

Keskijännitejohdon jännitteenalenema

Jännitteenalenema lasketaan kaavalla 1

$$U_h = 100 \times P \times l \times \frac{r + x \times \tan \varphi}{U^2} \quad (1)$$

Taulukossa 1 on esitetty jokaisen kaapelin pituudet sekä niiden resistanssi ja reaktanssiarvot, joita tarvitaan jännitteenaleneman laskemiseen.

Taulukko 1 Kaapeleiden jännitteenalenemat

	AX185	Pg99	Rv63	AX120	APY120
Pituus (km)	1,12	2,768	0,206	0,586	0,306
Rv (Ω/km)	0,169	0,337	0,535	0,256	0,262
Xv (Ω/km)	0,119	0,354	0,368	0,129	0,115
Uh (%)	0,056	0,302	0,032	0,042	0,022

Johdon kautta siirrettävä teho $P = 1,03 \text{ MW}$ ja verkon laskentajännite $U = 20,7 \text{ kV}$ on saatu Xpowerin laskentatuloksista.

Kaapelin jännitteenalenemat on laskettu seuraavasti:

$$U_h (AX185) = 100 \times 1,03 \text{ MW} \times 1,12 \text{ km} \times \frac{0,169 + 0,119 \times \tan(\cos^{-1} 0,95)}{(20,7 \text{ V})^2} = 0,056\% \quad (1)$$

$$U_h (AX185) + U_h (Pg99) + U_h (Rv63) + U_h (AX120) + U_h (APY120) = 0,056\% + 0,302\% + 0,032\% + 0,042\% + 0,022\% = 0,45\%$$

$$U_h / 2 = 0,23\%$$

Jännite johto-osan lopussa:

$$U_{\min} = 20,7 \text{ kV} - (20,7 \text{ kV} \times \frac{0,23\%}{100\%}) = 20,65 \text{ kV}$$

Keskijännitejohdon oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojaus lasketaan kaavalla 2

$$I_k = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{(R_k + R_M + l \times r_j)^2 + (X_k + X_M + l \times x_j)^2}} \quad (2)$$

Xpowerilta saadaan muuntajan tiedoista $R_k = 1,050 \Omega$ ja $X_k = 6,350 \Omega$, jotka täytyy redusoida muuntajan alajännitepuolelle kaavoilla 3 ja 4.

$$R_2 = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \times R_1 = \left(\frac{20kV}{110kV}\right)^2 \times 1,050\Omega = 0,03\Omega \quad (3)$$

$$X_2 = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \times X_1 = \left(\frac{20kV}{110kV}\right)^2 \times 6,350\Omega = 0,21\Omega \quad (4)$$

Muuntajan tiedoista saadaan myös $R_m = 0,320 \%$ ja $X_m = 10,80 \%$, jotka täytyy muuttaa ohmeiksi kaavoilla 5 ja 6.

$$R_M = \frac{r_{M\%}}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{0,320\%}{100} \times \frac{(20,7kV)^2}{25MVA} = 0,05\Omega \quad (5)$$

$$X_M = \frac{x_{M\%}}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10,80\%}{100} \times \frac{(20,7kV)^2}{25MVA} = 1,85\Omega \quad (6)$$

Alla olevaan taulukkoon 2 on kerrottu valmiiksi kaapeleiden pituudet sen resistanssilla ja reaktanssilla. Lopuksi yhdistetään kaikkien kaapeleiden arvot ja sijoitetaan ne kaavaan 2.

Taulukko 2 Kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit laskettuna koko johtopituudelle

	AX185	Pg99	Rv63	AX120	APY120
Pituus (km)	1,12	2,768	0,206	0,586	0,306
Rv (Ω /km)	0,169	0,337	0,535	0,256	0,262
Xv (Ω /km)	0,119	0,354	0,368	0,129	0,115

$l \times r_j$	0,189	0,933	0,110	0,150	0,080
$l \times x_j$	0,133	0,980	0,076	0,076	0,035

$$l \times r_j = 0,189\Omega + 0,933\Omega + 0,110\Omega + 0,150\Omega + 0,080\Omega = 1,462\Omega$$

$$l \times x_j = 0,133\Omega + 0,980\Omega + 0,076\Omega + 0,076\Omega + 0,035\Omega = 1,300\Omega$$

Sijoitetaan kaikki arvot kaavaan 2

$$I_k = \frac{20,7kV}{\sqrt{3} \times \sqrt{(0,03\Omega + 0,05\Omega + 1,462\Omega)^2 + (0,21\Omega + 1,85\Omega + 1,300\Omega)^2}} = 3,23kA \quad (2)$$

Keskijännitejohdon maasulkulaskenta

Lasketaan kaapeleiden aiheuttama maasulkuvirran kasvu kaavalla 7. Liitteestä 2 saadaan maasulkukapasitanssin arvo $C_m = 0,23 \mu\text{F}/\text{km}$. Maakaapelia lisätään verkkoon 1,076 km, joten maakapasitanssin arvoksi saadaan:

$$C_0 = 0,23 \mu\text{F} / \text{km} \times 1,076 \text{km} = 0,25 \mu\text{F}$$

$$I_e = \sqrt{3} \times \omega \times C_0 \times U = \sqrt{3} \times 2\pi \times 50 \text{Hz} \times 0,25 \mu\text{F} \times 20,7 \text{kV} = 2,82 \text{A} \quad (7)$$

