

Jak se dělá kabel

Předtím, než budou uvedeny podrobnosti o konstrukci a výrobě kabelů, je třeba specifikovat, co to vlastně kabel je. Ačkoliv původně slovo kabel označovalo lano, postupným vývojem odborníci došli k označení soustavy paralelně vedených vodičů v jednom svazku se společnou vnější izolací (pláštěm). Vodiče v takovém kabelu mohou být buď elektrovedné k přenášení elektrické energie a signálů, nebo optická vlákna k přenášení signálu. Je ovšem nutné říci, že jako kabel jsou v současnosti označovány i některé systémy s jedním vodičem, např. jednožilové kabely pro fotovoltaické systémy. V poslední době stále více vyvstává otázka použití supravodivých kabelů k přenosům elektrické energie na určité vzdálenosti. Protože u supravodivých kabelů se jedná spíše o čerstvé využití výzkumu, ty zde nebudou popisovány.

Rozdělování kabelů do skupin není tak jednoduché, jak by se mohlo zdát. Kabely je možné rozdělovat podle velkého množství parametrů – silové, sdělovací, měřicí, kontrolní, automatizační, výtahové nebo naopak flexibilní, tepelně odolné, oheň nešířící, ohnivodné, také kabely z PVC, silikonové, pryžové, navíc množství kabelů přechází z jedné skupiny do druhé i v rámci výběru jednoho parametru, zatímco některé jako by nepatřily nikam (např. kompenzační kabely a prodlužovací vedení k termočládkům). Těmto specialitám se v tomto článku nelze věnovat, na to by bylo třeba v horším případě celé vydání časopisu, v lepším případě kniha.

V základě lze kabely rozdělit do tří kategorií:

- silové kabely pro vedení silové elektrické energie na různých napěťových hladinách,
- sdělovací kabely pro vedení signálu,
- kabely s optickými vlákny pro vedení signálu.

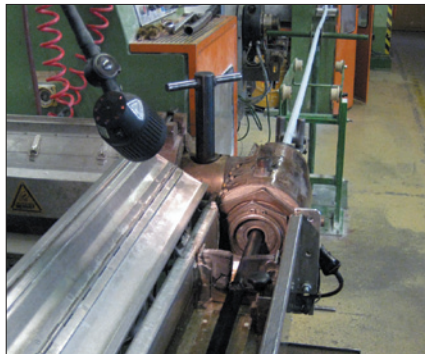
Silové metalické kabely

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

Jako materiál pro elektrovedná jádra těchto kabelů se nejčastěji používají hliník a měď. Protože hliník má zhruba 60 % vodivosti mědi, musí být pro stejný účel zvolen větší průřez jádra a výsledný kabel je potom silnější. Je ale podstatně lehčí a levnější než stejně dimenzovaný kabel měděný, a to mu dodnes zabezpečuje místo na pomyslném kabelářském slunci. Přesto se v poslední době od hliníkových jader upouští, zejména v domovních rozvodech, kde se pro nevyhovující mechanické vlastnosti hliník neosvědčil. Je křehký a vodiče se snadno lámou, časem oxiduje a potahuje se vrstvou nevodivého Al_2O_3 , čímž roste přechodový odpor ve svorkách. Navíc při průchodu elektrického proudu zvětšuje svůj objem a teplotu, a tím se postupně ve svorkách deformuje a uvol-

ňuje. Proto je hliníkové kontakty třeba průběžně dotahovat.

Měď je v tomto případě na výrobu elektrovedných jader téměř ideální, je to v běžných podmínkách po stříbře druhý nejlépe vodivý kov s velmi dobrou zpracovatelností a dobrou odolností proti atmosférické korozi. Ne-



Obr. 1. Hlava extrudéru

gativně ovšem reaguje s některými složkami izolace (pryží, sírou) nebo jinými kovy (kde tvoří článek), např. ve stínění kabelu, a bývá pro tyto případy použití elektrolyticky potahována stříbrem nebo cínem. V kabelářském průmyslu se používá elektrolyticky rafinovaná tažená žíhaná měď o čistotě 99,95 – 99,99 % o největším elektrickém měrném odporu $17,24 \times 10^{-9} \Omega \cdot m^{-1}$.

