

9

Materiály pro vodiče a kabely



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Co se v přednášce dozvíte?

- **VYJASNÍME SI ZÁKLADNÍ POJMY TÝKAJÍCÍ SE VODIČŮ A KABELŮ, KTERÉ SI LAICI ČASTO PLETOU.**
- **PŘEHLEDNĚ SI SHRNEME MATERIÁLY, KTERÉ MOHOU BÝT POUŽITY PRO VÝROBU JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ VODIČŮ A KABELŮ.**
- **SEZNÁMÍME SE S VELMI ZAJÍMAVÝMI KONSTRUKCEMI HOLÝCH VODIČŮ PRO VENKOVNÍ VEDENÍ.**
- **UJASNÍME SI, ŽE I KABEL MÁ SVOJI „DUŠI“ :-).**
- **UKÁŽEME SI JEDNODUCHÉ I SLOŽITÉ KONSTRUKCE KABELŮ, VČETNĚ SYSTÉMU JEJICH ZNAČENÍ.**
- **POPÍŠEME SI ZÁKLADNÍ TECHNOLOGICKÉ OPERACE POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ KABELŮ.**
- **DETAILNĚJI SE ZAMĚŘÍME NA KABELY, KTERÉ PŘI POŽÁRECH ZACHRAŇUJÍ LIDSKÉ ŽIVOTY.**



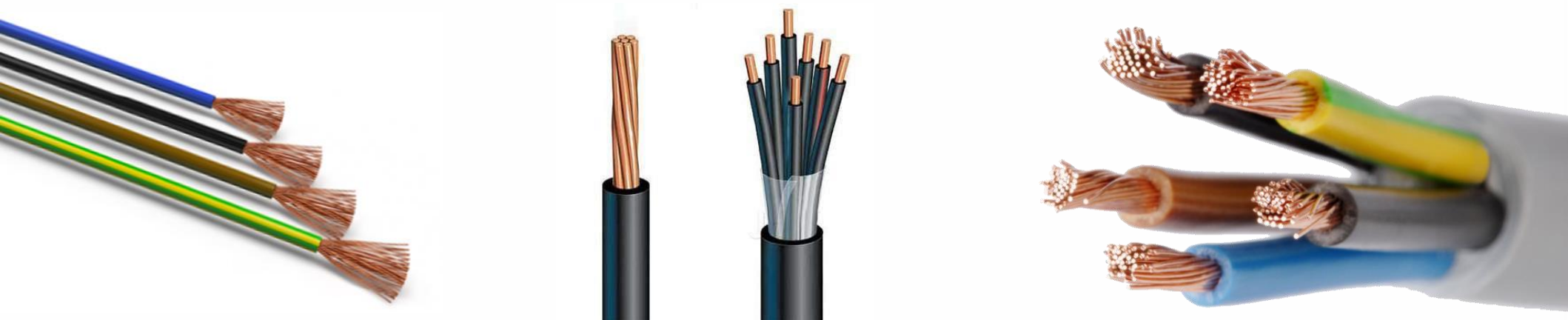
9.1 Vymezení základních pojmů

Co jsou to vodiče a kabely?

Vodiče jsou důležitou součástí elektrických rozvodů, ať již silových, nebo sdělovacích.

Vodič – je elektrický prvek určený k přenášení výkonu, nebo informace. Představuje širší pojem než kabel. Každý vodič má **jádro** a **izolaci**, které dohromady tvoří tzv. „**žil**u“. Podle toho, zda je izolace **pevná**, či ji tvoří pouze **vzduch**, můžeme vodiče dále dělit na: (i) **izolované** a (ii) **holé**.

Kabel – skládá se z **více žil**, které mají ještě další **společnou izolační vrstvu**. Kabel pak může mít i **více vrstev** společné izolace, případně **plášť**, **stínění**, **pancír** a další obaly. Velmi důležitý je tvar a provedení jádra vodiče.

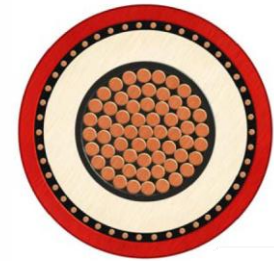


9.2 Provedení a materiály na jádra vodičů

9.2.1 Tvary jader vodičů

V technické praxi rozlišujeme různé **tvary jader** vodičů:

- **Kruhové** – nejčastější tvar jádra.
- **Segmentové** (také **sektorové**) – jádra jednotlivých žil mají tvar kruhových výsečí pro **lepší vyplnění prostoru** kabelu, nevýhodou je **nehomogenní pole**, používá se výhradně **v rozvodech nízkého napětí**.
- **Trubkové** – má možnost **chlazení**.
- **Obdélníkové** – zejména pro **holé vodiče a přípojnice**.
- **Trolejové** – vodič má charakteristický tvar; na bocích má **drážky**, které slouží k upevnění **úchytů** tak, aby držely drát dostatečně pevně a spolehlivě a přitom nezasahovaly do dráhy **sběrače**.

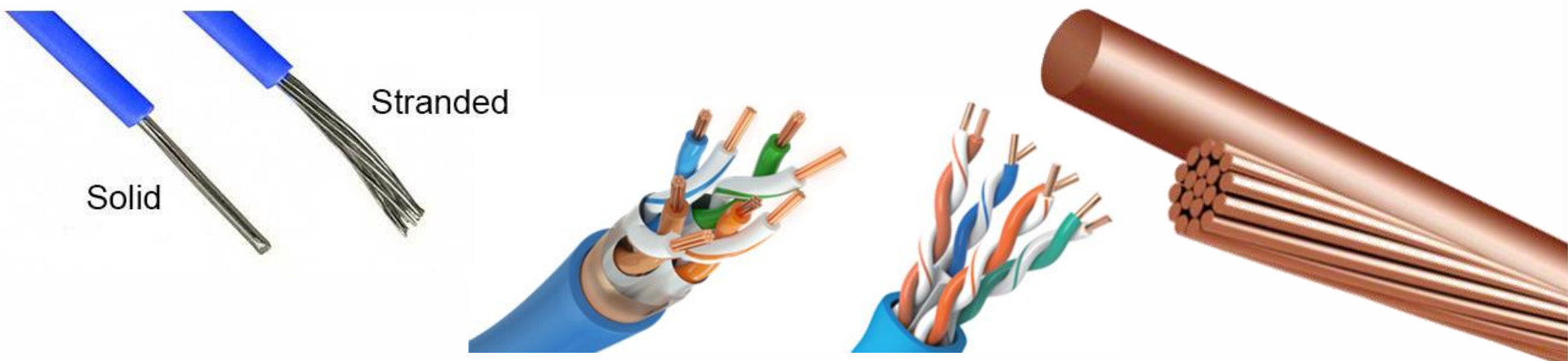


9.2.2 Provedení jádra vodičů

Solid vs Stranded

Definujeme dvě základní **provedení jader** vodičů a to:

- a) Plné jádro** – je tvořené **kompaktním materiálem**; používá se **pro menší průřezy**.
- b) Složené jádro** – průřez je tvořen **jednotlivými lanky**, což zaručuje **snazší tvarování** a značné **omezení skinefektu**.



Poznámka: „Skinefekt“ je jev, při kterém se průchodem střídavého proudu vodičem vytváří ve vodiči stř. mg. pole, které (ve vodiči) indukuje **vířivé proudy**. Vířivé proudy vytvoří *vlastní mg. pole*, které působí *proti původnímu* proudu, který teče vodičem. Proud ve vodiči je tak vytlačován k povrchu vodiče. Skinefekt *zvyšuje odpor vodiče* a v jeho důsledku dochází k *nadměrnému zahřívání izolace* (= možný el. průraz). Vliv skinefektu se *zvyšuje s frekvencí*. Při frekvenci 50 Hz je proud na povrchu vodiče přibližně o 1 % větší než uprostřed.

9.2.3 Materiály pro jádra vodičů

Mezi základní materiály pro výrobu jader vodičů řadíme:

- **Měď** s rezistivitou $\rho = 0,0168 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ je **nejčastěji** používaný materiál pro vodiče všech průřezů (viz **Přednáška 3**).
- **Hliník** s rezistivitou $\rho = 0,0287 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ je velmi často používaný spíše pro **větší průřezy** a pro **AlFe lana** (hliník viz **Přednáška 3**, AlFe lana podrobněji v této přednášce).
- **Ocel** s rezistivitou $\rho \cong 0,15 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ slouží jako **nosný vodič** v lanech AlFe.
- **Stříbro** s rezistivitou $\rho = 0,0158 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ na **speciální vodiče** (viz **Přednáška 3**).
- **Odporové materiály** jako např. *kantal*, *cekas* a *chromnikl* na **topné vodiče** (viz **Přednáška 4**).

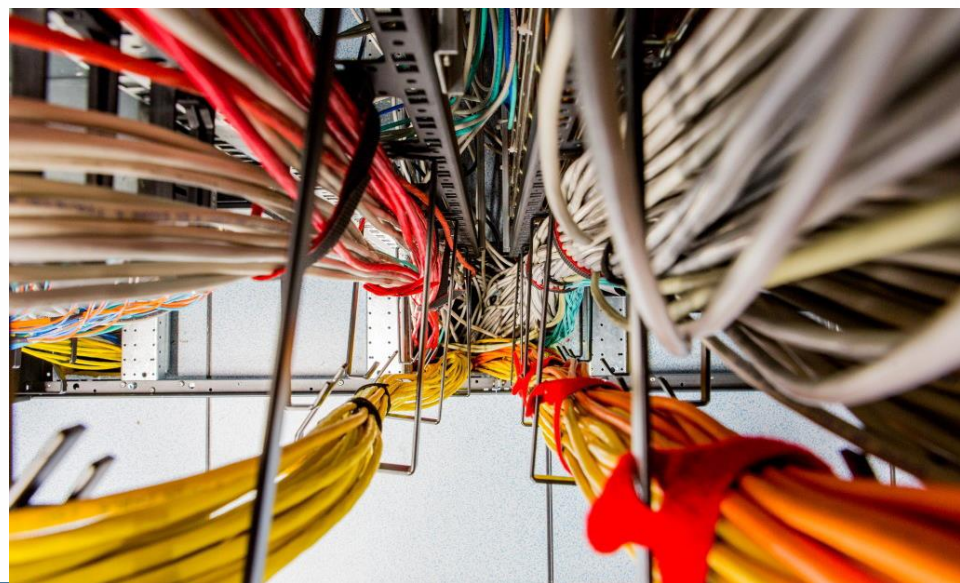


9.3 Provedení a materiály na izolace vodičů

9.3.1 Pevná izolace vodičů

Pro pevnou izolaci vodičů se používá např.:

- **Měkčený PVC** – nejčastěji používaný materiál pro kabely **nízkého napětí**. Má teplotní odolnost 70 °C.
- **Měkká pryž** – pro kabely **nízkého napětí**, má teplotní odolnost 60 °C.
- **Vysokohustotní polyethylen (HDPE)** – vyznačuje se teplotní odolností 85 °C a používá se pro vodiče **nízkého napětí**, případně může tvořit **vnější vrstvu izolace u vn a vvn kabelů**.
- **Nízkohustotní polyethylen (LDPE)** – má teplotní odolnost 70 °C a používá se pro vodiče **nízkého napětí**.
- **Síťovaný polyethylen (XPE, PE-X)** – jedná se o polyethylen síťovaný **chemicky** (např. *silany*) nebo **radiačně**.



*Síťovaný polyethylen ztrácí vlivem síťování svůj **termoplastický charakter** a stává se v podstatě **elastomerem**. Se stoupající teplotou **měkne**, ale v žádném případě neteče a nestéká. Úroveň síťování *PE* se ověřuje tzv. **hot-set testy**. *XPE* se používá pro vodiče **vn** a **vvn** nebo například na žilovou izolaci **vodičů nízkého napětí** v jaderných elektrárnách.*



9.3.2 Kapalná izolace vodičů

V principu se jedná zejména o (i) **vodiče pro netočivé stroje (transformátory)**. Vodiče pro transformátorové vinutí se izolují několika **vrstvami laku** (jedna vrstva mívá tloušťku asi 0,01 mm) a případně také dalšími **vrstvami elektrotechnického papíru**. Celé vinutí je pak, v případě olejových transformátorů, ukládáno do **transformátorového oleje**.

