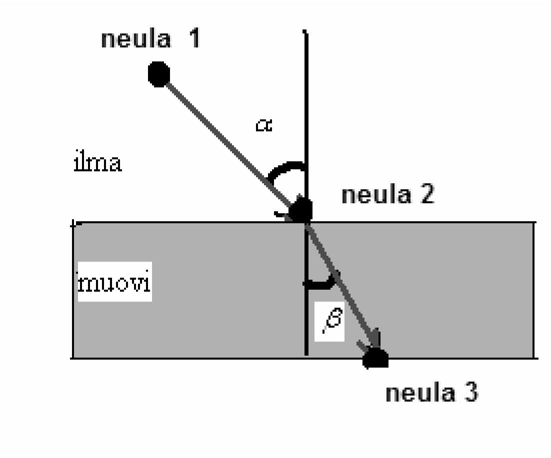
AVOIN SARJA

Kirjoita tekstaten koepaperiin ***oma nimesi, kotiosoitteesi, sähköpostiosoitteesi, opettajasi nimi sekä koulusi nimi.***
Kilpailuaikaa on 100 minuuttia.
Sekä tehtävä- että koepaperit palautetaan kilpailun loputtua.

1. Määritä muovin/lasin taitekerroin. Välineet: 3 nuppineulaa, lasi/muovilevy, pahvia, paperia, geokolmio, viivotin.

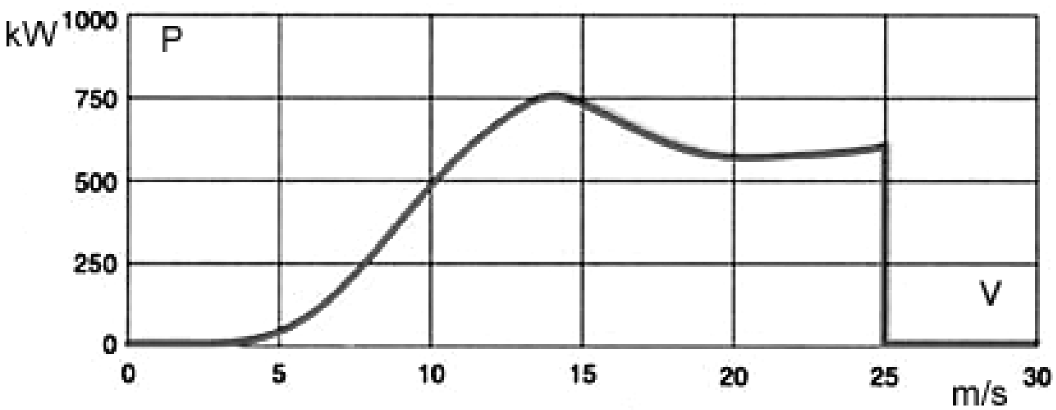
Ratkaisu:
Asetetaan kolme nuppineulaa ”riviin” siten, että kaikki näkyvät yhdellä suoralla katsottaessa muovin/lasin läpi. Piirretään tilanne ”apupaperille” josta mitataan geokolmiolla tulokulma sekä taitekulma.



Taittumislaista lasketaan muovin/ lasin taitekerroin.
menetelmä **2p**
mittaukset **2p**
tulokset **2p**

2. Kuopion Energian Kuivaniemen tuulivoimala sijaitsee Iissä. Sen teknisiä tietoja on koottu alla olevaan taulukkoon. Pienellä 4–7 m/s tuulella roottorin pyörimisnopeus on 15 kierrosta minuutissa ja generaattorin 1000 kierrosta minuutissa. Kun tuuli voimistuu yli 7 m/s, generaattori kytketään irti verkosta. Roottorin pyörimisnopeus alkaa nousta ja sen saavuttaessa nopeuden 22 kierrosta minuutissa, generaattori kytketään verkkoon. Generaattorin pyörimisnopeus on nyt 1500 kierrosta minuutissa. Tuulen nopeuden ylittäessä 25 m/s, generaattori kytketään irti verkosta ja roottori pysäytetään turvallisuussyistä jarrujärjestelmällä.

päällekytkentänopeus	4 m/s
poiskytkentänopeus	25 m/s
roottorin halkaisija	48,2 m
lapoja	3 kpl
pyörimisnopeus	22 tai 15 1/min
generaattorin nimellisjännite	690 V
tornin napakorkeus	50 m



Tuulivoimalan tehokäyrä.

