

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Retardéry hoření v kabelové technice

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Adam PLOC**
Osobní číslo: **E12B0141P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Retardéry hoření v kabelové technice**
Zadávací 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. Uveďte přehled polymerních materiálů používaných v kabelové technice.
2. Prostudujte používané retardéry hoření a principy jejich fungování.
3. Popište způsoby testování těchto materiálů při požáru.

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

1. BUCHLOVSKÝ, Emil, František HOUŽVIČKA a Pavel GREŠÍK. Výroba kabelů a vodičů. Praha: SNTL, 1986. ISBN 06-076-86.
2. DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.
3. ZWEIFEL, Hans, Ralph D. MAIER a Michael SCHILLER. Plastics Additives Handbook. 6th Edition. Munich: Carl Hanser Verlag, 2009. ISBN 978-3-446-40801-2.
4. WILKIE, C a Alexander B MORGAN. Fire retardancy of polymeric materials. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2010, xiii, 823 p., [16] p. of plates. ISBN 14-200-8399-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Veselý
Katedra technologií a měření

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


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je rešerší oblasti požární ochrany kabelových systémů a to konkrétně retardérů hoření. V práci jsou popsány způsoby výroby a tepelné vlastnosti základních izolačních materiálů pro kabelovou techniku. Dále práce popisuje princip fungování používaných retardérů hoření v kabelové technice. V poslední části práce jsou popsány způsoby zkoušení kabelů s retardéry hoření v požárních podmínkách podle platných norem. Bakalářská práce podává ucelený přehled stavu retardérů hoření v kabelové technice.

Klíčová slova

Kabel, kabelová technika, izolace kabelů, polymerní materiály, způsob výroby polymerů, retardéry hoření, požární zkoušky kabelů.

Abstract

This bachelor thesis presents the search in fire protection of cable technology and specifically the flame retardants. The thesis describes the methods of production and thermal properties of the insulation materials for cables. It also describes the principles of function of flame retardants. The last part of this thesis describes the methods of testing the cables with the flame retardants according to current standards. Bachelor thesis contains a comprehensive overview in the field in flame retardants of cable technology.

Key words

Cables, cable technology, cable insulation, polymer materials, method of producing polymers, flame retardants, fire tests of cables.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2015

Adam Ploc

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřeji Veselému za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	12
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V KABELOVÉ TECHNICE	13
1.1 ZÁKLADNÍ DRUHY KABELŮ.....	13
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	14
1.3 POUŽÍVANÉ POLYMERNÍ MATERIÁLY.....	15
1.3.1 Polvinylchlorid (PVC).....	15
1.3.2 Polyethylen (PE).....	16
1.3.3 Ethylenvinylacetát (EVA).....	18
1.3.4 Polystyren (PS).....	19
1.3.5 Polypropylen (PP).....	20
1.3.6 Polyamidy (PA).....	21
1.3.7 Polytetrafluorethylen (PTFE).....	22
1.3.8 Polychlortrifluorethylen (PCTFE).....	24
1.3.9 Silikonové elastomery.....	25
1.3.10 Ethylen-propylenové a ethylen-propylen-dienové eleastomery (EPM, EPDM).....	26
1.3.11 Styren-butadienové eleastomery (SBR).....	27
2 RETARDÉRY HOŘENÍ A PRINCIPY JEJICH FUNGOVÁNÍ	28
2.1 PROCES HOŘENÍ.....	28
2.2 PRINCIP FUNGOVÁNÍ RETARDÉRŮ HOŘENÍ.....	29
2.3 HALOGENOVÉ RETARDÉRY HOŘENÍ.....	31
2.3.1 Popis funkce halogenových retardérů.....	31
2.3.2 Synergické materiály halogenových retardérů hoření.....	31
2.3.3 Používané halogenové retardéry hoření.....	32
2.4 FOSFOROVÉ RETARDÉRY HOŘENÍ.....	32
2.4.1 Popis funkce fosforových retardérů hoření.....	33
2.4.2 Používané fosforové retardéry.....	33
2.5 ANORGANICKÉ RETARDÉRY HOŘENÍ.....	34
2.5.1 Popis funkce anorganických retardérů.....	34
2.5.2 Používané anorganické retardéry.....	34
2.6 DUSÍKOVÉ RETARDÉRY HOŘENÍ.....	35
2.6.1 Popis funkce dusíkových retardérů hoření.....	35
2.6.2 Používané dusíkové retardéry.....	35
2.7 INTUMESCENTNÍ NÁTĚRY.....	36
2.7.1 Princip fungování intumescentních nátěrů.....	36
2.7.2 Používané intumescentní nátěry.....	36
3 TESTOVÁNÍ KABELOVÝCH IZOLACÍ PŘI POŽÁRU	37
3.1 STANOVENÍ TŘÍDY FUNKČNOSTI KABELŮ A KABELOVÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍ.....	37
3.2 ZKOUŠKY ŠÍŘENÍ PLAMENE.....	38
3.3 ZKOUŠKY PLYNŮ VZNIKAJÍCÍCH PŘI HOŘENÍ MATERIÁLŮ Z KABELŮ.....	40
3.3.1 Určení obsahu kyselinotvorných halogenových plynů.....	40
3.3.2 Určení stupně kyselosti plynů během hoření materiálů kabelů měřením pH a vodivosti.....	40
3.3.3 Určení stupně kyselosti plynů během hoření materiálů kabelů stanovením váženého průměru pH a vodivosti kompozitních materiálů.....	41
3.4 MĚŘENÍ HUSTOTY KOUŘE PŘI HOŘENÍ KABELŮ ZA DEFINOVANÝCH PODMÍNEK.....	41
3.5 ZKOUŠKY ELEKTRICKÝCH KABELŮ ZA PODMÍNEK POŽÁRU – CELISTVOST OBVODU.....	42
3.5.1 Kabely se jmenovitým napětím do 0,6/1,0 kV včetně.....	42
3.5.2 Kabely pro přenos dat.....	43
3.5.3 Kabely s optickými vlákny.....	43

3.6	ZKOUŠKA ELEKTRICKÝCH A OPTICKÝCH KABELŮ V PODMÍNKÁCH POŽÁRU	44
3.6.1	<i>Zkouška svislého šíření plamene pro vodiče nebo kabely s jednou izolací.....</i>	44
3.6.2	<i>Zkouška svislého šíření plamene pro vodiče nebo kabely malého průměru s jednou izolací..</i>	44
3.6.3	<i>Zkouška vertikálního šíření plamene na vertikálně namontovaných svazcích kabelů nebo vodičů.</i>	45
3.7	STANOVENÍ HOŘLAVOSTI METODOU KYSLÍKOVÉHO ČÍSLA.....	45
3.8	ZKOUŠKA FUNKČNÍ SCHOPNOSTI ZA PODMÍNEK POŽÁRU PRO NOUZOVÉ OBVODY	46
ZÁVĚR.....		47
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....		49

Seznam symbolů a zkratk

AC.....	Střídavé napětí
Al(OH) ₂	Hydroxid hlinitý
CH ₂	Hydroxid uhličitý
CO ₂	Oxid uhličitý
DIN	Označení německé normy
DeBDE	Dekabromdifenylether
E-CTFE.....	Chlortrifluorethylen-ethylen
EPM.....	Ethylen-propylenové eleastomery
EPDM.....	Ethylen-propylen-dienové eleastomery
ETFE.....	Tetrafluorethylen-ethylen
EVA.....	Ethylenvinylacetylát
FEP	Tetrafluorethylen-hexafluorpropylen
H	Vodík
H ₂ O	Molekula vody
H ₃ BO ₃	Kyselina boritá
HBCD	Hexabromcyklododekan
HDPE.....	Polyethylen s vysokou hustotou
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou
LLDPE.....	Lineární polyethylen s nízkou hustotou
Mg(OH) ₂	Hydroxid horečnatý
NH	Aminová sloučenina
OH	Hydroxylové skupiny
PA	Polyamid
PA-6.....	Polykaprolaktam
PA-66.....	Nylon
PCTFE	Polychlortrifluorethylen
PE	Polyethylen
PFA.....	Tetrafluorethylen – perfluoralkylvinylether
PP.....	Polypropylen
PS.....	Polystyren
PTFE.....	Polytetrafluorethylen

PVC	Polvinylchlorid
Sb ₂ O ₃	Oxid amonitý
SBR.....	Styren-butadienové eleastomery
TBBPA	Tetrabrombisfenol
TCPP.....	Tris(chloropropyl)fosfát
TFA.....	Tetrafluorethylen – perfluoralkylvinylether

Úvod

Předkládaná práce je rešerší zaměřenou na způsoby ochrany kabelových systémů v případě požáru. Práce je členěna na tři části, ve kterých jsou postupně popsány procesy výroby základních izolačních materiálů, principy činnosti nejrozšířenějších retardérů hoření a způsoby ověřování požárních vlastností kabelových systémů.

První část bakalářské práce je věnovaná základním materiálům používaným v kabelové technice. Je v ní popsáno rozdělení druhů kabelů a také rozdělení polymerů obecně. Dále následuje výčet jednotlivých materiálů, kde je u každého materiálu stručně popsán způsob výroby a jeho konkrétní použití v kabelové technice. U každého materiálu jsou také popsány jeho základní tepelné vlastnosti a jeho chování při vysokých teplotách.

Ve druhé části této práce je popsán proces hoření a v souvislosti s ním je vysvětlen princip fungování jednotlivých retardérů hoření. Ochrany kabelových systémů proti požáru je dosahováno pomocí tzv. retardérů hoření, které jsou součástí materiálu izolací kabelů. Většinou se jedná o chemické látky, které se mísí s materiálem izolací, nebo jsou přímo součástí chemického složení izolačního materiálu. Další varianta provedení retardérů hoření jsou protipožární nátěry na povrchu kabelů. Funkce retardérů hoření spočívá především na dvou principech. Jedním z nich je zabránění šíření ohně pomocí plynů, které při hoření vznikají a kabelový systém obklopují. Druhý spočívá v tvorbě izolační bariéry, která zabraňuje přísunu kyslíku k hořícímu kabelu a tím zabraňuje dalšímu hoření. Ve druhé části jsou postupně popsány retardéry na bázi halogenových a fosforových sloučenin, anorganické retardéry, dusíkové retardéry a také tzv. intumescentní nátěry, čili nátěry se speciálními vlastnostmi, sloužící jako požární ochrana kabelových konstrukcí.

Ve třetí části práce jsou popsány platné české normy, které upravují postupy zkoušení kabelů v oblasti požární ochrany. Součástí této části je postup provádění jednotlivých zkoušek.

1 Polymerní materiály používané v kabelové technice

Označení kabel se používá pro soustavy paralelně vedených vodičů se společnou vnější izolací (výjimečně pro některé jednotlivé vodiče se samostatným pláštěm). Vodiče v kabelu se používají k přenosu elektrické energie nebo signálu. V kabelu mohou být také optická vlákna, sloužící k přenosu optického signálu. [1]

Izolace kabelů může mít několik funkcí. Primární funkcí je elektrické oddělení míst s různým potenciálem, v případě kabelů jde tedy o elektrické oddělení vodičů od okolí a navzájem mezi sebou. Tím dochází k ochraně okolí kabelu před účinky přenášené elektrické energie. Izolace zároveň slouží k ochraně přenášeného signálu od vnějších vlivů. Dále také slouží jako ochrana například proti požáru, vodě, chemikáliím, hlodavcům, mechanickému poškození apod. [2]

Hlavními parametry izolantů jsou rezistivita a elektrická pevnost. Tyto parametry se používají k hodnocení izolantů proto, že žádný izolant není dokonalý. U reálných izolantů se projevují nečistoty izolantu nepatrnou, většinou iontovou vodivostí, kterou udává právě rezistivita. Elektrická pevnost porovnává izolanty z pohledu odolnosti proti elektrickému poli s vysokou intenzitou. Dosáhne-li intenzita pole určité velikosti, dojde k průrazu a trvalé degradaci izolantu. [2]

1.1 Základní druhy kabelů

Kabely je možné rozdělovat podle jejich parametrů z různých hledisek. Například z hlediska jejich účelu použití, stupně tepelné ochrany, mechanické odolnosti, chemické odolnosti, typů použitých materiálů, typu uložení kabelu apod.

