



Aalto University
School of Electrical
Engineering

Energiantuotannon ympäristövaikutukset ja vihreä sähkö

ELEC-C6001 Sähköenergiatekniikka

Kertausluento, kevät 2023

Sisältö

- Tämän osuuden tekstiosuudessa on kohtuu paljon tilastotietoa, joiden tarkkaa sisältöä ei ymmärrettävästikään tarvitse osata välikokeessa eikä tentissä
- Aurinkoenergia
- Tuulivoima
- Hydrokineettiset järjestelmät
- Geoterminen energia
- Biomassa
- Polttokennot
- Epäsäännöllinen energian tuotto ja tarve energiavarastoille

Aurinkoenergia

- Tunnin aikana maapallon pinnalle tulee auringon säteilyenergiaa enemmän kuin koko ihmiskunta kuluttaa energiaa vuodessa
- Aurinkokennon toiminta perustuu puolijohteisiin ja erityisesti pn-rajapintaan
- Elektroniikassa vastaava komponentti on diodi, joka johtaa virtaa vain yhteen suuntaan

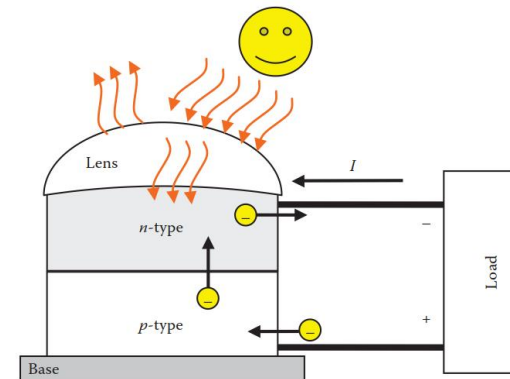


Figure 6.10 Concentrating PV cell.

Aurinkokenno on virtalähde, jonka jännite on rajoittunut diodin päästöjännitteen suuruiseksi

- Aurinkokenno voidaan mallintaa virtalähteenä I_s ja sen rinnalle kytketyllä diodilla, jolloin kennon virta kuormaan on $I = I_s - I_d$
- Yhden aurinkokennon jännite on sama kuin diodin päästöjännite eli varsin matala, noin 0,6-0,7 V

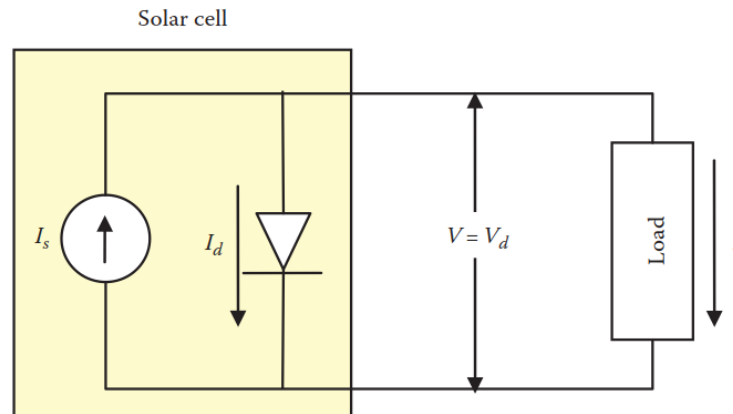


Figure 6.15 Modeling of ideal cell with current source.

Maksimitehon piste, maximum power point, MPP

- Teho saadaan kertomalla jännite ja virta
- Teholla on maksimipiste ja kennoa pitäisi käyttää tässä pisteessä, jotta auringon säteilystä saataisiin maksimi hyöty