Kapalná izolace vodičů také souvisí s (ii) „**olejovými**“ **kabely** velmi vysokého a vysokého napětí, jejichž jádra byla dříve ukládána do izolačního oleje (viz **Přednáška 7**, kabelové oleje).





9.3.3 Plynná izolace vodičů

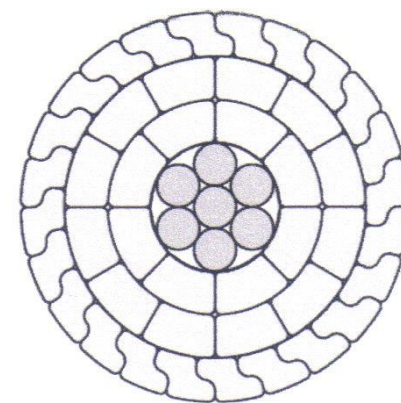
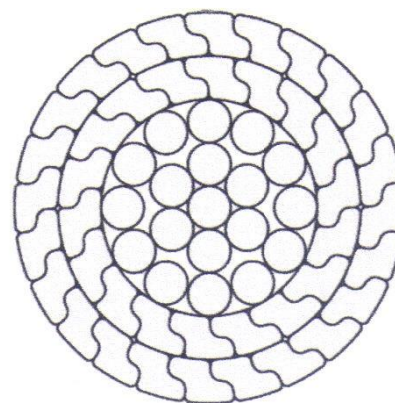
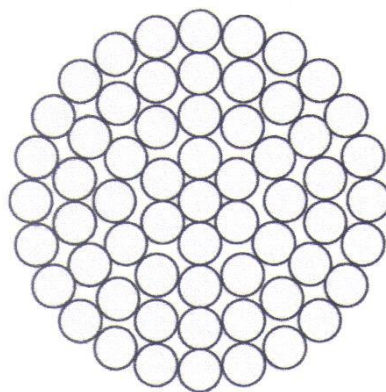
U **venkovních vedení** slouží jako plyná izolace vodičů **vzduch** (mezi jednotlivými lany Al/Fe , umístěnými na stožárech, není žádná jiná izolace).

V **zapouzdřených rozvodnách** se **přípojnice** a další **vodivé části** ukládají do **pouzder**, která jsou naplněna izolačním plynem SF_6 (viz zapouzdřené vn vedení a rozvodny v **Přednášce 7**).

9.4 Holé vodiče

9.4.1 Vodiče pro venkovní vedení

Vodiče pro venkovní vedení tvoří důležitou součást **rozvodné soustavy**. V současné době se vyrábějí v různých provedeních a tvarech. V základním provedení jsou zkonstruované ze **spirálovitě stočených drátů** s **kruhovým příčným řezem**. Průřez vodiče pak obsahuje poměrně velké **oblasti dutin**. To lze eliminovat pomocí tzv. **tvarovaných vodičů**, díky nimž lze např. pomocí **drátů lichoběžníkového tvaru** (segmentované provedení) vytvořit vodič se **zvětšeným poměrem kovu vůči vzduchu**. Další možnost je provedení **vodiče ve tvaru písmene „Z“**, při kterém se zformované vodiče efektivně tisknou k sobě navzájem.



Tvarované vodiče mají **lepší poměr** mezi **hliníkovou částí** a **vzduchovými mezerami** a tak i **nižší odpor** než vodič z drátů kruhového průřezu se stejným vnějším průměrem. U vedení s vodiči z tvarovaných drátů je **váha vodičů větší** a tím je i mírně **vyšší zatížení stožáru**. Nebo naopak, pomocí tvarovaných vodičů lze dosáhnout **menšího průřezu vodiče** (a menšího namáhání) při zachování stejných hodnot jeho činného odporu.

a) Lana *AlFe* (ACSR)

Jejich mezinárodní označení je **ACSR** (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Lano je složeno z **ocelového nosného drátu** uprostřed a z **hliníkových drátů** slaněných okolo.

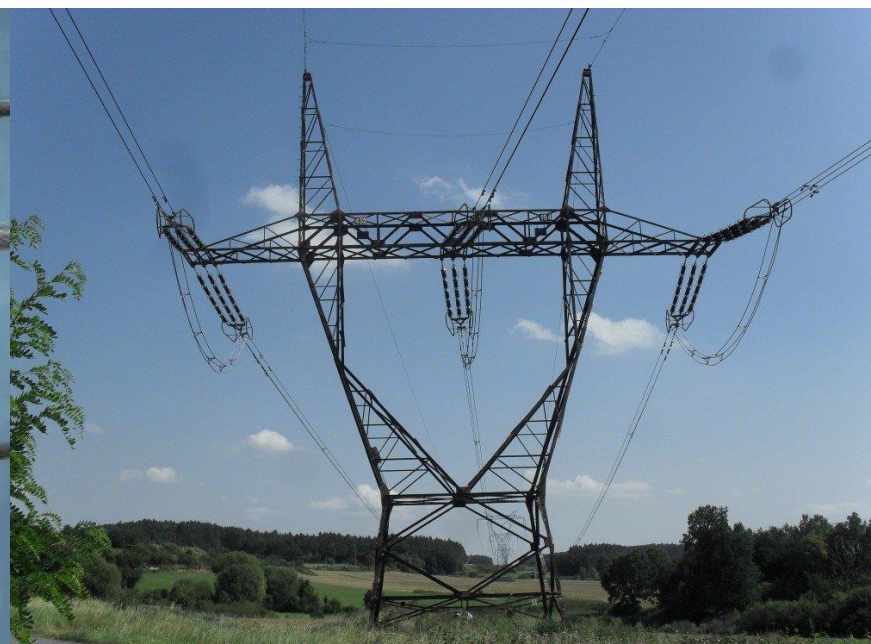
- Ocelová duše má následující počet drátů: 1, 1+6 (ve dvou vrstvách), 3+9.
- Počet hliníkových drátů pak může být např.: 6, 11+17, 10+16, 12+18 aj.

Nejčastěji používaná jsou lana **AlFe6** (poměr Al/Fe je **6:1**). Lana **AlFe3** se používají v oblastech s **velkou námrazou** (mají vyšší mechanickou zatížitelnost).



Pro **zvlášť vysoké**, příp. ještě vyšší napětí, se používají tzv. **svazkové vodiče**, které jsou tvořeny několika spojenými lany $AlFe$ (jako by měl vodič větší průřez). Toto provedení slouží k **omezení skinefektu** a **snížení ztrát korunou**. Při výpočtech takového vedení se uvažuje tzv. **ekvivalentní průměr lana**.

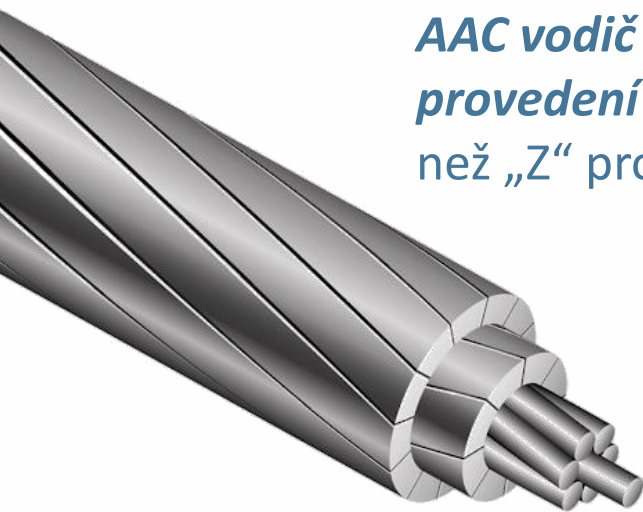
V ČR se používají svazky se **třemi lany** $AlFe$ pro jednu fázi, uspořádání se **čtyřmi lany** se používá např. v *SRN* a *Španělsku*, se **dvěma lany** např. v *Chorvatsku*. Lana $AlFe$ se vyrábějí slaňováním hliníkových drátů o určitém průřezu kolem ocelového nosného vodiče. Pro zlepšení vlastností lana se používá **segmentovaného provedení** hliníkových drátů (viz dále).



b) Celohliníkové vodiče (AAC, AAAC)

Celohliníkové vodiče mají **dobrou ochranu proti korozi**, protože nepřítomnost ocelového jádra eliminuje možnost vzniku **galvanické koroze**, na níž jsou citlivá klasická *Al/Fe* lana. Nicméně, ke korozi vodiče může stále docházet např. **v pobřežních oblastech**, kde je běžnou praxí používat u těchto vodičů **speciální mazivo**, které zabraňuje korozi mořskou solí.

AAC vodič v segmentovaném provedení (má mírně menší tuhost než „Z“ provedení)



AAC vodič s dráty ve tvaru „Z“



Celohliníkové vodiče jsou dvojího typu: (i) **AAC** (*All Aluminium Conductor*), což je homogenní vodič z **čistého hliníku** a (ii) **AAAC** (*All Aluminium Alloy Conductor*) je homogenní vodič z tepelně ošetřené **slitiny Al-Mg-Si**. Oba vodiče se vyrábějí i v segmentovaném provedení.

Vodič AAC může být náhradou za klasické *Al/Fe* lano tam, kde je nutné zachovat proudové zatížení vedení, ale jsou požadovány **lehčí vodiče**.

Vodiče AAAC nabízejí ve srovnání s klasickými *Al/Fe* lany zlepšení **tepelných vlastností** (méně se zahřívají). Mají **vyšší pevnost**, ale mohou být v některých případech **náchylnější na vibrace**.

Výhody segmentovaného a „Z“ provedení

V případě „Z“ provedení **zabraňují** do sebe zapadající dráty horní vrstvy **korózi** uvnitř lana (stárnutí těchto lan je pomalejší). Obě provedení lan jsou vhodnější i z hlediska **koróny** (menší efekt z důvodu **hladkého povrchu vodiče** a **absence prachových částic**, které nezůstávají v prohlubních horní vrstvy a mohou být z lépe smyty deštěm). Poslední velká výhoda spočívá v **menší náchylnosti** k tvorbě **sněhových vrstev** a **námrazku**.



c) Vodiče ze zesílené hliníkové slitiny (ACAR)

V případě vodičů ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*) se obvykle jedná o **kombinaci vodiče AAC a AAAC** (vodič AAAC tvoří jádro lana a okolo je elektrovedný hliník AAC). Různou kombinací průřezů jednotlivých typů vodičů lze optimalizovat vlastnosti výsledného vodiče ACAR pro konkrétní aplikaci. Zvýšíme-li počet drátů AAAC získáme **větší pevnost**, ale **nižší vodivost** a naopak větší počet drátů elektrovedného hliníku zapříčiní **nižší rezistivitu**. Obecně lze říci, že použitím vodiče ACAR se stejnou hmotností jako AlFe lano, dosáhneme **vyšší proudové zatížitelnosti a pevnosti**.

