

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zpracování plastů v kabelovém průmyslu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

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

Jméno a příjmení: **Tomáš KLÍMA**
Osobní číslo: **E14B0263P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Zpracování plastů v kabelovém průmyslu**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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


1. Prostudujte a uveďte běžně používané plastifikační směsi v kabelovém průmyslu.
2. Popište technologie pro zpracování plastů.
3. Uveďte specifika zpracování jednotlivých plastifikačních směsí.
4. Proveďte hodnocení jednotlivých materiálů a technologií používaných v kabelovém průmyslu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Kuta, A.: Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů. Vydavatelství VŠCHT, Praha 1999
2. Ducháček V.: Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vydavatelství VŠCHT, Praha 2006
3. Rauwendaal, Ch.: Understanding Extrusion, Carl Hanser Verlag, 2010
4. Elektronické informační zdroje, internetové databáze (IEEE.org, sciencedirect.com)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radek Nejd
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na zpracování a porovnání plastů v kabelovém průmyslu. Je zde popsáno základní dělení polymerů a základní materiály, které se používají pro izolování jader a plášťů. V další části jsou popsány technologie, které se používají pro zpracování plastů. Součástí práce je i zhodnocení jednotlivých materiálů a technologií používaných v kabelovém průmyslu.

Klíčová slova

Polymery, plasty, kabel, izolace, izolační materiál, termoplast, síťované polymery, XLPE, LFHC

Abstract

The master theses is focused on comparison of plastics processing in the cable industry. The first part of the thesis contains description of polymers and overview of insulating materials which are used for core and jacketing insulation. In next part are describes the technology used for plastics processing. The work includes the evaluation of different materials and technologies used in the cable industry.

Key words

Polymer, plastics, cable, insulation, insulation materiál, thermoplastic, Cross-linked polymers, XLPE, LFHC

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou 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 bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2015

Tomáš Klíma

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Nejdlovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	11
1 ZÁKLADNÍ TYPY A ZNAČENÍ KABELŮ	12
1.1 POPIS A ZNAČENÍ KABELU	12
1.2 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ KABELU	12
1.2.1 <i>Sílové kabely</i>	13
1.2.2 <i>Sdělovací kabely</i>	13
1.2.3 <i>Kabely s optickými vlákny</i>	14
1.3 ZNAČENÍ KABELŮ A VODIČŮ	14
1.3.1 <i>Barevné značení žil</i>	15
2 PLASTIFIKAČNÍ SMĚSI V KABELOVÉM PRŮMYSLU	17
2.1 POLYMERY	17
2.1.1 <i>Rozdělení podle molekulární struktury</i>	17
2.1.2 <i>Rozdělení podle původu</i>	19
2.1.3 <i>Rozdělení podle chování za zvýšené teploty</i>	19
2.2 IZOLAČNÍ A PLÁŠTOVÉ MATERIÁLY	21
2.2.1 <i>Ethylen-propylenové kaučuky (EPM, EPDM)</i>	22
2.2.2 <i>Silikonové kaučuky</i>	22
2.2.3 <i>Polyvinylchlorid (PVC)</i>	23
2.2.4 <i>Etylvinylacetát (EVA)</i>	24
2.2.5 <i>Polyethylen (PE)</i>	25
2.2.6 <i>XLPE</i>	27
2.2.7 <i>LFHC (Low Fire Hazard Cables)</i>	28
3 TECHNOLOGIE PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ	30
3.1 MÍCHÁNÍ A HNĚTENÍ	30
3.2 GRANULACE	31
3.3 TABLETOVÁNÍ	31
3.4 VÁLCOVÁNÍ	31
3.5 LISOVÁNÍ	32
3.6 VSTRÍKOVÁNÍ	33
3.7 VYFUKOVÁNÍ	34
3.8 ODLÉVÁNÍ	35
3.9 VYTLAČOVÁNÍ	36
4 VÝROBA KABELŮ	37
4.1 IZOLOVÁNÍ JADER	37
4.2 EXTRUDER	38
4.3 ŠNEK	39
4.4 VYTLAČOVACÍ HLAVA	40
4.5 POROVNÁNÍ MATERIÁLŮ	41
4.6 POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ	42
4.6.1 <i>Sítování</i>	42
4.6.2 <i>Způsoby vytlačování</i>	43
ZÁVĚR	44
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	45

Seznam symbolů a zkratek

°C	.....	stupeň celsia
cm ³	.....	centimetr krychlový
EPDM	.....	ethylen-propylenový kaučuk s nekonjugovaným dienem
EPM	.....	ethylen-propylenový kaučuk
EVA	.....	kopolymer ethylen-vinylacetát
FRLS	.....	fire resistant low smoke
FRNC	.....	fire retardant noncorrosive
g	.....	gram
Gb/s	.....	gigabit za sekundu
HDPE	.....	polyethylen o vysoké hustotě
HDPE	.....	vysokohustotní polyethylen
HFRR	.....	halogen free flame retardant
Hz	.....	hertz
kV	.....	kilovolt
LDPE	.....	nízkohustotní polyethylen
LDPE	.....	polyethylen o nízké hustotě
LFHC	.....	low fire hazard cables
LLDPE	.....	lineární nízkohustotní polyethylen
LLDPE	.....	lineární polyethylen o nízké hustotě
LS0H	.....	low smoke zero halogen
LSF	.....	low smoke and fume
LSHF	.....	low smoke halogen free
LSZH	.....	low smoke zero halogen
MHz	.....	megahertz
mm	.....	milimetr
mm ²	.....	milimetr čtvereční
MPa	.....	megapascal
MPVQ	.....	methylfenylvinylpolysiloxan
MQ	.....	polydimethylsiloxan
MVQ	.....	methylvinylpolysiloxan
N	.....	newton

nf	nízkofrekvenční
nn	nízké napětí
PA	polyamid
PE	polyethylen
PMMA	polymethylmethakrylát
PP	polypropylen
PTFE	polytetrafluorethylen
PTFE	polytetrafluorethylen
PUR	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid
sn	střední napětí
TPE	termoplastický elastomer
TPU	termoplastický polyuretan
vf	vysokofrekvenční
vn	vysoké napětí
W	watt
XLPE	zesíťovaný polyethylen

Úvod

V dnešní době jsou polymery nedílnou součástí našeho života, které nacházejí uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. Většinou se s polymery setkáváme ve formě nejrůznějších plastů. Plasty mají mimo jiných užitečných vlastností, také velmi nízkou elektrickou vodivost, která předurčuje jejich využití zejména pro izolování elektrických vodičů. Kromě izolačních vlastností jsou důležité i tepelné vlastnosti, které zjednodušují jejich zpracování a ještě více rozšiřují oblast jejich použití.

Zároveň jsou také na tyto materiály kladeny stále větší nároky nejen na kvalitu a jakost výrobků, ale i na výrobní technologie, nástroje, použité materiály apod. Proto i u plastů dochází nejen k vývoji nových metod za účelem zlepšení jejich požadovaných vlastností, ale i zlepšení např. jejich zdravotní nezávadnosti. Ke zlepšení vlastností plastů dochází ovlivněním jejich chemické a fyzikální struktury. Již v přípravě polymerního materiálu mohou být použity různé přísady a plniva nebo naopak mohou být některé nežádoucí látky z polymeru odstraněny.

Používané materiály při výrobě mají zásadní vliv nejen na elektrické a přenosové vlastnosti kabelu, ale i jeho životnost a bezpečnost provozu. Velký výběr kabelů je dán nejen z důvodu použití v různých podmínkách, ale i používáním různorodých materiálů na jejich izolaci. Hlavním úkolem této práce je uvést specifika zpracování jednotlivých plastifikačních směsí a provést hodnocení jednotlivých materiálů používaných v kabelovém průmyslu.

1 Základní typy a značení kabelů

1.1 Popis a značení kabelu

Než budou uvedeny podrobnosti o konstrukci a výrobě kabelů, je třeba specifikovat co to kabel vlastně je. Kabel je označení pro vodič nebo soustavu vodičů, které jsou v jednom svazku se společnou vnější izolací (pláštěm). Kabely se používají pro přenos elektrické energie od zdroje elektrické energie k řadě spotřebičů nebo mohou sloužit pro přenos informací v podobě elektrických signálů.

Kabel se skládá [1]:

- jádro (jeden nebo více vodičů)
- izolace jádra
- plášť
- ochranný obal.

V kabelech se lze setkat s několika typy jader. Jádro může být z plného drátu (jeden vodič) nebo lanované (složené z několika drátů). Jádra o průřezu nad 16 mm² jsou již lanovaná z více drátů. [2]

1.2 Základní členění kabelu

Rozdělení kabelů do skupin není vůbec jednoduché, protože je můžeme rozdělovat podle velkého množství parametrů na silové, sdělovací, oheň nešířící, silikonové, ohniodolné atd. Elektrické kabely se rozdělují do tří základních kategorií na sdělovací, silové a kabely s optickými vlákny.

Základní rozdělení elektrických kabelů [2]:

- silové metalické kabely – vedení elektrické energie
 - nn – nízké napětí do 1 kV
 - sn – střední napětí 1 – 10 kV
 - vn – vysoké napětí nad 10 kV
- sdělovací metalické kabely – vedení signálů
 - nf – audio, video
 - vf – koaxiální vedení, speciální kabely

- datové komunikační kabely – kroucená dvojlinka (TP), strukturované sítě
- kabely s optickými vlákny

1.2.1 Silové kabely

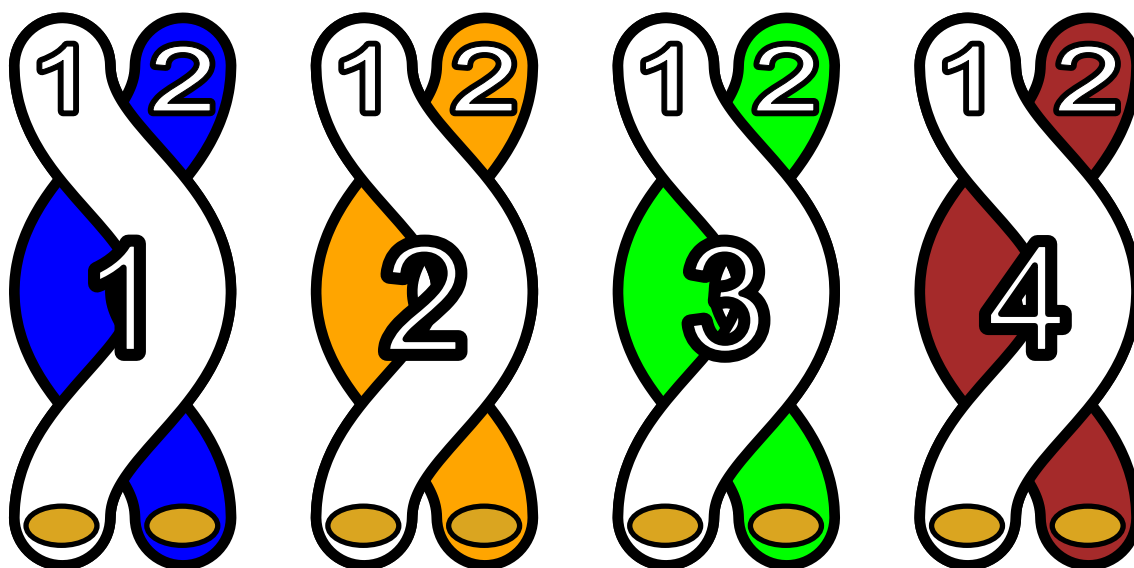
Silové kabely jsou metalické kabely přednostně určené pro vedení elektrické energie s frekvencí zpravidla ne větší než několik desítek hertzů a přenášeným výkonem řádově v rozsahu 10^1 až 10^8 W. [2]

Jádro těchto kabelů je nejčastěji z hliníku nebo mědi a jejich průřez určuje hodnota procházejícího proudu. Hliník má zhruba 60 % vodivosti mědi, aby hliníkové jádro plnilo stejný účel, musí být zvolen větší průřez jádra. Zvětšení průřezu jádra má za následek, že výsledný kabel je pak také silnější. Hlavní výhodou použití hliníku spočívá v tom, že kabel je podstatně lehčí a také levnější než stejně dimenzovaný kabel z mědi. Dříve se hliník používal poměrně často, třeba v domovních rozvodech, ale nyní se hliníková jádra příliš nepoužívají to z důvodu jejich vlastností. Hliníkové vodiče se snadno lámou, protože hliník je velmi křehký a časem také oxiduje. Navíc při průchodu elektrického proudu zvětšuje svůj objem a teplotu. Měď je na výrobu jader téměř ideální, v běžných podmínkách je po stříbře druhý nejlépe vodivý s velmi dobrou zpracovatelností a má také dobrou odolnost proti korozi. V kabelovém průmyslu se používá elektrolyticky rafinovaná tažená měď o čistotě 99,95 až 99,99 %. [1,2]

1.2.2 Sdělovací kabely

Sdělovací metalické kabely pro vedení signálu jsou kabely, které vedou zpravidla nepatrnou energii (až 10^{-6} W), ovšem o frekvencích až 10^8 Hz. Protože jimi vedou jen nepatrné proudy, průměr jader obvykle nepřesahuje 1 mm. [2]

Zvláštností je, že u sdělovacích vodičů se v katalogu udává průměr vodiče (jádra), zatímco u silových kabelů je v katalogu uveden průřez. Nejběžnějším typem sdělovacích kabelů pro přenos signálů je tzv. kroucená dvojlinka. Kroucená dvojlinka je tvořena vodiči, které jsou po své délce pravidelným způsobem krouceny do párů. Toto se provádí proto, aby se zlepšily elektrické vlastnosti kabelu. Vlivem stočení se tak minimalizují přeslechy mezi páry a dojde k utlumení vzájemného elektromagnetického působení. [2,3]



Obr. 1.1 Kroucená dvojlinka (převzato z [3])

Slaboproudé kabely se neskládají ze samostatných žil, ale z tzv. prvků (párů, čtyřek ve výjimečných případech z kroucených trojek). U uvedených kabelů je kladen důraz na odstranění přeslechů, tyto kabely patří do tzv. symetrických kabelů. Další skupinou jsou asymetrické, tzv. souosé vysokofrekvenční sdělovací kabely, do nichž patří koaxiály.

