

3. KISFESZÜLTSGŰ VEZETÉKEK MÉRETEZÉSE

A kiefeszűltsgű hálózatok feladata a fogyasztók villamos energiával való ellátása. A vezeték e fontos feladatának ellátásában fontos szerepe van az energiaszolgáltatás minőségét, biztonságát és gazdaságosságát meghatározó tényezőknek. A kiefeszűltsgű vezeték eket ezért méretezni és ellenőrizni kell, hogy eleget tesznek-e az előbb említett követelményeknek.

A minőségi energiaszolgáltatás azt jelenti, hogy akár egyen-, akár váltakozó feszűltsgen szállítjuk a villamos energiát, a fogyasztóknál a feszűltsg értéke csak meghatározott értékek között ingadozhat. A fogyasztói feszűltsg (kapocsfeszűltsg) állandó értéken tartásának fontosságára az alábbiakban néhány példát említünk.

Izzólámpák esetében a feszűltsgnek 5 %-os csökkenése élettartamát csaknem kétszeresére növeli, ugyanakkor fényerősségük viszont 15-20 %-kal csökken. A feszűltsg 5 %-os növekedése élettartamukat felére csökkenti, bár fényerősségük 20-25 %-kal nő.

A motoros fogyasztók nem ennyire kényesek, de a feszűltsg csökkenésével teljesítményük csökken, illetve változatlan terhelés mellett nagyobb áramot vesznek fel a hálózatról, ami hosszabb idő elteltével túlmelegedéshez vezethet.

A vezeték eket melegedés szempontjából is ellenőrizni kell. A vezeték e melegedését elsősorban az I^2R teljesítményvesztés okozza. A kábeleknél ennek értékét még növeli a szigetelésben létrejövű dielektromos vesztés. A vezeték e szükséges keresztmetszetét úgy kell megállapítani, hogy az említett vesztések hatására se melegedjenek fel annyira, hogy akár a szigetelésükben, akár a környezetükben tűzvesztély forrásai legyenek. A vezeték e melegedésre való méretezése táblázatok segítségével történik. A terhelési táblázatról megnézzük, hogy a szóban forgó vezeték keresztmetszete mekkora árammal terhelhető. Ha nem felel meg, akkor azt a hozzá legközelebb álló, nagyobb szabványos keresztmetszetű vezetőt kell választani, amely melegedés szempontjából is megfelelő. Ezt az ellenőrzést minden esetben el kell végezni.

3.1 Feszűltsgesésre való méretezés

A feszűltsgesésre történő méretezés a végigfutó keresztmetszet módszerével történik (a vezeték keresztmetszete végig állandó). Ha a méretezés eredményeként kapott elméletileg szükséges keresztmetszet nem szabványos méretű, akkor a hozzá legközelebb álló nagyobb szabványos keresztmetszetet kell választani megoldásként.

Az egyen- és váltakozó feszűltsgen történő energiaszállításnál a vezeték e hatásos ellenállásán feszűltsgesés jön létre (a többi komponens elhanyagoljuk, lásd később). Az épületen belüli különbözű jellegű kiefeszűltsgű elosztóvezeték eken a megengedett, egyben a méretezés alapjául szolgáló feszűltsgesés szokásos értékei:

- háztartások
 - = világítási hálózatain 2 %,
 - = egyéb fogyasztóin 3 %,
- ipari fogyasztóknál pedig
 - = világítási hálózatokon 2 %,
 - = energiaátviteli fogyasztóknál 3-5 % lehet.

A vezeték feszültségesésre való méretezésének menete a következő:

1. Kiszámítjuk a fogyasztók teljesítményfelvételét. A motorok adattábláján, a motor tengelyén leadott (P_h) teljesítményt adják meg. Ez a motor hatásfoka miatt mindig kisebb a P_{felvett} teljesítménynél, mert a motorban az energiaátalakítás folyamán veszteségek keletkeznek. A hatásfok értékét $\eta = \frac{P_h}{P_f}$ képlet fejezi ki, ebből a felvett

$$\text{teljesítmény } P_f = \frac{P_h}{\eta}.$$

2. A felvett teljesítményből a hálózatot terhelő áramerősség a következő módon számítható ki:

Egyenáramú rendszer esetében: $I = \frac{P_f}{U}.$

Egyfázisú váltakozó áramú rendszer esetében: $I = \frac{P_f}{U \cdot \cos \varphi}.$

Háromfázisú váltakozó áramú rendszer esetében: $I = \frac{P}{\sqrt{3} U_v \cos \varphi}.$

A méretezéshez szükséges hatásos áram: $I_h = I \cdot \cos \varphi$

3. A megadott megengedett százalékos feszültségesés (ε) ismeretében kiszámítjuk a megengedett feszültségesés fázisértékének (egy vezetőre jutó) nagyságát.

