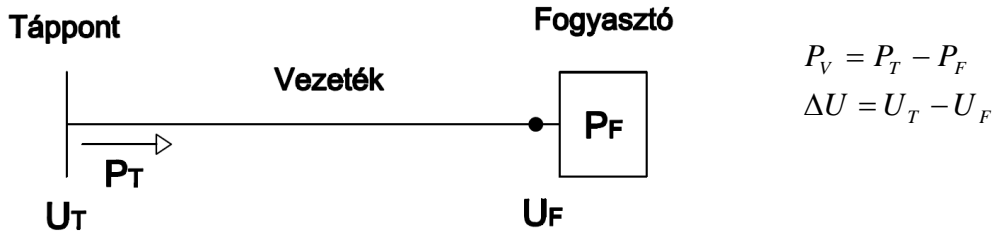


1. Veszteség, feszültségesés (példa: villanytűzhely)

Feladat:

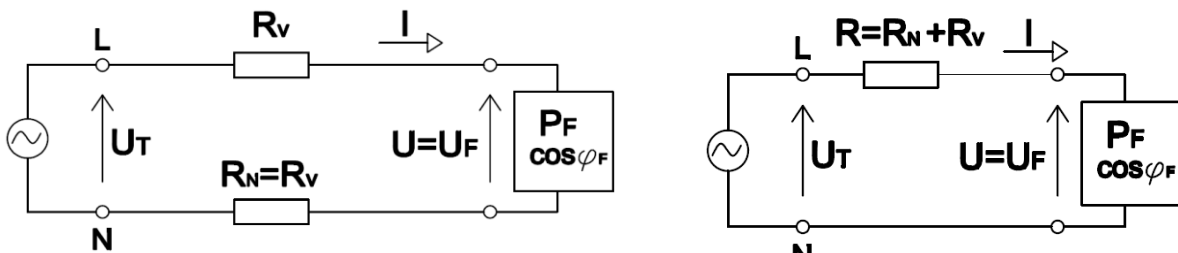
Egy villanytűzhely 2300 W teljesítményt vesz fel, a tűzhely csatlakozási pontján a bekapcsolás után $U=230\text{ V}$ feszültség mérhető. A tűzhely a mérőórától (a vezeték nyomvonalán mérve) 15 m -re helyezkedik el, a bekötése $q=2,5\text{ mm}^2$ keresztmetszetű **alumínium** vezetőkkel történik.

Mekkora a **veszteség**? Mekkora a vezetéseken keletkező **feszültségesés**?



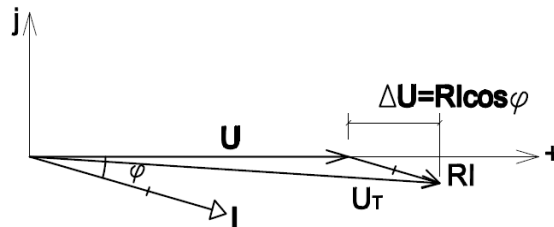
a) $P = 2300\text{ W}$ 1 fázisú teljesítményfelvétel.

Feltételezzük, hogy a vezeték ellenállással modellezhető.



a) 1 fázisú modell

b) 1 fázisú modell az ellenállások összevonásával



c) fázorábra

$$P_F = U_F I \cos \varphi_F$$

$$Q_F = U_F I \sin \varphi_F$$

A továbbiakban a fogyasztói F indexeket elhagyjuk.

A vezeték ellenállása 15 m -re $R_v = \rho \frac{l}{A} = 0,027\ \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \frac{15\text{ m}}{2,5\text{ mm}^2} = 0,162\ \Omega$

Az áramkörben (**oda-vissza**) $R=2 \cdot R_v = 0,324\ \Omega$.

A tűzhely ellenállással modellezhető, vagyis $Q = 0, \cos \varphi = 1$

az ellenállás

$$R_F = \frac{U^2}{P} = \frac{(230\text{ V})^2}{2300\text{ W}} = 23\ \Omega \gg 2R_v$$

A tűzhely által felvett áram $P = 2300\text{ W}$ -hoz

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{P}{U} = \frac{2300\text{ W}}{230\text{ V}} = 10\text{ A}$$

Az R ellenálláson keletkező hatásos teljesítmény veszteség:

$$P_v = I^2 R = 100 * 0,324 = 32,4 \text{ W}$$

vagyis méterenként egy vezetősálra valamivel több, mint 1 W.

A veszteséget a felvett teljesítményhez viszonyítva:

$$P\%_v = 100 * 32,4 / 2300 = 1,4 \%$$

A feszültségesés:

$$\Delta U = R I \cos \varphi = R I = 0,324 * 10 = 3,24 \text{ V}$$

ez az $U = 230 \text{ V}$ -nak $100 * 3,24 / 230 = 1,4 \%$ -a.

b) $P = 2300 \text{ W}$ teljesítményfelvétel 3 fázisúan, fázisonként egyidejűleg azonos teljesítménnyel

