

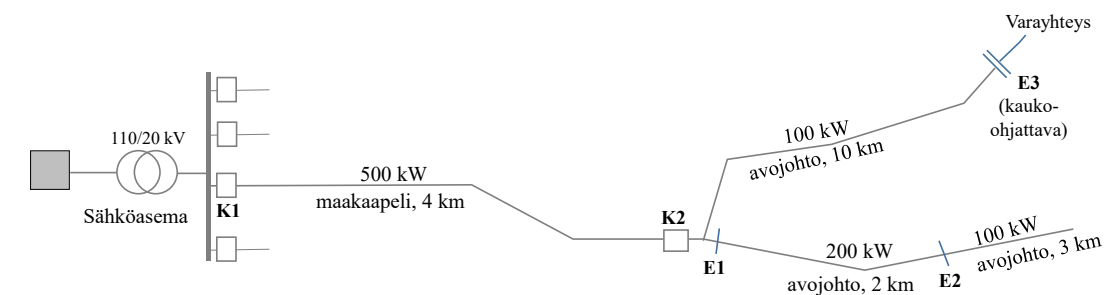
Jukka Lassila ja Juha Haakana

BL20A0500 Sähkönjakelutekniikka

Tentti 5.5.2026

Max 100 p.

1. Esitä perustellut näkemyksesi sähkönjakeluverkkojen kehittämiseen liittyvistä teknisistä ja taloudellisista riskeistä ja niiden hallinnasta erilaisissa toimintaolosuhteissa (20 p)
2. Kuvaile sähkönjakeluverkko-yhtiöiden kj- ja pj-verkoissa tapahtuvien maasulkujen aikaiset ilmiöt ja maasulkusuojauksen tavoitteet ja toteutusperiaatteet (20 p)
3. Kuinka teet yhteismitalliseksi sähkönjakeluverkkojen investointi-, häviö- ja keskeytyskustannukset joltakin aikajaksolta. Mitkä ovat keskeisimmät tuloksiin vaikuttavat parametrit. Tarkastele asiaan parin erilaisen esimerkin avulla. (20 p)
4. Tarkastellaan kuvan 1 mukaista verkkoa. Määritä kuvassa esitettyä johtolähtöä koskien johtolähdön asiakkaiden kokemat vuotuiset a) keskeytysmäärät, b) keskeytysajat ja c) keskeytyskustannukset. Huomioi verkon topologian, rakenteen ja kytkinlaitteiden lisäksi verkkokuvan alla listatut laskentaparametrit. Verkkokuvassa esitetyt tehot ovat keskitehoja. Työkeskeytyksiä ei tarvitse huomioida. (20 p)


Vikataajuudet, avojohto

- Pysyvät viat: 12 kpl/100km,a
- PJK: 20 kpl/100km,a
- AJK: 15 kpl/100km,a

Vikataajuudet, maakaapeli

- Pysyvät viat: 1 kpl/100km,a

Toiminta-ajat

- Käsinohjattava erotin: 60 min
- Kauko-ohjattava erotin: 10 min
- Huom! Katkaisijaa (K) voidaan käyttää myös kauko-ohjatun erottimen tavoin
- Korjausaika, avojohto: 3 h
- Korjausaika, maakaapeli: 12 h

KAH-arvostus

- Pysyvät viat: 1 €/kW ja 10 €/kWh
- PJK: 0.5 €/kW
- AJK: 0.75 €/kW

Kuva 1.

5. Olet valitsemassa sopivaa kaapelipoikkipintaa 20 kV keskijännitemaakaapelille sähköautojen latauskenttäliittymää varten. Siirtomatka sähköasemalta latauskentän 20/0,4 kV jakelumuuntamolle on 3 km. Latauskentälle asennetaan 200 kpl 22 kW latausasemia ja 50 kpl 100 kW latausasemia. Sähköautojen latausta ohjataan älykkäällä kuormanhallinnalla siten, ettei kokonaiskuormitus ylitä missään tilanteessa 6 MW tehoa ($\cos \varphi = 1$). Häviöiden hinta on 50 €/kW,a ja laskentakorko 4 %. Pitoaika on 20 vuotta. Kuormituksen huipunkäyttöaika 4200 h/a ja häviöiden huipunkäyttöaika 1800 h/a.

Käytettävissäsi on seuraavat kaapelivaihtoehdot. Minkä valitset? (20 p)

Kaapeli	r [Ω/km]	Hinta [k€/km]	I_{max} [A]
AHXAMK-W 50	0,76	32	155
AHXAMK-W 95	0,38	40	235
AHXAMK-W 120	0,30	44	265

Yhtälöitä

Sähköverkon kokonaiskustannusten minimointi	$\sum_{t=1}^T [K_{\text{inv}}(t) + K_{\text{käy}}(t) + K_{\text{iesk}}(t) + K_{\text{häv}}(t)]$	Sähkökoneen resistanssi ja reaktanssi	$R_k = r_k \cdot \frac{U^2}{S_n}$ $X_k = x_k \cdot \frac{U^2}{S_n}$
Häviöteho (3-vaihe)	$P_h = 3 \cdot I^2 R$	Jännitteenalenema (vaihetaso)	$U_h = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi$
Kuormitusvirta 3-vaihejärjestelmässä	$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cos \varphi}$		
Keskeytyskustannukset	$C = \sum_{i \in J} f_i [a_i + b_i (t_{ij}) r_{ij}] \Delta P$		
Tulevaisuuden kustannusten nykyarvo, esim. kuormitushäviöille (neliöllinen)	$K_{\text{häv}} = \kappa \cdot K_{\text{häv1}} \quad \kappa = \psi \frac{\psi' - 1}{\psi - 1} \quad \psi = \frac{(1 + r/100)^T}{1 + p/100}$		$\psi = \frac{1 + r/100}{1 + p/100} \quad \psi' = \frac{1}{1 + p/100}$
Suurin sallittu oikosulkuvirta	$I_{kt} = \frac{I_{k1s}}{\sqrt{t}}$	Maasulkuvirta ja nollajännite	$I_{\text{af}} = \frac{3\omega C_o}{\sqrt{1 + (3\omega C_o R_t)^2}} U_v$ $U_o = \frac{1}{\sqrt{1 + (3\omega C_o R_f)^2}} U_v$
Ekvivalenttinen oikosulkuvirta jälleenkytkentöjen yhteydessä	$t_{\text{ekv}} = t_1 \cdot e^{-t_0/\tau} + t_2$		