Egyenáramú és egyfázisú vezeték esetén: $U'_e = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U}{2}.$

Háromfázisú vezeték esetén: $U'_e = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_v}{\sqrt{3}}.$

4. A vezetők szükséges keresztmetszetét a terhelő hatásos áram és a megengedett feszültségesés ismeretében az alábbiak szerint határozzuk meg:

$$U'_e = I_h \cdot R = I_h \cdot \rho \frac{l}{A},$$

ebből fejezzük ki a keresztmetszetet

$$A = \frac{\rho}{U'_e} I_h \cdot l,$$

majd válasszuk a következő nagyobb $A_{\text{szabványos}}$ -t.

3.2 A vezeték melegedésre való ellenőrzése

A vezeték feszültségesésre való méretezésénél kiszámított, illetve kiválasztott szabványos vezető keresztmetszetet melegedésre mindig ellenőrizni kell. A melegedésre történő ellenőrzésnél azonban mindig a teljes (látszólagos) áramot kell figyelembe venni.

A gyakorlatban a vezeték melegedésre való méretezése nem számítással, hanem terhelési táblázatokkal történik.

A táblázatban a vezeték terhelhetősége három: A, B és C terhelési csoportban van megadva. Az alapterhelés 25°C környezeti hőmérsékleten értendő, egymás mellett legfeljebb három vezeték van és 10 mm-es környezetben védőcső, vezetékcsatorna, kábel, kábelszerű vezeték nincs.

| A vezető keresztmetszete mm ² | Megengedett terhelés A | | | | | | Biztosító betétek A |
|--|------------------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|---------------------|
| | A csoport | | B csoport | | C csoport | | |
| | Cu | Al | Cu | Al | Cu | Al | |
| 1,5 | 16 | 13 | 20 | 17 | 25 | 22 | 10 |
| 2,5 | 21 | 16 | 27 | 21 | 34 | 27 | 16 |
| 4 | 27 | 21 | 36 | 29 | 45 | 35 | 20 |
| 6 | 35 | 27 | 47 | 37 | 57 | 45 | 25 |
| 10 | 48 | 36 | 65 | 51 | 78 | 61 | 35 |
| 16 | 63 | 51 | 87 | 68 | 104 | 82 | 50 |
| 25 | 83 | 65 | 115 | 90 | 137 | 107 | 63 |
| 35 | 110 | 86 | 143 | 112 | 168 | 132 | 80 |
| 50 | 140 | 110 | 178 | 140 | 210 | 165 | 100 |
| 70 | 175 | 140 | 220 | 173 | 260 | 205 | 125 |
| 95 | 215 | 175 | 265 | 210 | 310 | 245 | 160 |
| 120 | 255 | 205 | 310 | 245 | 365 | 285 | 200 |
| 150 | 295 | 235 | 355 | 280 | 415 | 330 | 250 |
| 185 | 340 | 270 | 405 | 320 | 475 | 375 | 315 |
| 240 | 400 | 300 | 480 | 380 | 560 | 440 | 400 |
| 300 | 470 | 375 | 555 | 435 | 645 | 510 | 500 |

A terhelési csoportok:

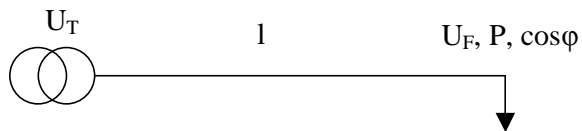
A csoport: egyszerű vezeték, vakolat alatti védőcsőbe húzva; 5 db egyszerű vezeték, szabadon szerelt védőcsőben, vezetékcsatornában; 9 db egyszerű vezeték kötegelve szerelt állapotban.

