

Vaihdelaatikkovauriot miksi?

Vuosina 1997 - 99 koettiin lapavaurioita sakkausepästabiiliuden vuoksi. Vuonna 2000 enemmän vaihdelaatikkovaurioita, joiden osalta NEG/MICON-FLENDERillä oli kai huonoin tuuri [1 - 9].

Nyt haluaisin selostaa seitsemän mahdollisuutta, joiden vuoksi vaihdelaatikko voi tuhoutua ennenaikaisesti. Melkein kaikki näistä olen itse nähnyt viimeisten 16 vuoden aikana.

1. Sakkauskuormitukset aliarvioitu

Jos lavat säädetään puhtaina suunnilleen oletuskulmalle, nimellistehoa ei saavuteta, kun lapa likaantuu ajan kuluessa. Sen takia viritellään vähän isompaan kulmaan ottaen huomioon odotettavissa oleva likaantuminen, ja juuri pystytetty laitos tuottaa kovalla tuulella ylitehoa. Osakuorma-alueella vähän liian isompi kulma (+ = nosedown, - =noseup) on tavallaan myöskin hyvä.

Lisäksi tulee kesä/talvi -ongelma; Talvella korkeapainealue tuottaa 20 % enemmän tehoa kuin matalapaine kesällä.

Joskus viriteltiin tahallaan aivan liian suurelle maksimiteholle. Tunnen tapauksia, joissa ostajille jopa luvattiin suullisesti ylitehoa! Ylitehon päälle tulee vielä luonnollinen tehon vaihtelu sakkausalueella: +-20 % on aivan normaali.

Kun yliteho korreloi usein öljyn korkean lämpötilan kanssa, ja voiteluominaisuus laskee, on yliteho erityisen haitallista vaihdelaatikolle.

Nyt kun passiivisakkauskoneita tuskin enää valmistetaan, mainitusta ongelmasta johtuvat vauriot ovat ennemminkin vanhoja juttuja. Öljyjäähdyttimen ja suodattimen lisääminen ei luonnollisestikaan voi olla haitallista, mutta varsinainen syy ei muutu.

Toimenpide: Sopiva lapakulma-asento (ehkä pakko muuttaa myöhemmin), realistinen kuormitusten spesifikaatio, mahdollisten lämpötilaongelmien ratkaisu.

2. Värähtely käyttöjärjestelmässä

Tämä koskee vain paria laitosta, jotka eivät ole dynaamisesti terveitä. On tapauksia, joissa keskimääräisen tehon päälle tulee klassinen torsiovärähtely. Kun kuormitukset vaikuttavat epälineaarisesti elinikään, on eroa, käykö laitos tasaisesti 600 kW:lla +-20 % vai heiluuko teho sinimuotoisesti 300 kW:n ja 900 kW:n välillä.

Ratkaisu: valitettavasti laaja. Koko vaihteisto pitää suunnitella uudestaan eri jäykkyysjakaumalle. Resonanssikohta pitää poistaa.

3. Jarrutusdynamiikka

Hätäseis-jarrutukset vaativat passiivisakkauskoneilla noin 2 - 2,5 -kertaisen nimellismomentin kattamaan kuormitustapauksen "kaikki kolme kärkijarrua pottävät ". Jarru suunniteltiin tavallisesti vielä vuosina 1988 - 1993 yllä mainituille momenteille ja jarrun käyttöaika hydrauliiikan puolella noin 0,2 s. Generaattori kytketään aina heti pois.

Roottorin, vaihteiston, jarrulevyn ja generaattorin muodostama systeemi on klassinen värähtelijä. Äkillinen jarrutus aiheuttaa heikosti vaimennettuun systeemiin sisäisen värähtelyn. Poiskytketty generaattori on puhtaasti vain vauhtipyörä. Käyttöjärjestelmä siis värähtelee, ja vaihdelaatikossa muodostuu kaksinkertaista jarrutusmomenttia vastaava 4-5 -kertainen nimellismomentti(!)