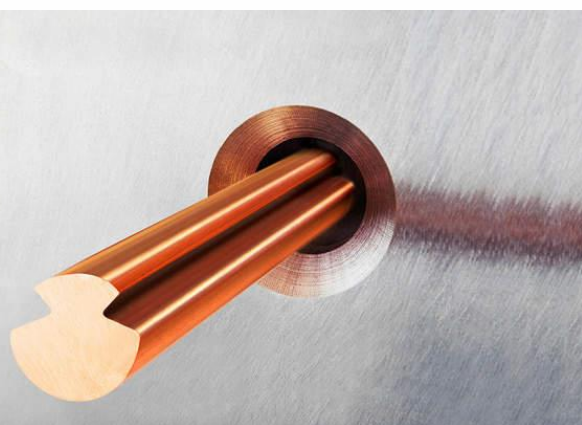
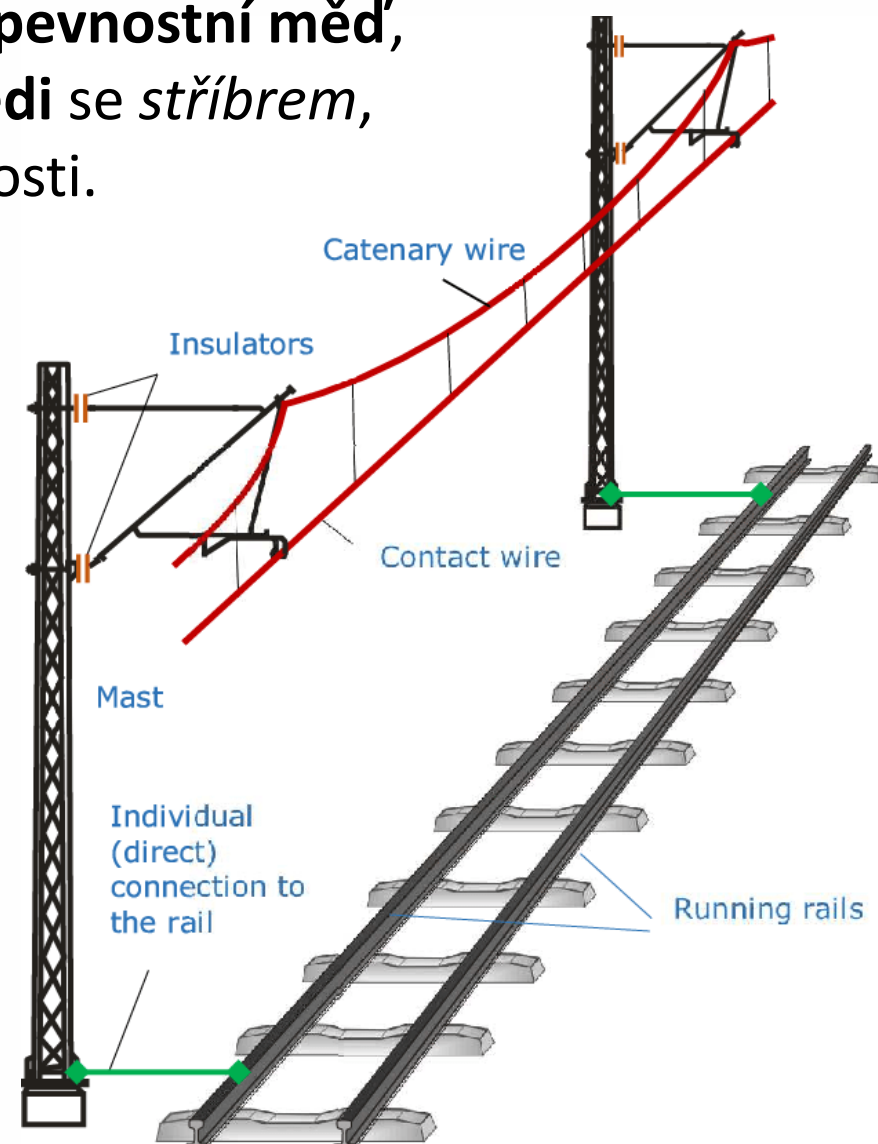
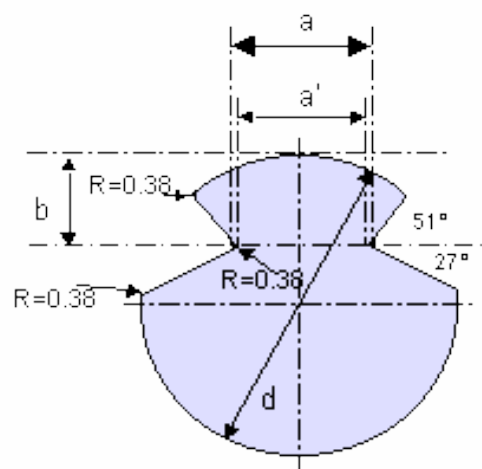
9.4.2 Přípojnice

Přípojnice slouží k **přivedení výkonu** v *rozvodně*, nebo *rozvaděči*. Nejčastěji se provádějí z mědi nebo hliníku jako pásové vodiče s obdélníkovým průřezem. Někdy se používají i lana AlFe.



9.4.3 Trolejová vedení

Rozměry a zaúhlení nosné i sběrné části troleje se liší podle toho, z jakého **materiálu** je vyrobena a pro jaké **účely** určena. Jako materiál k výrobě trolejového drátu se obvykle používá **vysokopevnostní měď**, nebo tzv. **trolejový bronz**. Což jsou **slitiny mědi se stříbrem, kadmiem, hořčíkem či cínem** ke zvýšení pevnosti.



9.5 Izolované vodiče

Izolovaný vodič vždy tvoří vždy **jádro** a **pevná vrstva izolace**. V některých případech je izolačních vrstev **více**.

Požadavky na materiál izolace

- vysoký *měrný odpor*, tj. malá *elektrická vodivost*;
- vysoká *teplotní odolnost*;
- vysoká *elektrická pevnost*;
- dobré mechanické vlastnosti (*pevnost*, *ohybnost* dle požadavků dané aplikace apod.);
- *odolnost proti vlhkosti* a dalším chemickým vlivům.



Používají se nejčastěji **extrudované polymery**, **papír**, **sklo**, **smalt** nebo kombinace těchto materiálů.

Izolované vodiče můžeme dále dělit na (i) **silové izolované vodiče**, (ii) **izolované vodiče pro točivé stroje** a (iii) **sdělovací kabely**.

9.5.1 Silové izolované vodiče

Silové izolované vodiče se používají pro **napájení el. zařízení a spotřebičů**.
Dělíme je na:

- a) vodiče pro pevné uložení (kabely),*
- b) vodiče pro pohyblivé uložení (šňůry).*



Jejich izolaci tvoří obvykle několik vrstev, jedná se např. o **izolaci každé žíly, vrstvu výplně** (*pryž, termoplastická výplň, plastová páska...*), **společnou izolaci, stínění, plášť, venkovní plášť** aj.

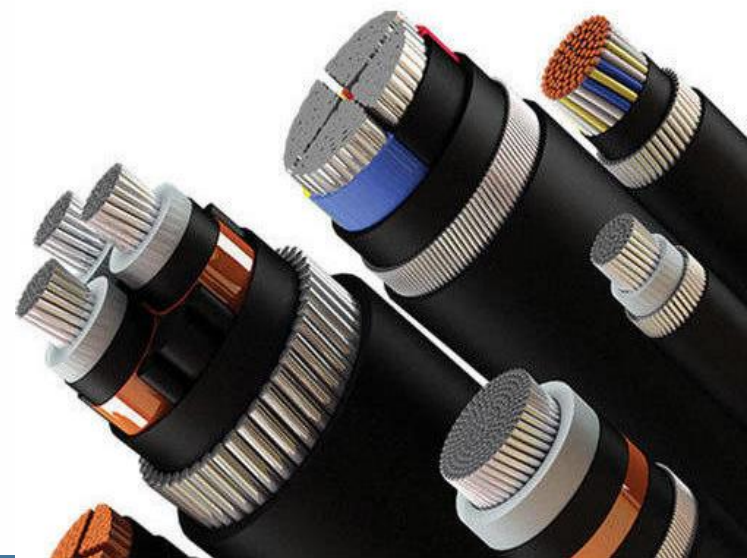
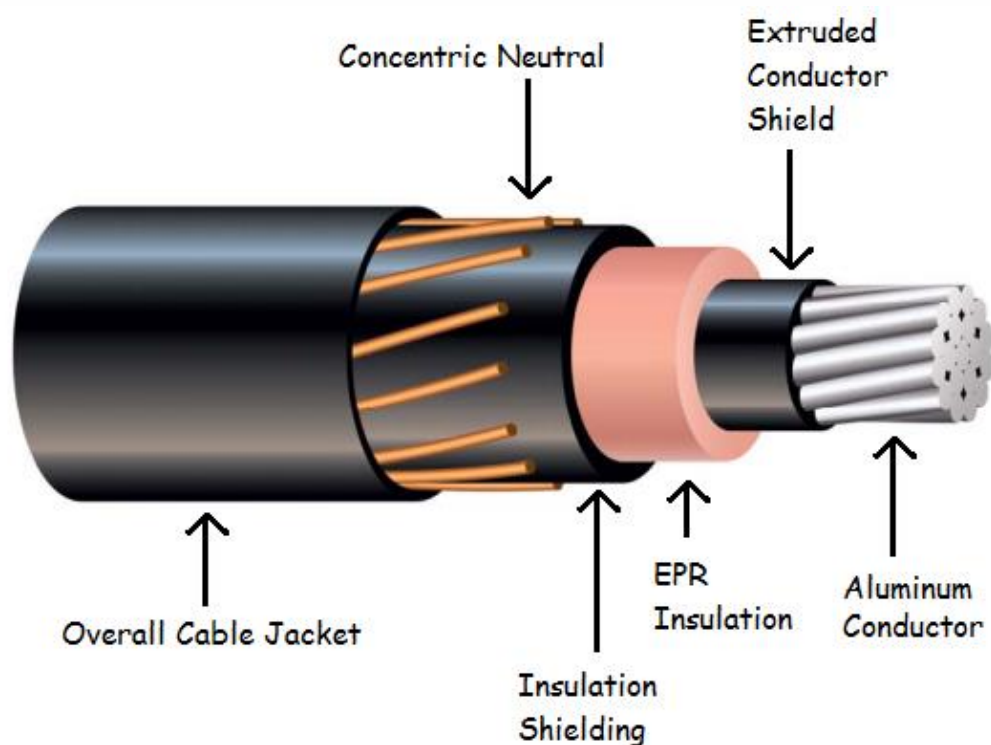
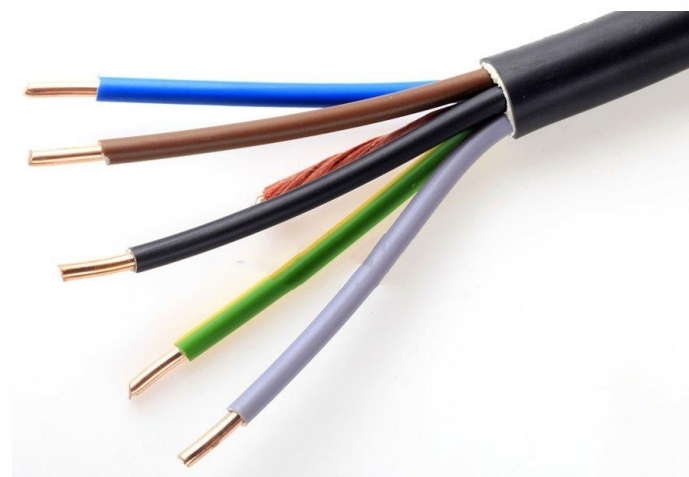
Řada normalizovaných průřezů je následující: 1,5 - 2,5 - 4 - 6 - 10 - 16 - 25 - 35 - 50 - 70 - 95 - 120 - 150 - 170 - 185 - 240 - 300 mm². Pro větší průřezy se provádějí obvykle jádra složená (skinefekt).

Návrh správného typu a průřezu silového vodiče je **klíčový** z hlediska správné **funkce** a **bezpečnosti** zařízení.

a) Vodiče pro pevné uložení (kabely)

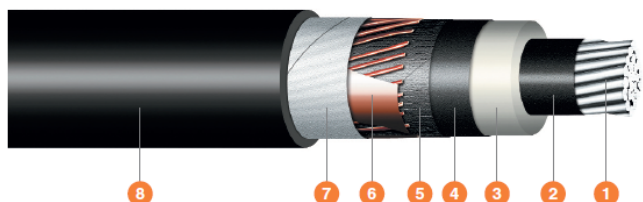
Silové kabely se vyrábějí v průřezech od $1,5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ a $2,5 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ až do průřezu 300 mm^2 . Výrobce udává v katalogu např. **použité materiály** všech vrstev, **teplotní odolnost** kabelu, jeho jmenovitou **proudovou zatížitelnost** a další parametry.

U kabelů pro vysoké a velmi vysoké napětí je izolačních vrstev několik **pro každou fázi zvlášť**.



