

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Väinö Kosonen

OVENSULKIMEN TOLERANSSIN TARKASTELU JA KEHITYS

Opinnäytetyö
Elokuu 2021



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2021
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Väinö Kosonen

Nimeke
Ovensulkimen toleranssin tarkastelu ja kehitys

Toimeksiantaja
Yritys X

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli ovensulkimen toleranssien tutkiminen ja kehitys. Tarkemmin keskityttiin ovensulkimen rungon ja männän väliseen sovitteeseen. Tavoitteena oli selvittää teoreettinen mallinnustapa ohivuodolle sekä suorittaa tiivistemännällisen prototyypin testausta ja tuloksien vertailua.

Opinnäytetyön alussa keskityttiin ohivuodon teoreettiseen mallintamiseen ja syy-seuraussuhteiden tutkimiseen. Opinnäytetyön toiminnallisessa vaiheessa suoritettiin teoreettisen tutkimuksen pohjalta prototyypitestejä ja verrattiin saatuja tuloksia tuotannossa olevaan ovensuljinmalliin. Opinnäytetyössä keskityttiin myös tuotannon laadun varmistukseen ja mittatarkkuuteen.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin teoreettinen pohja ohivuodon mallintamiselle ja todennettua tuotannon kyky laadunhallintaan. Opinnäytetyön tuloksena voidaan todeta tuotannon mittatarkkuuden olevan hyväksyttävä ja teoreettisen mallinnuspohjan oikeanlainen toiminta.

Kieli
suomi

Sivuja 33
Liitteet 0
Liitesivumäärä 0

Asiasanat
Ovensuljin, hydraulikka, tuotekehitys, toleranssi



THESIS
August 2021
Degree Programme in mechanical engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Väinö Kosonen

Title
Examination and development of door closer tolerance

Commissioned by
Commissioner x

Abstract

The topic of this thesis was the research and development of door closer tolerances. More specifically, the focus was on the backlash between the door closer body and the piston. The aim was to find out the theoretical modeling method for leak-off and to perform testing of a sealing ring piston prototype and comparison of the results.

At the beginning of the thesis, the focus was on the theoretical modeling of bypass and the study of cause-and-effect relationships. In the functional phase of the thesis, prototype tests were performed on the basis of theoretical research and the obtained results were compared with the door closer model in production. The thesis also focused on production quality assurance and dimensional accuracy.

As a result of the thesis, a theoretical basis for bypass modeling and the ability of production to control quality was verified. In the results of the thesis, it can be stated that the accuracy of the production is acceptable to ensure quality, as well as the correct operation of the theoretical model for bypass modeling.

Language
Finnish

Pages 33
Appendices 0
Pages of Appendices 0

Keywords
Door closer, Hydraulics, product development, tolerance

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Opinnäytetyön tietoperusta	6
2.1	Ovensuljin	6
2.2	Ovensulkimen kehityskaari	7
2.3	Hydraulisen ovensulkimen rakenne	8
2.4	Ovensulkimien luokittelu SFS-EN 1154 standardin mukaan.....	10
2.5	Yleistä hydrauliteknikasta.....	13
2.6	Hydrodynamiikka	14
2.7	Mittaepävarmuus	17
3	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät	18
4	Toiminnallinen vaihe	21
4.1	Painetestaus	21
4.2	Gage R&R	22
4.3	Prototyypisuljin.....	24
5	Tulokset	26
5.1	Gage R&R	26
5.2	Painetestaus ja Prototyypisuljin	28
6	Pohdinta.....	31
	Lähteet.....	33

1 Johdanto

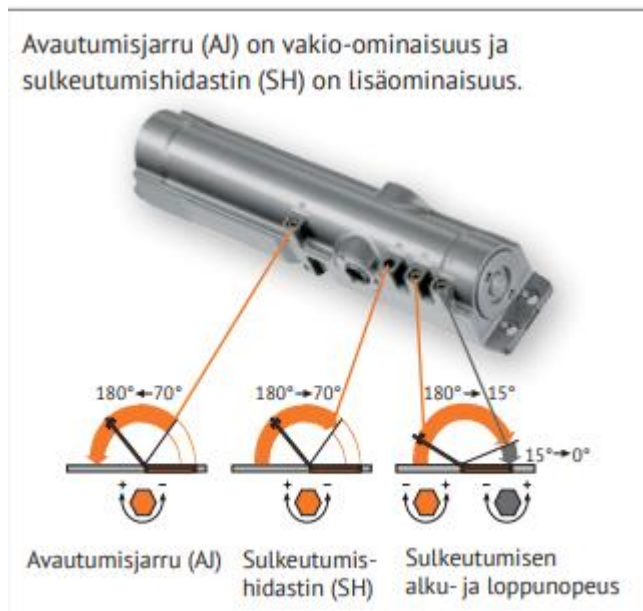
Tässä työssä perehdytään ovensulkimen valmistuksessa käytettäviin toleransseihin. Ovensuljin on laite, joka varastoi oven aukaisuun käytetyn energian mekaaniseksi energiaksi ja vapauttaa energian oven sulkeutuessa. Ovensulkimiin liittyy myös mahdollisuus hallita, miten ja milloin ovi sulkeutuu. Työssä perehdytään ovensulkimen valmistukseen, laadunhallintaan ja testaukseen. Työssä myös perehdytään ovensulkimen sisäisten nestevirtojen teoreettiseen mallintamiseen ja suunnitteluun.

Opinnäytetyössä keskitytään ovensulkimen rungon ja männän väliseen tolerointiin ja sovitteeseen. Ongelmana nykytilassa on hallitsematon ohivuoto, joka johtaa ovensulkimen vialliseen toimintaan ja sulkimen hylkäämiseen tuotannossa. Opinnäytetyössä luotiin teoreettinen mallinnuspohja nesteen käyttäytymiselle ovensulkimen rungon/männän välille ja testattiin kyseisellä mallinnuspohjalla luotua prototyyppiä tuotantoversioon ovensulkimien käytönaikaisten paine-erojen avulla. Teoreettisen mallispohjan oikeaan toimimiseen tarvittiin tutkimus tuotannon laaduntuottokyvystä, joka todennettiin Gage R&R -tutkimuksella tuotannon käyttämään mittausprosessiin.

2 Opinnäytetyön tietoperusta

2.1 Ovensuljin

Ovensuljin on laite, joka sulkee oven mekaanisesti sen avaamisen jälkeen. Ovensuljin, eli ovipumppu, varmistaa oven avauksen ja sulkemisen hallinnan ilman virtalähdettä. (Abloy Oy 2021) Ovensulkimen toimintaperiaate perustuu sulkimen sisällä olevaan jouseen, joka oven avautuessa jännittyy ja sulkeutessa vapauttaa tarvittavan energia oven sulkemiseksi. Venttiileillä saadaan säädettyä sulkimen sisällä olevan öljyn liikettä, mikä vaikuttaa oven sulkeutumiseen ja avautumiseen. (Abloy Oy 2017)



Kuva 1. Abloy DC240 ovensulkimen liikkeiden säätömahdollisuudet (Abloy Oy 2017)

Yleisimmät säätömahdollisuudet ovensulkimessa ovat sulkeutumisenopeus alueella 180–15 astetta ja sulkeutumisen loppunopeus alueella 15–0 astetta sekä

avautumisjarru eli AJ. Avautumisjarrun alue alkaa normaalisti oven avauskulmalla 70–80 astetta. Valinnainen hallintatapa on sulkeutumishidastettu ovensulkijin, eli SH, joka hidastaa oven sulkeutumista esimerkiksi avautumiskulmaan 70 asti, sekä AJ- ja SH-ovensulkimien vaikutusasteita voidaan säätää ovensulkimien asennuspaikkaa muuttamalla. (Abloy Oy 2017)

2.2 Ovensulkimen kehityskaari

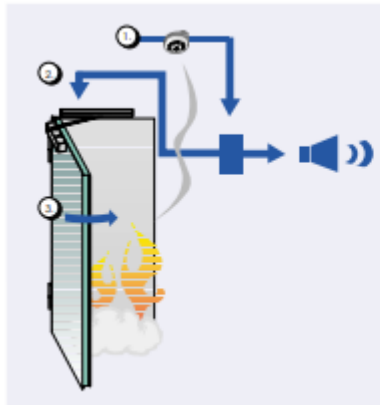
Ensimmäiset ovensulkimet (kuva 2) kehitettiin Lontoossa vuonna 1770. Ovensulkimen ensimmäiset versiot olivat ovijousia. Kyseisissä sulkimissa ei ollut säätömahdollisuutta. Ongelma ensimmäisissä ovensulkimissa oli oven hallitsematon sulkeutumisnopeus, joka teki sulkimista jopa vaarallisia. Ovensulkimet olivat nykyaikaisista versioista poiketen lattia-asenteisia, mikä altisti sulkimet epäpuhtauksille. (Heleh 2021)



Kuva 2. ensimmäisiä lattia-asenteisia ovensulkimia. (Heleh 2021)

Toisen sukupolven ovensulkimiin kehitettiin oven sulkeutumisen nopeuden säätömahdollisuus. William Bullock ja James Boatz patentoivat vuonna 1813 ovensulkimen, joka hidasti oven sulkeutumista sen avaamisen jälkeen. Ensimmäiset sulkeutumista hidastavat ovensulkimet olivat pneumaattisia ja myöhemmin hydraulisia järjestelmiä. (Midlands Floor Springs Limited 2019)

Kolmannen sukupolven ovensulkimet ovat sähkömekaanisia. Sähkömekaanisia ovensulkimia hyödynnetään esimerkiksi palosulkujärjestelmissä. Sähköisellä ohjauksella voidaan vapauttaa aukipitolaite, kun savunilmaisin havaitsee tulipalon (kuva 3).