V názvosloví silových kabelů podle mezinárodní normy IEC se velikost jader uvádí ve jmenovitém průřezu. Není to ovšem přesná aritmetická hodnota, neboť jednotlivé normy zohledňují např. čistotu použitého kovu (ČSN

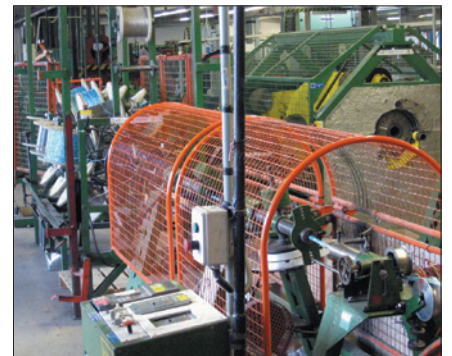
Tab. 1. Základní rozměry pevných jader silových kabelů

Průřez (mm ²)	Průměr (mm)
0,5	0,80
1,0	1,11
1,5	1,34
2,5	1,76
4,0	2,21
6,0	2,72
10,0	3,50
16,0	4,42

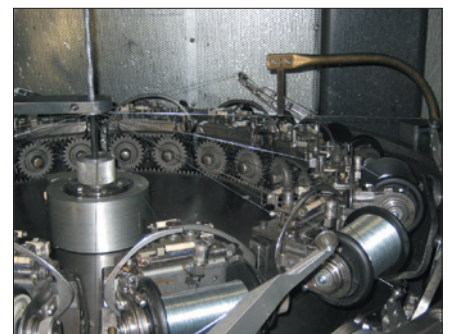
Ferdinand Schenk, Kabelovna Kabex, a. s.

EN 60228 stanovuje nejvyšší povolený odpor každého průřezu). Jádro tedy bývá v souladu s normou i v případě, že jeho skutečný průřez plně neodpovídá průřezu avizovanému. Standardní průřezy silových vodičů dnes odpovídají zhruba průměrům podle tab. 1.

Jádra o průřezu nad 16 mm² jsou již lanovaná z více drátů a zde již výsledný průměr záleží na způsobu lanování, komprimaci



Obr. 2. Lanovací stroj



Obr. 3. Oplétačka

lana apod. Pro pohyblivá připojení se do kabelu používají lanovaná jádra několika tříd, které určují počet a průřez jednotlivých drátů v lanovaném jádru. Použití lanovaných jader v různých třídách určuje míru ohebnosti výsledného kabelu.

Pro běžné použití se lze každodenně setkat především s kabely do 1 kV. Článek se tedy bude ubírat tímto směrem, neboť kabely pro vyšší a vysoká napětí se odlišují jak materiálově, tak technologií výroby.

Dalším vstupním materiálem, který vytváří kabel, je izolace jádra. Jádro je obaleno izolační hmotou, která z jádra vytvoří žílu, nebo také izolovaný vodič. V tzv. extrudérech (vytlačovacích strojích) (obr. 1) se za vysoké teploty na jádro nanáší pod vysokým tlakem roztavený plast. V extrudéru jsou plasty buď probarvovány podle norem přímo do směsi, stříkané na jádro, nebo se žíla barví pomocí koextrudéru se speciální extruzní hlavou me-

todou tzv. přístřiku, kdy se na hotovou bezbarvou izolaci nastříká tenká (skin) vrstva probarvené směsi. Zde je výhodou lepší výhledná napěťová pevnost izolace. S PVC kabely se lze setkat v podstatě na každém kroku, výrobci kabelů však přizpůsobují své výrobky k použití v nejrůznějších prostředích, kde může být PVC fyzikálně nebo chemicky nevyhovující. Podle požadavků zákazníka se již ve fázi žíly rozhoduje, zda bude kabel odolávat nízkým nebo vysokým teplotám, chemickým vlivům, záření, jak bude flexibilní nebo zda bude např. ohniodolný. Proto lze na jádrech silových kabelů nalézt polyetylen, etylenvinylacetáty (EVA), polyamidy, teflon nebo silikonový kaučuk (který se nanáší zastudena a vulkanizuje v horkovzdušném tunelu) nebo směsi na bázi těchto polymerů. Na kabely pro vyšší teploty se používá silikonový kaučuk nebo teflon, na bezpečnostní kabely PE nebo XLPE (sítovaný polyetylen s lepšími mechanickými vlastnostmi). Trendem poslední doby je zabezpečit místa s výskytem osob kabely s různým stupněm požární odolnosti. Již ve fázi žíly kabelu je nutné zabezpečit, aby napěťová pevnost izolace žil zůstala funkční i během požáru. V tomto případě se ještě před extruzí žilové směsi jádro kabelu omotá ohniodolnou skloslídovou páskou, která izolaci žil zabezpečí i po odhoření plastů, nebo se použije keramizující směs. Při požáru po vyhoření plastu zůstává zachována pouze minerální izolace.