Silové kabely s izolací ze zesíťného polyetylenu

Medium Voltage Cables with XLPE Insulation



Standard

DIN VDE 0276 620

Konstrukce:

Design:

- | | |
|---|--|
| 1 Hliníkové jádro
Aluminium conductor | 3 Izolace ze zesíťného polyetylenu
XLPE insulation |
| 2 Vnitřní polovodičivá vrstva
Inner semiconducting layer | 4 Vnější polovodičivá vrstva
Outer semiconducting layer |

Použití:

Application:

Kabely v tomto základním provedení jsou určeny pro pevné uložení na vzduchu, do tvárnic, do trubek z nemagnetického materiálu. Uložení dle ČSN 33 2000-5-52.

Cables in this standard workmanship are destined for fixed installation in the air, into building blocks and into pipes made of non-magnetic material. Installation shall be done according to ČSN 33 2000-5-52.

Vlastnosti:

Properties:

Jmenovité napětí U ₀ /U (kV) Rated voltage	18/30	Min. teplota pokládky (°C) Minimal temperature for laying	-20
Maximální napětí (kV) Maximal voltage	36	Barva izolace Color of insulation	přírodní nature
Zkušební napětí (kV) Test voltage	63	Barva pláště Color of sheath	černá black
Provozní teplota jádra (°C) Operating conductor temperature	+90	Odolnost proti šíření plamene Fire propagation test	NENÍ NO
Maximální provoz. teplota při zkratu (°C) Maximal short-circuit temperature	+250	Balení Packaging	dřevěné nebo kovové bubny wooden or metal drums
Rozsah teplot při provozu (°C) Operating temperature range	-35 až +90 from -35 up to +90	Označení CE prohlášení CE-Conformity	ANO YES
Min. teplota skladování (°C) Minimal storage temperature	-35		

**Ukázka katalogového listu
silového kabelu pro pevné
uložení**

b) Vodiče pro pohyblivé uložení (šňůry)

Šňůry se používají pro **připojení pohyblivých zařízení** (některých strojů a domácích spotřebičů). Vyrábějí se obvykle jako **vícežilové**. Jádra bývají složená z lakovaných drátků menšího průřezu z *mědi* nebo *hliníku*, aby byla zajištěna **dobrá ohebnost**. Izolace žil i plášť bývají nejčastěji ze *syntetické pryže* nebo *PVC*.

Podle **mechanické odolnosti** dělíme šňůry na:

- **Lehké** pro napájení drobných domácích spotřebičů a malých strojů. Snesou určité mechanické namáhání a **neměly by ležet na zemi ani ve vodě**.
- **Střední šňůry** pro střední namáhání, které **mohou ležet na zemi a krátkodobě i ve vodě**. Používají se v průmyslu stejně jako šňůry těžké.
- **Těžké šňůry** jsou určeny pro těžší mechanické namáhání, **mohou ležet na zemi i ve vodě**. Používají se v průmyslových provozech.



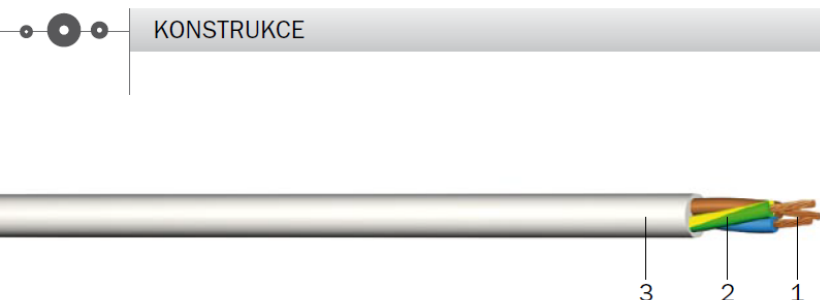
H03VV-F

Flexibilní kabely



PRAKAB PRAŽSKÁ KABELOVNA

KONSTRUKCE



- 1 | Cu jádro z jemných drátků
- 2 | Izolace (PVC), žíly stočené do duše kabelu
- 3 | Plášť (PVC šedý)

TECHNICKÁ DATA



Technická specifikace:
ČSN EN 50525-2-11



Jmenovité napětí:
300/300 V



Zkušební napětí:
2 kV/50 Hz

2



Rozsah teplot:
při pokládce: min. +5 °C
při provozu: +5 °C až +50 °C
při zkratu: max. +150 °C/5 sec



Poloměr ohybu (min.):
3 x Ø kabelu



Značení žil:
ČSN 33 0166 ed. 2



Požární charakteristika:
samozhášivost:
ČSN EN 60332-1-2



Certifikát:
ÖVE Rakousko

POUŽITÍ

Kabely jsou určeny do suchého prostředí pro nízké a střední mechanické namáhání k pohyblivým přívodům.

Ukázka katalogového listu kabelu pro pohyblivé uložení

Počet žil x průřez jádra [mm ²]	Maximální odpor jádra [Ω/km]	Proudová zatížitelnost na vzduchu [A]	Informativní průměr kabelu [mm]	Informativní hmotnost [kg/km]	Obvyklé balení [m]
H03VV-F					
2 x 0,5	39,000	11	4,7	30	K 100
3 x 0,5	39,000	9	5,0	40	K 100
4 x 0,5	39,000	9	5,6	50	K 100
2 x 0,75	26,000	14	5,2	40	K 100
3 x 0,75	26,000	12	5,5	50	K 100
4 x 0,75	26,000	12	6,1	60	K 100

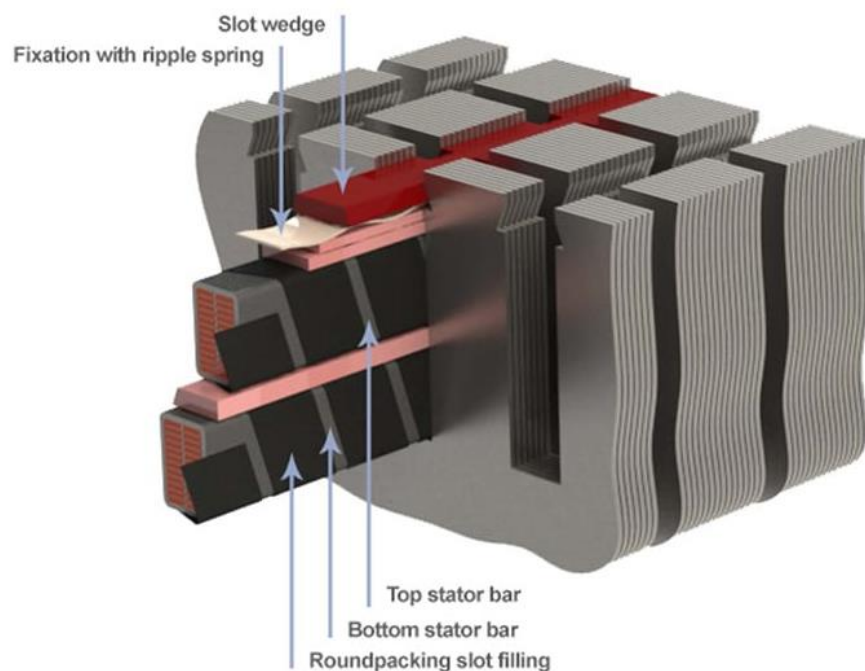


9.5.2 Izolované vodiče pro točivé stroje

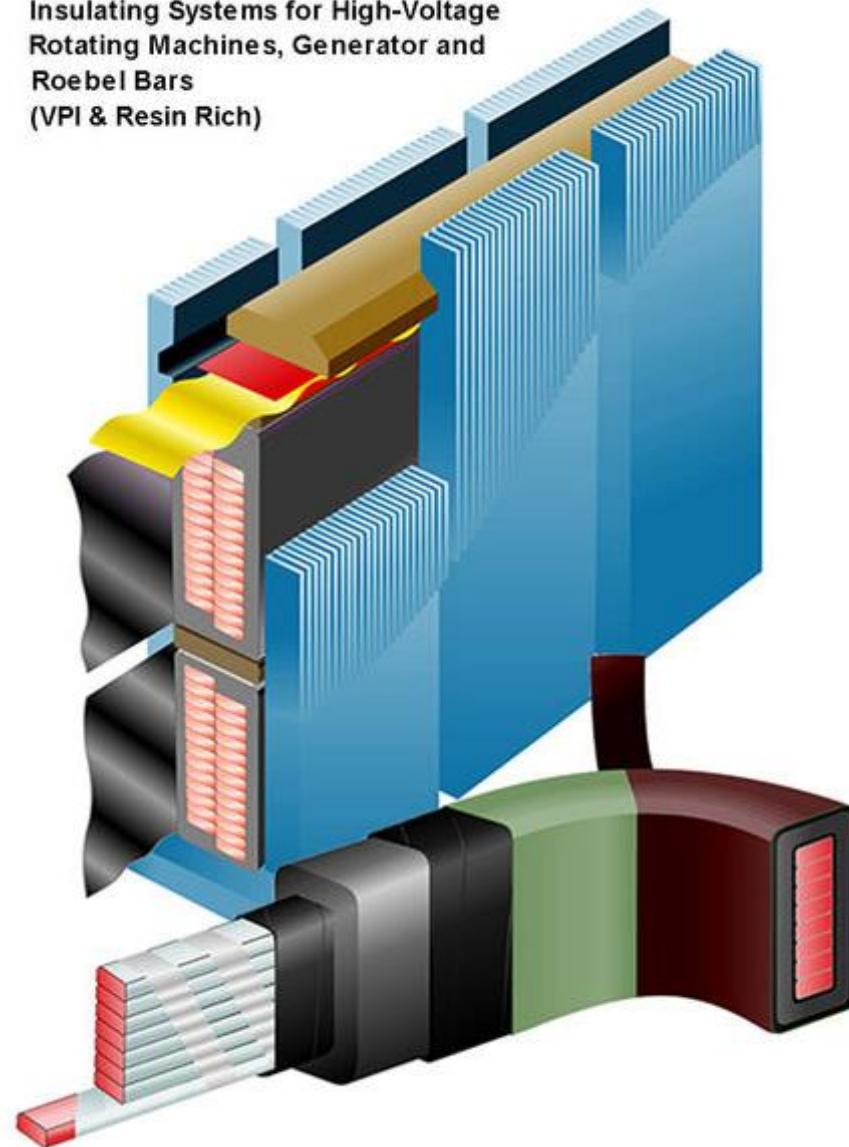
Pro výrobu **jader** vodičů pro točivé elektrické stroje se používá nejčastěji **měď**, následuje **hliník** a v mimořádných případech (např. k dosažení optimálních poměrů u tyčí tlumičů, rozběhových vinutí, klecí nakrátko apod.) se používají také **některé slitiny** (*Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Si, Cu-Ni-Si, Cu-Al* aj.).

Střídavá vinutí na velké proudy se provádějí téměř bez výjimky tzv. **umělými tyčemi**. Jedná se o **tenké dílčí vodiče**, vzájemně **izolované**, které v průběhu své délky projdou určitým způsobem nejméně jednou všemi polohami výšky tyče. Při několika způsobech provedení umělých tyčí dochází i k výměně poloh v rámci šířky tyče. Nejznámější jsou tzv. **Roeblov tyče** (různé druhy).





Insulating Systems for High-Voltage Rotating Machines, Generator and Roebel Bars (VPI & Resin Rich)



V porovnání s masivními vodiči lze dosáhnout podstatného **zmenšení vířivých proudů** a **zabránit vnitřním vyrovnávacím proudům** (všechny dílčí vodiče jsou v záběru s co nejvíce stejným magnetickým tokem).