Kaaviokuva palosulkujärjestelmän toiminnasta:

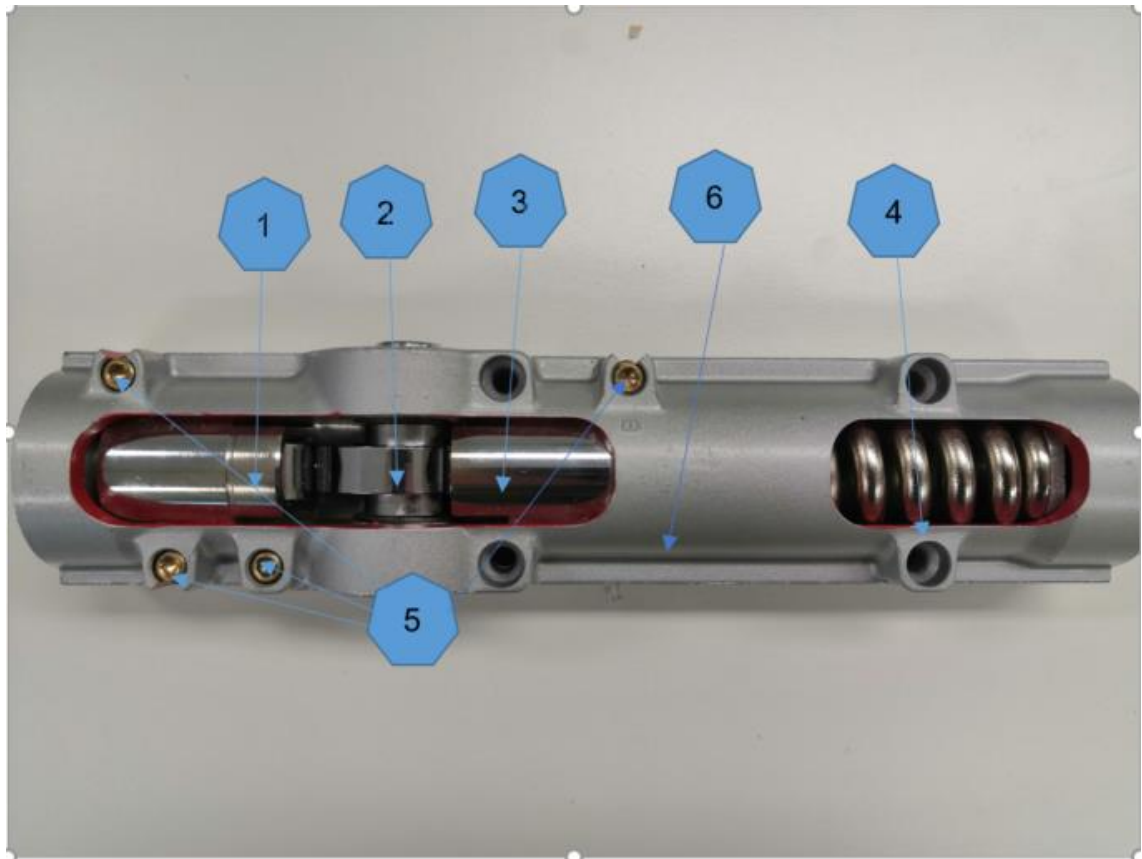
Savunilmaisin (1) reagoi alkavaan tulipaloon ja antaa hälytysimpulssin ovea avoimena pitävälle aukipitolaiteelle (2). Aukipitolaite vapauttaa oven toiminnan ja ovensuljin (3) sulkee oven nopeasti. Lukko salpaa oven.

Kuva 3. Sähkömekaanisen ovensulkimen toimintaperiaate (Abloy Oy 2021)

Sähkömekaanisilla sulkimilla voidaan myös lisätä turvallisuutta. Kun halutaan varmistaa oven sulkeutuminen esimerkiksi tietyssä kellonajassa, voidaan aukipitolaite vapauttaa sähköisesti. (Abloy Oy 2021)

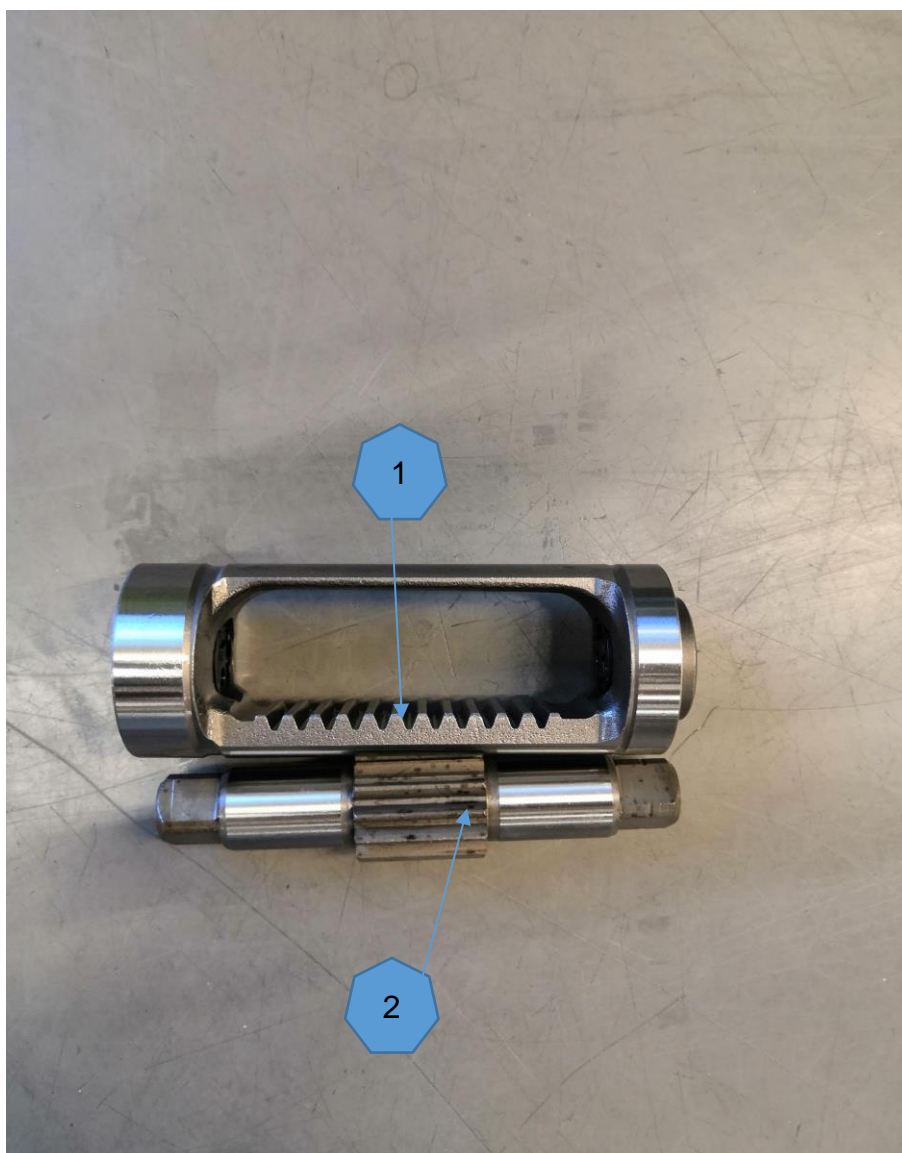
2.3 Hydraulisen ovensulkimen rakenne

Ovensuljin on laite, joka koostuu useasta eri komponentista. Käsitellään ovensulkimen toimintaa DC700-mallin ovensulkimella (kuva 4). Kyseisen ovensulkimen toiminta perustuu nokka-akseliin.



Kuva 4. DC700 oven suljin. 1. Etumäntä, 2. Nokka-akseli, 3. Takamäntä, 4. Jousi, 5. Säättöruuvit ja 6. Runko (Kuva: Väinö Kosonen).

DC700-ovensuljin tyyppin rungon sisällä on nokka-akseli (2), joka siirtää oven avaamisesta syntyvän liikkeen nokka-akselin pyörimisliikkeeksi. Nokan muodosta johtuen kääntyessään nokka painaa takamäntää (3), jolloin jousi puristuu kasaan. Oven avaukseen tarvittava voima vähenee, mitä enemmän ovi aukeaa. Oven sulkeutuessa nokka-akseli pyörii vastakkaiseen suuntaan, jolloin nokan vaikutus siirtyy etumäntään (1). Etumännän liikkeessä oven aukaisuvaiheessa oikealle etumännän tilaan siirtyy hydraulikka öljyä yksisuuntaisen venttiilin kautta, joka on sijoitettu etumännän sisään. Oven sulkeutuessa nokka-akseli painaa etumäntää kuvassa vasemmalle, jolloin öljyn pitää siirtyä öljykanavia pitkin pois etumännän tilasta. Öljyn virtausta rajoitetaan säättöruuveilla (5), jolloin saadaan säädettyä esimerkiksi oven sulkeutumisenopeutta. Yritys x valmistaa kahta erilaista oven suljintyyppiä, jotka ovat edellä käsiteltyä nokka-akselisuljinta, sekä hammasakselisuljinta (kuva 3), jossa hammasakseli liikuttaa mäntää oven suljimen rungon sisällä.



Kuva 5. Hammasakseli ovensulkimen mäntä 1. ja hammasakseli 2 (Kuva:Väinö Kosonen).

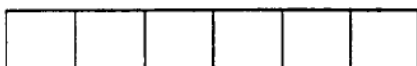
2.4 Ovensulkimien luokittelu SFS-EN 1154 standardin mukaan

Standardi SFS-EN 1154 määrittelee vaatimukset mekaanisille laitteille, jotka sulkevat oven sen avautumisesta syntyneellä energialla. Standardin mukaan valmistettuja, suunniteltuja ja testattuja mekaanisia ovensulkimia suositellaan käytettäväksi ovissa, joissa tarvitaan oven sulkeutumisen tai aukaisun hallintaa. Standardissa ei käsitellä palosulkujärjestelmiä tai sähköisiä ovensulkimia. (SFS-EN 1154 1997, 3–4.)