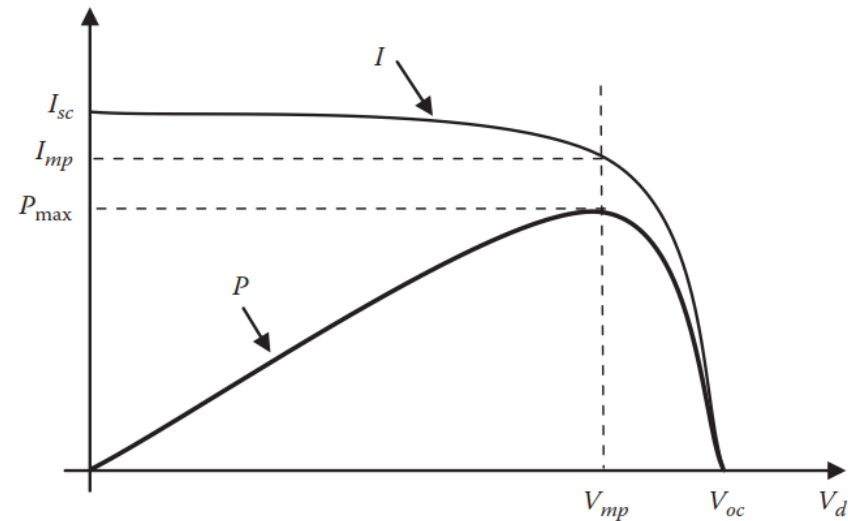
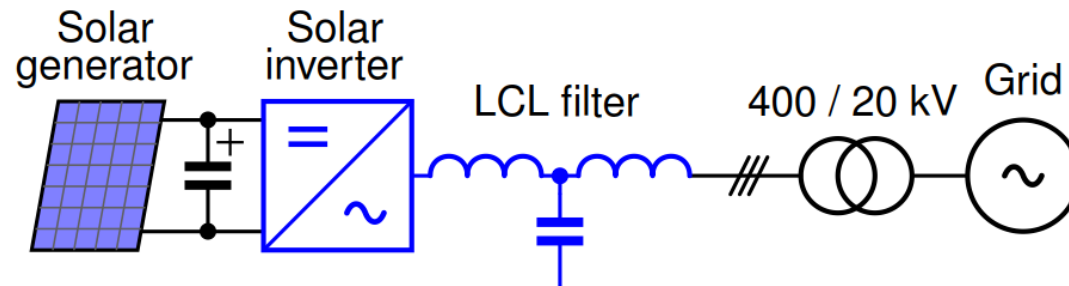


Figure 6.17 Current–voltage and power–voltage characteristics of PV cell.

Sähköverkkoon liitetyt aurinkosähköjärjestelmät

- Aurinkopaneelit tuottavat tasajännitteen
- DC-kiskoston jännite nostetaan suhteellisen korkeaksi, jotta verkkoon liityntä onnistuu, tyypillisesti 600-850 VDC
- Kennoja kytketään sarjaan ja lisäksi voidaan käyttää dc-dc-katkoja jännitteen nostoon ja lisäksi niillä voidaan toteuttaa maksimitehopisteen seuranta
- Tehoelektroniikka käsitellään lisää kurssin loppuosassa





Aalto University
School of Electrical
Engineering

Tuulienergia

Määritelmiä

- **Tuotanto roottorin pyyhkäisyypinta-alaa kohti (kWh/m²):**
 - Tuotanto roottorin pyyhkäisyypinta-alaa kohden kertoo, kuinka paljon energiaa on tuotettu roottorin pinta-alaan nähden.
 - Nyrkkisääntönä on, että voimala on tuottanut hyvin, mikäli vuosituotannosta laskettu luku on yli 1000k Wh/m².
- **Huipunkäyttöaika th (h):**
 - Tuulivoimaloiden energiantuotanto vaihtelee välillä 0 % - 100 % nimellistehosta.
 - Th kuvaa sen ajan pituutta, joka kuluisi vuodessa tuotetun energian tuottamiseen, mikäli tuulivoimala toimisi koko ajan nimellistehollaan
 - Esimerkiksi 2500 tunnin huipunkäyttöaika sitä että laitos on tuottanut vuoden aikana energiamäärän, jonka laitos tuottaisi toimiessaan nimellistehollaan 2500 tuntia
 - Mikäli tuulivoimalan vuotuinen huipunkäyttöaika on yli 2400 tuntia, on laitos tuottanut hyvin.
- **Kapasiteettikerroin CF:**
 - Kapasiteettikerroin CF kertoo huipunkäyttöajan suhteessa vuoden tunteihin ja se kuvaa siten oleellisesti samaa asiaa kuin huipunkäyttöaika
 - Kapasiteettikerroin on käytössä erityisesti englanninkielisessä kirjallisuudessa