Määritä sopivien tietojen avulla, kuinka suuren osan roottorin lapojen muodostaman ympyrän läpi kulkevan ilman liike-energiasta tuulivoimala muuttaa sähköenergiaksi, kun yksikkö tuottaa suurimmalla teholla sähköenergiaa. Arvioi näin saadun teoreettisen hyötysuhteen mielekkyyttä.

Ratkaisu:

Oletetaan, että tuulivoimalan roottorit saavat pyörimiseen kaiken niiden läpi kulkevan tuulen energian. Tällöin roottorit saavat energian

$$W_{roottori} = -W_{ilma} = -\frac{m\left(v_2^2 - v_1^2\right)}{2} = \frac{\rho V v_1^2}{2} = \frac{\rho A h v_1^2}{2} = \frac{\rho A t v_1 v_1^2}{2} = \frac{\rho \pi r^2 t v_1^3}{2}$$

, missä *h* on ilmapatsaan ajassa *t* kulkema matka. **2p**

Tuulivoimalan nimellisteho 750 kW saavutetaan tuulen nopeudella 14 m/s. **1p**

Tällöin

$$\eta = \frac{P_{anto}}{P_{otto}} = \frac{P_{anto}}{W_{ilma}/t} = \frac{P_{anto}}{\rho \pi r^2 v_1^3/2} = \frac{750\,\mathrm{kW}}{1{,}29\,\mathrm{kg/m^3} \cdot \pi \cdot 24{,}1^2\,\mathrm{m^2} \cdot (14\,\mathrm{m/s})^3/2} = \frac{750\,\mathrm{kW}}{3229\,\mathrm{kW}} = 0{,}232 \approx 0{,}23$$ **2p**

Näin saatu hyötysuhde on liian pieni, koska ratkaisussa oletettiin, että tuulen loppunopeus on nolla. Tuulen pyörteinen liike aiheuttaa sen, että ratkaisussa esitetty malli ei kuvaa todellista tilannetta.

1p

3. Voimalaitos polttaa rikkipitoista ruskohiiltä. Voimalan sähköteho on 560 MW. Vesi lämpenee voimalaitoksen kattilassa 750 °C lämpötilaan ja lauhtuu turbiiniin jälkeen 30 °C lämpötilaan. Hiilen polttoarvo on 20 MJ/kg ja rikkipitoisuus 5%.
   a) Mikä on voimalan ideaalinen terminen hyötysuhde?
   b) Voimalaitosta käytetään 200 vuorokautta vuodessa. Mikä on vuotuinen SO_2- päästö, mikäli rikkiä ei poisteta savukaasuista? Oletetaan, että laitos toimii ideaalisella hyötysuhteella.

Ratkaisu:
a) Voimalaitoksen ideaalinen hyötysuhde saadaan Carnot'n koneen yhtälöstä.

$$\eta_{\text{teor}} = \frac{T_i - T_f}{T_i} = \frac{1023\,\text{K} - 373\,\text{K}}{1023\,\text{K}} = 0,7038 \approx 0,70$$

Pisteytys: yhtälö **1p**
ratkaisu **1p**

b) Merkitään:
Voimalaitoksen sähköteho P_{el} = 560 MW
Käyttöaika vuodessa Δt = 200 d
Hiilen paloarvo L = 20 MJ/kg
Rikkipitoisuus x = 5 %
Rikin moolimassa M(S) = $32,065 \cdot 10^{-3}$ kg/mol
Rikkidioksidin moolimassa $M(SO_2) = (32,065 + 2 \cdot 16) \cdot 10^{-3}$ kg/mol $= 64,07 \cdot 10^{-3}$ kg/mol

Sen lämpöteho saadaan yhtälöstä

$$P_{\text{term}} = \frac{P_{\text{el}}}{\eta} = 795,68\,\text{MW}$$ **1p**

Voimalaitos tuottaa vuodessa lämpötehon

$$W_{\text{term}} = \Delta t P_{\text{term}} = 200 \cdot 24 \cdot 3600\,\text{s} \cdot 795,68 \cdot 10^{6}\,\text{W} = 13,7 \cdot 10^{15}\,\text{J}$$ **1p**

