

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Výrobní procesy v kabelovém průmyslu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš JAURA**
Osobní číslo: **E09B0018K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Výrobní procesy v kabelovém průmyslu**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Prostudujte a uveďte základní typy a označení kabelů.
2. Sestavte přehled výrobních operací duší kabelů.
3. Popište výrobu plášťů kabelů.
4. Proveďte hodnocení používaných technologií výroby.

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

1. Buchlovský, E., Houžvička, F., Grešík, P.: Výroba kabelů a vodičů. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1986
2. Kolektiv autorů (redigoval Artbauer): Kabely a vodiče. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1956
3. Elektronické informační zdroje, internetové databáze (IEEE.org, sciencedirect.com)

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

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012
Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2013


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radkovi Nejdlovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád touto cestou poděkoval panu Pavlovi Václavíkovi, který byl ve svém volném čase ochotný konzultovat danou problematiku a podělit se o své zkušenosti. Závěrem patří můj velký dík rodině a mým kolegům v zaměstnání za pomoc a podporu během mého studia.

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou jednotlivých výrobních procesů kabelů, které jsou v současnosti uplatňovány a jejich hodnocením. Práce je rozdělena do tří částí, ve kterých jsou jednotlivé procesy přiblíženy. První část je zaměřená na označování kabelů, historicky z pohledu národního označování až po současný stav dle harmonizované normy ČSN 34 7409 (HD 361.S3). Druhá část je zaměřena na výrobní operace duší kabelů, je zde popsána výroba elektrovodných jader, druhy a jejich použití. Přibližují zde princip lanování a způsob ochrany žil v případě požáru a následný proces izolace. Poslední část práce je orientována na výrobu plášťů kabelů, pojednává o způsobech ochrany kabelu stíněním a popisuje ochranné pancíře. Také rozvíjí problematiku extruze, která navazuje na proces izolování.

Klíčová slova

Kabel, ČSN 34 7409 (HD 361.S3), ČSN EN 60228, stáčecí stroj, vytlačovací šnekový stroj, extruze, plášť kabelu.

Abstract

This bachelor thesis is concerned with processes of cable production in the present and their assessment. The thesis is divided into three parts, where all processes are described. The first part is focused on the labelling of cables, historically, from the perspective of national labelling to the current state according to the harmonized standards ČSN 34 7409 (HD 361.S3). The second part is oriented on the manufacturing operations of core, conductive cores, types and their use. I have presented the principle of stranding here and the way to protect wire in case of fire and the subsequent process of insulation. The last part deals with making cable jackets, discusses ways of protecting the cable shield and describes the protective armour. It also develops the issue of extrusion, which is connected to the process of insulation.

Keywords

Cable, ČSN 34 7409 (HD 361.S3), ČSN EN 60228, stranding machine, screw extrusion machine, extrusion, the cable jacket.

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 7.6.2013

Lukáš Jaura

Obsah

Obsah	8
Seznam symbolů a zkratk.....	9
Úvod	10
1 Základní typy a značení kabelů	11
1.1 Popis kabelu.....	11
1.2 Základní druhy kabelů.....	11
1.3 Značení kabelů a vodičů	12
2 Přehled výrobních operací duší kabelů	14
2.1 Lanování elektrovodných jader	16
2.2 Ohniodolné bariéry	20
2.3 Izolování vodivých jader	21
2.4 Skladba žil kabelu dle barevného provedení	23
2.5 Stáčení izolovaných žil.....	23
2.5.1 Výroba prvků a svazků sdělovacích kabelů.....	24
2.5.2 Stáčení žil silových kabelů	25
3 Výroba plášťů kabelů	27
3.1 Základní funkce pláště.....	27
3.1.1 Vodublokující bariéry	28
3.1.2 Pancíře.....	28
3.1.3 Stínění	29
3.2 Ochranné obaly.....	30
3.3 Materiály pro izolování jader a plášťů kabelů	31
3.3.1 Proces opláštění	32
3.3.2 Šnek.....	34
3.3.3 Extruzní hlava.....	35
Závěr	37
Seznam literatury a informačních zdrojů.....	38
Seznam příloh.....	39

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky	Význam
nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
nf	nízkofrekvenční
vf	vysokofrekvenční
TP	kroucený pár (z angl. Twisted Pair)
LFHC	kabel se sníženým požárním rizikem
PVC	polyvinylchlorid
PTFE	polytetrafluorethylen (teflon)
EPR	ethylen propylen rubber
EPDM	ethylen propylen diene monomer
XLPE	sesítěný polyethylen
EVA	etylenvinylacetát
PE	polyethylen
PA	polyamid
PP	polypropylen
TPE	termoplastický elastomer
TPU	termoplastický polyuretan
HFBR	oheň retardující směs (z angl. Halogen Free, Fire Retardant)
ESČ	Elektrotechnický svaz český
FeZn	železný materiál, pásek, drátek pozinkovaný
ČSN	Česká státní norma
D_n	průměr kružnice opsané kolem jádra
d_d	průměr kružnice procházející středem jádra vodiče
O_2	obvod kružnice procházející středem drátů druhé polohy
O_1	obvod kružnice procházející středem drátů první polohy
n	rozdíl počtu drátů obou poloh
d	průměr drátu
f	koeficient plnění
m	činitel zkrutu
h	poměr zkrutu
D_s	střední průměr polohy
D	průměr šneku
L	délka šneku
H	hloubka šneku
δ	poloviční vůle mezi šnekem a pracovním válcem
α	úhel stoupání závitu
e	vodící plocha závitu
s	stoupání závitu

Úvod

Kabelová výroba je jednou z nejstarších disciplín v elektrotechnickém průmyslu. První zmínky o výrobě kabelů se datují ke konci 18. století. Průmyslová revoluce, která způsobila přesun z manufakturní a řemeslné výroby do hal k výrobě tovární byla na svém vrcholu od poloviny 19. století, vyvolala poptávku po elektrické energii.

Přenos elektrické energie nízkého a vysokého napětí pomocí kabelů se realizuje více než 100 let. Nebylo tomu však od počátku využívání elektrické energie. Například pro zavedení elektrické energie do Městského divadla v Brně roku 1882 bylo použito holých vodičů uložených v dřevěných žlábcích. [25]

Kabel dnešního typu se zrodil ve Švýcarsku. K Asfaltové izolaci, která byla použita, se přidala směs pryskyřice a oleje, na ni pak byla pomocí lisu nanесena vrstva olova. Tímto způsobem byl roku 1879 zhotoven první kabel určený k distribuci elektrické energie, se kterým by byla možná manipulace, a byl by vhodný pro uložení v zemi [25]. I když už se tento kabel podobá tomu současnému, nevyhověl by současným nárokům.

Tato práce je zaměřena na současný způsob výroby kabelů, proto bych zde uvedl základní typy v současnosti nejpoužívanějších kabelů, které bych doplnil o systém označování. Tento systém prošel téměř stoletým vývojem, než dospěl do současného stavu. V dnešní době je ovlivňován hlavně trhem a vzniká tak potřeba jednotného značení.

Dále navážu přehledem výrobních operací duší, ve kterém se zmíním o přípravě vodičů a jejich izolace, zde popíšu princip lanování, který je nezbytný pro výrobu kabelových duší a jako poslední téma bych chtěl popsat současnou výrobu kabelových plášťů, a přiblížit proces extruze.

1 Základní typy a značení kabelů

1.1 Popis kabelu

Kabel slouží k přenosu elektrické energie nebo informací v podobě elektrických signálů a tvoří tak vodivou cestu z místa zdroje, ze které přenášíme elektrickou energii, ať už v podobě silové elektřiny nebo energie potřebné pro přenos elektrických signálů, do místa určení. Na kabel je uplatňováno široké spektrum kritérií, které vycházejí z konkrétního účelu a použití kabelu, a které pak mají zásadní vliv na jeho finální podobu a vlastnosti použitých materiálů.

Konstrukci kabelu tvoří:

- *jádro (vodič),*
- *izolace,*
- *plášť,*
- *ochranný obal.* [1]

1.2 Základní druhy kabelů

Kabely se podle využití dělí na:

- *silové kabely - vedení elektrické energie,*
 - *nn – nízké napětí do 1 kV*
 - *sn – střední napětí 1 - 10 kV*
 - *vn – vysoké napětí nad 10 kV*
- *sdělovací metalické – vedení signálů,*
 - *nf – audio, video*
 - *vf – koaxiální vedení, speciální kabely*
 - *datové komunikační kabely - kroucená dvojlinka (TP), strukturované sítě*
- *sdělovací optické – datové přenosy,*
- *speciální kabely – petrochemický průmysl, jaderná energetika, automobilový průmysl atd.*

Silové kabely se používají pro přenos elektrické energie. Frekvence přenášené elektrické energie nebývá větší než několik desítek Hertzů a přenášený výkon nebývá větší než 10^8 W. Tyto kabely většinou obsahují jen několik žil.

Historicky lze silové kabely rozlišovat podle provedení na kabely:

- *s napuštěnou papírovou izolací, s hliníkovým nebo olověným pláštěm,*
- *s PVC a nebo PE izolací a PVC pláštěm, tzv. celoplastové kabely,*
- *s PVC izolací a olověným pláštěm.*

Sdělovací kabely slouží k přenosu signálů, jedná se tedy o nepatrnou energii, která se řádově pohybuje v rozmezí 10^{-6} W až 10^0 W. Kmitočet těchto signálů bývá ovšem velmi vysoký a pohybuje se v řádech 10^8 Hz [2]. U sdělovacích kabelů se rozměry jádra udávají v mm, a protože vodiči sdělovacích kabelů protékají velmi malé proudy, nebývají větší než 1 mm. Optické sdělovací kabely jsou samostatnou kapitolou. Optická vlákna (světlovody) vedou elektromagnetické vlnění v podélné ose. Jejich předností je zejména odolnost vůči elektromagnetickému rušení a nízký útlum signálu. Přenosová rychlost, kterou lze přenášet může dosahovat až $111 \text{ Gb}\cdot\text{s}^{-1}$. [5]

Speciální kabely mohou být jak silové, tak sdělovací. Samotné provedení a zkoušení kabelu je odvislé od zvláštních požadavků kladených ze strany odběratele.

