

Nové trendy v materiálech používaných pro izolaci a opláštění kabelů

M. Pinkerová, R. Polanský

Katedra technologií a měření, Fakulta elektrotechnická, ZČU v Plzni,

Univerzita 26, Plzeň

E-mail : mpinkero@ket.zcu.cz

Anotace:

Plastické hmoty se v kabelovém průmyslu vyskytují tak často, že již téměř zcela nahradily materiály klasické. Používání plastických hmot je však často spojováno s rizikem požáru, obzvláště jsou-li tyto látky aplikovány v prostředí, kde se může vyskytovat výbušná atmosféra anebo další hořlavé látky (zejména ve formě prachu). Jednou z možností, jak snížit hořlavost plastů, je změnit jejich složení. Příkladem může být přimíchání retardérů hoření do základního polymeru. Článek popisuje nové trendy v používání plastických materiálů jako kabelových izolací či pláštěů, třídí kabely dle jejich funkčních schopností při požáru a vysvětluje odbornou terminologii z oblasti požární bezpečnosti kabelů.

Annotation:

Thanks to frequent usage of plastics, ordinary materials were almost replaced from cable industry. But the term - *plastics* is often connected with the risk of fire, especially if these materials are used in proximity of explosive atmosphere or other flammable substances (mainly in the form of dust). One choice to decrease the flammability is to change their composition. An example could be to mix of fire retardants to a basic polymer. The article describes new trends in plastics for cables insulation, classifies cables according to their functional ability during a fire and explains technical terminology from the fire safety range.

ÚVOD

Poslední dobou jsou kladeny stále větší nároky na požární bezpečnost míst se zvýšenou hrozbou požáru či s větším výskytem osob. Mezi tato místa patří zejména veřejné budovy jako nákupní centra, nemocnice, divadla, kina, hotely ale i tunelové stavby a garáže. Výjimkou nejsou ani jaderné elektrárny. Z toho důvodu vzniká celá řada nových norem a předpisů, ve kterých se objevují nové pojmy, které jsou v široké veřejnosti ne vždy vykládány zcela správně. Proto zde budou v první řadě vysvětleny základní pojmy z oblasti požární bezpečnosti kabelů. V této souvislosti se často hovoří např. o nehořlavých kabelech, což je ale právě příklad nesprávného označení.

Cílem článku je poskytnout souhrnné informace o požadavcích pro bezpečné kabely a jejich požárním testování doplněné příslušnými normami.

Dříve byly téměř ve všech aplikacích používány kabely z polyvinylchloridu (PVC), který obsahuje halogenní prvek – chlór. Později bylo zjištěno, že při hoření tento plast vytváří hustý dým, který je jedovatý a karcinogenní. Také působí velice korozivně na konstrukce budov a tím urychluje jejich degradaci. Z toho plyne, že v případě vypuknutí požáru nevznikají nijak přívētivé podmínky na bezpečnou evakuaci osob. Ještě v roce 1950 byla průměrná doba od zapálení ohně k jeho rozšíření 15 minut. Dnes, jak uvádí [1], se smrtelná rizika vyskytují po pouhých 3 minutách. Přičemž nejčastěji

identifikovaná příčina smrti z požárního incidentu není upálení, nýbrž udušení jedovatými plyny. [1, 2] Z tohoto důvodu byl vyvinut soubor nových kabelů s malou požární nebezpečností Low Fire Hazard Cables (LFHC). Tyto kabely mají omezené šíření plamene a uvolňování tepla, nízké emise kouře a nebezpečných plynů a nesmí z nich při hoření odkapávat hořící kapky. Poskytují tak více času k útěku a méně nebezpečné prostředí pro záchranné týmy.

TERMINOLOGIE

Nejprve tedy k vysvětlení několika základních pojmů z oblasti požární bezpečnosti kabelů:

- **Celistvost obvodu** je schopnost elektrického obvodu setrvat funkčním při vystavení předepsanému zdroji plamene po stanovenou dobu (ČSN IEC 60331-21).
- **Samozhášivost** je odolnost proti šíření plamene. Výrobek nebo materiál je samozhášivý, pokud po oddálení zdroje plamene za normou stanovený čas plamen zhasne. Kabely zkoušené dle této normy se taktéž nazývají oheň nešířící nebo oheň retardující. Tyto zkoušky se řídí dle ČSN EN 60332-1-1 a ČSN EN 60332-3-22.
- **Bezhalogenový (bezkorozivní) materiál** neobsahuje skupinu halogenových prvků (fluor, chlor, brom, jód, astat). Tyto prvky při hoření uvolňují látky, které jsou v podobě toxického dýmu nebezpečné pro člověka a zároveň způsobují korozi kovů. Bezhalogenové plasty jsou v tomto směru bezpečnější a výrobky z nich jsou vhodné především do prostor určených jako shromažďo-

vací a pro únikové cesty. Tyto materiály musí splňovat doporučení normy ČSN EN 50267-2-3 a ČSN EN 61034-2.

- **Kyslíkové číslo** představuje minimální koncentraci kyslíku v kyslíko-dusíkové směsi, která podporuje hoření hodnoceného vzorku (ČSN ISO 4589-2).
- **Ohnidolný kabel** je výrobek s izolační integritou, který má zvýšenou odolnost proti působení plamene po určitou dobu (dle ČSN IEC 60331). Kabel tak musí setrvat při zkoušce funkční při stanoveném průtoku plynu, rozměru hořáku a teplotě vyšší než 750 °C po dobu minimálně 180 minut.
- **Rychlost uvolňování tepla** je tepelná energie uvolněná daným členem za jednotku času během hoření za specifikovaných podmínek (viz ČSN EN 50399).
- **Rozsah šíření plamene** je určen jako rozsah poškození izolace měřený pomocí začátku zuhelnatění. Poté, co přestala nebo byla uhašena veškerá hoření nebo doutnání kabelů, musí být zkoušený vzorek vytřen do čista. Začátek zuhelnatění musí být stanoven ostrým předmětem, kterým se zatlačí na povrch kabelu. V místě, kde se povrch změní z pružného na křehký (drolivý) povrch, se nachází počátek zuhelnatění (viz ČSN EN 50399).
- **Třída reakce na oheň.** Rozhodnutí evropské komise č. 2006/751/EC zařadilo kabely mezi stavební výrobky, které jsou běžně hodnocené dle jejich reakce na oheň. Proto se ani kabely tomuto hodnocení již nevyhnu. Jsou rozděleny do 7 kategorií značených A_{ca}, B1_{ca}, B2_{ca}, C2_{ca}, D_{ca}, E_{ca} a F_{ca} podle jejich možného přispění k požáru – zjišťuje se uvolňování tepla a šíření plamene. V těchto zkratkách velká písmena značí třídu stavebního materiálu a spodní index ca představuje zkratku pro kabel z angl. cable. Mezi doplňková kritéria patří vývin dýmu (jenž nese označení s1 až s3 z angl. smoke) a odkapávání hořících částic (značené d0 až d2 z angl. droplets). V ČR byly požadavky na kabely a jejich použití zavedeny vyhláškou MV č. 23/2008 Sb, a aktualizovány vyhláškou MV č. 268/2011 Sb., která předepisuje, dle [1], použití kabelů třídy B2_{ca}, s1, d1 a v některých případech i třídu D_{ca}. Třída D_{ca} je však definována bez přídavných kritérií, a tak třídě bohužel mnohdy vyhoví i upravené halogenové kabely se všemi negativními důsledky jakými jsou hustý jedovatý kouř a korozivita zplodin.

RETARDÉRY HOŘENÍ

Jak již bylo řečeno, PVC kabely při vypuknutí požáru neposkytovaly příliš času na bezpečný únik osob do bezpečí. Pro záchranu lidských životů bylo nutné tento čas prodloužit. Vystala tedy otázka, jak snížit

vývin kouřových plynů při požáru budov, potenciálně pak samotných kabelů.

Jedním z doporučených postupů byla změna složení plastických hmot, ze kterých se kabely vyráběly. Vzniklo tedy množství nových plastických směsí, které se vyznačují různými vlastnostmi jako bezhalogenovost, ohnidolnost a jiné. K dosažení takových vlastností bylo nutno plasty plnit různými aditivami, mezi něž patří především retardéry hoření. Jak tedy retardér hoření funguje a co se vlastně v plastech během hoření odehrává?