Standardi SFS-EN 1154 määrittelee mekaanisten ovensuljinlaitteiden toiminnallisen luokittelun. Ovensulkimet määritellään kuuden numeron luokittelupohjalla (kuva 4.). (SFS-EN 1154 1997, 3–4.)

4.1 General

For the purposes of this standard, door closers shall be classified according to the following 6 digit coding system :



Kuva 6. Standardin määrittelevä Ovensulkimen luokittelupohja (SFS-EN 1154 1997, 7).

Luokittelupohjan ensimmäisellä numerolla luokitellaan ovensulkimet mahdollisen sulkemiskulman mukaan. Sulkeutumiskulmia ovat: luokka 3 vähintään 105 astetta auki ja luokka 4 180 astetta auki. Luokassa 4 on huomautus, jossa oletetaan käytettävän ovensulkimen valmistajan määrittelemää asennustapaa (SFS-EN 1154 1997, 7.).

Luokittelupohjan toisella numerolla määritellään kuinka monta sykliä ovensulkimen pitää kestää siten, että testin jälkeen ovensuljin kykenee sulkemaan oven 90 asteen aukiolokulmasta kiinni. Luokituksia on vain yksi, luokka kahdeksan, joka on 500 000 sykliä (SFS-EN 1154 1997, 7).

Luokituspohjan kohdassa kolme määritellään ovensulkimen syklitestissä käytettävän oven massa. Massa määritellään taulukon 1 mukaan. Samaisessa taulukossa määritellään myös sulkimilta vaaditut voimat tietyillä avauskulmilla sekä hyötysuhde tietyille voimaluokalle. Luokituksen kohtaan kolme merkitään minimi- ja maksimivoimaluokka (SFS-EN 1154 1997, 9.).

Door closer power size	Recommended door leaf width mm max.	Test door mass kg	Closing moment				Opening moment between 0° and 60° Nm max.	Door closer efficiency between 0° and 4° % min.
			between 0° und 4°		between 88° und 92°	any other angle of opening		
			Nm min.	Nm max.	Nm min.	Nm min.		
1	< 750	20	9	< 13	3	2	26	50
2	850	40	13	< 18	4	3	36	50
3	950	60	18	< 26	6	4	47	55
4	1100	80	26	< 37	9	6	62	60
5	1250	100	37	< 54	12	8	83	65
6	1400	120	54	< 87	18	11	134	65
7	1600	160	87	< 140	29	18	215	65

NOTE 1 : Where the actual size and mass of door to which the door closer is to be fitted relates to two sizes of door closers, the larger power size of door closer should be used.

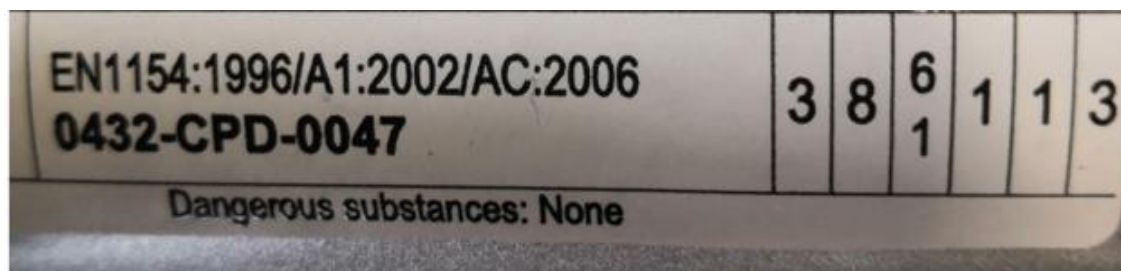
NOTE 2 : The door widths given are for standard installations. in the case of unusually high or heavy doors, windy or draughty conditions, or special installations, a larger power size of door closer should be used.

Taulukko 1. Ovensuljinten testaukseen käytettävän oven massan ja koon määrittämiseen käytettävä taulukko (SFS-EN 1154 1997, 9).

Luokituspohjan kohdassa neljä määritellään ovensulkimien sopivuus tuli/savusulussa. Kohdassa neljä on kaksi eri luokkaa. Ensimmäinen luokka on nolla, joka ei ole soveltuva tuli/savu sulkuihin. Toinen luokka on yksi, joka soveltuu tuli/savu sulkuihin. Luokan yksi ovensulkimille määritellään lisäkritterit standardissa prEN 1634-1. (SFS-EN 1154 1997, 8.)

Luokittelun viides numero on ovensulkimen turvallisuusluokka. Standardissa määritellään, että kaikkien ovipumppujen on täytettävä yleiset turvallisuusmääräykset. Viidennessä luokassa on vain yksi määritelmä: numero 1, joka kertoo sulkimen täyttävän turvallisuusmääräykset. (SFS-EN 1154 1997, 8.)

Luokittelun kuudes ja viimeinen luokittelu on korroosion kestävyys. Luokkia on nollasta numeroon viisi (SFS-EN 1154 1997, 8).



Kuva 7. Ovensulkimen DC250 luokitustarra (Kuva: Väinö Kosonen).

2.5 Yleistä hydraulitekniikasta

Hydraulitekniikassa käsitellään erilaisia hydraulijärjestelmiä. Hydraulijärjestelmä on kokonaisuus, joka muuntaa mekaanisen liikkeen energiaksi ja varastoi sen hydrauliiKANESTEeseen paineena ja virtauksena. (Kauranen 2013,1)

Hydraulijärjestelmien etuja ovat komponenttien koot, jotka mahdollistavat suuren tehomäärän siirron verrattaessa komponenttien kokoon. Hydraulisten tehonsiirtojärjestelmien suunnittelu on myös huomattavasti vapaampaa, koska teho siirretään letkuja tai putkia pitkin. (Kauranen 2013,1)

Hydraulijärjestelmien suunnittelussa pitää ottaa huomioon järjestelmän heikko hyötysuhde, lämpötilan vaikutus välittäjäaineeseen ja sen likaavuus. Välittäjäaineena käytetyt nesteet ovat osaksi myös palavia aineita. HydrauliiKalla ei kannata siirtää tehoa pitkiä matkoja, koska tehonsiirtohäviöt nousevat korkeiksi. (Kauranen 2013,1-2)

Kriteeri	Hydraulinen	Mekaaninen	Sähköinen
Teho-painosuhte	hyvä	hyvä	huono
Säädettävyys	hyvä	huono	hyvä
Hyötysuhde	kohtalainen	hyvä	kohtalainen
Turvallisuus	Kaikki tehosiirtotavat hyvin samanarvoisia		
Rakenteen muunneltavuus	hyvä	huono	erittäin hyvä
Kustannukset	riippuvat suudesti säädettävyysasteesta		

Taulukko 2. Tehosiirtotapojen vertailua (Kauranen 2013, 2).

2.6 Hydrodynamiikka

Hydrodynamiikka on mekaniikan ala, jossa tutkitaan nesteiden virtausta. Toisin kuin hydrostatiikassa, hydrodynamiikassa käsitellään nesteiden liikettä massan, kitkan ja kokoonpuristumisen huomioiden. Nämä edellä mainitut hydrodynamiikassa tarkasteltavat muuttujat aiheuttavat järjestelmässä ilmenevät paine-erot. (Kauranen 2013, 23.)

Hydrodynamiikan avulla saamme myös mallinnettua ovensulkimen sisällä tapahtuvaa öljyn virtausta. Ovensulkimen männän ja rungon välistä ohivuotoa voidaan mallintaa kaavalla 1.

$$qv = \frac{\pi \times d \times h^3}{12 \times n \times l} \times \left[1 + 1,5 \times \left(\frac{e}{h} \right)^2 \right] \times (p_1 - p_2) \quad (1)$$

missä qv = tilavuusvirta

d = virtauskanavan ulkohalkaisija

h = raon korkeus

n = nesteen dynaaminen viskositeetti

l = raon pituus

p_1 = paine raon alkupäässä

p_2 = paine raon loppupäässä

e = eksentrisyys

Kaavasta 1 saadaan ohivuodon sekunneissa.

Nesteen sisäinen kitka, eli viskositeetti, aiheuttaa nesteelle sen sitkeyden. Nesteen virratessa ja kohdatessa ulkoisen kiinteän pinnan syntyy ulkoista kitkaa.

Ulkoinen kitka aiheuttaa nesteen virtauksen jakautumisen. Virtaus on sitä nopeampaa mitä kauempana virtaus on kiinteästä kappaleesta (Kauranen 2013, 23.)

