

## 4. SZABADVEZETÉKEK ÉS KÁBELEK VILLAMOS JELLEMZŐI

A villamos vezetőanyagoknak elsőrendű szerepük van abban, hogy az erőművekben megtermelt villamos energia a fogyasztókhöz megfelelő minőségben, kis veszteséggel, biztonságosan eljusson. A megfelelő minőség azt jelenti, hogy a fogyasztó a tervezett (szabványban előírt) feszültségű és frekvenciájú villamos energiát kívánja meg. A villamos vezetőktől ezért megkívánjuk, hogy:

- kicsi legyen a fajlagos ellenállásuk, jól vezessenek,
- a feszültségesésük egy megengedett értéket ne haladjon meg,
- kicsi legyen a teljesítményvesztésük,
- mechanikai igénybevételeknek jól ellenálljanak,
- hőállóak legyenek,
- korrózióknak ellenálljanak,
- gazdaságosak legyenek,
- lehetőleg hazai anyagból készülhessenek.

### 4.1 A vezetékek anyagai

A vezetékanyagokat két csoportra osztjuk, aszerint hogy azok egyféle anyagból, esetleg ötvözve (egyneműek), vagy két különböző anyagból készülnek.

Egynemű vezetőanyagok

- alumínium,
- nemesített alumínium,
- réz,
- kadmiumbronz,
- bronz,
- cupaloy,
- acél.

Különnemű vezetőanyagok:

- acélalumínium (ACAL),
- acélaludur,
- rézhéjú.

Réz és ötvözetei.

- Réz. Jó villamos vezetőképessége és megfelelő mechanikai szilárdsági tulajdonságai miatt fontos szerepet tölt be a villamos vezetékek készítésében. A rézvezetékeknek kiváló az időállósága is, a felületükön keletkező oxidréteg megvédi őket a további oxidációtól.

- **Kadmiumbronz.** A réz szakítószilárdsága jelentősen növekszik, ha kadmiummal ötvözzük, az ötvözés azonban csökkenti vezetőképességét. Légköri és vegyi hatásoknak jól ellenáll, ezért ideális távvezeték anyag. Ennek ellenére ritkán alkalmazzuk, legfeljebb ott, ahol erős vegyi hatásoknak kell ellenállnia.
- **Bronz.** A bronz vörösréz és ón ötvözet. Szilárdságát kis mennyiségű foszforral vagy szilíciummal növelhetjük. Villamos vezetéként való alkalmazása nem terjedt el, mert még a kadmiumbronznál is drágább.
- **Cupaloy.** A cupaloy a réz krómmal és ezüsttel való ötvözet, igen drága. Hasonló tulajdonságú, mint a kadmiumbronz.

### Alumínium és ötvözetei

- **Alumínium.** A villamos kemencéből kikerült, 99,8%-os alumínium közvetlenül vezeték céljára nem használható fel. Puha, lágy anyag, kicsi a szilárdsága, amit húzással és ötvözéssel lehet növelni. A levegőn oxidálódik, az oxidréteg meggátolja a további oxidációt. Keményre húzott alumínium huzalból készülnek a szigetelt vezetékek és a szabadvezetékek céljára készített sodronyok, valamint a kábelek huzalerei és a gyűjtősínek is.
- **Nemesített alumínium.** Az alumínium szilárdsága ötvözéssel növelhető. A 99,5% tisztaságú alumíniumot főleg magnéziummal, szilíciummal és kevés vassal ötvözik. Ezt nevezzük aludurnak. Az így ötvözött alumínium huzalt edzik, pihentetik, majd végleges méretre húzzák és megereszlik.