1.2.3 Kabely s optickými vlákny

Tyto kabely jsou tvořeny optickými vlákny, která vedou elektromagnetické vlnění v podélné ose. Lze u nich dosáhnout velké přenosové rychlosti až 111 Gb/s a jedno vlákno může přenášet více signálů v různých vlnových délkách. Kabely s optickými vlákny jsou odolné proti elektromagnetickému rušení a mají oproti metalickým kabelům nízký útlum signálu. V současnosti se používají dva základní typy vláken: jednovidové (single mode) a mnohovidové (multimode). Jednovidová vlákna slouží pro přenos signálu na velké vzdálenosti, zatímco vícevidová vlákna přenáší signál na menší vzdálenost, zhruba do 500 m. [2]

1.3 Značení kabelů a vodičů

Většinou si každý stát drží svoje značení kabelů podle svých zvyklostí, příslušných předpisů a norem. Celosvětově se používají tzv. harmonizované vodiče a kabely, které mají identické značení. Jednotlivá písmenka se čtou zleva doprava a odpovídají pozici uvnitř

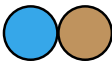


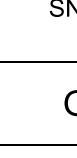


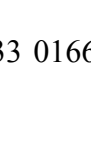
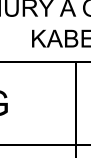


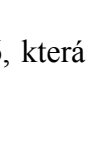
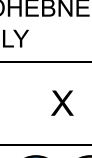


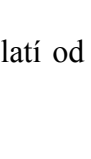
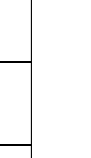
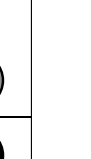
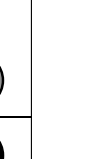
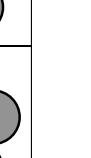

kabelu od středu směrem vně. To znamená, že písmenko na první pozici kabelové značky označuje materiál, ze kterého je elektrovedné lano zhotoveno. Následuje další písmenko, které označuje materiály izolací obou elektrovedných jader, dále plášťů, nakonec počet žil a průřez vodičů.

1.3.1 Barevné značení žil

- **Fázový vodič** – pro označování holých fázových vodičů je vyčleněna oranžová barva, zatímco černá, hnědá a šedá barva se používá pro izolované fázové vodiče. Pokud obsahuje soustava víc fázových vodičů je k jednotlivým fázím přidělena číslice.
- **Střední vodič** – pro označování holých i izolovaných středních vodičů je vyčleněna modrá barva.
- **Ochranný vodič** – pro označování holých i izolovaných ochranných vodičů je vyčleněna barevná kombinace žluto-zelená. Bývá označen zkratkou PE nebo PEN. Označení PEN se používá tehdy, plní-li ochranný vodič zároveň funkci středního vodiče.

Barevné značení jednotlivých žil kabelu stanovuje norma ČSN 33 0166, která platí od 1. 4. 2006.

ČSN 33 0166 ed. 2 (VDE 0293-308, HD 308 S2)

	KABELY PRO PEVNÉ ULOŽENÍ		ŠŤŮRY A OHEBNÉ KABELY	
	J	O	G	X
dvoužilové				
třížilové				
čtyřžilové				
pětížilové				
mnohožilové	  číslované 		  číslované 	

Obr. 1.2 ČSN 33 0166 ed. 2 (převzato z [4])

ČSN 33 0165 (platné do 31. 3. 2006)

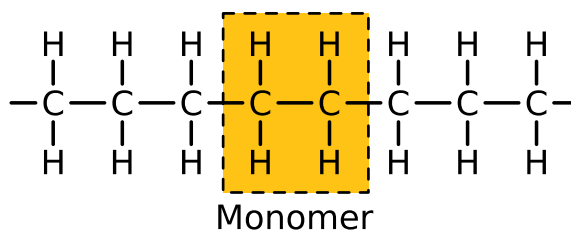
	KABELY PRO PEVNÉ ULOŽENÍ				ŠŇŮRY A OHEBNÉ KABELY			
	A	B	C	D	A	B	C	D
dvoužilové								
třížilové								
čtyřžilové								
pětižilové								
mnohožilové	počítací - vnější poloha počítací - vnitřní poloha směrová ostatní				počítací - vnější poloha počítací - vnitřní poloha směrová ostatní			

Obr. 1.3 ČSN 33 0165 (převzato z [4])

2 Plastifikační směsi v kabelovém průmyslu

2.1 Polymery

Polymery vznikají spojením několika malých molekul a vytvoří se velmi velké molekuly tzv. makromolekuly. Polymery mají syntetický nebo přírodní původ. Obvykle tyto látky obsahují ve svých molekulách atomy kyslíku, uhlíku, vodíku a často také dusíku, chloru a jiných prvků. Základní stavební jednotkou jsou mery, které se pravidelně opakují a jsou vzájemně spojeny chemickými vazbami. Díky svým velkým molekulám vykazují polymery širokou škálu vlastností, o nichž rozhoduje především monomerní jednotka. Monomerní sloučenina je soubor atomů nebo skupin atomů především uhlíku, které jsou schopny se vzájemně spojovat a za vhodných podmínek vytvářet dlouhé řetězce (makromolekuly). [5,6,7]



Obr. 2.1 Monomerní jednotka polyethylenu (převzato z [8])

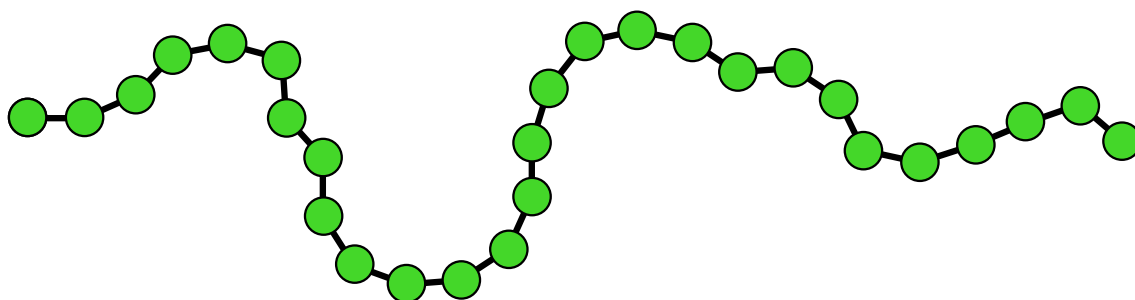
2.1.1 Rozdělení podle molekulární struktury

Rozdělení polymerů se provádí nejen podle původu, nebo jak se chovají za zvýšené teploty, ale i podle molekulární struktury. Podle molekulární struktury můžeme dělit polymery na [9]:

- lineární
- rozvětvené
- síťované

Lineární polymery

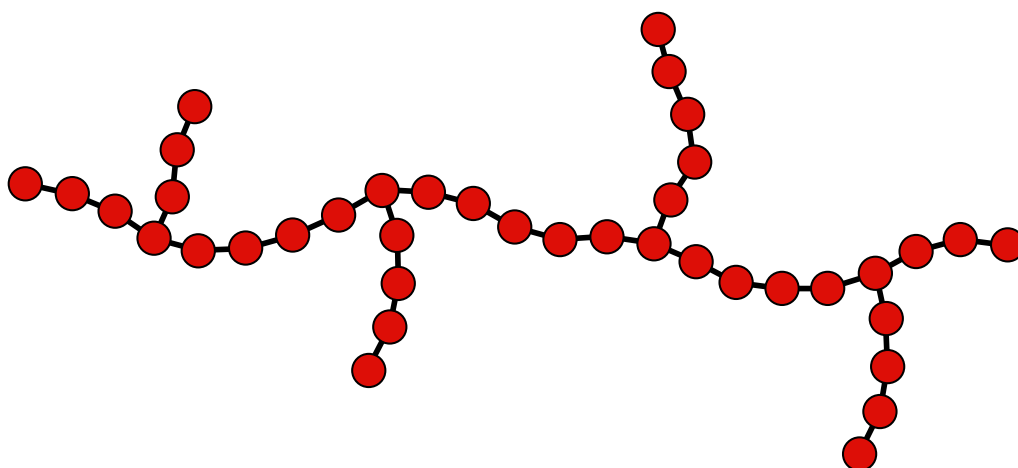
Vytváří jednoduchý řetězec, kde jsou jednotlivé monomery řazeny za sebou. Mezimolekulární síly způsobují vzájemné přibližování řetězců, důsledkem toho se přiblíží jeden ke druhému a dosáhneme vyšší hustoty polymeru (např. vysokohustotní polyethylen HDPE). Vlivem dobré pohyblivosti makromolekul jsou plasty s lineárními makromolekulami dobře rozpustitelné a tavitelné. Ve formě tavenin mají dobrou zpracovatelnost. [5,6]



Obr. 2.2 Lineární struktura (převzato z [10])

Rozvětvené polymery

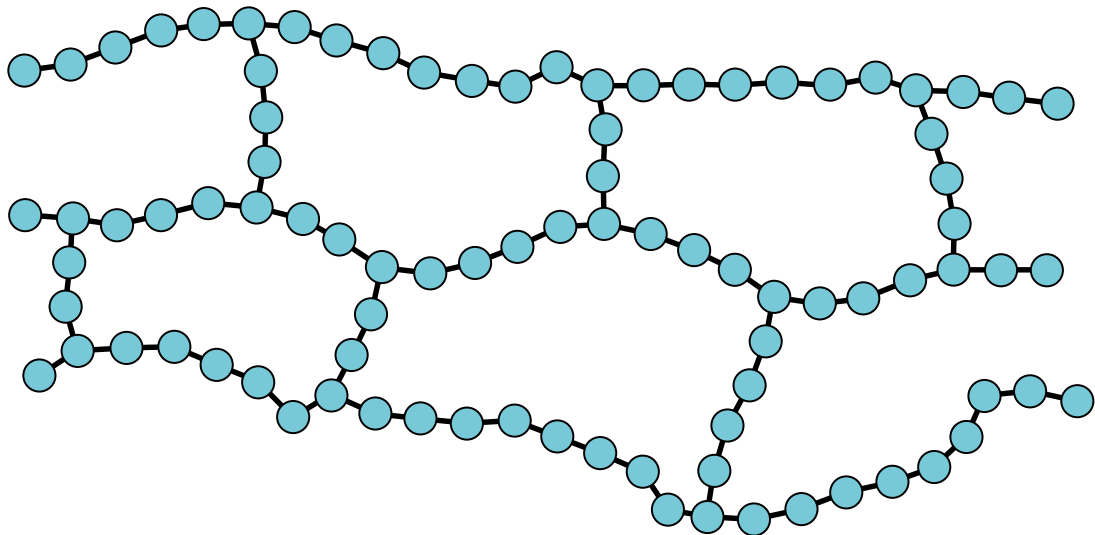
Oproti lineárním polymerům jsou k hlavnímu řetězci připojeny postranní řetězce a tím dochází k rozvětvení. Tyto postranní větve způsobují, že se makromolekuly nemohou dostatečně přiblížit jedna k druhé a proto polymery s rozvětvenou strukturou mají nižší hustotu než lineární polymery. Dále dochází také k horší pohyblivosti makromolekul. [6]



Obr. 2.3 Rozvětvená struktura (převzato z [10])

