

SMG-4500 Tuulivoima
Tentti 17. maaliskuuta 2009

Teemu Rovio ja Jorma Lehtonen

**Laskimen, laskutikun, puutarhatontun tms. käyttö sallittu
EI tietokoneita EIKÄ kirjallisuutta**

Huom! Tehtävät 1-3 yhdelle konseptille, tehtävät 4 ja 5 toiselle.

- Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin? Perustele!
 - Föhn-tuuli on kylmää, koska nouseva ilma jäähtyy adiabaattisesti ja menettää kosteutta.
 - Suoravetoiset generaattorit ovat suositumpia merellä, koska ne ovat kevyempiä, mikä alentaa perustuskustannuksia.
 - Vakiotehokertoimella toimivan, sakkaussäätöisen turbiinin momentti on verrannollinen tuulennopeuden neliöön.
- Tee lyhyesti selkoa alla olevista asioista.
 - Savonius-turbiini
 - Betzin laki
 - Kuppianometri
- Merituulivoimalan nimellistoimintapiste on {5 MW, 15 m/s}. Kuinka kauas se näkyy? (Ilman tiheys on 1.28 kg/m^3 .)
- Miten tuulivoima voi:
 - hidastaa ilmastonmuutosta
 - voimistaa ilmastonmuutosta?
- Kuvaile tuulivoiman vaikutuksia sähköverkon kannalta verkon eri jännitetasoilla?



Huomioitavia juttuja:

- Kirjoittakaa jokaiseen konseptiin nimenne ja opiskelijanumeronne.
- Palauttakaa tehtävät 1, 2 ja 3 yhdellä konseptilla, ja palauttakaa vastaavasti tehtävät 4, 5 ja 6 yhdellä konseptilla.
- Tehtävät 1, 2 ja 3 koskevat aurinkosähköä ja tehtävät 4, 5 ja 6 tuulivoimaa.

1. Vastaa lyhyesti mutta perustellusti seuraaviin kysymyksiin. (2 p./kohta)

(a)

Mikä on tyhjennysalueen rakenne ja tehtävä piistä valmistetussa aurinkokennossa?

(b)

Mikä yhteys energia-aukon suuruudella ja sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudella on puolijohteesta valmistetun aurinkokennon toiminnan kannalta?

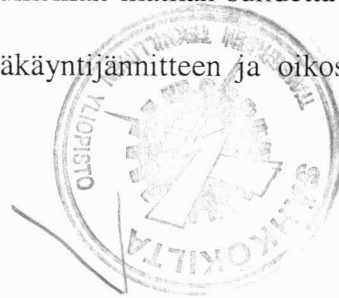
(c)

Mikä on oleellinen ero vapaiden varauksenkuljettajien syntymekanismissa perinteisten puolijohdeaurinkokennojen ja väriaineaurinkokennojen välillä?

2. Miten ja miksi säteilytehotiheyden ja kennon lämpötilan muutokset vaikuttavat piistä valmistetun aurinkokennon oikosulkuvirtaan ja tyhjäkäyntijännitteeseen? (6 p.)

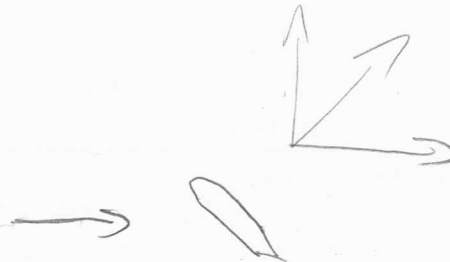
3. Ovatko seuraavat väittämät totta (T) vai epätotta (E)? Oikeasta vastauksesta palkitaan yhdellä pluspisteellä, väärästä vastauksesta rangaistaan yhdellä miinuspisteellä. Vastaamatta jättäminen tuottaa nolla pistettä.