### Acél.

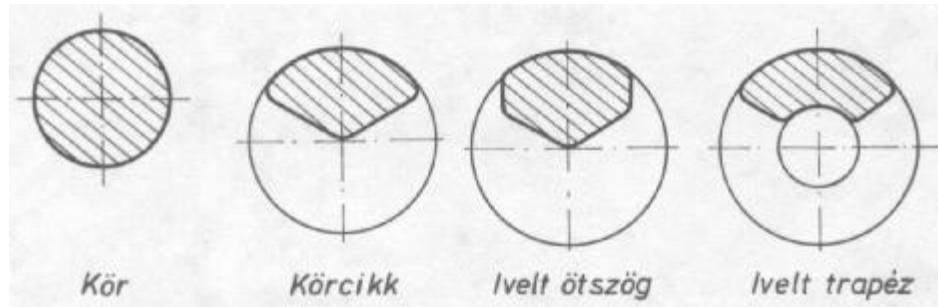
Az acélt magában távvezetékanyagként nem, vagy nagy ritkán alkalmazzuk. Bár olcsó, nagyon kedvező a mechanikai szilárdsága, de nagyon rosszak a villamos tulajdonságai. A távvezetékek védővezetői, a földelővezetők acélszállagból készülnek. Az időjárásviszontagságai, a rozsdásodás ellen kétszeri horganyzással védjük.

## **4.2 A villamos vezető szerkezete**

A vezetők szerkezetét hosszirányú tengelyükre merőleges síkban és a tengelyük mentén haladva vizsgálhatjuk. Az első esetben a metszetből megállapíthatjuk, hogy a vezető milyen alakú elemből, illetve elemekből épül fel, a második esetben szemügyre vesszük, hogy milyen az elem vezetése, illetőleg milyen az elemek összefüggése, beépülési formája. E kettős összevetés alapján nevezzük a vezetőket huzalnak, sodronynak, sínnek. Ha a vezető: egy elemből áll, keresztmetszete kör, vagy más síkidom, ugyanakkor a vezető hajlékony, akkor huzalról beszélünk. Az ugyancsak egy elemből álló, rendszerint szögletes síkidom keresztmetszetű merev vezetőt sínnek nevezzük. Ha a vezető több elemből, un. elemi szálaból áll, amelyet valamilyen módon szorosan egymásmellé helyezünk, pl. sodrással, akkor sodronyról van szó.

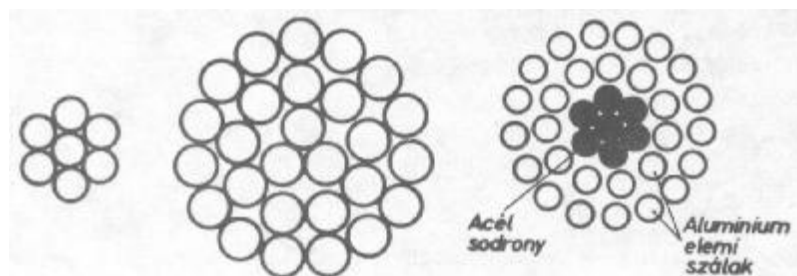
### A huzal.

A huzal leggyakoribb keresztmetszeti alakja kör, különleges célra gyártanak körcikk, ívelt ötszög és Z-alakú huzalt is. Az alábbi ábrán néhány huzalkeresztmetszet típust mutatunk be. A huzalok geometriai méreteit, anyagminőségét szabványelőírások szabályozzák.



### A sodrony.

A sodronyt képező huzalok – elemi szálak – amelyek a sodratban egymással érintkeznek, lehetnek kör keresztmetszetűek, vagy idomhuzalok, de ezek mérete sugárirányban mindig azonos. A sodrott réteg magját képező egyenes henger vezérgörbéje elvileg lehetne bármilyen zárt síkgörbe, de általában kör. A magot körülvevő sodrott réteg a koszorú, maga a mag pedig a szív. Az alábbi ábra a szabványos alumínium, nemesített alumínium és az acélalumínium sodronyok szerkezetét szemlélteti. Az alumínium sodrony külső koszorúja mindig balmenetű, a nemesített alumínium sodrony külső koszorúja mindig jobbméletű. Az acélalumínium sodrony acél és nemesített alumínium, ill. alumínium huzalokból épül fel. A sodrony szíve acélhuzalokból álló sodrony. E köré több koszorúban alumínium sodratot visznek fel.