Jsou-li polymery vystaveny dostatečné teplotě, rozkládají se, čili podléhají pyrolýze, přičemž se z nich uvolňují těkavé hořlavé látky, které se pak v kombinaci se vzduchem vznítí. Pro představu jsou v tab. 1 uvedeny teploty rozkladu a vznícení některých běžně používaných polymerů. [3]

Tab. 1.: Teploty rozkladu a vznícení běžných plastů [3]

Polymer	Tepelný rozklad [°C]	Teplota vznícení [°C]
LDPE (nízkohustotní polyetylen)	340 – 440	350
PP (polypropylen)	330 – 410	390 – 410
PS (polystyren)	300 – 400	490
PVC (polyvinylchlorid)	200 – 300	455

Přičemž rozdíl mezi teplotou rozkladu a vznícení je dle [4] následující: Tepelný rozklad polymeru je jev, během kterého se z materiálu při určité teplotě uvolňují hořlavé těkavé látky, které se po smíšení se vzduchem vznítí. Vznícením se tedy nazývá samovznícení těkavých látek (bez působení vnějšího zápalného zdroje), které se z polymeru během rozkladu uvolní. Proces hoření je pak exotermický pouze za předpokladu, že vzniklá energie potlačí endotermické požadavky potřebné pro pyrolýzu polymeru. [3]

Retardéry hoření jsou tedy různé chemické látky, které mohou hoření různými způsoby potlačit, či zpomalit. U efektivních retardérů hoření by potom kromě jejich schopnosti zpomalit hoření měla být podmínka i omezení vzniku toxických zplodin. Retardace hoření je pak proces, při kterém dochází ke zpomalení (retardaci) růstu a šíření ohně během hoření materiálu anebo během jeho přímému vystavení ohni. [4, 5]

Mechanismy retardace hoření

Retardéry hoření se dle [5] mohou dělit do dvou základních skupin. V první skupině jsou zástupci látek, které blokují požár fyzikálně a druhou skupinu představují retardéry, které používají chemické reakce k zastavení hoření materiálu.

Mezi fyzikální způsoby blokace hoření lze zařadit: [5]

- ochlazení materiálu formou endotermní reakce (projeví se jako uvolnění vodní páry a CO₂, což představuje proces ředění radikálů v plamenu);
- zabránění toku tepla a přísunu kyslíku k polymeru vytvořením ochranné vrstvy.

Blokace hoření chemickou cestou pak zahrnuje více způsobů, které se odlišují tím, v jaké fázi (plynná/pevná) chemické reakce probíhají: [5]

- v plynné fázi může retardér zabránit hoření tak, že se z něj vlivem chemické reakce uvolní látka, které zajistí pokles koncentrace radikálů pod kritickou hodnotu, následkem čehož je uhasnutí plamene (nicméně zasahování do reakcí v plamenu často vede ke zvýšení toxicity vznikajících plynů, z čehož plyne, že se od takových postupů spíše upouští);
- v pevné fázi může retardér rozložit polymer tak, že taje a odtéká od plamene jako kapalina, čímž je ale požární bezpečnost ohrožena hořlavými kapkami; nebo retardér vytváří zuhelnatělou vrstvu na povrchu, a tím snižuje tvorbu kouře a dalších produktů spalování; anebo při hoření nabobtná, což poskytne výbornou ochrannou bariéru.

Konkrétní retardéry hoření

V kabelovém průmyslu se nejčastěji využívá anorganických retardérů hoření zejména pro jejich nezávadnost vůči životnímu prostředí. Tyto retardéry fungují na principu fyzikální blokace hoření. Během hoření dochází podle [6] k endotermické reakci, která ochlazuje materiál. Dochází k uvolnění velkého množství vody, čímž se ředí hořlavé plyny. Retardant tedy absorbuje teplo ze zóny hoření, a tím snižuje možnost pokračování hoření.

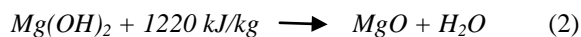
Prvním a nejpoužívanějším zástupcem je **hydroxid hlinitý Al(OH)₃**, známý pod zkratkou ATH, který se používá v řadě elastomerů, termoplastů, reaktoplastů a pryskyřic zpracovávaných při teplotách do 200 °C. Právě při 200 °C pak nastává rozklad tohoto retardéru hoření, který probíhá dle následující rovnice [6]:



V kombinaci s polypropylenem se často používá ATH společně s tzv. „charforming agent“. Rozklad takovéto směsi pak představuje právě kombinaci dvou mechanismů fyzikální retardace hoření. Charforming agent je sloučeninou polyfosfátu amonného, melaminu a pentaerutritolu. Při působení tepla se retardér hoření rozkládá na vodu a Al₂O₃, čímž se materiál zasažený plamenem ochlazuje, ovšem charforming agent navíc vytváří jakousi ochrannou bariéru, která brání přístupu plamenu k polymeru a tedy i vývinu kouře.