1.3 Značení kabelů a vodičů

Použití kabelu, konstrukce a materiály jednotlivých prvků kabelu, to vše lze vyčíst ze značky umístěné na kabelovém plášti.

Počátek původního značení můžeme vysledovat již v první publikaci elektrotechnických předpisů z roku 1920, které byly vydány pod názvem *Předpisy a normálie ESČ*. Kabely jsou značeny v některých případech historicky podle platných norem z 50. a 60. let (viz CYKY, CYA, AYKY, SYKY, SYKFY atd.). Převodní tabulka mezi neplatným a nově platným značením je uvedena v příloze 1. Význam značky, potažmo jednotlivých písmenek čtených zleva doprava odpovídají pozici uvnitř kabelu od středu směrem vně. To znamená, že písmenko na první pozici kabelové značky označuje materiál, ze kterého je elektrovodné jádro zhotoveno. Následuje další písmenko, které označuje materiály izolací obalů elektrovodných jader, dále plášťů, nakonec počet žil a průřez vodičů.

Značení vodičů a kabelů:

- **neharmonizované národní kabely dle ČSN**
 - silové kabely dle ČSN
 - silové kabely dle DIN VDE
 - sdělovací a automatizační kabely dle DIN VDE
- **harmonizované mezinárodní**

Význam jednotlivých písmenných zkratek:

- **A – Al hliník,**
- **C – Cu měď,**
- **B – typ izolace vodiče,**
- **Y – PVC,**
- **XE – sesítěný polyetylen,**
- **N – impregnovaný papír,**
- **G – pryž („guma“),**
- **C – formálně označený kabel K,**
- **D – společná izolace vodičů, značení opět Y, N, G, E,**
- **F – označení napětové způsobilosti v KV (nepovinné).**

Většinou si každý stát a to i mimo Evropskou unii drží svoje značení kabelů podle příslušných zvyklostí a příslušných národních předpisů a norem. Celosvětově se používají tzv. harmonizované vodiče a kabely, které mají identické značení. Takové kabely se vyrábí podle harmonizovaných norem bez ohledu na zemi původu (např. H07- V, H07ZZ-K atd.). Jsou to vodiče a kabely používané pro výzbroj rozvaděčů, přívodní kabely pro ponorná čerpadla, vodiče a kabely pro automobilový průmysl. Některá značení se přebírají od ostatních států. Výroba kabelů se pak podřizuje předpisům příslušného státu (přizpůsobení se trhu a exportu).

Význam kabelové značky harmonizovaných kabelů je totožný jako u národního značení. Zápis a čtení má však odlišná pravidla. Opět je nutné rozpoznat, pro jaký účel byl kabel vyroben. Pravidla označování kabelů řeší harmonizovaná norma ČSN 34 7409 (HD 361.S3). Norma řeší pouze harmonizované nebo národní uznané typy kabelů a šňůr. Jako příklad uvádím kabel označený kódem H03VVH2 – F2x0,5.

Význam jednotlivých pozic v kódu (příloha 2) označení kabelu je následující:

1. *H – kabel odpovídá harmonizovaným normám,*
2. *03 – jedná se o kabel pro napětí do 300V,*
3. *V – vyjadřuje materiál izolace vodiče, v tomto případě se jedná o PVC,*
4. *V – materiál pláště je zhotoven z PVC,*
5. *H2 – plochý kabel neoddělitelný,*
6. *F – ohebné jádro ohebného kabelu nebo šňůry podle třídy 5 IEC 228,*
7. *2x0,5 – v kabelu jsou dvě žíly o průřezu 0,5 mm².*

2 Přehled výrobních operací duší kabelů

Základní konstrukční prvek vícežilového kabelu je kabelová duše. U silových kabelů je tvořena stočením žil kruhového nebo sektorového průřezu. Duše sdělovacích kabelů vzniká buď stočením izolovaných žil, nebo stočením prvků. Vodiče se také mohou oplášťovat bez stočení, pak se jedná o tzv. ploché kabely. Prvky tvoří stočené dvě (dvojka), výjimečně tři (trojka) a čtyři (čtyřka) žíly. Silové i sdělovací kabely se z důvodu zachování kulatosti kabelového profilu na stočenou duši v první vrstvě nanáší výplňová hmota.

Jádra vodičů tvoří vodivé cesty pro elektrický proud. Mohou být:

- jednodrátová (plná), u kabelů pro pevné uložení,
- z více drátů (složená), mohou být oválné, kruhové nebo sektorové.



Obr. 2.1: Ukázka provedení elektrovodných jader [21]

Nejčastěji užívanou surovinou pro výrobu elektrovodných jader silových a sdělovacích kabelů jsou měď a hliník.

Měď vede velmi dobře elektrický proud a v kategorii vodičů už to umí lépe jen stříbro. Její měrná elektrická rezistivita, kterou značíme ρ se udává $17,24 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot m$. Pro výrobu kabelů se používá měď o čistotě 99,95 až 99,99 %.

Měď se získává obtížným způsobem ze sulfidických rud postupným pražením a dmýcháním. Tomuto postupu se říká besemerace. Pak je nutné pomocí elektrolýzy měď vyčistit. Výstupem tohoto procesu jsou katodové desky, které se taví a odlévají do čtverhranných tyčí tzv. bárníků, ty se poté válcují a konečným výrobkem je tvrdý měděný drát o průměru 7 až 8 mm. Drát se pak následně zpracovává na strojích, které se nazývají drátotahy [2]. Tažení drátu je proces, při kterém drát prochází tzv. průvlaky (kameny) se stále se zmenšujícím průměrem až dosáhne požadovaného průměru. Aby bylo dosaženo kvalitního homogenního povrchu bez škrábanců, protahuje se drát emulzí, která materiál zároveň ochlazuje. Pro dráty větších průměrů až do hodnoty 0,5 mm se používají kameny vyráběné ze syntetických diamantů. Pro hodnoty menší než 0,5 mm se používají přírodní diamanty. [16]

Drátotahy lze ještě dále dělit na:

- **hrubo tahy – tloušťka drátu 4,5 až 1 mm,**
- **střední tahy – tloušťka drátu 1,8 až 0,1 mm,**
- **jemné tahy – tloušťka drátu 0,25 až 0,01 mm.**

Ztenčení drátotahem má vliv na mechanické vlastnosti takovým způsobem, že drát tvrdne a křehne. Aby bylo možné drát používat, je nutné obnovit jeho původní mechanické vlastnosti. Toho se docílí žháním v pecích. Drát je navinutý do svítků, do kterých se pomocí kladek pouští velký elektrický proud. Průchodem tohoto proudu se drát ohřeje na požadovanou žhací teplotu [2]. Takto ošetřený drát lze pak dále zpracovávat.

Na měď působí negativně některé složky izolace, jako jsou pryž, síra nebo kovy, které tvoří ve spojení s mědí (např. při stínění nebo pancéřování) článek. Proto se na měď nanáší buďto elektrolýzou nebo za tepla potahováním tenká ochranná vrstva stříbra nebo cínu. [5]

Hliník je stále nepoužívanějším materiálem, v porovnání s mědí je lehčí, jeho cena je nižší, má však o 40% horší vodivost než měď. Pak pro kabel, vyrobený z hliníku, který je stejně dimenzovaný musí být volen větší průřez jádra. Kabel bude ve výsledku větší, lehčí a

levnější [2]. Pro domovní elektroinstalace je užití hliníku na ústupu a to hned z několika důvodů. Hliník na vzduchu oxiduje, důsledkem toho zůstává na povrchu vrstvička oxidu hlinitého. Závažným problémem, který se v elektroinstalacích objevuje, je tečení hliníku. Vzniká tak, že průchodem elektrického proudu se hliník zahřívá a tím zvětšuje svůj objem. V místech, kde je vodič uchycený ve svorkách se vytláčuje. Po ochladnutí pak ve spoji zůstává přechodový odpor. Spoje je pak nutné pravidelně dotahovat.

Vodič je základní součást kabelu a prvotřídní čistota je důležitá pro následující výrobu a hlavně i pro výslednou kvalitu konečného výrobku.

2.1 Lanování elektrovodných jader

Jádro může být plné nebo složené z více drátů. Jádra větších průřezů bývají neohebná. Ohebnost lze docílit vytvořením jádra z několika vodičů, tzv. lanováním. Aby byla zachována soudržnost a ohebnost lana, smysl zkrutu jednotlivých vrstev lana se střídá v jednotlivých polohách pravý-levý-pravý atd.