Tämän energian tuottamiseksi on poltettava kivihiiltä

$$m_{\text{hiili}} = \frac{W_{\text{term}}}{L} = \frac{13,7 \cdot 10^{15}\,\text{J}}{20 \cdot 10^{6}\,\text{J/kg}} = 6,87 \cdot 10^{8}\,\text{kg}\,,$$ **1p**

jossa on rikkiä

$$m_{\text{S}} = x m_{\text{hiili}} = 0,05 \cdot 6,87 \cdot 10^{8}\,\text{kg} = 3,44 \cdot 10^{7}\,\text{kg}$$

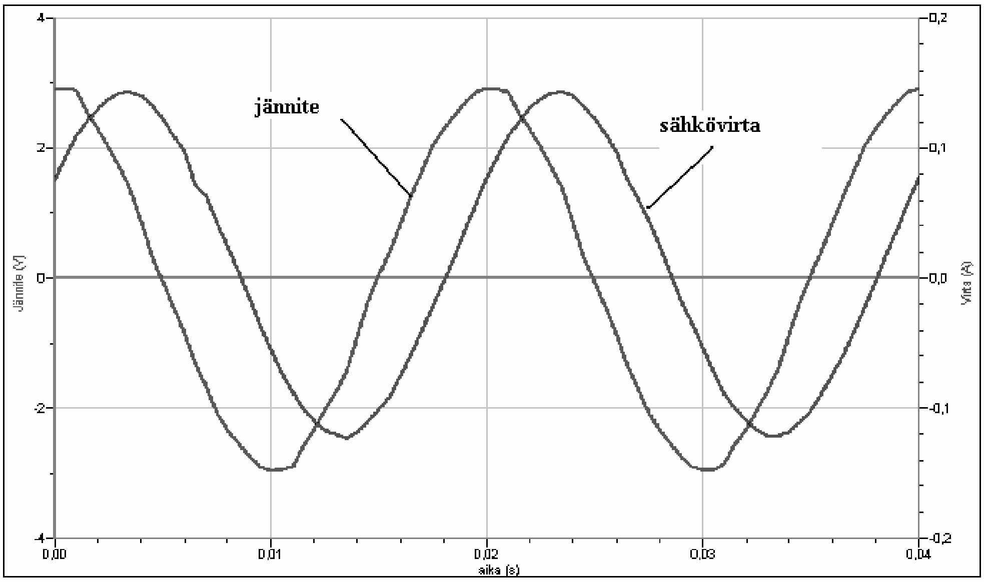
Tämän seurauksena tapahtuu vuodessa SO_2-päästö

$$m_{\text{SO}_2} = n_{\text{SO}_2} \cdot M_{\text{SO}_2} = n_{\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2} = \frac{m_{\text{S}} \cdot M_{\text{SO}_2}}{M_{\text{S}}} = \frac{3,44 \cdot 10^{7}\,\text{kg} \cdot 64,07 \cdot 10^{-3}\,\text{kg/mol}}{32,065 \cdot 10^{-3}\,\text{kg/mol}} = 6,87 \cdot 10^{7}\text{kg} \approx 70 \cdot 10^{6}\,\text{kg}$$

1p

Koska lämpöarvon arvo on taulukkokirjassa annettu vain yhdellä merkitsevällä numerolla, annetaan vastauskin vain yhdellä merkitsevällä numerolla.

4. Oheisessa kuvassa on mitattu erään tuntemattoman komponentin napojen välinen jännite ja sähkövirta komponentissa tietokoneavusteisesti.



a) Mikä komponentti on kyseessä? Perustele.
b) Määritä komponentin impedanssi sekä komponentin kuluttama teho.