Sít'ované polymery

Řetězce síťovaných polymerů jsou vzájemně spojeny chemickými vazbami a vytvářejí trojrozměrnou prostorovou síť. Jejich vznik probíhá buď sesít'ováním lineárního nebo rozvětveného polymeru. Síť může být řídká (elastomery) nebo hustá (reaktoplasty). Zesít'ované polymery jsou nerozpustné v rozpouštědlech a netavitelné. Při velmi malém síťování si polymery zachovávají tepelnou tvarovatelnost. Tvarovatelnost se velmi rychle snižuje, pokud se zvyšuje koncentrace příčných vazeb. Polymery s trojrozměrnou strukturou mají obvykle hustou síť s vysokou koncentrací příčných vazeb. Síť způsobuje vysokou tvrdost, tuhost a také odolnost proti zvýšené teplotě. [5]



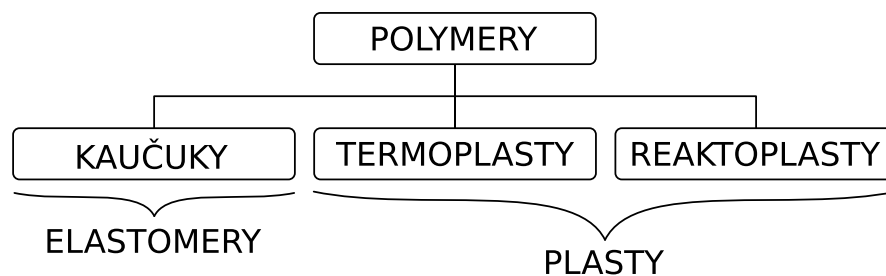
Obr. 2.4 Síťovaná struktura (převzato z [10])

2.1.2 Rozdělení podle původu

- **Přírodní** – jak už název napovídá, tyto látky se vyskytují v přírodě např. v rostlinách nebo v živočišných organismech. Mezi přírodní polymery patří: bílkoviny, celulóza, přírodní kaučuk, škrob. Do této kategorie patří také látky, které jsou přírodním polymerům velmi podobné (jsou to upravené přírodní polymery). [5, 11]
- **Syntetické** – v přírodě se nevyskytují, jejich vznik probíhá pomocí chemické reakce např. pomocí polymerace, polykondenzace nebo polyadice. [5]

2.1.3 Rozdělení podle chování za zvýšené teploty

Polymery jsou v určitém stádiu zpracování vlivem zvýšené teploty a tlaku skoro v kapalném stavu a tím můžeme udělit budoucímu výrobku potřebný tvar, podle předpokládaného použití. Termoplasty jsou komerčně nejpoužívanější, tvoří okolo 70 % výroby všech syntetických polymerů. Zbýlých 30 % sdílí elastomery a reaktoplasty. [10]



Obr. 2.5 Základní rozdělení polymerů [5]

Plasty

Jako plasty můžeme označit všechny polymery kromě elastomerů. Na rozdíl od polymeru, který je chemickou látkou je plast technický materiál, který musí splňovat různé vlastnosti. Toho lze dosáhnout tím, že do polymeru přidáme různé přísady např. aditiva, díky kterým dochází k ovlivnění vlastností polymerní směsi a převedeme do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování například ve formě granulí, tablet apod. Mezi přísady, které se používají při zpracování polymerů, patří maziva. Maziva nejen, že usnadňují zpracování obtížně zpracovatelných plastů, ale i zlepšují některé vlastnosti výrobku např. vzhled povrchu, odolnost vůči povětrnosti, tepelnou a světelnou stabilitu. Důležitou přísadou jsou také změkčovadla, která způsobí zvýšení vnitřní pohyblivosti makromolekulárních řetězců. Pohyblivost těchto řetězců určuje tuhost a teplotu zesklnění. Maziva poskytují ohebnost, tvárnost, vláčnost, ale také snižují teplotu jejich zesklnění a viskozitu taveniny. Další skupinou aditiv jsou tepelné stabilizátory, jsou to látky umožňující nejen tvarování za tepla, ale také zamezují degradaci jak polymeru při jeho zpracování tak i výsledného produktu za různých vnějších podmínek. Na tepelné stabilizátory jsou kladeny velké nároky, protože nesmí zhoršovat mechanické a elektroizolační vlastnosti polymeru a musí být netoxické. Další důležitou přísadou, která významně ovlivňuje vlastnosti směsi, jsou plniva. Plniva ztužují polymerní výrobky a zlepšují jejich mechanické vlastnosti, např. pevnost, odolnost vůči větru, tuhost, stárnutí, dále mohou ovlivňovat vzhled výrobků, ale i jejich cenu. Mezi další používané přísady patří pigmenty (práškové barvy). Pigmenty jsou většinou ve formě prášků, které jsou nerozpustné v polymerech. Pigmenty ovlivňují svojí barvou vzhled výsledného výrobků. Rozdělujeme podle původu na organické, anorganické a bronze (práškové kovy). [5]

Plastové materiály mají výborné zpracovatelské vlastnosti, výbornou odolnost proti korozi, nízkou měrnou hmotnost a cenu. Jejich nevýhody jsou nízké mechanické a časově závislé vlastnosti, ale také ekologická zatížitelnost. Přesto spotřeba plastů neustále narůstá. Plasty pronikly nejen do elektrotechniky, ale prakticky do všech odvětví zpracovatelského průmyslu a u řady řešení jsou prakticky nenahraditelné. Pokud je při zvýšené teplotě změna z plastického do tuhého stavu opakovatelná (vratná), bývají tyto plasty označovány jako termoplasty. Pokud je naopak změna neopakovatelná nebo trvalá (nevratná) řadíme je mezi reaktoplasty. [6,9]

Termoplasty

Termoplasty jsou pevné materiály, které se stávají kapalné při zahřátí nad teplotu tání daného polymeru. Tato vlastnost umožňuje snadno tvarovat tvar produktů, a protože při

procesu tavení a tuhnutí nedochází k chemickým změnám, mohou být zahřáty a schlazeny opakovaně bez významné degradace. Mezi termoplasty řadíme většinu zpracovatelských hmot např. polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC) atd. [12,10]

Reaktoplasty

Reaktoplasty oproti termoplastům procházejí při zpracování nevratnou chemickou reakcí (obvykle probíhající za zvýšené teploty) a dochází k jejich vytvrzení. Po vytvrzení je změna nevratná a reaktoplast se stává nerozpustitelný a netavitelný (ztratí termoplastický charakter). Mezi reaktoplasty patří např. epoxidová pryskyřice, polyesterové hmoty atd. [5,9]

Elastomery

Elastomer je makromolekulární látka a jak už název napovídá, jejich velkou výhodou je elasticita. Elastomery se dají za běžných podmínek malou silou deformovat, aniž by došlo k jejich porušení. Deformace u elastomerů je vratná a po oddálení síly se vzorek vrátí do původního stavu. Nejpočetnější skupinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vulkanizací vyrábí pryže (guma). Hlavními představiteli kaučuků bývají polymery a kopolymery izoprenu a butadienu. Nejvíce používanou výztuží (plnivem) bývají saze. Aby nedocházelo k měknutí za tepla nebo tvrdnutí a křehnutí za zimy musí se kaučuky vulkanizovat. Pro vulkanizaci se používá síra, ale pro některé aplikace, kde je vyžadována větší odolnost vůči teplu, se musí vulkanizovat pryskyřicemi nebo peroxidy. Jelikož některé kaučuky obsahují makromolekuly s dvojnou vazbou a jsou tedy nenasycené, musí se ještě přidávat další přísady tzv. antidegradanty. Antidegradanty je skupina přísad, která chrání výrobky před vnějšími vlivy (účinek slunečního tepla, kyslík, ozon a tepelná energie) během jejich používání. [5,9,12]

2.2 Izolační a plášťové materiály

Polymery jsou v kabelech používány především kvůli výborným izolačním vlastnostem. Mezi nejpoužívanější materiál pro izolování vodičů je PVC. Další používané materiály jsou PE, PUR, PTFE, silikon a pryž.

Materiál používaný k izolaci vodiče:

- vulkanizované elastomery (EPR, EPDM, Neopren, silikonový kaučuk atd.)
- termoplasty (PE, PVC, TPE, PTFE, TPU atd.)
- zesítné izolační materiály (XLPE, VARPREN[®], RADOX[®]) [13]

Nejčastěji používané směsi jsou:

- PVC – polyvinylchlorid, v kabelovém průmyslu nejčastěji používaný
- PE – polyethylen, je tvrdší než PVC
- Pěnový PE – používá se jako dielektrikum u kabelů, protože má vlivem vzduchu lepší dielektrické vlastnosti
- XLPE – sestítný PE, má lepší termodynamické vlastnosti a lepší chemickou odolnost
- LFHC směsi – Low Fire Hazard Cables
- TPU – termoplastický polyuretan

2.2.1 Ethylen-propylenové kaučuky (EPM, EPDM)

Souhrnné označení těchto elastomerů je EPR, čímž se porušují mezinárodní pravidla. Mezinárodní pravidla totiž písmeno R vyhražují pro nenasycený uhlíkový řetězec. Řetězce elastomerů jsou nahodile rozložené a zcela nasycené, proto jsou velmi odolné vůči degradaci. Rozsah pracovních teplot se pohybuje od -50 °C až do 150 °C. Ethylenpropylenové kaučuky se používají k opláštění silových a sdělovacích kabelů.

EPM obsahuje monomerní jednotky, které jsou nahodile rozložené a nasycené. Tento nasycený kopolymer, nelze vulkanizovat sírou, ale pouze peroxidy. V praxi se nejvíce používá dikumylperoxid. EPDM jsou termopolymery obsahující ethylen a propylen s nekonjugovaným dienem (např. cyklopentadien nebo 1,4-hexadien). Dieny umožňují vulkanizaci EPDM sírou, pro vulkanizaci se používají také pryskyřice a peroxidy. Tyto kaučuky mají vysokou odolnost vůči stárnutí, chemikáliím, kyselinám. Mezi jejich nevýhody patří, že jsou málo odolné vůči pohonným látkám a olejům. [5,14]

2.2.2 Silikonové kaučuky

Silikonové kaučuky jsou známé spíše jako silikony. Silikony jsou tvořeny řetězcem, ve kterém jsou křemíkové atomy spojeny kyslíkovým můstkem (polysiloxany) a zbylé valence jsou vázány na uhlovodíkové zbytky. Používají se v rozmezí od -60 do 180 °C. Elektroizolační vlastnosti se s teplotou mění jen minimálně a závislost permitivity na teplotě má v celém rozsahu klesající tendenci. Silikonové kaučuky lze rozdělit na typy vulkanizované za tepla, vulkanizované za teploty místnosti a vulkanizované za chladu. Vulkanizace za chladu se používá pro výrobu uměleckých předmětů nebo forem na odlitky z epoxidů. [14]

Kaučuky vulkanizované za vyšších teplot mají molekulovou hmotnost $3 \cdot 10^5$ až 10^6 . Vyráběný kaučuk je bezbarvá a stále tekoucí hmota, kterou lze rozpustit v benzenu. Před vulkanizací se ještě přidají plniva, pak následuje vulkanizace pod tlakem 4 až 8 MPa při teplotě 110 °C a nakonec několika hodinové temperování při teplotě 150 až 200 °C. Teplená odolnost těchto silikonů od 200 do 250 °C, krátkodobě mohou snášet 300 až 350 °C. Tyto kaučuky mají nedostatečnou odolnost vůči organickým rozpouštědlům, alkáliím a dlouhodobému působení přehřáté vodní páry. Používají se především jako těsnicí a elektroizolační materiál pro speciální použití. [14]

Kapalné kaučuky, které jsou schopné lítí a natírání s molekulovou hmotností 10^4 až 10^5 se používají pro vulkanizaci za normální teploty. Pro vytvrzování se vyžaduje voda, protože absolutně suché kaučuky (za vyloučení vlhkosti) nejsou schopny vulkanizace. Jelikož vulkanizace za normální teploty je velmi pomalý proces, je možné ho urychlit. Pro urychlení vulkanizace se nejčastěji používá dibutylcindilaurát. Pro síťování se jako činidlo používá ethylsilikát 40 (dekaethoxytetrasiloxan) nebo polymethylhydrosiloxany (H-oleje). Na rychlost vytvrzování má vliv teplota a koncentrace vody, síťovadla a katalyzátoru. Naopak kyseliny reakci zpomalují. [14]

Mezi dříve používaný silikonový polymer patřil polydimethoxysilan (MQ), tento silikon je dnes nahrazen methylvinylpolysiloxanem (MVQ). Silikonová pryž z MVQ dokáže odolávat teplotám až 200 °C. Dalším typem jsou methylfenyvinylpolysiloxany (MPVQ), určené pro výrobu pryží, které mají odolávat velmi nízkým teplotám. Silikony se používají při výrobě kabelů a kabelových spojek, kde nejsou vyžadovány zvláštní funkce. Mezi jejich vlastnosti patří výborná odolnost proti teplu, výborné elektroizolační vlastnosti, významné povrchové vlastnosti (např. nízké povrchové napětí). Kromě tepelné odolnosti mají také velkou ohebnost a jsou odolné proti stárnutí, oxidačním činidlům, UV záření, chemickým činidlům, vlhkosti a vodě. [5,15]