B csoport: vakolatba fektetett vagy falra ragasztott vezeték, 5 db egyszerű vezeték, szabadon szerelt védőcsőben, vezetékcsatornában, ha 10 mm távolságra több védőcső vagy csatorna halad párhuzamosan.

C csoport: egyszerű vezeték szabadon szerelve.

3.3 Tápvezeték

A fogyasztókat a tápponttal közvetlen összekötő vezetékeket tápvezetéknek nevezzük. A tápvezetékre jellemző, hogy csak a vezeték végén van terhelés.



A feszültségesésre történő méretezés lépései:

- a felvett teljesítmény meghatározása: $P_f = \frac{P_h}{\eta}$.
- az áramok meghatározása: $I = \frac{P_f}{U}$, vagy $I = \frac{P_f}{U \cdot \cos \varphi}$, vagy $I = \frac{P}{\sqrt{3} U_v \cos \varphi}$.
- a hatásos áram meghatározása: $I_h = I \cdot \cos \varphi$.
- a megengedett feszültségesés meghatározása: $U'_e = \frac{\epsilon}{100} \frac{U}{2}$, vagy $U'_e = \frac{\epsilon}{100} \frac{U_v}{\sqrt{3}}$.
- a keresztmetszet meghatározása: $A = \frac{\rho}{U'_e} I_h \cdot l$

$$A_{szabványos} \geq A$$

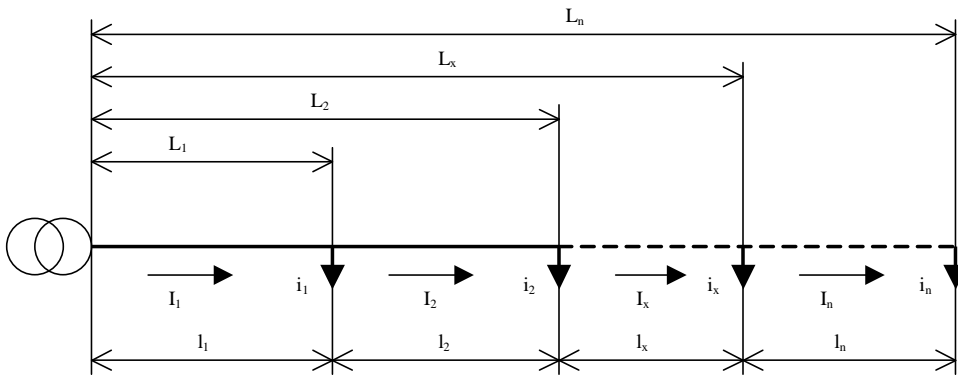
Melegedésre történő ellenőrzés:

$I \leq I_{meg}$ akkor megfelel, ha nem, akkor nagyobb (megfelelő) keresztmetszetet kell választani!

3.4 Elosztóvezeték méretezése

A táppontból táplált vezeték nemcsak a végén, hanem közbenső pontjaiban is terhelhetik fogyasztók. Ilyen elosztóvezeték pl. az utcán elhelyezett kiefeszültségű vezeték, amelyről minden háznál van egy leágazás; a bérházak felszálló fővezetékei stb.

Az elosztóvezeték ábráján megkülönböztetett jelöléseket használtunk. A fogyasztók áramait $i_{h1}, i_{h2} \dots i_{hx}$ -el, a tápponttól mért távolságukat $L_1, L_2 \dots L_x$ -el, az egyes fogyasztói leágazások egymás közötti távolságát $l_1, l_2 \dots l_x$ -el, az elosztóvezeték egyes szakaszain folyó áramokat $I_{h1}, I_{h2} \dots I_{hx}$ -el jelöltük.