Tämä johti muun muassa laakerivaurioon (1000 kW laitos, 1996, Saksa) ja aiheutti kutistusliitoksen liukumisen vaihdelaatikon sisällä (600 kW laitos, 1997, Saksa).

Toimenpiteet:

* kuristin jarrun paineputkeen, jarrun kiinniottamisaika noin 0,6 - 0,8 s. Tämä ei oikeastaan ole turvallisuuden kannalta sallittua, kun kuormitukset ovat laskettu vain 0,2 sekunnilla.

* säädetty jarru, kuten Svendborg-Sobo tai vastaava itse tehty hydraulinen systeemi (100kW laitos, 1994, Saksa).

* Sellainen hydraulinen systeemi karkijarrusylinterien kanssa, että Germanischer Lloyd hyväksyy systeemin vikaantuneena turvalliseksi (fail-safe). Kuormitustapaus "kaikki karkijarrut pettävät" jää pois, ja kuormituslaskelma suoritetaan olettamalla yhden karkijarrun pettäminen. Tarvittava jarrutusmomentti laskee noin nimellismomenttiin. Tätä konseptia käytettiin menestyksellisesti 750 kW:n laitoksella, joka suunniteltiin minun entisessä insinööritoimistossani. Se on paras ratkaisu. Lisäksi voidaan laittaa kuristin jarrun paineputkeen.

4. Tyhjäkäynti ja osakuorma

Heikolla tuulella suositellaan usein tyhjäkäyntiä. Ensinnäkin sen takia, että uppovoitelun tapauksessa laakerit ja hammastus säilyvät voideltuina, toiseksi sen vuoksi, että omistaja voi ylpeästi ilmoittaa, että "On melkein tyyntä ja myllyni pyörii siitä huolimatta".

Roottori kokee turbulentsuudessa ja tuulen jakaumassa vaihtelevia momentteja, generaattori on pelkää vauhtipyörä. Vaihdelaatikko kokee sen takia vaihtelevan momentin suunnan. Hammastus ei yleensä kärsi, mutta vinohammastus aiheuttaa aksiaalisia voimia kaikille laakereille. Jos sisäistä laakerointia ei ole tehty sitä varten, että tuhansia kertoja muutetaan aksiaalivoimien suuntaa, voi tapahtua laakerivaurioita. Erityisen herkkiä ovat ne laakerit, jotka ovat aksiaalisesti joustavia, (pallomainen rullalaakeri) tai jopa aksiaalikuulalaakerit, joilla on asennettuna vällys. Välyksestä tulee tietenkin suuria dynaamisia lisäkuormituksia.

Toimenpide: Ei tyhjäkäyntiä, vaan odotusasento jarrutettuna. Käyntiinlähtö vasta kun tuuli on tarpeeksi vahva, jotta generaattori voi tuottaa jatkuvan tehon ilman tyhjäkäyntiä. Poiskytkentä kun ilmenee liikaa negatiivisia momentteja.

Toinen vaihtoehto on uudelleensuunnittelu niin, että vaihteisto kestää suunnanvaihtoja. Tai molemmat toimenpiteet.

Vastaava tilanne syntyy, kun laitos jarrutetaan vain lapakulmasäädön avulla, mutta ilman levyjarrua. Tässä tapauksessa muodostuu parin sekunnin ajan huomattava momentti toiseen suuntaan, kun roottori jarruttaa generaattoria.

5. Odotustilanne

Mielenkiintoinen ilmiö. Kun kone on jarrutettu vain nopealla puolella, vaihdelaatikko liikkuu sisäisesti, koska se on joustava ja sillä on välitys. Hammastuksen päälle tulee liikuma-alue, joka on tavallisesti pari kymmenesosa millimetriä leveä. Jos vaihdelaatikolla on vain uppovoitelu, yllä olevat hampaat kuivuvat vähitellen. Jos kone seisoo esimerkiksi korjauksen vuoksi yhden kuukauden ajan, ja sinä aikana on pari päivää myrskyä, se voi jo aiheuttaa hammastuksen päälle naarmun. Siitä lähtien voi levitä seurausvaurio.

Toimenpide: Kiertoöljyvoitelu, voitelu jaksoittain tai kovalla tuulella jatkuvasti. Jos verkko ei ole kytketty päälle, pitää voidella käsin.

6. Kolmipistelaakeroinnin ongelmat

Kolmipistelaakerointi on nykyisin yleisessä käytössä (ks. luonnos). Roottorin taivutusmomentit menevät osittain vaihdelaatikon rungon kautta sen kumipuslalaakeroinnin läpi konepetiin. Tavallisten, tunnettujen kuormitusten lisäksi on olemassa sellaisia kuormituksia, joita ei ole usein otettu huomioon riittävän tarkasti.

Niistä tärkein on päälaakerin aksiaalinen joustavuus. Koska pääakseli tekee pieniä kulmaliikkeitä, siinä käytetään pallomaista rullalaakeria. Tämä laakerityyppi on aksiaalisesti pehmeä, minkä näkee heti pienestä painekulmasta. Lisäksi laakerin pesä taipuu. Osakuorma-alueella tuulen paineen vaihtelu ja tornin dynamiikka aiheuttavat aksiaalisen liikkuman suuruusluokaltaan 1 - 1,5 mm, säätöalueella vielä enemmän.

Koko vaihdelaatikko liikkuu mukana. Aksiaalinen liikkuma aiheuttaa kumipuslien reaktivoimia ja siten vaihdelaatikon pääkselin laakeroinnin lisäkuormituksen. Vaikka tämä laakeri kestäisi, se kuitenkin joustaa itse ja aiheuttaa aksiaalisia liikkumia hammastuksen sisällä. Tämä muuttaa aksiaalisen liikkuman vinohammastuksen kautta syklisiin kulmavaihteluihin ja suurentaa siten vääntömomenttivaihteluita.

Ilmiö on monimutkainen. Mitä todellisuudessa tapahtuu, on tutkittava tapauskohtaisesti. Joka tapauksessa epätoivotut lisäkuormitukset syntyvät ja leviävät.

Toimenpiteet:

- * Laakeripesä jäykempi, jos mahdollista, ja lisäksi
- * Kumipuslat aksiaalisesti pehmeiksi, radiaalinen jäykkyys saa jäädä samaksi.
- * Jos tämä ei riitä, kannattaa jopa miettiä kumipuslien laakerointia aksiaalisesti liukulaakereilla.

Vierintälaakerit tulevat yhä pehmeämmiksi, mitä isommaksi ne rakennetaan.

Ne vaativat tarpeeksi jäykän ja hyvin koneistetun pesän. [11, 12]. Jos laakerin tukirakenne joustaa, laakeri painetaan epäpyöreäksi ja elinikä laskee jyrkästi. Joidenkin laakerieksperttien mukaan lujuuden optimoimiseen annetaan tällä hetkellä liikaa painoa, ja laakeripesien epämuodostumisen ongelma aliarvioidaan. [10]. Tarkoittaa siis: FEM-laskelma, laakeri mallinnetaan mukaan.

7. Muut tapaukset

Tässä yhteydessä käsitellään harvinaisemmat tapaukset.

7.1 Sähköiset virrat laakerin läpi

Eräs 1,5 MW:n kone varustettiin generaattorilla, jolla on muuttajasta syötetty roottori. Tämä generaattorityyppi pyrkii aiheuttamaan erityisen korkeita laakerivirtoja. Laakerit oli eristetty ja akselilla oli maadoitusliukurengas. Siitä huolimatta (!) virta kulki kytkimen läpi vaihdelaatikkoon ja aiheutti siellä laakerivaurion.

Toimenpide: eristetty kytkin.

7.2 Erikoissijoituspaikat

Yksi tuulimylly rakennettiin Kreikkaan jyrkän rannan viereen. Siellä oli epätavallisen suuri tuulenjakauma ja turbulenssi, mikä kulutti laitosta. Yhdessä muiden ongelmien kanssa ilmestyivät vaihdelaatikkovauriot.

Toimenpide: Tarkistetaan sijoituspaikka erikoisuuksien varalta (esim. aavikkoalueilla hiekkapöly -suodatin!)

7.3 Käyntiinlähtö moottorilla

Pienempi laitos varustettiin jälkeinpäin sellaisella ohjaussoftalla, joka kytkee generaattorin suoraan verkkoon niin, että pääsee nopeammin pyörimään pienellä tuulella. Tulos: generaattori/moottori murisi kovasti, valot himmenivät, vaihdelaatikko huusi, vieraat juoksivat karkuun ja lehmät laitumella tulivat hulluiksi.

Toimenpide: Sanotaan irti kaveri, joka antoi tällaisen määräyksen.

7.4 Kallistuma ja öljyn vuoto

Uppovoideltu vaihdelaatikko koestettiin vaakatasolla ja hyväksyttiin. Loppukäytössä oli kuitenkin viiden asteen kallistuma. Öljy ei kiertänyt enää toivotusti, ja yksi laakeri kuivui ja sai vaurion.

Toimenpide: Koestetaan käyttöasennossa. Muutoinkin kiertovoitelu on joka tapauksessa parempi kuin uppoitelu (katso kohta 5).

7.5 Varastointi

Käytetty tuulivoimala pystytettiin uudelleen. Vaihdelaatikko oli valitettavasti saanut varastointiaikana sisäisiä ruostevaurioita vesihöyryn takia. Erityisesti vierintälaakerit olivat vaurioituneet ja pitivät ääntä. Omistaja lisäsi ison määrän grafiittia öljyyn, ja laitos on pyörinyt vielä vuosia, mikä oli kuitenkin hyvää tuuria.

Toimenpide: Jos vaihdelaatikko seisoo kauan, sitä pitää säännöllisesti pyörittää ja voidella.

Vaihtoehtoisesti vaihdelaatikko voidaan täyttää kokonaan öljyllä tai kuivatetulla suojavaikalla tai laittaa korroosionestovahaa joka paikkaan tai suorittaa mainittuja toimenpiteitä yhtä aikaa.

7.6 Kuljetusvaurio (tätä tapausta en itse nähnyt, vaan työkaveri kertoi)

Vaihteisto kuljetettiin jäykällä jousituksella varustetulla kuorma-autolla pitkällä huonolla tiellä.

Värähtely aiheutti vierintälaakereille pieniä esivaurioita, minkä vuoksi elinikää ei saavuteta.

Toimenpide: Ilmajousitus, koko rahti kumilevyjen päälle, generaattorilaakerien esijännitys.

7.7 Voiteluongelmat

Öljypumppu imi öljyn mukaan ilmaa ja aiheutti vaahtoa. Voitelu oli kaukana siitä mitä piti olla. Systemi muutettiin - ei vaurioita.

Toinen laitos: Kaksi yhteensopimatonta eri öljylajia aiheutti sakkaa, joka tukki heti suodattimen. Tällä oli sähköinen takaisinkytkentä ohjaustietokoneeseen. Ongelma huomattiin heti, eikä tässäkään tapauksessa syntynyt vaurioita.

7.8 Valmistusteknilliset ongelmat kuten paikallinen ylikuumentuminen hiomalla tai laakerien vauriot liian raskaan asennuksen vuoksi.

Muutkin yksittäisongelmat ja niiden yhdistelmät ovat tietenkin mahdollisia.

Sarjakoneissa valvotaan lähes aina:

- öljyn lämpötila vaihdelaatikossa
- nopeasti pyörivien laakerien lämpötila
- kumipuslien venymä
- öljypumppujen toiminta (kuristin ja painekytkin)
- öljyn määrä säiliössä
- joskus suodattimen bypass-signaali

Värähtelyanalyysi on harvoin käytössä, vaan on enemmän ongelmatapauksissa jälkeenpäin installoitu. Sellainen laite ei tietenkään voi estää vaurioita alunperin, vaan sen avulla voidaan välttää seurausvaurioita; Jos esimerkiksi laakeri pettää, voi sen vaihtaa ennen kuin se hajoaa kokonaan, ja koko vaihteisto joutuu roskikseen.

Viime vuosien vaihdelaatikko-ongelmat luokitellaan eri tavalla. Allianz Hamburg selosti eräässä kokouksessa jopa, että he arvioisivat tällä hetkellä käytössä oleville vaihdelaatikoille vain 5 vuotta elinikää. Tämä antaa aihetta miettiä, mutta on joidenkin muiden asiantuntijoiden mukaan liian pessimistinen.

Syiden etsimisessä voidaan todistaa, että ei ole vakavia suunnitteluvirheitä, (ne olisivat paljastuneet viimeistään Germanischer Lloydin tarkastuksessa), vaan erikoisilmiöitä, joita ei otettu mukaan spesifikaatioissa eikä suunnitteluissa.

Melkein kaikki viime vuosien aikana tapahtuneet vauriot olisi voitu välttää ajattelemalla ja analysoimalla tarkasti !

Perusongelma on, että tuulivoimaloiden valmistaja haluaa korkeimman laadun tuotteen erittäin halvalla ja toimituksen, jos vain mahdollista, jo eilen. Sitä aikaa, joka tarvitaan 100 %:sen varmaan suunnitteluun, tarkastukseen, koestukseen jne., ei ole olemassa, ei aikataulun eikä kustannusten takia.

Lopulta jää jokin kehitysrisi, mikä voi levitä nopean kasvun takia sadoille laitoksille.

Voidaan miettiä, voittaako lähitulevaisuudessa vaihteeton suoravetokonsepti. Väittely menee nyt liian pitkälle, mutta haluaisin mainita, että voidaan todistaa, että suoraveto tulee laitoksen koon mukaan yhä epätaloudellisimmaksi ja on selvästi ”haitallisella puolella” multimegawattiluokassa [13]. Näin ollen myöskin tulevaisuudessa käytetään varmasti vaihdelaatikoita ja pääakselin ja laakeroinnin osalta luultavasti erikoisratkaisuja [14,15].

Kirjallisuus:

- [1] K. Josef, L. Bäckermann: Getriebeschaden-was nun? Windkraft Journal 3/2000 S.12
- [2] P.Bollmann, H. Krueger, Allianz: Getriebeschäden gehen weiter Windkraft-Journal 2/2000 S. 8
- [3] NEG-MICON, Randers, DK: NEG-MICON's Retrofit Programm, WKJ 2/2000 S.12
- [4] H.L. Pedersen, VESTAS und J. Virtanen, VALMET: Kein Serienschaden bei 600 kW-Getrieben. WKJ 3/99 S.10
- [5] P.Luebker u.a. NEG-MICON, M. Eggelwisse u.a., Flender: NEG-MICON und Flender unterzeichnen Kooperationsvertrag, das grösste Serienproblem...WKJ 6/99 S. 36
- [6] E. de Vries: No simple solutions to gearbox problems, Windstats 4/1999 S.1
- [7] S.Skriver, T.Möller: Gears wearing too fast, Windstats 2/1999 S.5
- [8] D. Koennemann: Getriebeschäden unter der Lupe Sonne Wind und Wärme 2/2000

- [9] T.Möller: Another gear box failure warning Windpower Monthly 12/ 2000 P.29
- [10] SKF-Systemanalyse mit FEM, WKJ 3/2000 S. 68
- [11] Brändlein, Eschmann u.a. Die Wälzlagerpraxis, Vereinigte Fachverlage GmbH, Kap. 6
- [12] HRE-Handbuch Grosswälzlager S. 32 (Hinweise zur Anschluss-Steifigkeit)
- [13] G.Böhmeke, R.Boldt, H. Beneke: Direct drive, geared drive, intermediate solutions..EWEC 1997 conference proceedings
- [14] Flender: Windkraft besser nutzen, WKJ-Sonderausgabe 2000 (In die Nabe integriertes Getriebe)
- [15] S.Siegfriedsen u.a.: MULTIBRID technology...EWEC 1999 proceedings