Rozdělení podle účelu použití dle [1]:

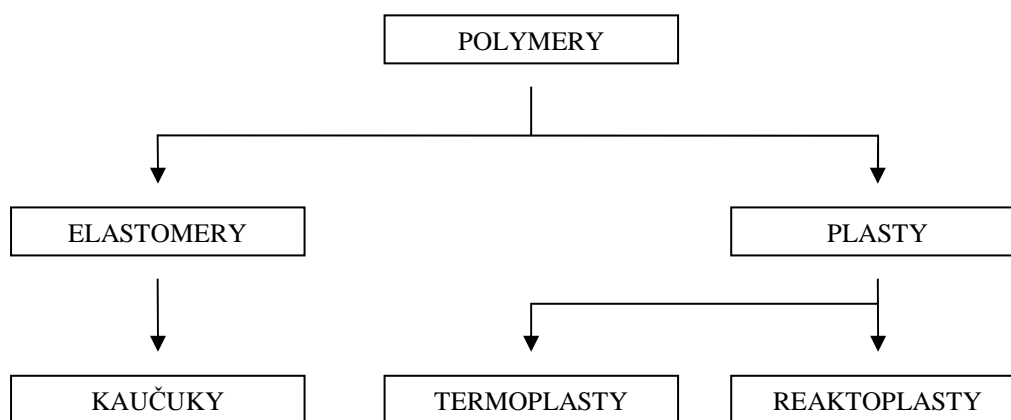
- Silové kabely – pro vedení silové elektrické energie
- Sdělovací kabely – pro vedení elektrického signálu
- Kabely s optickými vlákny – pro vedení optického signálu

Známe celou škálu izolačních materiálů. Ale z té jen některé jsou vhodné pro kabelovou techniku, a to především z důvodů možností zpracování a dalších úprav izolačních materiálů. Pro izolaci pláště se hodí především materiály polymerní, které budou v této práci popsány podrobně. Pro izolaci žil se také používá izolační papír, který je ovšem ve značné míře nahrazován právě polymerními materiály. [3]

Polymery jsou přírodní nebo syntetické látky, které se skládají z velkého řetězce molekul, tzv. makromolekul. Makromolekuly jsou složeny z velkého množství monomerů. Při syntetické výrobě je díky tomu možné dosáhnout velkou proměnlivost struktur i vlastností výsledných látek. [4]

1.2 Rozdělení polymerů

Polymery se dělí na elastomery a plasty. Plasty se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. Každá skupina má jiné charakteristické vlastnosti.



Obr. 1: Rozdělení plastů. [5]

Eleastomery jsou vysoce elastické polymery, které lze malou silou značně deformovat. Tato deformace je většinou vratná. Největší skupinou eleastomerů jsou elastomery, ze kterých se vyrábí pryž. [5]

Plasty jsou polymery, které jsou za běžných podmínek většinou tvrdé a často křehké. Při zvýšené teplotě se stávají snadno tvarovatelnými. Díky této vlastnosti je možné plasty snadno zpracovávat. Plasty se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. Pokud je možné opakovaně převádět plast z pevného do plastického stavu bez trvalé změny jeho vlastností,

jedná se o termoplast. Pokud je změna nevratná, jedná se o reaktoplast. Změna z plastického stavu do stavu pevného je u reaktoplastů výsledkem chemické reakce. [5]

1.3 Používané polymerní materiály

K izolaci se ve značné míře používají termoplasty. Jejich výhodou je snadná zpracovatelnost za zvýšených teplot, která umožňuje použití vytlačovacích strojů k potažení vodičů izolací. Z termoplastů je nejrozšířenější polvinylchlorid a polyethylen. [3]

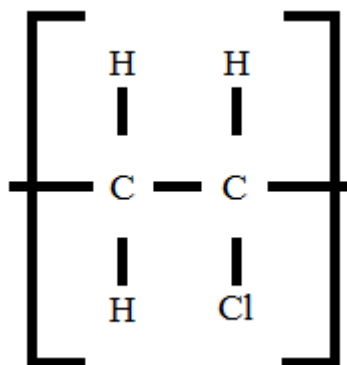
1.3.1 Polvinylchlorid (PVC)

PVC je jedna z nejstarších syntetických makromolekulárních látek. Jedná se o nejrozšířenější plast. Používá se jako náhrada za pryž. V kabelovém průmyslu je hojně rozšířený jako základní materiál pro výrobu opláštěvání kabelů. [2] [6]

Pro výrobu PVC se v průmyslu využívá radikálového mechanismu a techniku suspenzní, emulzní a blokové polymerace. Nejpoužívanější z uvedených je suspenzní technika. Ta spočívá v diskontinuální výrobě v reaktorech z nerezové oceli o objemu 8 až 200 m³. Monomer se rozpustí ve vodě intenzivním mícháním za přítomnosti ochranného koloidu (např. polyvinylalkohol, ve vodě rozpustné deriváty celulosy). Jako iniciátory slouží peroxidy rozpustné v monomeru. K polymeraci dochází při konstantní teplotě v inertní atmosféře. Běžně se používá teplotní rozsah 45 -75 °C a tlakový rozsah 0,5 až 1,4 MPa. Polymerace probíhá 8 až 14 hodin. Ke zlepšení vlastností polymeru je možné přidávat různá inertní rozpouštědla. Nakonec se polymer zbavuje vody, promývá se a odstraňuje se monomer. [6]

Tab. 1: Přehled tepelných vlastností PVC. [6]

Teplota použití [°C]			Tvarová stálost [°C]			Koeficient lineární roztažnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě	Vicat 5 kg	ISO R 75 A	DIN 53460			
75 až 100	65 až 85	-5	75	75	110	70 až 80	0,14 až 0,17	0,85 až 0,9



Obr. 2: Konstituční vzorec PVC. [7]

PVC má teplotu skelného přechodu přibližně 80 °C. PVC měkne kolem 85 °C. Zahříváním nad 100 °C se začíná rozkládat a začne se z něj odštěpovat chlorovodík. Tato nestabilita je způsobena nepravidelnostmi nebo slabými místy v molekule, kde začíná degradace. Při teplotě 160 °C již odštěpování chlorovodíku probíhá rychle. Vznikají zabarvené polenové produkty a vzniklé vazby se oxidují. [6]

1.3.2 Polyethylen (PE)

PE je po PVC druhý nejpoužívanější termoplast. PE je jeden ze základních izolačních materiálů v kabelové technice pro izolace jader vodičů a kabelů. Jeho elektrické vlastnosti se nemění při navlhnutí. Proto se používá i pro izolace žil kabelů uložených ve vodě. [2] [3]

Základní strukturu PE tvoří uhlovodíkový řetězec, který nese žádné substituenty. PE je vyráběn různými způsoby. Různé typy výroby vedou k různým typům PE. Proto se PE dělí na více typů, a to podle míry větvení polymerních řetězců a podle hustoty polymeru. Základní typy PE jsou PE s nízkou hustotou (LDPE), PE s vysokou hustotou (HDPE) a lineární PE s nízkou hustotou (LLDPE). K výrobě izolací kabelů se používá PE s nízkou hustotou. [6]

LDPE, označovaný jako rozvětvený PE nebo jako vysokotlaký PE, je výsledkem výroby radikálovou polymerací. Ta probíhá za vysokých teplot a tlaků. Pro jeho výrobu se používají především dva postupy – polymerace v trubkových reaktorech, tvořených 500 až 1600 m dlouhou trubicí o vnitřním průměru 3 až 6 cm, a polymerace v míchaných autoklávech, pracujících při nižší tlaku i teplotě. Charakteristickým znakem vysokotlaké radikálové polymerace je přenos radikálu na polymer, který vede k dvojímu typu větvení

polymerních řetězců. Intermolekulárním přenosem vzniká tzv. dlouhé větvení. V míchaných autoklávech toto větvení vzniká i na již vytvořených bočních větvích a vzniká tak rozvětvenější síť řetězců. [6]

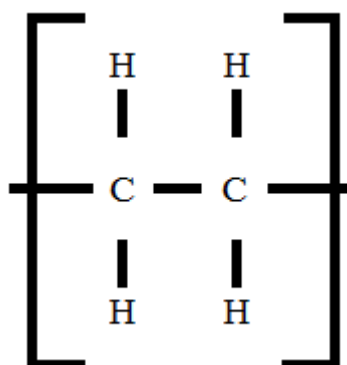
HDPE a LLDPE, označovány jako lineární nebo také nízkotlaké a středotlaké PE, jsou vyráběny polyinsecí. HDPE se vyrábí třemi základními postupy – roztočovým, suspenzním a v plynné fázi. LLDPE se vyrábí roztočovým nebo fluidním procesem, obdobně jako HDPE. Rozdíly v technologických podmínkách ukazuje *tab. 3*. [6]

Tab. 2: Rozdíly v technologických podmínkách procesů výroby HDPE. [6]

	Suspenzní proces	Roztokový proces	Plynná fáze
Teplota [°C]	85 – 110	140 – 300	90 – 100
Tlak [MPa]	2 – 3	3 – 20	1 – 2
Konverze [%]	95 – 98	95	2

Tab. 3: Přehled tepelných vlastností PE. [6]

Teplota použití [°C]			Tvarová stálost [°C]			Koefficient lineární roztažnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě	Vicat 5 kg	ISO R 75 A	DIN 53460			
80 až 90	60 až 75	-50	-	35 až 45	-	240	0,32 až 0,4	2,1 až 2,5



Obr. 3: Konstituční vzorec PE. [7]

LDPE je stálý v rozmezí teplot 50 – 85 °C. Taje při 105 až 115 °C a rozkládá se při teplotách nad 280 °C. [6]

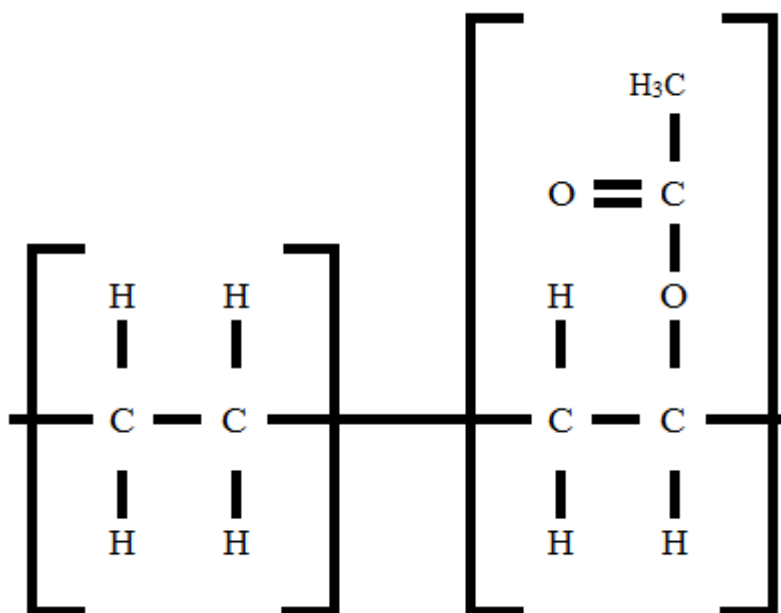
1.3.3 Ethylvinylacetát (EVA)