Feszültségesésre történő méretezés

A méretezés végigfutó keresztmetszet elve alapján történik, figyelembe véve azt, hogy a legutolsó fogyasztónál sem léphet fel a megengedettnél nagyobb feszültségesés. Így az egyes szakaszok feszültségeséseinek összege egyenlő a megengedett feszültségeséssel.

$$U'_e = U'_{e1} + U'_{e2} + \dots + U'_{ex} + \dots + U'_{en} = \frac{\rho}{A} I_{1h} \cdot l_1 + \frac{\rho}{A} I_{2h} \cdot l_2 + \dots + \frac{\rho}{A} I_{xh} \cdot l_x + \dots + \frac{\rho}{A} I_{nh} \cdot l_n$$

$$U'_e = \frac{\rho}{A} (I_{1h} \cdot l_1 + I_{2h} \cdot l_2 + \dots + I_{xh} \cdot l_x + \dots + I_{nh} \cdot l_n) = \frac{\rho}{A} \sum_{x=1}^{x=n} I_{xh} \cdot l_x$$

az egyenletből az A-t kifejezve

$$A = \frac{\rho}{U'_e} \sum_{x=1}^{x=n} I_{xh} \cdot l_x$$

megkapjuk a szükséges keresztmetszetet.

Az előbbi egyenletbe az $I_{h1}, I_{h2} \dots I_{hx}$ és az $l_1, l_2 \dots l_x$ helyébe az $i_{h1}, i_{h2} \dots i_{hx}$ és az $L_1, L_2 \dots L_x$ értékeket helyettesítve összevonás után eredményül kapjuk az

$$A = \frac{\rho}{U'_e} \sum_{x=1}^{x=n} i_{xh} \cdot L_x$$

képletet, amellyel az elosztóvezeték keresztmetszete szintén meghatározható. Az $I_x l_x$ és $i_x L_x$ szorzatokat áramnyomatékoknak nevezzük.

A méretezés menete megegyezik a tápvezetéknel megismertekkel:

- a felvett teljesítmények meghatározása: $P_f = \frac{P_h}{\eta}$.
- az áramok meghatározása: $I = \frac{P_f}{U}$, vagy $I = \frac{P_f}{U \cdot \cos \varphi}$, vagy $I = \frac{P}{\sqrt{3} U_v \cos \varphi}$.
- a hatásos áramok meghatározása: $I_h = I \cdot \cos \varphi$.
- a megengedett feszültségesés meghatározása: $U'_e = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U}{2}$, vagy $U'_e = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_v}{\sqrt{3}}$.
- a keresztmetszet meghatározása: $A = \frac{\rho}{U'_e} \sum_{x=1}^{x=n} i_{xh} \cdot L_x$

$$A_{szabványos} \geq A$$

Melegedésre történő ellenőrzés

A melegedésre történő ellenőrzéshez meg kell határozni az egyes szakaszokat terhelő látszólagos áramok nagyságát és a legnagyobb árammal kell az ellenőrzést elvégezni. A legnagyobb látszólagos áram valószínűleg az 1-es szakaszon fog folyni, amennyiben nincs kapacitív jellegű fogyasztó a hálózaton. Példaként nézzük az 1-es szakasz látszólagos áramának meghatározását. Először meg kell határoznunk mind az eredő hatásos, mind az eredő meddő áramokat:

$$I_{1h} = i_{1h} + i_{2h} + \dots + i_{xh} + \dots + i_{nh}$$

$$I_{1m} = i_{1m} + i_{2m} + \dots + i_{xm} + \dots + i_{nm}$$

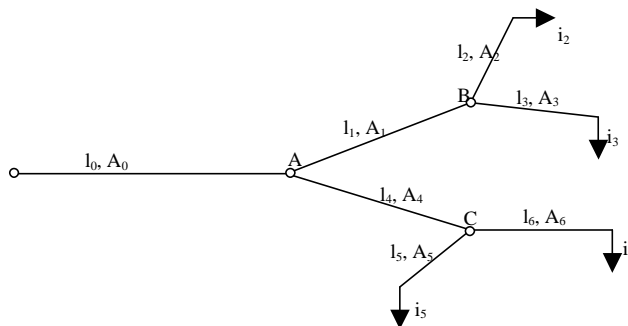
Az I_1 eredő áramot Pitagorasz tételével számítjuk ki:

$$I_1 = \sqrt{I_{1h}^2 + I_{1m}^2}$$

A megfelelés feltétele: $I_1 \leq I_{meg}$.

3.5 Sugaras elosztóvezeték méretezése

Sugaras elosztóvezetéknek nevezzük az olyan egyik végéről táplált szétágazó nyílt vezetékalkazatot, amelyben a fogyasztóhoz az áram csak egyetlen, meghatározott úton juthat el.