Ratkaisu:

a) Komponenttina on käämi. Käämissä tapahtuvan itseinduktion takia sähkövirta on jäljessä jännitettä.

b) Käämin impedanssi saadaan kuvaajasta jännitteen ja sähkövirran huippuarvojen avulla:

$$Z = \frac{U_0}{I_0} = \frac{2{,}9\text{V}}{0{,}14\text{A}} \approx \underline{\underline{21\Omega}}.$$

Tehoa varten tarvitaan myös jännitteen ja sähkövirran välinen vaihe-ero. Jaksonaika T on kuvaajasta katsottuna 0,020 s. Jännite saavuttaa esim. maksimiarvonsa ajanhetkellä 0,020 s ja sähkövirta tämän jälkeen noin hetkellä 0,024 s. Ajallinen ero on siis Δt=0,024s-0,020s=0,004 s. Tästä saadaan vaihe-eroksi $\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ = \frac{0{,}004\text{s}}{0{,}020\text{s}} \cdot 360^\circ = 72^\circ$. Edelleen tehoksi saadaan

$$P = U_{eff} I_{eff} \cos\varphi = \tfrac{1}{2} U_0 I_0 \cos\varphi = \tfrac{1}{2} \cdot 2{,}9\text{V} \cdot 0{,}14\text{A} \cdot \cos 72^\circ \approx 0{,}062730\text{W} \approx \underline{\underline{63\text{mW}}}.$$

pisteytys:
a) komponentin tunnistus **1p**
perustelu **1p**
b) impedanssi **1p**
vaihe-ero **1p**
teho **2p**

Jos teho on laskettu ilman vaihe-eroa, tehosta vain 1p. Jos teho on laskettu virheellisellä vaihe-erolla, tehosta 2p mutta vaihe-erosta 0p.

5. Moukarinheittäjän suoritusta seurattiin videolta, joka oli kuvattu suoraan heittoringin yläpuolelta. Moukaripallon rata oli vauhdinoton eräässä vaiheessa likipitäen ympyrä, jonka säde oli 2,1 metriä. Kierrokseen kului aikaa 0,81 sekuntia. Mikä on moukarin teräsvarren halkaisijan vähintään oltava, jotta varsi ei katkeaisi? Miesten moukaripallon massaksi on lajin säännöissä ilmoitettu 7,26 kg. Teräksen murtolujuus (maksimaalinen langan jännitys) $\sigma_M = 5,0 \cdot 10^8\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$.

   Arvioi saamaasi tulosta.

Ratkaisu

Voimakuvio **1p**

Koska moukaripallo on ympyräliikkeessä, siihen vaikuttaa keskeisvoima $F_N = ma_N = \frac{mv^2}{r}$.

Sijoitetaan ratavauhti $v = \frac{2\pi r}{T}$, jolloin $F_N = \frac{m(2\pi r)^2}{rT^2} = \frac{4m\pi^2 r}{T^2}$.

Maksimaalinen jännitys $\sigma_M = \frac{F_M}{A}$, jossa F_M on suurin voima, jonka teräsvarsi kestää murtumatta ja A on varren poikkipinta-ala.

Murtumisen rajalla $F_N = F_M$, sijoitettuna $\frac{4m\pi^2 r}{T^2} = \sigma_M A$, josta poikkipinta-ala $A = \frac{4m\pi^2 r}{\sigma_M T^2}$. **2p**

Varren poikkipinta-ala $A = \pi R^2$, jossa R on varren säde.

Varren halkaisijaksi saadaan $D = 2R = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{4m\pi^2 r}{\pi \sigma_M T^2}} = \frac{4}{T}\sqrt{\frac{\pi m r}{\sigma_M}}$. **1p**

Lukuarvot sijoitettuina $D = \frac{4}{T}\sqrt{\frac{\pi m r}{\sigma_M}} = \frac{4}{0,81\,\mathrm{s}}\sqrt{\frac{\pi \cdot 7,26\,\mathrm{kg} \cdot 2,1\,\mathrm{m}}{5,0 \cdot 10^8\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}}} \approx 1,5\,\mathrm{mm}$. **1p**

Todellinen moukarin varsi on tätä huomattavasti paksumpi. Vauhdinoton loppuvaiheessa heittäjä kiskaisee voimakkaasti vauhtia moukaripallolle, jolloin varren jännitysvoima on paljon suurempi kuin tasaisen ympyräliikkeen vaiheessa. Myös varmuusvaraa on oltava. **1p**