K izolování jednotlivých **vodičů** či **celých tyčí** se používají:

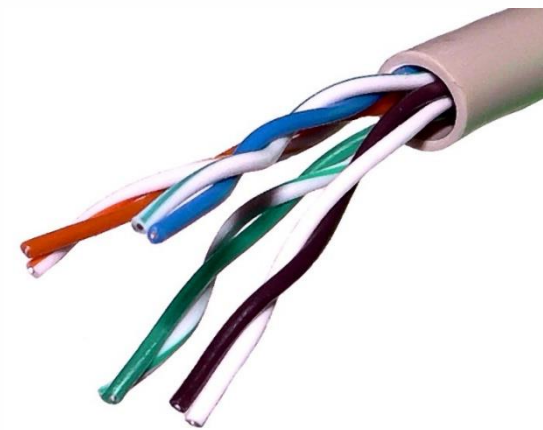
- **Izolační laky** – smalty na bázi syntetických pryskyřic (*PVA, PU, epoxidy, polyester, pro vyšší teplotní třídy pak PTFE, polyesteramidy, polyamidimidy* aj.).
- **Vláknité materiály** – izolace tvořená ovinutím, opletením nebo opředěním *papírem, syntetickou folií, textilními* nebo *syntetickými vlákny*. Téměř ve všech případech jsou tyto materiály **impregnovány**. Opletením nebo opředěním smaltovaných vodičů lze zvětšit jejich **el. pevnost** a **odolnost proti navlhnutí**.
- **Izolační materiály ze slídy a slídového papíru** – jedná se o **pojivem prosycené plošné vrstvené materiály** ze štípané **slídy** nebo **slídového papíru**. Jsou vždy kombinované s **nosnými materiály** (*skleněná tkanina* nebo *syntetická páska PET, PEN* aj.). Jako pojiva se používají *epoxidové, polyesterové* nebo *silikonové pryskyřice*.



9.5.3 Sdělovací kabely

Sdělovací vodiče jsou určeny k **přenosu dat a informací**. Vzhledem k tomu, že tyto vodiče přenášejí **pouze malé výkony** (až 10^{-6} W), lze je provádět v **malých průřezích**. Využití kabelů souvisí s **přenášenou frekvencí** (může být až 10^8 Hz), čím je vyšší, tím jsou větší požadavky na **podélnou elektrickou homogenitu** jednotlivých přenosových prvků. Stejným způsobem rostou požadavky v souvislosti s narůstající délkou kabelové trasy.

Nejběžnějším typem sdělovacích kabelů pro přenos signálu je tzv. **kroucená dvojlinka**. V kabelu jsou žíly stáčeny do definovaně kroucených párů, ze kterých je potom stáčena duše kabelu.



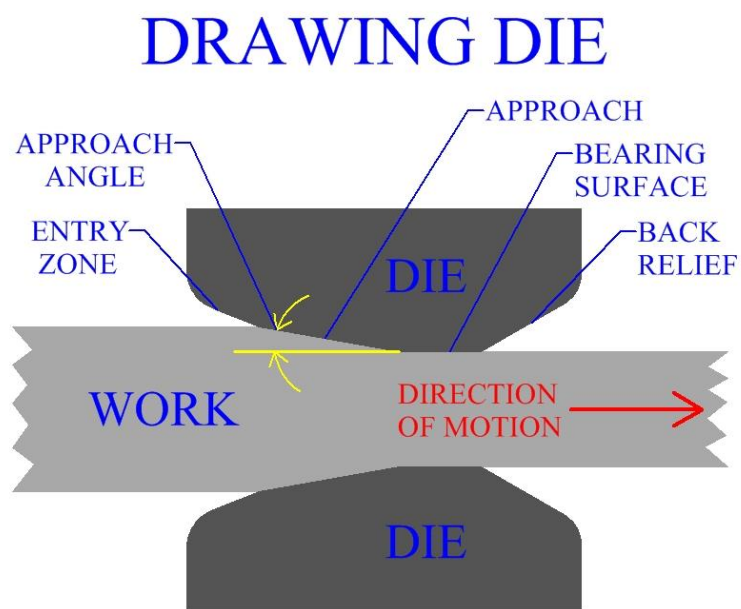
Dalším často používaným typem sdělovacího vodiče je **koaxiální kabel**. Jedná se o souosý kabel s vnitřním jádrem a stíněním. Vnitřní jádro bývá z *mědi*, stínění buď též z *mědi*, nebo z *hliníku*.

9.6 Výroba kabelů

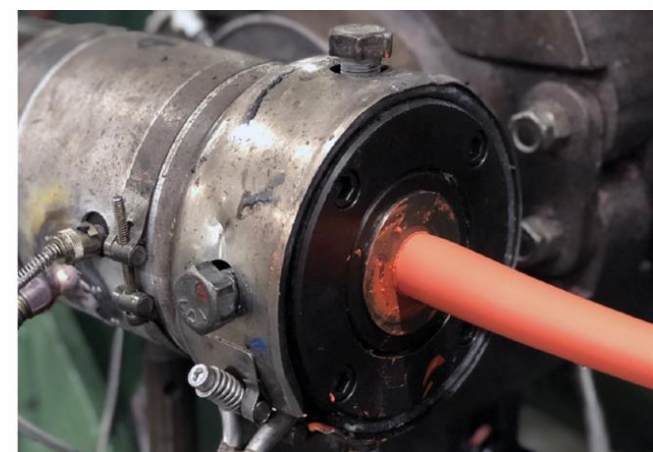
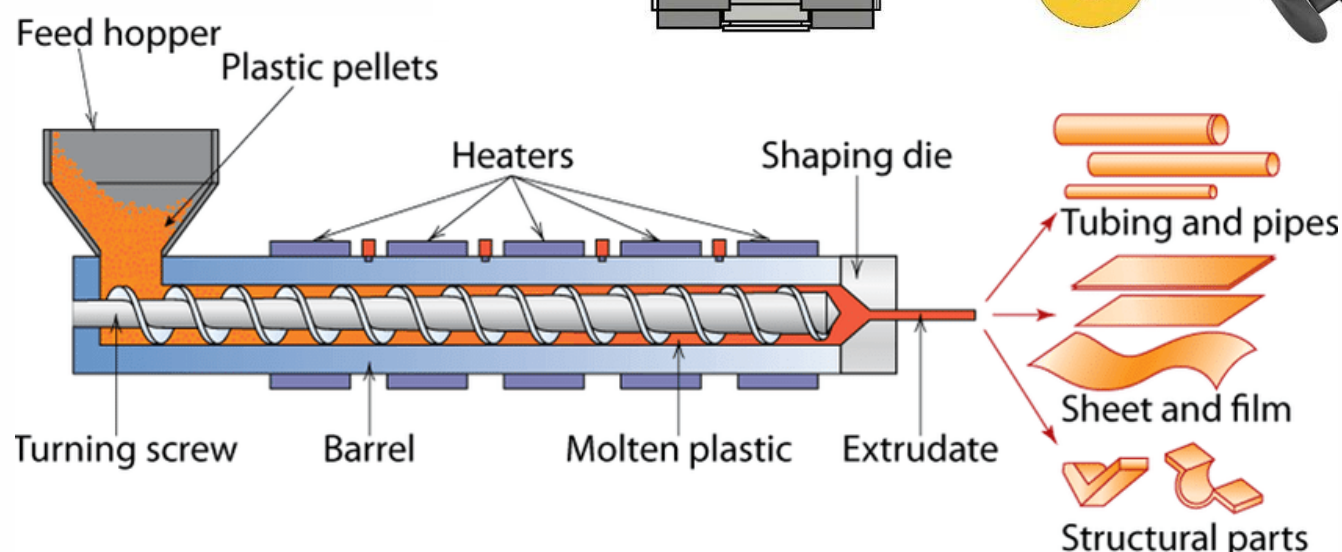
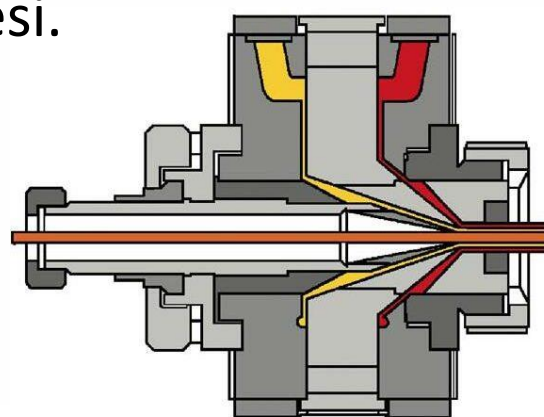
Při výrobě kabelů je třeba dodržet předepsanou kvalitu jak **vodivých**, tak **izolačních materiálů**. Výsledné vodiče mají mít parametry dané normami a dalšími předpisy.

Postup výroby kabelu lze stručně shrnout do následujících kroků:

1. Výroba drátu – nejprve se vyrábí **drát** z elektrovodného materiálu (Cu, nebo Al). Kov se nejprve **válcuje** a pak **táhne** v tažičkách pro zmenšení průměru. V katalogích jsou uvedeny normalizované hodnoty průřezů jádra, ale skutečná hodnota se může mírně lišit. Určujícím faktorem je **elektrický odpor drátu**, který se kontroluje.



2. Extruze izolace žíly – proces nanášení izolace žíly probíhá v **extrudérech** (vytlačovacích strojích), kde se za vysoké teploty nanese na jádro pod vysokým tlakem **roztavený plast**. V extrudéru jsou plasty buď **probarvovány** podle norem **přímo do směsi**, která se stříká na jádro, nebo se žíla barví pomocí **koextrudéru** se speciální extruzní hlavou metodou tzv. **přístřiku**, kdy se na hotovou bezbarvou izolaci nastříká tenká vrstva probarvené směsi.

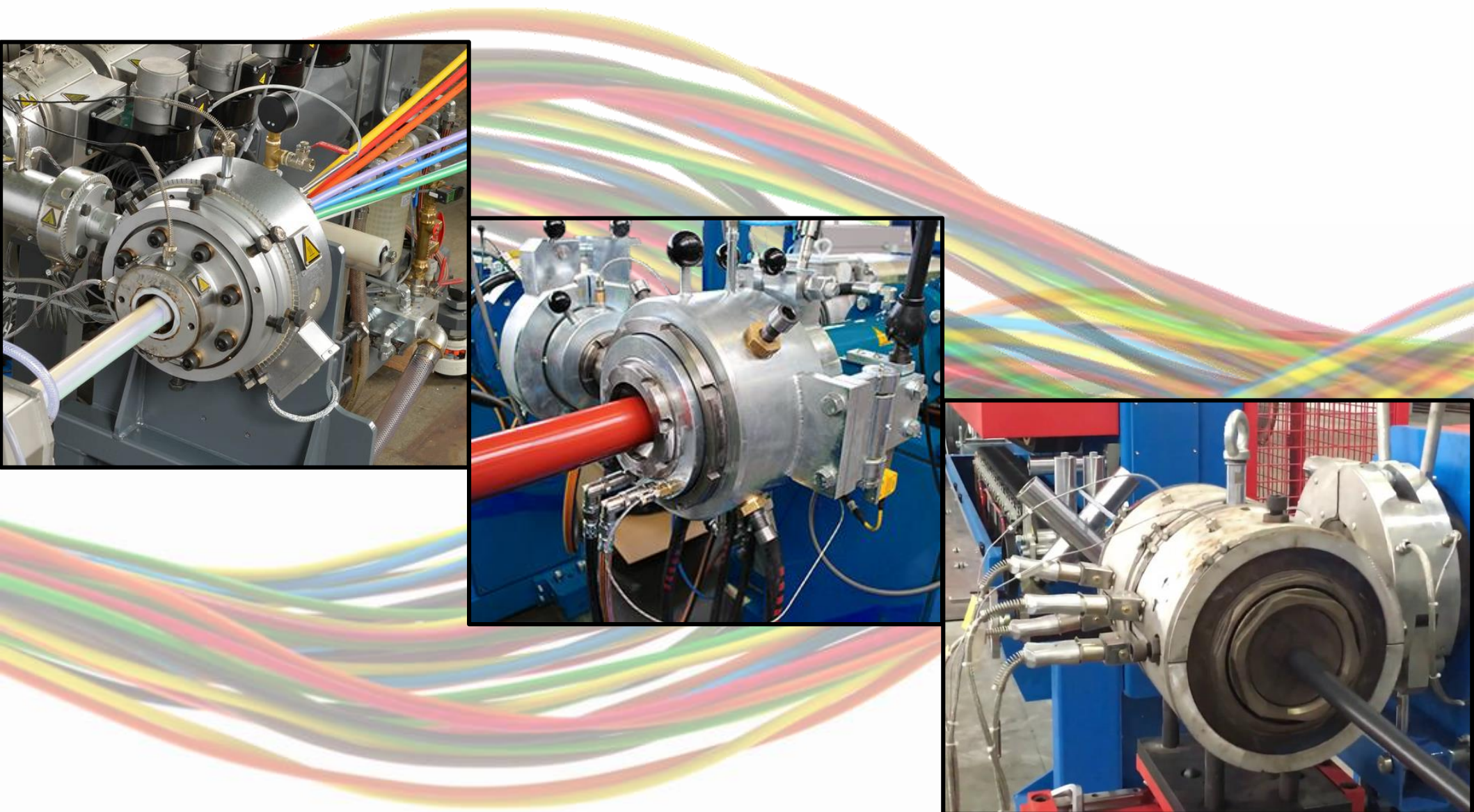


3. Lanování duše kabelu – dále se jednotlivé izolované žíly stáčí do svazku a vytváří se tak **duše kabelu**. Slanováním žil dosáhneme vyrovnání jejich délek při ohybu kabelu. Někdy se přidává **výplňový materiál** pro vyplnění prostoru mezi žílami a oddělení izolace od pláště. Kabelová duše se též obvykle omotává **páskami**, aby dobře držela tvar.