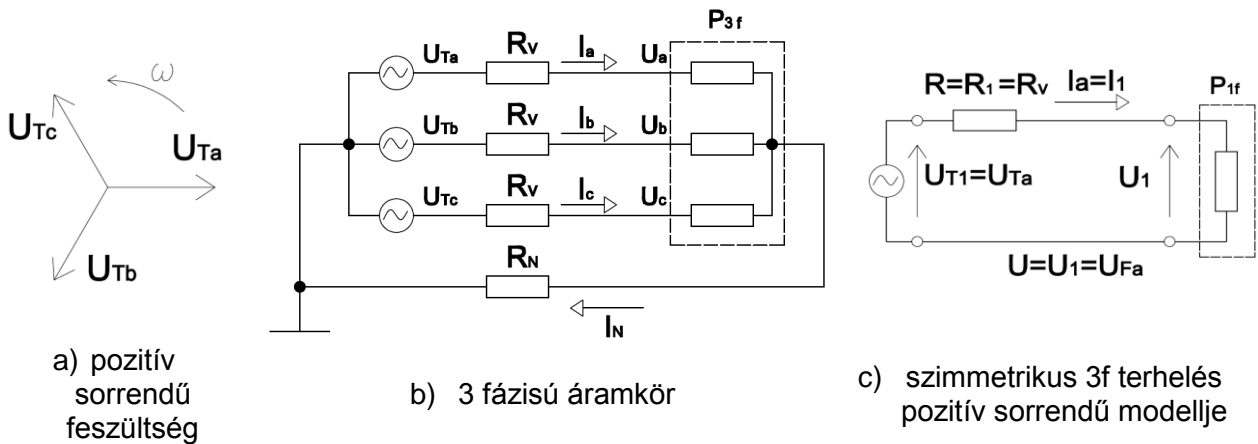
$P_{3f} = P = 2300 \text{ W}$, egy fázisra jut $P_{1f} = 2300/3 = 766 \text{ W}$

ehhez a felvett áram fázisonként $\cos\varphi = 1$ -hez

$$I = \frac{P_{1f}}{U} = \frac{766 \text{ W}}{230 \text{ V}} = \frac{10}{3} = 3,33 \text{ A}$$

A szimmetrikus 3f terhelés miatt a nullavezetőben nem folyik áram.

Feltételezzük, hogy a vezetők ellenállással modellezhetők.



Az összes veszteség :

$$P_v = 3I^2R_v = 3\left(\frac{10}{3}\right)^2 0,162 = \frac{100}{3} 0,162 = 5,4 \text{ W} \left(= \frac{32,4}{6} \text{ W} \right)$$

$$P_v\% = 100 \frac{P_v}{P} = 100 \frac{5,4}{2300} = 0,234\% \left(= \frac{1,4}{6} \%\right)$$

A feszültségesés fázisonként

$$\Delta U = R_v I = 0,162 \frac{10}{3} = 0,54 \text{ V} \left(= \frac{3,24}{6} \text{ V} \right)$$

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U} = 100 \frac{0,54}{230} = 0,234\% \left(= \frac{1,4}{6} \%\right)$$

c) $\Delta U\%$, $P_v\%$

Ha az áramkörben a **vezetők** leképezhetők **csak R_v** ellenállással ($X_v = 0$, vagy $X_v \ll R_v$)

akkor az U-I fázorábra alapján: $\Delta U \cong RI \cos\varphi$ és így

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U} \cong 100 \frac{RI \cos\varphi}{U}$$

$$P_v\% = 100 \frac{P_v}{P} = 100 \frac{RI^2}{UI \cos\varphi}$$

Ezekkel

$$\frac{\Delta U\%}{P_v\%} = (\cos\varphi)^2$$

vagyis

$$\Delta U\% \leq P_v\%$$

ha $\cos\varphi = 1$, akkor

$$\Delta U\% = P_v\%$$

2. 0,4 kV-os belső hálózat méretezése

A kiefeszültségű hálózatnak eleget kell tennie a villamosenergia-szolgáltatásra előírt minőségi és biztonsági követelményeknek, ezért a vezetékeket méretezni és ellenőrizni kell. A rövid (néhányszor 10 m) vezetékszakaszokat csak áramterhelhetőségre méretezzük (kiválasztjuk táblázatból), a hosszabbakat (általában 200m felett) feszültségesésre méretezzük és áramterhelhetőségre ellenőrizzük.

Egyszerűsítések, közelítések a kiefeszültségű vezeték méretezéséhez

- a vezeték impedanciájának csak a valós részét vesszük figyelembe, vagyis úgy tekintjük, hogy feszültségesés csak a vezeték ohmos ellenállása miatt keletkezik,
- a feszültségesésre történő méretezésnél terhelő áramnak csak a hatásos komponensével számolunk (a kiefeszültségű fogyasztók esetében gyakori, hogy a gyártók nem adnak meg $\cos\phi$ értéket, vagy meddőteljesítmény felvételt),
- a vezetéken belül az áramsűrűség állandó (áramkiszorítás elhanyagolva),
- a hőmérséklet változása miatti ellenállás változás, illetve terhelhetőség változás figyelmen kívül hagyva.

A) Feszültségesésre való méretezés

Az egyen- és váltakozó feszültségen történő energiaszállításnál a vezetékek impedanciáján (esetünkben ellenállásán) feszültségesés jön létre. Az épület hálózati csatlakozási pontja utáni különböző jellegű kiefeszültségű elosztóvezetéseken a megengedett, egyben a méretezés alapjául szolgáló feszültségesés ($\Delta U\%$) szokásos értékei:

- háztartásokban
 - világítási hálózat: 2%
 - egyéb fogyasztó: 3%
- ipari fogyasztóknál
 - világítási hálózat: 2%
 - egyéb fogyasztó: 3-5%

A méretezés lépései:

1. A fogyasztók mértékadó hatásos teljesítményfelvételének (P_F [W]) meghatározása. (A tervezés fázisában a mértékadó teljesítményfelvétel meghatározása általában becsléssel történik.)
2. A vezeték terhelő áram wattos összetevőjének (I_P) számítása.
 - Egyfázisú váltakozó áramú (és egyenáramú) fogyasztó:

$$I_P = \frac{P_F}{U_{fn}} [A]$$

ahol $U_{fn} = 231$ V a névleges fázisfeszültség.