Samostatnou kapitolou na této úrovni je ještě skladba kabelových žil v kabelu a konstrukce kabelové duše. Barvy žil v kabelu podléhají normám. Ale není to tak jednoduché. Obecně známá je norma ČSN 33 0165 z roku 1992, podle které všechno bezchybně fungovalo až do roku 2005. Tehdy byla vydána ČSN 33 0166 ed. 2, která v současné době předchází normu nenahrazuje, ale v podstatě platí obě souběžně. Nyní se tedy lze setkat s novým barevným značením kabelů J a O, stejně jako se starým A, B, C, D. Staré značení se sice nedoporučuje, ovšem nová norma není schopna pokrýt všechny původní kombinace (tab. 2).

Je-li zvolen materiál žil a jejich barevná skladba, lze přikročit ke konstrukci kabelové duše. U běžných typů silových kabelů bez doplňujících konstrukčních prvků se od konstrukce kabelové duše jako samostatné technologické operace upouští. Žíly jsou ve svazku vpuštěny do extrudéru, kde je na ně nanášena výplňová směs a plášť kabelu během jedné operace. Žíly jsou v kabelu stáčeny před bezprostředním najetím do extruzní hlavy, kde jsou opatřeny separačním materiálem – nejčastěji maskem, zajišťujícím lepší oddělení vrstev kabelu. Stáčení kabelové duše má svůj význam. Stočené žíly lépe drží tvar a konstrukce se nerozpadá, navíc kabelu usnadňují ohýbání, a tím i manipulaci. V uvedeném případě, kdy se kabelová duše stáčí těsně před vstupem do extrudéru, se používá technologie SZ zákrutu,

kdy jsou žíly kabelu protaženy skrz jakousi kolébku, která stáčí kabelovou duši střídavě doleva a doprava. V případě, že má finální výrobek obsahovat větší počet žil nebo vyžaduje dodatečnou konstrukční úpravu, stá-

se při této operaci také vkládají centrální a výplňové prvky, které zabezpečují ovalitu a pravidelnost konstrukce, a tahové prvky (skleněná nebo aramidová vlákna). Konstrukce kabelové duše bývá fixována do daného průměru PET páskou nebo fixačním vláknem.

Na kabelovou duši silových kabelů a ostatních typů kabelů, kde to vyžaduje jejich konstrukce, je v extrudéru nanášena kabelová výplň. Její funkcí je vyplnit prostor mezi žilami a zajistit ovalitu hotového kabelu. Není však nezbytná a na trhu se lze setkat i se silovými kabely bez výplňového prvku. Výplň většinou nemá v kabelu funkci izolantu, proto se k její výrobě používají levnější materiály, např. na bázi EPDM (etylenpropylenového kaučuku), které dobře přijímají různá plniva (např. křídlo). Výplň je nejčastěji nanášena během jedné operace v tandemu i s pláštěm kabelu; ovšem i nad výplň kabelu může pokračovat kabelová konstrukce.

Finálními prvky pod pláštěm specializovanějších silových kabelů jsou stínění a mechanické bariéry. Zde přichází na řadu oplétací stroje (obr. 3). Oplet, nejčastěji pocínovanými měděnými drátky, zajišťuje kabel proti pronikání rušivých elektromagnetických polí. Lze se zde ovšem setkat i s opletem železnými pozinkovanými drátky, které zajišťují funkční mechanickou ochranu kabelu a jiskrovou bezpečnost, nebo dokonce s pancéřem – ochranou kabelu podélně vpuštěnými hliníkovými nebo železnými pozinkovanými dráty ovitými železnou, pozinkovanou páskou. Stínění páskou a oplety bývají doplněny kontinuálním vodičem pro napojení.