Dynaaminen viskositeetti määritellään seuraavasti kaavassa 2

$$n = v \times \rho \quad (2)$$

missä n = dynaaminen viskositeetti

v = kinemaattinen viskositeetti tietyssä lämpötilassa

ρ = tiheys tietyssä lämpötilassa

Nesteen valmistaja ilmoittaa kinemaattisen viskositeetin yleensä +40 C:ssa ja +100 C:ssa, kun tiedetään kinemaattinen viskositeetti kahdessa eri lämpötilassa, voidaan viskositeetti laskea kaavalla 3

$$e^{e^{y_1 - \left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right) \times (x_1 - x_3)}} - 0,7 \quad (3)$$

Missä e = Neperinluku

$$y_1 = (\log(\log(v_1 + 0,7)))$$

v_1 = kinemaattinen viskositeetti lämpötilassa \emptyset_1

$$y_2 = (\log(\log(v_2)))$$

v_2 = kinemaattinen viskositeetti lämpötilassa \emptyset_2

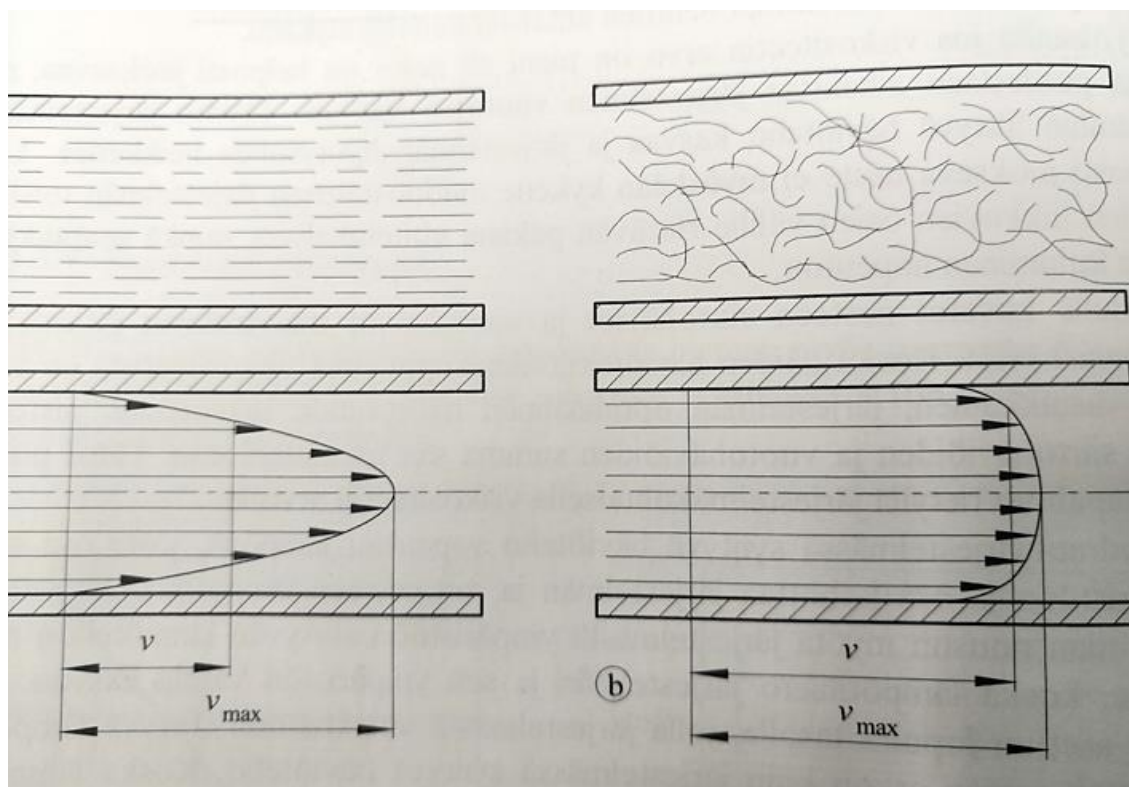
$$x_1 = \log(\emptyset_1)$$

\emptyset_1 = lämpötila 1

$$x_2 = \log(\emptyset_2)$$

\emptyset_2 = lämpötila 2

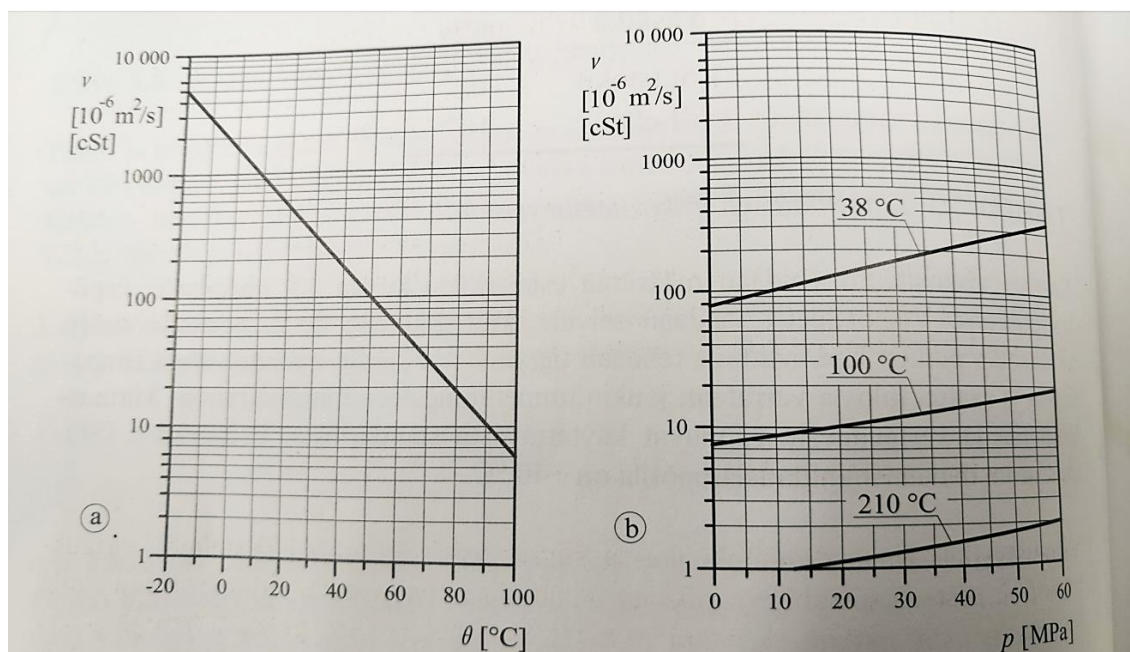
x_3 = lämpötila, jota vastaan halutaan ratkaista kinemaattinen viskositeetti



Kuvio 1. Ulkoisen kitkan vaikutus nesteen virtausnopeuteen (Kauranen 2013, 28).

”Voiman vaikutus levossa olevaan nesteeseen leviää tasaisesti kaikkiin suuntiin nesteen sisällä. Vallitsevan paineen suuruus nesteessä riippuu vaikuttavasta voimasta ja sen vaikutus pinta-alasta. Paine vaikuttaa kohtisuoraan säiliön seinämiä vastaan.” (Kauranen 2013, 13.) Paine vaikuttaa nesteen viskositeettiin, eli paineen kasvaessa nesteen viskositeetti kasvaa. Nesteen viskositeetin muutos on pieni alle 40Mpa paineilla, jolloin sitä ei yleensä huomioida. (Kauranen 2013, 26.)

Lämpötila vaikuttaa viskositeettiin huomattavasti: lämpötilan noustessa nesteen viskositeetti laskee. Lämpötilan vaikutus viskositeettiin huomattavasti suurempi kuin paineen vaikutus viskositeettiin (kuva 9). (Kauranen 2013, 26.)

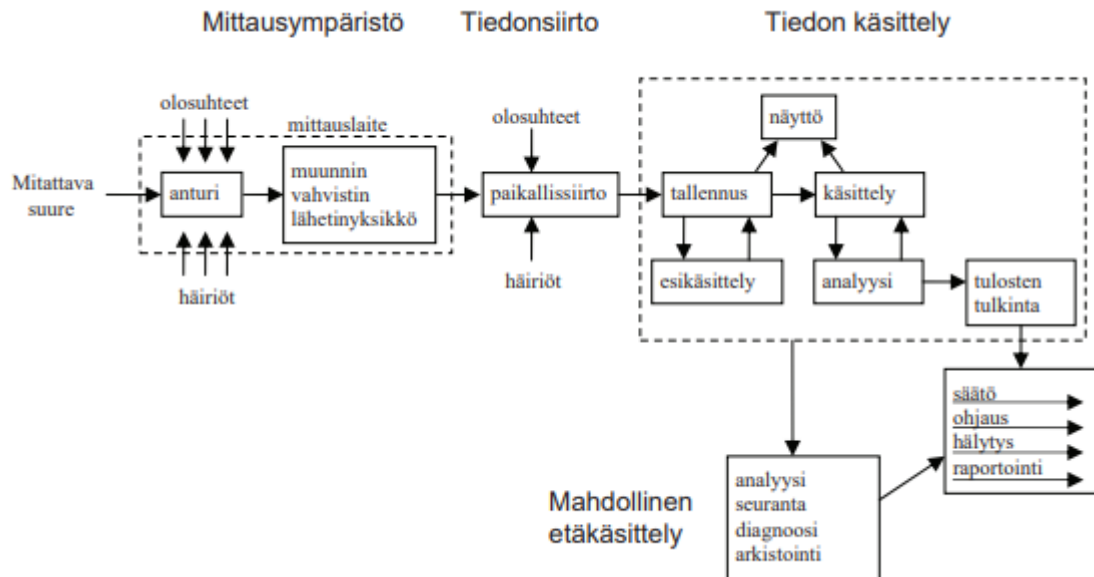


Kuva 8. Lämpötilan (a) ja paineen vaikutus viskositeettiin (b). (Kauranen 2013, 26.)

2.7 Mittaepävarmuus

Tuotannon laatua selvittäessä on tärkeää tuntea mittauksen epävarmuus. Mittausepävarmuus kuvaa tiettyjen mittojen oletettua vaihtelua. Ennen mittaustuloksien analysointia täytyy mittaausepävarmuus olla tiedossa käytetyllä mittauslaitteella. (Peuranen, Esala 2020.)

Mittaepävarmuuteen vaikuttaa monet tekijät. Mittalaitteessa kyseisiä tekijöitä ovat kalibrointi, lineaarisuus ja resoluutio. Mittaukseen vaikuttavat myös mittausolosuhteet. Näistä suurimmat ovat lämpötila, paine ja kosteus. Mittaaja vaikuttaa epävarmuuteen eniten analogisissa mittalaitteissa esimerkiksi mikrometrillä mitattaessa. Analogisessa mittauksessa mittarin asento, lukematarkkuus ja alkuasetukset vaikuttavat eniten mittauksen epävarmuuteen. Mitattavan kappaleen ominaisuudet kuormitus, stabiilius ja mittarin vaikutus kappaleeseen ovat keskeisiä ominaisuuksia epävarmuuden selvittämiseksi. (Hiltunen ym. 2011, 34.)



