

Materiaalitekniikka siivittää tuulivoimavaihteiston kilpailukykyä

Kaisu Soivio ja Jukka Elfström



Kansainvälisillä kilpailuilla markkinoilla menestyminen edellyttää tuotteelta erinomaista teknistä suorituskykyä sekä hinnan ja laadun oikeaa suhdetta. Pitkäjänteisten ja sovelluslähtöisten teknologioiden kehitys on tarpeen myös raskaan koneenrakennuksen toimijoiden keskuudessa asiakkaita houkuttelevien tuotteiden luomiseksi. Vuosien 2014-2016 aikana DIMECC BSA-ohjelmaan osallistuminen on edistänyt Moventaksen tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa monilla eri teknologia-alueilla. Uusien ratkaisujen yhteisenä tavoitteena ovat entistä kilpailukykyisemmät vaihteistoratkaisut tuulivoimaloihin.

Suomalaista voimansiirto-osaamista uusiutuvan energian markkinoilla edustava jyväsyläläinen Moventas keskittyy tuuliturbiinien vaihteistojen tuotantoon. Tämänhetkinen päätuote on 3 MW:n tuulivoimalan vaihteisto, mutta kehitystrendi osoittaa edelleen kasvua myös maalle rakennettavien tuulivoimaloiden nimellistehon osalta. Tuotteet viedään ulkomaalaisten tuuliturbiinivalmistajien tehtaille eri puolille maailmaa. Suomessa noin 400 henkilöä työllistävän Moventaksen kilpailuedut alan huomattavasti suurempiin toimijoihin nähden ovat ketteryys ja määrätietoinen teknologia- ja tuotekehitys.

Vuonna 2015 liki puolet energiantuotannon kasvusta maailmalla syntyi tuulivoiman kasvusta. Poliittisten päätösten ohella kasvu perustuu myös markkinaehtoisuuteen. Maalle rakennettavan tuulienergian investointi- ja operointikustannuksista koostuvat kokonaiskustannukset ovat laskeneet voimakkaasti viimeisten vuosien aikana ja eivätkä ennusteet osoita suunnan muuttuvan radikaalisti (Lähde: MAKE consulting report, Global Wind Turbine market trends 2015). Tästä aiheutuu paine myös tuuliturbiinien komponenttitoimittajille laskea komponenttien, kuten vaihteistojen, hintaa. Innovatiivisia ratkaisuja vaaditaan, jotta kustannusten lasku onnistuu kestävästi.

Moventaksella on valittu teknologiakeskeinen lähestymistapa ja tavoitteena on kehittää entistä momenttitiheämpiä vaihteistoja. Momenttitiheydellä (Nm/kg) mitataan vaihteiston kykyä viedä läpi roottorin siipien liikkeen aiheuttama pyörimismomentti generaattorille vaihteiston massaan nähden. Roottorin noin 10 kierrosta minuutissa pyörimisnopeus nostetaan noin 1200-2000 kierrokseen minuutissa – vaihteistolliset tuuliturbiinit soveltuvat paremmin vaihtelevimpiin tuulioloihin kuin niin kutsutut suoravetoiset. Korkeampi tehoteho pienentää tuuliturbiinin investointikustannuksia, nostaa kapasiteettia ja luotettavuutta ratkaisulla toteutettuna myös käyttökustannukset alenevat.

Tuuliturbiinivaihteiston massa koostuu raskaalle koneenrakennukselle tyypillisesti valtaosin valuraudasta ja teräksestä. Valurautaa on ennen kaikkea kotelorakenteissa, mutta myös voimaa siirtävissä komponenteissa kuten planeetankantajissa ja momenttituessa, joka kiinnittää vaihteiston turbiinin runkoon. Näiden komponenttien kuormankantokyky on yksi tehotehden kannalta kriittisistä tekijöistä. Toinen ratkaiseva tekijä on hammastettujen teräksisten komponenttien kuormankantokyky, joka jakautuu hampaiden tyven sekä pinnan väsymiskestävyyteen. Kokonaisuudesta ei voida sivuuttaa laakereita, jotka ovat kriittisessä roolissa tuulivoimavaihteistoissa etenkin luotettavuutensa ja koon kanssa korreloivan kuormankantokynsä vuoksi. Kuorman kasvattaminen laakerissa vaatii usein koon kasvattamista, mikä sotii vaihteen pienentämistavoitteita vastaan. DIMECC BSA-ohjelman tutkimusprojekteissa NoCMA ja GeFa, joissa Moventas