Zkrut, který je stočen směrem vlevo označujeme písmenem „S“, opačným směrem se zkrut značí písmenem „Z“ [3]. Jednotlivé prvky vodičů a kabelů jsou zpravidla paralelně ovíjené kolem středového prvku. Může se jednat o jednotlivé dráty vodičů, žíly nebo skupiny žil. Podle požadavků se provádí stáčení (slanění) s rozdílnými délkami zkrutu. Podle počtu prvků se navíjením vytvoří odpovídající počet koncentricky stočených vrstev na sobě. [6]

Konstrukce lana je popsána základními pojmy:

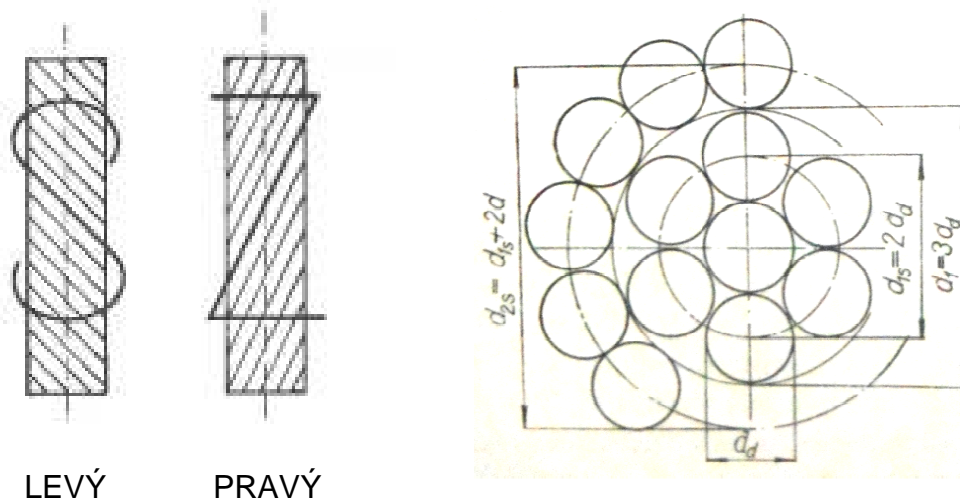
- *centrála – střed lana, může ji tvořit 1 až 5 drátů, dráty mohou být stočeny nebo uloženy paralelně,*
- *poloha – vrstva nacházející se na centrále nebo na předcházející poloze, jednotlivé polohy se čísly směrem od středu,*
- *zkrut – délka lana vytvořená za jednu obrátku koše, je daná vzdáleností dvou sousedních závitů měřená ve směru s osou lana,*
- *úhel stoupání – úhel, který svírá drát s rovinou kolmou na osu lana. [3]*

Existují tři základní konstrukce:

- *pravidelné,*
- *nepravidelné,*
- *sypané.*

Pravidelné lanování se využívá hlavně u silnějších průřezů, jednotlivé dráty jsou stáčeny do jednotlivých poloh, které se na sebe vrství. Lano se skládá ze středu, kterým může být centrála z jednoho nebo více drátů a z jedné polohy drátů [2]. Další poloha se stáčí protisměrně a tak se postupuje do té doby, než lano získá požadovaný rozměr.

Pro všechny pravidelné konstrukce lan, kromě jednoho případu, platí „zákon šestky“. Ten říká, že každá následující poloha má o šest drátů víc než předcházející. Jako příklad se uvádí lano s libovolným počtem drátů v centrále, které obsahuje dvě polohy. Postup je takový, že všech šest drátů stejného průměru d_d je stočeno ve šroubovici okolo centrály tak, že se navzájem dotýkají a jejich středy leží na kružnici o poloměru $2 d_d$. Celkový průměr lana s jednou polohou je $3 d_d$. Z konstrukce lana je patrné, že počet drátů v první poloze, je přímo úměrný délce obvodu kružnice, která prochází středem těchto drátů. [3]



Obr. 2.1.1: Konstrukce kulatého lana [1, 2]

Stejně je tomu i u dalších poloh. Vztah vyjádřený na základě této úvahy je možné zapsat takto:

$$O_1 - O_2 = n \cdot d \quad (1)$$

kde je:

O_2 - obvod kružnice procházející středem drátů druhé polohy,

O_1 - obvod kružnice procházející středem drátů první polohy,

n - rozdíl počtu drátů obou poloh,

d - průměr drátu.

Vyjádřením pomocí středního průměru první polohy a průměru drátu dostáváme [10]:

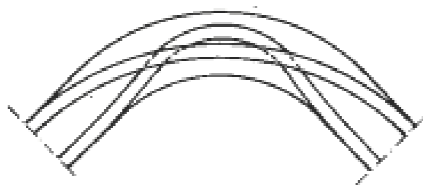
$$\begin{aligned} O_1 &= \pi D_1 \\ O_2 &= \pi D_2 \\ D_2 &= D_1 + 2 \cdot d \quad (2) \\ \pi(D_1 + 2 \cdot d) - \pi D_1 &= n \cdot d \\ \pi D_1 + 2\pi d - \pi D_1 &= n \cdot d \\ n &= 2 \cdot \pi \doteq 6.28 \end{aligned}$$

Výsledek nám říká, že ve druhé poloze je o 6,28 drátů více, než v první. Vejde se do ní tedy o šest drátů víc, než do polohy předcházející. Vztah je platný obecně pro každou polohu s výjimkou lana, jehož centrálu tvoří jeden drát. Potom je první poloha tvořená šesti dráty. Ve všech ostatních případech je uplatňován „zákon šestky“. Z toho plyne, že ve druhé poloze bude 12, ve třetí 18, ve čtvrté 24 drátů, atd. [2]

Nepravidelné konstrukce se používají pro lanka menších průřezů, kde je vyžadována větší ohebnost. Průměr lanek je maximálně 0,4 mm. Dráty jsou vpouštěny přes průvlak najednou a stáčeny v jednom provazci. Pro ohebnost platí přímá úměra, čím více je drátů pro daný průřez, tím více je jádro ohebnější. [1]

Kdyby bylo lano větších průměrů tvořeno velkým množstvím rovnoběžně uložených drátů, bylo by ohebné, ale při ohybu by docházelo k tomu, že dráty vzdálenější středu od ohybu by byly namáhané tahem, kdežto dráty blíže ke středu ohybu by byly naopak

namáhané tlakem. Proto je lanu dáván zkrut. Takto slanéý drát je v určitém místě namáhan tahem, v následujícím místě je pak namáhan tlakem, namáhání se tak mohou vyrovnat. [12]



Obr. 2.1.2: Namáhání jádra lana bez zkrutu [1]

Protože kruhovými profily nelze průřez lana zcela vyplnit, využití profilu lze určit na základě koeficientu plnění f . Maximální hodnota, které může nabývat je rovna jedné. Je dán poměrem součtu průřezů drátů k celkové ploše uzavřené křivkou opsanou okolo jádra:

$$f = \frac{N \frac{\pi d_d^2}{4}}{\frac{\pi D_n^2}{4}} = N \cdot \frac{d_d^2}{D_n^2} \quad (3)$$

N – počet drátů jádra, d_d – průměr drátů, D_n – průměr kružnice opsané kolem jádra.

Ohebnost lana závisí na počtu drátů resp. prvků, které tvoří lano a na délce zkrutu jednotlivých poloh. Lano bude ohebnější, čím více bude drátů resp. prvků a čím kratší bude zkrut. Rozvinutím závitu šroubovice vzniká přepona pravoúhlého trojúhelníku, kde základnou je průměr dané polohy procházející středem drátu. Úhel, který svírá přepona se základnou je úhlem stoupání. Výška trojúhelníku se rovná délce zkrutu. Činitel zkrutu m je dán poměrem zkrutu h k střednímu průměru polohy D_s .



Obr. 2.1.3: Sektorové jádro [12]

Pro lepší využití profilu kabelů nízkého napětí do 1 kV se využívá sektorových jader. Lanové jádro se lisuje ve válci do tzv. sektorů zhruba trojúhelníkového tvaru (obr. 2.1.3). Velikost jádra je definováno normou ČSN EN 60228, která stanovuje nejvyšší povolený odpor každého průřezu. [2]

Pro kabely, které musejí odolávat vyšším teplotám, se používá silikonový kaučuk nebo teflon, na bezpečnostní kabely PE nebo XLPE (síťovaný polyetylen s lepšími mechanickými

vlastnostmi).

Při výběru vodičů je primárním parametrem vodivost, která je vztažená k jednotlivým průřezům a je daná normou ČSN EN 60228. Výběrem vhodného materiálu lze dosáhnout lepší vodivosti při menším průřezu a tím dosáhnout větších úspor.

2.2 Ohniodolné bariéry

Kabely, u kterých je vyžadována funkční integrita v případě požáru LFHC (z angl. Low Fire Hazard Cable) se ještě před samotným izolováním opatřují tzv. ohniodolnými bariérami. V současné době se pro řešení konstrukcí kabelů využívá slídivá páska, resp. tepelné odolnosti slídy. Konstrukce jsou schopny si v případě požáru zachovat svoji funkčnost. Pásky je možné ovinout přímo měděné jádro nebo další prvky kabelu a je možné je ovinout i pod izolací pláště. Dále se používají sklo-textilní pásy (s min. 90% podílem skla, zbytek tvoří polyesterová vlákna, resp. textilie). [17]

V případě požáru, se konstrukce zachová tak, že plastová část izolace shoří a zůstávají pouze pásy se zbytky popela. Vnitřní opředení pak vzniklý popel drží pohromadě, takže tvar kabelu zůstane zachovaný a jednotlivé žíly izolované. Popel, který vznikne i nadále zajišťuje izolační integritu. [17]

V poslední době se začíná při výrobě požárně bezpečnostních kabelů stále více využívat nových silikon-kaučkových směsí, které v případě požáru „keramizují“. To znamená, že směs vytvoří při hoření „krustu“, která dostatečně zajišťuje izolační integritu. Nevýhodou této vrstvy je horší mechanická odolnost, která nevydrží větší mechanické namáhání. Nespornou výhodou dané technologie je větší efektivita výroby (odpadá proces ovíjení páskou a následné extruze izolace).