Vlastnosti kopolymerů ethylenu s vinylacetylátem závisí na procentuálním obsahu vinylacetylátu ve směsi. Kopolymery EVA s obsahem vinylacetylátu kolem 20 % se vlastnostmi blíží měkčenému PVC. Kopolymery s obsahem vinylacetylátu 40 až 70 % mají použití jako oxidačně zesíťované elastomery s nadprůměrnou tepelnou odolností a používají se k výrobě pláštů kabelů. [6]

EVA se vyrábí blokovou radikálovou vysokotlakou polymerací při tlaku 140 MPa a teplotě 180 – 250 °C. EVA mají vysokou pevnost, se stoupajícím obsahem vinylacetátu stoupá jejich průtažnost, rázová houževnatost a odolnost vůči tvorbě trhlin pod napětím.[6]

Tab. 4: Přehled tepelných vlastností EVA. [6]

Teplota použití [°C]			Koeficient lineární roztažnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě			
65	55	-60	160 až 260	0,26 až 0,35	2,3



Obr. 4: Konstituční vzorec EVA. [7]

1.3.4 Polystyren (PS)

PS je třetím nejrozšířenějším termoplastem. Je vhodný jako izolace pro vysokofrekvenční a koaxiální kabely. [2]

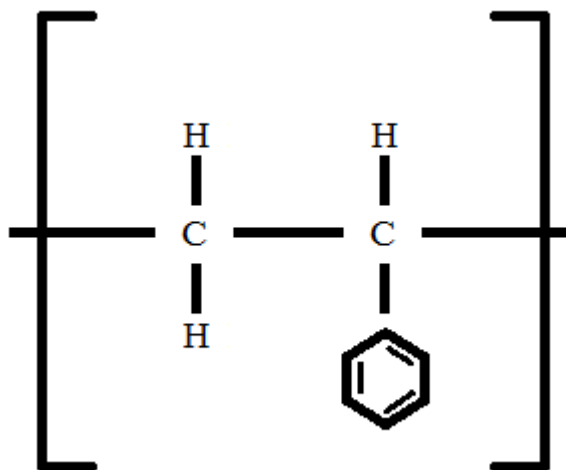
PS lze snadno vyrobit všemi známými polymeračními technikami. Pro průmyslovou výrobu se používá především radikálová polymerace. Nejdůležitějšími způsoby výroby PS jsou polymerace v minometní fázi a suspenzní polymerace. [6]

Pro výrobu se používá kontinuální bloková polymerace do neúplné konverze. Jsou používány reaktory s pístovým tokem materiálu nebo reaktory s promíchávaným obsahem. Monomer se mísí s 5 až 10 % ethylbenzenu a je veden přes ohřívač do reaktoru. Polymerace je iniciována termicky. Roztok vzniklého polymeru se destilací čistí od zbylých monomerů styrenu a od ethylbenzenu. Výsledný materiál se zpracovává na granule. [2] [6]

Druhým velice rozšířeným způsobem výroby je suspenzní polymerace. Při té je důležitá volba stabilizátoru suspenze (např. fosforečnan vápenatý, polyvinylalkohol) a dosažení velmi nízkého obsahu monomeru v připravovaných perličkách. Snížení obsahu zbytkových monomerů se provádí použitím směsi více peroxidů s rozdílnou charakteristikou rozpadu a stupňovitým zvyšováním polymerační teploty. K výrobě se používají reaktory s promíchávaným obsahem o objemu 20 až 100 m³. [6]

Tab. 5: Přehled tepelných vlastností PS. [6]

Teplota použití [°C]			Tvarová stálost [°C]			Koeficient lineární roztlačnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě	Vicat 5 kg	ISO R 75 A	DIN 53460			
60 až 80	50 až 70	-10	78	70 až 80	99	60 až 80	0,14 až 0,18	1,3



Obr. 5: Konstituční vzorec PS. [7]

Aplikace PS se nezaměřují na vyšší teploty. Hranice použitelnosti je 75 °C. V tomto rozsahu jsou polystyreny za běžných podmínek dostatečně odolné proti tepelné degradaci i oxidaci. Technický ataktický PS má teplotu tání v rozmezí 90 až 130 °C. [6]

1.3.5 Polypropylen (PP)

Polypropylen má vlastnosti a použití podobné jako polyethylen. Na rozdíl od PE má větší tepelnou odolnost a elasticitu. [2]

Radikálovou a kationovou polymerací se získávají jen nízkomolekulární produkty rozvětvených ataktických molekul. Některé katalyzátory jsou schopny polymerovat propylen na vysokomolekulární polymery s pravidelnou strukturou. PP se podle struktury rozlišuje na izotaktický, syndiotaktický a ataktický. Izotaktický PP má všechny methylskupiny na jedné straně řetězce, syndiotaktický je má střídavě na obou stranách řetězce a ataktický nemá pravidelné uspořádání. [6]

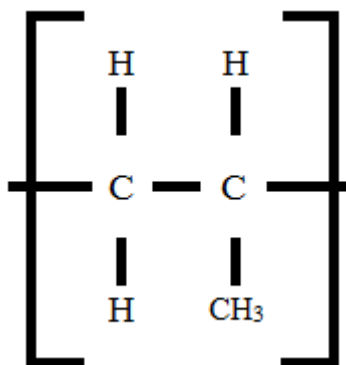
Tab. 6: Vlastnosti izotaktického, syndiotaktického a ataktického PP. [6]

Vlastnost	Izotaktický	Syndiotaktický	Ataktický
Hustota [g/cm ³]	0,92 – 0,94	0,8 – 0,91	0,85 – 0,90
Bod tání [°C]	165	135	-
Rozpustnost v uhlovodíku při 20 °C	nerozpouští se	střední	vysoká
Pevnost	vysoká	střední	velmi nízká

Propylen je před polymerací zbaven vodíku, ethanu, ethylenu a propanu destilací. Poté se vápnem odděluje CO a CO₂ a molekulovými sítí se odstraňuje voda. Polymerace probíhá v reaktorech o objemu cca 120 m³. Teplota při polymeraci je 50 až 70 °C a tlak 0,7 až 1 MPa. Z výsledného produktu se odstraní vedlejší složky rozkladem v methanolu. [6]

Tab. 7: Přehled tepelných vlastností PP. [6]

Teplota použití [°C]			Tvarová stálost [°C]			Koeficient lineární roztažnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě	Vicat 5 kg	ISO R 75 A	DIN 53460			
140	100	- 30	85	60 až 70	100	150 až 180	0,17 až 0,22	2,0



Obr. 6: Konstituční vzorec PP. [7]

Bod tání čistého izotaktického polymeru je 176 °C. Jeho tepelná použitelnost je krátkodobě do 135 °C a dlouhodobě 100 °C. [6]

1.3.6 Polyamidy (PA)

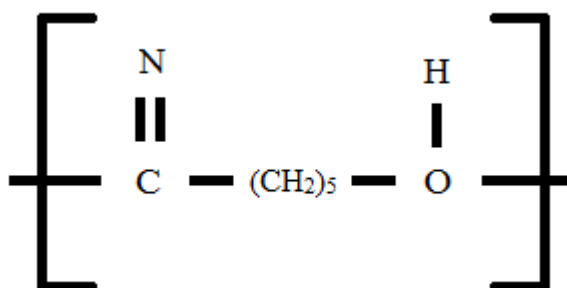
Polyamidy mají dobré elektrické a mechanické vlastnosti. Také mají vysokou chemickou odolnost. V kabelovém průmyslu nacházejí využití například v podobě izolačních laků. Nejběžnějšími PA jsou alifatické, které jsou charakterizovány hlavním polymerním řetězcem, ve kterém se pravidelně střídají skupiny – CO – NH – s větším počtem skupin – CH₂ –. [2] [3] [6]

Tři hlavní způsoby výroby jsou polykondenzace ω-aminokarboxylových kyselin, polymerace cyklických aminů (např. polykaprolaktam – PA-6) a polykondenzace diaminů

s dikarboxylovými kyselinami nebo jejich dichloridy (PA-66). Aniontová polymerace laktamů probíhá rychle při teplotách nad 150 °C. K její iniciaci se používají např. alkalické kovy. Při hydrolytické polymeraci kaprolaktamu vzniká polykaprolaktam přes mezistupeň kyseliny 6-aminokapronové. Jako aktivátoru se používá vedle vody přísada kyselých reagujících látek. Surový hydrolytický polyamid vždy obsahuje volný 6-kaprolaktam, který se vypírá z granulí vodou nebo odpařením taveniny. PA-66 se vyrábí polykondenzací. V prvním kroku vzniká sůl v methanolu při teplotě 220 °C. V dalších krocích je ze suroviny odstraněna voda při teplotách 270 °C. [5]

Tab. 8: Přehled tepelných vlastností PA. [6]

	Teplota použití [°C]			Tvarová stálost [°C] Vicat 5 kg	Koefficient lineární roztažnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
	maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě				
PA-6	140 až 180	80 až 100	-30	180	70 až 120	0,21 až 0,29	1,7
PA-66	170 až 200	80 až 120	-30	200	70 až 100	0,2 až 0,23	1,7



Obr. 7: Konstituční vzorec PA-6. [7]

Polyamidy zahrnují velkou škálu materiálů. Tepelné vlastností jednotlivých materiálů jsou dost odlišné. Většina PA se vyznačuje vysokými teplotami tání, např. PA-6 má teplotu tání 215 až 220 °C. [6]

1.3.7 Polytetrafluorethylen (PTFE)

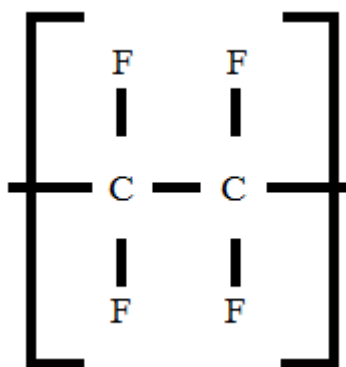
PTFE, také označován jako teflon, je považován za nejkvalitnější polymerní izolant. Vyniká svou vysokou chemickou odolností. Také má velkou tepelnou odolnost, není hořlavý ani nasákavý. Pro svou nesnadnou zpracovatelnost a technologii výroby má

vysokou cenu. Díky své odolnosti je často využíván pro izolace vodičů, které musejí snášet vysoké teploty. [2] [3]

Tetrafluorethylen je netoxický plyn. Je velice reaktivní a velmi snadno polymeruje, zvláště za přítomnosti kyslíku. Proto se musí stabilizovat a chránit před stykem s kyslíkem. Kvůli značné polymerační rychlosti a vysokému polymeračnímu teplu se polymerace provádí výhradně ve vodné disperzi. Při nedostatečném odvodu tepla může mít polymerace až explozivní průběh. PTFE je tvořen nerozvětveným uhlíkovým řetězcem a je až z 97 % krystalický. Emulzní polymerace probíhá v nerezových nebo postříbřených autoklávech. Pracovní teploty jsou zpravidla pod 20 °C a počáteční tlak je zhruba 3 MPa. Polymeruje se až do vymizení tlaku. Při suspenzní polymeraci se používají organické peroxidy. Teplota je 70 °C a tlak 4 až 10 MPa. Po polymeraci se polymer čistí odstředěním a propráním vodou. [6]

Tabulka 1 – Přehled tepelných vlastností PTFE. [6]