2.2.3 Polyvinylchlorid (PVC)

Patří mezi nejpoužívanější termoplastický materiál, který se používá nejen v kabelovém průmyslu. Kabely obsahující polyvinylchlorid jsou nejrozšířenější a nejvíce výběrné kabely na trhu. To především díky relativně snadnému způsobu zpracování jeho polymeru a malé finanční náročnosti výroby. PVC lze vyrobit několika způsoby: blokovou polymerací, emulzní polymerací, suspenzní polymerací, syntézou. Mezi další výhody kromě snadné zpracovatelnosti všemi základními postupy (válcováním, vytlačováním, vstřikováním,

vyfukováním, atd.), patří také schopnost želatínace za pomoci různých změkčovadel, chemická odolnost a stálost. [5,14,16]

Polyvinylchlorid je amorfni látka, která nemá pravidelnou (krystalickou) strukturu. Čistý PVC je bílá práškovitá hmota, která je bez zápachu a nerozpustná ve vodě. Může se zpracovávat dvěma způsoby, záleží, jaké vlastnosti očekáváme od výsledného produktu, jestli chceme tvrdý, polotuhý nebo elastický výrobek. Na tvrdé výrobky se při zpracování používají stabilizátory, maziva a modifikátory. Při výrobě výrobků, které mají být polotuhé, až elastické se používají změkčovadla. PVC je odolný především vůči neoxidujícím kyselinám, dobře odolává také zásadám, bohužel tato odolnost klesá se vzrůstajícím stupněm změkčení polymeru a zvyšující se teplotou. Neměkčený PVC je nejen velice tvrdý a odolný proti oděru, ale má i dobré izolační vlastnosti. Pro výrobu kabelů je však vyžadována určitá ohebnost v určitém rozmezí teplot, proto se na izolace kabelů používá měkčený polyvinylchlorid. Měkčený PVC má vlivem použití změkčovadel lepší tažnost a ohebnost, ale bohužel při použití změkčovadel dochází ke snížení izolačního odporu a elektrická pevnost, permitivita a činitel dielektrických ztrát se naopak zvyšuje. V oboru kabelové techniky jsou vyžadovány dobré elektrické vlastnosti, proto se musí používat co nejčistší jednotlivé složky, aby vlivem nečistot nedocházelo k degradaci elektrických vlastností. [5,14]

Směsi pro měkčený PVC obsahují ftaláty (které se používaly jako změkčovadla při výrobě měkčených plastů) a také halogenní prvek chlór. Později bylo zjištěno, že při hoření PVC se vytváří hustý dým, který má neblahý vliv na životní prostředí a lidské zdraví, protože je jedovatý a karcinogenní. [5,14,17]

2.2.4 Etylvinylacetát (EVA)

Výroba kopolymeru EVA se provádí blokovou radikálovou vysokotlakou polymerací při tlaku 140 MPa a teplotě 180 až 250 °C. Kopolymery mají vysokou pevnost a lze je rozpouštět pomocí ketonů nebo aromatických a chlorovaných uhlovodíků. Kopolymery jsou průsvitné až průhledné a se zvyšujícím se podílem vinylacetátu roste jejich průtažnost, rázová houževnatost a odolnost proti tvorbě trhlin pod napětím. Vlastnosti ethylvinylacetátu se mění v závislosti na koncentraci vinylacetátu. EVA mohou obsahovat zhruba 20 až 70 % vinylacetátu. Produkty obsahující 20 % mají maximální pružnost a pevnost v tahu, svými vlastnostmi se blíží měkčenému polyvinylchloridu. Kopolymery EVA s obsahem vinylacetátu 40 až 70 % se používají jako oxidačně zesíťované kaučuky, které mají nadprůměrnou

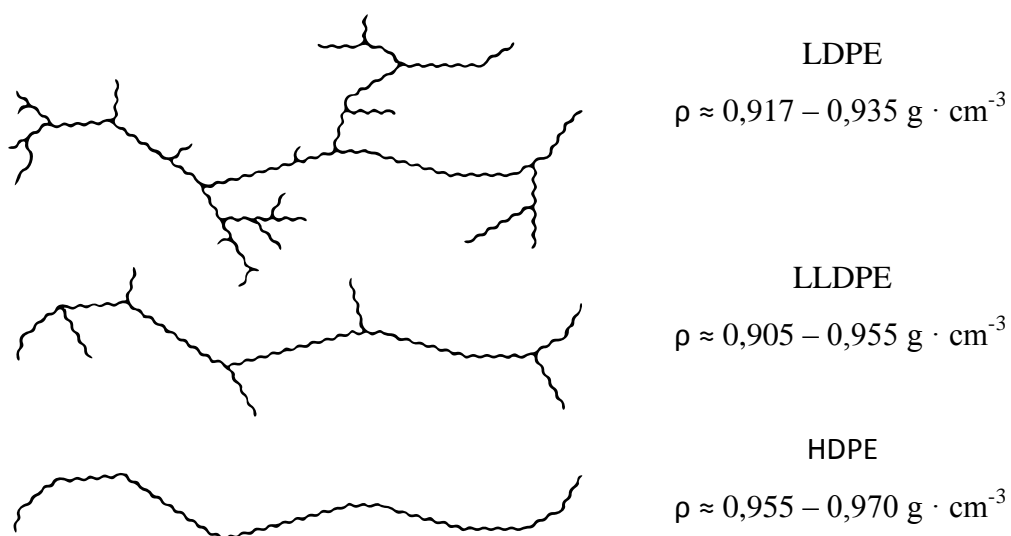
tepelnou odolnost. Produkty s touto koncentrací se používají pro výrobu topných vedení, flexibilních obalů a v kabelovém průmyslu pro opláštění kabelů. [14,18]

2.2.5 Polyethylen (PE)

Je jedním z nejjednodušších termoplastů, který se vyrábí polymerací plynného ethyleny za pomoci katalyzátorů a reakčních činidel. Jeho záhladní strukturu tvoří uhlovodíkový řetězec, který nenese žádné substituenty. Polyethylen je vyráběn různými způsoby, má tedy velké možnosti použití s různými zpracovatelskými a užitnými vlastnostmi. K tavení dochází až při teplotě 105 – 120 °C. Je to materiál, který je zároveň levný a snadno zpracovatelný a navíc má dobré elektroizolační vlastnosti. V kabelech je používán pěnový PE, ten totiž díky své buněčné struktuře má lepší dielektrické vlastnosti. [5,14]

PE má vysokou krystalitu, je to tuhá látka, která je za běžných podmínek bílá a ve velmi tenké vrstvě průhledná. Při normálních a nízkých teplotách má velmi dobré mechanické vlastnosti např. velkou ohebnost a rázovou houževnatost. Jeho chemická odolnost klesá se zvyšující se teplotou. Za běžných podmínek je odolný vůči vodě, kyselinám, zásadám, solím a jejich roztokům a polárním rozpouštědlům. Při vysokých teplotách na něj působí velmi dobře polární rozpouštědla např. benzen nebo toluen. [5]

Polyethylen můžeme rozdělit podle struktury na lineární a rozvětvenou. PE s lineární strukturou mají vysokou hustotu a označují se jako HDPE (High Density). Naopak rozvětvené PE mají nízkou hustotu a značí se LDPE (Low Density). Mezi těmito dvěma strukturami se nachází LLDPE (Linear Low Density) neboli lineární polyethylen s nízkou hustotou. [14]



Obr. 2.6 Rozdělení podle struktury [19]

Nízkohustotní polyethylen (LDPE)

Nízkohustotní polyethylen je nejvíce používaným typem, který se vyrábí za použití vysokého tlaku. Má chemickou odolnost vůči kyselinám, flexibilní a pružný. Nachází uplatnění především tam, kde není zapotřebí vysokých provozních teplot a nadměrné mechanické namáhání. Pro výrobu LDPE se používá míchaná nádoba (autokláv) nebo trubkový reaktor. [16,20]

Lineární nízkohustotní polyethylen (LLDPE)

Je tvořen dlouhými řetězci s kratšími bočními skupinami. Vlivem kratšího rozvětvení se odlišuje od LDPE svojí měkkostí, proto není tak měkký a ohebný. Používá se k výrobě jak ohebných, tak i pevných produktů. Výroba LLDPE se provádí buď v roztoku, nebo v plynné fázi. [20]

Vysokohustotní polyethylen (HDPE)

Vysokohustotní polyethylen se skládá z dlouhých řetězců, u kterých nedochází k rozvětvení, proto má také vyšší hustotu. Při této struktuře si materiál zachovává stejné vlastnosti v průběhu změny teplot. HDPE je velmi tuhý a tvrdý, jeho nevýhodou je malá pružnost a vyšší náchylnost na praskání při dynamickém namáhání. Výroba probíhá třemi základními technologickými postupy: suspenzí, roztokem a v plynné fázi. [14,16,20]

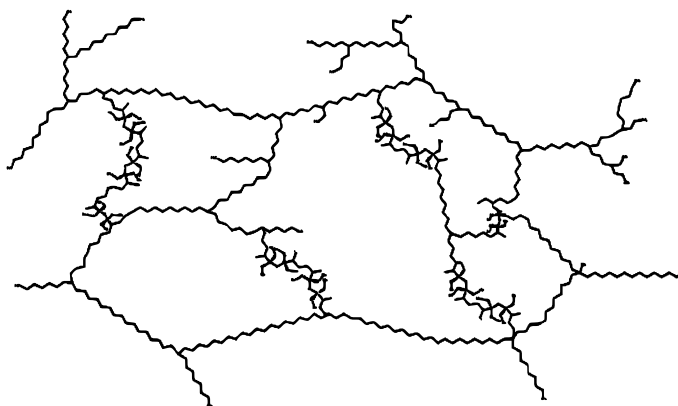
Podle hodnoty hustoty můžeme PE dělit na materiál s velmi nízkou hustotou (ULDPE) až po materiál s vysokou hustotou a zároveň a ultravysokou molekulovou hmotností (UHMW-HDPE).

Tab. 2.1 Třídění PE podle hustoty [14]

Typ	Zkratka	Hustota (g/cm ³)
PE s velmi nízkou hustotou	ULDPE (Ultra-Low Density)	0,888 – 0,915
PE s nízkou hustotou	LDPE (Low Density)	0,915 – 0,935
Lineární PE s nízkou hustotou	LLDPE (Linear Low Density)	0,910 – 0,925
PE se střední hustotou	MDPE (Medium Density)	0,925 – 0,940
PE s vysokou hustotou	HDPE (High Density)	0,941 – 0,967
PE s vysokou molekulovou hmotností	HMW-HDPR (High Molecular Weight HDPE)	0,944 – 0,954 MH = 200 000 – 500 000
PE s ultravysokou molekulovou hmotností	UHMW-HDPE (Ultra-High Molecular Weight HDPE)	0,955 – 0,967 MH = 3 000 000 – 6 000 000

2.2.6 XLPE

Protože některé aplikace vyžadují vyšší nároky na některé vlastnosti, kterými základní polyethylen nedisponuje, provádí se tzv. síťování. Zesíťování se provádí pod vysokým tlakem a jako aditiva (přísady) se přidávají organické peroxidy. Síťování PE umožňuje dosáhnout lepší odolnosti proti oděru, povětrnostním vlivům, zvýšení odolnosti vůči ohni a zlepšení dalších mechanických a teplotních vlastností. Při malém stupni síťování si síťovaný PE zachovává tvarovatelnost za tepla, tato tvarovatelnost se zvýšeným počtem příčných vazeb klesá (dochází ke zvýšení úrovně síťování). Na rozdíl od termoplastů se při vyšších teplotách netaví, proto kabely izolované touto technologií mohou mít provozní teploty kolem 120 °C, krátkodobě mohou odolávat teplotě kolem 200 °C. Klasický polyethylen při vysoké teplotě velmi rychle degraduje a ztrácí své mechanické a elektrické vlastnosti. Zatímco XLPE je při extrémních teplotách stále hořlavý materiál a při dlouhodobém působení dochází u těchto materiálů k degradaci mechanických a elektrických vlastností. XLPE vlivem síťování dokáže krátkodobě odolávat vyšším teplotám a nedochází k výraznému tečení jako u klasického PE. Kabely izolované XLPE mají nízké dielektrické ztráty a používají se pro vedení středních a vysokých napětí. [14,16]



Obr. 2.7 Příčné vazby mezi dvěma řetězci PE [19]

Tab. 2.2 Změny vlastností PE po síťování [13]

Vlastnosti PE	Změna vlastností po síťování
Index toku taveniny	Snížení
Hustota	Beze změn / snížení
Molekulární hmotnost	Výrazný nárůst
Pevnost v tahu	Beze změn / mírný nárůst
Teplotní odolnost	Výrazné zlepšení
Chemická odolnost	Výrazné zlepšení

2.2.7 LFHC (Low Fire Hazard Cables)

Vlivem zpřísnování norem v různých odvětvích tyto kabely postupně nahrazují klasické PVC nebo pryžové kabely. Zároveň normy nutí výrobce kabelů zavádět nové konstrukce kabelů s využitím moderních materiálů, které mají lepší funkčnost při požáru. Do těchto kabelů jsou přidány anorganické minerály, které snižují určité fyzikální vlastnosti. Tyto kabely však mají stejnou nebo dokonce lepší funkčnost než běžné halogenové. Cílem těchto používaných materiálů není jen zpomalování hoření, ale také nesmí při hoření vytvářet hustý dým, toxické nebo korozivní plyny. Označení kabelů LFHC (Low Fire Hazard Cables) nahrazuje původní zkratku HFFR (Halogen Free Flame Retardant). [17,21,22]

V problematice bezhalogenových nebo nehořlavých kabelů se objevuje mnoho zkratek, kdy pod různými označení je často myšlen stejný typ kabelu.