Kromě popsaných kabelů s plastovou izolací existují také speciální kabely, které se skládají z jednoho nebo více masivních měděných vodičů uložených v lisované minerální izolaci. Obalem je bezešvý tažený nebo svařovaný měděný plášť. Kabel takové konstrukce má velmi vysokou mechanickou pevnost a prakticky vylučuje šíření požáru. Systém je velmi náročný na montáž a velmi složitě se napojuje. Další nevýhodou je podstatně vyšší cena v porovnání s plastovými kabely, proto je také jejich výskyt velmi ojedinělý. Používají se např. ve Velké Británii, která je také jejich největším producentem. Dále jsou uvedeny některé příklady kabelů se zachováním funkčnosti a jejich označení. [17]

Silové kabely:

- *NHXX E30 – ohni odolný bezpečnostní kabel 0,6/1 kV s funkční schopností při požáru 30 minut,*
- *NHXX E90 – ohni odolný bezpečnostní kabel 0,6/1 kV s funkční schopností při požáru 90 minut. [17]*

Slaboproudé kabely:

- *JE-H(St)H BD E30 - ohni odolný bezpečnostní kabel do 230 V s funkční schopností při požáru 30 minut,*
- *JE-H(St)H BD E90 - ohni odolný bezpečnostní kabel do 230 V s funkční schopností při požáru 90 minut. [17]*

Pro výrobu LFHC kabelů je ohniodolná vrstva nepostradatelnou součástí. Pro plynulou výrobu s ohledem na jejich vlastnosti se jeví jako časově a tedy ekonomicky výhodnější technologie silikon-kaučukové izolace (keramizující). V procesu výroby odpadá technologie ovíjení přadákem páskových materiálů. Navíc silikon-kaučukové materiály mají lepší požární odolnost a přispívají zajištění bezpečnosti mnohem lépe než konstrukce, které se ovíjejí sklo-slídovými páskami.

2.3 Izolování vodivých jader

Aby nedocházelo ke svodu je nutné jádra izolovat. Materiály používané k izolaci ovlivňují možnosti použití kabelu, mají zásadní vliv na jeho elektrické vlastnosti, přenosové možnosti, životnost a bezpečnost při provozu.

Extruze je proces, při kterém se na jádro nanáší roztavené směsi požadovaného izolačního materiálu pomocí vytlačovacích strojů tzv. extrudérů, které jsou společně s ko-extrudéry součástí izolační linky. Holý drát nebo lanko, dále polotovar, je odvíjeno z kornoutového odvíječe, přes brzdu, která zajišťuje dostatečné napnutí. Pak je nutné drát předehřát pomocí indukčních ohřevů a změřit průměr. Teprve poté je polotovar vpouštěn do extrudéru, který je většinou ve spojení s ko-extrudérem do jedné hlavy a vytlačují roztavenou polymerovou směs do speciální křížové hlavy, která na vodiči vytvoří dvojitou vrstvu izolace, případně odlišně zbarvený pruh [19]. Toho se využívá hlavně u izolování

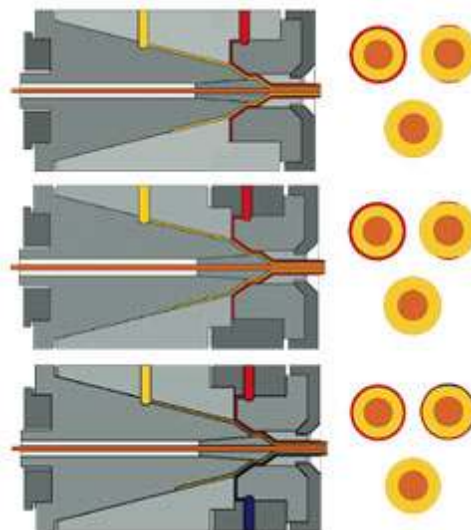
ochranného žluto-zeleného vodiče. Základní izolační materiál může zůstat nebarvený a barevnost lze zajistit tenkou finální vrstvou, což umožňuje nemalé úspory materiálu.

Na obr. 2.3.1 řezu příčné (křížové) výtlačné hlavy firmy Unitek je naznačen proces izolování polotovaru. Izolovaný vodič je odtahován do chladicího žlabu a dále přes měření průměru a excentricity je navíjen na buben. [19]

Jaká směs bude použita, záleží na prostředí, ve kterém bude kabel upotřeben. Nejrozšířenější celoplastové kabely s PVC izolací nemusí vyhovovat fyzikálním nebo chemickým provozním podmínkám. Na kabely může působit celá škála proměnných jako např. vysoká teplota, chemicky agresivní prostředí, záření. Vhodnými a často používanými materiály jsou polyetyleny (PE), etylenvinylacetáty (EVA), polyamidy (PA), vyšším teplotám odolávají izolace z teflonu (PTFE), který je stabilní při teplotách až do 260°C nebo ze silikonového kaučuku, který je velmi ohebný a snáší teploty až 250°C, bohužel ale není odolný vůči otěru a přetržení. [9]

„Na bezpečnostní kabely se používá polyethylen (PE) nebo síťovaný polyethylen s lepšími mechanickými vlastnostmi (XLPE)“ [5]. Spalováním tyto druhy materiálů, neprodukuje žádné korozivní nebo jedovaté plyny, ale pouze vodní páru a oxid uhličitý. Polymery jako polyetylen (PE) nebo polypropylen (PP) jsou bezhalogenové, ale jsou snadno hořlavé a nejsou samozhášecí. [9]

Proces izolování elektrovedných jader, resp. nástroje, které se pro tento technologický proces používají, jsou dnes na velmi dobré úrovni. Hlavy pro vícevrstvé opláštění, dávají v této oblasti výrobcům možnost zefektivnit výrobu tím, že se do základní izolace nepřidává pigment, ale přimíchá se až do tenké vnější vrstvy.



Obr. 2.3.1: řez dvouvrstvé křížové koextruzní hlavy [18]

2.4 Skladba žil kabelu dle barevného provedení

Tab. 2.4.1: Barevné značení žil dle ČSN 33 0166 ed.2 dle HD308 S2 a ČSN 33 0165 [4]

BAREVNÉ ZNAČENÍ ŽIL / COLOR IDENTIFICATION OF CORES									
platné od 01.04.2006 ČSN 33 0166 ed.2: 2002, STN 34 7411 ed. 10. 2003 dle HD 308 S2									
Sňury a ohebné kabely / flexible cables					Kabely pro pevné uložení / fixed cables				
	se žz (G) / with yel. gm.		bez žz (X) / without yel. gm.			se žz (-J) / with yel. gm.		bez žz (-O) / without yel. gm.	
2-žilové / 2 cores	—				2-žilové / 2 cores	—			
3-žilové / 3 cores					3-žilové / 3 cores				
4-žilové / 4 cores					4-žilové / 4 cores				
5-žilové / 5 cores					5-žilové / 5 cores				
					mnohožilové / multiple cores		směrová / direction		číslované / counting
ČSN 33 0165 - platné pro přechodné období do 31. 3. 2006									
Sňury a ohebné kabely / flexible cables					Kabely pro pevné uložení / fixed cables				
	A	B	C	D		A	B	C	D
2-žilové / 2 cores		—	—		2-žilové / 2 cores			—	
3-žilové / 3 cores		—			3-žilové / 3 cores				
4-žilové / 4 cores	—				4-žilové / 4 cores	—			
5-žilové / 5 cores	—	—			5-žilové / 5 cores	—	—		
mnohožilové / multiple cores					mnohožilové / multiple cores				
			počítací vnější poloha counting outer position	počítací vnitřní poloha counting inner position			směrová / direction	číslované / counting	číslované / counting
			ostatní / other	ostatní / other			počítací vnější poloha counting outer position	počítací vnitřní poloha counting inner position	ostatní / other

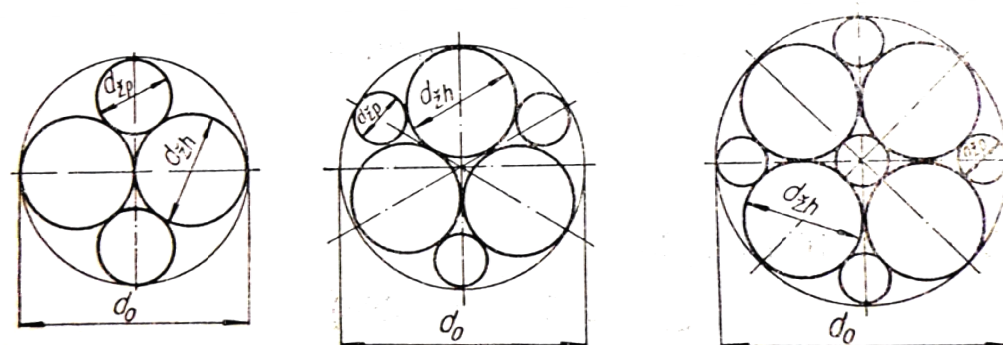
Barevné značení jednotlivých žil kabelu stanovuje norma ČSN 33 0165, která vešla v platnost v roce 1992, a podle které se postupovalo až do dubna roku 2006. Problematika barevného označení izolovaných žil kabelu se zkomplikovala vydáním normy ČSN 33 0166 ed.2., která vešla v platnost 1. 4. 2006 a je v současnosti upřednostňována. Nicméně ČSN 33 0165 je stále platná. [11]

2.5 Stáčení izolovaných žil

Po výběru vhodného typu jádra a barevné kombinace izolace žil následuje tzv. stáčení. Stáčení je proces, při kterém jsou kolem centrály, kterou může tvořit samostatná žíla nebo prvek, ovíjeny jednotlivé žíly nebo prvky (soubor žil). Izolované žíly stočené do kabelové duše lépe drží tvar a konstrukce se pak nerozpadá, je ohebná a usnadňuje manipulaci [2]. Pro

stáčení izolovaných duší kabelů platí stejná pravidla jako pro lanování s rozdílem, že žil v duši je mnohem méně. [3]

V kabelové duši se velmi často vyskytuje stočení pouhých dvou, tří, čtyř nebo pěti izolovaných žil. Za velmi nestálé se považuje stočení pěti žil a to vzhledem k velké prostotě uprostřed duše, do které může zapadnout některá z izolovaných žil. Proto se střed vyplňuje nejčastěji pryžovou vložkou. Stabilnější je pak duše stočená ze čtyř. Ale i zde se používají vložky, které mohou být kulaté, profilové, speciálně přizpůsobené tvaru průřezu duše [2] příklad uveden na obr. 2.5.1.