Ilmajohtojen vaikutus lasketaan yhtälöllä 8.

$$I_e = \frac{U \times l}{300} = \frac{20,7 \text{kV} \times 0,401 \text{km}}{300} = 0,03 \text{A} \quad (8)$$

Vähennetään ilmajohtojen vaikutus kaavalla 7 lasketun maasulkuvirran arvosta.

$$I_e = 2,82 \text{A} - 0,03 \text{A} = 2,79 \text{A} \approx 2,8 \text{A}$$

Muuntajan laskennat

Xpowerin laskennasta saadaan MP012 alueen huipputehoksi $P_{\max} = 183 \text{ kW}$. Näennäisteho lasketaan yhtälön 10 avulla.

$$S = \frac{P_{\max}}{\cos \varphi} = \frac{183 \text{ kW}}{0,95} = 193 \text{ kVA} \quad (10)$$

Lasketaan 315 kVA:n muuntajan jännitteenalenema kaavalla 9:

$$\Delta U = \frac{S}{S_N} \times (R_k \cos \varphi + X_k \sin \varphi) = \frac{193 \text{ kVA}}{315 \text{ kVA}} \times ((1,3\% \times 0,95) + (4,2\% \times 0,31)) = 1,6\% \quad (9)$$

Muuntopiirin MP028 alueen huipputeho on $P_{\max} = 131 \text{ kW}$.

$$S = \frac{P_{\max}}{\cos \varphi} = \frac{131 \text{ kW}}{0,95} = 138 \text{ kVA} \quad (10)$$

315 kVA:n muuntajan jännitteenalenemaksi saadaan:

$$\Delta U = \frac{S}{S_N} \times (R_k \cos \varphi + X_k \sin \varphi) = \frac{138 \text{ kVA}}{315 \text{ kVA}} \times ((1,3\% \times 0,95) + (4,2\% \times 0,31)) = 1,1\% \quad (9)$$

MP012 Yksivaiheinen oikosulkuvirta

Pienjänniteverkon yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 11. Laskettaessa oikosulkuvirtaa kauimpana olevalle kuluttajalle, on matkalla käytetty seuraavia kaapeleita: AXMK 185, AXMK 95, AMKA 70, AMKA 35, AMKA 16 ja MCMK 10.

Lasketaan oikosulkuvirta jakokaapille J784:

Muuntamon ja jakokaapin välillä on käytetty 0,160 km AXMK 185 kaapelia

$$I_{k1} = \frac{0,95 \times 3U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + L(2x_v + x_{v0} + 3X_0))^2}}$$

$$= \frac{0,95 \times 3 \times 230V}{\sqrt{(2 \times 0,0065 + 0,007 + 3 \times 0,16(0,181 + 0,181))^2 + (2 \times 0,021 + 0,0220 + 0,16(2 \times 0,082 + 0,082 + 3 \times 0,082))^2}}$$

$$= 2727A$$

Taulukkoon 3 on laskettu loput yksivaiheisen oikosulkuvirran arvot jokaiselle reitin jakokaapille sekä ilmalinjan päässä olevalle viimeiselle kuluttajalle.

Taulukko 3 Yksivaiheisen oikosulkuvirran arvot

	I_{k1} (A)
J784	2727
J785	1909
J786	1566
AX95	1276
AM70	806
AM35	604
AM16	274
MC10	255

MP012 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema lasketaan kaavalla 12. Taulukoissa 4 ja 5 on laskettu valmiiksi kaavaan tarvittavat I_p ja I_q arvot sekä johtojen resistanssien ja reaktanssien arvot koko johtopituudelle. Taulukon 4 tuloksissa $\cos\varphi$:n arvona on käytetty 0,95.

Taulukko 4 Solmupisteiden virroista lasketut pätö- ja loistehot

	I (Xpower)	$I_p =$ $I \cdot \cos\varphi$	$I_q =$ $I \cdot \sin\varphi$
MP012 - J778	186	177	58
J778 - J779	66	63	21
J779 - J336	36	34	11
J336 - 08015	16	15	5

Taulukko 5 Resistanssit ja reaktanssit laskettuna koko johtopituudelle

	Pituus (km)	R_v (Ω /km)	X_v (Ω /km)	R (koko johto)	X (koko johto)
AX185	0,159	0,182	0,082	0,029	0,013
AX185	0,134	0,182	0,082	0,024	0,011
AP240	0,082	0,140	0,060	0,011	0,005
MC10	0,045	1,974	0,11	0,089	0,005

Lasketaan jännitteenalenema välille ensimmäiselle johto-osalle:

$$U_{hv} = \frac{I_p \times R + I_q \times X}{230} \times 100\% = \frac{177A \times 0,029\Omega + 58A \times 0,013\Omega}{230} \times 100\% = 2,55\% \quad (12)$$

Taulukkoon 6 on laskettu loputkin jännitteenalenemat.

