

Kehityssuunnat Tuulivoima-alalla

Tanskan hallituksen selvä tavoite on 4000 MW:n merituulivoima vuoteen 2030 mennessä. Alankomaat suunnittelevat 1500 MW:a vuoteen 2020 mennessä [2]. Kaikki markkinaennusteet osoittavat huomattavaa osuutta merelle sijoitettaville tuulipuistoille.

Tuulivoimaloiden valmistajat panostavat yhtä voimakkaasti tulevan laitossukupolven kehitykseen. Tavoitteena on saada 2-5 MW:n laitoksia merelle tuleville markkinoille. Lukuisat tutkimuksen todistavat, että taloudellinen optimi on "niin iso kuin mahdollista". Syynä tähän ovat perusta- ja kaapelointikustannukset, jotka ison laitoksen tapauksessa ovat suhteellisesti pienempiä. Lisäksi etuja saavutetaan suhteellisesti pienemmillä jää- ja aaltokuormituksilla. Suomessa tämä kohta on erityisen tärkeä. Laitoksen koko voidaan valita parhaimmillaan niin suureksi, etteivät liikkuvan jään kuormat sitä **mitoita**.

Kuinka suuri?

Mahdollisimman iso laitos ei kuitenkaan tarkoita, että se olisi taloudellisempi. Nykyisiä 1,5 MW:n koneita koskevat jo nyt seuraavat rajat:

Suurin tornin halkaisija (noin 4,2 m) on kuljetuksen rajoilla maanteilla (sillat).

Noin 35 metriä pitkät roottorilavat ovat useimmissa tapauksissa myös kuljetuksen rajoilla (mutkat).

Koneiston massa tornin päällä on luokkaa 90 tonnia ja nosto kokonaisuudessaan vaatii harvinaisen ja kalliin 800 tonnin nosturin. Vaihtoehtona on nostaa 400 tonnin nosturilla, mutta silloin asennus kestää kauemmin.

Nykyisten koneiden suurentaminen maakäyttöön tarkoittaisi sitä, että lisäkustannuksia muodostuisi teknillisesti epäoptimaalisista seinämistä, pituussuuntaan jaetusta tornin alaosaan tai jopa jaetuista lavoista. Nämä lisäkustannukset söisivät isompien laitosten pienen taloudellisuusedun pois. Emme siis voi odottaa, että isommat laitokset johtaisivat halvempaan tuulisähköön maakäytössä. Isommat laitokset ovat vain merikäyttöön tarkoitettuja.

Ei ole kovinkaan vaikeaa yhdistää 3 MW:n käyttöjärjestelmää roottorille, jonka halkaisija on 80 metriä. Vastaavia isoja vaihdelaatikoita (noin 1800 kNm) on jo olemassa betonimyllyissä ja myöskin AEOLUS-prototyypit ovat lähellä sitä. Tunnetusti myöskään kahden 1.5 MW:n generaattorin käyttöä ei nähdä suuruudeltaan mahdottomana. Miksi siis kehitys ei etene nopeasti ja rutiinomaisesti?

Toisaalta koko laitoksen kehitys riippuu lapojen kehityksestä. Tällä hetkellä ei LM eikä myöskään AERPAC tarjoa sarjatuotantona valmistettuja lapoja, joiden halkaisija olisi yli 70 metriä. Uusin yritys nähtiin **Husumissa**, jossa NOI näytti 77 metrin lavan. Joillekin tuulivoimaloiden valmistajille oma lapakehitys ei ole mahdollista, **ja siksi** heillä on huonommat lähtöasetelmat. Uuden lavan kehitystyö kestää kauemmin kuin käyttöjärjestelmän kehitys.

Toisaalta voi tapahtua niin, että merikäyttöön parhaiten sopiva konsepti ei sovi yhteen muun tuoteperheen kanssa ja se saa kehittäjät mieteliäiksi.

Säädöt – sakkaus vai pitch (lapakulmasäätö)?

Sakkauskoneiden tehovaihtelut vähenevät tietyvästi laitosten määrä neliöjuurella, joten flicker ei taida olla ongelma. Mutta tavallisten sakkauskoneiden (kiinteä lapakulma) äärimmäiskuormitukset johtavat suurempiin perustakustannuksiin, mikä on pluspiste "pitch" -laitoksille.

Suhteelliset lapakustannukset kasvavat koon mukaan. Sekin on pluspiste lapakulmasäädetyille koneille, koska kapeammat ja kevyemmät "pitch" -lavat ovat kustannus/hyöty -suhteella selvästi parempia.

Lapakulmasäätö toimii tunnetusti säätötekniillisistä syistä vain tarpeeksi vaihtelevalla kierrosluvulla. Tavalliset oikosulkugeneraattorit, joilla on 3-4 % jättämä, poistuvat lämpöhallinnallisista syistä vaaditulla koolla.

Vaihtelevan kierrosluvun systeemit jäävät. VESTAS vaihtoi ensi kerran Optislipilta vaihtelevalle kierrosluvulle uuden kahden megawatin laitoksen tapauksessa. Myöskin NORDEX vaihtoi 2,5 MW:n koneen lapakulmasäätöön ja vaihtelevalle kierrosluvulle [7].