Obr. 2.5.1: Stočené žíly s výplňovými vložkami [12]

U vícežilových kabelů vzniká potřeba do některé polohy umístit více žil, než odpovídá pravidelnému lanování. To lze řešit buď vložením slepých žil do předcházející polohy, nebo zvětšením průměru žil.

2.5.1 Výroba prvků a svazků sdělovacích kabelů

Konstrukce duše sdělovacích kabelů vzniká přímým stáčením žil nebo prvků. Jednotlivé prvky se získávají zkrucováním žil do párů [3], čtyřek nebo ojediněle i do trojek [2]. Kabely tvořené duší, kde jsou použity výše zmíněné prvky, se nazývají souměrné nebo také symetrické [3]. U těchto kabelů je důležité potlačit na maximální možnou míru možnost přeslechu. Aby byla zajištěna tato podmínka, nesmějí mít dva sousední páry stejnou délku zkrutu [1].

Jednotlivé prvky lze dělit na:

- *pár* *P*,
- *radiopár* *RP*,
- *nízkofrekvenční čtyřky* *XN*,
- *vysokofrekvenční čtyřky* *XV*,
- *křížové čtyřky* *XPi*,
- *čtyřky DM (Dieselhorst-Martinovy)* *DM*. [1]

Pár tvoří dvě žíly stočené ve šroubovici. Čtyřka DM je tvořena dvěma páry, které jsou samostatně stočeny do šroubovice. U křížové čtyřky jsou žíly stočeny tak, že každá z nich leží v rohu pomyslného čtverce. Trojka tvoří tři stočené žíly. [1]



Obr. 2.5.2: Prvky souměrných kabelů, a – pár, b- křížová čtyřka, c – DM čtyřka, d - rozhlasový pár, e - trojka [1]

Další skupinu sdělovacích kabelů tvoří kabely asymetrické, sousedé nebo se častěji používá výraz koaxiální. Pro přenos signálů až do 50 GHz. [5]

2.5.2 Stáčení žil silových kabelů

Stáčení silových kabelů se uskutečňuje na stáčecích strojích, které jsou dvojího provedení:

- *s pravidelným zkrutem,*
- *se střídavým směrem zkrutu.* [1]

Pro stáčení s pravidelným zkrutem se používají:

- *košové rychlostáčecí stroje, které jsou vhodné pro výrobu vícežilových kabelů o průřezu do 6 mm²,*
- *košové stroje bez zpětného otáčení odvíjecích cívek, vhodné pro výrobu duší složené ze žil malého průřezu nebo sektorových jader bez předzkrutu,*
- *košové stroje se zpětným otáčením odvíjecích cívek, využívané ke stáčení sektorových jader s předzkrutem, anebo kruhových jader většího průřezu,*
- *stroje s rotujícím navijákem, se vyrábějí na míru, rozhodující parametry jsou rozměry žil a jejich počet,*
- *stroje s dvojitým zkrutem, používané pro stáčení žil s průřezem do 35mm². [1]*



Obr. 2.5.3: Stáčení izolovaných žil s pravidelným zkrutem [10]

Na stáčecím stroji se z mnoho jednotlivých žil, odebíraných z mohutných zásobních cívek, vytváří kabel pro konkrétní aplikaci (obr. 2.5.3).

Princip protiběžného stáčení spočívá v tom, že každá následující vrstva je navinuta opačným směrem, než předcházející. Stáčení má tzv. zkrut "S", pokud probíhá směrem vlevo, vzdaluje-li se od pozorovatele a tzv. zkrut "Z", pokud ubíhá směrem vpravo. Dále rozlišujeme techniku stáčení se zpětným otáčením, bez nebo se střídavým směrem zkrutu S-Z. [3]

Silové energetické kabely s různými profily vodivých jader (kruhových i sektorových) jsou stáčeny ve fázi kabelové duše technologií S-Z, která nevyžaduje použití robustních a těžkých rotujících odvíjů a navijů bubnů o váze do deseti tun s průměrem čela až 2,5 m. Metoda

S-Z vychází z principu, kdy je provedeno stáčení žil kabelu pomocí speciálně řízených hlav, otáčejících se 10 – 15x jedním směrem a potom – opět se stejným počtem otáček – směrem opačným. Tento systém umožňuje odvíjet kabelové žíly z klasických svíjáků a navíjet vyrobený polotovár (kabelovou duši) na běžný naviják. [8]

Celá sestava výrobní linky je na 30 % hmotnosti běžně používaných lanovacích strojů a nepotřebuje žádné zvláštní stavební úpravy. Klíčovým prvkem celé sestavy linky je stáčecí uzel, tzv. lanovací bod (obr. 2.5.4), který je tvořen soustavou naváděcích kladek a rotujících průvlaků, kde je vše poháněno krokovými motory řízenými automatizačním systémem linky. Linka navíc maximálně využívá elektronického řízení svého chodu, jednotková rychlost výroby je mnohem vyšší. [8]



Obr. 2.5.4: Lanovací bod stáčecí linky DTSZ 45 [23]

Oproti původním lanovacím strojům, je schopen stáčecí stroj se systémem S-Z zkrutu rakouské firmy Rosendahl dosáhnout zapojení v tandemu s opláštěvací linkou daleko větší produktivity.

3 Výroba pláštěů kabelů

3.1 Základní funkce pláště

Hlavní funkcí pláště kabelu je ochrana žil kabelu před vlhkostí, případně jinými vnějšími vlivy, které by mohly funkčnost kabelu narušit.

Plášť kabelu plní dvě základní funkce, drží konstrukci pohromadě a chrání ji před nepříznivými vnějšími vlivy:

- *vlhkost,*
- *mechanické poškození,*
- *elektromagnetická pole,*
- *chemikálie,*
- *teplo nebo oheň,*
- *bludné zemnicí proudy.*

Velmi záleží na prostředí, ve kterém bude kabel provozován a na způsobu uložení. Na kabel většinou působí hned několik nepříznivých vlivů. Z toho důvodu mají některé kabely a vodiče zvýšenou odolnost pláště zajištěnou ochrannými obaly, které chrání kabel a jeho části před elektromagnetickým rušením a mechanickým poškozením.

3.1.1 Vodublokující bariéry

Vodublokující pásy, vodublokující nitě, které zabraňují jak axiálnímu, tak i radiálnímu průniku vody do kabelu, a tím zajišťují provozuschopnost kabelu. Pásy se musejí překrývat alespoň o 20% své šíře. Ovin kabelu je prováděn na tzv. přadácích, které jsou většinou součástí linky. [13]

3.1.2 Pancíře

Lehký pancíř, provedený opletem z FeZn drátků při překrytí 75% se používá u kabelů, u kterých je potřebné zajistit jak mechanickou ochranu proti poškození kabelu, tak ochranu vůči působení vlivu okolí. [15]

Pancíř z Al nebo FeZn drátů a současným ovinutím FeZn páskou vytváří, jak mechanickou ochranu proti poškození kabelu, tak ochranu vůči působení vlivu okolí např. kyselého prostředí, které by standardní oplet z Cu opletu korozivně poškodilo. [15]

Proti podélnému pronikání kapaliny duší jsou kabely chráněny bariérou proti pronikání vlhkosti, používanou v konstrukcích kabelů, které jsou uloženy v zemi nebo v případech, kdy kabel může být vystaven účinkům vody. [15]

3.1.3 Stínění

Výběr vhodného typu stínění pro konkrétní účel použití se provádí na základě kritérií:

- *určení vlivů (např. výboje, radiační poruchy, elektromagnetická pole, atd.),*
- *stanovení frekvencí provozovaného zařízení,*
- *předpokládané pohyby kabelu.* [22]

Stínění páskou z hliníku nebo hliník-polyesteru se pokrývá vodič nebo twistované páry. Pod stínění se vkládá drátek z neizolovaného vodiče tak, aby zajistil kontinuitu a zvýšení uzemnění pro odvod elektrostatického náboje.

Používají se v případech:

- *dochází-li k interferencím, které jsou zapříčiněny např. TV signálem, vlivy jiných obvodů, radiosignálem, fluorescenčními lampami,*
- *pro industriální prostředí s nízkými elektromagnetickými emisemi, nebo kde jsou elektrostatické výboje generovány syntetickými materiály např.: vlákna, příze, tkaniny atd.* [22]

Kvalitní stínění zajistí kabelu ovin Cu fólií s vysokým stínícím efektem – EMC.

Spirálovité stínění pokrývá jeden nebo několik vodičů a je vytvořeno svazkem nebo souběžnými vlákny ovinutými šikmo k ose kabelu. Použití je vhodné především tam, kde dochází k rušení při nízkých frekvencích a tam, kde je vyžadována odolnost vůči tření a zkrutu. [22]

Stínění opletením neboli punčoška, je vytvořeno svazkem paralelních vláken ovinutých šikmo k ose kabelu dle stupně rychlosti oplétacího stroje a procentu krytí. Zabezpečuje krytí maximálně 98%.