Tuulen liike-energia ja teho

- Tulivoimalan tavoite on siirtää mahdollisimman suuri osa ilman liike-energiasta pyörittämään voimalan lapoja ja generaattoria ja sen avulla sähköksi

- Tuulen liike-energia

$$KE = \frac{1}{2}mw^2$$

$$KE = \frac{1}{2}A\delta tw^3$$

- m , massa
- w , nopeus m/s
- δ , ilman tiheys kg/m³
- t , aika

- Teho

$$P_{wind} = \frac{KE}{t} = \frac{1}{2}A\delta w^3$$

Tuuliturbiini

Wind Turbine

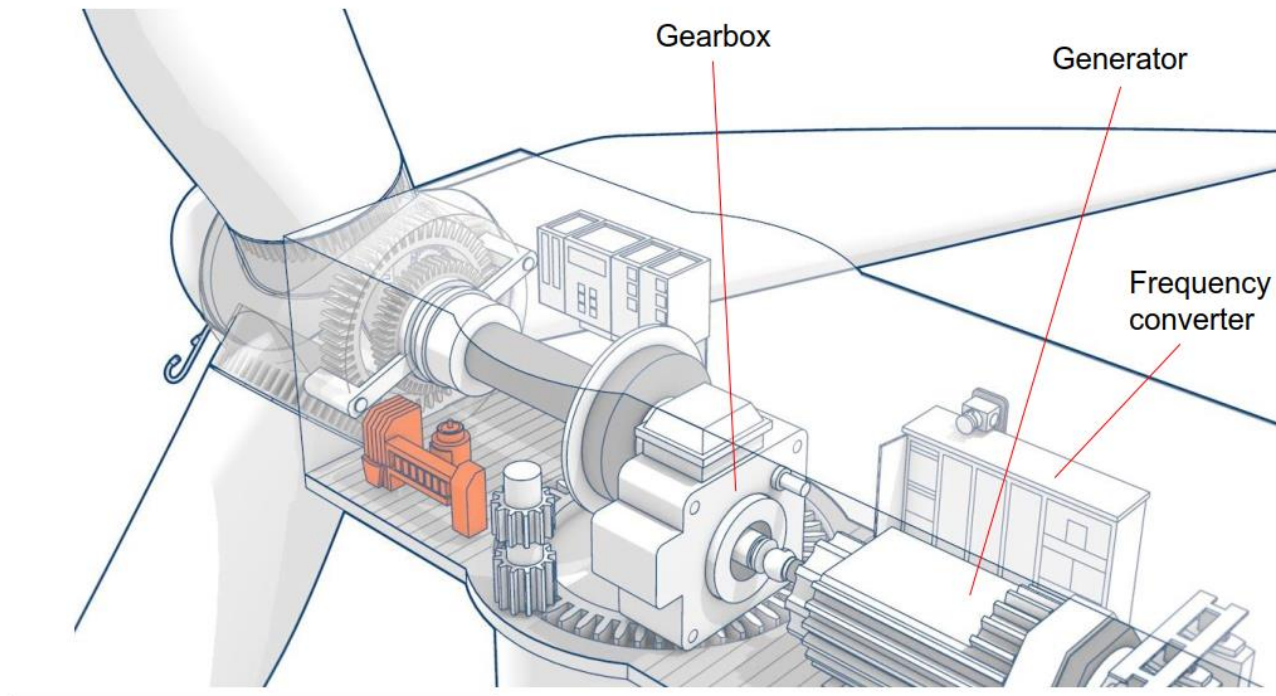


Figure: ABB (modified)

Lähtöteho pyörimisnopeuden funktiona

- Alkunopeus (cut-in speed) w_{\min}
- Nopeuden w_B jälkeen turbiinin tehoa on rajoitettava säätämällä lapakulmaa, jotta turbiini nimellisteho ei ylitä