- Háromfázisú fogyasztó:

$$I_P = \frac{P_{F3f}}{\sqrt{3}U_{vn}} [A]$$

ahol P_{F3f} (W) a háromfázisú hatásos teljesítményfelvétel, $U_{vn} = \sqrt{3} \cdot U_{fn} = 400$ V a névleges vonali feszültség.

3. A megengedett $\Delta U\%$ feszültségesés alapján kiszámítjuk az egy vezetőre jutó megengedett feszültségesés ΔU_m (V) fázisértékét.

- o Egyenáramú és egyfázisú váltakozó áramú hálózat:

$$\Delta U_m = U_{fn} \frac{\Delta U\%}{100} \frac{1}{2} [V]$$

(A 2-vel való osztás azért szükséges, mert feltételezzük, hogy a fázis és nulla vezető azonos keresztmetszetű és mindkettőn ugyanakkora feszültségesést okoz a fogyasztó árama.)

- o Háromfázisú hálózat:

$$\Delta U_m = U_{vn} \frac{\Delta U\%}{100} \frac{1}{\sqrt{3}} [V]$$

4. Szükségessé keresztmetszet meghatározása (a bevezetett egyszerűsítésekkel)

Az I_p áram által okozott feszültségesés:

$$\Delta U = I_p R$$

amiből $\Delta U = \Delta U_m$ helyettesítésével

$$R = \frac{\Delta U_m}{I_p}$$

Egy l (m) hosszúságú, A (mm^2) keresztmetszetű vezető ohmos ellenállása:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Fajlagos ellenállások:

$$\rho_{\text{réz}} = 0,0175 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{\text{alu}} = 0,0282 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

ezekkel:

$$A_{\text{réz}} = 0,0175 \frac{l I_p}{\Delta U_m} [\text{mm}^2]$$

$$A_{\text{alu}} = 0,0282 \frac{l I_p}{\Delta U_m} [\text{mm}^2]$$

Az alkalmazható vezető keresztmetszetet a számított értékhez legközelebb eső (nagyobb) szabványos keresztmetszetre kell választani.

1. Táblázat. Tájékoztató adatok, példa: **20 m hosszú, szabványos keresztmetszetű vezető ellenállása, 20 m hosszú, 10 A terhelésű vezetők létrejövő feszültségesés.**

A vezető keresztmetszete mm^2 (átmérő mm)	20 m hosszú, 10 A terhelésű vezető					
	R (Ω)		ΔU (V)		$\Delta U\%$	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5 (1,4)	0,233	0,376	2,33	3,76	1,00	1,63
2,5 (1,8)	0,140	0,226	1,40	2,26	0,61	0,98
4 (2,3)	0,088	0,141	0,88	1,41	0,38	0,61
6 (2,8)	0,058	0,094	0,58	0,94	0,25	0,41
10 (3,6)	0,035	0,056	0,35	0,56	0,15	0,24
16 (4,5)	0,022	0,035	0,22	0,35	0,10	0,15
25 (5,6)	0,014	0,023	0,14	0,23	0,06	0,10

B) Ellenőrzés melegedésre

A vezetékek feszültségesésre való méretezésénél kiszámított, illetve kiválasztott szabványos vezető keresztmetszetet melegedésre mindig ellenőrizni kell. A melegedésre történő ellenőrzésnél az áram $I = I_P / \cos\varphi$ abszolút értékét kell figyelembe venni.

Adat hiányában becsült eredő $\cos\varphi$ -vel dolgozhatunk, ennek értéke a fogyasztói összetételtől függően $0,75 < \cos\varphi < 1,0$ -re vehető fel. A gyakorlatban a vezetékek melegedésre való méretezése nem számítással, hanem terhelési táblázatokkal történik. A 2. táblázatban a vezetékek terhelhetősége három: A, B és C terhelési csoportban van megadva. Az alapterhelés $25\text{ }^\circ\text{C}$ környezeti hőmérsékleten értendő, egymás mellett legfeljebb három vezeték van elhelyezve és 10 mm-es környezetben védőcső, vezetékcsatorna, kábel, kábelszerű vezeték nincs.

Terhelési csoportok:

A csoport: (1) egyszerű vezeték vakolat alatti védőcsőbe húzva, (2) 5 db egyszerű vezeték szabadon szerelt védőcsőben, vagy vezetékcsatornában, (3) 9 db egyszerű vezeték kötegelve szerelt állapotban

B csoport: (1) vakolatba fektetett vagy falra ragasztott vezeték, (2) 5 db egyszerű vezeték szabadon szerelt védőcsőben, vagy vezetékcsatornában, ha 10 mm távolságra több védőcső vagy csatorna halad párhuzamosan

C csoport: (1) egyszerű vezeték szabadon szerelve.

A terhelési táblázatban (forrás: <http://eurokabel.hu/doc257>) 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. Az adott keresztmetszetű vezetékből képzett áramkörhöz érintésvédelmi és túláramvédelmi szempontból a keresztmetszethez megadott biztosító választandó.