Kokonaistaloudellisuutta tutkiessaan aerodyn GmBH laskee etuja pitch/vaihtelevan kierrosluvun periaatteelle verrattuna sakkaus/vakio kierrosluku -systeemiin [4]. Tämä ero kasvaa kehänopeuden mukaan suhteessa siihen millainen melutaso sallitaan.

Kompromissina on aktiivisakkaus-säätö, jolla mahdollisesti on lapakulmasäätömekanismeja pidempi elinikä pienempien säätöliikkeiden ansiosta. Aktiivisakkausella ei kuitenkaan päästä niihin kehänopeuksiin, jotka sallitaan tällä hetkellä merituulikäyttöön.

On siis selvästi osoitettavissa etuja lapakulmasäädetyille koneille, joilla on vaihteleva kierrosluku.

Lapakulmasäädön tai muuttajasysteemin häiriöt saattavat tuhota mainitut edut ja sen vuoksi nyt aletaankin käsitellä vakavammin luotettavuusanalyyssejä, redundansseja sekä vikaennustussysteemejä. Esimerkkinä mielenkiintoista on erään muuttujan valmistajan ehdotus jakaa muuttuja kahdelle toimivalle osalle. Tästä syntyy lisäkustannuksia, mutta myös käyttövarmuus lisääntyy.

Yksi, kaksi vai kolme lapaa?

Mielenkiintoista on myös kaksilapaisen koneen laskennallinen etuisuus.

Hollantilaiset tutkijat, muutamat ruotsalaiset ja tanskalainen yritys GENVIND ovat viimeisiä kaksilapaisten koneiden tukijoita. Ensimmäiset rannikoiden lähellä sijaitsevat **merituulipuistot** näkyvät hyvin ja ne **tulee olemaan** toteutettu monien tuottajien yhteistyönä. Näiden kaksilapaisten laitosten ongelmana on siis niiden näkyvyyden hyväksyminen. Näkyvyshaitan poistaminen lisää kiinnostusta konseptiin. **Korkeimmat koneenrakennuksen kustannukset** tasoitetaan halvemmilla lavoilla.

Myötätuulinen yksilapainen kone suljetaan pois "helikopterimelun" takia. Lisäksi suurimmat yksilapaiset koneet eivät mahdollista **elastomeerikeinunapalaakereiden** käyttöä ja ne vaativat teknisesti riskialttimpia **vierintälaakerointia**.

Vääntömomentti kasvaa **noin** potenssiin kolme lapojen halkaisijan kasvaessa. **Rasitusten** minimoimiseksi käytetään kolmerivistä rullalaakeria. Tämä laakerityyppi mahdollistaa **suoraan voimansiirron navasta laakerointiin**. Tästä aiheesta keskustellaan taas. Ranskalainen valmistaja JEUMONT INDUSTRIE käyttää tätä laakerityyppiä omassa tuulivoimalassa J-48, koska sillä on suurempi jäykkyys ja sen ansiosta ilma**väli** pysyy muuttumattomana suoraveto-generaattorissa. Sama koskee 1,2 MW:n kaksilapaista **konetta** A1200 ja ikivanhaa HSW 250.

Tavanomainen vai suoravetoinen?

Suoravetokoneen kustannukset kasvavat **ylitasaisesti** suhteessa **koneen** koon kasvuun.

Valmistuskustannuksia kasvattaa vielä se, että noin 3 MW:n **suoraveto**generaattorin staattoori on jaettava **ainakin** kerran, jos ilma**välin** läpimitta saavuttaa 7-8 metrin. Mutta juuri kustannussyistä ENERCON-E66 palasi jakamattomaan **staattoriin**. Kustannusvertailu tavanomaisen ja suoravetoisen **laitoksen** välillä osoittaa, että suoraikäytön hintaetu ei perustu teknisiin syihin. ENERCONin etu taas perustuu sen omaan taloudelliseen tuotantoon. **Uusilla suoraveto**-valmistajilla, kuten LAGERWEY ja GENESYS, ei ole ollut tai on ollut vain vähän markkinaosuutta.

Välimuotona AERODYN GmbH esittää versionsa **yksiportaisesta planeettavaihteistosta** ja hitaastipyörivästä tahtigeneraattorista. Tämä "melkein-suoraveto" mahdollistaa **pienimmät mahdolliset käyttöjärjestelmän mitat** ja niinpä 5 MW:n nimellistehoinen laitos on vielä kuljetettavissa maanteitse. Tämän laitoksen kehittäminen on **suunniteluvaiheessa**.

Ne-Fe-Bo - magneettien ja puolijohtojen hinnat ovat ylipäättänsä laskusuunnassa sähkö**konealalla**. Tämä suosii **kestomagneeteilla herätettyjä generaattoreita ja vaihtelevan kierrosluvun käyttöjärjestelmiä**. Niitä käytetäänkin yhä enemmän ja enemmän pienvesivoimaloissa ja nykyään myös hisseissä. Tämä suuntaus on saavuttamassa tuulialankin.