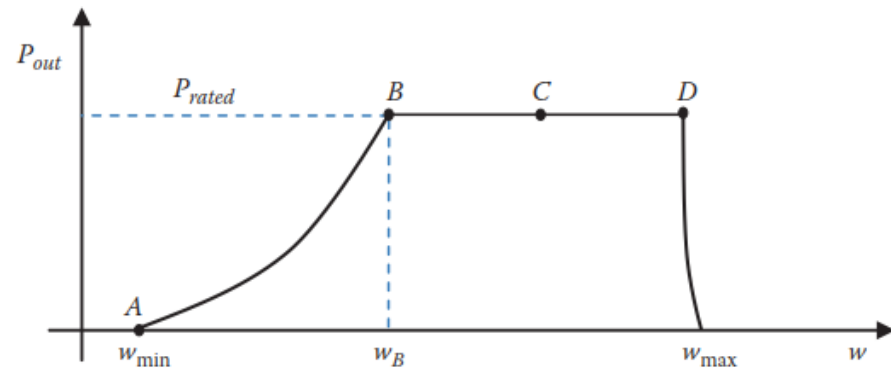


Figure 6.50 Output power of wind turbine.

Kärkinopeus ja nopeussuhde

Tip speed ratio, TSR

$$v_{tip} = \omega r = 2\pi \frac{n}{60} r$$

$$TSR = \frac{v_{tip}}{w}$$

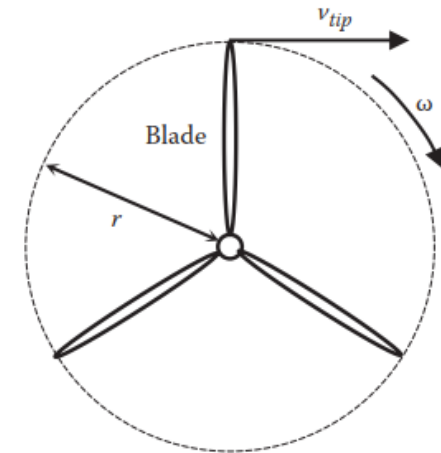


Figure 6.51 Tip velocity.

v_{tip} kärjen nopeus m/s

ω siiven kulmanopeus (rad/s)

n kierrosnopeus (r/min)

r siiven pituus (m)

w tuulen nopeus

Tehokkuuskerroin

- Tehokkuus
- Kuvaa kuinka paljon tuulen tehosta muuttuu lapojen tehoksi
- Betzin raja, C_p on aina pienempi kuin 0,5926 ja käytännössä pienempi kuin 0,5
- Moderneissa tuulivoimaloissa TSR voidaan säätää optimaaliseksi säätämällä generaattorin nopeutta ja lapakulmaa, tällöin generaattori ei pyöri sähköverkon taajuuden määräämällä nopeudella

$$C_p = \frac{P_{blade}}{P_{wind}}$$

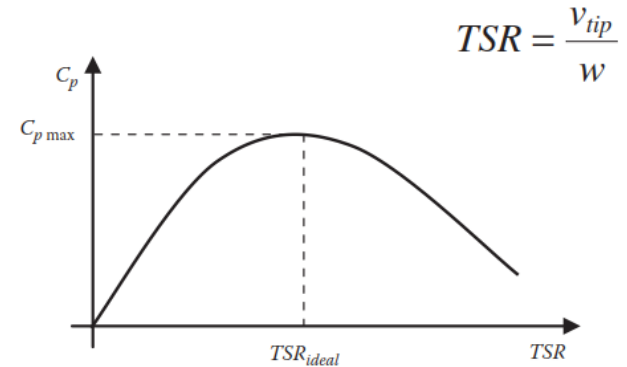


Figure 6.52 Coefficient of performance as a function of TSR.

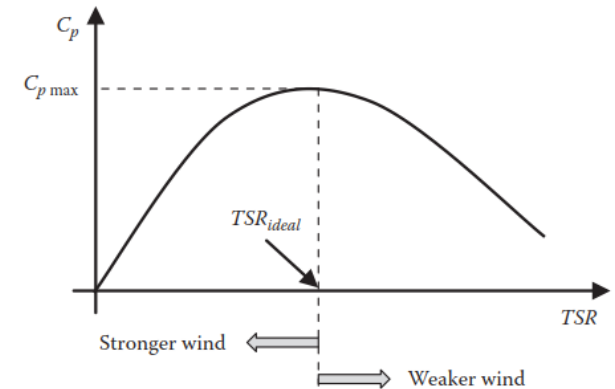


Figure 6.53 Tracking maximum C_p by adjusting the speed of the blade.