- a) Aurinkovakio tarkoittaa auringon säteilytehotiheyttä (W/m^2) maan kiertoradalla.
- b) Monikiteinen pii koostuu rakeista. Yhden rakeen sisällä on yhdenmukainen kiderakenne.
- c) Piistä valmistetun aurinkokennon tyhjäkäyntijännite ei riipu lämpötilasta.
- d) Aurinkosähköä käytetään paljon hajautetussa energiantuotannossa esimerkiksi Saksassa. Suomessa aurinkosähkön hyödyntäminen kaatuu erityisesti säteilytehotiheysolosuhteisiin, mikä tarkoittaa sitä, että Saksassa on aurinkoenergiaa paljon enemmän tarjolla kuin Suomessa.
- e) Ilmamassa tarkoittaa auringonsäteilyn ilmakehässä kulkeman matkan suhdetta ilmakehän paksuuteen.
- f) Aurinkokennon maksimiteho voidaan ilmoittaa tyhjäkäyntijännitteen ja oikosulkuvirran avulla, kun tiedetään aurinkokennon täyterroin.



KÄÄNNÄ!

SMG-4300 Aurinkosähkö ja tuulivoima
Tentti 17. maaliskuuta 2008



Vastaukset kysymyksiin 1–3 ja 4–6 eri konsepteille!

Teemu Rovio

4. Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin? Perustele!

- Tuulivoimalan elinkaarianalyysi paljastaa, ettei tuulivoimasta koidu lainkaan hiilidioksidipäästöjä ilmakehään.
- Aerodynaaminen voima koostuu nosteesta, joka on tuulennopeudelle kohtisuora, ja vastuksesta, joka on tuulennopeuden suuntainen.
- Tuulivoimalan turbiinin momentti on verrannollinen turbiinin halkaisijan kolmannen potenssiin.

5.

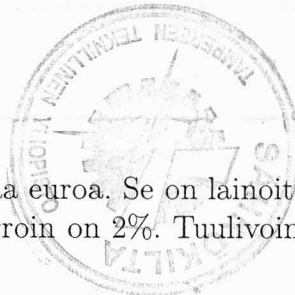
- Miksi tuuliturbiinia täytyy säätää?
- Selitä lyhyesti, mitä merkitsee *sakkaus*.
- Miten tuuliturbiinin sakkaussäätö toimii?

6. Tuulivoimalan investointikustannukset ovat 3 miljoonaa euroa. Se on lainoitettu viiden prosentin korolla 20 vuodeksi. Käyttökustannuskerroin on 2%. Tuulivoimala tuottaa vuodessa 7227 MWh sähköenergiaa.

- Mikä on sähkön tuottajahinta?
- Montako prosenttia sähkön tuottajahinta laskee, jos sähköntuotanto kasvaa kymmenen prosenttia?
- Montako prosenttia (a-kohdan) sähkön tuottajahinta nousee, jos käyttökustannukset nousevat kymmenen prosenttia?
- Mikä täytyy tuuliturbiinin halkaisijan vähintään olla, jotta se pystyy tuottamaan tuulennopeudella 12 m/s 3 MW tehoa?

Apu: Älä sotke prosenttia prosenttiyksikköön.

Ilman tiheys on 1.28 kg/m^3 .



Huomioitavia juttuja:

- Kirjoittakaa jokaiseen konseptiin nimenne ja opiskelijanumeronne.
 - Palauttakaa tehtävät 1, 2 ja 3 samalla konseptilla.
 - Palauttakaa tehtävät 4, 5 ja 6 samalla konseptilla, joka on kuitenkin eri konsepti kuin se, jolla tehtävät 1, 2 ja 3 sijaitsevat.
 - Tehtävät 1, 2 ja 3 koskevat aurinkosähköä ja tehtävät 4, 5 ja 6 tuulivoimaa.
1. Selitä lyhyesti seuraavat aurinkosähköön liittyvät käsitteet. (1 p./kohta)
- (a) aurinkovakio (b) ilmassa (c) aurinkokennon täytekerroin
(d) fosforidifфуusio (e) CZ-menetelmä (f) tyhjennysalue

2. Kurssimateriaalina käytettävän Jukka Kitusen diplomityön toisen luvun alussa on seuraava teksti:

"Kaikkien puolijohdetekniikkaan perustuvien aurinkokennojen toiminnan taustalla on valosähköinen ilmiö, joka on pohjimmiltaan valon fotonien ja aineen elektronien välistä vuorovaikutusta. Erittäin yksinkertaistetusti selitettynä osa aurinkokennoon osuvien fotonien energiasta siirtyy kennomateriaalin elektroneille ja kennon rakenteen ansiosta tämä energia saadaan hyödynnettyä sähkövirtana ja jännitteenä."