on ollut mukana, on keskitytty kahteen ensiksi mainittuun momenttitiheyden kasvattamisen kannalta ratkaisevien teknologioiden kehitystyöhön.

Novel Cast Materials – kuormankantokykyä lämpökäsitellystä valuraudasta

Tuulivoimavaihteiston kuormaa kantavat valukomponentit altistuvat käytössä vaihtuvalle kuormitukselle. Tavanomaisesti käytössä olevat pallografiittivaluraudat ovat ferriittiperliittisiä standardin SFS-EN 1563 mukaisia laatuja, joiden standardin mukaiset murto- ja taivutuslujuudet vaihtelevat 400 ja 800 MPa välillä. Kehittyneillä suunnittelumenetelmillä, kuten tietokoneavusteisella topologiaoptimoinnilla, näistä raudoista on materiaaliominaisuuksien ja luokituslaitosten mitoitusääntöjen sallimissa rajoissa ulosmitattu niiden kapasiteetti.

NoCMA projektissa Moventas on keskittynyt selkiyttämään seuraavan sukupolven tuulivoimavaihteiston vaatimuksia kovimmin kuormitetun yksittäisen valukomponentin, planeetankantajan, osalta ja mahdolliset materiaalit ja valmistusmenetelmät, jotka voisivat vastata kasvaneisiin vaatimuksiin siten, että kustannusvaikutus olisi kokonaisuuden kannalta positiivinen. Planeetankantajan monimutkainen geometria ja vaatimukset kasvavasta lujuudesta ovat karsineet useimmat vaihtoehdoista ja jäljellä on lämpökäsittely valurauta ADI (SFS-EN 1564).

ADI (Austempered ductile cast iron) on ausferriittinen pallografiittivalurauta, jonka määritelmä on ainestandardin mukaan ”Ausferriittinen pallografiittivalurauta on rautapohjainen valumateriaali, jossa hiili esiintyy pääasiassa grafiittipaloina ausferriittisessä matriisissa.” Sen juuret juontuvat suomalaisen keksintöön (”Kymenite”) 1970-luvulla Högforsin valimolla Karkkilassa. ADI:n mekaaniset ominaisuudet vetävät vertoja suur- ja keskisuuren kuormituksen valmistettavuus on samalla tasolla perinteisesti käytettyjen pallografiittivalurautojen kanssa.

Sen luotettava valmistaminen tämän kokoluokan komponentteihin vaatii kuitenkin vielä tutkimus- ja kehitystyötä. Koska ADI poikkeaa luokituslaitosten valmiiksi teknisissä ohjeissaan hyväksymistä valumateriaaleista, vaatii materiaalin käyttöönotto lisäksi mittavat hyväksyttämistausjärjestelyt.

Gear fatigue – hammaspyörien väsymiskestävyyttä

Kuorma siirtyy vaihteiston läpi hammasketusten välityksellä. Hammastettujen komponenttien kuormankantokyky jakautuu ham-

paiden tyven ja pinnan väsymiskestävyyteen. Moventaksen vaihteistoissa käytetään hiiletyskarkaistuja hammaspyöriä, joiden väsymiskestävyyden on erinomaisella tasolla pinnan kovuuden ja hiiletyskerroksen puristusjännitystilien ansiosta. Tehotehden parantamiseksi suunnitteluun tulisi pystyä kasvattamaan standardissa määritetyistä arvoista. Standardin sallimista mitoitusarvoista voidaan poiketa, jos kattavalla testaamismenetelmällä on osoitettu väsymislujuusarvojen täyttyvän 1 %:n vauriotodennäköisyydellä. Testauksessa tulee käyttää porrasmenetelmää. Testauksessa tulee testata olemassa oleva materiaali ja valmistusprosessi sekä uusi ratkaisu ja hyödyksi voidaan lukea tämä erotus, ei eroa standardin arvoihin.