2. Táblázat

A vezető keresztmetszete mm ² (átmérő mm)	Megengedett terhelés (A)						Biztosító betétek (A)
	A csoport		B csoport		C csoport		
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	
1,5 (1,4)	16	13	20	17	25	22	10
2,5 (1,8)	21	16	27	21	34	27	16
4 (2,3)	27	21	36	29	45	35	20
6 (2,8)	35	27	47	37	57	45	25
10 (3,6)	48	36	65	51	78	61	35
16 (4,5)	63	51	87	68	104	82	50
25 (5,6)	83	65	115	90	137	107	63
35 (6,7)	110	86	143	112	168	132	80
50 (8,0)	140	110	178	140	210	165	100
70 (9,4)	175	140	220	173	260	205	125
95 (11,0)	215	175	265	210	310	245	160
120 (12,4)	255	205	310	245	365	285	200
150 (13,8)	295	235	355	280	415	330	250
185 (15,3)	340	270	405	320	475	375	315
240 (17,5)	400	300	480	380	560	440	400
300 (19,5)	470	375	555	435	645	510	500

0,4 kV-os belső hálózat méretezése: Számítási példák**2.1 Családi ház****a) Bekötővezeték (3 f + n + v) méretezése:**

Adatok:

Csatlakozási ponton felszerelt fogyasztásmérő kisautomatáinak névleges árama: 3 x 32 A

Mérőszekrény és a házi főelosztó közötti távolság: 40 m

Bekötő vezeték: földkábel

$$\Delta U^* = 2\%$$

$$\Delta U_m = U_{vn} \frac{\Delta U^*}{100\sqrt{3}} = 400 \frac{0,02}{\sqrt{3}} = 4,61 \text{ V}$$

Névleges áramerhelés $I_p = 32 \text{ A}$ és $\cos\varphi = 1,0$ feltételezésével

$$A_{\text{rész}} = 0,0175 \frac{I_p}{\Delta U_m} = 0,0175 \frac{40 * 32}{4,61} = 4,859 \text{ mm}^2$$

Szabványos megfelelő keresztmetszet: 6 mm²

Áramerhelhetőségre megfelel.

$$A_{\text{aiu}} = 0,0282 \frac{I_p}{\Delta U_m} = 0,0282 \frac{40 * 32}{4,61} = 7,83 \text{ mm}^2$$

Szabványos megfelelő keresztmetszet: 10 mm²

Áramerhelhetőségre megfelel.

Választott vezeték: **5 erű (3 fázis + nulla + védővezető), 10 mm² –es alumínium földkábel.****b) Egyfázisú villanytűzhely csatlakozó (konnektor) táplálás:** $P_F = 3500 \text{ W}$

Elosztószekrénytől vett távolság: 25 m

$$\Delta U^* = 3\%$$

$$\Delta U_m = U_{fn} \frac{\Delta U^*}{100 * 2} = 231 \frac{0,03}{2} = 3,47 \text{ V}$$

Névleges áramerhelés ($\cos\varphi = 1,0$):

$$I = I_p = \frac{P_F}{U_{fn}} = \frac{3500}{231} = 15,15 \text{ A}$$

$$A_{\text{rész}} = 0,0175 \frac{I_p}{\Delta U_m} = 0,0175 \frac{25 * 15,15}{3,47} = 1,91 \text{ mm}^2$$

Szabványos megfelelő keresztmetszet: 2,5 mm²

Áramerhelhetőségre megfelel.

Választott vezeték: **3 erű (1 fázis + nulla + védővezető), 2,5 mm² –es réz vezeték.****c) 1,5 mm² –es vakolat alatti védőcsőben szerelt (1f+ n + v) rézvezeték terhelhetőségi korlátai**

Terhelési csoport: A

Áramerhelhetőség: **16 A****1 fázisú** fogyasztók maximális teljesítménye:

$$P_{Fmax} = U_{fn} I_{pmax} = 231 * 16 = 3696 \text{ W} = 3,7 \text{ kW}$$

Maximális **vezeték**hossz:

$$\text{Feltételek: } \Delta U^* = 2\% \left(\Delta U_m = \frac{231 * 0,02}{2} = 2,31 \text{ V} \right), I_{pmax} = 16 \text{ A}$$

$$l_{max} = A \frac{\Delta U_m}{0,0175 I_{pmax}} = 1,5 \frac{2,31}{0,0175 * 16} = 12,4 \text{ m}$$

2.2 Irodaépület

V1 épület villamos hálózat felújításához áramterhelhetőségi igények:

Szint	Áramterhelhetőség (A)	Kábelhossz (m)
V. emelet	160	40
IV. emelet	250	37
III. emelet	70	34
II. emelet	160	31
I. emelet	200	28
Földszint	140	25
C szárny	500	30
Nagyfeszültségű labor	630	25
C alagsor	300	20
	Σ 2410	

Például: a **IV. emelet villamosenergia-ellátásához szükséges (3 f + n + v) kábel:**

Megengedett százalékos feszültségesés: $\Delta U\% = 3\%$

$$\Delta U_m = U_{vm} \frac{\Delta U\%}{100\sqrt{3}} = 400 \frac{0,03}{\sqrt{3}} = 6,93 \text{ V}$$

Az $I = 250 \text{ A}$ áramterhelhetőséghez $\cos\varphi = 0,9$ feltételezésével:

$$I_P = I \cdot \cos\varphi = 225 \text{ A}$$

$$A_{\text{réz}} = 0,0175 \frac{I_P}{\Delta U_m} = 0,0175 \frac{37 \cdot 225}{6,93} = 21,02 \text{ mm}^2$$

Szabványos, feszültségesés szempontjából megfelelő keresztmetszet: 25 mm^2

Áramterhelhetőségre nem felel meg, a terhelhetőségi táblázat alapján az $I = 250 \text{ A}$ -nek megfelelő keresztmetszet (A terhelési csoport):

$$A_{\text{réz}} = 120 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{alu}} = 0,0282 \frac{I_P}{\Delta U_m} = 0,0282 \frac{37 \cdot 225}{6,93} = 33,88 \text{ mm}^2$$

Szabványos, feszültségesés szempontjából megfelelő keresztmetszet: 50 mm^2

Áramterhelhetőségre nem felel meg, a terhelhetőségi táblázat alapján az $I = 250 \text{ A}$ -nek megfelelő keresztmetszet (A terhelési csoport):

$$A_{\text{alu}} = 185 \text{ mm}^2$$

Választott vezeték: **5 erű (3 fázis + nulla + védővezető), 120 mm^2 –es rézkábel.**

Láthatóan a feszültségesésre való méretezés nem vezet eredményre, **minden épületszinthez az áramterhelhetőség szerint** kell a szükséges kábelt kiválasztani.