Kvůli relativně „nízké“ teplotě rozkladu ATH se dále používá **hydroxid hořečnatý Mg(OH)₂**, známý pod zkratkou MGH. Počátek rozkladu tohoto retardéru nastává až v teplotním intervalu od 300 do 340 °C. Proto je možné ho používat i pro polymery jako je

polypropylen, který se zpracovává při vyšších teplotách. Nevýhodou MDH bývá špatná schopnost dispergace částic v základním polymeru. Právě rozptýlení je ale velice důležité, protože dobrá homogenost rozložení retardéru v matici dává materiálu jeho výborné požární vlastnosti. Rozklad hydroxidu hořečnatého probíhá dle následující rovnice [6]:



Procento plnění základního materiálu anorganickými retardéry hoření bývá okolo 60 %, což je velká zátěž pro mechanické vlastnosti finálního produktu. Naštěstí jsou i při těchto procentech mechanické vlastnosti kabelů vyhovující a tyto retardéry se tedy mohou používat a dále neškodit životnímu prostředí.

LOW FIRE HAZARD CABLES

Označení kabelů LFHC nahrazuje původní zkratku HFFR, jejíž význam lze z anglického *Halogen Free Flame Retardant* přeložit jako bezhalogenní a oheň retardující kabely. Nové označení svým významem znamená ve své podstatě totéž, ale *low fire hazard cables* se překládá jako kabely s malou požární nebezpečností. Tyto kabely odpovídají nové legislativě Evropské unie o technických podmínkách požární ochrany staveb z hlediska elektrických instalací (viz vyhláška MV č. 268/2011 Sb.). [7] Kabely LFHC se rozdělují do čtyř základních skupin dle jejich požárních schopností a tedy i dle náročnosti jejich zkoušení. V dalším textu budou specifikovány jednotlivé zkoušky, které je nutno provést u každého typu LFHC kabelů.

1. LFHC kabely typu „R“

Kabely typu R představují první a nejméně chráněnou skupinu kabelů proti požáru. Tyto kabely jsou oheň retardující, neboť jejich izolace má za úkol oheň nešířit a v lepším případě ho i potlačovat. Z kabelu se nesmí uvolňovat příliš mnoho dýmu a ten nesmí být toxický. Nicméně o funkčnosti kabelu během požáru v těchto podmínkách není žádná zmínka. Splňují tedy požadavky provozů, kde se vyžaduje odolnost vůči šíření plamene neboli samozhášivost jak samostatně vedeného kabelu (ČSN EN 60332-1-1), tak svazku kabelů dle ČSN EN 60332-3-22 (viz obr. 1.), dále hustota dýmu daná normou ČSN EN 61034-2 a korozivita zplodin hoření dle ČSN EN 50267-2-2. Tyto kabely mají většinou oranžovou barvu pláště.



Obr. 1.: Průběh zkoušky šíření plamene kabelů ve svazku [8]

2. LFHC kabely typu V

Pro kabely typu V platí všechny podmínky a normy uvedené pro skupinu kabelů typu R a dále norma ČSN IEC 60331 „Zkouška funkční schopnosti kabelů při požáru“ (viz obr. 2.). V tomto případě již tedy kabel musí i při vypuknutí požáru prokázat své funkční vlastnosti, a to obvykle po dobu 180 minut při teplotě 750 °C. Takovéto kabely se pak značí V180, mají obvykle barvu pláště hnědou a používají se např. pro osvětlení únikových cest a pro evakuační výtahy.