Použití technologie je výhodné:

- *především tam, kde vzájemně ovlivňovaná zařízení mají nízkou impedanci: napájení motoru invertory nebo konvertory, napájení indukčních zátěží,*
- *pro napájení zařízení, kde může docházet k vzájemnému ovlivňování vysokých a nízkých frekvencí např.: návštěvní kabely pro identifikační systémy, počítačové kabely, řídicí a ovládací kabely, atd.* [22]

Spirálovité stínění a stínící páska se používá tam, kde je potřeba zajistit kompletní stínění. Kombinuje opletení hliníkové a polyesterové pásky. Zabezpečují výborné stínění jak v pásmu krátkých, tak i dlouhých vln, a nabízí výbornou ochranu vůči elektrostatickým výbojům. Není vhodné pro pohyblivé připojení kabelů, protože není odolné vůči stálému ohýbání či zkrutům. Toto řešení je poměrně nákladné. [22]

Kombinace se velmi často používá:

- *pro mnohočetnou interferenci jak vysokých a nízkých frekvencí,*
- *jedná-li se o použití kabelů v dynamických aplikacích, kde se předpokládá pohyb, se hliníková páska nahrazuje vodivou tkaninou.* [22]

3.2 Ochranné obaly

Nejstarším způsobem opláštění je olověné, vyráběné na tzv. olovolisech. Kovové pláště, až na výjimky pro speciální použití, se dnes nevyrábí, a proto jejich výrobu ve své práci nepopisují. Pomyslné otěže ve výrobě plášťů převzaly polymery. Vůbec nejčastěji používanými jsou PVC kabely, které běžným podmínkám vyhovují, ale v extrémních prostředích tyto kabely v podstatě nemají šanci dostat náročnosti zkoušek podle nových norem. Stále častěji se lze setkat s oranžovými a hnědými plášti, které značí požárně bezpečné kabely ze směsí bezhalogenových nehořlavých polymerních směsí HFFR (z angl. Halogen Free Fire Retired). [6]

Existují následující typy kabelových plášťů:

- *olověné, vyráběné na hydraulických lisech anebo kontinuálních šnekových lisech,*
- *hliníkové, hladké nebo zvlňované, vyráběné na hydraulických lisech anebo podélně svařované,*
- *ocelové, zvlňované, podélně svařované,*
- *měděné, zvlňované, podélně svařované,*
- *pryžové vytlačované a průběžně vulkanizované,*
- *plastové (měkčené PVC, PE a jiné), vytlačované extrudérem,*
- *vrstvené (podélně položené AL/PE fólie a vytlačovaný PE plášť) [1].*

3.3 Materiály pro izolování jader a pláštěů kabelů

V současné době jsou nejčastěji užívané vrstvené celoplastové pláště. Princip je totožný s procesem izolace žil s tím rozdílem, že pro opláštění se používá větších nástrojů (patrice, matrice).

Významným faktorem pro dosažení optimálních požadovaných vlastností kabelu je pečlivý výběr materiálu. Nejrozšířenější materiál pro izolování vodičů a kabelů pro běžné použití je PVC, které ovšem nebylo možno použít pro vysokonapěťové kabely. Proto se používala napuštěná vrstvená papírová izolace. Vysycháním izolace se uvnitř kabelu začaly vyskytovat částečné výboje, a proto se konce kabelů z obou stran musely opatřovat dolévacími koncovkami. To se v praxi ukázalo jako nepraktické a náročné na údržbu. Problém vyřešil kabel s použitou izolací ze sesíťeného polyetylénu (XLPE), např. AXEKCY. Kabely jsou lehčí a spolehlivější, provoz levnější, a protože neobsahují kabelovou hmotu ani olovo jsou ekologičtější.

Materiál, který se používá k izolaci vodiče lze dělit do tří skupin:

- *vulkanizované elastomery (EPR, EPDM, silikonový kaučuk atd.),*
- *termoplasty (PVC, PE, TPE, TPU, PP, fluoropolymery),*
- *sesíťené izolační materiály (XLPE, HFFR).*

Nejčastěji používané směsi jsou:

- *PVC – polyvinylchlorid, v kabelovém průmyslu nejčastěji používaný samozhášivý materiál, který odolává teplotám do 70°C,*
- *PE – polyetylen, je tvrdší než PVC, při hoření odkapává, odolává teplotám do 90°C,*
- *XLPE – sesíťený PE, přidáním katalyzátoru se mění struktura materiálu tak, že se vytváří nové vazby, materiál má lepší termomechanické vlastnosti a odolává např. i chemikáliím, elastomer si zachovává své vlastnosti při teplotách do 90°C,*
- *Pěnový PE – přítomnost vzduchu v materiálu zlepšuje dielektrické vlastnosti, používá se jako dielektrikum koaxiálních kabelů,*
- *HFFR – halogen free fire retarded, bezhalogení oheň retardující materiál, je nehořlavý, použití pro nehořlavé kabely, odolává teplotám do 90°C,*

- **TPU – termoplastické polyuretany, vysoká houževnatost, flexibilita, odolnost vůči oděru, mikrobům a olejům. Odolává teplotám do 80°C.** [13]

Jedná se o tzv. polymery. Strukturu polymeru vytvářejí makromolekuly složené obvykle až ze statisíců molekul, které jsou propojené do dlouhých řetězců.

3.3.1 Proces opláštění

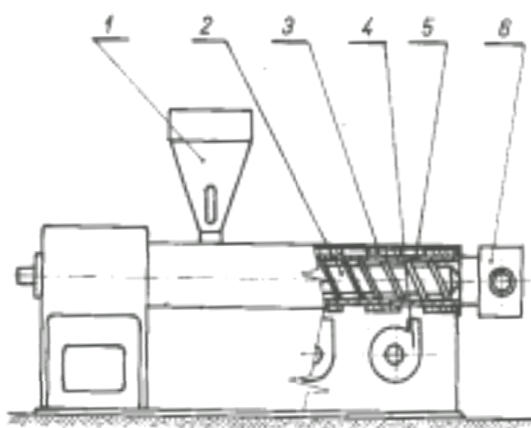
Opláštění pomocí extrudéru je v podstatě totožný proces jako u izolování elektrovodných jader s tím rozdílem, že je zde použito menších nástrojů (patrice, matrice).

Výtlačný šnekový stroj (extrudér) je hlavní stroj extruzní linky. Práce tohoto stroje je kontinuální, a proto je zvláště výhodný pro opláštění. Dvou a vícevrstvé pláště jsou zcela běžné, je-li kabel stíněný nebo pancéřovaný. Při výrobě silových kabelů bývá často proces extruze bezprostředně za stáčecím. [13]

Extruzní plášťové linky, jsou určeny pro výrobu vícežilových kabelů jakožto finálního výrobku. Vstupním polotovarem je duše stočená z jednotlivých izolovaných kulatých nebo sektorových žil nebo samostatná žíla, ať už z mědi nebo hliníku, které byly vyrobeny během předchozích operací na žilových linkách. Celý proces řídí elektronický systém plášťové linky, jehož úkolem je nanést na polotovar, u jednožilových, potřebnou vrstvu výplňové hmoty, následně vrstvu izolace a vyrobit tak opláštěný kabel. Obě vrstvy jsou nanášeny dvěma nebo více extrudéry. Záleží na konstrukci kabelu. Po nanesení poslední vrstvy izolace se kabel ochladí v chladicím žlabu. Žlab bývá dlouhý 2 až 3 m. Chlazení zajišťuje proudící voda. Následně se kabel označí a změří jeho vyrobená délka. Nakonec se kabel navíjí na cívky různých velikostí. Pro navíjení slouží obvykle dva traverzující navijáky, díky kterým je možné zajistit nepřetržitou výrobu. [14]

Kontinuální šnekový výtlačný stroj nebo také extrudér (obr. 3.3.1) se rozděluje do tří částí:

- *tzv. vstupní (plnicí) pásmo stroj zachytává granulovanou, aglomerovanou nebo práškovou hmotu za současného stlačování ji posouvá směrem k hlavě,*
- *přechodná, kde dochází k zahřátí, stlačování, promíchávání a plastifikaci směsi,*
- *výstupní nebo také dávkovací (vytlačovací) pásmo C.*

**Legenda:**

- 1) *násypka,*
- 2) *šnek,*
- 3) *elektrické odporové topení,*
- 4) *chlazení,*
- 5) *pracovní válec,*
- 6) *vytlačovací hlava s nástroji.*

Obr. 3.3.1: Vytlačovací šnekový stroj[1]

Vyhřívání válců šnekových vytlačných strojů se provádí elektrickým vytápěním odporově nebo indukčně. Podle potřeby se válec kromě ohřívání chladí, toto je automaticky regulováno. Každá ze zón je třeba důkladně předeřhřát na požadovanou teplotu udávanou výrobcem. Teploty nejsou pevně dané, ale jsou vždy dané dolní a horní hranice. Některé materiály na bázi silikonů vyžadují chlazení a teplota nesmí přesáhnout 40°C. Proto je nutné stroje chladit. Chlazení se provádí vodou, olejem nebo vzduchem (ventilátory).

