

1. a) Millaisia verkkomuotoja ja tähtipisteen maadoitustapoja sovelletaan Suomessa käytössä olevissa eri jännitetason sähkön siirto- ja jakeluverkoissa? (3 p)
  - b) Toimit verkkoyhtiössä suunnittelupäällikkönä ja tehtävänäsi on perustella investointia uuteen sähköasemaan. Luettele, mitä hyötyjä uudesta sähköasemasta voi olla. (3 p)
  - c) Esittele lyhyesti keskijännitelähdön oikosulkusuojauksen toimintavaatimukset (4 p)
  - d) Esittele lyhyesti 1000 V:n sähkönjakelujärjestelmä, sen teknis-taloudelliset käyttökohteet ja hyödyt (5 p)
2. Tarkastellaan kolmivaiheista oikosulkua sekä yksivaiheista maasulkua maasta erotetussa keskijänniteverkossa, joka koostuu neljästä johtolähdöstä. Pääjännite 20 kV. Seuraavassa on annettu tehtävän muut alkuarvot:

Lähtö	Johdinlaji	Pituus
1	avojohto	80 km
2	maakaapeli	14 km
3	maakaapeli	21 km
4	maakaapeli	0,5 km

Impedanssit:

- avojohto:  $r = 0,54 \Omega/\text{km}$ ,  $x = 0,38 \Omega/\text{km}$
- maakaapeli:  $r = 0,18 \Omega/\text{km}$ ,  $x = 0,085 \Omega/\text{km}$
- 110 kV verkon ja päämuuntajan yhteenlasketut 20 kV puolelle redusoidut impedanssiarvot:  $X = 2,2 \Omega$  ja  $R = 0,25 \Omega$

Kapasitanssitiedot [maakapasitanssi/vaihe]

avojohto 6,0 nF/km ja maakaapeli 230,0 nF/km

- a) Lähdöllä 1 sattuu 2-vaiheinen oikosulku 35 km päässä sähköasemalta. Laske vikavirran suuruus. (vikaimpedanssi  $Z_f = 0 \Omega$ ) (3p)
- b) Kuinka syvä jännitekuoppa (jännösjännite prosentteina) näkyy pääjännitteissä sähköasemalla 20 kV kiskossa, jos lähdöllä 2 tapahtuu 3-vaiheinen vika 8 km päässä sähköasemalta? (3p)
- c) Lähdön 1 alussa sattuu yksivaiheinen maasulku. Laske maasulkuvirta ja nollajännite. (Vikaresistanssi  $R_f = 0 \Omega$ ) (3p)



3. Tehtävänäsi on suunnitella uusi pienteollisuusalue. Rakennettavan keskijännitejohdon pituus on 8 km, mitoitus-teho 3,2 MVA ja keskiteho 1,8 MW. Mikä johdin kannattaa valita taloudellisin perustein, kun laskennassa huomioidaan häviöt ja investointikustannukset. Entä miten valinta muuttuu, jos huomioidaan myös keskeytyskustannukset ja jälleenkytkennöistä aiheutuvat kustannukset? (6p)

Vaihtoehtoisia johtimia ovat (nimi, rakentamiskustannus €/km, resistanssi Ω/km):

- 85 mm<sup>2</sup> avojohto (Pigeon, 21750 €/km, 0,337 Ω/km)
- 70 mm<sup>2</sup> päällystetty avojohto (SAX 70, 25780 €/km, 0,493 Ω/km)
- 70 mm<sup>2</sup> maakaapeli (AHXAMK-W 3x70, 32230 €/km, 0,442 Ω/km)

Laskentakorko on 8 %,  $\cos\varphi = 1$ , häviöiden hinta on 80 €/kW, ja laskentajännite johdon loppupäässä on 20 kV. Tehon oletetaan kasvavan 1,5 %/a koko 20 vuoden tarkastelujakson ajan. Vian keskimääräinen korjausaika on 2 h. Kuormituksen keskiteholla laskettava keskeytyskustannusten arvostus pysyvissä vioissa on 2,6 €/kW ja 8,7 €/kWh sekä AJK:ssa 2,5 €/kW ja PJK:ssa 1,5 €/kW. Verkkoyhtiösi keskimääräiset vikataajuudet näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1

	Pysyvät viat [kpl/100 km]	AJK [kpl/100 km]	PJK[kpl/100 km]
Avojohto	4	10	20
PAS	2	5	10
Maakaapeli	1	0	0

Talousmatematiikan kaavoja:

$$\varepsilon = \frac{(1+r/100)^2}{1+p/100}$$

$$\varepsilon = \frac{(1+r/100)}{1+p/100}$$

$$\kappa = \varepsilon \frac{\varepsilon^t - 1}{\varepsilon - 1}$$

$$a = \frac{P/100}{\left[ 1 - \frac{1}{\left( 1 + P/100 \right)^t} \right]}$$