4. Nanášení přídatných vrstev kabelu – dle požadavků zákazníka se může provádět **stínění** opletením měděnými pocínovanými drátky, případně **ovnutí** pozinkovanými **železnými drátky** pro mechanickou ochranu. Někdy se vytváří **pancíř** z podélně vpouštěných hliníkových nebo železných pozinkovaných drátů ovinutých železnou pozinkovanou páskou. Stínění páskou a oplety bývají doplněny **kontinuálním vodičem** pro jejich napojení.

5. Nanesení kabelového pláště – je posledním krokem výroby kabelu. Kabelový plášť se nanáší pomocí extrudéru na duši kabelu a **slouží k ochraně** vnitřní struktury kabelu **před vnějšími vlivy a mechanickým poškozením**.



9.7 Značení vodičů a kabelů

V České republice se můžeme setkat se dvěma systémy značení vodičů a kabelů a to s (i) **českým značením** (starší, nyní již neplatné) a (ii) **evropským značením** (harmonizované, platné).

9.7.1 České značení vodičů

Jedná se o vícemístný kód skládající se z kombinace čísel a písmenek s různým významem.

Na **prvním místě kódu** je **číslo**, které udává **napětovou hladinu** v kilovoltech (např. „1“ znamená, že vodič je určený pro napětí do **1 kV**, tedy pro nízké napětí; označení „22“ je pro vodiče na **22 kV** apod.).

1. písmeno – **materiál jader** (**A** = hliník, **C** = měď).

2. písmeno – **materiál izolace žíly** (**Y** = PVC, **G** = pryž, **E** = polyethylen, **XE** = síťovaný polyethylen).

3. písmeno – **druh vodiče** (**K** = kabel pro pevné uložení, **L** = lehká šňůra, **S** = střední šňůra, **T** = těžká šňůra, **V** = vodič pro vysoké napětí).



4. písmeno – **materiál společné izolace** (stejné značení jako u 2. písmena).

Další písmena – mohou popisovat **další vrstvy**, jako *pancíř, plášť, stínění* apod.

Číslo – udávající **počet žil kabelu**.

Písmeno – udávající **barevnou kombinaci žil** (např. **J** = vodič se žluto-zelenou žílou pro pevné uložení, **G** = vodič se žluto-zelenou žílou pro pohyblivé uložení aj.).

Číslo – udávající **průřez jedné žíly** v mm².



1-CYKY 3J×2,5

Vodič pro nízké
napětí, do 1kV

Jádro z mědi.

Izolace žíly z PVC.

Kabel pro pevné uložení.

Společná izolace z PVC.

Průřez žíly 2,5 mm².

Barevná kombinace: *hnědá, světle modrá a zeleno-žlutá*.

Kabel obsahuje 3 žíly.

9.7.2 Evropské značení

Označení dle tohoto systému má **devět pozic**, přičemž mezi V. a VI. pozicí je pomlčka.

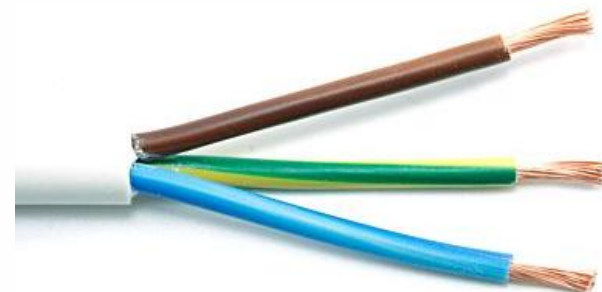
- I** – **označení předpisu** (**H** = harmonizovaný předpis, **A** = národní typ).
- II** – **jmenovité napětí** (**03** = 300/300 V, **05** = 300/500 V, **07** = 300/750 V, **1** = 0,6/1 kV, **3** = 1,7/3 kV, **6** = 3,6/6 kV, **10** = 6/10 kV).
- III** – **izolace žíly** (**V** = PVC, **B** = pryž, **E** = polyethylen, **R** = chloroprénový kaučuk, **S** = silikonový kaučuk).
- IV** – **izolace pláště** (stejná písmena a významy jako u III).
- V** – **vlastnosti pro montáž** (**V** = kulaté vedení, **H** = ploché rozdělitelné vedení, **H2** = ploché nerozdělitelné vedení).
- VI** – **druh vodiče**: první část znaku (**bez značky** = měď, **A** = hliník, **Z** = speciální materiál); druhá, příp. třetí část znaku (**U** = jeden drát, kruhový, **R** = vícedrátový, kruhový, **S** = sektorová slaněná jádra, **K** = z tenkých drátů pro pevné uložení (kabel), **F** = z tenkých drátů pro pohyblivé uložení (šňůra), **H** = velmi ohebný vodič (z jemných drátků), **R** = vícedrátový).



VII – počet žil.

VIII – ochranný vodič (**X** = bez ochranného vodiče, **G** = s ochranným vodičem).

IX – průřez vodiče.



H05 VVH – F3G2,5

Vodič dle harmonizovaného předpisu.

Pro napětí do 300/500 V.

Izolace žíly PVC.

Společná izolace PVC.

Ploché rozdělitelné vedení.

Průřez žíly 2,5 mm².

S ochranným vodičem.

Vodič má 3 žíly.

Měděné jádro z tenkých drátků pro pohyblivé uložení (šňůra).

9.7.3 Značení vodičů písmeny a barvami

Řídí se dle ČSN 33 0166 ed.2:2002 platné od 1. 7. 2005 (do 1. 4. 2006 bylo možno používat i staré značení).

Ochranný vodič (PE): kombinací barev **zelená/žlutá**.

Střední vodič (N): světle **modrou barvou**.

Krajní (fázový) vodič (L, příp. L1, L2, L3): barva **černá, hnědá, šedá**.

Počet vodičů	2			
				
	3			
				
	4			
				
	5			
				

	Single Phase	Three Phase
Phase Conductor (Line)	 Brown	 Line 1 Brown  Line 2 Black  Line 3 Grey
Neutral Conductor	 Blue	
Protective Conductor (Earth)	 Green-and-Yellow	

Vodiče pro stejnosměrný proud

Vodič kladného pólu (+): **tmavě červenou barvou**.

Vodič záporného pólu (-): **tmavě modrou barvou**.

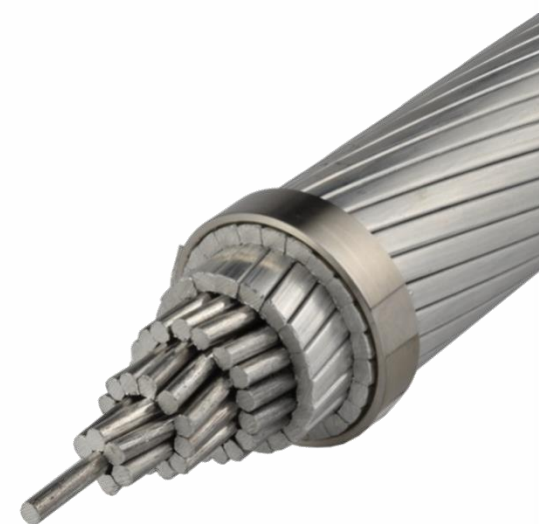


Sdělovací vodiče a kabely

Jednotlivé žíly mohou být označeny **libovolnými barvami**, s **výjimkou** kombinace barev **zelená/žlutá**.

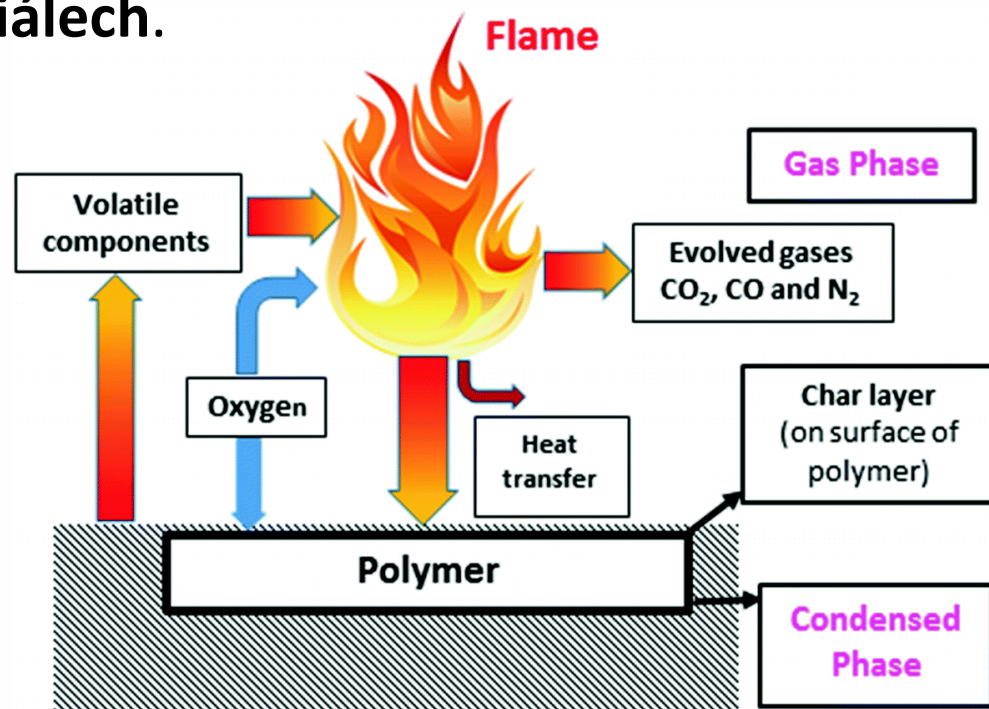
Značení lan AlFe

Nejprve se uvádí **průřez**, pak **typ lana**, např. „**120AlFe6**“ znamená, že se jedná o lano AlFe6 s průřezem hliníkového vodiče 120 mm².



9.8 Kabely s nízkým nebezpečím požáru

Při výrobě kabelů se uplatňuje celá řada polymerů, které se vyznačují relativně **vysokou hořlavostí**. Vzhledem k tomu že, jsou kabely často jediným spojovacím prvkem v prostorách jinak požárně oddělených **požární stěnou** nebo **požárními dveřmi**, jsou kabely velmi často považovány za příčinu **vzniku i šíření požárů**. Jejich odolnost vůči šíření ohně závisí na **konstrukci** a použitých **materiálech**.