Teplota použití [°C]			Koeficient lineární roztažnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě			
300	250	-200	100	0,25	1,0



Obr. 8: Konstituční vzorec PTFE. [7]

Tepelná odolnost PTFE je mimořádná. K měknutí dochází až při teplotě 327 °C. Při této teplotě přechází z krystalického stavu do stavu amorfního. Teplota tání je zhruba

345 °C. Ke zdatnému rozkladu dochází až při teplotách vyšších než 400 °C. Při takto vysokých teplotách vzniká řada štěpných produktů. [6]

Kopolymery tetrafluorethylenu

Kopolymer tetrafluorethylen-hexafluorpropylen (FEP) patří k nejrozšířenějším fluoroplastům. FEP obsahuje 15 až 25 % hexafluorpropylenu. Vyrábí se emulzní polymerací podobně jako PTFE. Nižší reaktivita hexafluorpropylenu vyžaduje tlaky 3 až 6 MPa a teploty 60 až 90 °C. Teplota tání je v rozmezí 260 až 295 °C. Má nízkou viskozitu, takže je možné tvarování obvyklými postupy jako u termoplastů. Hodí se pro trvalé tepelné zatížení v rozmezí - 200 až 200 °C. [6]

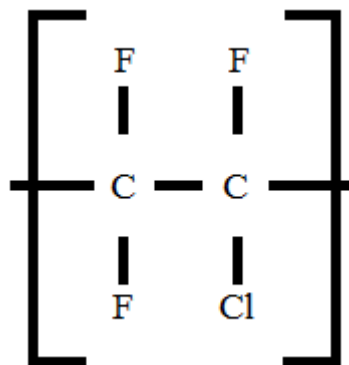
Kopolymer tetrafluorethylen – perfluoralkylvinylether (PFA, TFA) je fluoropolymer zpracovatelný při teplotě 370 až 420 °C. Vyrábí se emulzní technikou, podobnou výrobě PTFE. Zpracovává se stejně jako FEP. Trvalý tepelný rozsah použití je od - 190 do 200 °C. [6]

Kopolymer tetrafluorethylen-ethylen (ETFE) je částečně krystalický polymer tající v rozmezí 265 až 278 °C. Má výborné mechanické a elektroizolační vlastnosti, nízkou hořlavost a výbornou odolnost proti rozpouštědlům, chemikáliím a povětrnosti. Jeho výroba je podobná výrobě PTFE. [6]

1.3.8 Polychlortrifluorethylen (PCTFE)

PCTFE je známý pod starším označením Teflex. Je to další zástupce skupiny fluoroplastů, která vyniká vysokou odolností. Chemickou ani tepelnou odolností se ovšem nevyrovná PTFE. [5]

PCTFE se vyrábí pod tlakem při teplotách 25 až 50 °C. za pomoci redoxních systémů. Nemá moc dobrou tepelnou stabilitu. Ta se proto zlepšuje přidávkem substituovaných fenolů. PCTFE je možné zpracovávat obvyklými technikami pro zpracování termoplastů. Kopolymerací chlortrifluorethylenu se podařilo snížit rychlost krystalizace. PCTFE s takovou úpravou se používá právě pro kabelovou techniku.[6]



Obr. 9: Konstituční vzorec PCTFE. [6]

Tab. 9: Přehled tepelných vlastností PCTFE. [6]

Teplota použití [°C]			Koeficient lineární roztlačnosti [K ⁻¹ · 10 ⁶]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Specifické teplo [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
maximální krátkodobě	maximální dlouhodobě	minimální dlouhodobě			
180	150	- 40	60	0,22	0,9

PCTFE taje při teplotách 210 až 216 °C. Je trvale použitelný pro – 200 až 180 °C. Při teplotách nad 315 °C dochází k destrukci PCTFE a vnikají jedovaté zplodiny. [6]

Kopolymer chlortrifluorethylen-ethylen (E-CTFE)

Jedná se o alternující kopolymer chlortrifluorethylenu. Tento kopolymer patří k nové generaci snadno zpracovatelných fluoropolymerů. Vykazuje dobrou tepelnou odolnost, elektro izolační a mechanické vlastnosti a také dobrou chemickou a tepelnou odolnost. Taje při teplotě 240 °C. Použitelný je při teplotě – 160 až 150 °C. [6]

1.3.9 Silikonové elastomery

Pryžové směsi vyrobené z elastomeru si i přes konkurenci v podobě plastických hmot stále udržují určité zastoupení v kabelové technice. Jejich hlavní výhodou je vysoká ohebnost, důležitá především pro instalace s častým mechanickým ohýbáním kabelů. Další výhody jsou dobré elektrické a mechanické vlastnosti, mrazuvzdornost a odolnost proti teplu a otěru. [5]

Při přípravě silikonových elastomerů se vychází z čistých cyklických siloxanů, připravených hydrolyzou dimethyldichlorsilanu ve zředěném roztoku. Z těchto cyklických meziproduktů se elastomerovité lineární polymery připravují alkalickou nebo kyselou polymerací. Růst řetězce probíhá adicí monomeru na rostoucí aktivní centrum až do rovnováhy při konverzi asi 86 %. Meziprodukt elastomeru je tekoucí bezbarvá hmota, rozpustná v benzenu. Tato hmota se prohněte v hnětáku mezi studenými válci s plnivý a přísadou peroxidu. Poté následuje vulkanizace elastomeru pod tlakem 4 až 8 MPa a vícehodinové temperování při 150 až 200 °C. [6]

Tab. 10: Přehled tepelných vlastností silikonového elastomeru. [6]

T_g [°C]	Minimální teplota použití [°C]	Tepelná odolnost [°C]	Tepelná odolnost po 70 h [°C]
- 120	- 100	200	250

Silikonové elastomery se běžně používají v teplotách od - 60 do 180 °C. Některé typy silikonových elastomerů odolávají i teplotám do 200 °C. Za teplot 115 až 250 °C se silikonové elastomery vulkanizují peroxidy. [5]

1.3.10 Ethylen-propylenové a ethylen-propylen-dienové elastomery (EPM, EPDM)

EPM a EPDM jsou amorfní kopolymery s 40 až 50 % obsahem propylenu. Vyrábí se roztočovou polymerací s Zieglerovými-Nattovými katalyzátory. EPM je nasycený kopolymer. Nasycený charakter způsobuje mimořádnou odolnost proti stárnutí. EPDM je terpolymer s malým množstvím nekonjugovaných dienů. K polymeraci dochází na dvojné vazbě v napjatém cyklu. Dieny umožňují klasickou vulkanizaci sírou. Elastomery s těmito dieny mají vynikající stabilitu proti stárnutí a relativně dobré mechanické vlastnosti. Také jsou odolné proti ozónu a koróně. V kabelovém průmyslu se tyto materiály používají pro izolace kabelů vysokého napětí. [3] [6]

Tab. 11: Přehled vlastností EPM. [6]

T_g [°C]	Minimální teplota použití [°C]	Tepelná odolnost [°C]	Tepelná odolnost po 70 h [°C]
- 55	-35	130	160

1.3.11 Styren-butadienové elastomery (SBR)

Styren-butadienové elastomery jsou velice univerzální. Představují asi 45 % celosvětové výroby syntetických elastomerů. Základem výrobní technologie je emulzní polymerace 78 až 70 % butadienu a 22 až 30 % styrenu. Jako optimální se dnes označuje obsah styrenu 18 %. Při výrobě SBR se používá redoxní iniciační systém. Výroba probíhá kontinuálně v 6 až 12 autoklávech z nerezové oceli o obsahu 10 až 30 m³. Při teplotě 5 °C a pod tlakem. Díky své univerzálnosti se v kabelovém SBR používají pro běžné směsi izolací. [3] [6]

Tab. 12: Přehled vlastností SBR. [6]

T _g [°C]	Minimální teplota použití [°C]	Tepelná odolnost [°C]	Tepelná odolnost po 70 h [°C]
- 50	-45	100	120

2 Retardéry hoření a principy jejich fungování

Úplné odstranění hoření organických materiálů není v praxi reálné. Z toho důvodu je dnes v kabelovém průmyslu snaha o maximální snížení hořlavosti materiálů pro izolace a pláště. Jako nejvhodnější pro tento účel se jeví tzv. retardéry hoření. Jsou to sloučeniny, které se přimíchávají k izolačním materiálům. Jejich funkcí je zvýšení odolnosti proti vznícení, zpomalení spalování a zpomalení šíření plamenů. [8] [9]

2.1 Proces hoření

Hoření je chemická řetězová reakce, při které spolu reagují aktivní radikály molekul hořlaviny a oxidačního činidla. Hořlavá látka reaguje vysokou rychlostí s oxidačním činidlem a vzniká teplo, světlo a kouřové zplodiny. Hoření je reakce exotermní. Aby mohlo hoření vzniknout, je nutné splnění podmínek pro jeho vznik. Podmínky hoření jsou přítomnost hořlavé látky, oxidačního činidla (některé látky obsahují oxidační činidla přímo ve svých molekulách) a iniciačního zdroje zapálení, který dodá dostatek tepla. Tyto podmínky je možné znázornit tzv. trojúhelníkem hoření. [9] [10] [11]



Obr. 10: Trojúhelník hoření. [11]

Pokud není splněna jedna podmínka (v obrázku znázorněná stranou trojúhelníku), nemůže vzniknout oheň. V takovém případě pevné materiály při zahřívání neuvolňují hořlavé plyny a materiál nehoří viditelným plamenem. Po chvíli doutnání požár většinou

sám zanikne. K zániku hoření také pomáhá, pokud materiál shoří a vytvoří uhlíkovou bariéru, která zabraňuje šíření ohně dále do materiálu. Pokud jsou podmínky splněny, je umožněn proces hoření. Proces hoření probíhá ve třech fázích - iniciace hoření, plně rozvinutý oheň a ustupující oheň. Iniciace hoření je způsobena zdrojem tepla, který dodá teplo hořlavému materiálu. Dodáním tepla se uvolňují malé molekuly ve formě plynu, tzv. aktivní radikály H a OH. Tento proces se nazývá pyrolýza. Když aktivní radikály reagují s kyslíkem, dochází k chemické reakci, projevující se vznikem plamene, při které vzniká CO_2 a teplo. Se vznikem plamene nastává plně rozvinutý oheň. Tato fáze hoření se projevuje šířením řetězové exotermické chemické reakce. Tím se oheň šíří dále, dokud má dostatek paliva a oxidačních činidel. Když ohni dochází palivo nebo oxidační činidla, nastává třetí fáze hoření – ustupující oheň, která končí úplným spotřebováním paliva nebo oxidačních činidel. [9] [10] [11]