3. 0,4 kV-os vidéki vezetékhalózat megosztó terheléssel

Feszültségesés egyenletesen megosztó terhelés esetén

Legyen elvi modellként i_m a hosszegységre eső áramfelvétel [A/m], fázisonként egyenlő.

Az L_m hosszúságú vezetéken egyenletesen megosztó terhelés összes felvett árama:

$$I_m = L_m \cdot i_m \quad [\text{A/fázis}],$$

$I_T = I_m$ az áram a táppontnál.

A vezetéken az l helyen folyó áram: $I(l) = I_m - i_m \cdot l$.

A dl (elemi) vezetékhozszon létrejövő feszültségesés fázisonként

($\cos\varphi = 1$, vezeték csak R):

$$d(\Delta U) = I(l) \cdot r \cdot dl \quad (r \text{ a vezeték hosszegységre vonatkozó ellenállása } [\Omega/\text{m}]).$$

A feszültségesés az L_m hosszra:

$$\Delta U = \int_0^{L_m} d(\Delta U) = \int_0^{L_m} (I_m - i_m \cdot l) \cdot r \cdot dl = I_m \cdot r L_m - \int_0^{L_m} i_m \cdot r \cdot l \cdot dl = I_m \cdot R - I_m \cdot R/2,$$

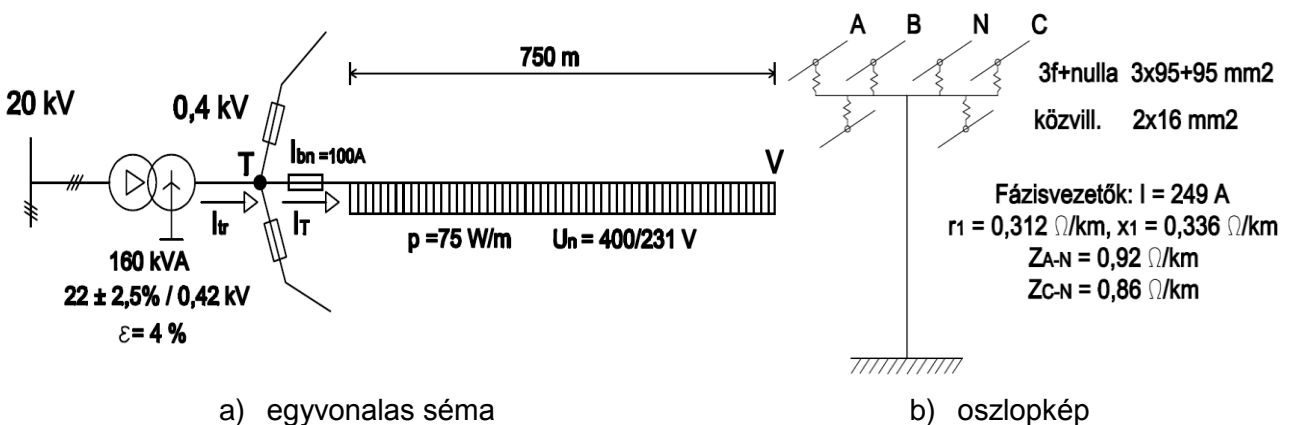
Megosztó jellegű, $\cos\varphi \approx 1$ szimmetrikus 3f terhelés esetén

a teljes hossz $R = r \cdot L_m$ ellenállásával és az I_T tápponti árammal:

a feszültségesés fázisonként azonosan : $\Delta U = R I_T / 2$

a veszteség fázisonként azonosan : $P_{V1f} = R (I_T)^2 / 3$ (levezetés mellőzve)

Vezetékhalózat példa alapadatokkal:



Az $L = 750 \text{ m}$ 3 fázis + nulla vezeték nyomvonala mentén a csatlakozó fogyasztók egyidejű maximális teljesítményigényét statisztikai alapon $p = 75 \text{ W/m}$ teljesítményfelvételre becsüljük. Ezt a teljesítményfelvételt – a viszonylag sűrű csatlakozási bekötések miatt – **egyenletesen megosztónak** és **fázisonként azonosan** jelentkező **teljesítménynek** vesszük, $\cos\varphi \approx 1$ teljesítménytényezővel.

1) Áramfelvétel (csúcsidőben)

a) Feltételezzük, hogy a fázisonkénti terhelés azonos. A $p = 75 \text{ W / m}$ fázisonként egyenlően „kiosztva” $p_{1f} = (75 \text{ W / m}) / 3 = 25 \text{ W / m}$ egyfázisú teljesítményfelvételt ad, amely az $L=750 \text{ m}$ nyomvonalhoz a 0,4 kV-os táppontra összesítve

$P_{3f} = p \cdot L = 75 \cdot 750 = 56,25 \text{ kW}$ 3 fázisú, illetve $P_{1f} = p_{1f} \cdot L = 25 \cdot 750 = 18,75 \text{ kW}$ fázisonkénti tápponti teljesítményleadást jelent csúcsidőben.

b) Az adott leágazás csúcsidei tápponti áramának meghatározásához a 22 kV /0,42 kV -os transzformátor 0,4 kV-os oldalán $U_{Tf} = 231 \text{ V}$ ún. induló fázisfeszültséget feltételezünk és $\cos\varphi \approx 1$ értékkel számolunk:

$$I_T = P_{1f} / U_{Tf} \cos\varphi = 18,75 \cdot 10^3 / 231 = 81,2 \text{ A /fázis} \text{ (csúcsidőben).}$$

Megjegyezzük, hogy az $I_T = 81,2 \text{ A /fázis}$ $i = I_T / L = 81,2 / 750 = 0,108 \text{ A/m/fázis}$ megoszló áramfelvételt eredményez, ami csak akkor adná a $p_{1f} = 25 \text{ W / m/fázis}$ (illetve $p = 3 \cdot p_{1f} = 75 \text{ W/m}$) értéket, ha mindenütt 231 V lenne a fázisfeszültség.