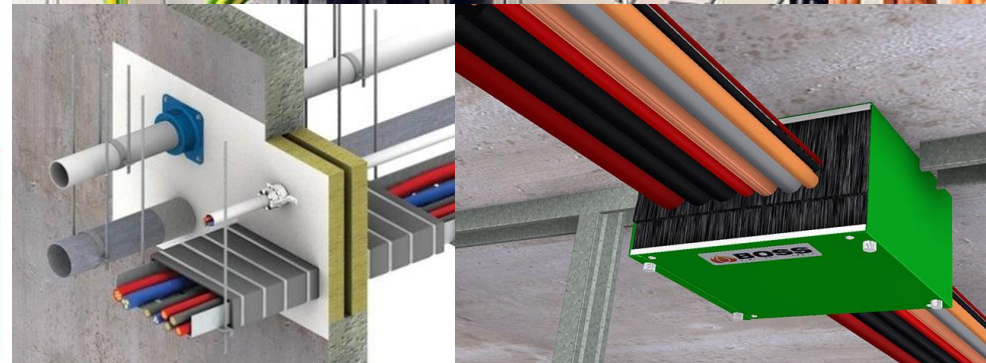
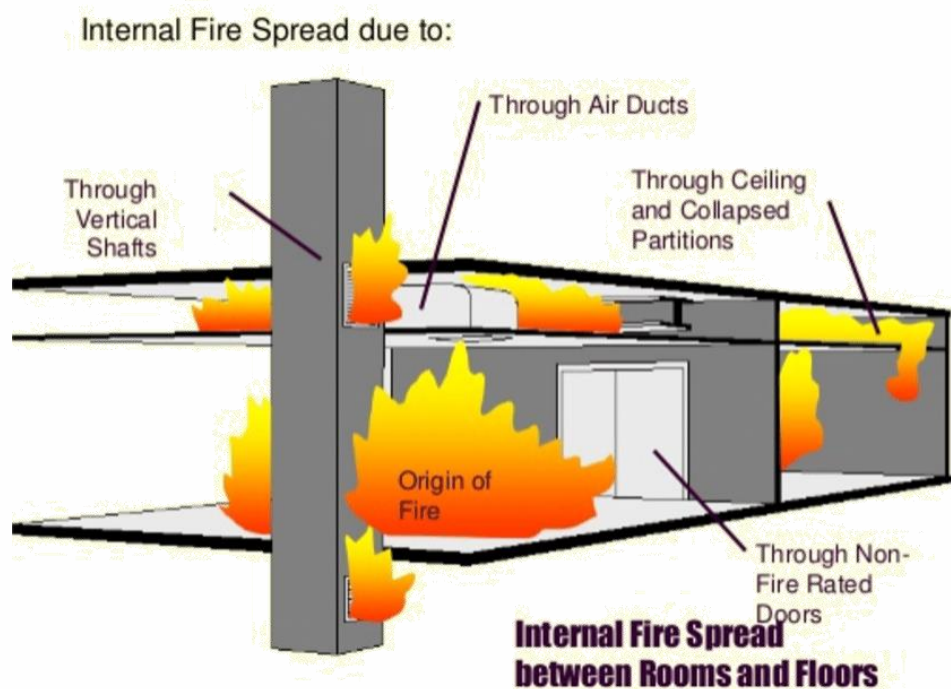
9.8 Kably s nízkým požárním nebezpečím

V oblasti požární bezpečnosti je zvláštní pozornost věnována objektům, kde se shromažďuje **větší množství lidí**, jako jsou například *nemocnice, hotely, divadla, obchodní centra, multikina, metra* nebo *parkovací domy*.



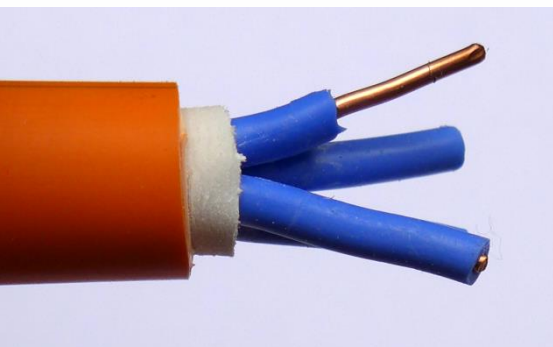
9.8 Kabely s nízkým požárním nebezpečím

Zde jsou kabelové rozvody vedeny ve **volném prostoru** a je zapotřebí zajistit **delší čas k úniku** osob do bezpečné vzdálenosti v případě hrozícího nebezpečí.

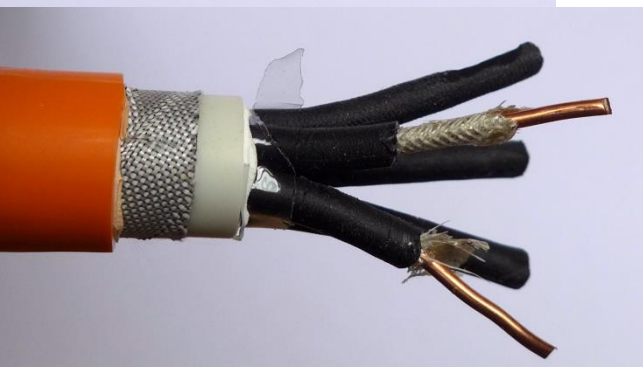


9.8.1 Kabely s nízkým požárním nebezpečím

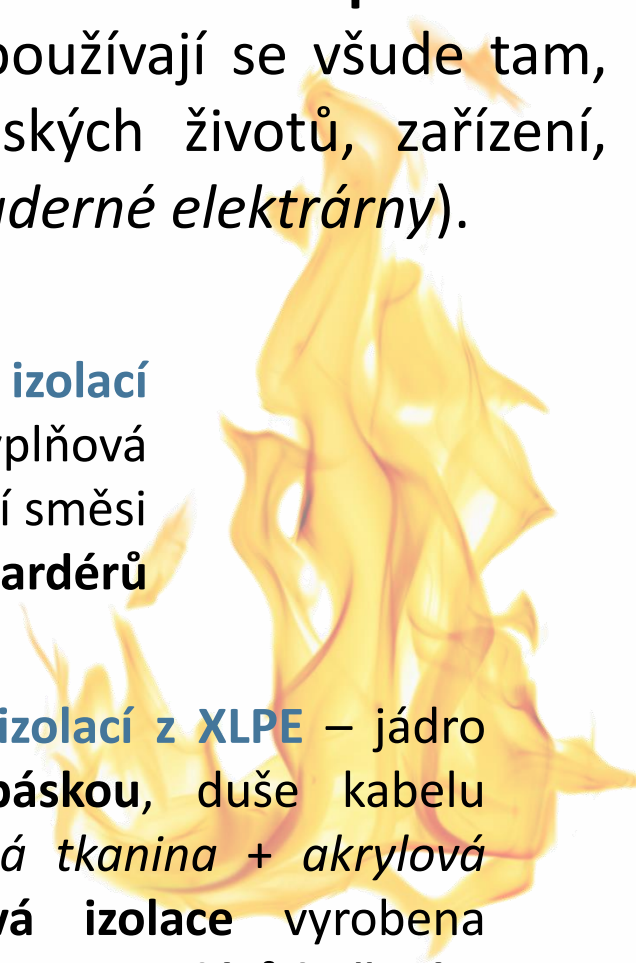
Jedná se o kabely určené pro **speciální použití**, které vyhovují zvýšeným požadavkům na **bezpečnost** a **požární odolnost**. U těchto kabelů je kladen důraz na zachování jejich **funkčnosti při požáru** po stanovenou **dobu** tak, aby bylo možné lidem poskytnout čas potřebný pro **únik do bezpečí**. Jsou označovány jako **LFHC (Low Fire Hazard Cables)** a používají se všude tam, kde jsou kladeny **vysoké nároky na ochranu** lidských životů, zařízení, konstrukcí, materiálů a kritické infrastruktury (např. *jaderné elektrárny*).



LFHC provedení kabelu s žilovou izolací z keramizující silikonové pryže – výplňová a plášťová izolace vyrobená z polymerní směsi s vysokým obsahem (až 60 %) **retardérů hoření**.



LFHC provedení kabelu s žilovou izolací z XLPE – jádro vodiče omotáno **sklo-slídovou páskou**, duše kabelu omotána tzv. **FR páskou** (*skleněná tkanina + akrylová pryskyřice*), **výplňová** a **plášťová izolace** vyrobená z polymerní směsi s vysokým obsahem **retardérů hoření**.



9.8.2 Požadavky na kabely s nízkým požárním nebezpečím

Kromě běžných požadavků kladených na standardní kabely, musejí LFHC splňovat také několik **zásadních požadavků** souvisejících s jejich chováním za podmínek požáru.



Řadíme mezi ně zejména tyto požadavky:

a) Zachování funkčnosti kabelu při požáru – pro splnění tohoto požadavku se často používá **sklo-slídová páska** s teplotní odolností blíží se 1000 °C.

b) Zachování oheň-retardační (oheň zpomalující) funkce – tohoto požadavku je dosahováno použitím **oheň-retardujících polymerních směsí** pro výrobu jednotlivých izolačních vrstev kabelu. Jedná se o materiály ze skupiny tzv. **HFFR plastů** (*Halogen-Free Flame Retardant* = *bezhalogenových, oheň-retardujících plastů*). HFFR směsi obsahují kromě **základního polymeru** (např. EVA) a nezbytných **aditiv** (*změkčovadla, antioxidanty, stabilizátory* aj.) také tzv. **retardéry hoření** (nejčastěji na bázi anorganických plniv – např. *hydroxid hlinitý, hydroxid hořečnatý*), které dokáží posunout teplotu vzplanutí izolační vrstvy až o 300 °C směrem k vyšším teplotám.

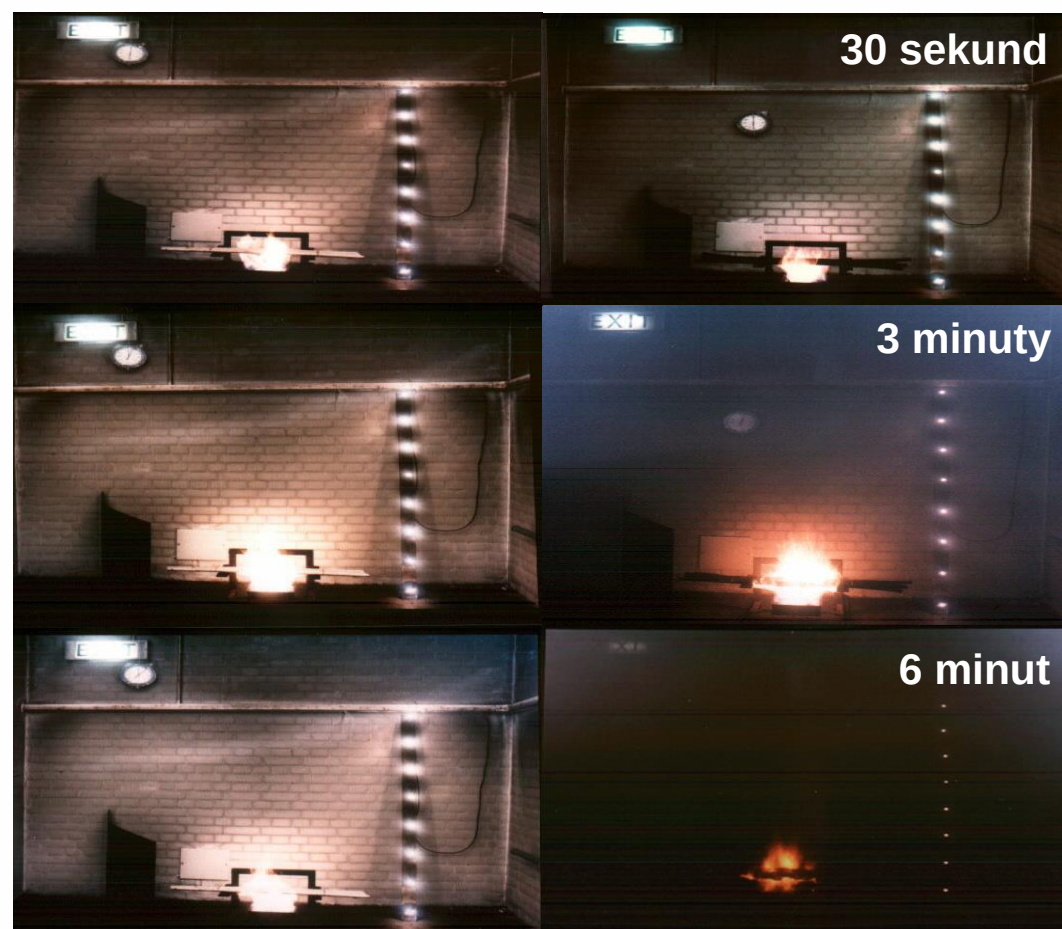
c) Co nejmenší tvorba dýmu a toxických zplodin po vzplanutí kabelu

Hustý dým znesnadňuje, či zcela znemožňuje rychlou evakuaci osob; **toxické zplodiny** jsou příčinou toho, že nepoměrně větší procento lidí zemře při požáru následkem udušení či otravou toxickými zplodinami než následkem uhoření.