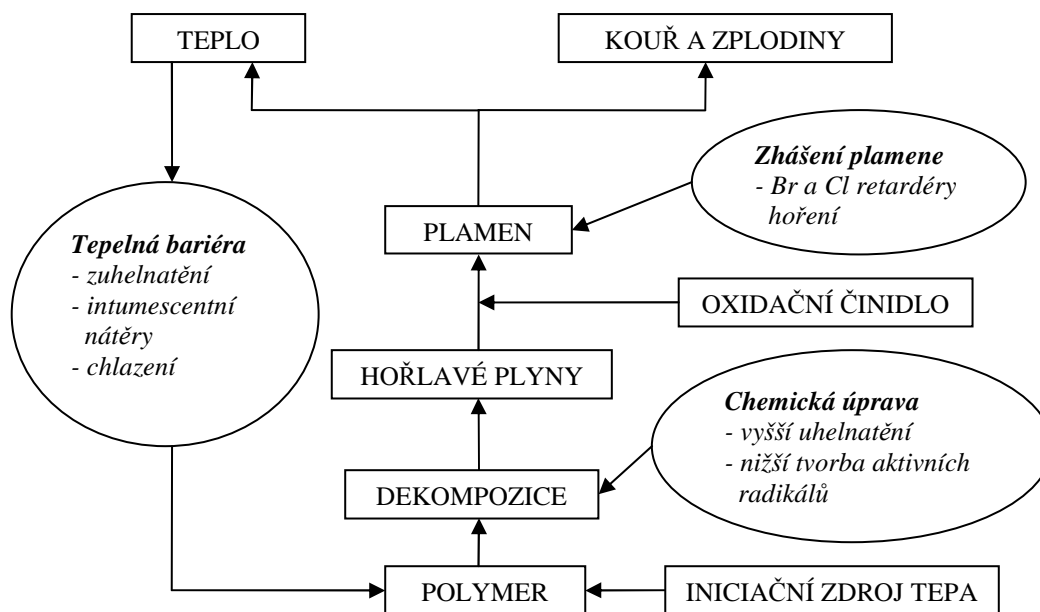
2.2 Princip fungování retardérů hoření

Polymerní materiály používané v kabelové technice mají hodně výhod, které již byly zmíněny v první kapitole. Jejich velkou nevýhodou je však vysoká hořlavost. V případě vznícení kabelových rozvodů nastává vážné nebezpečí ohrožení lidských životů. Z toho důvodu se používají retardéry hoření. Jejich cílem je zvýšení tepelné stability izolačních materiálů. Retardéry hoření jsou používány pro svou schopnost potlačit hoření v přítomnosti kyslíku a za působení vnějšího termického zdroje. [12]

Známe dva základní druhy retardérů hoření – aditivní (inertní) nebo reaktivní (chemicky aktivní). Aditivní retardéry jsou látky přimíchané do směsi polymeru a mohou vykonávat zároveň funkci specifického druhu plniva nebo změkčovadla. Reaktivní retardéry reagují přímo s molekulami polymeru a jsou tedy jeho součástí. Retardéry mohou účinkovat následujícími způsoby dle [6]:

- **Zastínění kontaktního povrchu** tím, že samy roztají, nebo produkují nehořlavé plyny, které izolují povrch hořící látky.
- **Ovlivnění pyrolýzy** tím, že vzniká minimální množství hořlavých plynů a maximální množství koksovitého zbytku, který tak tvoří uhlíkovou bariéru, která zabraňuje přístupu kyslíku. Tím pak bariéra ochraňuje materiál od dodávaného tepla nebo již jinde vzniklého plamene [9].
- **Ovlivnění mechanismu hoření** pomocí inhibice řetězové reakce při hoření.

Většina retardérů hoření tyto způsoby ochrany proti ohni kombinuje a působí na jednotlivé prvky z trojúhelníku hoření. Mohou například omezovat iniciační tepelnou energii chlazením. Během hoření se retardéry mohou rozkládat na molekuly, které na sebe vážou aktivní radikály a tím omezují vznik hořlavých plynů. Další možností je to, že retardéry podporují tvorbu uhlíkaté vrstvy na povrchu polymeru a tím zabrání přístupu oxidačního činidla k palivu. [9]



Obr. 11: Schématické znázornění spalovacího cyklu polymeru (v oválných diagramech je znázorněna funkce retardérů hoření). [10]

Podle jednotlivých typů je možné rozdělit retardéry hoření do několika skupin. Rozdělení jednotlivých typů dle [9]:

- Halogenové retardéry hoření
- Fosforové retardéry hoření
- Anorganické retardéry hoření
- Dusíkové retardéry hoření
- Intumescentní nátěry

2.3 Halogenové retardéry hoření

Halogenové retardéry hoření jsou sloučeniny s obsahem prvků z VII.A skupiny periodické tabulky prvků, které působí na mechanismus hoření. Do této skupiny konkrétně patří chlor, fluor, brom a jod. Účinnost takových retardérů se odvíjí od vlastností vazby mezi halogenem a uhlíkem. Z toho důvodu jsou jako retardéry hoření používány především sloučeniny s obsahem bromu a chloru, u kterých jsou vlastnosti vazby s uhlíkem optimální. V komerčním průmyslu se používá mnoho druhů halogenových retardérů hoření. Každý z nich má své charakteristické vlastnosti související s povahou chráněného materiálu. Některé z nich fungují jako reaktivní v polymeru, některé se používají jako aditiva. Velkou nevýhodou halogenových retardérů hoření je to, že při jejich hoření vznikají jedovaté zplodiny, které mají negativní účinky na lidské zdraví. Z tohoto důvodu je použití těchto retardérů omezoáno. [6] [8] [9]

2.3.1 Popis funkce halogenových retardérů

Polymery uvolňují během pyrolýzy látky schopné reagovat s atmosférickým kyslíkem. Pro zpomalení, nebo zastavení hoření je potřeba uvolňování těchto látek zpomalit. Mechanismus zpomalení hoření je založen na uvolňování atomu halogenu, nebo molekuly halogenvodíku z látky. Tyto molekuly poté eliminují vodíkové a hydroxylové radikály, které podporují hoření. Kromě pevnosti vazby mezi halogenem a zbytkem molekuly retardéru je pro jeho funkci důležitá také reaktivita halogenvodíku. Při zvyšování teploty se reaktivita halogenvodíků snižuje. To v konečném důsledku vede ke snížení efektivity halogenových retardérů při vyšších teplotách. Kromě plynné fáze fungují halogenové retardéry také v pevné a kapalně fázi, a to tak, že fragmenty retardéru s velkou molekulovou hmotností omezují přístup kyslíku k polymeru a podporují zuhelnatění vrstvy na povrchu polymeru. Tato vrstva zabraňuje přístupu kyslíku, potřebného pro další rozvoj hoření. [8] [10]

2.3.2 Synergické materiály halogenových retardérů hoření

Pomocí synergických materiálů je možné zvýšit efektivitu halogenových retardérů hoření. Tzv. synergisty jsou látky, v jejichž přítomnosti mají halogeny vyšší zhasivý efekt. Tímto způsobem funguje například kombinace halogenových retardérů a sloučenin antimonu (nejčastěji oxidu antimonitového Sb_2O_3). Tato sloučenina oproti běžnému halogenovému retardéru uvolňuje molekuly vody, která jednak ředí hořlavé plyny vzniklé

pyrolýzou a jednak absorbuje energii potřebnou pro hoření díky své velké tepelné kapacitě. Synergický efekt mají také retardéry na bázi halogenů v kombinaci s retardéry na bázi fosforu. Tato synergie funguje díky tvorbě nehořlavé pěny na povrchu polymeru. [8] [10]

2.3.3 Používané halogenové retardéry hoření

Dekabromdifenyloether (DeBDE) je aditivní bromovaný retardér, který působí v plynné fázi. Za normální teploty se jedná o pevnou látku s teplotou tání přibližně 300 °C. Obsah bromu je přibližně 83% a díky tomu má retardér vysokou účinnost. Jeho účinnost může být zvýšena přidáním sloučenin antimonu. V konečném materiálu je obsah tohoto retardéru v rozmezí 5 až 30 %. [8]

Tetrabrombisfenol (TBBPA) je asi nejčastěji používaný bromovaný retardér hoření. Je možné obojí použití – jako reaktivní i aditivní retardér. Častěji se však používá jako retardér reaktivní (tedy vázaný chemickou vazbou). Používá se především v epoxidových pryskyřicích. Funguje v plynné fázi hoření. Za běžné teploty je krystalický s teplotou tání 182 °C. V konečném materiálu je jeho obsah v rozmezí 11 až 20 % celkového materiálu. [8]

Hexabromcyklododekan (HBCD) je aditivní bromovaný retardér. Je to bezbarvá pevná látka s teplotou tání 195 °C. Použití nachází především v kombinaci s polystyrenem. Brom se podílí na celkové hmotnosti retardéru 73 až 75 %. V konečném materiálu je obsah retardéru v rozmezí 1 až 4 %. [8]

2.4 Fosforové retardéry hoření

Retardéry hoření na základě fosforu představují širokou oblast retardérů hoření. Zahrnují zároveň organické i anorganické materiály a používají se jak aditivní, tak reaktivní retardéry. Nabízejí širokou oblast použití a zároveň vysokou požární ochranu. Nejdůležitější materiály pro fosforové retardéry jsou fosfátové estery, fosfonáty, červený fosfor a polyfosforečnan amonný. Fosforové retardéry jsou v porovnání s bromovanými více efektivní. Díky tomu je v konečném materiálu menší množství retardéru a proto dochází k menším změnám vlastností původního polymeru. [9]

2.4.1 Popis funkce fosforových retardérů hoření

Retardéry s obsahem fosforu jsou velice efektivní ve fázi pyrolýzy, a to především díky tvorbě zuhelnatělé vrstvy na povrchu polymeru. Ta zamezuje dalšímu hoření materiálu omezením přístupu kyslíku. Tím se snižuje množství dostupného materiálu pro hoření. Vedlejším produktem tohoto procesu jsou volné molekuly vody, která ochlazuje povrch polymeru a tím také zabraňuje dalšímu rozvoji hoření. Dalšími efekty fosforových retardérů jsou především inhibice plamene a absorpce tepelné energie. Fosforový typ retardérů hoření není příliš vhodný pro materiály bez obsahu atomů kyslíku. V takovém případě je nutné tento typ retardérů podpořit jinými sloučeninami, které podporují tvorbu ochranné vrstvy. [8] [9]

V plynné fázi je funkce fosforových retardérů velice podobná halogenovým retardérům. Fosforové materiály se hořením štěpí a uvolňují jednoduché sloučeniny fosforu, které přímo ovlivňují koncentraci vodíkových radikálů v plameni. Výzkumy však ukazují, že fosforové retardéry jsou účinné především v pevné fázi. [8]

2.4.2 Používané fosforové retardéry

Tris(chloropropyl)fosfát (TCPP) je aditivní fosforový retardér hoření. Je to chlorovaný ester kyseliny fosforečné. Při běžné teplotě je v kapalném stavu s bodem varu 342 °C. Použití nachází v kombinaci s polyuretanem a polyesterovou pryskyřicí. Zastupuje skupinu organofosforových retardérů. Fosfor se na obsahu finálního materiálu podílí 9 až 10 % hmotnosti a chlor přibližně 32%. [8] [10]

Červený fosfor je aditivní retardér hoření. Jeho tepelná dekompozice nastává při teplotě 400 °C. Tlumení hoření červeného fosforu je umožněno díky jeho amorfní struktuře. Používá se pro polymery vyrobené polykondenzací (polyamidy, polyestery apod.). Na povrchu sloučeniny vzniká kyselina fosforečná, která se podílí na vzniku zuhelnatělé vrstvy. Obsah retardérů v polymeru je 2 až 10% celkového objemu. [8] [10]

Polyfosforečnan amonný je aditivní retardér hoření. Jedná se o krystalickou látku s teplotou tání 275 °C. Používá se v systémech obsahujících atomy dusíku i fosforu. Je založen na principu uvolňování amoniaku, který ředí okolní plyny a odděluje okolí od hořícího povrchu. Zároveň probíhá přeměna fosforu na kyselinu fosforečnou a tvoří uhlíkový obal na povrchu polymeru. [8]

2.5 Anorganické retardéry hoření

Jedná se o nejstarší retardéry hoření. Řadí se mezi ně především hydroxidy kovů (např. hydroxid hlinitý $\text{Al}(\text{OH})_3$ a hydroxid horečnatý $\text{Mg}(\text{OH})_2$) a sloučeniny boru (např. kyselina boritá H_3BO_3 a boritan zinečnatý). Boritan zinečnatý nachází uplatnění také jako synergist pro použití s halogenovými retardéry hoření. Jejich výhodou je to, že se jedná o bezhalogenové retardéry. Při jejich hoření nedochází k uvolňování jedovatých, zdraví nebezpečných látek. Díky tomu nacházejí široké využití v kabelové technice pro bezhalogenové aplikace.[8] [9] [12]