Hampaan tyven väsymislujuuden pettäessä hammaspyörästä irtoaa taivutuskuormituksessa hammas. Hampaan tyven väsymislujuus on hiiletyskerroksen lisäksi riippuvainen perusaineen kovuudesta hiiletyskerroksen alla. GeFa-projektissa tyven väsymislujuuden parannusta tavoiteltiin uudella hiiletyskarkaisuteräksellä. Tyven väsymislujuutta testataan yksittäisten hampaiden taivutuskokeilla. Testien tuloksista kävi ilmi, että hampaan tyven laadulla oli arvioitua suurempi vaikutus testitulosten hajontaan. Alustavista tuloksista voidaan kuitenkin arvioida uuden teräksen tuovan noin 12-15 %:n kasvun tyven väsymislujuuteen.

Hampaan pinnan väsymislujuus riippuu pinnankarheudesta ja kovuudesta. Hampaan pinnan väsymisilmiot näkyvät pinnan hilseilyinä ja pinnan kuoriutumisenä. Hiiletyskarkaistun teräksen pintakovuus riippuu hiilipitoisuudesta ja päästölämpötilasta. Nämä parametrit eivät kuitenkaan anna pelivaraa merkittäväälle pinnan väsymislujuuden parantamiselle, vaan tutkimusprojektissa tutkittiin pinnoitteen vaikutusta pinnan väsymislujuuteen. Pinnan väsymislujuutta testataan FZG-testerillä, jossa hammaspyöräparia pyöritetään kuormitettuna. Testit ovat erittäin aikaa vieviä. Alustavat testit ovat olleet lupaavia, tulosten perusteella on oletettavissa noin 20 % parannus pinnan väsymiskestävyyteen. Pinnoitteiden osalta testejä jatketaan todellisen kuormankantokyvyn lisäyksen selvittämiseksi ja täyden mittakaavan kokeissa. Kestoiän ja kuormankantokyvyn lisäksi on oleellista selvittää mitä mahdollisesti hammaspyörästä käytössä irtoava pinnoite aiheuttaa voiteluöljylle.

Momenttitiheämmät vaihteet vaativat lukuisia teknologiaharppauksia

Edellä mainittujen teknologiaprojektien lisäksi Moventaksella on kehitteillä lukuisia muita tuulivoimateknologian - ja erityisesti Moventasen - kilpailukykyä parantavia projekteja.

Yhtenä tärkeänä projektina Moventak-

sella on ollut käynnissä liukulaakeritekniologian käyttöönotto tuuliturbiinivaihteissa. Kun yllämainitut kehitteillä olevat teknologiat saadaan käyttöön, rajoittavaksi teknologiksi tulevat - konseptista ja lokaatiosta riippuen - vierintälaakerit, jotka tulee korvata kehittyneillä mutta silti kompakteilla liukulaakereilla. Erityisen tärkeä tämä on vaihteen ensimmäisellä planeettaportaalla. Tätä teknologiaa Moventaksella on testattu jo useiden vuosien ajan komponenttitasolla ja seuraava askel on viedä liukulaakeritekniologia käytännön kenttätettiin valitun asiakkaan kanssa.

Haasteina liukulaakereissa on riittävä voitelu erilaisissa käyttöolosuhteissa, esimerkiksi kylmäkäynnistys jopa -30 °C:n lämpötilassa ja rajoitettu voitelu painevoitelun kadotessa äkillisesti.

