

Marko Jokimäki

**UUDEN VOIMANSIIRTOMALLIN TESTAUSSPESIFIKAATIOIDEN
LAATIMINEN**

UUDEN VOIMANSIIRTOMALLIN TESTAUSSPESIFIKAATIOIDEN LAATIMINEN

Marko Jokimäki
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Marko Jokimäki

Opinnäytetyön nimi: Uuden voimansiirtomallin testauspesifikaatioiden laatiminen

Työn ohjaaja: Esa Törmälä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017

Sivumäärä: 54 + 9 liitettä

Opinnäytetyössä laadittiin uuden voimansiirtomallin testauspesifikaatiot ja testauksiin liittyvät työohjeet. Voimansiirtomalli oli opinnäytetyötä kirjoitettaessa prototyyppiasteella, joten sen teknisiä tietoja tai työn tilaajaa ei mainita tässä raportissa. Työ tukee yrityksen liiketoimintaa uuden voimansiirtomallin kehityksessä ja lopputestauksessa.

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin voimansiirron perusosia ja niiden tehtäviä ja kerrottiin, mitä työohjeet ja spesifikaatiot ovat. Voimansiirtojen testauksen teoria jaoteltiin vuototestaukseen ja varsinaiseen toiminnan testaukseen. Vuototestauksesta käsiteltiin hydrostaattinen, ilmanpaineeseen perustuva ja kaasuihin perustuva menetelmä ja esitettiin ilmanpaineeseen perustuvan testauslaitteen toimintatapa. Toiminnan testauksesta käsiteltiin testauksen eri vaiheet, esitettiin esimerkki vaihteiston testauslaitteistosta ja pohdittiin referenssivoimansiirron tai tulosten keskihajontaa hyödyntävän itsediagnostiikkaohjelman hyödyntämistä laitteiston luotettavuuden todentamisessa.

Työohjeille ja spesifikaatioille tehtiin laatimisohteet opinnäytetyön aikana kirjoitettuihin työohjeisiin ja spesifikaatioihin pohjautuen, jotta uusia dokumentteja voidaan laatia samalla menetelmällä kuin opinnäytetyön aikana. Työohjeet laadittiin suomeksi ja niissä käytettiin selkeitä kuvia ja värejä parantamaan luettavuutta. Spesifikaatiot laadittiin suomeksi ja englanniksi ja niille pohdittiin sisällysluettelo sekä rakenne soveltaen standardia SFS 4015, koska spesifikaatioille ei ollut valmista pohjaa yrityksessä. Spesifikaatioissa määriteltiin testauslaitteisto ja testauksen laadunvalvonta sekä kuvattiin voimansiirrolle tehtävät testit.

Työn tuloksena saatiin 12 spesifikaatiota ja 8 työohjetta. Työohjeille ja spesifikaatioille pohdittiin kehittämismahdollisuuksiksi metatietojen käyttöä, koko yrityksessä käytettävää yhteistä mallipohjaa ja voimansiirtokohtaisten ohjeistusten hakemista voimansiirron valmistenumeroilla. Kaikkien työssä laadittujen dokumenttien oikeudet jäivät yritykselle, joten niitä voidaan hyödyntää myös tulevien voimansiirtomallien dokumentoinnissa.

Asiasanat: spesifikaatio, työohje, voimansiirto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Marko Jokimäki
Title of thesis: Drawing up Test Specifications for New Drivetrain Model
Supervisor: Esa Törmälä
Term and year when the thesis was submitted: spring 2017
Pages: 54 + 9 appendices

This thesis focuses on drawing up specifications and work instructions for testing a new drivetrain model. While writing the thesis, the drivetrain was still at a prototype stage, so neither technical data of the drivetrain nor the name of the assigner is mentioned in this report. This thesis supports the assigner's business in developing and testing of the new drivetrain.

The theoretical part of the thesis deals with basic components and their functions in a drivetrain, and explains what work instructions and specifications are. The theoretical background about testing a drivetrain was divided into leak testing and testing the functionality of the drivetrain. The section about leak testing covers hydrostatic, air pressure -based and gas-based methods, and presents the operating method of an air pressure -based leak test instrument. The section about functionality testing covers various stages of testing and an example of a gear-box's test equipment. For authenticating the reliability of the test equipment, using a reference drivetrain or using a self-diagnostic test cycle benefiting standard deviation of the results was considered.

Instructions were made for composing work instructions and specifications, so that new documents can be made in the same way as during the thesis. The work instructions themselves were made in Finnish using clear pictures and colors to improve readability. The specifications were drawn up in Finnish and in English benefiting standard SFS 4015 because the assigner did not have a ready-made template for test specifications. The specifications defined the test equipment and the quality control of testing, and all the tests were described.