Dbá se na to, aby materiály, z nichž jsou oheň-retardující kabely vyrobeny, **neobsahovaly halové prvky** (*fluor, chlor, brom, jód*), tj. aby byly „**bezhalogenové**“. Mluvíme pak o tzv. „**Low Smoke Zero Halogen (LSZH) Cables**“.

Při hoření halových prvků se tvoří **halogenovodíky**, které jsou pro člověka velice **toxické** a na ostatní zařízení a konstrukce působí **korozivně**.

LSZH vs. PVC kabel

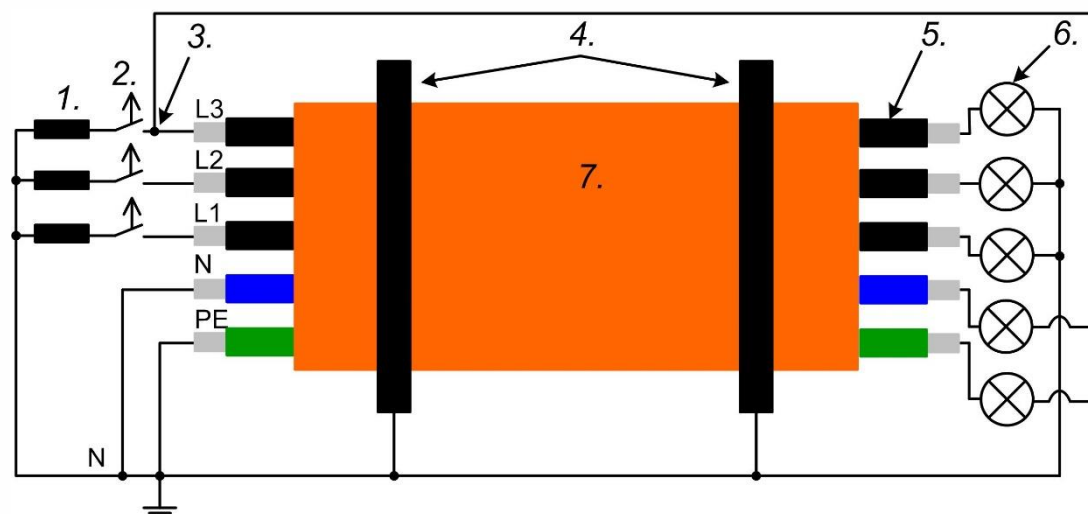


9.8.3 Zkoušky funkční schopnosti kabelu při požáru

Nejčastěji používanou metodou pro zjištění funkčnosti kabelu za podmínek požáru je zkouška dle **ČSN IEC 60331-21** „Zkoušky elektrických kabelů za podmínek požáru - Celistvost obvodu - Část 21“.

Dle této normy musejí testované kabely vydržet i během požáru **funkční** (= musí zajistit po celou dobu trvání zkoušky **celistvost elektrického obvodu**), přičemž jsou vystaveny přímému působení plamene o teplotě alespoň **750 °C**.

Doba vystavení plameni se určí podle nejdelší únikové trasy z hořící budovy do bezpečí. Může být **30, 60, 90** nebo **180 minut**. Součástí zkoušky je také předepsaný **15 minutový interval chlazení**, po který musí být kabel nadále připojen v obvodu a musí si udržet svoji **funkčnost**.



Zapojení obvodu dle ČSN IEC 60331-21 (1 - transformátor, 2 - jistič, 3 - připojení fází, 4 - podpůrné kruhy, 5 - testovaný vodič, 6 - žárovky indikující příp. selhání kabelu, 7 - kabel).

9.8 Kabely s nízkým požárním nebezpečím



↑ *Zkouška celistvosti obvodu v laboratorních podmínkách*

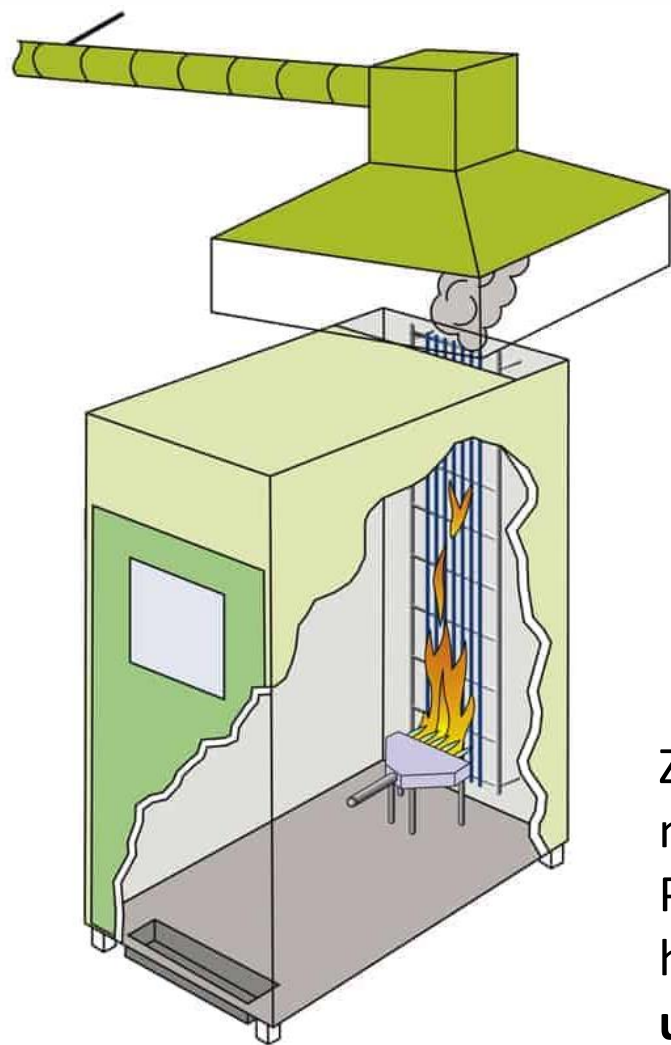
↓ *Zkouška funkčnosti kabelových tras v prostředí profesionální zkušebny*



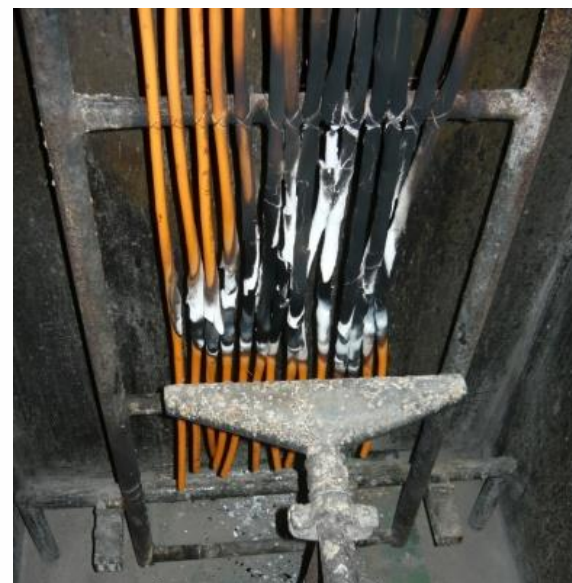
9.8 Kabely s nízkým požárním nebezpečím



9.8.4 Další možné zkoušky – zkouška vertikálního šíření plamene



Zkušební plamen se přikládá nejčastěji na dobu **40 minut**. Po uplynutí této doby je plynový hořák **vypnut**, hořící vzorek **uhašen** a **očištěn** od sazí. **Rozšíření plamene** se měří jako poškození, jehož rozsah je dán od **spodní hrany hořáku** po začátek zuhelnatění.



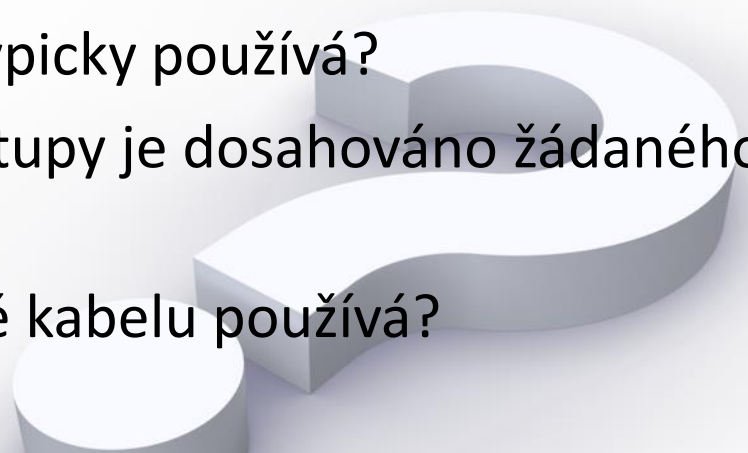
Kontrolní otázky

- Jaký je rozdíl mezi vodičem a kabelem?
- Co tvoří žílu kabelu?
- Kde se používají vodiče s trubkovým a obdélníkovým jádrem?
- Čím je charakteristický trolejový vodič?
- Jaký je rozdíl mezi plným a složeným jádrem vodiče? Za jakých podmínek se oba typy používají?
- Jmenujte typické materiály používané pro výrobu jádra a izolace vodičů.
- Jaký je rozdíl mezi polyethylenem a síťovaným polyethylenem?
- V jakých aplikacích se používá kapalná izolace vodičů?
- Co jsou to tvarované holé vodiče? Jaké jsou jejich výhody a nevýhody?
- Co je to ACSR lano a kde se používá?
- Co je to svazkový vodič a proč se používá?
- Jaký je rozdíl mezi AAC a AAAC vodičem pro venkovní vedení?



Kontrolní otázky

- Popište charakteristické znaky tzv. segmentovaného a „Z“ provedení holých venkovních vodičů, jejich výhody a nevýhody.
- Jak vypadá a kde se používá přípojnice?
- Co je to trolejový bronz?
- Jaké jsou krajní hodnoty průřezů jader silových izolovaných vodičů? Od jaké hodnoty průřezu je výhodné použití složeného jádra a proč?
- Co je to Roeblova tyč? Kde a proč se používá?
- Co je to kroucená dvojlinka? A kde se typicky používá?
- Jakými základními technologickými postupy je dosahováno žádaného průřezu drátu při výrobě kabelu?
- Co je to extrudér a k čemu se při výrobě kabelu používá?
- Co je to „duše“ kabelu?
- Z jakých důvodů se jednotlivé žíly kabelu stáčí do svazku?
- K čemu se používá tzv. „výplň“ kabelu?



Kontrolní otázky

- Jaké znáte systémy značení vodičů a kabelů? Popište jejich charakteristické znaky.
- Jaká barevná kombinace je vyčleněna pro značení ochranného (PE) vodiče?
- Jak jsou barevně značeny sdělovací vodiče?
- Proč a kde se používají kabely s označením LFHC? Co toto označení znamená?
- Jakými cestami se typicky může šířit požár mezi jednotlivými místnostmi v budově?
- Jakým způsobem je dosahováno zachování funkčnosti a oheň zpomalující funkce kabelu při požáru?
- Co jsou to halogenvodíky? Jakou mohou hrát roli v případě požáru budovy?
- Jakým způsobem může být ověřována funkční schopnost kabelu při požáru?