Tab. 2.3 Tabulka materiálů[22]

Zkratka	Význam
FRLS	Fire Resistant Low Smoke
FRNC	Fire Retardant Noncorrosive
HFFR	Halogen Free Flame Retardant
LC	Low Corrosivity
LH	Low Halogen
LS	Low Limited smoke
LS0H	Low Smoke Zero Halogen
LSF	Low Smoke and Fume
LSHF	Low Smoke Halogen Free
LSNH	Low Smoke Nonhalogen
LSZH	Low Smoke Zero Halogen
NHFR	Nonhalogen Flame Retardant
RE	Reduced Emissions
ST	Smoke Test (limited smoke)

Bezhalogenový kabel neobsahuje žádný z chemických prvků nazvaných jako halogeny. Halogeny jsou skupinou vysoce reaktivních plynů, patří mezi ně fluor, chlor, brom, jod a astat. Používají se především jako retardér (zpomalovač) hoření, který zpomaluje nebo zabraňuje hoření. Pokud výrobky obsahující halogeny hoří, představují zdravotní riziko, protože produkují vysoce toxické, velmi nebezpečné, ale také korozivní plyny.

Úloha těchto kabelů spočívá především v zajištění požární bezpečnosti v prostorách, kde jsou instalovány. Slouží k ochraně bezpečnosti a zdraví v místech, kde se nachází velké množství kabelů a je větší množství lidí nebo zvýšené riziko požáru, např. divadla, kina, nemocnice, metro, pracoviště s hořlavými materiály, jaderné elektrárny, tunely atd. [22,23]

V řadě případů musí být zachována jejich funkčnost, i když na ně působí plameny při požáru. Téměř všechny moderní kabely musí povinně projít nějakým druhem zkoušky [23]:

- a) odolnost proti šíření plamene – zjišťuje odolnost proti šíření plamene při požáru na další stavební a konstrukční prvky, rozlišuje se odolnost jednotlivého kabelu, kabelů ve svazku a kabelů malého průřezu (do 0,5 mm²)
- b) dýmivost – zjišťuje produkci dýmu při hoření, měří se propustnost světla vyprodukovaným hořením kabelu
- c) kyselost a korozivita zplodin hoření – měří se množství pH a elektrická vodivost kyselých plynů vznikajících při hoření kabelů
- d) funkční schopnost kabelu při požáru – zjišťuje se, jestli je kabel schopen napájet důležité zařízení při požáru po dobu minimálně 180 min (např. bezpečnostní osvětlení, eskalátory v metru atd.)
- e) odolnost proti požáru pro nechráněné kabely v nouzových obvodech – zkouška simuluje vystavení kabelu mechanickým vlivům během požáru (na kabel působí mechanické rázy a případně i skrápění vody)
- f) integrita kabelového systému – určuje po jakou dobu je kabelová trasa schopna odolávat působení požáru

Během zkoušení se přídatnými přístroji dále můžou měřit tyto parametry [23]:

- rychlost uvolňování tepla – kolik tepelné energie se uvolní za jednotku času během hoření za specifikovaných podmínek
- celkové uvolněné teplo – rychlost uvolňování tepla za definovaný časový interval
- rychlost tvorby kouře
- celková tvorba kouře – rychlost tvorby kouře za definovaný časový interval
- šíření plamene
- index rychlosti růstu požáru – nejvyšší hodnota podílu rychlosti uvolňování tepla a času
- hořící kapky/částice – materiál oddělující ze vzorku během zkoušky

3 Technologie pro zpracování plastů

Technologie zpracování plastů se významně podílí na konečných vlastnostech a kvalitě výrobků. Kaučuky ani plasty nelze jednoduše zpracovat v hotové výrobky, ale musí být do nich přidány různé přísady např. antioxidanty, plniva, pigmenty, stabilizátory, vulkanizační přísady, změkčovadla aj. Stejně tak se musí odstranit např. zbytky rozpouštědel nebo vody, případně další mechanické nečistoty. Při zpracování polymerů může dojít k degradačním procesům např. změnou barvy, uvolňování plynů nebo s jinými vlastnostmi. Polymery se převádí do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování například ve formě granulí, tablet apod. [9,24]

3.1 Míchání a hnětení

Při výrobě musí být polymery smíchány s přísadami nezbytnými pro kvalitu budoucího výrobku nebo s přísadami, které usnadní jejich zpracování (např. maziva). Mezi přísady usnadňující zpracování řadíme: antioxidanty, stabilizátory, plniva, změkčovadla, vulkanizační činidla apod. Míchání obvykle probíhá v tavenině polymeru, kdy se částice jedné látky snažíme vmíchat mezi částice druhé látky. V míchané směsi se snažíme, aby bylo rovnoměrné rozptýlení přísad. Míchání lze rozdělit na dva typy na intenzivní a extenzivní. Při intenzivním míchání je hmota v měkkém nebo roztaveném stavu. Stupeň homogenity závisí na intenzitě smykového namáhání v systému např. míchání kaučuků s vyztužujícími plnivy (saze) v hnětačích. U extenzivního míchání závisí stupeň homogenity na stupni toku nebo na vytváření nového povrchu např. míchání práškových polymerů a pigmentů. [6,24]

Jak již bylo uvedeno, míchání neprobíhá jen v míchačkách, ale i v hnětačích. Hněticí stroje jsou schopné mísit plasty především působením intenzivním smykovým namáháním. Musí mít robustní konstrukci, aby mohli převést makromolekulární látku do plastického stavu. Hněticí stroje můžeme podle způsobu práce rozdělit na diskontinuální a kontinuální. Při diskontinuálním hnětení může z různých důvodů kolísat kvalita produktu. Proto se stále více používají kontinuální stroje, pro dosažení maximální stejnorodosti hněteného produktu. Aby toho byly schopné, musí být vybaveny přesným dávkovacím a plnicím zařízením. Zároveň jsou na kontinuální hnětače kladeny také větší požadavky např. řízení teploty, snadná úprava pro různé směsi, homogenizace bez místního přehřátí, rychlé a snadné čištění. [6,24]

3.2 Granulace

Granulace je konečným stupněm přípravného zpracování většiny polymerních materiálů. Při granulování převádíme polymerní směsi na granulát, který se dále zpracovává. Granule umožňují svým stejnoměrným tvarem pravidelné a hlavně přesné dávkování do násypky zpracovatelských strojů. Oproti prášku mají granule výhodu, že u nich nedochází k lepení na stěny násypky. Dnes ve většině granulačních zařízení (granulátorů) dochází k vytlačování materiálu ve formě struny, která se rozseká na stejnoměrné kousky. Výroba strun probíhá dvěma způsoby. Prvním je granulace za studena, kde jsou struny po vytlačení ochlazeny ve vodní lázni. Nevýhodou této metody je, že při velkém množství strun se mohou struny před ochlazením slepovat nebo při velkém ochlazení se struny mohou lámat. Druhým způsobem je granulace za horka. Při níž je roztavený polymer rozřezáván řezacím zařízením za sucha. Vzniklé granule se pak ochladí ve vodní lázni a po vyjmutí z vodní lázně dochází k jejich sušení. [24]

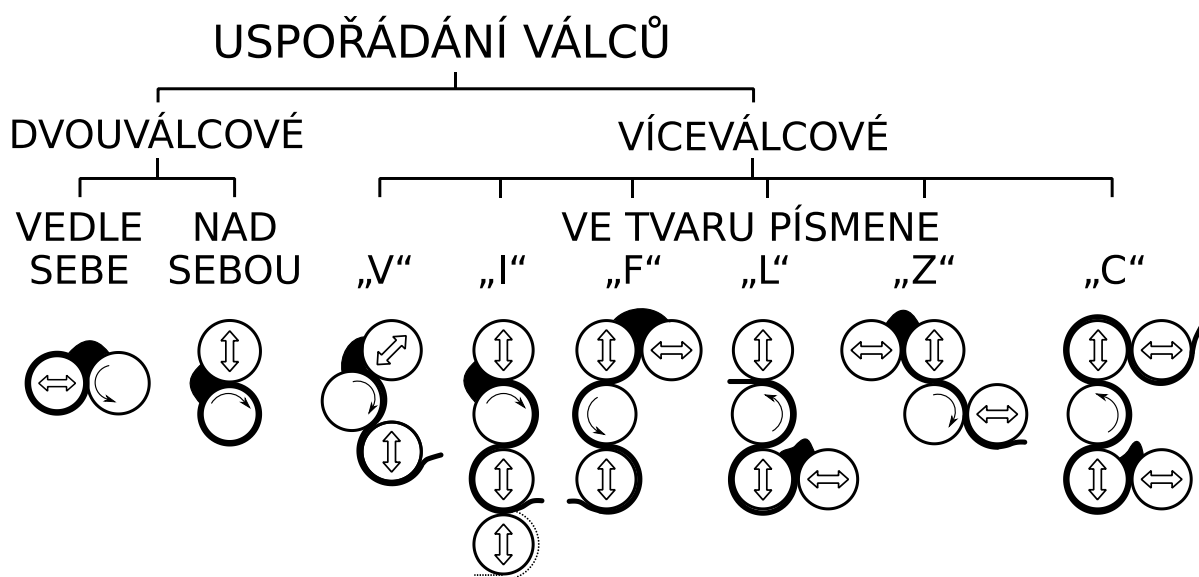
3.3 Tabletování

Tabletování se používá, pokud je dodávaná surovina v práškové formě např. některé druhy plastů (hlavně reaktoplasty). Při tabletování bývá prášek lisován nejčastěji do plochého válečku. Mezi hlavní výhody této metody patří: rychlost, přesnost, jednoduché dávkování a možnost jednoduše změnit lisovací prostor lisovací formy. Přístroje používané pro lisování jsou především mechanické, avšak pro zpracování obtížně lisovatelných hmot (vláknitá plniva) se vyrábějí lisy hydraulické. Výška tablety je dána množstvím prášku, který se umístí do lisu. Lisování se provádí silou zhruba 0,1 – 0,5 MN, stroje pracují v rozmezí 10 až 40 zdvihů za minutu. Výsledné tablety mohou mít tloušťku až 30 mm a průměr 80 mm. [5,6,24]

3.4 Válcování

Nejčastěji se válcování (kalandrování) používá k tváření polymerů mezi vyhřívanými válci, např. k přípravě folií z tvrdého a měkčeného PVC, podlahových krytin a textilní podložky. Hlavní součástí je víceválcový stroj zvaný kalandr, který je umístěn ve výrobní lince. Válcovací stroje patří k největším a investičně nejnáročnějším zařízením pro zpracování plastů. Je to řada přesných obvykle litinových a často povrchově tvrzených válců, mezi nimiž

dochází k formování předem připravené hmoty. Pokud jsou válce hodně chemicky namáhané, přidává se na jejich povrch vrstva tvrdého chrómu. První štěrbina mezi válci je zásobována pásem ohřáté polymerní směsi z míchacího dvouválce, popř. z hnětiče. Intenzita hnětení je ovlivňována rozdílem obvodových rychlostí válců (skluzem). Kvalita povrchu válcovaného materiálu je závislá na počtu štěrbin, kterými projde, každá další štěrbina zvyšuje kvalitu vyráběné fólie. Pro různé účely se vyrábějí různé typy klandrů, které mají jiný počet válců. Podle počtu válců je můžeme dělit na dvouválcové a víceválcové. Nejvíce používané jsou čtyřválcové klandry ve tvaru L nebo F. [5,6,14,24,25]