### A sín.

A sínek keresztmetszete, az elemek egymáshoz kapcsolása rendkívül változatos. Ami minden sín közös vonása, hogy általában szabályos sokszög vezérgörbéjű hengerek, illetőleg síkfelületekkel határolt egyéb idomok. Minthogy a sínekre zárlatok alkalmával igen nagy dinamikus erők hatnak a sínek alakja olyan, hogy a mechanikai erőknek károsodás nélkül ellenálljanak.

### 4.3 A szabadvezetékek és kábelek villamos jellemzői

A vezeték tervezéséhez, létesítéséhez, méretezéséhez a vezeték villamos paramétereinek ismerete szükséges. Ezek a villamos jellemzők a szerkezeti felépítés geometriai méreteitől és a vezeték anyagának jellemzőitől függenek. Ebből a szempontból az alábbi villamos paraméterek érdekesebbek számunkra:

1. Soros ellenállás
2. Soros induktivitás
3. Párhuzamos kapacitás
4. Levezetés

Soros ellenállás. Valamely vezető ellenállása az elektrotechnikában megismert összefüggés szerint számolható:

$$R = \rho \frac{l}{A} \text{ (}\Omega\text{)}, \text{ ahol}$$

$\rho$  - a vezeték anyagának fajlagos ellenállása,  $l$  - a vezető hossza,  $A$  - a vezető keresztmetszete.

A gyakorlatban sokszor használják a hosszegységre megadott ellenállás értékét:

$$R' = \frac{R}{l} = \frac{\rho}{A}, \quad \text{ebből} \quad R = R' l$$

Soros induktivitás. Az induktivitás ugyancsak megoszló paraméter, valamely vezetőhuroknak a hosszegységre vonatkoztatott induktivitása az alábbi összefüggéssel számítható:

$$L' = (4,6 \lg \frac{f^*}{r} + 0,5) 10^{-4} \text{ (H/km)}, \text{ ahol}$$

$f^*$  - az egyenértékű fázistávolság:

- = szimmetrikus elrendezésű vezeték esetében ( $\Delta$ ):  $f^* = f$
- = vízszintes elrendezésű vezeték esetében a szélső fázisra:  $f^* = f$
- = vízszintes elrendezésű vezeték esetében a szélső fázisra:  $f^* = \sqrt{2}f$
- = fáziscsere esetén  $f^* = \sqrt[3]{f_{12} f_{23} f_{31}}$

$r^*$  - az egyenértékű sugár:

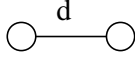
- = huzal esetében  $r^* = r$
- = sodrony esetében függ az elemi huzalok számától

Huzalok száma	Egyenértékű sugár ( $r^*$ )
3	0,678r
7	0,725r
19	0,757r
37	0,768r
61	0,772r
91	0,774r
127	0,775r

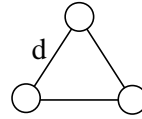
$r$  a külső burkoló kör sugara.

= köteges vezetők esetében

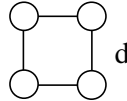
$$r^* = \sqrt[n]{nr^x r_T^{n-1}}$$

$$r_T = \frac{d}{2}, \text{ ha } n = 2$$


$$r_T = \frac{d}{\sqrt{3}}, \text{ ha } n = 3$$



$$r_T = \frac{d}{\sqrt{2}}, \text{ ha } n = 4$$



$r^*$  az egyes vezetők egyenértékű sugara.

A teljes hosszra vonatkozó induktivitás:

$$L = L' l \text{ (H)} .$$

Az induktív reaktancia:

$$X_L = \omega L \text{ (\Omega)}, \text{ ahol}$$

$\omega$  - a körfrekvencia,  $\omega = 2\pi f$  (1/s).

Párhuzamos kapacitás. A vezeték kapacitása szintén a hossz mentén megoszló paraméter. Párhuzamos tengelyű elrendezés esetén a hosszegységre eső kapacitás:

$$C' = \frac{0,0242\epsilon_r}{\lg \frac{f^*}{r^*}} \text{ (\mu F = km)}, \text{ ahol}$$

- az  $f^*$  és az  $r^*$  jelentése megegyezik az induktivitásnál megismertekkel,

-  $\epsilon_r$  pedig a szigetelőanyag relatív permittivitása.