A vezeték tartós terhelhetősége $I_{max} = 239 \text{ A /fázis} > I_T$, a keresztmetszet megfelelő.

A tápponti $I_{bn} = 100 \text{ A}$ biztosítóhoz teljesül az $1,1 \cdot I_T = 89,3 \text{ A} \leq I_{bn}$ követelmény

c) A 160 kVA-es transzformátor 0,4 kV-os oldali névleges árama

$$I_{trn} = S_{tr} / (\sqrt{3} U_{trn}) = 160 \cdot 10^3 / (1,732 \cdot 0,42 \cdot 10^3) = 220 \text{ A} \text{ (a 20 kV-os oldalon } I_{trn} = 4,2 \text{ A)}$$

Ha a példa szerinti transzformátorkörzethez három, csúcsidőben kb. azonosan terhelődő 0,4 kV-os leágazást tételezünk fel, akkor a transzformátor áramterhelése $I_{tr} = 3 \cdot I_T = 3 \cdot 81,2 \text{ A} = 243,6 \text{ A}$.

A transzformátorra 2 óra időtartamra (csúcsidőre) megengedett a 20 %-os mértékű túlterhelés: $\max I_{tr} = 1,2 I_{trn} = 1,2 \cdot 220 = 264 \text{ A}$, tehát a transzformátor számított terhelése csúcsidőben ($243,6 \text{ A} \div 1,1 I_{trn}$) még megengedhető.

2) Feszültségesés, veszteség (csúcsidőben)

a) A vezeték $L = 750 \text{ m}$ teljes hosszának R ellenállása az $r_1 = 0,312 \text{ ohm /km}$ pozitív sorrendű fajlagos ellenállás szerint $R = r_1 \cdot L = 0,312 \cdot 0,750 = 0,234 \text{ ohm}$

A táppont és a 750 m-re lévő végpont közötti feszültségkülönbség (a megoszló terhelés szerint számítva): $\Delta U_f = R I_T \cdot 2 = 0,234 \cdot 81,2 \cdot 2 = 9,5 \text{ V / fázis}$, ez a vezetéki névleges 231 V-ra nézve 4.1 %, amely méretezés szempontjából elfogadható érték.

b) Előírás szerint a fogyasztói csatlakozásnál a feszültség a névleges érték legalább 92,5 %-a legyen. A fogyasztói bekötővezetésekre max 1% (2.31 V/fázis) feszültségesést engedünk meg

Ezek alapján a nyomvonal végpontjához legalább

$$\min U_{Vf} = 0,01 \cdot (100 - 7,5) \cdot U_{nf} + 0,01 \cdot U_{nf} = 0,925 \cdot 231 + 2,31 = 216 \text{ V} \text{ szükséges,}$$

amely esetünkben csúcsidőben

$$\min U_{Tf} = \min U_{Vf} + \Delta U_f = 216 + 9,5 \approx 226 \text{ V} \text{ tápponti induló feszültség esetén már biztosított.}$$

c) A veszteség a megoszló terheléshez

$$P_{V1f} = R (I_T)^2 / 3 = 0,234 \cdot (81,2)^2 / 3 = 0,514 \text{ kW/fázis,}$$

$$P_{V3f} = 3 \cdot P_{V1f} = 3 \cdot 0,514 = 1,543 \text{ kW háromfázisú érték,}$$

ami a $P_{3f} = 56,25 \text{ kW}$ tápponti teljesítményre nézve 2,74%

d) Megjegyzés:

A vezeték csak R , $\cos\varphi = 1$, megoszló terhelés: $\Delta U\% = 3/2 P_V\%$, illetve $2 \Delta U\% = 3 P_V\%$

INNENTŐL FAKULTATÍV ANYAG KÖVETKEZIK

3) Rövidzárlat a végponton

a) Szükséges, hogy a tápponti $I_{bn} = 100 \text{ A}$ –es biztosító biztonsággal, kellően rövid időn belül (**max 5 s**) kiolvadjon a vezetéken fellépő I_z áramerősséget adó **rövidzárlat** hatására

Az ehhez szükséges feltétel: $I_{bn} \leq I_z / \alpha$
(típusától függően $\alpha = 2$ vagy $\alpha = 4$)

b) Az ellenőrzéshez meg kell határozni a legkisebb **min I_z** áramot adó végponti rövidzárlat áramerősségét. A **min I_z** zárlati áramot döntően a 750 m hosszú vezeték fázis-nulla, illetve fázis-fázis áramkör hurokimpedanciája szabja meg, mert ezekhez képest a transzformátor 0,4 kV-os oldalról mérhető

$$Z_{tr} = \epsilon / 100 * (U_{ntr})^2 / S_{tr} = (4,0/100)(0,420 \cdot 10^3)^2 / (160 \cdot 10^3) = 0,044 \text{ ohm}$$

impedanciája elhanyagolható.