2.5.1 Popis funkce anorganických retardérů

Anorganické retardéry jsou založené na fyzikálním tlumení hoření. Během jejich hoření se uvolňují nehořlavé plyny (CO_2 a H_2O), které ředí hořlavé plyny v plynné fázi hoření. Tato reakce je navíc endotermická a tedy odebírá teplo z plamene a tím tlumí hoření. S rozkladem retardéru se navíc na povrchu polymeru tvoří sklovité vrstvy, které zabraňují další oxidaci. Vznikající nehořlavé plyny tuto vrstvu zvětšují a tím snižují její tepelnou vodivost. [8]

2.5.2 Používané anorganické retardéry

Hydroxid hlinitý $\text{Al}(\text{OH})_3$ je aditivní anorganický retardér. Je to minerální látka, která kromě své funkce jako retardér hoření může být použita jako plnivo. Hydroxid hlinitý má malou účinnost a z toho důvodu musí být použita jeho vysoká koncentrace, pro termoplasty v rozmezí 50 – 60 %. Tato vysoká koncentrace retardéru však vede k výrazným změnám mechanických a tepelných vlastností původního polymeru a také k obtížím při samotné výrobě polymeru. I přes tyto komplikace se hydroxid hlinitý hojně používá v kabelové technice. Hydroxid hlinitý se rozkládá při teplotě okolo 200 °C, kdy se uvolňuje voda ve formě páry. To pak vede k ředění okolních plynů a odebrání tepla z plamene. [8] [12]

Hydroxid horečnatý $\text{Mg}(\text{OH})_2$ je druhý nejpoužívanější anorganický retardér hoření. Své uplatnění nachází především v kabelovém průmyslu v kombinaci s PVC. Svým působením snižuje hořlavost a tvorbu dýmu. Podobně jako u hydroxidu hlinitého je jeho účinnost nízká, a tedy musí být použitý s vysokou koncentrací. To stejně jako u hydroxidu hlinitého vede k velkým změnám vlastností původního polymeru. Díky tomuto faktu je

možné tento retardér použít jako plnivo zlepšující mechanické vlastnosti. Rozkládá se při teplotách okolo 300 °C a funguje na stejném principu, jako přecházející hydroxid hlinitý. [8] [12]

Boritan zinečnatý je nejpoužívanější borový retardér. Vyniká také výbornou schopností zabránit vzniku dýmu. Většinou se vyskytuje v hydratované formě. Používá se v kombinaci s PVC a dalšími chlorovanými polymery. V tepelném rozmezí 290 – 490 °C uvolňuje molekuly vody, které absorbují tepelnou energii plamene, ředí hořlavé plyny a pomáhá vytvořit zuhelnatělou vrstvu na povrchu polymeru. [8] [10]

2.6 Dusíkové retardéry hoření

Dusíkové materiály nepředstavují hlavní oblast materiálů pro retardéry hoření. Používají se především v kombinaci s jinými retardéry pro zvýšení jejich účinnosti, a to především s retardéry hoření na bázi fosforu. Konkrétně se jako dusíkové retardéry hoření používají melaminové sloučeniny. [6]

2.6.1 Popis funkce dusíkových retardérů hoření

Mechanismy účinku retardérů na bázi dusíku dnes nejsou přesně objasněny. Obecně se má za to, že dusíkové retardéry fungují na několika principech. Prvním je jejich vysoká stabilita při vysokých teplotách, díky které fyzicky inhibují odbourávání rozkládání molekul polymeru na hořlavé plyny. Mechanismus v plynné fázi může napomoci odbouráváním stabilních molekul obsahujících dusík, které tím ředí těkavé produkty rozkladu polymeru. V kondenzované fázi se melaminy transformují do zesíťovaných molekulových struktur, které podporují tvorbu zuhelnatělé vrstvy. [6] [9]

2.6.2 Používané dusíkové retardéry

Melamin (2,4,6-triamino-1,3,5-triazin) je organická sloučenina. Při výrobě polymerních materiálů se používá pro své schopnosti zpomalovat vznik ohně. Ve své struktuře obsahuje 66 % dusíku, který se při hoření polymeru uvolňuje. Tento materiál je však toxický a proto se jeho použití omezuje. [13] [14]

2.7 Intumescentní nátěry

Intumescentní nátěry jsou protipožární nátěry z organických materiálů, které při zvýšené teplotě chemicky reagují a mění svou strukturu. Mimo stavebnictví se hojně používají v kabelových instalacích pro krytí kabelů a kabelových lávek. Jejich funkce spočívá v chemické reakci na vysokou teplotu, během které dojde ke zpěnění materiálu a tím se vytvoří ochranný obal, který brání průchodu tepla a kyslíku k materiálu. V kabelové technice se často používají k ochraně kabelů s PVC pláštěm. Jejich nevýhodou je jejich kratší životnost, kvůli které se nátěry musejí po určitém časovém období obnovovat. [15] [16]

2.7.1 Princip fungování intumescentních nátěrů

Podstatou funkce intumescentních nátěrů je chemická reakce iniciovaná teplotami v rozmezí 150 – 200 °C. Během této reakce dochází k dehydrataci polyalkoholů obsažených v nátěru. Díky přítomnosti nadouvadela se vytvoří izolační vrstva tepelně stabilní uhíkaté pěny, která má dobré tepelné izolační vlastnosti a zároveň zabraňuje přísunu kyslíku k plášti kabelu. Izolační vrstva při požáru může mít až padesátinásobek objemu původního nátěru. [15] [16] [17]

2.7.2 Používané intumescentní nátěry

Kvalitní protipožární nátěr je velice složitá směs komplikované receptury. Skládají se z organické a anorganické složky. Anorganické složky jsou většinou tavitelné skloviny, glazury, často s výztužnými vlákny a aditivy, které přispívají ke zhášení plamene. Pojivem jsou organické polymerické materiály, které při vysokých teplotách shoří a zbylé organické materiály tvoří izolační vrstvu. [18]

3 Testování kabelových izolací při požáru

Produkty kabelové techniky musejí splňovat určité požární vlastnosti. Tyto požadavky vycházejí z vyhlášky č. 268/2011 Sb. ze dne 6. září 2011, kterou se mění vyhláška č. 23/2008 Sb., O technických podmínkách požární ochrany staveb. K postupu ověření těchto vlastností slouží vstupní zkoušky kabelových systémů, které jsou popsány v technických normách. [3] [19] [20]

Seznam zkoušek požárních vlastností dle [19] a [21]:

- Stanovení třídy funkčnosti kabelů a kabelových nosných konstrukcí
- Zkoušky šíření plamene
- Zkoušky plynů vznikajících při hoření materiálů z kabelů
- Měření hustoty kouře při hoření kabelů za definovaných podmínek
- Zkoušky elektrických kabelů za podmínek požáru – celistvost obvodu
- Zkouška elektrických a optických kabelů v podmínkách požáru
- Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla
- Zkouška funkční schopnosti za podmínek požáru pro nouzové obvody

3.1 Stanovení třídy funkčnosti kabelů a kabelových nosných konstrukcí

Stanovení třídy funkčnosti kabelů a kabelových nosných konstrukcí se nejdokonaleji zabývá německá norma DIN VDE 4102-12, vydaná v listopadu 1998. Nejvhodnějším českým ekvivalentem je novela zkušební předpisu vydaná pod označením ZP-27/2008, která doplňuje původní zkušební předpis ZP-27/2006. Zkouška ověřuje zachování funkce elektrických kabelových instalací při požáru. Zkušební předpis udává, jak dlouho má kabelový systém různých obvodů udržet svou funkci v případě požáru. Během této doby nesmí dojít ke zkratu nebo přerušení toku elektrického proudu. [19] [20] [22]



Obr. 12: Zkušební sestava před požární zkouškou. [30]



Obr. 13: Zkušební sestava - stav po požární zkoušce. [30]

Postup při zkoušce

Kabelová trasa se zkušebním vzorkem o minimální délce 3 m se horizontálně uloží do pece s požárním prostorem o minimálních rozměrech 3 x 2 x 2,5 m. Norma definuje tvar křivky průběhu změn teploty v peci. Po 30 minutách je dosaženo teploty 822 °K a po 90 minutách teploty 986 °K. U silových kabelů se provádí zkouška na vzorku čtyřžilových kabelů. V závislosti na typu kabelu se poté zkoumají dva zkušební vzorky s nejmenším jmenovitým průřezem vodičů. U datových kabelů se zkoumají dva zkušební vzorky s nejnižším počtem žil nebo párů z jednoho typového provedení. V případě zkoušek nosných konstrukcí zkušební předpis definuje jejich parametry a správné uložení v peci, a to pro jednotlivé typy konstrukcí jednotlivě. Zkouška pak probíhá obdobně. [22]

Třídy zachování funkčnosti

Na základě výsledků zkoušky rozlišujeme třídy zachování funkčnosti. Vyhovující kabelové trasy musejí být označeny příslušnou třídou zachování funkčnosti. Rozdělení tříd funkčnosti dle [22]:

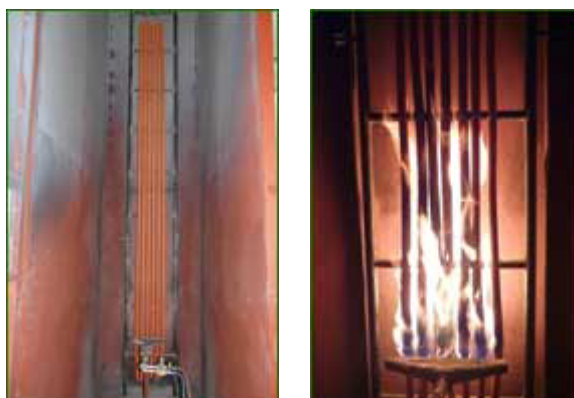
- E 30 – Doba zachování funkčnosti je minimálně 30 min.
- E 60 – Doba zachování funkčnosti je minimálně 60 min.
- E 90 – Doba zachování funkčnosti je minimálně 90 min.