Toto jsou již poslední výrobní operace – zbývá kompletní kabelovou konstrukci naposledy protáhnout extrudérem a nanést na ni kabelový plášť. Plášť kabelu drží konstrukci kabelu pohromadě a chrání ji před nepříznivými vnějšími vlivy, počínaje mechanickým namáháním a vystavením UV záření konče. Podle požadavků zákazníka je někdy do pláště vpuštěno i ocelové pozinkované lanko pro zavěšení kabelu. Jinak zde platí v podstatě to samé co pro kabelovou žílu. Běžným podmínkám vyhovují pláště z PVC, PVC kabely jsou používány asi nejvíce, ale v extrémních prostředích tyto kabely již v podstatě nemají šanci dostát náročnosti zkoušek podle nových norem. Stále častěji se lze setkat s oranžovými a hnědými plášti, které značí požárně

Tab. 2. Barevné značení žil silových kabelů

ČSN 33 0166 ed.2

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

ČSN 330 165 - kabely pro pevné uložení

	A	B	C	D
dvoužilové				
třížilové				
čtyřžilové				
pětížilové				
mnohožilové	počítací - vnější poloha počítací - vnitřní poloha směrová ostatní			

ČSN 330 165 - šňůry a ohebné kabely

	A	B	C	D
dvoužilové				
třížilové				
čtyřžilové				
pětížilové				
mnohožilové	počítací - vnější poloha počítací - vnitřní poloha směrová ostatní			

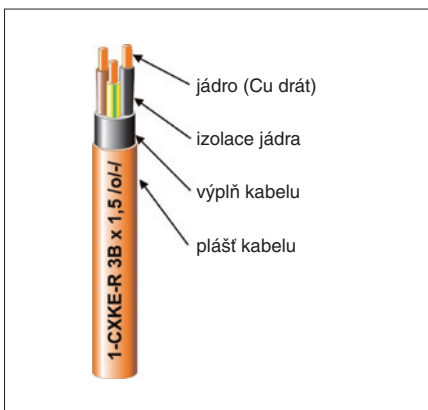
či se kabelová duše v jednotlivých polohách na lanovacím stroji (obr. 2). Zde se kabelová duše zároveň ovívá různými páskami podle požadavků zákazníka. Patří sem zejména voděodolné a ohniodolné bariéry a stínící pásky zabezpečující elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) kabelu. Do kabelové duše

to samé co pro kabelovou žílu. Běžným podmínkám vyhovují pláště z PVC, PVC kabely jsou používány asi nejvíce, ale v extrémních prostředích tyto kabely již v podstatě nemají šanci dostát náročnosti zkoušek podle nových norem. Stále častěji se lze setkat s oranžovými a hnědými plášti, které značí požárně

bezpečné kabely z HFFR (bezhalogenových nehořlavých směsí) (obr. 4).

Sdělovací metalické kabely

Sdělovací kabely pro vedení signálu jsou kabely, které vedou zpravidla nepatrnou energii (až 10^{-6} W), ovšem o frekvencích až 10^8 Hz. Protože jimi vedou jen nepatrné proudy, průměr jader obvykle nepřesahuje 1 mm. Na rozdíl od silových kabelů je u kabelů sdělovacích v názvosloví uváděn průměr jádra, nikoliv průřez. Využití kabelů souvisí s přenášenou frekvencí, čím je vyšší, tím jsou větší požadavky na podélnou elektrickou homogenitu jednotlivých přenosových prvků. Stejně rostou tyto požadavky v souvislosti s požadavky na délku kabelové trasy.



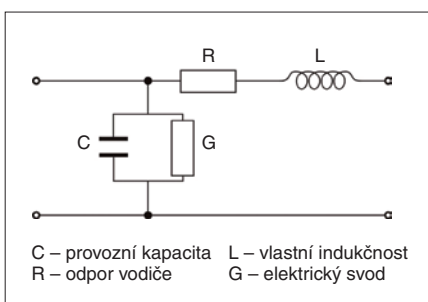
Obr. 4. Jednoduchá konstrukce bezhalogenového oheň nešířícího kabelu

Sdělovací kabel je relativně homogenní vedení s rovnoměrně rozloženými primárními parametry, které lze znázornit schématem podle obr. 5.

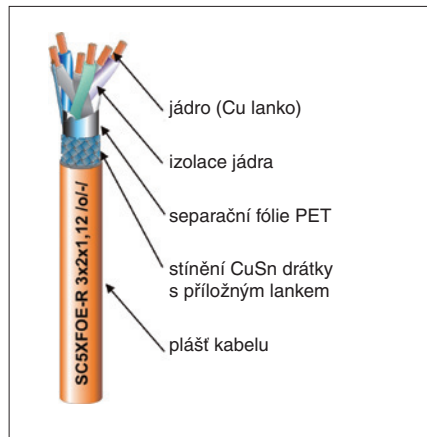
Vysokofrekvenční elektromagnetické vlny ve sdělovacích kabelech jsou přenášeny mezi vodiči. Izolace mezi vodiči má proto zásadní vliv na vlastnosti takového kabelového vedení (útlum signálu, maximální frekvence apod.).