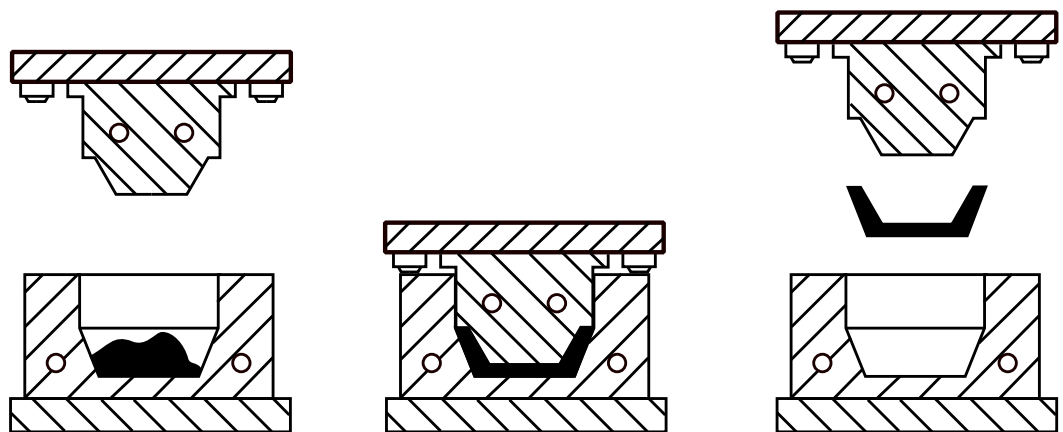


Obr. 3.1 Uspořádání válců (převzato z [25])

3.5 Lisování

Při lisování dochází ke tváření polymerů v ocelové formě, která má tvar výsledného produktu (výlisku). Materiál, který se používá pro lisování je především kaučuk a reaktoplast. Lisovací hmoty z reaktoplastů je vhodné před lisováním předehřát, dosáhne se tím řady výhod: materiál se zpracovává při nižších tlacích, zkrátí se čas lisování a zlepšuje se kvalita výlisku. Do vytápěné ocelové formy je vložena hmota ve formě tablet nebo prášku o přesně stanoveném objemu. Působením tepla a tlaku je hmota roztavena a následně vylisována. Pro zajištění dokonalého vyplnění formy musí být objem dávkované hmoty vždy větší, než je objem výrobku. Vlivem přebytečné hmoty se potom na výrobku vytvoří tzv. přetoky, které se zchlazení a vyjmutí výrobku z formy odstraní buď ručně, nebo strojně. Podle použitého tlaku rozlišujeme lisování na vysokotlaké a nízkotlaké. Jako vysokotlaké lisování se provádí při

tlaku vyšším než 3 MPa. Vysokotlaké lisování dále můžeme rozdělit podle způsobu provádění na lisování přímé, lisování rázem a lisování nepřímé (přetlačování). Pro vysokotlaké lisování se používají pístové hydraulické lisy. Při nízkotlakém lisování dochází převážně k tvarování rektoplastů. Typickým způsobem nízkotlakého lisování je lisování pomocí pružných dílců nebo lisování s pevnými formami. [5,6,14]

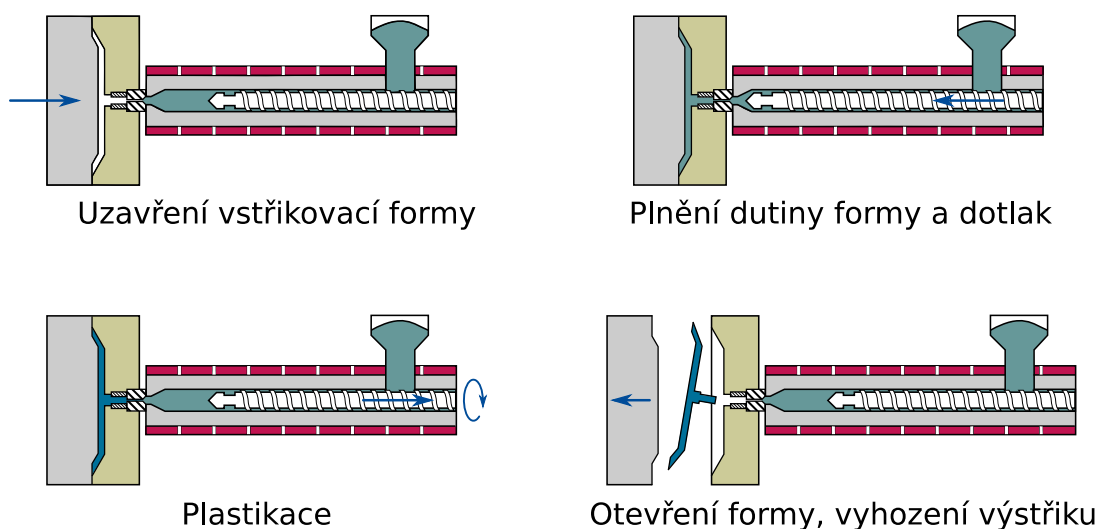


A - vložení materiálu B - lisování a vytvrzování C - vyhození vylisku

Obr. 3.2 Průběh lisování (převzato z [6])

3.6 Vstřikování

Pomocí vstřikování se vyrábějí buď polotovary sloužící pro kompletaci anebo konečné výrobky. Tato technologie se používá pro zpracování nejen termoplastů, ale i stále více kaučukových směsí. Pro vstřikování se nejprve nasype plast ve formě granulí do násypky, z níž je odebírán nejčastěji šnekovým zařízením. Šnek nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje hmotu do tavicí komory, kde vlivem tření a topení vznikne tavenina o požadované viskozitě. Tavenina materiálu je z pomocné tlakové komory vstřikována do dutiny formy. Dopravování taveniny do kovové formy probíhá pod tlakem 100 až 200 MPa a velkou rychlostí. Materiál uzavřenou kovovou formu zcela zaplní a zaujme její tvar. Vstřikovaný materiál předává formě teplo a dochází k postupnému ochlazení, až materiál ztuhne. Potom se forma otevře a finální výrobek se vyndá a celý proces se může opakovat. Hlavní výhodou vstřikování je jeho rychlost a rozměrová i tvarová přesnost výrobků. Mezi nevýhody lze zařadit vysoké investiční náklady v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů a relativně dlouhá doba pro výrobu forem. [6,24,26]



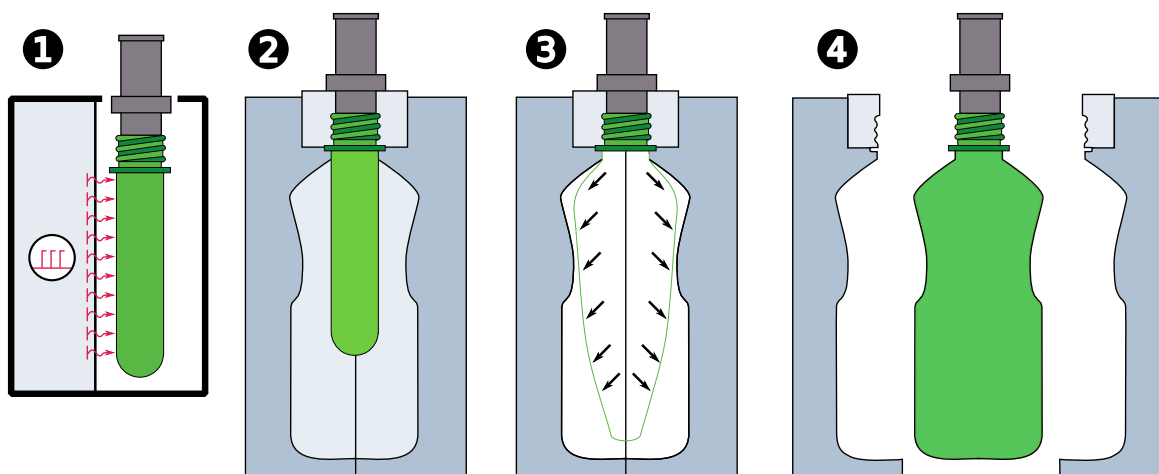
Obr. 3.3 Vstřikovací proces [6]

3.7 Vyfukování

Při vyfukování je polotovár (předlisek) tvarován tlakem vzduchu ve vyfukovací formě do výsledného tvaru. Vyfukováním se nejčastěji vyrábějí duté předměty (lahve, trubky, kanystry, nádrže na oleje, apod.). Výrobu lze provádět dvěma způsoby buď vstřikovacím vyfukováním anebo vytlačovacím vyfukováním. Hlavním rozdílem mezi oběma technologiemi je způsob vytvoření předlisku.

Při vstřikování dochází ke vstříknutí předlisku na dutý ocelový trn. V další operaci se trn přesune do vyfukovací formy, kde se dutinou v trnu se přivádí stlačený vzduch a dochází k vyfouknutí. Po ochlazení, ztuhnutí a otevření formy se výrobek musí sundat z trnu. Výrobky vyrobené pomocí vstřikovacího vyfukování mají lepší vzhled, tuhost, jsou bežešvé a nevzniká technologický odpad. Velkou nevýhodou je, že při výrobě jsou zapotřebí dvě formy a poměrně složitá zařízení. [5,6]

Dnes se většina dutých těles z plastů provádí pomocí vytlačovacím vyfukováním. Základem této technologie je šnekový vytlačovací stroj s příčnou nebo příčnou vytlačovací hlavou, ve kterém dochází k vytlačování předlisku (tzv. parizonu). Parizon je v podstatě trubka, která se odstříhne, jakmile dosáhne požadované délky. V další operaci se parizon sevře do formy, kde dojde k jeho vyfouknutí stlačeným vzduchem. Vzduch se do formy přivádí různými způsoby, nejčastěji vytlačovací hlavou. Podobně jako u vstřikování dochází po vyfouknutí ještě k ochlazení, ztuhnutí a navíc se musí odstranit přetoky. Nevýhodou vytlačovacího vyfukování je poměrně malá přesnost a vlivem přetoků poměrně velký odpad. [5,6,24]



1 – ohřev tvarové části předlisku, 2 – přesun do vstřikovací formy, 3 – vyfukování, 4 – chlazení, vyhození

Obr. 3.4 Průběh vyfukování [6]

3.8 Odlévání

Odlévání (lití) je technologie, při které dochází ke zpracování kapalného materiálu do formy. Pro tuto technologii lze použít jak termoplasty (PVC, PMMA, PA, PE, atd.), tak i reaktoplasty (epoxidové, polyesterové i fenolické pryskyřice, PUR). Mezi výhody této technologie patří: výroba dílů bez vnitřního pnutí, minimální odpad, jednoduchá konstrukce (nízké náklady na formy a stroje). Naopak mezi nevýhody patří: počet vhodných plastů pro odlévání, nízká rozměrová přesnost a dlouhé pracovní cykly. Odlévání můžeme rozdělit na tři základní způsoby: gravitační, rotační a odstředivé. [6]

Gravitační odlévání patří technologicky mezi nejjednodušší způsob, protože k funkci postačuje pouze forma a vyhříváný prostor. Při tomto způsobu odlévání působí na materiál pouze hydrostatický tlak, proto hmota musí být velmi dobře tekutá. Formy pro odlévání bývají obvykle kovové, skleněné, plastové a ve zvláštních případech např. sádrové. Formy se během odlévání nepohybují a jsou zahřívány na teplotu odlévaného plastu. [6]

Při rotačním a odstředivém odlévání se forma naplní přesně odměřeným množstvím materiálu. Následně se forma uzavře a přesune se k ohřívání na stanovenou teplotu do vyhřívací komory. Při rotačním ohřívání se ve vyhřívací komoře forma otáčí obvykle kolem dvou vzájemně kolmých os s rozdílnými nízkými otáčkami do 50 ot/min. Zatímco při odstředivém ohřívání se forma otáčí kolem jedné osy s vysokými otáčkami až 1500 ot/min. [6]

3.9 Vytlačování

Vytlačování je nepřetržitý způsob tváření, při kterém je vytlačována hmota v plastickém stavu do volného prostoru vytlačovací hlavou. Touto technologií se vytváří buď polotovary, nebo konečné výrobky. Vytlačováním se vyrábějí nejen trubky, profily, fólie, desky, ale slouží také pro výrobu opláštění vodičů. Materiály, které se používají pro zpracování, jsou hlavně termoplasty a kaučukové směsi. Vytlačování lze provést pístovým nebo šnekovým vytlačovacím strojem. Pro vytlačování se nejvíce používají šnekové vytlačovací stroje. [6,24]

Jednošnekové stroje se používají pro zpracování termoplastů a kaučukových směsí ve formě granulátů. Pro zpracování práškových polymerů se používají dvoušnekové vytlačovací stroje. Dvoušnekové vytlačovací stroje se používají z několika důvodů: jsou rychlejší, dochází k dokonalejšímu tavení polymeru za použití kratších šneků a jsou samočisticí. Šnekový vytlačovací stroj nepracuje samostatně, ale je většinou součástí výrobních linek, kde se provádí i další úpravy tvaru a povrchu materiálu. [6]