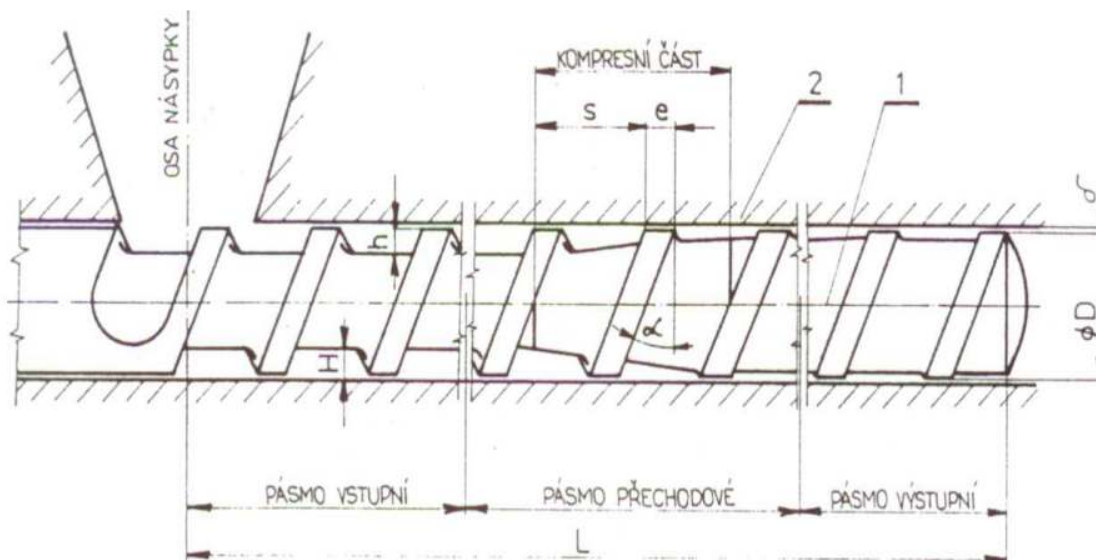
Ve vstupním pásmu je požadovaná směs ve formě granulí nebo prášku vpouštěna otvorem z násypky a zachytávána šnekem. Profil šnekové hřídele je na začátku zaplněný pouze z části, materiál je posouván směrem k hlavě vytlačovacího stroje. Postupně je materiál zahříván především teplem, které vzniká třením a při stlačování. Z materiálu vzniká postupně jakási polymerová zátka. Pro její další účinný posun je důležité, aby síly tření zátky a povrch šneku byly menší než síly tření zátky o stěnu pouzdra. Jsou-li splněny tyto podmínky, zátka klouže po povrchu šneku a posouvá se směrem k hlavě. V opačném případě polymer klouže po povrchu pouzdra a neposouvá se. [4]

Přechodové pásmo je část extrudéru, kde se polymer v tuhém stavu přeměňuje na taveninu teplem z ohřevů i teplem vzniklým třením materiálu o pouzdro i šnek a smykovým namáháním zpracovaného materiálu (např. u polyetyleny a kaučukových směsí). Tavení hmoty začíná na povrchu pouzdra, odkud je roztavená hmota stírána čelem profilu šneku. Hmota klouže nejprve po něm a posléze po další části profilu. Do kruhového pohybu neboli příčného toku, je uváděno stále více hmoty tak, že se granulát roztaví. [4]

Vytlačovací část je na konci šneku. V tomto úseku tvoří materiál převážně jen tavenina. Tok taveniny v této zóně vzniká působením sil viskózního tření, které vznikají vzájemným pohybem šneku a pouzdra. [7]

3.3.2 Šnek

Šnek jako i šnekový extrudér je charakterizován průměrem šneku D a účinnou délkou šneku L , vyjádřenou v násobcích průměru (např. $L=25D$). Při zpracování plastů se používají šneky s různou hloubkou šnekového profilu [15]. Pro zpracování měkčeného PVC je vhodná délka šneku 15 až 26 D , pro zpracování polyetylenu 20 D . Čím větší délka šneku, tím větší je i plocha, na které lze vyměňovat teplo a doba po kterou se materiál hřeje. Delší šnek většinou zaručuje lepší kvalitu a někdy i vyšší výkon vytlačovacích strojů. [1]



Obr. 3.3.2: 1 – šnek, 2 – pracovní válec, D – průměr šneku, L – délka šneku, s – stoupání závitu, e – vodící plocha závitu, h – hloubka šnekového profilu, H – hloubka šnekového kanálu, δ – poloviční vůle, α – úhel stoupání závitu [15]

Každý šnek má také svůj komprimační poměr. Toto číslo vyjadřuje poměr hloubky závitů na začátku komprimační zóny k hloubce závitů na konci komprimační zóny.

Šneky tedy můžeme rozdělit na nízkokompresní (nebo také bezkompresní) a vysokokompresní:

- šneky s nízkou kompresí pro směsi HFFR mají poměr 1:1,2-1,4,
- šneky s vysokou kompresí pro PVC mají poměr 1:2,5 – 3,0,
- šneky pro směsi PE a XLPE mají kompresní poměr 1:2,5 – 4,0.

Hranice nastavení vůle mezi šnekem a hlavou by se měla pohybovat v rozmezí 0,002 až 0,005 krát průměr použitého šneku, tzn. 0,1 až 0,5 mm. Pro běžné použití se používají standartní šneky z nitridační oceli, které procesem nitridování získávají velmi tvrdý povrch [1]. To ovšem nestačí na materiály, jako jsou např. PTFE nebo PVC aj., které se při homogenizaci stávají velmi abrazivní, a pro takové účely je potřeba použít šneky, které mají pro vyšší odolnost pokovené pracovní plochy ochrannou vrstvou na bázi Cr a Ti. [20]

3.3.3 Extruzní hlava

Nejdůležitějším nástrojem extrudéru je hlava. Ta obsahuje nástroje, které udávají velikost a tvar izolace opláštěvaného jádra. Správné navedení, opláštěvaného polotovaru zajišťuje trn (patrice) a vnější tvar a tloušťku izolace zajistí hubice (matrice). Pro opláštěvání vodičů a kabelů se používají nepřímé hlavy. Vyznačují se různým úhlem odklonu od osy šnekového vytlačovacího stroje (obr. 3.3.3). Pro nejlepší funkci je důležité, aby byly tlak hmoty,

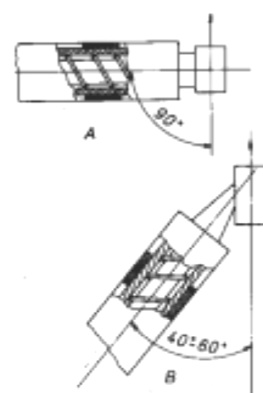


Obr.3.3.4: srdcovka [19]

rychlost toku, teplota a viskozita po výstupu z extrudéru naprosto rovnoměrné.

Tuto funkci zajišťuje tzv. srdcovka (patrona) na obr. 3.3.4, která je hlavní součástí extruzní hlavy a zajišťuje ideální rovnoměrné rozvedení taveniny. [1, 18]

V hlavě nesmí zůstat nikde mrtvá místa, kde by se mohl materiál zastavit a zůstat tak v přímém kontaktu s předtápěnou hlavou, což by vedlo k degradaci materiálu. [4]



Obr.:3.3.3: Vytlačovací hlavy, A – příčná, B – šikmá [1]

Při trubkovém opláštění se z prostoru vytlačovací hlavy odsává vzduch z důvodu zajištění co možná nejtěsnějšího přilnutí extrudovaného pláště ke kabelové duši. [1]

Při výrobě pláštů je kladen velký důraz na volbu vhodného materiálu. Důležité je pak při extruzi dodržovat doporučení výrobce (příloha 3). Obzvláště důležité je nastavení teplot jednotlivých zón pracovního válce, volba vhodného šneku a hlavy včetně pracovních nástrojů. Tyto faktory mají zásadní vliv na celý proces extruze, zejména na finální podobu pláště a jeho kvalitu, která je směrodatná pro životnost, funkčnost a bezpečnost po dobu provozování kabelu.

Závěr

Trendem poslední doby je označovat kabely v souladu s harmonizovanými dokumenty. U nás se to týká normy ČSN 34 7409 (HD 361.S3). Zároveň se pomalu opouští zaběhlý způsob označování, který vychází z národních norem a předpisů. Vzhledem k tomu, že se náklady na suroviny trvale zvyšují, výrobci kabelů jsou nuceni hledat jiné alternativy, jak snižovat náklady na konečný produkt. Toho lze docílit efektivní výrobou. Při výběru vodičů je primárním parametrem vodivost respektive rezistivita, která je vztažená k jednotlivým průřezům a je daná normou ČSN EN 60228. Výběrem vhodného materiálu o vyšší čistotě lze dosáhnout lepší vodivosti při menším průřezu a tím dosáhnout větších úspor. Ty se pak projeví například při izolování vodičů nižší spotřebou materiálu a na první pohled možná nepatrnou úsporou. To však může mít ve výsledku vliv i na výrobu LFHC kabelů, u kterých je ohniodolná vrstva nepostradatelnou součástí. Silikon-kaučukové izolace (keramizující) se nanášejí již v procesu izolace vodiče, ve srovnání s technologií skloslídových pásek, kde je nutná navíc operace ovíjení, a u kterých hrozí nebezpečí přetržení. Silikon-kaučukové materiály mají lepší požární odolnost než skloslídové materiály a přispívají tak větší měrou k zajištění bezpečnosti. V tom shledávám výhodu. V současné době špičkové technologie extruzních hlav umožňují efektivní vícevrstvé opláštění, kde není nutné barvit izolační směsi, ale až svrchní tenkou vrstvou tak, aby barevně odpovídala příslušným normám. K urychlení celého procesu přispívá i technologie stáčení duší kabelu technologiemi jako je systém stáčení S-Z zkrutu rakouské firmy Rosendahl, u kterých je možné zapojení v tandemu s oplášťovací linkou.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Buchlovský, E., Houžvička, F., Grešík, P.: Výroba kabelů a vodičů. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1988
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ ZA REDAKCE JÁNA ING. ARTBAUERA. *Kabely a vodiče*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1956. 523 s.
- [3] OKÁLI, Daniel. *Technologie výroby kabelů pro I., II. a III. ročník*. 1. vydání. Praha: ROH, 1963, 224 s.
- [4] ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. *TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTU A VLASTNOSTI PLASTŮ*. Praha: SNTL, 1989, 638 s.
- [5] SHENK, Ferdinand. Jak se dělá kabel. *ELEKTRO*. 2011, č. 7. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44238
- [6] KREJZA, Karel. LAPP. *Elektrika.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-07-26.1241861792>
- [7] M2 TRADE. *Kabely* [online]. 2011 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.m2trade.cz/kabely>
- [8] KUPULÍK, Pavel. KABELOVNA KABEX A.S. *Kabelovna Kabex® a.s. v novém* [online]. 2012, 14. květen 2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.elektrotrh.cz/kabely-a-vodice/kabelovna-kabex-a-s-v-novem>
- [9] ENCABLES, s.r.o. *Elektrické kabely - obecně* [online]. 2009, 31. srpna 2009 [cit. 2012-09-17]. Dostupné z: <http://www.encables.cz/data/elektricke-kabely-obecne.pdf>
- [10] MPRESENT S. R. O. *Kabely a vodiče, technické prostředky pro ukončení, spojování a montáž kabelů a vodičů* [online]. 2007 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25111
- [11] CSNONLINE.UNMZ.CZ. *ČSN online pro jednotlivě registrované uživatele: ČSN 33 0165* [online]. 1992 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://csnonline.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=32673>
- [12] ALLKABEL S.R.O. KABELOVÉ CENTRUM. *Silové kabely 0,6/1 kV* [online]. 2010 [cit. 2012-06-20]. Dostupné z: http://www.allkabel.cz/upload/attachments/1377_allkabel_katalog.pdf
- [13] Firemní materiály společnosti Kabex a.s.
- [14] ADAX, spol. s.r.o. *ADAX - průmyslová automatizace: Plášťová linka* [online]. 2013 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.adax.cz/index.php?lang=cz&ref=plastlinka>
[14] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25111
- [15] KABELOVNA KABEX A.S. *katalog* [online]. 2011 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://data.kabex.quonia.cz/ke-stazeni/KATALOG.pdf>