3.2 Zkoušky šíření plamene

Tyto zkoušky se řídí podle normy ČSN EN 50399 z roku 2012. Tato norma popisuje zkoušku hoření u vícežilových kabelů namontovaných na svislém kabelovém žebříku a následné šíření ohně po kabelové konstrukci. [19]

Zkouška zjišťuje parametry kabelové instalace definované normou [23]:

- Rychlost uvolňování tepla
- Celkově uvolněné teplo
- Rychlost vývinu kouře
- Celkově vytvořený kouř
- Šíření plamene
- Index rychlosti rozvoje požáru
- Hořící kapky/částice
- E-hodnota (uvolněné teplo na objem spotřebovaného kyslíku)



Obr. 14: Zkouška šíření plamene. [31]

Postup při zkoušce

Zkušební zařízení se skládá především ze zkušební komory, standardního žebříku a zdroje zapálení – propanového hořáku a zdroje vzduchu, který do komory vhání vzduch s přesně definovaným průtokem (cca 8000 l/min). Další prvky zařízení slouží k měření výše vyjmenovaných parametrů. Všechny prvky zkušebního zařízení jsou definovány normou. Teplota zkušební komory a přiváděného vzduchu musejí být v rozmezí 5 až 40 °C. Zkušební vzorek je tvořen několika kusy zkoušeného kabelu, každý s délkou přibližně 3,5 m. Vzorek musí být nejprve kondicionován po dobu nejméně 16 h při teplotě přibližně 20 °C. Poté je aplikován plamen s jmenovitým výkonem 20,5 nebo 30 kW na dobu 1200 s a po uplynutí zkušební doby je plamen hořáku uhašen. Po uhašení kabelu se pozoruje chování kabelů a probíhá záznam dat. Z těchto dat se poté podle normy určí jednotlivé parametry kabelů a zaznamenají se do protokolu o zkoušce. [23]

3.3 Zkoušky plynů vznikajících při hoření materiálů z kabelů

Tyto zkoušky se řídí normou ČSN EN 50267. První část normy (ČSN EN 50267-1) popisuje zkušební zařízení, druhá část pak popisuje tři možné zkoušky určení stupně kyselosti [24]:

- ČSN EN 50267-2-1 - Určení obsahu kyselinotvorných halogenových plynů
- ČSN EN 50267-2-2 - Určení stupně kyselosti plynů během hoření materiálů kabelů měřením pH a vodivosti
- ČSN EN 50267-2-3 - Určení stupně kyselosti plynů během hoření materiálů kabelů stanovením váženého průměru pH a vodivosti kompozitních materiálů

Zkušební zařízení je plynotěsná trubcová pec s délkou topné zóny 500 až 600 mm, vybavená řízeným elektrickým topným systémem. Ohnivzdorná trubice je z křemičitého skla. Rozměry zařízení jsou přesně definovány normou. Na konci výstupu z trubice jsou dvě promývací lahve. [24]

3.3.1 Určení obsahu kyselinotvorných halogenových plynů

Norma stanovuje postup pro stanovení množství halogenových plynů (kromě fluorovodíkových), uvolněných během hoření izolací založených na halogenových polymerech. [24]

Postup při zkoušce

Zkoušený materiál je nejdříve kondicionován při teplotě přibližně 23 °C po dobu alespoň 16 h při relativní vlhkosti přibližně 50 %. Poté je vzorek ohříván proudem suchého vzduchu. Teplota narůstá rovnoměrně až do hodnoty 800 °C během 40 min. Tato teplota se pak udržuje po dobu 20 min. Vznikající plyny se zachycují v roztoku hydroxidu sodného. Vzorek se po vychladnutí pomocí chemických úprav analyzuje. [24]

3.3.2 Určení stupně kyselosti plynů během hoření materiálů kabelů měřením pH a vodivosti

Tato zkouška je doporučena pro měření nehalogenových plynů a plynů s velmi nízkým obsahem halogenových plynů. K určení stupně kyselosti plynů měřením pH a vodivosti se měřicí zařízení doplní o analytickou váhu, zařízení pro měření pH, zařízení pro měření vodivosti a časovač. [24]

Postup při zkoušce

Zkoušený materiál je nejdříve kondicionován při teplotě přibližně 23 °C po dobu alespoň 16 h při relativní vlhkosti přibližně 50 %. Dále se vzorek spaluje v trubkové peci při konstantní teplotě vyšší než 935 °C po dobu 30 min. Vznikající plyny jsou zachycovány probubláváním v lahvích, které jsou naplněny destilovanou nebo demineralizovanou vodou. Voda v lahvích má pH přibližně 6,5 a vodivost menší než 0,5 $\mu\text{S}/\text{mm}$. Obsah lahví je po měření slit do jedné nádoby a doplněn vodou s původními vlastnostmi na objem 1000 ml. Poté se změří pH a vodivosti kapaliny. Vzorek vyhověl zkoušce, pokud hodnota pH a vodivosti neklesla pod úroveň původních hodnot. [24]

3.3.3 Určení stupně kyselosti plynů během hoření materiálů kabelů stanovením váženého průměru pH a vodivosti kompozitních materiálů

Tato zkoušecí metoda je vhodná pro obdobné materiály jako metoda předchozí, ale oproti předchozí je vhodná také pro měření kyselosti plynů uvolněných během hoření optických kabelů. [24]

Postup při zkoušce

Postup u této zkoušky je prakticky shodný se zkouškou předchozí. Jediný rozdíl je v tom, že se měření opakuje třikrát a z naměřených dat se spočítá střední hodnota, standardní odchylka a součinitel změny. Pokud je součinitel změny větší než 5, měření se opakuje ještě třikrát a střední hodnota, standardní odchylka a součinitel změny se spočítají z šesti měření. [24]

3.4 Měření hustoty kouře při hoření kabelů za definovaných podmínek

Měření hustoty kouře při hoření kabelů je definováno normou ČSN EN 61034 z ledna roku 2006. První část této normy pak definuje parametry měřícího zařízení a část druhá samotný zkušební postup. Zařízení obsahuje krychlový kryt o rozměrech 3000 mm. Přesné parametry jsou podrobně popsány v normě. Kryt musí umožňovat udržování atmosférického tlaku. Kryt musí mít otvory, kterými prochází paprsek fotometrického systému. Na dně komory je pak ventilátor, který zajišťuje homogenitu kouře v komoře. [25]

Postup při zkoušce

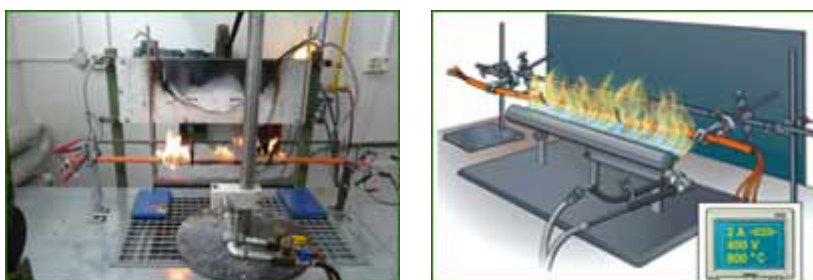
Vzorky jsou tvořeny jedním nebo více kusy kabelu o délce 1 m, které musí být pečlivě narovnané. Dále jsou vzorky kondicionovány po dobu nejméně 16 h při teplotě přibližně 23 °C. Na začátku měření se provede zkouška naprázdno, pro správné nastavení fotočidel. Po umístění vzorku se spustí cirkulace vzduchu a zapálí se líh v nádobě pod vzorkem. Zkouška byla úspěšná, pokud po dobu 5 min po uhasnutí zdroje zapálení nedochází k poklesu propustnosti světla, nebo když doba trvání zkoušky dosáhla 40 min. O průběhu zkoušky se vypracuje zkušební protokol. [25]

3.5 Zkoušky elektrických kabelů za podmínek požáru – celistvost obvodu

Tyto zkoušky jsou definovány normou ČSN IEC 60331, která se dále dělí na čtyři další části. První část definuje vlastnosti zkušebního zařízení. Další tři části popisují postupy a požadavky na zkoušky [26]:

- ČSN IEC 60331-21 – Kabely se jmenovitým napětím do 0,6/1,0 kV včetně
- ČSN IEC 60331-23 – Kabely pro přenos dat
- ČSN IEC 60331-25 – Kabely s optickými vlákny

Zkouška probíhá v komoře s odvodem škodlivých plynů vzniklých při hoření, ve které je udržována teplota v rozmezí 5 až 40 °C. Norma přesně popisuje způsob uchycení vzorku v komoře. Zdrojem tepla je propanbutanový hořák, který je vybaven přesnými ovládacími přístroji k řízení průtoku paliva a vzduchu. [26]



Obr. 15: Zařízení pro zkoušku celistvosti obvodu. [31]

3.5.1 Kabely se jmenovitým napětím do 0,6/1,0 kV včetně

Tato norma určuje postup zkoušky pro elektrické kabely s nízkým jmenovitým napětím, u kterých se vyžaduje zachování celistvosti obvodu při hoření za stanovených podmínek. [26]

Postup při zkoušce

Vzorek je kompletní sada kabelů o minimální délce 1200 mm, ze kterých je na každém konci odstraněna izolace v délce přibližně 100 mm. Tyto kabely jsou pak zapojeny do trojfázové soustavy. Směrem na vzorek se nasměruje hořák, který se zapálí. Zapne se napájení elektrickou energií a nastaví se jmenovitá hodnota napětí. Doba zapálení hořáku se počítá podle normy stanovené pro kabel. Pokud taková norma neexistuje, doporučuje se doba zapálení 90 min. Po zhasnutí hořáku zůstává vzorek pod napětím po dobu dalších 15 min. Vzorky se poté analyzují a průběh zkoušky se zpracuje do protokolu o zkoušce. [26]

3.5.2 Kabely pro přenos dat

Tato norma určuje postup zkoušky pro kabely pro přenos dat, u kterých se vyžaduje zachování celistvosti obvodu při hoření za stanovených podmínek. [26]

Postup při zkoušce

Vzorek je kompletní kabel o minimální délce 1200 mm, ze kterého je na každém konci odstraněna izolace v délce přibližně 100 mm. Na kabel se připojí jmenovité napětí (pokud není určeno, tak se nastaví napětí AC 110 V). Dále zkouška probíhá obdobně jako zkouška pro elektrické kabely. [26]

3.5.3 Kabely s optickými vlákny

Tato norma určuje postup zkoušky pro kabely s optickými vlákny, u kterých se vyžaduje zachování celistvosti obvodu při hoření za stanovených podmínek. [26]

Postup při zkoušce

Vzorek je kabel o minimální délce 5 m, jehož oba konce vyčnívají ze zkušební komory. Na optické vlákno se připojí optický přístroj pro sledování vlastností optického přenosu. Pokud není normou stanoveno jinak, tak se zkouška provede na deklarované provozní vlnové délce. Dále zkouška probíhá obdobně jako zkouška pro elektrické kabely. [26]

3.6 Zkouška elektrických a optických kabelů v podmínkách požáru

Tyto zkoušky definuje norma ČSN EN 60332. Jedná se o zkoušky šíření plamene pro jednotlivé vodiče nebo svazky vodičů. Norma se dělí na více částí [21] [28]:

- ČSN EN 60332-1 – Zkouška svislého šíření plamene pro vodiče nebo kabely s jednou izolací
- ČSN EN 60332-2 – Zkouška svislého šíření plamene pro vodiče nebo kabely malého průměru s jednou izolací
- Zkouška svislého šíření plamene pro vodiče nebo kabely s jednou izolací
- ČSN EN 60332-3 – Zkouška vertikálního šíření plamene na vertikálně namontovaných svazcích kabelů nebo vodičů.