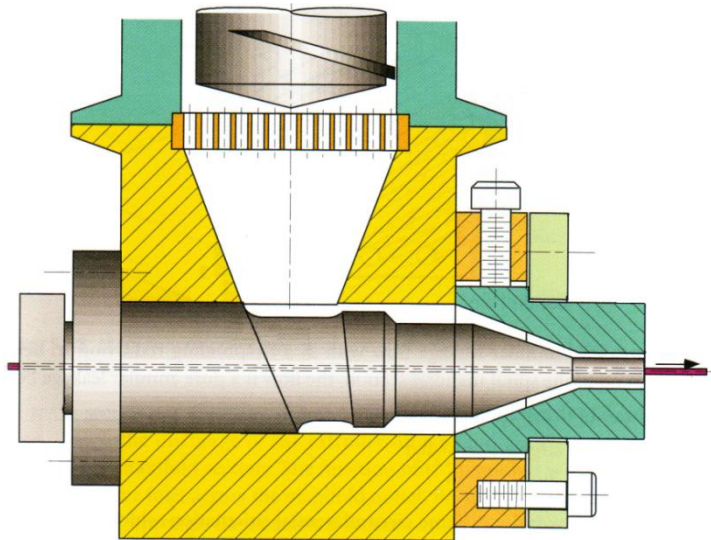
4 Výroba kabelů

4.1 Izolování jader

Jádro kabelu musí být obaleno izolačním materiálem. Materiál používaný pro izolování má velký vliv na elektrické a přenosové vlastnosti, životnost. Nanášení izolačního materiálu se provádí pomocí extruderu (vytlačovací stroj). Výběr použité směsi na izolování záleží na prostředí, ve kterém bude kabel používán. Kabely s PVC izolací nemusí vždy vyhovovat podmínkám, ve kterých budou použity. Proto je důležité, již ve fázi výroby, specifikovat jakým teplotám nebo chemickým vlivům musí kabel odolávat, jak bude kabel flexibilní atd. Jako izolační materiál se dříve používal polyvinylchlorid, dnes se používá polyethylen nebo zesítený polyethylen. Hlavním rozdílem je, že PVC a PE se po nanesení na vodič pouze ochladí, zatímco izolace zesíteného PE se musí ještě sítovat.

Pomocí procesu sítování dochází k modifikování polymerních materiálů a směsí. Mezi nejvíce používané materiály pro sítování patří termoplasty a elastomery. Vlivem sítování ztrácejí materiály svojí schopnost rozpouštět se v rozpouštědlech (dochází k bobtnání), tavitelnost a termoplasticitu. Tvarovou stálost za zvýšených teplo a vyšší odolnost vůči chemikáliím naopak sítováním získají. Pro sítování se používají následující způsoby: radiační metoda, sítování peroxidy, sítování azo sloučeninami a sítování silany. [27]

Žíly a pláště izolované pomocí silikonů se musejí vulkanizovat, kdy jsou silikonky vystaveny předepsanou dobu účinkům tepla a tlaku. Vulkanizace může probíhat pomocí vulkanizačních kotlů nebo průběžnou vulkanizací. Vulkanizace pomocí vulkanizačního kotle se provádí parou o tlaku 0,3 – 0,4 MPa při teplotě kolem 150 °C. Doba vulkanizace je závislá na tloušťce a složení směsi. Při průběžné vulkanizaci se vodiče vulkanizují ve vulkanizační rouře, která je napojena přímo na hlavu šnekového stoje. Při průchodu vodiče rourou se vodič nedotýká stěny, dokud není dostatečně vulkanizován. V průběžné vulkanizaci je důležité předejít jádro před vstupem do vulkanizační roury a tím se zkrátí celková doba vulkanizace. Vlastní vulkanizace probíhá o tlaku 0,9 – 1,8 MPa a o teplotě 180 – 220 °C. Po vulkanizaci se vodič ochlazuje studenou vodou. Mezi hlavní výhody průběžná vulkanizace patří úspora materiálu vlivem měřicích a regulačních přístrojů, automatizace výrobního postupu. Nevýhodou jsou vysoké náklady na zařízení zařízení. Další možností je vulkanizování pomocí radiačního sítování. Pomocí urychlovací trubice dochází k urychlování elektronů bez použití vulkanizačních činidel. [1]



Obr 4.1 Nanášení materiálu na holý drát [28]

4.2 Extruder

Hlavní části extruderu tvoří [28]:

- Násypka – do násypky se vkládá plnivo ve formě granulí, tablet nebo prášku a plnivo se dále stlačuje směrem ke šneku.
- Šnek – ve šneku dochází vlivem velkého tlaku a teploty k roztavení materiálu
- Extruzní hlava – pomocí extruzní hlavy dochází k nanesení roztaveného materiálu na holý drát nebo lano

Hlavním úkolem vylačovacího stroje (extruderu) je vyvinout dostatečný tlak k protlačení materiálu tryskou. Tlak potřebný pro vytlačení závisí na geometrii průvlaku, tokových vlastností materiálu a rychlosti proudění. Polotovar (holý drát nebo lanko) se odvíjí pomocí odvíječe přes brzdu, aby bylo zaručeno dostatečné napnutí. Důležité je i vyhřívání válců u vylačovacích šnekových strojů, které se provádí odporově nebo indukčně. Podle potřeby se válec může kromě ohřívání i chladit, toto je automaticky regulováno. Nejprve je důležité každý materiál předehřát na požadovanou hodnotu, kterou uvádí výrobce. Udávané hodnoty teplot nebývají pevně dané, ale bývá uvedena horní a dolní hranice. U některých silikonových materiálů nesmí teplota při zpracování překročit 40 °C, proto je v některých případech důležité stroje ochlazovat. Chlazení se obvykle provádí vodou, olejem nebo vzduchem. [1,28]

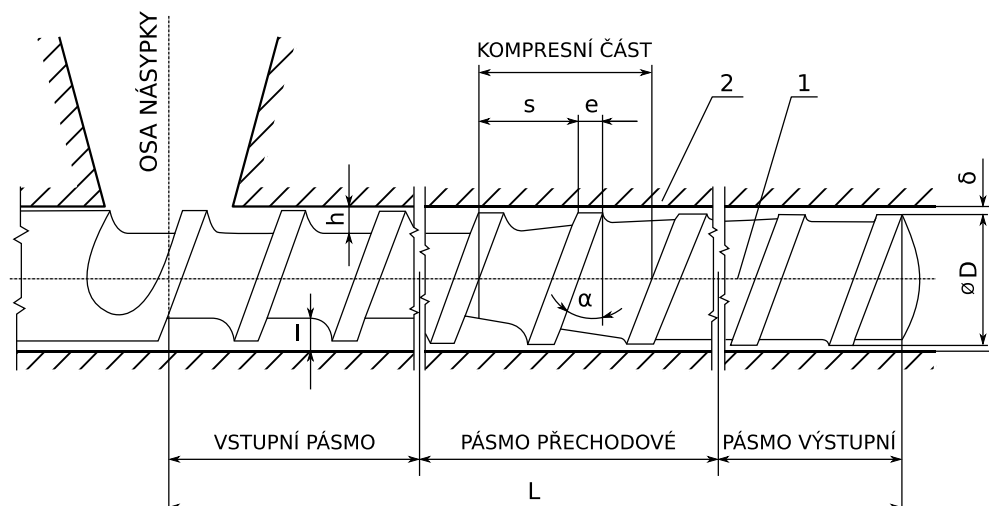
Nejprve se granule, tablety nebo prášek požadované směsi vloží do násypky a jsou zachytávány šnekem. Na začátku je profil šnekové hřídele zaplněn pouze z části a dochází

k posouvání zachyceného materiálu směrem k hlavě vytlačovacího stroje. Vlivem tření a při stlačování dochází k zahřátí materiálu teplem, vznikne roztavená směs. Je velice důležité, aby síly tření zátky a povrchu šneku byly menší než síly tření zátky o stěnu pouzdra. Pokud není splněna tato podmínka, tak materiál klouže po povrchu pouzdra a nedochází k jeho posuvu. Pokud je naopak podmínka splněna, zátka klouže po povrchu šneku a dochází k posuvu směrem k hlavě. [1]

V další části dochází k přeměně materiálu z tuhého stavu na roztavenou směs. K této přeměně dochází nejen pomocí tepla z ohřevu, ale i teplem vzniklým při tření materiálu o pouzdro a šnek, dále i smykovým namáháním zpracovaného materiálu. Tavení hmoty začíná na povrchu pouzdra a tavenina je stírána čelem profilu šneku. Nejprve hmota klouže po čele profilu šneku a pak po další části profilu. [1,28]

4.3 Šnek

Šnek představuje z funkčního hlediska velice důležitou část šnekového stroje. Jeho průměr, délka a geometrický tvar mají zásadní vliv na kvalitu a množství vytlačované hmoty. Délka šneku bývá uváděna jako násobek průměru šneku. Pokud dojde k prodloužení šneku, zvětší se pracovní plocha a doba hnětení materiálu. Delší šneky mají zpravidla lepší kvalitu a někdy i vyšší výkon. Každý šnek má je charakterizován hloubkou, stoupáním závitů a ještě kompresním poměrem, který vyjadřuje poměr hloubky na začátku a konci komprimační zóny.



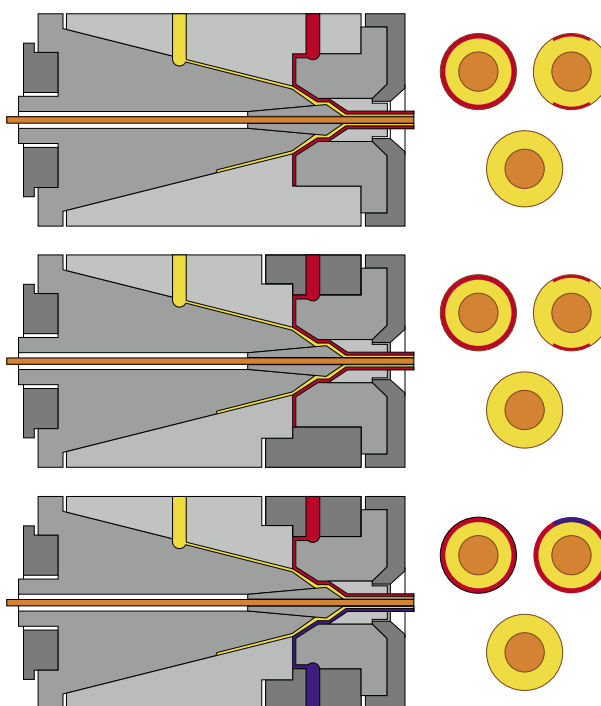
1 – šnek, 2 – pracovní válec, D – průměr šneku, L – délka šneku, s – stoupání závitů, e – vodící plocha závitů, h – hloubka šnekového profilu, I – hloubka šnekového kanálu, δ – poloviční vůle, α – úhel stoupání závitů

Obr. 4.2 Šnek [6]

Šneky s kompresním poměrem 1 : 1,5 až 1 : 2 se používají pro zpracování PVC. Kompresní poměr 1 : 3 až 1 : 4 jsou vhodné na zpracování PE. Vůle mezi šnekem a válcem by neměla být velká zhruba 0,1 až 0,5 mm. Šneky pro vytlačování a vstřikování bývají nejčastěji nitridované. Vlivem nitridování jsou pak tvrdé a částečně chemicky odolné. Některé zpracované směsi jsou velice abrazivní, proto bývá šnek pokryt tenkou ochrannou vrstvou Cr nebo Ti. K nanesení tenkého povlaku se používá buď chemická CDV (Chemical Vapour Deposition) anebo fyzikální PVD (Physical Vapour Deposition). [1,29]

4.4 Vytlačovací hlava

Povrchová úprava vodičů a kabelů se provádí pomocí křížové hlavy. Extruder většinou ve spojení s ko-extruderem vytlačuje roztavenou směs do křížové hlavy, pomocí které dojde k vytvoření dvojité vrstvy izolace nebo vytvoření odlišně barevného pruhu. Plasty bývají barveny přímo do směsi nebo dochází k obarvení metodou přístřiku. Metoda přístřiku se používá na hotovou bezbarvou izolaci, kde dochází k nanesení (nastříkání) tenké vrstvy (tzv. skin vrstvy) barevné směsi. Díky nanesení další vrstvy dochází ke zlepšení napěťové pevnosti izolace. [28]



Obr. 4.3 Křížová ko-extruzní hlava (převzato z [30])

Pro nanášení plastů se používají šikmé nebo kolmé vytlačovací hlavy. Pro opláštění vodičů a kabelů se více používají šikmé, protože mají různý úhel, který svírá osa hlavy s osou šneku. Pracovní nástroje umístěné uvnitř vytlačovací hlavy jsou: trn (patrice) a hubice (matrice). Trn se stará o správné navedení polotovaru a hubice o tvar izolace. Pro správnou funkci hlavy je důležité, aby byl tlak a rychlost toku konstantní, protože plášť musí být souvislý a bezešvý. Pokud by nebyly dodrženy tyto podmínky, mohlo by dojít k degradaci materiálu. Proto vytlačovací hlavy bývají vyhřívány s automatickou regulací teploty. Při trubkovém opláštění kabelů dochází k odsávání vzduchu z prostoru vytlačovací hlavy, aby došlo k těsnému přilnutí extrudovaného pláště ke kabelu. Nakonec je vodič zchlazen v chladícím žlabu a přeměřeny jeho rozměry (průměr) a dále navíjen na buben. [1,31]