Az impedancia-arányok alapján azt is mondhatjuk, hogy egy végponti zárlat gyakorlatilag nem befolyásolja a táppont induló feszültséget.

A **min I_z** meghatározásához a **zárlatszámítást** a **min $U_{Tf} = 226 \text{ V}$** tápponti fázisfeszültség szerint végezzük.

c) fázis-N zárlat: I_{z1}

$Z_{A-N} = 0,92 \text{ ohm /km}$ (az A-N a legnagyobb fázis-nulla hurokimpedancia)

A teljes hosszra: **$Z_{A-N} = Z_{A-N} * L = 0,92 * 0,75 = 0,69 \text{ ohm}$** .

A fázis-nulla zárlati hurkot a fázisfeszültség táplálja:

$$I_{z1} = \min U_{Tf} / Z_{A-N} = 226 / 0,69 = 327,5 \text{ A}$$

d) fázis-fázis zárlat: I_{z2}

$z_1 = 0,312 + j 0,336 \text{ ohm /km}$, **$\text{abs}(z_1) = 0,458 \text{ ohm/km}$** (pozitív sorrendű impedancia)

A teljes hosszra: **$Z_1 = \text{abs}(z_1) * L = 0,458 * 0,75 = 0,344 \text{ ohm}$** .

A fázis-fázis hurokimpedancia: **$Z_{ff} \cong 2 * Z_1 = 2 * 0,344 = 0,688 \text{ ohm}$** ($\approx Z_{A-N}$)

A fázis-fázis zárlati hurkot a **vonali feszültség** táplálja:

$$\min U_{Tv} = \text{sqrt}(3) \min U_{Tf} = 1,732 * 226 = 391 \text{ V}$$

$$I_{z2} = \min U_{Tv} / Z_{ff} = 391 / 0,688 = 568 \text{ A } (> I_{z1})$$

e) A biztosító ellenőrzése

Az **$I_{bn} = 100 \text{ A}$** , **$\alpha = 2$** -es típusú biztosító

a **mértékadó min $I_z = I_{z1} = 327,5 \text{ A}$** rövidzárlati áramhoz **megfelelő:**

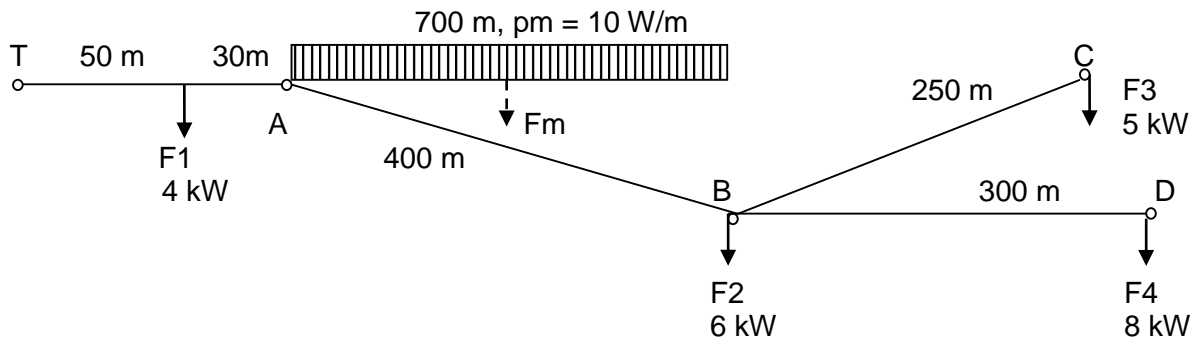
$$\min I_z / \alpha = 327,5 / 2 = 164 \text{ A} > I_{bn}$$

4. 0,4 kV-os vezetékhalózat koncentrált és megosztó terheléssel

Háromfázisú (3f + n) alumínium vezetékkel szabadon szerelt sugaras hálózat,

$$\rho_{alu} = 0,0282 \Omega \text{mm}^2/\text{m}.$$

Az összes fogyasztóhoz: $\cos\phi = 1$, megengedett feszültségesés 5 %.



Az A pontból induló 700 m hosszú vezetékszakasz megosztó terhelése feszültségesés szempontjából a súlypontjába helyezett (fiktív) P_m koncentrált terheléssel helyettesíthető.

Egy fázisvezetőt terhelő áramok szimmetrikus háromfázisú terhelést feltételezve:

$U_n = 400 \text{ V}$	F1	F_m	F2	F3	F4	Σ
$P_{3f} \text{ (kW)}$	4	7	6	5	8	30
$I = P/(\sqrt{3}U_n) \text{ (A)}$	5,77	10,1	8,66	7,22	11,55	43,3

$$\Delta U = I \cdot R = I \cdot \frac{\rho \cdot l}{A}, \text{ amennyiben a vezeték anyaga kiválasztásra került, } \Delta U = \frac{\rho_{alu}}{A} \cdot (I \cdot l).$$

A T-A gerincvezeték méretezéséhez az egyes csomópontokból induló szárnyvezetéseket feszültségesés szempontjából egyenértékű (redukált) vezeték hosszakkal helyettesítjük a „végigfutó keresztmetszet” elve alapján a következők szerint:

adott csomópontból induló 1 és 2 jelű szárnyvezeték egyenértékű helyettesítése ΔU szempontból egyenértékű