Jotta estettäisiin suolapitoisen jäädytysilman pääsy **konehuoneen** sisään, tullaan generaattoreissa käyttämään vesivaippajäädytystä tai sen päälle rakennettua ilma/vesilämmönvaihtajaa. Merivesilämmönvaihtaja mahdollistaa lopullisen lämmönsiirron ympäröivään mereen.

Ongelmia vaihdelaatikoilla...

FLENDER esitteli viimeisillä Hannoverin messuilla ja Husumissa 5 MW:n **käyttöjärjestelmän** tilaasäästävällä **planeettavaihteistolla**. FLENDER, VALMET ja muut pienemmät valmistajat ovat tarjonneet jo vuoden verran vinoampaisia **planeettapyöriä**, joiden avulla **värähtelytaso** matalilla taajuuksilla saadaan laskemaan. Seuraavat vaiheet koneiston kehittämisessä ovat äänenvaimennuksen ja varoitusjärjestelmien kasvava käyttöönnotto. Öljynlaadun ilmaisin puuttuu vielä.

Viime vuosien koneistovahingot johtuivat liian korkeista jarrutusmomenteista. Tästä lähtien jarrutuksia on suoritettu varovaisemmin; käytetään elektronisesti säädettyjä jarruja (SVENBORG SOBO) tai optimoituja **jarrupaloja**. Muutkin koneistovahingot ovat herättäneet julkisuutta. Vielä on olemassa tuntemattomia ongelmia, jotka ovat johtaneet **vierintälaakerivahinkoihin**.

... ja lavoilla.

Kun roottorin läpimitta kasvaa 80-100 metriin huomataan, että roottorilapojen painosta aiheutuva vaihteleva **taivutus roottorin tasolla** on merkittävä kuormitustekijä. Tästäkin johtuu se, että kaksilapaiset ovat parempia. Suuremmasta lapasyvyydestä samalla ympyränopeudella ja muutenkin järkevällä geometrialla saadaan parempi

suhde vastus- ja taivutusmomentin välillä. Roottorin kokonaispaino ei kevene 2/3:lla, mutta kuitenkin niin paljon, että vaikutukset suuremmista **väsymiskuormituksista johtuvien lisäkustannuksista** saadaan rahallisesti korvattua.

Edellä mainituista syistä käytetään roottorin valmistukseen enimmäkseen epoksihartsia, mahdollisesti myös Prepreg:ä. Mitä suuremmasta roottorista on kysymys, sitä enemmän käytetään hiilikuituja. Perinteinen tyhjiö/folio -tekniikka pitää pintansa. Automaattiset **nauhanlaminointilaitteet (tapelayer)** ovat tulevaisuuden tekijöitä ja suuremmissa tuotantoerissä myöhemmin myös tyhjiöinjektiokin. Käärömenetelmät eivät ole geometrian takia järkeviä, koska lapa ei valitettavasti ole **säiliö**. Termoplast-menetelmät vaativat paineen kestäviä tehokkaasti lämmitettäviä **muotteja** ja työkalukustannukset ovat niin suuret, että on vaikea kuvitalla 40 metrin lapa.

Puuepoxilla on suuren jäykkyytensä ja vaimentamisensa takia hyviä mahdollisuuksia, vaikka automatisointi ei olekaan samassa suhteessa mahdollista.

Metallipalkit (Growian, WTS 75) ovat poistumassa **väsymislujuu**den takia. Niiden valmistaminen ilman hitsausaumoja on mahdotonta ja lentokoneensiipi-tekniikallakin tuhansine nitteineen valmistettuna liian vaativaa.

Asiantuntijoiden mukaan tekninen raja on 150 metrin roottorihalkaisija. Tässä tapauksessa hiilikuidun käytölläkään ei päästäisi eteenpäin. Näiden laitosten teho olisi 8-10 MW ja se on tänä päivänä jonkinlainen rajapyykki. Onneksi meidän ei tarvitse rakentaa aina vaan suurempia ja suurempia laitoksia, vaan **tavoite on se**, että ne ovat taloudellisia.

[1] B.Madsen 'How to reach 40.000 MW by 2010', Wind Directions March 1999, s. 4 - 7

[2] M.Kuehn 'Don't be fooled by theoretical offshore potential', New Energy 1/1999, s. 46 - 47

[3] G. Böhmeke 'Direct Drive, geared drive, intermediate solutions - comparison of design features and operating economics', Proceedings of the EWEC '97, Dublin, s. 664 - 667

[4] Siegfriedsen et al., 'Multibrid-Technology, a Significant Step to Multi-Megawatt-Turbines', Presentation on the EWEC '99, Nice, France

[5] Energia 4-5, 1999, s.39

[6] International Wind Energy Development, World Market Update, BTM Consult, Denmark

[7] Chr. Nath, D. Quarton 'Chancen und Grenzen von Windenergieanlagen ueber 3 MW', Husum Wind Conference Proceedings, s. 148