Az  $l$  hosszúságú vezeték teljes kapacitása:

$$C = C' l \text{ (F)}$$

A kapacitív reaktancia:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ (\Omega)} .$$

A párhuzamos kapacitás segítségével meghatározható a feszültség alatt lévő távvezeték kapacitív töltőárama:

$$I_{C0} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \omega C \text{ (A)}, \text{ ahol}$$

$U_n$  – a távvezeték névleges feszültsége.

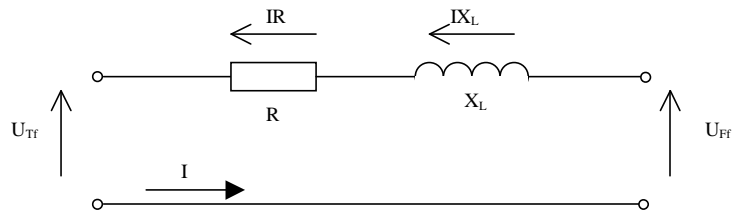
Levezetés. A villamos vezetékeket szigetelők, szigetelő anyagok szigetelik el egymástól, ill. a földpotenciálú helyektől. Ezek a szigetelők, szigetelések nem tökéletesek (ideálisak), ill. a szigetelők felülete szennyezett. Ezen okok miatt a vezeték mentén levezetések (szivárgó áramok) jönnek létre. Ezek nagyságát gyakorlati ismeretek, tapasztalati úton szokták meghatározni.

Vezeték veszteségek. A távvezetéseken mind üresjárásban, mind üzem közben veszteségek keletkeznek. A vezeték soros ellenállásán  $P = I^2 R$  veszteség keletkezik. A szigetelőkön létrejövő levezetések is veszteséget jelentenek, ugyanakkor váltakozó feszültség esetén a szigetelőkben a folytonos átpolarizálódás miatt polarizációs veszteség is keletkezik.

$$P_a = U_0^2 (\omega C' l) \operatorname{tg} \delta, \text{ ahol}$$

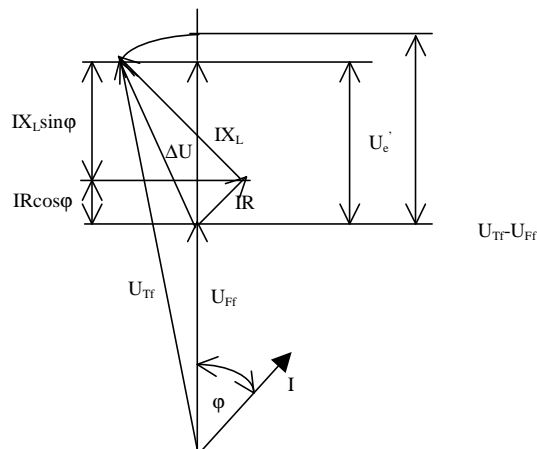
$\operatorname{tg} \delta$  az un. veszteségi tényező.

A távvezetéseken létrejövő feszültségesés. A távvezetékek feszültségesésének meghatározásához az un. egyszerűsített helyettesítő kapcsolást használjuk. Az egyszerűsített helyettesítő kapcsolat csak a soros paramétereket tartalmazza (R és  $X_L$ ).



A vektorábra megrajzolásához írjuk fel Kirchhoff II. törvényét:

$$U_{Tf} = U_{Ff} + \mathbf{IX}_L + \mathbf{IR}$$



A fogyasztó szempontjából csupán a fogyasztói feszültség megfelelő nagysága a követelmény. Ezért feszültségesésnek a tápponti és a fogyasztói feszültség abszolút értékének különbségét tekintjük. A két feszültségvektor által bezárt terhelési szög a fogyasztó szempontjából érdektelen, ezért a feszültségesést

$$U_{Tf} - U_{Ff} \approx U_e' = IR \cos \varphi - IX_L \sin \varphi$$

közelítő képlettel számoljuk.