostředky. Důležitost plastů odráží i ten fakt, že jejich celosvětová globální spotřeba se neustále zvyšuje. V roce 1970 globální spotřeba plastů činila 45 miliónů tun a v roce 2011 již přesáhla hranici 250 miliónů tun, podíl elektrotechniky na celosvětové spotřebě plastů činí přibližně 5,6 %. Důvodů pro rostoucí využívání polymerních materiálů je hned několik: náhrada drahých materiálů, snadné zpracování na finální tvar, malá měrná hmotnost, dobré izolační vlastnosti a odolnost vůči korozi. Polymerní materiály však mají i nevýhodné vlastnosti, teplotní omezení jejich použitelnosti, komplikovaná regenerace (recyklace) odpadů, tvorba a přetrvávání elektrostatického náboje, relativně nízká tuhost výrobků, atd. Tyto negativní vlastnosti vedly k rozvoji polymerních slitin. **Polymerní slitiny tak znamenaly další významný krok ve vývoji polymerních materiálů. Jejich obrovskou předností, oproti jednoduchým polymerům, je tedy velká variabilita vlastností umožňující vytvoření materiálu přímo na míru dané aplikace.** V současné době představují polymerní směsi přibližně už 39 % celkové produkce v polymerním průmyslu. **Dle mého názoru lze i v příštích letech očekávat další růst produkce polymerních směsí na úkor jednoduchých polymerů. O to více je zářející fakt, že polymerní směsi jsou v drtivé většině do České Republiky (dále ČR) dováženy a v ČR již pouze zpracovávány v hotové výrobky. Zde je dle mého názoru obrovský potenciál na zlepšení a velká výzva pro tuzemské firmy.** Vývoj nových polymerních slitin je však finančně náročný. Nejedná se pouze o zajištění vhodných technických prostředků pro vývoj, ale i o potřebu zajištění kvalifikovaných lidských zdrojů.

V diplomové práci jsem zpracoval přehled nejvíce využívaných polymerních materiálů a polymerních slitin v elektrotechnice, doplněný o hlavní technologie zpracování polymerních materiálů. Při zpracování přehledu polymerních slitin jsem se setkal s velkou neochotou firem sdělovat bližší technické informace. Což je samozřejmě pochopitelné, z důvodu udržení know-how a jen to potvrzuje můj názor o komplikovanosti vývoje nových polymerních slitin.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MLEZIVA, J.; ŠŇUPÁREK, J.: *Polymery výroba, struktura, vlastnosti a použití*, Praha, Sobotáles, 2000, ISBN 80-85920-72-7
- [2] ROUS, B.: *Materiály pro elektroniku a mikroelektroniku*, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991, ISBN 80-03-00617-1
- [3] EHRENSTEIN, G.: *Polymerní kompozitní materiály*, Praha, Scientia, 2009, ISBN 978-80-86960-29-6
- [4] ŠKEŘÍK, J.: *Plasty v elektrotechnice a elektronice*, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991, ISBN 80-03-00657-0
- [5] HRUBÝ, V.; GREGER, M.; NĚMEC, J.; SILBERNAGEL, A.: *Přehled materiálového inženýrství*, Ostrava, Kovosil, 2010, ISBN 978-80-903694-5-0
- [6] JANČÁŘ, J.: *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitu*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2003, ISBN 80-214-2443-5
- [7] BOUDA, V.; HAMPL, J.; LIPTÁK, J.; SEDLÁČEK, J.: *Materiály pro elektrotechniku*, Praha, ČVUT, 2000, ISBN 80-01-02232-3
- [8] DUCHÁČEK, V.: *Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, Praha, ČVUT, 2006, ISBN 80-7080-617-6
- [9] RAAB, M.: *Materiály a člověk*, Praha, Encyklopedický dům, 1999, ISBN 80-86044-13-0.
- [10] RAAB, M.; LAPČÍK, L.: *Nauka o materiálech II.*, Zlín, Universita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001, ISBN 80-238-6527-7
- [11] STOKLASA, K.: *Makromolekulární chemie I.*, Zlín, Universita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005, SKRIPTUM
- [12] MEISSNER, B., ZILVAR, V.: *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů.*, Praha, SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1987
- [13] SOVA, M.; KREBS, J.: *Termoplasty v praxi*, Praha, Odborné nakladatelství technické literatury, 2001, ISBN 80-86229-15-7
- [14] ROBESON, L.: *Polymer Blends*, Ohio USA, Hanser Gardner Publications, 2007, ISBN 978-3-446-22569-5
- [15] UTRACKI, L.A.: *Polymer Blends Handbook*, Holandsko, Kluwer Academic Publishers, 2002, ISBN 1-4020-1114-8
- [16] DONALD, P.; BUCKNALL, B.: *Polymer Blends: Formulation*, USA, Michigan University, 2000, ISBN 978-047-12482-5-5

Internetové zdroje:

- [17] <http://www.imc.cas.cz> [citováno 1. prosince 2011]
- [18] <http://www.technikaatrh.cz> [citováno 1. prosince 2011]
- [19] <http://www.ponas.cz> [citováno 3. prosince 2011]
- [20] <http://www.innovscience.com> [citováno 4. prosince 2011]
- [21] <http://www.allkabe.cz> [citováno 4. prosince 2011]
- [23] <http://www.vscht.cz> [citováno 4. prosince 2011]
- [24] <http://www.pslc.ws> [citováno 5. prosince 2011]
- [25] <http://dixi.cz/technologie.html> [citováno 5. prosince 2011]
- [26] <http://www.plastemart.com> [citováno 10. prosince 2011]
- [27] <http://www.projektalfa.ic.cz> [citováno 16. ledna 2012]
- [28] <http://www.aldebaran.cz> [citováno 16. ledna 2012]
- [29] <http://www.vesmir.cz/clanek/vodive-polymery> [citováno 23. ledna 2012]
- [30] <http://www.ksp.tul.cz> [citováno 23. ledna 2012]
- [31] <http://www.plasticseurope.org> [citováno 6. února 2012]
- [32] <http://www.kch.zcu.cz/cz/kfs/> [citováno 23. února 2012]
- [33] <http://www.mmspektrum.com> [citováno 27. března 2012]
- [34] <http://vydavatelstvi.vscht.cz> [citováno 27. března 2012]
- [35] <http://www.htpshop.cz> [citováno 31. března 2012]
- [36] <http://www.indiamart.com> [citováno 31. března 2012]