(a)

Miten valon fotonien ja aineen elektronien välinen vuorovaikutus selitetään kiteisessä piissä elektronin energiavyömallien avulla? Yritä lisäksi omin sanoin kertoa, mitä luonnonilmiötä energiavyömalleilla tässä yhteydessä mallinnetaan. Eli mitä kiteisessä piissä oikeasti tapahtuu, kun se altistetaan valolle? (2 p.)

(b)

Mikä on se "kennon rakenne", jota oheisessa lainauksessa tarkoitetaan, ja miten tämä rakenne vaikuttaa elektroneihin kiteisestä piistä valmistetussa aurinkokennossa? Yritä siis selittää mahdollisimman ymmärrettävästi, miksi ja mihin suuntaan elektronit liikkuvat valolle altistetussa aurinkokennossa. (2 p.)

(c)

Piistä valmistetun aurinkokennon oikosulkuvirta ei riipu merkittävästi kennon lämpötilasta. Lievä riippuvuus oikosulkuvirralla ja lämpötilalla kuitenkin on. Selitä, miten ja miksi piiaurinkokennon oikosulkuvirta muuttuu, kun kennon lämpötila kasvaa. (2 p.)

3. (a)

Mitä aurinkokennon hyötysuhde tarkoittaa, ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat? (3 p.)

(b)

Selitä pääpiirteittäin nykykäsitys väriaineaurinkokennojen toimintaperiaatteesta. Selvitä myös kennon rakennetta siinä määrin, mitä toimintaperiaatteen ymmärtäminen vaatii. Pyri vastaamaan siten, että toimintaperiaate selviää vastauksestasi asiaa tuntemattomalle. (3 p.)



KÄÄNNÄ!

SMG-4300 Aurinkosähkö ja tuulivoima
Tentti 28. tammikuuta 2008

Vastaukset kysymyksiin 1–3 ja 4–6 eri konsepteille!

Teemu Rovio

4. Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin? Perustele!

- a) Maa-merituuli puhaltaa päivällä mereltä maalle.
- b) Suoravetoiset generaattorit ovat suositumpia merellä, koska ne ovat kevyempiä, mikä alentaa perustuskustannuksia.
- c) Vakiotehokertoimella toimivan, sakkaussäätöisen turbiinin momentti on verrannollinen tuulennopeuden neliöön.

5. Tee lyhyesti selkoa alla olevista asioista.

- a) Savonius-roottori
- b) Sakkaus
- c) Kuumalanka-anturi

6.

a) Vuonna 2005 ”Meri-Pori 9” -tuulivoimalayksikkö tuotti 7035 MWh sähköenergiaa. Kyseisen tuulivoimalan nimikilpiteho on 2 MW. Arvioi tämän voimalan tuottaman tuulisähkön tuottajahintaa parhaasi mukaan.

b) Tuulen nopeus on 12 m/s. Turbiinin teho on 3 MW. Kuinka korkea tornin pitää vähintään olla?

Ilman tiheys on 1.28 kg/m^3 .



Huomioitavia juttuja:

- Kirjoittakaa jokaiseen konseptiin nimenne ja opiskelijanumeronne.
- Palauttakaa tehtävät 1, 2 ja 3 samalla konseptilla.
- Palauttakaa tehtävät 4, 5 ja 6 samalla konseptilla, joka on kuitenkin eri konsepti kuin se, jolla tehtävät 1, 2 ja 3 sijaitsevat.
- Tehtävät 1, 2 ja 3 koskevat aurinkosähköä ja tehtävät 4, 5 ja 6 tuulivoimaa.