The result of the thesis was 12 specifications and eight work instructions. A consideration was given for the development possibilities of using metadata, using a common document template throughout the company and using serial numbers of drivetrains for searching all the right instructions for each drivetrain. All the rights to the documents remained to the assigner of the thesis so that those documents can be benefited in the future as well.

Keywords: specification, work instruction, drivetrain

ALKULAUSE

Haluan kiittää kaikkia ystäviä, sukulaisia ja koulukavereita, jotka olivat tukena työn kirjoittamisen aikana. Kiitokset kuuluvat myös toimeksiantajayritykselle hyvin sujuneesta yhteistyöstä, työn ohjaajalle konetekniikan lehtori Esa Törmälälle opastuksesta työn alkumetreiltä lähtien sekä asiantuntijaviestinnän opettajalle lehtori Tuija Juntuselle työhön liittyvistä parannusehdotuksista. Kiitos myös muille Oulun ammattikorkeakoulun opettajille nopeasti kuluneista neljästä lukuvuodesta.

Näin opiskelujen lopussa haluan muistaa erikseen Caritaa, joka sai minut laittamaan keltaisen työmaaliivin naulakkoon ja siirtymään takaisin koulun penkille. Ilman häntä tämä työ olisi jäänyt kirjoittamatta.

10.5.2017

Marko Jokimäki

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ALKULAUSE | 5 |
| SISÄLLYS | 6 |
| SANASTO | 8 |
| 1 JOHDANTO | 10 |
| 2 VOIMANSIIRTO | 11 |
| 2.1 Kytkin | 12 |
| 2.2 Vaihteisto | 12 |
| 2.2.1 Synkronoimaton siirtoholkkivaihteisto | 13 |
| 2.2.2 Synkronoitu siirtoholkkivaihteisto | 14 |
| 2.2.3 Siirtopyörävaihteisto | 14 |
| 2.2.4 Aluejakajavaihteisto | 15 |
| 2.2.5 Automaattivaihteisto | 15 |
| 2.2.6 Kaksoiskytkinvaihteisto | 16 |
| 2.2.7 Portaaton vaihteisto | 17 |
| 2.3 Nivelakselisto | 18 |
| 2.4 Vetopyörästä | 18 |
| 2.5 Napavälitys | 19 |
| 3 TYÖOHJEET | 21 |
| 3.1 Työohjeen laatimisohe | 22 |
| 3.1.1 Esivalmistelut | 22 |
| 3.1.2 Työohjeen kirjoittaminen | 23 |
| 3.2 Työohjeiden nykytilanne | 25 |
| 3.3 Työohjeiden kehittämismahdollisuuksia | 25 |
| 4 SPESIFIKAATIOT | 27 |
| 4.1 Spesifikaation laatimisohe | 28 |
| 4.1.1 Esivalmistelut | 28 |
| 4.1.2 Spesifikaation kirjoittaminen | 29 |
| 4.2 Spesifikaatioiden nykytilanne | 31 |
| 4.3 Spesifikaatioiden kehittämismahdollisuuksia | 32 |

| | |
|---|----|
| 5 VOIMANSIIRTOJEN TESTAUS | 33 |
| 5.1 Vuototestaus | 33 |
| 5.1.1 Testausmenetelmät | 34 |
| 5.1.2 Ilmanpaineeseen perustuvan testauslaitteen toiminta | 35 |
| 5.2 Toiminnan testaus | 37 |
| 5.2.1 Testauksen kulku | 37 |
| 5.2.2 Esimerkki testauslaitteistosta | 38 |
| 5.3 Testauslaitteiston luotettavuuden todentaminen | 40 |
| 5.3.1 Referenssivoimansiirto | 41 |
| 5.3.2 Itsediagnostiikkaa hyödyntävän testiohjelman laatiminen | 42 |
| 6 TYÖOHJEIDEN JA SPESIFIKAATIOIDEN LAATIMINEN | 45 |
| 6.1 Vuototestausten työohjeet | 45 |
| 6.2 Vuototestausten spesifikaatiot | 45 |
| 6.3 Varustelun ja testauksen työohjeet | 46 |
| 6.4 Testausprosessin spesifikaatiot | 47 |
| 7 POHDINTA | 48 |
| LÄHTEET | 52 |
| LIITTEET | |
| Liite 1 Esimerkki laaditusta työohjeesta | |
| Liite 2 Esimerkki laaditusta spesifikaatiosta | |

SANASTO

| | |
|----------------|--|
| konenäkö | tietokonepohjainen järjestelmä, joka etsii kameralla otetusta kuvasta automaattisesti haluttuja vastaavuuksia alkuperäiseen kuvaan |
| metatiedot | tiedostoon liitettäviä kuvaustietoja, jotka kuvaavat tiedoston sisällön muutamalla sanalla ja nopeuttavat tiedostojen etsintää tiedostojenhallinnassa |
| spesifikaatio | tekninen määrittely, jossa kuvataan esimerkiksi jonkin laitteen tai järjestelmän yksityiskohtaiset tiedot |
| synkronointi | kahden eri nopeutta pyörivän hammaspyörän nopeuksien tasaaminen ennen hammaspyörien kytkemistä toisiinsa |
| tahtiaika | yksittäisen työvaiheen kesto tuotannossa, minkä jälkeen tuote siirtyy seuraavaan työvaiheeseen |
| testimoduuli | voimansiirron testiohjelman osa, joka testaa tietyn osan alueen voimansiirron toiminnasta: esimerkiksi antureiden ja jarrujen testaamiselle voi olla omat, erilliset testimoduulinsa |
| testisekvenssi | voimansiirron testausjärjestelmä hakee testisekvenssin perusteella oikeat testimoduulit voimansiirron tyyppin mukaisesti ja määrittää järjestyksen, jossa testimoduulit ajetaan |
| varustelu | voimansiirron osakokonaisuuden valmistelu testausta varten: varustelussa kytketään kaikki voimansiirron osaan liittyvät anturit ja hydraulikkaletkut paikoilleen, jotta sitä voidaan testiasemalla käyttää kuten tavanomaisessa käyttöympäristössään |

voimansiirron osakokonaisuus

työn tilaaja ei halunnut voimansiirrosta kirjoitettavan mitään yksityiskohtaisia tietoja, joten raportissa käytetään termiä "voimansiirron osakokonaisuus" kuvaamaan voimansiirron eri osia: esimerkiksi vetopyörästä voi olla yksi voimansiirron osakokonaisuus

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan uuden voimansiirtomallin osakokonaisuuksien vuotomittaus- ja testausprosessien spesifikaatiot. Osakokonaisuuksien testauksiin laaditaan työohjeet. Voimansiirto on opinnäytetyötä kirjoitettaessa prototyyp-
piasteella, joten sen teknisiä tietoja tai työn tilaajaa ei toimeksiantajan pyynnöstä kerrota tässä raportissa. Mikäli työssä käytetään hyväksi toimeksiantajan materi-
aaleja tai tietämystä, viitataan työn tilaajaan maininnalla Yritys X.

Työn tavoitteena on laatia testausprosessien spesifikaatiot suomeksi ja englan-
niksi. Spesifikaatioissa määritellään testauksissa käytettävä laitteisto ja apuväli-
neet sekä kuvataan jokainen yksittäinen testi selkokielellisesti. Kuvauksista selviää,
mitä yksittäiset testit mittaavat, miten niiden tuloksia tulkitaan ja mitä niiden lä-
päisyyn vaaditaan. Yritys X:ssä ei ole aiemmin tehty testauspesifikaatioita, joten
niissä käytettävä rakenne pohditaan työn aikana.

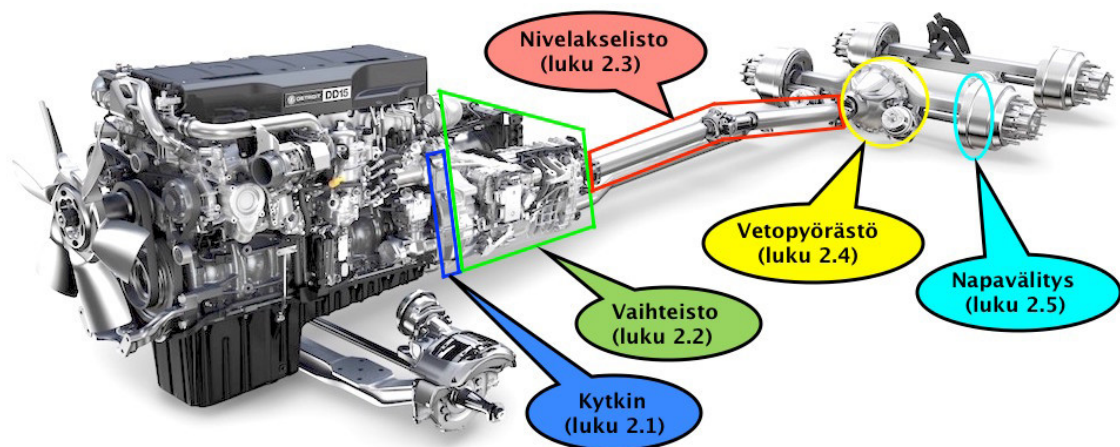
Voimansiirron osakokonaisuuksien varusteluista laaditaan kuvitetut, suomenkie-
liset työohjeet. Työohjeet laaditaan niin selkeiksi, että niitä voidaan käyttää apuna
esimerkiksi uuden työntekijän perehdytyksessä. Työssä pohditaan myös erilaisia
ratkaisuja testauslaitteiston luotettavuuden todentamiseen esimerkiksi tulosten
keskihajontaa käyttäen. Yritys oli tilannut laitteiston jo ennen opinnäytetyön aloit-
tamista, joten sitä ei käsitellä työssä kuin niiltä osin, mitä työn ymmärtämiseksi
on tarpeen.

Työn tarkoitus on tukea yrityksen liiketoimintaa uuden voimansiirron kehityksessä
ja prototyyppien testauksessa. Opinnäytetyössä laadittujen spesifikaatioiden ja
työohjeiden oikeudet jäävät yritykselle, joten työn tuloksia voidaan hyödyntää
myös muiden voimansiirtomallien dokumentoinnissa. Opinnäytetyön kirjoittaja ei
ole yrityksen työntekijä, mutta on aiemmin suorittanut kone- ja tuotantotekniikan
opintoihin kuuluvan projektiharjoittelunsa yrityksessä keväällä 2016.

2 VOIMANSIIRTO

Voimansiirron perustehtävänä on saada välitettyä moottorin voima vetäville pyörille. Karhima (2011, 11) käyttää tästä pyörille siirtyvästä voimasta termiä veto-voima. Kun ajoneuvolla liikutaan tasaista nopeutta, vetovoiman on oltava yhtä suuri kuin ajovastusvoimien summa. Ajovastusvoimilla tarkoitetaan niitä voimia, jotka vastustavat ajoneuvon liikettä. Niitä ovat muun muassa vierintävastus, ilmanvastus ja painovoiman aiheuttama vastus mäkeä noustessa. Jos ajoneuvon nopeutta halutaan kiihdyttää, vetovoiman on oltava kaikkia vastustavia voimia suurempi. (Karhima 2011, 11 - 20.)

Voimansiirron eri osia tarvitaan myös siksi, että ajoneuvon moottorin vääntömomentti on yleensä huomattavasti pienempi kuin liikkeelle lähtemiseen tarvittava momentti. Ongelman ratkaisemiseksi voimansiirrossa tarvitaan erilaisia välityksiä, joiden avulla vääntömomentin vaihtelualuetta saadaan laajennettua käyttötilanteeseen sopivaksi (Karhima 2011, 33). Tässä luvussa esitellään lyhyesti tyyppillisen voimansiirron pääosat käyttäen apuna kuvassa 1 esitettyä kuorma-auton voimansiirtoa, johon on merkitty käsiteltävien osien sijainnit. Osat ovat perusrakenteeltaan samankaltaisia riippumatta siitä, minkälaisessa ajoneuvossa niitä käytetään.

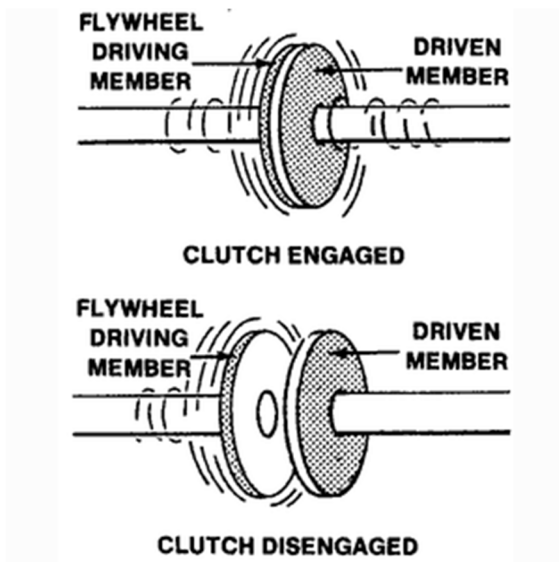


KUVA 1. Esimerkki kuorma-auton voimansiirrosta (Roberts 2015)

2.1 Kytkin

Kytkimen tehtävänä on irrottaa ja kytkeä yhteys moottorin ja voimansiirtolaitteiden välillä (Karhima 2011, 37). Kuvan 1 voimansiirrossa kytkin on perinteisesti moottorin ja vaihteiston välissä, mutta kytkimiä voi olla myös muualla voimansiirrossa. Kuvassa 2 on esitetty levykytkimen toiminta yksinkertaistettuna:

- Ylemmässä kuvassa kytkin on kytkeytyneenä. Voima siirtyy vasemmalla olevalta moottorin vauhtipyörältä kytkimen välityksellä kytkinakselille. Vauhtipyörän ja kytkinakselin pyörimisnopeudet ovat samat.
- Alemmassa kuvassa kytkin on irrotettuna. Vauhtipyörä pyörii, mutta kytkin akseli pysyy paikoillaan.



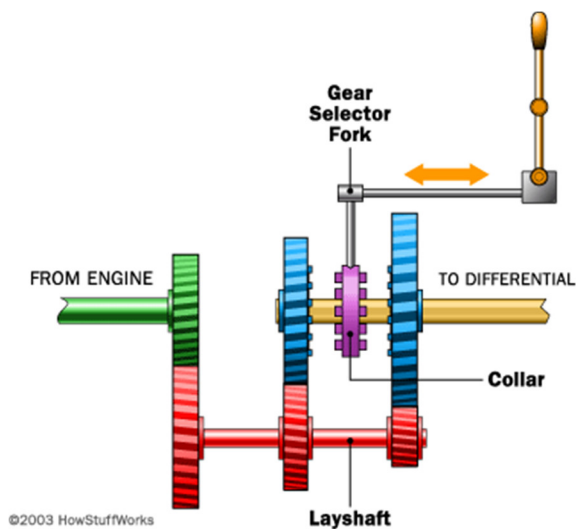
KUVA 2. Yksinkertainen levykytkin (*Clutch and Manual Transmission / Trans-axle. 2009*)

2.2 Vaihteisto

Koska ajoneuvon vetävien pyörien kierrosnopeus on hitaasti ajettaessa huomattavasti pienempi kuin moottorin kierrosnopeus, tarvitaan vaihteisto välityssuhteen muuttamiseksi. Vaihteisto mahdollistaa ajoneuvon saamisen liikkeelle paikoiltaan ja moottorin käytön mahdollisimman taloudellisella kierrosalueella eri välityssuhteiden avulla. (Vaihteistot. 2016.)

2.2.1 Synkronoimaton siirtoholkkivaihteisto

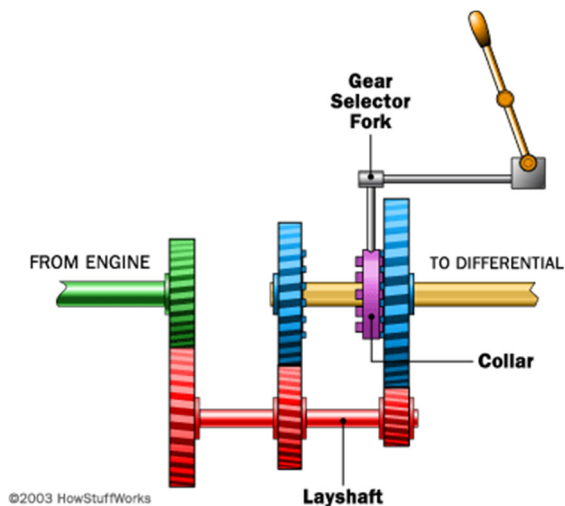
Kuvassa 3 on yksinkertaistettu kaaviokuva kaksivaihteisesta, synkronoimattomasta siirtoholkkivaihteistosta. Moottorin voima tulee vaihteistoon kytkimen läpi kytkinakselia pitkin (kuvaan vihreällä merkitty akseli) ja siirtyy hammaspyörän välityksellä punaisella merkitylle akselille, jota kutsutaan ryhmäpyörästöksi (layshaft). Jos ajoneuvon moottori on käynnissä ja kytkin kytkeytyneenä, kytkinakseli ja ryhmäpyörästö pyörivät koko ajan, vaikka vaihde olisi vapaalla kuten kuvassa. (Brain 2000, 3.)



KUVA 3. Kaksivaihteinen vaihteisto vapaa-asennossa (Brain 2000, 3)

Ryhmäpyörästö (layshaft) pyörittää kuvaan sinisellä merkittyjä hammaspyöriä. Nämä hammaspyörät on laakeroitu keltaisella merkittyyn akseliin (pääakseli), jonka tehtävänä on välittää voima vaihteistolta eteenpäin nivelakselistolle. On kuitenkin huomattava, ettei voima siirry suoraan sinisillä merkityiltä hammaspyöriltä pääakselille, vaan tähän tarvitaan kuvaan violetilla merkittyä siirtoholkkia (collar). Siirtoholkkia liikutellaan vaihdetangon avulla. (Brain 2000, 3; Karhima 2011, 90.)

Siirtoholkki on kiinnitetty uraliitoksella pääakseliin, joten se pyörii pääakselin mukana. Kun vaihde kytketään päälle (kuva 4), siirtoholkki liikkuu sivusuunnassa uritusta pitkin ja kytkee sinisellä merkityn hammaspyörän ja keltaisella merkityn pääakselin toisiinsa, jolloin voima siirtyy pääakselia pitkin eteenpäin voimansiirrossa. (Brain 2000, 4; Karhima 2011, 90.)



KUVA 4. Kaksivaihteinen vaihteisto vaihde kytkettynä (Brain 2000, 4)

2.2.2 Synkronoitu siirtoholkkivaihteisto

Kuvissa 3 ja 4 esitettiin synkronoimattoman siirtoholkkivaihteiston toimintaperiaate. Synkronoitu siirtoholkkivaihteisto on rakenteeltaan samanlainen, mutta kuvaan 4 violetilla merkityn siirtoholkin ja sinisellä merkityn hammaspyörän väliin on lisätty synkronilaite, jonka tehtävänä on tasata siirtoholkin ja hammaspyörän nopeusero vaihdetta kytkiessä (Karhima 2011, 94). Nopeuseron tasaaminen mahdollistaa hiljaisemman ja vähemmän vaihteiston osia kuormittavan kytkemistapahtuman. Esimerkiksi henkilöautojen käsivalintaiset vaihteistot ovat tyypiltään synkronoituja siirtoholkkivaihteistoja.

2.2.3 Siirtopyörävaihteisto

Siirtopyörävaihteistoja on nykyään lähinnä vanhoissa museoautoissa. Myös siirtopyörävaihteistossa kytkin akseli ja ryhmäpyörästä pyörivät, vaikka vaihde olisi vapaalla, mutta kuvaan 4 verrattuna sinisellä merkityt pääakselin hammaspyörät eivät ole jatkuvasti kosketuksissa ryhmäpyörästä hammaspyörien kanssa. Siirtopyörävaihteistossa ei myöskään käytetä siirtoholkkia vaihteiden kytkemiseen, vaan kytkentä tapahtuu liikuttamalla sivusuunnassa sinisellä merkityjä pääakselin hammaspyöriä, joita kutsutaan tässä vaihteistotyyppissä siirtopyöriksi. Pääakselissa on uritus, joka mahdollistaa siirtopyörien liikkumisen sivusuunnassa ja voiman välittymisen pääakselille, kun vaihde on kytkettynä. (Karhima 2011, 87.)

2.2.4 Aluejakajavaihteisto

Aluejakajavaihteistoa käytetään esimerkiksi manuaalivaihteisissa kuorma-autoissa. Kuvaan 5 on piirretty periaatekuva kolmesta osasta koostuvasta aluejakajavaihteistosta, jossa vihreä osa kuvastaa jakajavaihteistoa, punainen päävaihteistoa ja keltainen aluevaihteistoa. Koska vaihteistot ovat peräkkäin, eri välitysten määrä saadaan kertomalla jokaisen vaihteiston vaihteiden määrä keskenään. Kuvan 5 aluejakajavaihteistosta saataisiin siis $2 * 4 * 2 = 16$ eri välitystä. (Karhima 2011, 144.)

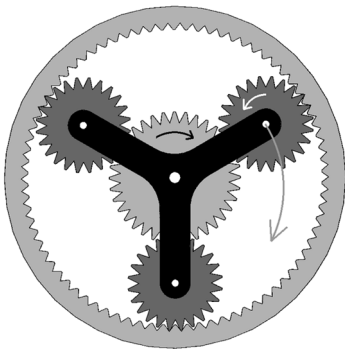


KUVA 5. Aluejakajavaihteiston periaatekuva (Karhima 2011, 144)

2.2.5 Automaattivaihteisto

Automaattivaihteiston eri välitykset saadaan aikaan planeettapyörästä, jollainen on esitetty kuvassa 6. Planeettapyörästä koostuu neljästä pääosasta, jotka ovat

- aurinkopyörä (kuvan 6 keskimmäinen pyörä)
- planeettapyörät (kuvan 6 kolme samankokoista pyörää)
- planeetakannatin (kuvaan 6 mustalla merkitty osa)
- kehäpyörä (kuvan 6 ulkokehän pyörä). (Kalaja 2011, 3.)



KUVA 6. Planeettapyörästä (Vorkoetter 2000)

Planeettapyörästä saadaan useita välityssuhteita lukitsemalla joko aurinkopyörä, kehäpyörä tai planeettakannatin pyörimättömäksi, jolloin voiman siirtämiseen käytetään kahta vapaaksi jäävää osaa. Jos kaksi edellä mainituista osista lukitaan, planeettapyörästä ei muuta välityssuhdetta, jolloin saadaan suora välitys. Kaikki planeettapyörästä saatavat välitykset eivät ole käyttöön sopivia, minkä vuoksi planeettapyörästä on asennettu automaattivaihteistoon kaksi tai kolme peräkkäin riittävän monen käyttökelpoisen vaihteen aikaansaamiseksi. (Karhima 2011, 126.)

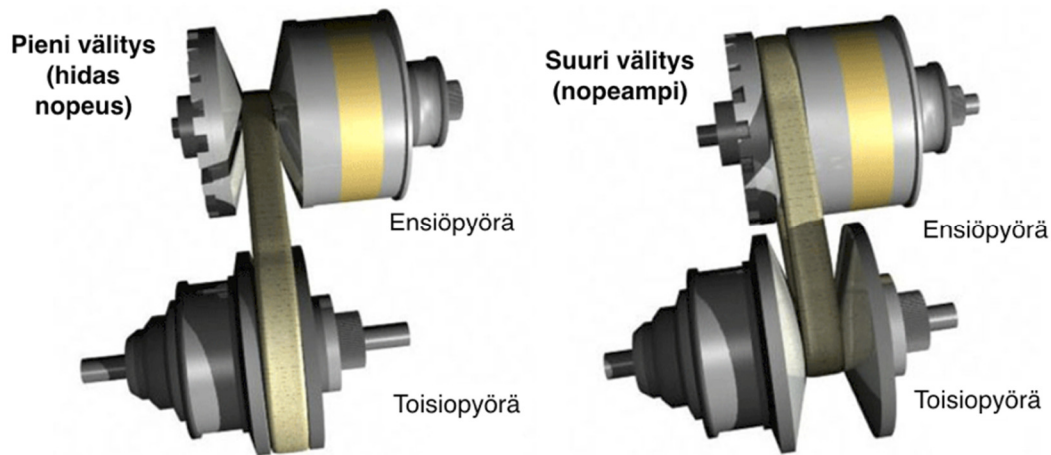
Automaattivaihteiston ja ajoneuvon moottorin välissä ei käytetä perinteistä levykytkintä, vaan sen tilalla on automaattivaihteiston yhteydessä oleva momentinmuunnin. Momentinmuunnin on rakenteeltaan eräänlainen nestekytkin, joka mahdollistaa ajoneuvon moottorin ja vaihteiston pyörimisen eri nopeudella. Kun ajoneuvon moottori pyörii hitaasti, nesteen liikkuminen momentinmuuntimessa on hidasta, jolloin momentinmuuntimen siirtämä vääntömomentti on pieni ja ajoneuvo pysyy lähes paikoillaan. Moottorin kierrosluvun noustessa nesteen virtaus kasvaa, jolloin enemmän vääntöä välittyy vaihteistolle ja ajoneuvo lähtee liikkeelle. (Nice 2000, 2.)

2.2.6 Kaksoiskytkinvaihteisto

Tavanomaiseen synkronoituun siirtoholkkivaihteistoon verrattuna kaksoiskytkinvaihteistossa on kaksi pääakselia, joille molemmille on oma kytkimensä. Toisella pääakselilla on parittomat vaihteet, eli 1, 3, 5 ja 7, ja toisella parilliset, eli 2, 4 ja 6. Kaksoiskytkinvaihteiston vaihtenvaihto perustuu kahteen samanaikaisesti kytkettynä olevaan vaihteeseen: kun toinen kytkin irrotetaan samaan aikaan kun toinen kytketään, vaihtenvaihto tapahtuu lähes katkottomasti. Kaksoiskytkinvaihteistossa yhdistyy manuaalivaihteiston ja automaattivaihteiston hyviä puolia, kuten manuaalivaihteiston hyötysuhde ja automaattinen vaihtenvaihto, mutta Karhiman (2011, 136) mukaan sen huonona puolena on monimutkainen rakenne. (Karhima 2011, 136.)

2.2.7 Portaaton vaihteisto

Portaattomia vaihteistoja voidaan toteuttaa usealla tavalla. Kevyissä ajoneuvoissa yleisimmin käytetty tekniikka perustuu kahteen kartiomaiseen hihnapyörään, jotka on yhdistetty kumisella tai metallilamellisella hihnalla. Kuvassa 7 on havainnollistettu pienintä ja suurinta hihnavaariaattorilla saavutettavaa välityssuhdetta: kun ensiöpyörän halkaisija on pakotettu pienimmilleen ja toisiopyörän halkaisija suurimmalleen (kuvan 7 vasen puoli), ajoneuvon nopeus on pienin mahdollinen. Kuvan 7 oikealla puolella tilanne on päinvastainen, jolloin ajoneuvon nopeus on suurin mahdollinen. Hihnavaariaattorilla voidaan saavuttaa mikä tahansa välityssuhde näiden kahden ääriasennon väliltä ohjaamalla hihnapyörien toimintaa hydrauliiikan, keskipakoisvoiman tai jousien avulla. (Harris 2005, 2 - 3.)