Kuvio 2. Kaavio mittausjärjestelmän rakenteesta (Hiltunen ym. 2011, 34.)

Mittausepävarmuutta on kahdenlaista (kuvio 2). Tyypin A epävarmuus on tilastollisesti määriteltävissä oleva epävarmuus. Tyypin B epävarmuutta ei voida määrittää tilastollisesti. Kyseiset mittaheitot voidaan saada kalibrointitodistuksesta tai laitevalmistajan määrittelemästä mittaepätarkkuudesta. Tyypin A mittaepävarmuutta voidaan mallintaa Gage R&R-tutkimuksella, jossa keskiarvon keskihajonta kuvaa mittaepävarmuutta. (Hiltunen ym. 2011, 38.)

3 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät

Opinnäytetyössä on tarkoitus mallintaa ovensulkimen sisäisiä nestevirtoja. Keskeiseksi ongelmaksi on määritetty etumännän ohi virtaava hydrauliohivirta. Ohivuoto estää ovensulkimen oikeaa toimintaa, joka johtaa tuotannossa kappaleiden hylkäykseen.

Hydrauliohivirtauksen mallintamiseen tarvittavat tiedot määritellään kaavassa 1. Jotta ohivirtausta voidaan mallintaa, pitää selvittää ovensulkimen sisällä olevia paine-eroja käytön aikana. Painetestaus kohdistetaan ovensulkimen

etumännän ja nokka-akselin tilaan. Painetestaus suoritetaan testioivessa suurimmalla mahdollisella voimasäädöllä, johon ovensuljin on luokiteltu standardin SFS-EN 1154 mukaan. Painetesteissä käytetään kahta samanlaista ovensuljinta, molemmista sulkimista testataan sekä nokan, että männäntilan painevaihtelut käytön aikana. Testeissä käytettyjen sulkimien laatu todennetaan koordinaattimittakoneella mitaten, joiden tuloksista saamme tarvittavat tiedot kaavan 1 käyttöön.

Testeissä ja tuotannossa käytettävien kappaleiden laatua todennetaan koordinaattimittakoneella. Mittakoneella on oma mittaohjelma jokaiselle runkotyypille, jolla koneistajat tarkkailevat mittavaihtelua tuotannossa. Opinnäytetyössä käytettävät ovensulkimet ja prototyypirungot mitataan samalla mittaohjelmalla, jolla koneistajat mittaavat kappaleensa. Yksikään mittauslaite ei ole absoluuttisen tarkka ja mittaustuloksissa tapahtuu vaihtelua. Mittaepävarmuutta on kahden tyyppistä, A- ja B-tyyppiä. A-tyypin epävarmuus on tilastollisesti selvitettävissä ja B-tyyppi on valmistajan ilmoittama epätarkkuus. Koordinaattimittakoneelle, jota käytetään opinnäytetyössä, suoritetaan tilastollinen mittaepätarkkuuden määrittäminen Gage R&R tutkimuksella. Tutkimuksessa on kolme mittaajaa, kymmenen mittauskohdetta ja kolme toistoa per mittaaja. Mittaustuloksista saamme selville koneen tilastollisen epävarmuuden. Mittaepävarmuus otetaan huomioon ohivirtauksen mallinnuksessa.

A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1												#DIV/0!	
2												#DIV/0!	
3												#DIV/0!	
KA	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X _A	#DIV/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0	0,0000	R _A	0
A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1												#DIV/0!	
2												#DIV/0!	
3												#DIV/0!	
KA	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X _B	#DIV/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0	0	R _B	0
A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1												#DIV/0!	
2												#DIV/0!	
3												#DIV/0!	
KA	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X _C	#DIV/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0	0	R _C	0
Kappale keskiarvo	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	33,985	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X	#DIV/0!
X _{DIFF} =	#DIV/0!		UCL _R =	0		LCL _R =	0					R _p	#DIV/0!
												R	0

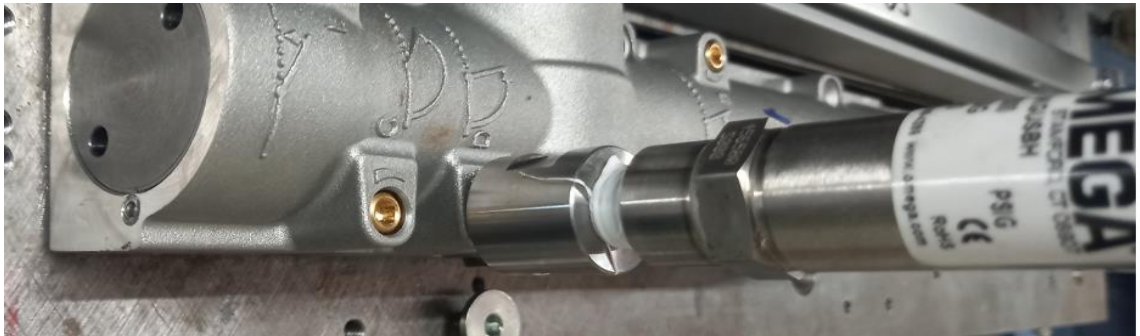
Kuva 9. Gage R&R tutkimuksen Excel-pohja. (Gage R&R 2021)

Teoreettisen ohivirtauksen mallinnuksesta saadut tutkimustiedot sovelletaan prototyyppirungon valmistuksessa. Prototyyppirunko poikkeaa tuotantoversiosta etumännässä olevalla tiivisteellä. Tiivisteellä on kolme vaikutusta männän liikkeeseen ja toimintaan. Tiiviste estää öljyn ohivuodon, keskittää männän sylinterin sisään ja estää kulumista. Suurin vaikutus ohivuotoon on männän eksentrisyydellä sylinterin sisällä. Kun eksentrisyys on suurin mahdollinen, on ohivuoto 2,5 suurempi kuin keskeisellä männällä. Nokka-akseli sulkimessa nokka aiheuttaa vääntöä etumäntään, joka pakottaa etumännän suunnasta riippuen sylinterin reunaan kiinni. Optimaalisin tilanne on saada tiiviste etumännän suulle, joka vähentäisi männän epäkeskisyyttä. Prototyyppisuljin altistetaan samoille paine sekä standarditesteille kuin tuotantoversio ja verrataan saatuja tuloksia tuotantomallin tuloksiin.

4 Toiminnallinen vaihe

4.1 Painetestaus

Painetestauksessa selvitetään ovensulkimen rungon sisäisiä paineita käytön aikana. Painetestaus suoritetaan standardin SFS-EN 1154 mukaisella testiovellalla 20 asteen lämpötilassa. Painetestauksessa anturi asetetaan ovensulkimen etumännän tilaan, sekä ovensulkimen D-venttiiliin, joka on yhteydessä nokan tilaan.

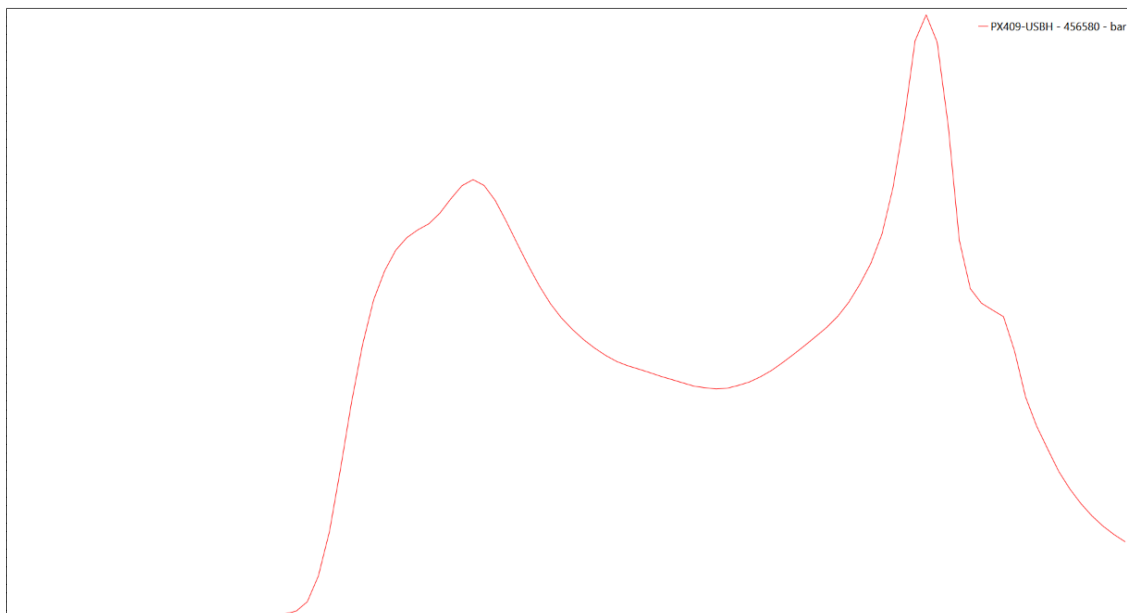


Kuva 10. Painetestaus nokantilasta (Kuva: Väinö Kosonen).