4.5 Porovnání materiálů

Tab. 4.1 Srovnání materiálů [32,33,34,35,36,37]

Materiál kabelu	PVC	XLPE	LFHC	Silikon
Pracovní teplota [°C]	70	90	90	180
Hustota [g/cm ³]	1,25 – 1,60	0,91 – 0,92	1,07 - 1,46	1,1 – 1,3
Index kyslíku [%]	25 - 30	18	24 - 45	20
Roztažitelnost [N/mm ²]	10 - 25	14 - 40	8,5 - 31	7
Dielektrická konstanta (1 MHz)	4,5 – 9	2,3 – 2,8	2,88 - 3,53	3,2
Izolační pevnost [kV/mm]	16	20	26 - 30	26
Odolnost vůči teple	špatná	dobrá	dobrá	výborná
Odolnost vůči organickým látkám	dobrá	výborná	výborná	špatná
Odolnost vůči anorganickým látkám	výborná	výborná	výborná	dobrá

V případě konkrétního kabelu může dojít k různým odchylkám na základě použitých modifikací (např. pro ohniodolné kabely). Z tabulky materiálů je patrné, že dříve hodně využívané PVC nemá příliš vysokou pracovní teplotu a velice rychle dochází k jeho tečení. V pevném stavu vykazuje zvýšenou odolnost vůči chemickým činidlům. Zatímco silikonové materiály dokážou odolávat velmi vysokým teplotám a mají dobré i elektroizolační vlastnosti, které se vlivem teploty mění minimálně. Jejich hlavní nevýhodou je velice špatná odolnost proti organickým látkám. Zesítený polyethylen, který se vytváří tzv. síťováním, má díky síťování vyšší odolnost vůči teple, ale stále se jedná o hořlavý materiál. Pro LFHC kabely se používá např. LLDPE, do kterého se přidávají zpomalovače hoření např. ATH (Aluminium Tri

Hydroxide), čímž se dosáhne lepších vlastností. LFHC kabely mají vysoký index kyslíku, který se používá pro zjištění hořlavosti materiálu. Cílem tohoto testu je najít minimální koncentraci kyslíku, při níž dochází k hoření. Dalším neméně důležitým parametrem je izolační pevnost, jedná se o minimální napětí, při jehož přiložení nastane průraz.

4.6 Porovnání technologií

4.6.1 Síťování

Jak již bylo uvedeno, v kabelovém průmyslu se pro modifikaci vlastností polymerů používá metoda síťování. Metody používané pro síťování jsou: radiační metoda, síťování peroxidy a síťování silany.

Tab. 4.2 Porovnání síťovacích technologií [27]

Metoda	síťování silany	síťování peroxidy	radiační metoda
Počáteční investice	nízká	vysoká	vysoká
Rychlost výroby	vysoká	nízká	vysoká
Obsluha	jednoduchá	složitá	složitá
Extruder	standardní	speciální	standardní

Radiační metoda je založena na principu urychlování elektronů. Vlivem záření beta nebo gama dochází v ozařovaném materiálu k chemické reakci, při které vznikají volné radikály. Pomocí těchto radikálů dochází ke vzniku prostorové sítě, díky které má materiál lepší vlastnosti. Radiační metoda se používá za normální pokojové teploty a tlaku na již hotový kabel. Výhodou této metody je, že nepotřebuje žádné chemické přísady, snadná úprava stupně síťování a omezení plynných vedlejších produktů. Nevýhodou je velmi vysoká pořizovací cena celého stroje, stavební úpravy, které se musejí kvůli záření provádět. [27,38]

Pro síťování silany se používá vyšší teplota a katalyzátory. Pomocí silanů lze dosáhnout podobných nebo dokonce lepších elektrických a mechanických vlastností než při síťování pomocí peroxidů. Velkou výhodou této metody je její malá finanční náročnost a není potřeba žádné speciální zařízení, protože síťování pomocí silanů probíhá v běžných extruzních strojích. [27,38]

Síťováním pomocí peroxidu dochází vlivem zvýšené teploty k rozpadu peroxidu na volné radikály, které reagují s polymerem. Vlivem vedlejší reakce peroxidů a volných

radikálů dochází k nižší účinnosti síťování. Mezi další nevýhody této metody patří: velká finanční náročnost, pomalý proces a vysoká spotřeba energie. [27]

4.6.2 Způsoby vytlačování

Vytlačování se provádí dvěma způsoby: na tlak a na trubičku. Při vytlačování na trubičku je špička trnu válcově prodloužena. Při tomto způsobu vytlačování je trn zároveň s matricí nebo trochu vyčnívá. Roztavená hmota vychází ve tvaru trubky, která se nanese na jádro. Nevýhodou při tomto vytlačování je, že nevyplní rýhy mezi dráty lana. Tento způsob se využívá např. pro sektorová lana. Při vytlačování na tlak je trn naopak posunut dozadu, proto se materiál nanese i mezi dráty. [1]

Závěr

S rostoucími požadavky na bezpečnost a spolehlivost kabelů dochází k nahrazování PVC materiálu novými moderními materiály. Tyto nové materiály musí nejen splňovat příslušné normy, ale také mají lepší funkčnost při požáru, pomalejší hoření a zároveň nevytváří při hoření hustý dým a toxické nebo korozivní plyny.

V první části této práce jsem se zaměřil na popis a rozdělení kabelu. Jelikož jsou kabely složeny z několika částí a rozděleny do několika druhů. Také je zde uvedeno základní barevné označení jednotlivých žil, které stanovuje norma ČSN 33 0166.

V další části jsou popsány polymery a nejběžněji používané materiály pro výrobu izolace. Díky velké teplotní odolnosti jsou velice používané silikony. Vlivem tzv. síťování dochází k ovlivnění vlastností materiálů pomocí síťovacích činidel. Síťováním lze dosáhnout lepších tepelných, mechanických a elektrických vlastností.

Ve třetím bodě jsou uvedeny základní technologie používané pro zpracování plastů. Válcováním se mezi vyhřívanými válci vyrábějí tenké fólie nebo desky. Při lisování dochází ke stlačení vloženého materiálu do formy vysokým tlakem. Vstřikováním se provádí výroba vstříknutím roztaveného materiálu do formy. Nejvíce využívanou technologií pro zpracování plastů v kabelovém průmyslu je vytlačování, během vytlačování dochází k roztavení materiálu a jeho následné vytlačování.

Na závěr této práce jsem vypracoval popis jednotlivých částí extruderu a porovnání základních materiálů používaných pro izolování kabelů. Dále jsem se zaměřil na hodnocení jednotlivých technologií.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BUCHLOVSKÝ, E., GREŠÍK, P., HOUŽVIČKA, F. *Výroba kabelů a vodičů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988, 440 s.
- [2] SHENK, Ferdinand. *Jak se dělá kabel*. ELEKTRO [online]. 2011, č. 7 [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44238
- [3] Kroucená dvojlinka [online]. [cit. 2014-11-21]. Dostupné z: http://www.p2p-aktualne.wz.cz/Kroucena_dvojlinka.htm
- [4] KBELOVNA KABEX A. S. *Katalog* [online]. 2011 [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <http://data.kabex.quonia.cz/ke-stazeni/KATALOG.pdf>
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přepracované. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [6] LENFELD, Petr. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [7] JONES, Richard G., KRAHOVEC, Jaroslav, STEPTO, Robert, WILKS, Edward S., HESS, Michael, KITAYAMA, Tatsuki, METANOMSKI, W. Val. *Compendium of Polymer Terminology and Nomenclature: IUPAC Recommendations 2008*. Cambridge: IUPAC 2009, 443p. ISBN 978-0-85404-491-7.
- [8] Úvod do fyziky pevných látek [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
- [9] KUČEROVÁ, Eva. *Elektrotechnické materiály*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2002, 174 s. ISBN 80-7082-940-0.
- [10] GROOVER, Mikell P. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011, 1012 p. ISBN 978-0470-467008
- [11] HUSÁREK, Josef. *Makromolekulární látky, syntetické polymery* [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/studijni_texty/vyukova_temata/plasty_text.pdf
- [12] Plasty [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/download/plasty.pdf>
- [13] ENcables, s.r.o. *Elektrické kabely* [online]. 2008 [cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <http://www.encables.cz/data/elektricke-kabely-obecne.pdf>
- [14] MLEZIVA, Josef a ŠŇUPÁREK, Jaromír. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepracované vydání. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [15] LEDERER, Jaromír. *Silikonové polymery* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/SILIKONY_.pdf
- [16] PLASTIC SYSTEMS. *Plastic and Thermoplastics* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/Thermoplast/>
- [17] PINKEROVÁ, M. a POLANSKÝ, R. *Nové trendy v materiálech používaných pro izolaci a opláštění kabelů* [online]. 2012, č. 3. [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: http://147.228.94.30/images/PDF/Rocnik2012/Cislo3_2012/r6c2c4.pdf
- [18] HENDERSON, A. M. Ethylene-vinyl acetate (EVA) copolymers: a general review. *IEEE Electrical Insulation Magazine* [online]. 1993, 9(1): 30-38 [cit. 2015-03-25]. DOI: 10.1109/57.249923. ISSN 0883-7554. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=249923>
- [19] ČERMÁK, Michal. *Analýza úrovně síťování kabelové izolace* [online]. 2012. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2665/DP_CERMAK_2012.pdf

- [20] VŠCHT, Ústav technologie ropy a alternativních paliv. *Petroleum.cz* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/ethylen.aspx>
- [21] *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2010, č. 10. Praha: FCC Public s. r. o. [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42046.pdf>
- [22] ANIXTER. *Low Smoke Zero Halogen Wire and Cable Best Practices* [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <https://www.anixter.com/content/dam/Anixter/White%20Papers/12F0003X00-Anixter-LSZH-WP-W%26C-EN-US.pdf>
- [23] ŠENFELD, Jan. *HFFR kabely z produkce nkt cables* [online]. 2011. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/hffr-kabely-z-produkce-nkt-cables>
- [24] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, Praha 1999, 203 s. ISBN 80-7080-367-3.
- [25] Válcování (Kalandrování) [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: www.utb.cz/file/36172_1_1/
- [26] 14220.cz. Tváření plastů a výroba forem I [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-i/>
- [27] MORSHEDIAN, Jalil, HOSEINPOUR, Pegah Mohammad. *Polyethylene Cross-linking by Two-step Silane Method: A Review* [online]. Iranian Polymer Journal 2009 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/81320090201.pdf
- [28] RAUWENDAAL, Chris. *Understanding extrusion*. 2nd edition. Cincinnati, Ohio: Hanser 2010, 231 p. ISBN 978-3-446-41686-4.
- [29] BOCO PARDUBICE MACHINES, S.R.O. PVD povlakované [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.boco.cz/cs/produkty/divize-sneky-a-komory/vyroba-sneku-a-komor/sneky/pvd-povlakovane/>
- [30] UNITEK MASCHINENBAU – UND HANDELSGES.M.B.H. *Crossheads for Co-Extrusion* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.unitek.at/699_EN.pdf
- [31] ADAX, spol. s. r. o. *Plášťová linka* [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.adax.cz/index.php?lang=cz&ref=plastlinka>
- [32] UNIVERSAL CABLE. *XLPE Insulated Power Cables* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://ucable.com.my/images/products/UC%20XLPE%20Catalogue.pdf>
- [33] XLPE Insulated Power Cables [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://cavi.com.sg/public/drakaxlpe.pdf>
- [34] GENERAL CABLE. *Insulation and Jacket Properties* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.generalcable.com/NR/rdonlyres/A7A06EB8-8752-4C2E-98FD-098A046C8641/0/Pg89_Properties.pdf
- [35] SOLVAY. *Amodel HFFR-4133* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://catalog.ides.com/Datasheet.aspx?I=92041&FMT=PDF&E=135284>
- [36] SCHELLING, Thomas E., RUPRECHT, Roland, COX, Maryellen. *Comparison of HFFR Jacket Compound Solutions: Polyolefin vs. TPE* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://iwcs.omnibooksonline.com/data/papers/2013/15-1.pdf>
- [37] MAKADIA, Chetan, HORRION, Jacques, BOYHER, Chris. *New Non-Halogenated Flame Retardant TPU with Excellent Mechanical Properties and High LOI* [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://iwcs.omnibooksonline.com/data/papers/2011/9-6.pdf>
- [38] KABELOVNA KABEX. Zušlechťování izolačních materiálů solárních kabelů. *Elektroinstalatér odborný časopis pro moderní elektroinstalace*. 2009, č. 4. ČNTL, s.r.o.