Obr. 2.: Ukázka zkoušky funkční schopnosti kabelů při požáru [8]

3. LFHC kabely s funkční integritou systému

Pro tyto kabely platí všechny normy uvedené pro LFHC kabely typu V a dále Zkušební předpis ZP 27/2008 „Funkční integrita systému kabelové trasy“. Dle tohoto zkušební předpisu je možné kabely označit P 30 až P 90 (resp. PH 30 až PH 90 – R, kde H značí upravenou teplotní křivku¹ a R je třída požární odolnosti podpěrných konstrukcí). Během této zkoušky jsou kabely instalovány do zkušební komory na kabelové podpěrné lávky a zatíženy normovou teplotní křivkou, která představuje v první části rychle rostoucí teplotu (cca 600 °C během 10 minut) a v druhé části mírně rostoucí teplotu, jejíž maximum je 1000 °C (nárůst teploty od 600 do 1000 °C trvá cca 40 minut).



Obr. 3.: Ukázka zkoušky zachování integrity kabelové trasy; vlevo – průběh zkoušky; vpravo – stav kabelů po zkoušce [8]

4. LFHC kabely dle CPR (Construction Product Regulation)

Tato skupina kabelů byla již dostatečně popsána v kapitole Terminologie. Kabely se musí řídit novými předpisy, které byly shrnuty v normě ČSN EN 50399 „Zkušební metody kabelů v podmínkách požáru“, která je platná od 1. 2. 2012. Tato norma rozřazuje kabely dle jejich reakce na oheň do sedmi kategorií podle jejich možného přispění k požáru.

¹ Upravená teplotní křivka má stejný počáteční průběh jako normová teplotní křivka, ovšem po dosažení 842 °C si tuto teplotu udržuje až do ukončení zkoušky (viz ČSN EN 1363-1).

ZÁVĚR

V případě požáru jakékoli budovy se klade velký důraz především na rychlou evakuaci osob do bezpečí. Bezpečnému úniku ve velké míře napomáhají oheň retardující a ohni odolné kabely instalované na protipožárních konstrukcích. Požární a evakuační systémy projektované dle aktuálních norem dokáží prodloužit „bezpečnou“ únikovou dobu až na pětinasobek oproti použití hořlavých kabelů např. z PVC. Právě z tohoto důvodu je třeba povinnou instalaci LFHC kabelů obzvláště do veřejných budov nepodceňovat.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ZČU č. SGS-2012-026 „Materiálové a technologické systémy v elektrotechnice“ a Evropským fondem pro regionální rozvoj Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci projektu Regionální inovační centrum elektrotechniky (RICE), číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0094.

LITERATURA

- [1] HANZL, Jaroslav. Kabelové trasy s funkční schopností při požáru: Praktické užití při projektování a realizaci staveb. [online]. s. 4, leden 2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.vyrobekabelu.cz/images/stories/files/AVK%20LFHC%202012%20prednaska.pdf>
- [2] VĚŽNÍKOVÁ, Hana, Václav VAŇÁSEK a Milan MACURA. Bezpečnostní požadavky pro dopravní pásy používané v podzemí. *Požární ochrana 2007: sborník přednášek* [online]. 2007, 674 - 682 [cit. 2012-04-27]. ISSN 978-80-7385-009-8.
- [3] PRICE, Dennis; ANTHONY, Geoffrey; CARTY, Peter. *Fire retardant materials*. Boca Raton, Fla : CRC Press, 2001. Introduction: polymer combustion, condensed phase pyrolysis and smoke formation, 444 s. Dostupné z: <http://www.knovel.com/knovel2/Toc.jsp?BookID=808>. ISBN 0-8493-3883-2.
- [4] MORGAN, Alexander B.; WILKIE, Chlarel A. *Fire Retardancy of Polymeric Materials*. Second edition. Boca Raton, Fla : CRC Press, 2010, 853 s. ISBN 1420083996.
- [5] *Fire retardancy of polymers: new strategies and mechanisms*. Editor T Hull, Baljinder K Kandola. Cambridge: Royal Society of Chemistry, c2009, xx, 433 s. ISBN 978-0-85404-149-7.
- [6] M. Sain, S.H. Park, F. Suhara, S. Law, “Flame retardant and mechanical properties of natural fibre-PP composites containing magnesium hydroxide”, *Polymer Degradation and Stability*, vol. 83, s. 363 – 367, 2004.
- [7] HANZL, Jaroslav. AVK LFHC 2012 prezentace.ppt. In: *Asociace výrobců kabelů a vodičů* [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.vyrobekabelu.cz/technicke-normy-a-predpisy.html>
- [8] Interní materiály společnosti Kabelovna Kabex, a.s. Politických vězňů 84, Holýšov 34562, www.kabex.cz