Geoenergia

- Lämpöpumput
- Sähkön tuotanto maalämmöllä
- Maalämpövoimalat

Polttokennot

- Useimmat polttokennot käyttävät vetyä ja happea sähköön tuottamiseen
 - Sivutuotteena syntyy vettä
- Osa polttokennoista voi käyttää polttoaineen suoraan metanolia eikä silloin tarvita erillistä reformointiprosessia vedyn tuottamiseen
- Polttokennoja on hyvin erityyppisiä ja niissä eroina on mm. anodin ja katodin materiaalit, elektrolyytti, käyttölämpötila ja hyötysuhde

Polttokennon jännite-virta ominaiskäyrä on hyvin samantyyppinen kuin aurinkokennollakin ja sillä on myös maksimitehon piste

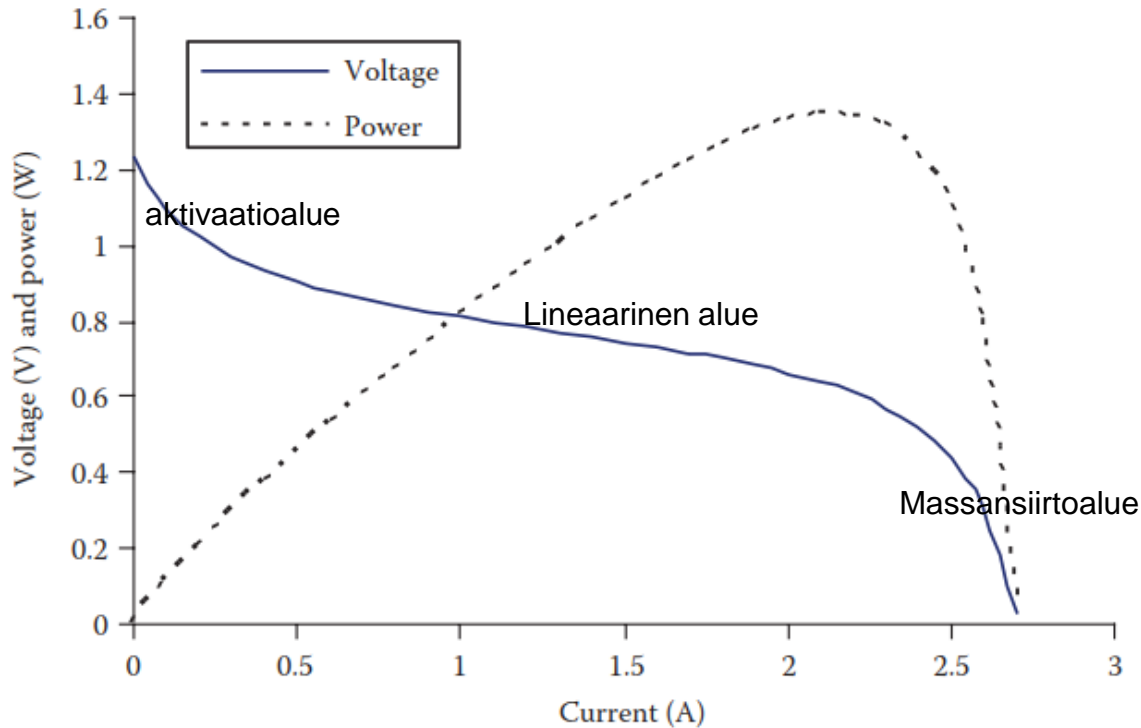


Figure 6.108 Polarization and power curves of FC in Example 6.35.

Energiavarastot

- Uusiutuvan energian tuotanto on hyvin vaihtelevaa ja usein myös vaikea ennustaa etukäteen
- Tuotannon vaihdellessa tarvitaan
 - Reservituotantoa
 - Varastoja, joihin aiemmin yli tuotannon varastoitu energia varastoidaan
 - Kulutuksen säännöstelyä
- Alessandro Volta kehitti akuston jo 1800, mutta energian laajamittainen ja taloudellinen varastointi on edelleen yksi tärkeimmistä avoimista kysymyksistä
- Vetytalous, vedyn tuotanto, kuljetus ja varastointi