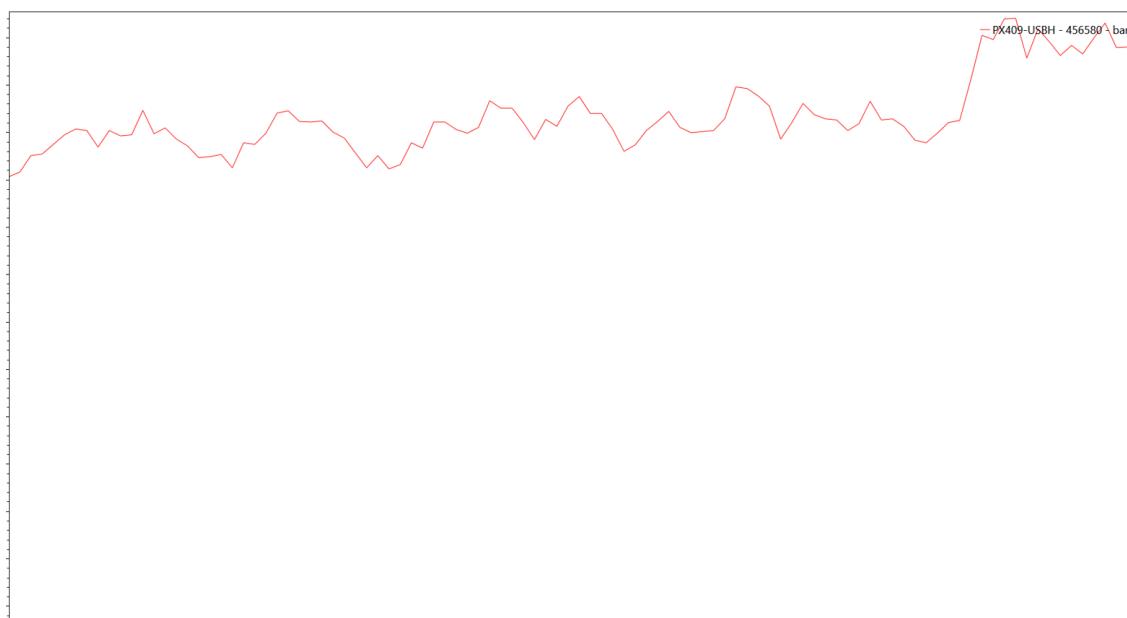


Kuva 11. Painetestaus etumännän tilasta (Kuva: Väinö Kosonen).

Käytön aikaisessa painetestauksessa ovensuljin säädettiin sulkemaan ovi 90 asteen kulmasta viidessä sekunnissa. Painetestaus suoritettiin kahdelle rungolle, molemmista rungoista mitattiin paineet nokan ja etumännän tilasta. Testin aikana paineanturi suoritti 10 mittausa sekunnissa. Mittausohjelma siirtää tulokset joko Excel-ohjelmistoon tai viivakaavioon. Painetestauksesta saadusta datasta voidaan laskea kaavalla 1 teoreettinen ohivirtaus käytön aikana tietyssä lämpötilassa.



Kuva 12. Ovensulkimen testauksesta saatu painekäyrä männän tilasta



Kuva 13. Ovensulkimen käytönaikainen paine nokan tilasta.

4.2 Gage R&R

Tilastollisen mittaepävarmuuden määrittämiseksi suoritettiin ovensulkimen rungon mittaukselle Gage R&R tutkimus. Gage R&R tutkimuksessa on kolme mitaajaa, kymmenen mitattavaa kappaletta ja kolme toistoa per mitaaja. Tutkimuksesta saadaan selville mitaajasta ja mittausympäristöstä johtuva mittavaihtelu.

Tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan yhtä tiettyä kappaleen mittausta, joka on ovensulkimen rungon männäntilan halkaisija. Tutkimukseen valittiin tuotannossa valmiiksi koneistettuja runkoaihoita kymmen kappaletta. Rungot puhdistettiin tuotannossa käytetyillä puhdistusaineilla ja annettiin jäähtyä 20 asteen lämpötilaan mittaushuoneessa. Jokaisen mittauksen jälkeen runko irrotettiin mittausjigistä ja jigi irrotettiin mittakoneen pöydän kohdistuspaloista. Tutkimukseen tarvittavat mittaukset suoritettiin sattumanvaraisessa järjestyksessä mittaajien kesken.



Kuva 14. Tuotannossa käytettävä koordinaattimittakone ja paikoitus jigi (Kuva: Väinö Kosonen).

Tutkimuksessa selvitetään seuraavia muuttujia: mittaajasta ja mittalaitteesta johtuva vaihtelu ja uusittavuutta/toistettavuutta. Mittaajasta johtuva vaihtelu mittausprosessissa ei saa olla yli 30 % kokonaisvaihtelusta, mittalaitteesta johtuva

vaihtelu ei saa ylittää yli 30 % kokonaisvaihtelusta ja uusittavuus/toistettavuus ei saa ylittää yli 10 % kokonaisvaihtelusta. Kun nämä ehdot täyttyvät, suurin osa vaihteluista tapahtuu kappaleiden välillä. (Quality-one 2021)

4.3 Prototyypisuljin

Prototyypisulkimeen teetätettiin neljä etumäntää tiivisteuralla. Uran paikalla on suuri vaikutus männän keskittymiseen ovensulkimen sisällä, sekä öljykanavien eli eri sulkeutumisvaiheiden oikeaan toimintaan. Tiivisteiden paikka suunniteltiin kaavan 1 mukaan, jolloin suotuisin paikka sille on mahdollisimman lähellä männän etureunaa. Prototyypisulkimen etumäntään käytettiin tuotannossa olevaa DA mallisarjan tiivistettä, joka koostuu o-renkaasta ja sen päälle tulevasta tiivisteestä. Prototyypirungot koottiin tuotannossa käytössä olevilla työkaluilla ja koneilla.

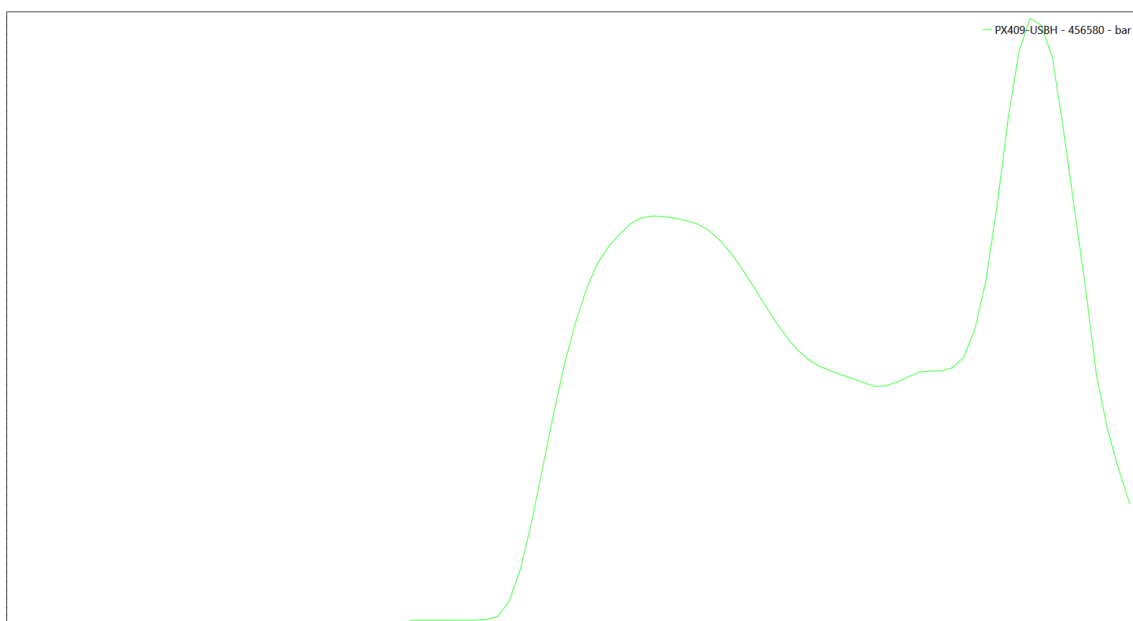


Kuva 15. Tuotannossa käytettävä etumäntä vasemmalla ja prototyypimäntä oikealla (Kuva: Väinö Kosonen).

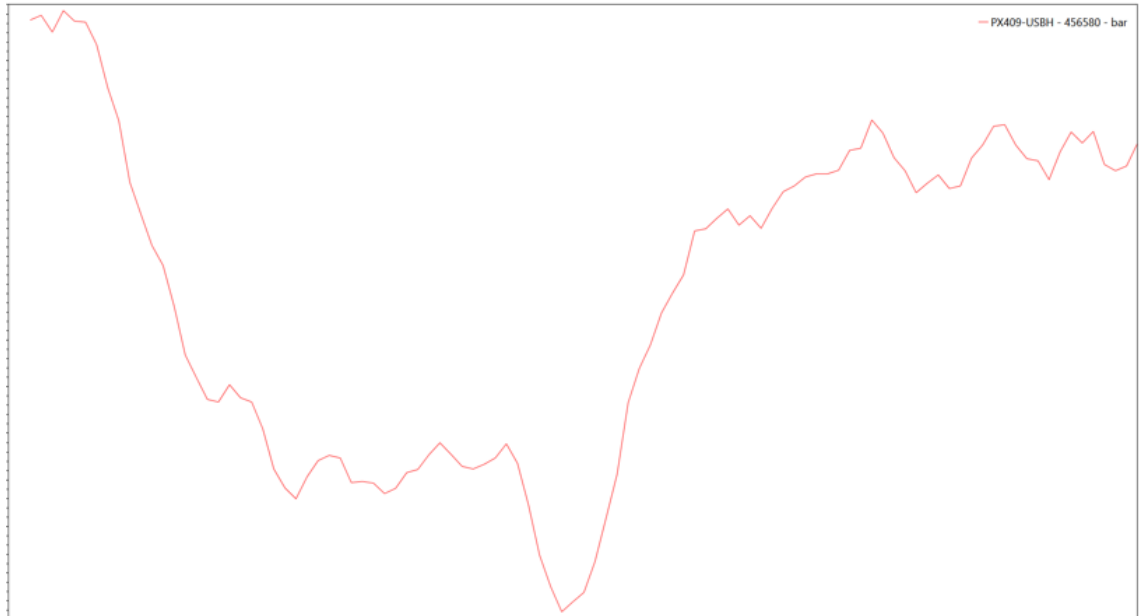


Kuva 16. Prototyypisulkimessa käytetty tiivisteellinen mäntä (Kuva: Väinö Kosonen).