$A_{er} = A_1 + A_2$ keresztmetszetű, I_{er} eredő áramú és L_{er} eredő hosszúságú vezetékkel:

$$I_{er} = I_1 + I_2$$

Az $A_1 = \rho L_1 I_1 / \Delta U$ $A_2 = \rho L_2 I_2 / \Delta U$ és $A_{er} = A_1 + A_2 = L_{er} (I_1 + I_2) / \Delta U$ alapján

$$L_{er} = (L_1 I_1 + L_2 I_2) / (I_1 + I_2)$$

1. A B pontból induló B-C és B-D szárnyvezetékek helyettesítése egyenértékű vezetékkel:

$$l_{Br} = \frac{I_{BC} \cdot l_{BC} + I_{BD} \cdot l_{BD}}{I_{BC} + I_{BD}} = \frac{7,22 \cdot 250 + 11,55 \cdot 300}{7,22 + 11,55} = 280,8 \text{ m}, \quad I_{LB} = 18,77 \text{ A}$$

2. Az A pontból induló B irányú A-B és a megoszló terhelés helyettesítése fiktív vezetékkel

Az A→B irányú vezeték helyettesítése:

$$I_{AB} = I_{A \rightarrow B} \cdot l_{A \rightarrow B} = (8,66 + 18,77) \cdot 400 + 18,77 \cdot 280,8 = 16242,6 \text{ A} \cdot \text{m}$$

A megoszló terhelés helyettesítése:

$$I_m = I_m \cdot l_m = 10,1 \cdot 350 = 3535 \text{ A} \cdot \text{m}$$

Az A pontra csatlakozó vezeték feszültségesés szempontjából egyenértékű helyettesítése:

$$l_{Ar} = \frac{I_{AB} + I_m}{I_{A \rightarrow B} + I_m} = \frac{16242,6 + 3535}{8,66 + 18,77 + 10,1} = 527 \text{ m}, \quad I_A = 37,53 \text{ A}$$

3. A T-A gerincvezeték méretezése

A feszültségesés számításához szükséges I_{er} tényező:

$$I_{er} = I_{T-F1} \cdot l_{T-F1} + I_A \cdot (l_{F1-A} + l_{Ar}) = 43,3 \cdot 50 + 37,53 \cdot 557 = 23069 \text{ A} \cdot \text{m}$$

A megengedett feszültségesés (fázisérték):

$$\Delta U_m = U_{vn} \cdot \Delta U\% / 100 / \sqrt{3} \text{ (V)} = 400 \cdot 0,05 / \sqrt{3} = 11,54 \text{ V}$$

A $\Delta U_m = (\rho_{alu} / A) \cdot I_{er}$ összefüggésből a szükséges keresztmetszet:

$$A = \frac{\rho_{alu} \cdot I_{er}}{\Delta U_m} = \frac{0,0282 \cdot 23069}{11,54} = 56,37 \text{ mm}^2$$

A következő szabványos keresztmetszet 70 mm^2 , amely 205 A -rel terhelhető, tehát melegedés szempontjából megfelel.

A választott vezeték hosszegységre jutó ellenállása: $r = (\rho_{alu} / 70) \cdot 1 = 0,000403 \Omega/\text{m}$

4. A szárnyvezetékek méretezése

A gerincvezeték tényleges feszültségesése:

$$\Delta U_{T \rightarrow A} = r \cdot (43,3 \cdot 50 + 37,53 \cdot 30) = 1,33 \text{ V}$$

Az A pontról leágazó vezeték megengedett feszültségesése: $\Delta U_{mA} = 11,54 - 1,33 = 10,21 \text{ V}$

4.1 Megoszló terhelést tápláló vezeték méretezése:

$$A_m = \frac{\rho_{alu} \cdot I_m}{\Delta U_{mA}} = \frac{0,0282 \cdot 3535}{10,21} = 9,76 \text{ mm}^2$$

A következő szabványos keresztmetszet 10 mm^2 , amely 61 A -rel terhelhető, tehát melegedés szempontjából megfelel.

4.2 Az A → B vezeték méretezése:

$$A_{A \rightarrow B} = \frac{\rho_{alu} \cdot I_{A \rightarrow B}}{\Delta U_{mA}} = \frac{0,0282 \cdot 16242,6}{10,21} = 44,86 \text{ mm}^2$$

A következő szabványos keresztmetszet 50 mm², amely 165 A -rel terhelhető, tehát melegedés szempontjából megfelel.

A választott vezeték hosszegységre eső ellenállása: $r = (\rho_{alu} / 50) \cdot 1 = 0,000564 \text{ } \Omega/\text{m}$

Az A→B vezeték tényleges feszültségese: $\Delta U_{A \rightarrow B} = r \cdot (8,66 + 18,77) \cdot 400 = 6,19 \text{ V}$

A B pontról leágazó vezetékek megengedett feszültségese: $\Delta U_{mB} = 10,21 - 6,19 = 4,02 \text{ V}$

4.3 A B→C és B→D szárnyvezetékek méretezése:

$$A_{B \rightarrow C} = \frac{\rho_{alu} \cdot I_{B \rightarrow C} \cdot l_{B \rightarrow C}}{\Delta U_{mB}} = \frac{0,0282 \cdot 7,22 \cdot 250}{4,02} = 12,66 \text{ mm}^2$$

A következő szabványos keresztmetszet 16 mm², amely 82 A -rel terhelhető, tehát melegedés szempontjából megfelel.

$$A_{B \rightarrow D} = \frac{\rho_{alu} \cdot I_{B \rightarrow D} \cdot l_{B \rightarrow D}}{\Delta U_{mB}} = \frac{0,0282 \cdot 11,55 \cdot 300}{4,02} = 24,31 \text{ mm}^2$$

A következő szabványos keresztmetszet 25 mm², amely 107 A -rel terhelhető, tehát melegedés szempontjából megfelel.

A méretezés eredménye háromfázisú (3f + n) alumínium vezeték esetére:

