

Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat *saattavat poiketa* alkuperäisestä julkaisusta.

Julkaisun tekijä(t): Karjalainen, Eetu; Ylikunnari, Jukka

Julkaisun nimi: Vuodon mittaaminen vesiturbiinin johtosolukkeille

Julkaisuvuosi: 2021

Versio: Kustantajan versio

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Karjalainen, E. & Ylikunnari, J. (2021). Vuodon mittaaminen vesiturbiinin johtosolukkeille. Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan ja luonnonvaralan lehti: Oamk_telulainen, 2(2), 44-45.

https://issuu.com/telu_oamk/docs/oamk_telulaine

Vuodon mittaaminen vesiturbiinin johtosolukkeille

Tämä artikkeli käsittelee energiatekniikan opiskelijan Eetu Karjalaisen opinnäytetyötä. Työn tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan Fortum Power and Heat Oy:n käyttöön laskentatyökalu, jolla arvioitaisiin pystyakselisten Kaplan- ja Francis-vesiturbiinien johtosolukevuotojen määrää. Laskennan haluttiin perustuvan johtosolukkeille tehtäviin vällymittauksiin. Työn taustalla olivat nykyiseen käytössä olevaan vuodon määrittämenetelmään liittyvät haasteellisuudet.

Johtosolukkeet säätävät Kaplan- ja Francis-vesiturbiineissa juoksupyörälle menevän veden määrää. Turbiinin ollessa pysähtyneenä, johtosolukkeet ovat suljettuina, jolloin ne pyrkivät pitämään veden varastoituna turbiinin yläpuolella. Suljettujen johtosolukkeiden läpi aiheutuu kuitenkin vuotoa johtosolukkeiden vällyksistä, jota kutsutaan johtosolukevuodoksi.



Kuva uusien johtosolukkeiden asentamisvaiheesta

Johtosolukevuodon mittaamisessa on tällä hetkellä käytössä menetelmä, joka perustuu turbiinin tuloputkenluukkujen hyödyntämiseen.

Johtosolukkeiden kunnonseuranta

Johtosolukkeiden kuntoa seurataan koneistotarkastuksissa, joissa yhtenä tarkastustoimenpiteenä on johtosolukkeiden vällysten tarkastaminen. Vällymittaukset tehdään suljetuille johtosolukkeille, joista tarkastetaan jokaisen solukkeen aksiaalinen välly sekä sen ylä- että alapuolelta ja vastaavasti radiaalinen välly sulkeutuvien solukkeiden pystysaumoista. Vällykset ovat osittain välttämättömiä johtosolukkeiden normaalin toiminnan edellyttämiseksi, mutta vällykset voivat myös kasvaa johtosolukkeiden säätöjärjestelmän erilaisten ongelmien takia. Vällykset ovat suuruusluokaltaan varsin pieniä, yleensä vain muutamia millimetrejä. [1]

Johtosolukkeiden vällykset ovat joka tapauksessa hyvin merkittäviä johtosolukevuodon kannalta. Vällysten kasvaessa myös vuodon määrä kasvaa ja samalla menetetään yhä enemmän varastoitua sähköenergiaa. Tästä syystä johtosolukevuoto heikentää turbiinin kokonaishyötysuhdetta ja aiheuttaa taloudellisia menetyksiä sähköntuotannolle.

Mittaus tuloputkenluukkaa hyödyntäen

Johtosolukevuodon mittaamisessa on tällä hetkellä käytössä menetelmä, joka perustuu turbiinin tuloputkenluukkujen hyödyntämiseen. Tuloputkenluukkujen pääasiallinen tehtävä on sulkea yläpuoliset vesitiet huoltotilanteita varten ja näin ollen estää veden pääsy tuloputkeen. Vuodonmittauksessa luukkujen avulla rajataan mittausalue tuloputkenluukkujen sekä johtosolukkeiden välille. Ennen mittausa suljetaan johtosolukkeet, jonka jälkeen lasketaan tuloputkenluukut. Luukkujen laskeuduttua alueelle ei tule enää lisää vettä ja toisaalta vesi pystyy katoamaan ainoastaan johtosolukkeiden vällyksien läpi. Mittauksessa määritetään siis aikaan perustuen vuotaneen veden määrä ja sitä kautta saadaan selville keskimääräinen johtosolukevuoto, kun turbiini ei ole käytössä. [2]



Jylhämän vesivoimalaitoksen luukkusali ja sen tuloputken luukut

Tämän mittausmenetelmän toteuttaminen ei ole kuitenkaan mahdollista aivan jokaisessa vesivoimalaitoksessa, sillä rakenteellisista eroavaisuuksista johtuen kaikissa ei ole tavanomaisia

tuloputkenluukkuja, vaan vesiteiden yläpuolinen sulku kasataan erillisistä palkkirakenteista. Suurimmat haasteet menetelmää käytettäessä liittyvät kuitenkin tuloputkenluukun tiivisteisiin, jotka voivat huonokuntoisina vuotaa lisää vettä mittaussuorituksen aikana ja siten virheellistä sen lopputulosta. Tiivistevuotojen määrää on haastavaa arvioida, eikä siitä johtuen mitattuun tulokseen voida aina täysin luottaa.

Laskentatyökalun kehitys johtosolukevuodon arviointiin

Opinnäytetyön tavoitteena oli mahdollistaa johtosolukevuodon määrittäminen uudella menetelmällä välysmittauksien tuloksiin perustuen. Veden vuotaminen välyksistä johtuu solukkeiden ympärillä vallitsevasta paine-erosta, jonka aiheuttaa johtosolukkeiden yläpuolinen vesivarasto. Vuotojen laskennassa hyödynnetään keskeisenä osana yleisesti virtaustekniikassa käytettävää Bernoullin yhtälöä sen painemuodossaan. Tässä yhtälössä fluidin virtaus oletetaan täysin kitkattomaksi, jolloin laskennasta saadaan hyvinkin yksinkertainen. Yhtälöllä saadaan lopulta määritetyksi veden virtausnopeus välyksistä. [3]

Välysmittauksen tuloksilla sekä johtosolukkeiden päämitoilla määritetään välysten muodostama pinta-ala, josta vesi pääsee vuotamaan. Johtosolukkeen mitat saadaan määritettyä paikan päällä välysmittausten yhteydessä tai tarkastamalla ne vastaavasti piirustuksista. Bernoullin yhtälöllä määritetyn virtausnopeuden sekä välyksien muodostamien pinta-alojen perusteella saadaan selville virtaama eli vuoto jokaisen välyksen läpi. Vuodon kokonaismäärä saadaan, kun lasketaan yhteen jokaisen välyksen aiheuttama vuoto.

Laskentatyökalu kehitettiin Microsoft Exceliin, jonne sijoitetaan vaaditut lähtötiedot. Exceliin tehdyt taulukot suorittavat laskennan lähtötiedoilla ja antavat lopputuloksena vuodon määrän. Seuraavassa kuvassa esitetään työkalun Results - välilehti, joka kokoaa vuotojen lopputulokset. Esimerkkinä näytetään Nuojuan ensimmäisen turbiinin johtosolukevuodon määrittämisen lopputulokset.

	A	B	C
1	Results of Guide vane leakage based on clearance measurements		
2			
3	Power plant	Nuojuu	
4	Unit	G1	
5	Measured leakage	188	l/s
6			
7	Upper clearances	20	l/s
8	Lower clearances	174	l/s
9	Sealing strip/Vertical clearances	9	l/s
10			
11	Total leakage	203	l/s
12	Proportion from the rated flow	0,14	%

Laskentatyökalun Input - välilehti sisältäen laskennan lopputulokset

Nuojuan voimalaitoksen ensimmäisen turbiinin laskentatyökalulla määritetty johtosolukevuoto oli 203 litraa sekunnissa ja sen osuus turbiinin nimellisvirtauksesta oli 0,14 %.

Lopputulokset

Laskentatyökalua käytettiin johtosolukevuotojen määrittämiseen yhteensä 26 turbiinista. Määrittämisessä hyödynnettiin aiempina vuosina tehtyjä välysmittauksia sekä turbiinien tarkkoja lähtötietoja, jotta laskennoista saatiin mahdollisimman luotettavia. Saatuja lopputuloksia arvioitiin tämän lisäksi sillä perusteella, kuinka paljon laskettu johtosolukevuoto aiheuttaa taloudellista tappiota vuositasolla.

Työn yhteydessä vertailtiin tuloksia, joita on saatu määrittäessä vuoto sekä tuloputkenluukulla että uudella laskentatyökalulla. Vertailuun otettiin vain ne turbiinit, joiden tulokset luukuilla määritetyistä vuodoista olivat riittävän luotettavia. Keskimäärin laskentatyökalulla saatiin noin 5-20 % suurempia tuloksia kuin mitä luukun avulla mitatut vuodot olivat. Tulosten eroavaisuutta selittävät osittain laskennan perusteissa tehdyt yksinkertaistukset, mutta myös tuloputkenluukun menetelmän ongelmalliset tiivistevuodot, joita tapahtuu lähes aina edes jossain määrin. Vertailuun perustuen laskentatyökalun katsottiin olevan riittävän tarkka ja toimiva menetelmä vuotojen arviointiin.

Toimeksiantaja tulee hyödyntämään työssä saatua vuodon määritysten lopputuloksia mahdollisissa jatkotoimenpiteissä sekä seurannassa. Lisäksi työssä tuotettu laskentatyökalu otetaan todelliseen käyttöön sekä Suomen että Ruotsin vesivoimassa koneistotarkastusten yhteyteen uutena johtosolukevuodon määrittämenetelmänä.

Lähteet

[1] IEC 62256. 2017. ED2. Hydraulic turbines, storage pumps and pump turbines. Rehabilitation and performance improvement. International Electrotechnical Commission, IEC.

[2] Science Direct. Waterway. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/waterway>. Hakupäivä 21.12.2020.

[3] Ylikunnari, Jukka 2015. Virtaustekniikan opintomoniste. Oulu: Oulun Ammattikorkeakoulu