Prototyypisuljin altistettiin samalle painetestille kuin tuotannossa oleva oven-suljin. Ovensuljin säädettiin sulkemaan ovi 90 asteen kulmasta viidessä sekunnissa ja samalla sulkimesta mitattiin käytönaikaista painevaihtelua etumännän ja nokka-akselin tilasta.



Kuva 17. Prototyypisulkimen käytönaikainen paine etumännän tilassa.



Kuva 18. Prototyypisulkimen käytönaikainen paine nokan tilassa.

5 Tulokset

5.1 Gage R&R

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voiko tuotannossa käytettävillä mittakoneilla todentaa laatua. Tarkat mittalukemat ovat tärkeä osa opinnäytetyön suunnittelu osiota ja näin ollen mittalaitteen tarkkuuden todentaminen on tärkeä osa sitä. Mittalaite kalibroitiin ennen tutkimusta valmistajan toimesta.

A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
2	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
3	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
KA	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X _A	#DIV/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0,0000	R _A	0
A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
2	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
3	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
KA	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X _B	#DIV/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0	R _B	0
A Mittaja / sarja	Kappale										Keskiarvo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
2	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
3	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		#DIV/0!
KA	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X _C	#DIV/0!
Vaihteluväli	0	0	0	0	0,00000	0	0	0	0	0	R _C	0
Kappale keskiarvo	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	33,985	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	X	#DIV/0!
X _{DIFF} =	#DIV/0!		UCL _R =	0		LCL _R =	0				R _p	#DIV/0!
											R	0

Kuva 19. Tutkimuksessa käytettävä Excel-pohja. (Gage R&R 2021)

Keskiarvo \bar{R} =	X _{DIFF} =	R _p =
Mittalaite analyysi		% osuus kokonaisvaihtelusta (TV)
Repeatability - Equipment Variation (EV) Mittalaitteesta johtuva vaihtelu $EV = \bar{R} * K_1$ =		$\%EV = 100 * \left[\frac{EV}{TV}\right]$ = 3 %
	Mittauksia	K ₁
	2	0,8862
	3	0,5908
Reproducibility - Appraiser Variation (AV) Mittaajasta johtuva vaihtelu $AV = \sqrt{C_{DIFF} * K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n * r}\right)}$ =		$\%AV = 100 * \left[\frac{AV}{TV}\right]$ = 3 %
	Mittaja	K ₂
	2	0,7071
	3	0,5231
Repeatability & reproducibility (GRR) Uusittavuus ja toistettavuus $GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ =		$\%GRR = 100 * \left[\frac{GRR}{TV}\right]$ = 4 %
Part Variation (PV) Kappaleiden välinen vaihtelu $PV = R_p * K_3$ =		Hyväksyttävä $\%PV = 100 * \left[\frac{PV}{TV}\right]$ = 100 %
	Kappaleita	K ₃
	2	0,7071
	3	0,5231
	4	0,4467
	5	0,4030
Total Variation (TV) Kokonaisvaihtelu $TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ =		ndc = 34 Hyväksyttävä
	6	0,3742
	7	0,3534
	8	0,3375
	9	0,3249
	10	0,3146

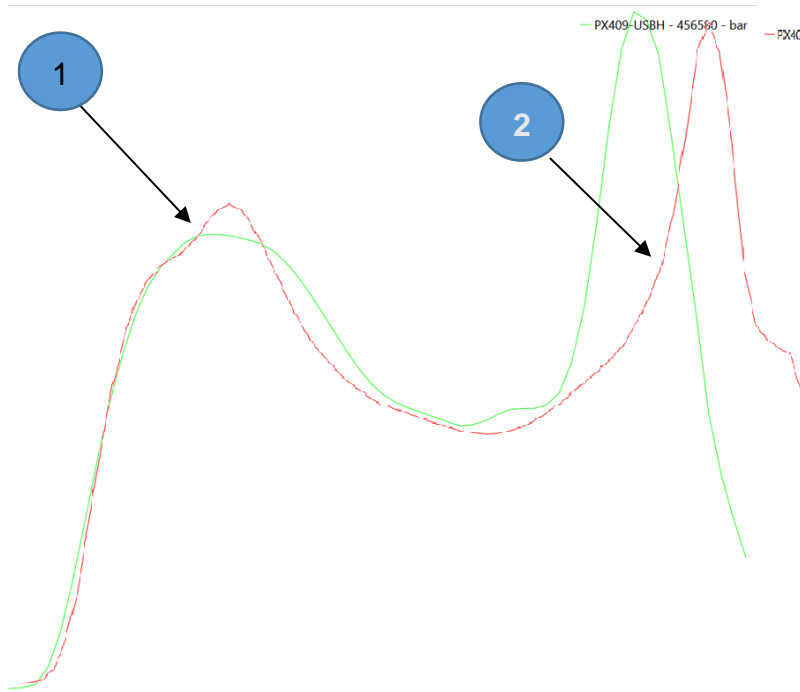
Kuva 20. Gage R&R tutkimuksesta saadut tulokset (Gage R&R 2021)

Mittalaitteesta johtuvasta vaihtelusta (kuva 22) saatiin tulokseksi kokonaisvaihteluun verrattaessa 3 %, joka on alle 10 % kokonaisvaihtelusta. Voidaan todeta mittalaitteen olevan vaihtelultaan hyväksyttävä. Tutkittaessa mittaajasta johtuvaa vaihtelua nähdään sen jäävän alle 30 % kokonaisvaihtelusta, joka on hyväksyttävä tulos. Todetaan mittaajien koulutus ja osaaminen hyväksytysti. Mittaustapahtuman uusittavuus ja toistettavuus on 4 % kokonaisvaihtelusta, joka on hyväksyttävä tulos ja ei johda prosessin tarkasteluun.

Kokonaisuudessaan tutkimuksen tuloksia verrattaessa ohjearvoihin, voidaan todeta tuotannon käyttämän laaduntarkistuksen toimivan mittausprosessin osalta ja suurimman osan vaihteluista johtuvan kappaleista.

5.2 Painetestaus ja Prototyypisuljin

Painetestaus suoritettiin tuotannossa olevalle ovensuljintyypille ja prototyypisulkimelle, joissa on tiivisteellinen mäntä. Molemmat ovensulkimet altistettiin samoille testeille standardin SFS-EN 1154 mukaan. Prototyypisulkimella tutkittiin sulkimen käyttäytymistä tiivisteellisellä etumännällä. Tutkittavat muuttujat ovat paineenvaihtelu sekä nokan että etumännän tilassa, säätöruuvien oikean tyyppinen toiminta ja tiivisteiden kestävyys rasituksessa.

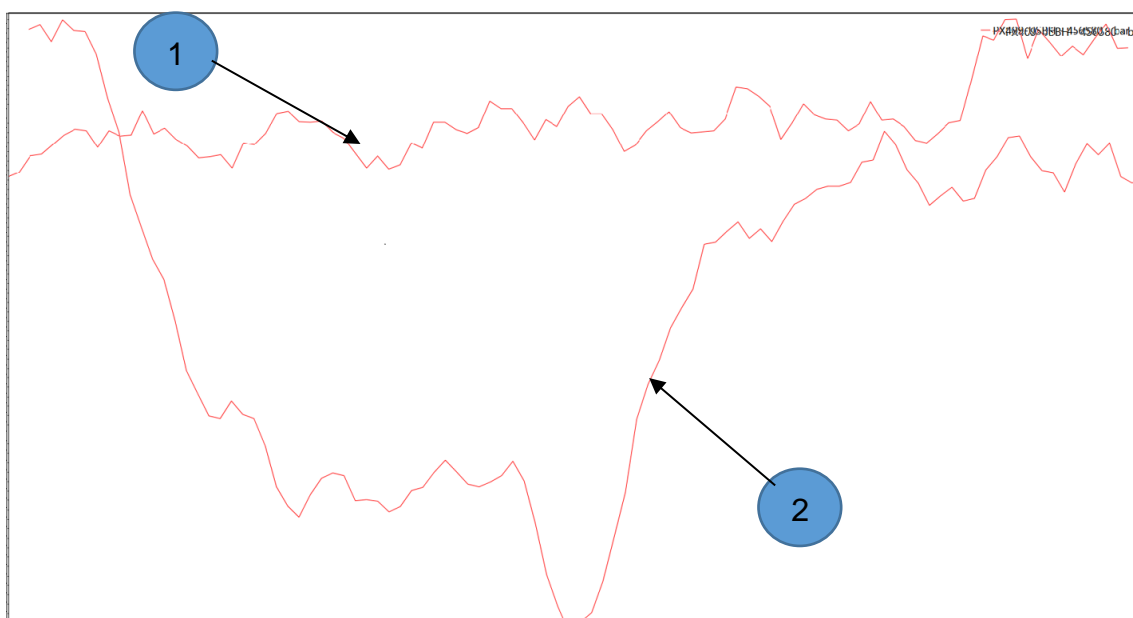


Kuva 21. Tuotantomallin (punainen) ja prototyypin (vihreä) painekäyrät. Huomioitavat muutokset 1. ja 2.