A vezeték méretezése itt is a végigfutó keresztmetszet elvén történik, ami azt jelenti, hogy minden elágazás után a vezeték keresztmetszetek összege egyenlő az elágazás előtti vezeték keresztmetszetével (lásd az ábrán pl. $A_0 = A_1 + A_4$).

A méretezés során a sugaras vezeték egyetlen (képzetes hosszúságú) tápvezetékké alakítjuk át, úgy hogy a vezeték végén van a teljes terhelés.

A képzetes vezetékhozz (λ) meghatározása:

A vezetéken létrejövő feszültségesés a korábbiakban megismert $U'_e = \frac{\rho}{A} i \cdot l$ képlet szerint az $i \cdot l$ áramnyomatékkal arányos. A feszültségesés változatlan marad az alábbi „B” pontra felírt nyomatéki egyenlet alapján

$$i_{2h} \cdot l_2 + i_{3h} \cdot l_3 = (i_{2h} + i_{3h}) \lambda_{23}$$

ebből a képzetes vezetőhossz

$$\lambda_{23} = \frac{i_{2h} \cdot l_2 + i_{3h} \cdot l_3}{i_{2h} + i_{3h}}$$

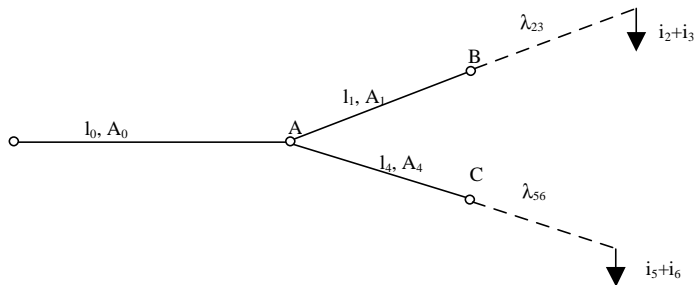
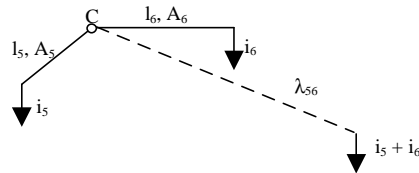
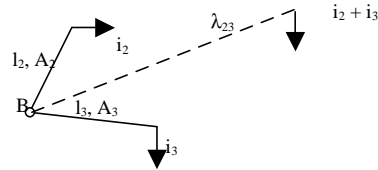
A fenti eljárást a „C” pontra alkalmazva

$$i_{5h} \cdot l_5 + i_{6h} \cdot l_6 = (i_{5h} + i_{6h}) \lambda_{56}$$

ebből

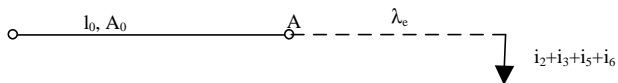
$$\lambda_{56} = \frac{i_{5h} \cdot l_5 + i_{6h} \cdot l_6}{i_{5h} + i_{6h}}$$

A két átalakítás után az alábbi hálózatalakzatot kapjuk:



Az átalakítást tovább folytatva az egy végponton terhelt vezetékké:

$$\lambda_e = \frac{(i_{2h} + i_{3h})(l_1 + \lambda_{23}) + (i_{5h} + i_{6h})(l_4 + \lambda_{56})}{i_{2h} + i_{3h} + i_{5h} + i_{6h}}$$



Ezt a vezetéket, mint tápvezetéket méretezzük:

a megengedett feszültségesés meghatározása: $U'_e = \frac{\varepsilon U}{100 \cdot 2}$, vagy $U'_e = \frac{\varepsilon U_v}{100 \sqrt{3}}$.

a keresztmetszet meghatározása: $A_0 = \frac{\rho}{U'_e} (i_{2h} + i_{3h} + i_{5h} + i_{6h})(l_0 + \lambda_e)$

$A_{0szabv} \geq A_0$ keresztmetszet választásával meghatározzuk a törzsvezeték szükséges keresztmetszetét feszültségesésre. Ezt a keresztmetszetet kell ellenőrizni melegedésre a teljes áram figyelembe vételével.