- [16] MASCHINENFABRIK NIEHOFF (CZ), s.r.o. *Technologie: Výrobní zařízení pro produkci drátů* [online]. 2013 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.niehoff.cz/technologie.php>
- [17] MEDUNA, Vladimír. *Prevence elektrických zařízení* [online]. 2005 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/Pozarni%20bezpecnost%20elektricky%20zarizeni.pdf>
- [18] UNITEK MASCHINENBAU- UND HANDELSGES.M.B.H. *Products & Applications: Crossheads for Co-Extrusion* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.unitek.at/699_EN.pdf
- [19] HAROLD F. GILES JR., JOHN R. WAGNER JR., ELDRIDGE M. MOUNT III, 48 - Wire and Cable Coating, Extrusion, William Andrew Publishing, Norwich, NY, 2005, Pages 469-474, ISBN 9780815514732, 10.1016/B978-081551473-2.50049-0. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815514732500490>
- [20] BOCO PARDUBICE MACHINES, s.r.o. *PVD povlakování šneků a ostatních ploch* [online]. 2010 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.boco.cz/includes/modules/km_download.php?file=content/downloads_produkty/soubory/boco_nabidka_pvd_povlakovani.pdf&name=boco-nabidka-pvd-povlakovani-pdf
- [21] NKT CABLES. *Power cables* [online]. [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://img.directindustry.com/pdf/repository_di/17613/power-cables-49090_158b.jpg
- [22] ENCABLES, s.r.o. *Technické poradenství: Jak si vybrat stínění* [online]. 2009 [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: http://www.encables.cz/data/Jak_vybrat_stineni.pdf
- [23] ROSENDAHL MASCHINEN GMBH. *Power Cable* [online]. 2012 [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: http://www.cw.rosendahlustria.com/1316_en_SZ-Stranding-Line-RN-K.aspx
- [24] PRAKAB PRAŽSKÁ KABELOVNA, s.r.o. *Technické informace*. [online]. 2008. [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.prakab.cz/info/service/technical-information/>
- [25] REDAKCE ELEKTRO. *Z historie kabelů. ELEKTRO*. 2011, Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36453

Seznam příloh

Příloha 1: Převodní tabulka vodičů a kabelů [21]

Příloha 2: Typové značení pro harmonizované dokumenty dle ČSN 34 7409 [24]

Příloha 3: Požadovaná nastavení pro zpracování směsi COGEGUM GFR/360 na extruzním výtlačném stroji [13]

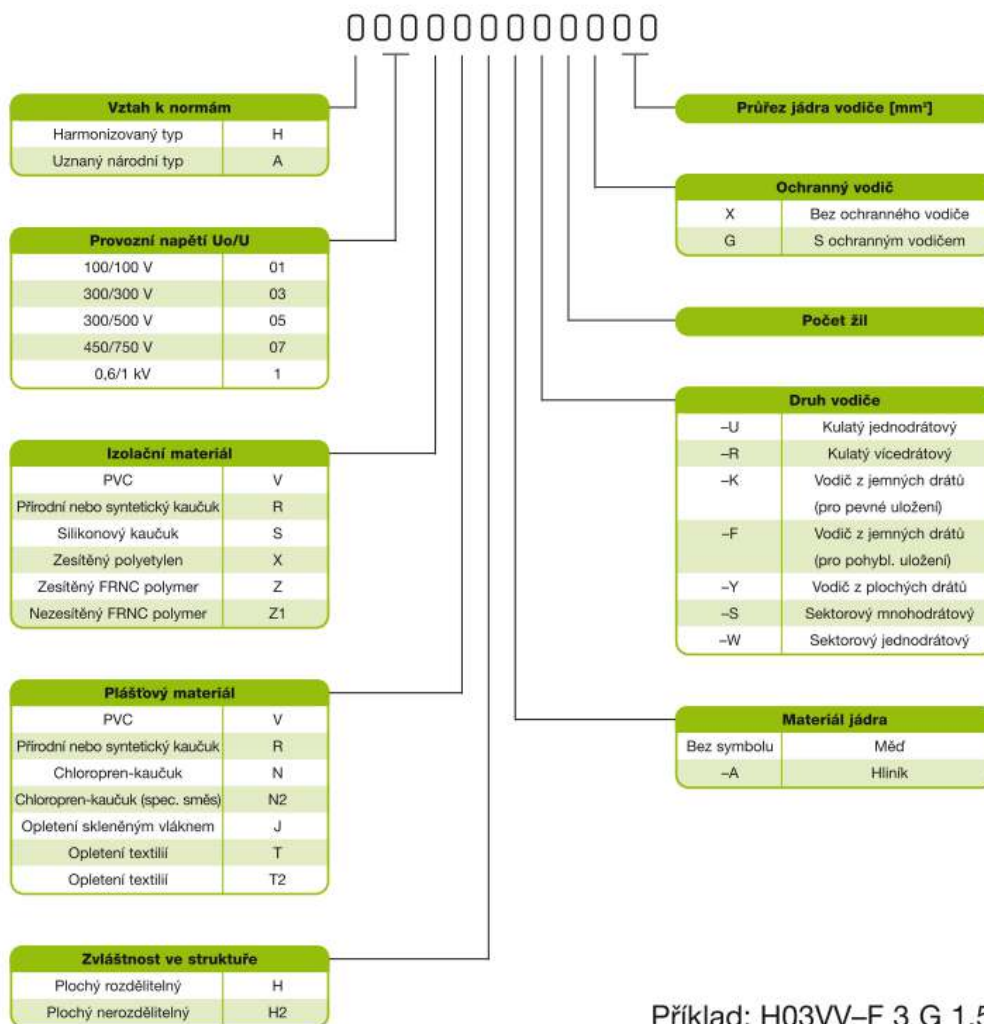
Příloha 1: Převodní tabulka vodičů a kabelů

Podle již neplatných ČSN		Podle IEC	Podle CENELEC
starší	novější		
YH	CYH	227(IEC)42	H03VH-N
LYS	CYLY	227(IEC)52	H03VV-F
LYS	CYLY plochá	227(IEC)52	H03VVH2-F
SYS	CYSY plochá	227(IEC)53	H05VVH2-F
SYS	CYSY	227(IEC)53	H05VV-F
-	žehličková	245(IEC)51	H03RT-F
HLS	CGLG	245(IEC)53	H05RR-F
HSSU	CGSU	245(IEC)57	H05RN-F
HSSU	CGSU do 6 mm ²	245(IEC)66	H07RN-F
HSSU	CGSG do 6 mm ² CGTG do 6 mm ²	245(IEC)66	H07RN-F
HTS		245(IEC)66	H07RN-F
Y	CY	227(IEC)01	H07V-U jádro plné
Y	CY	227(IEC)01	H07V-R jádro lanované
SY	CYA	227(IEC)02	H07V-K jádro ohebné
Y	CY	227(IEC)05	H05V-U jádro plné
SY	CYA	227(IEC)06	H05V-K jádro ohebné
YQ	CQ	-	H05V2-U jádro plné
YQ	CQ	-	H05V2-K jádro ohebné
YQ	CQ	-	H07V2-U jádro plné
YQ	CQ	-	H07V2-K jádro ohebné

Příloha 2: Typové značení pro harmonizované dokumenty dle ČSN 34 7409

TECHNICKÁ PŘÍLOHA

Typové značení pro harmonizované silové vodiče dle ČSN 34 7409 – vybrané symboly



Příklad: H03VV-F 3 G 1,5

Příloha 3: Požadovaná nastavení pro zpracování směsi COGEGUM GFR/360 na extruzním výtlačném stroji

COGEGUM® GFR/360 processing



	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	collar	head	die
max	150	160	170	170	170	170	200
min	130	140	140	140	150	150	160
temperature setting (°C)							

- screw: preferably low compression ratio (1:1.2-1.4)
- screw length: 18-25 L/D
- breaker plate: yes
- filter net: no or 100 mesh/cm² max.
- bypass on collar suggested
- max. throughput melt temp.: 190°C
- colour masterbatch: EVA based
- catalyst type and dosage:
5% Catalyst CT/2-HP (no predrying required)