Painetesteistä saaduista painekäyristä huomataan kaksi suurta muutosta. Kohdassa yksi tuotannossa olevalla ovensulkimella on huomattavasti suurempi painepiikki, jossa männän liike aiheuttaa kahden öljykanavan yhtäaikaisen aukion. Prototyypisulkimessa tämä painepiikki on huomattavasti tasaisempi ja suoralinjaisempi. Prototyypisulkimen tiiviste keskittää mäntää ovensulkimen sisällä, joka estää männän epäkeskittymisen ovensulkimen toiseen seinämään, jolloin kanavien virtaus olisi epäsymmetristä. Vastaavasti männän epäkeskittyminen aiheuttaa toiselle kanavalle kohdistuvaa suurempaa virtausta, jolloin ovensulkimen oikea toiminta häiriintyy. Tiivisteellinen etumäntä poistaa kyseisessä tilanteessa epäsuotuisan öljyn epäsymmetrisen virtauksen kanavien kesken ja parantaa oven sulkeutumisluketta.

Toinen suuri muutos käytön aikaisessa painekäyrässä on sulkeutumispaineen nousun aikaistuminen. Kyseinen muutos ovensulkimen toimintaa johtuu tiivisteiden paikasta ovensulkimen etumännässä. Tuotannossa olevassa versiossa etumännän liike ajoittaa öljykanavan sulkeutumisen. Prototyypisulkimessa tiiviste aikaistaa näitä edellä mainittuja ajoituksia, johtuen tiivisteiden paikasta itse

etumännässä ja tiivisteen estämästä ohivirtauksesta. Tuotannossa olevassa ovensulkimessa ohivirtauksesta johtuen kanavat virtaavat pidempään kuin tiivisteellisessä ovensulkimessa. Tiivistämättömässä ovensulkimessa tarvitaan pidempi liike kanavan sulkemiseksi kokonaan virtaukselta, kun taas tiivisteellisellä etumännällä kanava sulkeutuu tiivisteen kohdatessa. Edellä mainitut muutokset ovensulkimen toiminnassa parantavat ovensulkimen toimintaa pienentämällä aluetta, jolla erilaiset toiminnalliset ajoitukset toimivat.



Kuva 22. Tuotantomallin (1) ja Prototyypin (2) nokantilan painekäyrä.

Verrattaessa ovensulkimien nokka-akselien tilojen painekäyriä (kuva 24) huomataan tuotannossa olevan ovensuljinmallin painekäyrän pysyvän pienellä vaihteluvälillä, kun taas prototyypisulkimen painekäyrän laskevan oven sulkeutumisen alkaessa. Tuotannossa olevan ovensulkimen painekäyrän pieni vaihteluväli johtuu tasaisesta ovensulkimen männän ohi virtaavasta hydraulikkaöljystä. Prototyypisulkimen etumännän tiiviste estää ohivirtausta, jolloin männän liikkua poispäin nokantilasta, nokantilan tilavuus kasvaa ja paine vähenee. Oven ollessa kiinni, paine tasoittuu ovensulkimen sisällä, ja prototyypisulkimen paine nousee noin samalle tasolle tuotannossa olevan version kanssa.

Tiivisteellisen etumännän vaikutus ovensulkimen toimintaan on huomattava. Se estää epäsuotuisaa ohivirtausta etumännäntilassa, helpottaa kanavien sulkeu-

tumista ja ovensulkimen oikeaa toimintaa. Tiivisteellisen etumännän käytöllä kyettäisiin suurentamaan toleranssialuetta, jolla runkoja koneistetaan ja sovitetta ovensulkimen ja männän välillä, joka mahdollistaisi tuotteen yksinkertaisempaa tuotantoa ja ovensulkimen parempaa toimintaa eri lämpötila-alueilla.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön aikana suoritetuista tutkimuksista ja mallinnoista selviää, että tuotannossa olevan ovensulkimen ohivuotoa voidaan mallintaa teoreettisesti riittävän tarkasti suunnittelutyössä. Tuotannon laadunhallintaan on tehtävä parannuksia mittauksen suhteen ja tiivisteellisellä etumännällä voidaan eliminoida ovensulkimen toimintaa haittaavat epäkohdat.

Teoreettisen ohivuodon mallintamiseen hyödynnettyä kaavastoa 1–3 voidaan testien perusteella hyödyntää suunnittelutyössä. Porotyyppisulkimeen suorite-
tuissa testeissä ei ilmennyt huomattavia poikkeamia käytännön testeihin verrattuna. Kun mallinnettiin tuotannossa olevan sulkimen toimintaa, huomattiin ongelmien esiintyvän lämpötilavaihteluissa sekä liiallisessa männän ohivuodossa koko lämpötila-alueella. Ohivuodon kriittisyyteen pumpun toiminnalle vaikuttaa etumännän tilan pieni nestetilavuus, joka vaikuttaa suoranaisesti ovensulkimen säädettävyyteen. Kustannustehokkain ja muutostyöltään pienin ongelmanratkaisu olisi tiivisteellinen etumäntä. Muita ratkaisuja olisi nestetilavuuden kasvattaminen etumännäntilassa ja etumännän keskittävät liukupalat. Nämä edellä mainitut muutokset vaatisivat runkovalun muutoksen, joka ei ole kustannuksien kannalta järkevä ratkaisu.

Tutkittaessa ovensulkimen ohivuotoa huomioitiin tutkimuksessa myös tuotannon kyky todentaa laatua. Ovensulkimen rungot mitataan koordinaatti mittakoneella, joten kyseiselle rungolle suoritettiin tilastollisen mittausepävarmuuden tutkimus Gage R&R. Tutkimuksen tuloksista havaitaan mittausprosessin ja mitaajien toimivan hyväksytysti.

Prototyypisulkimen valmistuksessa huomattiin jo muissa ovensulkimissa käytettyjen komponenttien toimivuus prototyypin käyttötestissä. Jo tuotannossa käytetyillä komponenteilla voidaan kasata hyväksyttäviä prototyyppi sulkimia. Prototyypisulkimeen kohdistettiin sama käytönaikainen painetesti kuin tuotannossa olevaan sulkimeen ja tuloksia verrattiin tuotantosulkimeen. Tutkimuksessa huomattiin kolme suurta muutosta ovensulkimen toimintaan. Ensimmäinen huomattava muutos oli kanavien epäsymmetrisen virtauksen parantuminen. Toinen muutos oli kanavien ajoituksen tarkentuminen ja kolmas nokan tilan paineenlasku etumännän liikkeessä pois päin nokan tilasta. Kaikki kolme muutosta ovensulkimen käyttäytymisessä vaikuttaa positiivisesti ovensulkimen toimintaan. Tiivisteellisen etumännän jatkotutkimuskohteiksi kehkeytyi, tiivisteiden kestävyys standardin SFS-EN 1154 mukaisessa 500 000 syklin testissä ja toleranssialueen suurentamisesta johtuvat kustannukset ja tuotantoprosessin muutokset.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyössä päästiin haluttuihin tuloksiin ja tuotoksiin. Opinnäytetyön keskeiseksi ongelmaksi kehittyi aikaisemman tutkimustiedon puute, joka pitkitti opinnäytetyön prosessia. Myös vallitseva koronavirus tilanne hidasti tiettyjä opinnäytetyön tutkimuksia. Opinnäytetyöstä saadulla tutkimustiedolla voidaan edetä tuotteen kehityksessä jatkotutkimuksen avulla. Haluan kiittää tuotekehitystä, tuotannon kehitystä ja tuotannon henkilöstöä opinnäytetyön ohjaamisesta ja uusien näkökulmien tuomisesta opinnäytetyöhön.

Lähteet

- Abloy Oy. 2021. Lukitussanakirja.
<https://www.abloy.com/fi/suunnittelijoille-ja-valmistajille/tietoa-lukituksesta/sanakirja/>. 03.05.2021.
- Abloy OY. 2017. Tuotekatalogi, ovensulkimet 10/2017.
[https://www.abloy.com/Abloy/Abloy.fi%20\(OW2\)/Tuotteet/Tuotekatalogi/Ovensulkimet/Ovensulkimet/DC240/Ladattavat%20tiedostot/Ovensulkimet-8802080_laajaovensuljin-1_Low.pdf](https://www.abloy.com/Abloy/Abloy.fi%20(OW2)/Tuotteet/Tuotekatalogi/Ovensulkimet/Ovensulkimet/DC240/Ladattavat%20tiedostot/Ovensulkimet-8802080_laajaovensuljin-1_Low.pdf). 03.05.2021.
- Abloy Oy. 2021. Palosulkujärjestelmät.
https://www.lukkokeskus.fi/files/esitteet/Ovensulkimet/8802250_ABLOY_Palonsulkujarjestelmat.pdf. 09.06.2021.
- Heleh. 2021. Door closers timeline through history and their essence in life.
<http://heleh.it/news-events/door-closers-timeline-through-history-and-their-essence-in-life.html>. 07.06.2021.
- Hiltunen, E. Linko, L. Hemminki, S. Hågg, M. Järvenpää, E. Saarinen, P. Simonen, S. Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Metrologian neuvottelukunta.
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>.
- Kauranen, H. Kajaste, J. Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. Helsinki: SanomaPro.
- Lyatkher, V. Proudovsky, A. 2016. Hydraulic modeling. Usa: Scrivener Publishing. 04.06.2021.
- Midlands Floor Springs Limited. 2019. After further research.7/23/2019.Blogi:
<https://www.midlandsfloor springs.co.uk/blog/after-further-research>. 07.06.2021.
- Peuranen, H ja Esala, V-P. 2020. Mittausepävarmuuden parempi hallinta tavoittelemisen arvoista. 24.02.2020. Blogi. <https://blogit.jamk.fi/techothefuture/2020/02/24/mittausepavarmuuden-parempi-hallinta-tavoittelemisen-arvoista/>. 24.5.2021.
- Quality-one. 2021. Gage R&R Gage Repeatability & Reproducibility.
<https://quality-one.com/grr/>. 21.08.2021
- SFS-EN 1154. 1997. Building hardware. Controlled door closing devices. Requirements and test methods. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Gage R&R. 2021. Yritys X tuotekehitys.Sisäiseen käyttöön. 26.6.2021