Nejběžnějším typem sdělovacích kabelů pro přenos signálu je tzv. kroucená dvojlinka. V kabelu jsou žíly stáčeny do definované kroucených párů, ze kterých je potom stáčená duše kabelu (obr. 6).

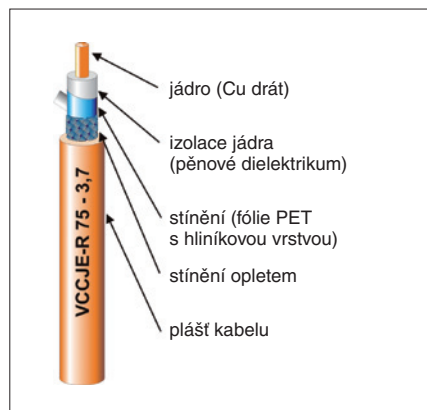
Žíly se do párů s různou délkou zkrutů stácejí proto, aby bylo utlumeno vzájemně



Obr. 5. Elektrické schéma kabelového vedení



Obr. 6. Sdělovací bezhalogenový oheň nešířící kabel se stíněním opletem



Obr. 7. Koaxiální bezhalogenový oheň nešířící kabel

elektromagnetické působení a přeslechy mezi páry. Přesto ve vyšších kategoriích samotné stáčení nestačí a páry jsou samostatně stíněny fólií PET s hliníkovou vrstvou.

Označování datových kabelů

- **UTP** nejsou stíněné páry ani kabel, jsou vhodné pro použití do nejběžnějších prostředí,
- **FTP** stíněný je celý datový kabel (všechny páry jedním společným stíněním), mírně zvýšená odolnost proti rušení,
- **S-FTP** každý pár kabelu je stíněný samostatně, navíc kabel je stíněný celkově, je vhodný do prostředí s nejtěžšími podmínkami s rušivými vlivy.

Kategorie

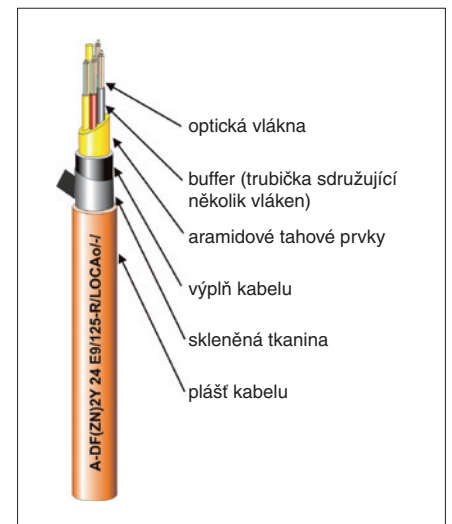
- kategorie 1 – přenosová rychlost do 1 $\text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$, dnes se téměř nepoužívá;
- kategorie 2 – šířka pásma 1,5 MHz při přenosové rychlosti přibližně 4 $\text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$;
- kategorie 3 – šířka pásma 16 MHz a přenosová rychlost do 10 $\text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$;
- kategorie 4 – šířka pásma 20 MHz a přenosová rychlost do 16 $\text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$;
- kategorie 5 a kategorie 5e – šířka pásma do 100 MHz, 1 $\text{Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$;
- kategorie 6 – šířka pásma 250 MHz, využívá se pro páteřní systémy v oblasti lokál-

ních sítí, dnes nejběžněji používaný kabel pro páteřní rozvody;

- kategorie 6a – šířka pásma 500 MHz, 10 $\text{Gbit}\cdot\text{s}^{-1}$;
- kategorie 7 – šířka pásma do 600 až 700 MHz.

Konstrukce duše slaboproudých kabelů se tedy neskládá ze samostatných žil, ale z tzv. prvků. – párů, čtyřek, křížových čtyřek nebo výjimečně kroucených trojek. Důraz je zde kladen na odstranění přeslechů. Uvedené kabely patří do tzv. symetrických kabelů, neboť oba vodiče jsou vzájemně v rovnocenné pozici. Další skupinou jsou asymetrické, tzv. souosé vysokofrekvenční sdělovací kabely – koaxiály pro přenos elektromagnetického vlnění řádově do 50 GHz. Na koaxiální kabely navazují vlnovody (vedení), avšak na jiném principu.