Muita huomionarvoisia projekteja ovat mm. kehittyneen prosessisimulointiympäristön käyttöönotto, jolla pystytään simuloimaan vaihteen käyttäytymistä, voitelua ja lämmönsiirtoa erilaisissa olosuhteissa. Kehitysprojektin myötä kehitetyllä optimoidulla toimintatavalla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä asiakkaalle optimoidun kylmäkäynnistysprosessin myötä. Projektin myötä on saatu Moventakselle hyötyjä mm. voiteluaineen optimoinnin myötä sekä sillä, että osa testaamista on pystytty digitalisoimaan. Projektissa on lisäksi määritetty testaamalla lukuisten vaihteen voitelukomponenttien käyttäytymismalleja. Kaupallisten toimittajien antamat suuntaa-antavat arvot eivät ole olleet riittävän toimivia suuriviskositeettisillä öljyllä, joita käytetään tuuliturbiinivaihteissa.

Oleellisena kehitysvaiheena on myös tuotelaadun parantaminen. Tähän liittyy Moventaksella on ollut pitkään käynnissä reaaliaikaisen tuotelaadun seurantamenetelmän ja toimintamallien kehittäminen.

Teknologiaprojektit

AVANTI: Kehitetään prosessisimulointityökalua, jonka avulla pystytään lisäämään tuuliturbiinin energiantuottoa käyttöprosesseja optimoimalla.

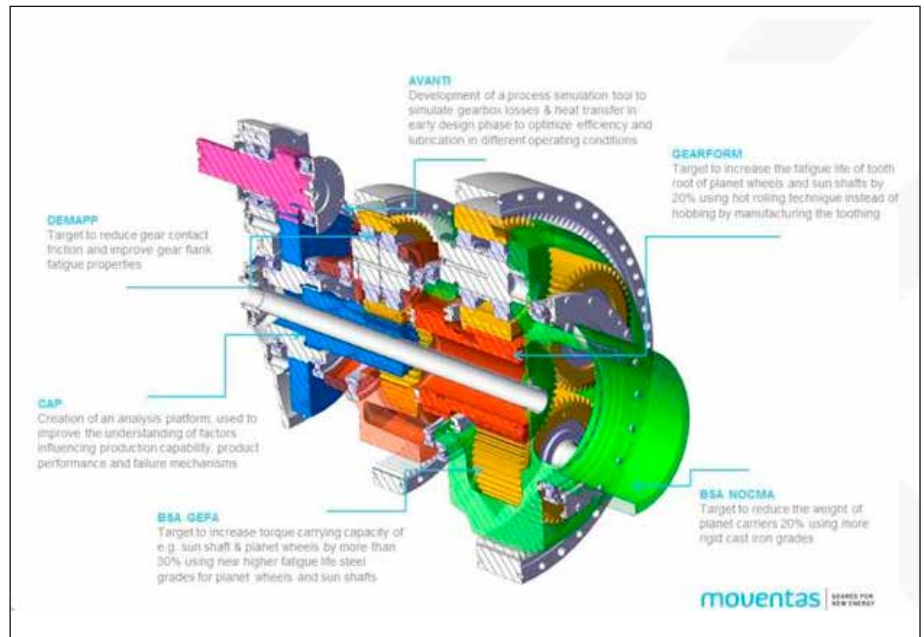
Gearform: Hammaspöyrän hampaiden tyven kuormankantokyvyn lisääminen uudella valmistusmenetelmällä.

BSA NoCMA: Valettujen osien kuten planeetan kantajien kuormankantokyvyn lisääminen ja komponenttien keventäminen.

BSA GeFa: Hammaspöyrän hampaiden; kyljen ja tyven kuormankantokyvyn lisääminen.

CAP: Keskitetyn laatu- ja prosessitietoa keräävän järjestelmän rakentaminen ja tiedon hyödyntäminen tuotannon optimoinnissa ja uusien tuotteiden kehityksessä.

DEMAPP: Jo päättynyt FIMECC-ohjelma, joka Moventaksen osalta keskittyi hammaskosketuksen kitkan ja väsymisen keston tutkimiseen sekä liukulaakereiden soveltamiseen tuuliturbiinivaihteissa.



Vaihteisto (Movenas).



3MW Exceed -sarjan vaihde (Movenas).

<http://www.movenas.com>
<http://www.twitter.com/movenasgears>
<http://www.linkedin.com/company/movenas>

Kaisu Soivio ja Jukka Elfström
Movenas Oy
Jyväskylä