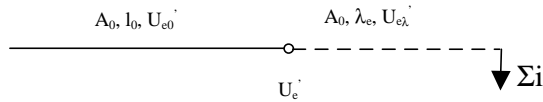
$I_0 = \sqrt{(\sum i_h)^2 + (\sum i_m)^2}$, ha ez az áram \leq mint I_{0meg} , akkor a vezeték szakasz keresztmetszete mind feszültségesésre, mind melegedésre megfelelő.

Ezek után kell meghatározni az egyes szárnyvezetékek szükséges keresztmetszetét.

Az U'_e a teljes megengedett feszültségesés értéke. Ebből a törzsvezetékre

$$U'_{e0} = \frac{\rho}{A_{0szabv}} (\sum i_h) l_0 \text{ feszültségesés jut.}$$

A maradék a további szakaszokra esik: $U'_{e\lambda} = U'_e - U'_{e0}$



$$A_1 = \frac{\rho}{U'_{e\lambda}} (i_{2h} + i_{3h})(l_1 + \lambda_{23}) \Rightarrow A_{1szabv} \geq A_1$$

Ellenőrzés melegedésre $I_1 = \sqrt{(i_{2h} + i_{3h})^2 + (i_{2m} + i_{3m})^2} \leq I_{1meg}$

$$U'_{e1} = \frac{\rho}{A_{1szabv}} (i_{2h} + i_{3h}) \cdot l_1 \Rightarrow U'_{e3} = U'_{e2} = U'_{e\lambda} - U'_{e1}$$

$$A_2 = \frac{\rho}{U'_{e2}} i_{2h} l_2 \Rightarrow A_{2szabv} \geq A_2 \quad I_{2meg} \geq I_2 = \sqrt{i_{2h}^2 + i_{2m}^2}$$

$$A_3 = \frac{\rho}{U'_{e3}} i_{3h} l_3 \Rightarrow A_{3szabv} \geq A_3 \quad I_{3meg} \geq I_3 = \sqrt{i_{3h}^2 + i_{3m}^2}$$

$$A_4 = \frac{\rho}{U'_{e\lambda}} (i_{5h} + i_{6h})(l_4 + \lambda_{56}) \Rightarrow A_{4szabv} \geq A_4$$

Ellenőrzés melegedésre $I_4 = \sqrt{(i_{5h} + i_{6h})^2 + (i_{5m} + i_{6m})^2} \leq I_{4meg}$

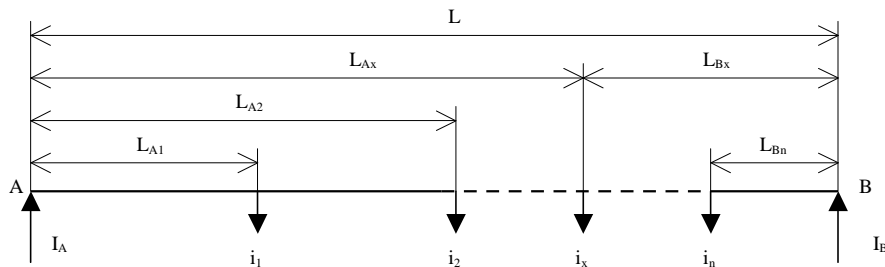
$$U'_{e4} = \frac{\rho}{A_{4szabv}} (i_{5h} + i_{6h}) \cdot l_4 \Rightarrow U'_{e5} = U'_{e6} = U'_{e\lambda} - U'_{e4}$$

$$A_5 = \frac{\rho}{U'_{e5}} i_{5h} l_5 \Rightarrow A_{5szabv} \geq A_5 \quad I_{5meg} \geq I_5 = \sqrt{i_{5h}^2 + i_{5m}^2}$$

$$A_6 = \frac{\rho}{U'_{e6}} i_{6h} l_6 \Rightarrow A_{6szabv} \geq A_6 \quad I_{6meg} \geq I_6 = \sqrt{i_{6h}^2 + i_{6m}^2}$$

3.6 Két végén táplált elosztóvezeték méretezése

A két végén táplált elosztóvezeték a fogyasztókat két táppontból látják el villamos energiával.