3.6.1 Zkouška svislého šíření plamene pro vodiče nebo kabely s jednou izolací

Zkušební zařízení se skládá z kovové zástěny, zdroje zapálení a zkušební komory. Všechny parametry zkušebního zařízení jsou definovány normou. [28]

Postup při zkoušce

Vzorek tvoří izolovaný vodič nebo kabel o délce 600 mm. Vzorek se před zkouškou kondicionuje při teplotě 23 °C po dobu alespoň 16 hodin. Vzorky jsou upevněny ve vertikální poloze ke dvěma podporám ve středu kovové zástěny. Poté se zapálí hořák kalibrováný podle první části této normy tak, že se špička vnitřního kužele plamene dotýká povrchu vzorku. Doba hoření se určuje podle poloměru vzorku. [28]

3.6.2 Zkouška svislého šíření plamene pro vodiče nebo kabely malého průměru s jednou izolací

Zkušební zařízení pro tuto zkoušku je prakticky totožné se zařízením v předchozí zkoušce. [28]

Postup při zkoušce

Vzorek tvoří izolovaný vodič nebo kabel o délce 600 mm. Před zkouškou je vzorek kondicionován při teplotě 23 °C po dobu alespoň 16 hodin. Poloha hořáku je u této zkoušky určena typy kabelů. Jednotlivé polohy se liší a jdou definovány normou. Poté se

hořák zapálí na 20 s. Poté se analyzuje, zda je vzorek netknutý, nebo zda se vodič začal tavit. Vzorek, který se začal tavit, ve zkoušce nevyhověl. [28]

3.6.3 Zkouška vertikálního šíření plamene na vertikálně namontovaných svazcích kabelů nebo vodičů.

Zkušební zařízení pro tuto zkoušku se skládá ze zkušební komory, přívodu vzduchu a zdroje zapálení. Všechny parametry zkušebního zařízení definuje norma. [28]

Postup při zkoušce

Vzorek tvoří několik kabelů o délce minimálně 3,5 m. Vzorky se poté připevní drátem k žebříku podle normy a přiloží se k nim plamen na 40 min. Poté se plamen hořáku uhasí a zkušební komorou udržuje po další hodinu a sleduje se žhnutí kabelů. [28]

3.7 Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla

Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla slouží ke stanovení hořlavosti izolačních a plášťových materiálů a plastů obecně. Tato zkouška je určena pro stanovení koncentrace kyslíku ve směsích s dusíkem. Metoda popisuje zkoušky na vzorcích materiálu ve formě tenkých vertikálně umístěných tyček nebo destiček. Řídí se normou ČSN EN ISO 4589, která se dělí na tři části a definuje tak zkoušení metodou kyslíkového čísla pro [21] [27]:

- ČSN EN ISO 4589-1 – Návod k aplikaci zkoušek
- ČSN EN ISO 4589-2 – Zkouška při teplotě okolí
- ČSN EN ISO 4589-3 – Zkouška při zvýšené teplotě

Postup při zkoušce

Vzorek se musí nejdříve kondicionovat na teplotu 23 °C po dobu nejméně 88 hodin. Malé zkušební těleso se upevní ve vertikální poloze do zkušebního zařízení v podobě průhledné trubice. V té pak proudí směs kyslíku a dusíku směrem od spodu nahoru a horní konec tělesa se zapálí. Sledují se charakteristiky hoření při různých směsích dusíku a kyslíku, čímž se určí minimální koncentrace kyslíku – tzv. kyslíkové číslo. [27]

3.8 Zkouška funkční schopnosti za podmínek požáru pro nouzové obvody

Zkoušku definuje norma ČSN EN 50 200. Tato zkouška sleduje chování kabelů při simulovaném požáru, včetně otřesů a rázů. Vzorek je připevněn pomocí úchytů, které budou použity v reálné instalaci. [21]

Postup při zkoušce

Zkušební vzorky jsou normou přesně definovány podle typu kabelu. Vzorek se pak upevní na nehořlavou stěnu do tvaru písmene U. Hořák se umístí 40 mm od vzorku pod spodním ohybem kabelu. Zapálí se hořák a nastaví se jeho průtok podle výpočtů v normě. Ihned poté je zapojeno elektrické napájení a aktivuje se rázové zařízení, které dopadá na vzorek každých 5 min. [29]

Závěr

Práce poskytuje ucelený náhled na stav retardérů hoření v oblasti kabelové techniky, zpracovaný pomocí odborné literatury. Vysvětluje principy jednotlivých retardérů hoření a jejich aplikaci v různých polymerních materiálech používaných jako izolace pro kabelovou techniku.

Výčet polymerních materiálů dává základní představu o jejich výrobě a struktuře a tepelných vlastnostech. U jednotlivých materiálů je popsáno, jak reagují na vysoké teploty. V souvislosti s tím je poté vysvětlena výroba materiálů s obsahem retardérů hoření a výhody, které mají polymerní látky obsahující retardéry hoření.

V práci popsaný proces hoření vysvětluje, jakým způsobem k hoření dochází a jaké reakce při hoření probíhají. Následuje vysvětlení obecného principu retardérů hoření v plynné i pevné fázi procesu hoření. Dále podrobně popsané principy jednotlivých retardérů hoření popisují procesy, které probíhají při hoření těchto materiálů a tím vysvětlují protipožární efekty vedoucí k zabránění rozvoje ohně a vzniku s ohněm spojených produktů. V této části jsou také popsány aktuální trendy v oblasti retardérů hoření, které plynou z důvodů toxicity některých retardérů hoření a s tím spojených negativních zdravotních účinků na lidský organizmus.

Třetí část pak představuje výčet jednotlivých zkoušek kabelů. V práci je popsán postup provádění zkoušek kabelů a základní informace o jednotlivých zkušebních zařízeních, potřebných pro tyto zkoušky. Zkoušky jsou upraveny evropskými harmonizovanými normami. Tyto normy upravují postupy zkoušení kabelů v oblasti požární ochrany. Zkoušky jsou většinou destruktivního charakteru a tedy ověřují vlastnosti vzorku kabelu. V normách je často uveden tzv. čas kondicionování, tedy jakéhosi nastavení výchozích vlastností kabelů před zkouškou. Díky tomu se doba zkoušek pohybuje v řádu hodin až dnů. Pro každou zkoušku je také zapotřebí mít patřičné zkušební vybavení, které je důvodem relativně náročných finančních požadavků na zkoušky. Součástí každého popisu zkoušky ve třetí části práce je název platné normy, která samotnou zkoušku upravuje.

Podle českých zákonů by dodržování platných norem mělo být pro firmy nepovinné. Firmy by normy měly chtít splňovat kvůli kvalitě svých služeb. Některé parametry kabelů jsou ovšem dány vyhláškou č. 268/2011 Sb., O technických podmínkách požární ochrany,

a tím vzniká jakýsi střet zájmů v této oblasti. Některé zkoušky jsou tím prakticky uzákoněné a tedy povinné. Tento problém je ovšem řešitelný pouze na státní, potažmo evropské úrovni. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví se touto problematikou v oblasti uvádění technických norem v právních předpisech zabývá.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SCHENK, Ferdinand. *Jak se dělá kabel*. [online]. Dostupné z: http://old.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44238
- [2] ŠAVEL, Josef. *Elektrotechnologie: materiály, technologie a výroba v elektronice a elektrotechnice*. 4., rozš. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 314 s. ISBN 80-7300-190-X.
- [3] BUCHLOVSKÝ, Emil, František HOUŽVIČKA a Pavel GREŠÍK. *Výroba kabelů a vodičů*. Praha: SNTL, 1986. ISBN 80-708-0617-6.
- [4] ŠVORČÍK, V. Polymery: Polymery "stručně". In: [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. 276 s.
- [6] MLEZIVA, Josef a ŠŇUPÁREK, Jaromír. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2., přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. 537 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [7] GEDDE, U.W. *Polymer physics*. London: Chapman & Hall, 1995. x, 298 s. ISBN 0-412-59020-4.
- [8] VIK, Robert. *Retardéry hoření pro elektrotechnické aplikace*. V Plzni, 2007. Disertační práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Eva Kučerová.
- [9] EFRA. *Flame retardants: Integral to fire safety* [online]. [2015] [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.cefic-efra.com/index.php/en/home>
- [10] WILKIE, C. A., ed. a MORGAN, Alexander B., ed. *Fire retardancy of polymeric materials*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, ©2010. xiii, 823 s., [16] s. obr. příl. ISBN 978-1-4200-8399-6.
- [11] VERNER, Daniel. *Chemie hoření* [online]. 2011 [cit. 2015-05-31]. Dostupné také z: <http://uloz.to/x34xTg7/chemie-horeni-pdf>
- [12] MENTLÍK, V, R POLANSKÝ a P PORSR. Termická analýza tepelného rozpadu materiálů PEVA a PEUU. In: MENTLÍK, Václav (ed.). *Diagnostika '07*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2007, s. 1. ISBN 978 – 80 – 7043 – 557 – 1. Dostupné také z: <http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce3/63.pdf>
- [13] SPECIALCHEM. *Melamine derivatives* [online]. [2015] [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://polymer-additives.specialchem.com/>
- [14] OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION. *Melamine* [online]. 2005 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_250440.html
- [15] NAJMANOVÁ, Hana. *Intumescentní požární nátěry – životnost, obnova, laboratorní kontrola kvality složení*. Praha, 2013. Dostupné také z: http://people.fsv.cvut.cz/~wald/edu/134SEP_Seminar_IBS/2012/09_SP12_%20Najmanova_Intumescentni.pdf. Seminární práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Marek Pokorný.
- [16] POKORNÝ, Marek. TZBINFO. *Protipožární ochrana kabelových instalací* [online]. 2008 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4809-protipozarni-ochrana-kabelovych-instalaci>

- [17] *Intumescentní protipožární nátěry* [online]. 2008, 29.12.2008 [cit. 2015-06-01]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/intumescentni-protipozarni-natery/>
- [18] KUPILÍK, Václav. Protipožární nátěry. In: *Ochranné systémy stavebních konstrukcí* [online]. 2007 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/technici/3/3-4_Protipozarni_natery.pdf
- [19] PINKEROVÁ, Martina. *Diagnostický systém pro hodnocení materiálů kabelových plášťů*. Plzeň, 2010. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Václav Mentlík.
- [20] BUCHTOVÁ, Jana. TZBINFO. *Protipož. Funkčnost kabelů a kabelových nosných konstrukcí v případě požáru z hlediska technických a právních předpisů* [online]. 2008 [cit. 2015-06-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pozarni-ochrana/6285-funkcnost-kabelu-a-kabelovych-nosnych-konstrukci-v-pripade-pozaru-z-hlediska-technickych-a-pravnich-predpisu>
- [21] PRAKAB PRAŽSKÁ KABELOVNA. *Zkoušení* [online]. [2015] [cit. 2015-06-05]. Dostupné z: <http://www.prakab.cz/company/quality/testing-centre/>
- [22] *ZP-27/2008 - Pro stanovení třídy funkčnosti kabelů a kabelových nosných konstrukcí - kabelových tras v případě požáru*. Novela zkušební předpisu ZP-27/2006. Praha: Pavus, 2008.
- [23] *ČSN EN 50399 - Zkušební metody kabelů v podmínkách požáru - Měření uvolněného tepla a kouře na kabelech v průběhu zkoušky šíření plamene - Zkušební zařízení, postupy a výsledky*. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [24] *ČSN EN 50267 - Zkoušky plynů vznikajících při hoření materiálů z kabelů*. Praha: ÚNMZ, 1999.
- [25] *ČSN EN 61034 - Měření hustoty kouře při hoření kabelů za definovaných podmínek*. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [26] *ČSN IEC 60331 - Zkoušky elektrických kabelů za podmínek požáru - Celistvost obvodu*. Praha: ÚNMZ, 2001.
- [27] *ČSN EN ISO 4589 - Plasty - Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla*. Praha: ÚNMZ, 1998.
- [28] *ČSN EN 60332 - Zkoušky elektrických a optických kabelů v podmínkách požáru*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [29] *ČSN EN 50200 ed. 2 - Zkušební metoda odolnosti proti požáru pro nechráněné kabely malých průměrů určených pro použití v nouzových obvodech*. Ed. 2. Praha: ÚNMZ, 2007.
- [30] BRABEC, Lumír. Problematika zachování funkce elektrických kabelových zařízení při požáru. *ELEKTRO* [online]. 2002, (01/2002) [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/problematika-zachovani-funkce-elektrickych-kabelovych-zarizeni-pri-pozaru--15034>
- [31] PETEREK, Jan. *Kabelové rozvody z hlediska projektů požární bezpečnosti*. Profielektrika.cz [online]. 2011 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/kabelove-rozvody-z-hlediska-projektu-pozarni-bezpecnosti>