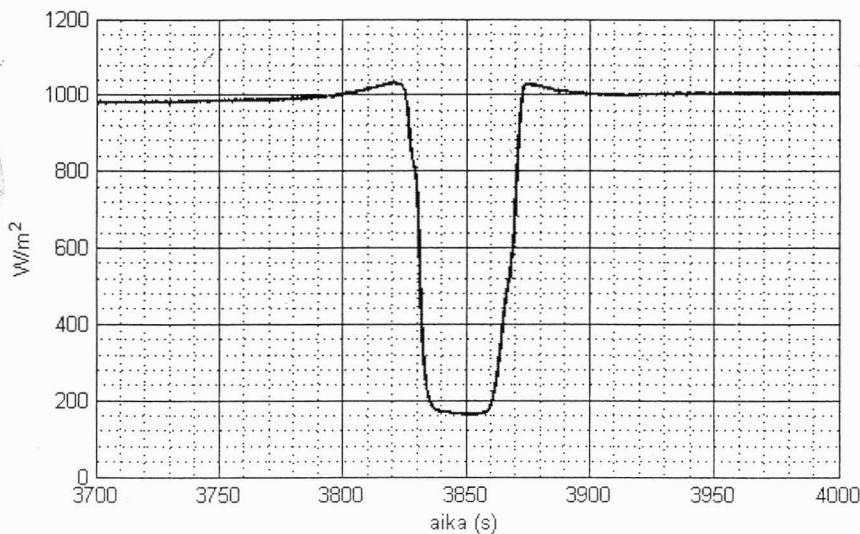
- Selitä lyhyesti seuraavat käsitteet. (1 p/kohta)
(a) aurinkovakio (b) ilmamassa (c) aurinkokennon täytekerroin
(d) aurinkokennon hyötysuhde (e) CZ-menetelmä (f) aurinkolammikko
- Piistä valmistetun aurinkokennon toimintaperiaate. Pyri selittämään mahdollisimman yksityiskohtaisesti, miksi ja miten auringon säteilyenergia muuttuu aurinkokennossa sähköenergiaksi.
- Tarkastellaan 36 piiaurinkokennon sarjaankytkennästä koostuvaa aurinkopaneelia, jonka virta (I) – jännite (V) –käyrä noudattaa lauseketta

$$I = I_{sc} \left[1 - \left(\frac{V}{V_{oc}} \right)^{10} \right],$$

jossa I_{sc} ja V_{oc} ovat paneelin oikosulkuvirta ja tyhjäkäyntijännite. Kun paneelin kennojen lämpötila on 47°C ja säteilyteho on 1000 W/m^2 , oikosulkuvirta ja tyhjäkäyntijännite ovat:

$$I_{sc} = 8.0 \text{ A ja } V_{oc} = 21.7 \text{ V.}$$

Oheinen kuva esittää auringon säteilytehotiheyttä ajan funktiona. Kun tarkastellaan tilannetta ajanhetkellä 3800 s, säteilytehotiheys on noin 1000 W/m^2 . Tällöin paneelin kennojen lämpötila on 47°C . Tämän jälkeen aurinko menee noin minuutiksi pilveen, mikä näkyy säteilytehotiheyden hetkellisenä pienenemisenä oheisessa kuvassa. Laske paneelista saatava maksimiteho ajanhetkellä 3850 s, kun oletetaan, että paneelin kennojen lämpötila on kyseiseen ajanhetkeen mennessä laskenut arvoon 42°C . Voit olettaa, ettei paneelin tyhjäkäyntijännite riipu säteilytehotiheydestä, eikä paneelin oikosulkuvirta riipu lämpötilasta.



KÄÄNNÄ!

SMG-4300 Aurinkosähkö ja tuulivoima
Tentti 1. helmikuuta 2007

Vastaukset kysymyksiin 1–3 ja 4–6 eri konsepteille!
Teemu Rovio

4. Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin? Perustele!

- a) Pienessä tuulivoimalassa tuotettu sähkö on halvempaa, koska pieni voimala maksaa vähemmän.
- b) Vakiotehokertoimella toimivan, sakkaussäätöisen turbiinin momentti on verrannollinen tuulenoisuuden neliöön.
- c) Pelkästä keskituulenoisuudesta ei pysty päättämään tuulivoimalan vuosituotantoa.

5. Tee lyhyesti selkoa seuraavista käsitteistä:

- a) kuumalanka-anturi
- b) liukurengaskone
- c) lapakulmasäätö

6.

- a) Yhden megawatin voimalan lainanhoitokustannukset ovat 72 000 euroa vuodessa ja käyttökustannukset 20 000 euroa vuodessa. Sähkön myyntihinta on 40 euroa megawattitunnilta. Kuinka suuri voimalan kapasiteettikertoimen pitää vähintään olla, jotta se tuottaisi voittoa?
- b) Mikä täytyy tuuliturbiinin halkaisijan vähintään olla, jotta se pystyy tuottamaan tuulenoisuudella 10 m/s 300 W tehoa?

Ilman tiheys on 1.2 kg/m^3 .

Jouni Aaltonen