Ha a két tápponton a feszültségek egyenlők, akkor az elosztóvezeték méretezésének a menete a következő: Először kiszámítjuk a táppontokon befolyó áramok nagyságát. Számításuk mechanikai analógia alapján egyszerűen megérthető. A két végén táplált elosztóhálózatot fogyasztói áramaival egy kéttámaszú tartónak tekinthetjük, ahol a függőleges terhelő erők a fogyasztók áramai, a kéttámaszú tartó A és B pontján fellépő reakcióerők pedig a táppontok áramainak felelnek meg. A mechanikában tanultak szerint az egyensúly feltétele alapján bármelyik alátámasztási pontra felírt terhelő erők nyomatéka egyenlő a másik alátámasztási pont reakcióerőjének nyomatékával. Hasonlóképpen írhatjuk fel a két ponton táplált elosztóvezeték terhelő és tápponti áramok nyomatékait.

Írjuk fel az A táppontra az áramnyomatékok egyenlőségét:

$$I_{Bh}L = i_{1h}L_{A1} + i_{2h}L_{A2} + \dots + i_{xh}L_{Ax} + \dots + i_{nh}L_{An}$$

ebből az egyenlőségből a B táppont áramát meghatározhatjuk.

$$I_{Bh} = \frac{i_{1h}L_{A1} + i_{2h}L_{A2} + \dots + i_{xh}L_{Ax} + \dots + i_{nh}L_{An}}{L}$$

hasonlóképpen határozhatjuk meg a B pontra felírt áramnyomatékok egyenlőségéből az I_{Ah} tápponti áramot

$$I_{Ah} = \frac{i_{1h}L_{B1} + i_{2h}L_{B2} + \dots + i_{xh}L_{Bx} + \dots + i_{nh}L_{Bn}}{L}$$

Az I_{Ah} tápponti áramot Kirchhoff első törvénye alapján is kiszámíthatjuk:

$$I_{Ah} + I_{Bh} = i_{1h} + i_{2h} + \dots + i_{xh} + \dots + i_{nh}$$

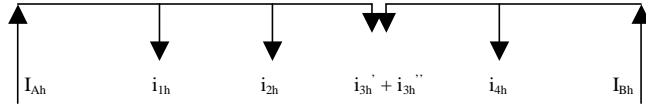
ebből

$$I_{Ah} = (i_{1h} + i_{2h} + \dots + i_{xh} + \dots + i_{nh}) - I_{Bh}$$

A méretezés második lépéseként megkeressük azt a fogyasztót, amelyik két oldalról kap táplálást. Valamelyik táppontból kiindulva az áram folyásának irányában haladva egymás után vonjuk ki a tápponti áramból (I_A -ból vagy I_B -ből) az egyes fogyasztók terhelő áramait, mindaddig, míg az eredmény negatív nem lesz:

$$I_{Ah} - i_{1h} - i_{2h} - \dots$$

A két oldalról táplált fogyasztó esetében az egyik (pl. A) táppontból befolyó áram nem tudja a fogyasztó igényét kielégíteni, a különbséget a fogyasztó a másik (B) táppontból kapja. Erre a fogyasztóra az is jellemző, hogy itt a mindkét táppont felől számított feszültségesések összege egyenlő. Pl.:



A méretezés harmadik lépéseként a kétoldalról fogyasztónál a vezetéket elvágjuk és így kapunk két egy ponton táplált elosztóvezetéket (lásd az ábrát), amelynek méretezését a 3.4 pontban tárgyaltuk. Mivel mindkét vezetéken azonos feszültségesés jön létre mindegy, hogy melyiket méretezzük feszültségesésre.

A melegedésre történő ellenőrzéskor mindkét táppontra ki kell számolni a táppontokon befolyó meddő áramokat, majd a hatásos és meddő áramokból a látszólagos áramokat és a nagyobbikkal kell elvégezni az ellenőrzést.

$$I_A = \sqrt{i_{Ah}^2 + i_{Am}^2} \quad I_B = \sqrt{i_{Bh}^2 + i_{Bm}^2} \quad I_{meg} > I_A \quad \text{és} \quad I_{meg} > I_B$$

3.7 Körvezeték méretezése

Ha két végén azonos tápponti feszültséggel táplált elosztóvezeték táppontjait összekötjük, körvezetéket kapunk. Tehát fordítva, ha körvezetéket a táppontnál szétvágjuk és kiterítjük két végén táplált vezetéknek kapunk, amelynek méretezését az előző pontban tárgyaltuk.