Protože rychlost šíření elektromagnetického signálu s se zvyšující se frekvencí roste, je rychlost šíření koaxiálními kabely vyšší než u kroucených dvojlinek. Koaxiální kabely jsou tvořeny vnitřním vodičem v podobě drátu nebo trubičky a vnějším koncentrickým vodičem. Vnitřní vodič je často označován jako jádro a vnější jako stínění. Prostor mezi vnějším a vnitřním vodičem je vyplněn nevodivým dielektrikem, nejčastěji plynem nebo pěnovým polyetylenem. Ten se extruduje na jádro podobně jako izolace v případě ostatních typů kabelů, ovšem při průběžném sledování kapacity. Vnější vodič tvoří ovin dielektrika měděnou fólií nebo PET fólií s hliníko-



Obr. 8. Konstrukce optického bezhalogenového oheň nešířícího kabelu pro JE

vou vrstvou, opletem nebo kombinací opletu a ovinu, popř. se na dielektrikum nalisuje kovová trubka (obr. 7).

Kabely s optickými vlákny

Samostatnou kapitolou mezi kabely jsou kabely s optickými vlákny. Optická vlákna vedou elektromagnetické vlnění v podélné ose (světlovody), a protože jsou ohebná, mohou být použita pro kabelové konstrukce.

Jsou odolná proti elektromagnetickému rušení a mají oproti metalickým kabelům nízký útlum signálu. Lze u nich dosáhnout přenosové rychlosti až $111 \text{ Gb}\cdot\text{s}^{-1}$ a jedno vlákno může přenášet více signálů v různých vlnových délkách. V současnosti se používají dva základní typy vláken: jednovidové (single mode) a mnohovidové (multimode), podle používaného intervalu vlnové délky světla. Jednovidová vlákna se používají pro rozvod signálu na velké vzdálenosti, vlákna vícevidová na vzdálenost do zhruba 500 m. Vlákna jsou sdružována v tzv. bufferech, trubičkách, které bývají plněny gelem, a dohromady může být v jednom kabelu až několik set vláken. Protože křemíková vlákna mají v podstatě nulovou tažnost, kabely jsou opatřovány množstvím podélně vpuštěných tahových prvků na bázi skla nebo uhlíkových vláken (aramid), aby se při pokládce vlákna nepoškodila. Rozvoj datových sítí v poslední době rozhodně nahrává výrobcům kabelů s optickými vlákny. Přestože tyto kabely jsou

relativně dražší než metalické sdělovací kabely, jejich výhody jsou obrovské. Velká přenosová rychlost, nízký útlum, ale především řádově větší kapacita optických kabelů z nich dělá hlavní adepty na dálková a silně zatížená vedení, kde klasické sdělovací kabely přestávají vyhovovat (obr. 8).

Plášťové materiály u slaboproudých a optických kabelů jsou podobné jako u silových kabelů, zejména PVC a polyetyleny, ovšem i zde platí, že každé specifické prostředí si žádá svou konstrukci, a tedy i své specifické materiály.

Závěr

Mezinárodní normy kladou důraz na bezpečnost kabelových konstrukcí nejen z hlediska jejich napěťové pevnosti a elektrické bezpečnosti, ale i z hlediska ostatních rizik spojených s používáním kabelů. V každém odvětví průmyslu a energetiky lze nalézt provozy vyžadující jejich certifikaci, včetně certifikace

kabeláží. Dnes se proto vyrábějí kabely odolné proti chemickým látkám, olejům, jiskrově bezpečné kabely do výbušného prostředí, kabely pro různé provozní teploty, kabely pro jadernou energetiku, které jsou certifikovány pro provoz i během maximální projektové havárie JE. V každodenní praxi se běžně používají kabely s různým stupněm odolnosti proti požáru, které postupně vytlačují z trhu kabely z PVC. V případě hoření kabelů z PVC se vyvíjí dusivý dým a dochází k rychlému zadýmení prostoru. Bezhalogenové samozhášivé kabely se vyznačují nízkým vývinem dýmu při požáru a nízkou korozivitou zplodin, takže umožňují evakuaci osob i poté, co se požár dostane do elektroinstalace. Kabely ohniodolné jsou dokonce kabely, které jsou schopny plnit svou funkci v ohni i několik hodin. Přesto ani to mnohdy nestačí a požadavky na bezpečnost kabeláže, a tedy i na její materiálovou konstrukci neustále rostou.

<http://www.kabex.cz>