Taulukko 6 Jännitteenalenemat johto-osille

	U_{hv} (%)
AX185	2,55
AX185	0,76
AP240	0,19
MC10	0,60
Yhteensä	4,11

MP028 Yksivaiheinen oikosulkuvirta

Pienjänniteverkon yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 11. Muuntajan ja kuluttajan välillä on käytetty seuraavia kaapeleita: AXMK 185, AXMK 25 ja MCMK 10.

Lasketaan oikosulkuvirta jakokaapille J773:

Muuntamon ja jakokaapin välillä on käytetty 0,186 km AXMK 185 kaapelia

$$I_{k1} = \frac{0,95 \times 3U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + L(2x_v + x_{v0} + 3X_0))^2}}$$

$$= \frac{0,95 \times 3 \times 230V}{\sqrt{(2 \times 0,0065 + 0,007 + 3 \times 0,186(0,181 + 0,181))^2 + (2 \times 0,021 + 0,0220 + 0,186(2 \times 0,082 + 0,082 + 3 \times 0,082))^2}}$$

$$= 2727A$$

Taulukkoon 7 on laskettu yksivaiheisen oikosulkuvirran suuruus viimeisellä kuluttajalla, ja reitillä olevilla jakokaapeilla.

Taulukko 7 Yksivaiheisen oikosulkuvirran arvoja

	I_{k1} (A)
J773	2418
J774	1796
J775	1345
MC10	469

MP028 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema lasketaan kaavalla 12. Taulukoissa 8 ja 9 on laskettu valmiiksi kaavaan tarvittavat I_p ja I_q arvot sekä johtojen resistanssien ja reaktanssien arvot koko johtopituudelle. Taulukon 4 tuloksissa $\cos\varphi$:n arvona on käytetty 0,95.

Taulukko 8 Solmupisteiden virroista lasketut pätö- ja loistehot

	I	$I \cdot \cos\varphi$	$I \cdot \sin\varphi$
MP028 - J773	86	82	27
J773 - J774	61	58	19
J774 - AX25	19	18	6
AX25 - 17001	19	18	6

Taulukko 9 Koko johtopituudelle lasketut resistanssit ja reaktanssit

	Pituus (km)	R_v (Ω /km)	X_v (Ω /km)	R (koko johto)	X (koko johto)
AX185	0,186	0,182	0,082	0,034	0,015
AX185	0,077	0,182	0,082	0,014	0,006
AX25	0,072	1,298	0,088	0,093	0,006
MC10	0,033	1,974	0,11	0,065	0,004

$$U_{hv} = 0,034\Omega \times (82A + 58A + 18A + 18A) + 0,014\Omega \times (58A + 18A + 18A) + 0,093\Omega \times (18A + 18A) + 0,065\Omega \times 18A + 0,015\Omega \times (27A + 19A + 6A + 6A) + 0,006\Omega \times (19A + 6A + 6A) + 0,006\Omega \times (6A + 6A) + 0,004\Omega \times 6A = 12,9V$$

$$\Delta U = \frac{100}{230} \times 15,5V = 5,6\% \quad (12)$$

Katuvalaistuksen oikosulkuvirta

Lasketaan yksivaiheinen oikosulkuvirta esimerkiksi alueella MP012 olevan Jokirannankadun päähän:

$$I_{k1} = \frac{0,95 \times 3U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + L(2x_v + x_{v0} + 3X_0))^2}} \quad (11)$$

Lasketaan ensin resistanssien ja reaktanssien arvot kaapelipituuksille. Katuvaloreitin varrella on käytössä seuraavia kaapeleita: 160 m AXMK 185 ja 245 m AXMK 25.

$$\begin{aligned} & L(R_v + R_0)_{AX185} + L(R_v + R_0)_{AX25} \\ &= 0,16km \times (0,181\Omega/km + 0,181\Omega/km) + 0,245km \times (1,298\Omega/km + 1,298\Omega/km) \\ &= 0,693\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & L(2X_v + X_{v0} + 3X_0)_{AX185} + L(2X_v + X_{v0} + 3X_0)_{AX25} \\ &= 0,16km \times (2 \times 0,082\Omega/km + 0,082\Omega/km + 3 \times 0,082\Omega/km) \\ &+ 0,245km \times (2 \times 0,088\Omega/km + 0,088\Omega/km + 3 \times 0,088\Omega/km) \\ &= 0,20808\Omega \end{aligned}$$

$$I_{k1} = \frac{0,95 \times 3 \times 230V}{\sqrt{(2 \times 0,0065\Omega + 0,007\Omega + 3 \times 0,693\Omega)^2 + (2 \times 0,021\Omega + 0,022\Omega + 0,208)^2}} = 309A$$

Taulukkoon 10 on laskettu loput oikosulkuvirran arvot.

Taulukko 10 Katuvalaistuksen oikosulkuvirtojen arvot

	I_k arvot
Jokirannantie	309 A
Kromitie	112 A
Karumaankatu	228 A
Koskelankatu	100 A
Koivuletontie	177 A