KUVA 7. Hihnavaariaattorin ääriasennot (Harris 2005, 3)

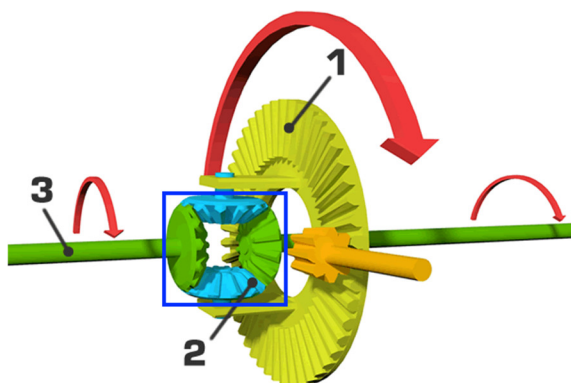
Portaaton vaihteisto voidaan toteuttaa myös hydrostaattisesti tai hydromekaanisesti. Hydrostaattisessa vaihteistossa ajoneuvon moottorilla käytetään muuttuvatilavuuksista hydraulipumppua, jonka tuottama nestevirtaus muutetaan hydraulimoottorilla takaisin pyöriväksi liikkeeksi. Hydromekaanisessa vaihteistossa hydraulimoottorilla pyöritetään tavanomaista vaihteistoa, eli moottorilta ajoneuvon pyörille välittyvän voiman siirtämiseen käytetään hydraulisen ja mekaanisen voimansiirron yhdistelmää. (Harris 2005, 5.)

2.3 Nivelakselisto

Luvussa 2 esimerkkinä käytetyssä kuorma-auton voimansiirrossa vaihteisto sijaitsee erillään vetävästä akselistosta, joten tarvitaan voimaa siirtävä akselisto vaihteiston ja vetopyörästäön väliin. Koska ajoneuvon akselit ovat yleensä joustavia, voimaa siirtävän akseliston on pystyttävä sallimaan akselien liike vaurioitumatta. Tähän tarkoitukseen käytetään niveliä, minkä vuoksi voimaa siirtävää akselistoa kutsutaan usein nivelakselistoksi. Luvun 2 esimerkkivoimansiirrossa on kaksi erillistä nivelakselia, joiden välissä on kannatinlaakeri kannattelemassa nivelakseleita paikoillaan. (Karhima 2011, 168.)

2.4 Vetopyörästä

Vetopyörästäön tehtävinä ovat voiman suunnan muuttaminen ja pyörimisnopeuden pienentäminen, joista jälkimmäinen kasvattaa myös vääntömomenttia (Karhima 2011, 181). Vetopyörästä sisältää usein tasauspyörästäön. Kuvassa 8 on esitetty tasauspyörästäön sisältävän vetopyörästäön kaaviokuva.



KUVA 8. Tasauspyörästäön sisältävä vetopyörästä (Differentials explained)

Voima tulee vetopyörästäön nivelakseliston välityksellä kuvaan 8 oranssilla merkityn hammaspyörän (pieni vetopyörä) kautta. Pieni vetopyörä pyörittää keltaisella merkittyä hammaspyörää (iso vetopyörä eli lautaspöörä). Yksinkertainen vetopyörästä voi koostua pelkästään näistä kahdesta vetopyörästä: jos vetopyörästäössä ei olisi tasauspyörästä (merkitty kuvassa 8 sinisen neliön sisään), vihreällä merkityt vetoakselit olisi korvattu yhdellä suoralla vetoakselilla, johon lautaspöörä olisi kiinnitetty suoraan.

Tasauspyörästä

Spede (Pertti Olavi) Pasanen yritti selittää Spede Show -televisiosarjan sketsissä tasauspyörästä Hannele Laurille huonolla menestyksellä, koska Laurin mielestä auton vetävät pyörät eivät voisi pyöriä eri nopeutta. Hän perusteli näkökantansa sillä, että nopeammin pyörivä pyörä saapuisi aiemmin perille kuin hitaammin pyörivä, joka kuuluu samaan ajoneuvoon. Vaikka kyse onkin huumorilla tehdystä sketsistä, siitä käy hyvin ilmi tasauspyörästä tarkoitus: se mahdollistaa vetävien pyörien pyörimisen eri nopeudella. (Tasauspyörästä. 1984.)

Tasauspyörästä koostuu isoista tasauspyöristä (kuvan 8 vihreät hammaspyörät) ja pienistä tasauspyöristä (kuvan 8 siniset hammaspyörät), joista pienet tasauspyörät pyörivät keltaisella merkityn lautaspyörän mukana. Kun ajoneuvolla ajetaan suoraan, pienet tasauspyörät eivät pyöri akseliensa ympäri, vaan pelkäänsä pyörittävät isojen tasauspyörien välityksellä molempia vetoakseleita samalla nopeudella. Kun ajoneuvolla ajetaan mutkaan, sisäkaarteeseen puoleisen pyörän on kuitenkin pystyttävä pyörimään hitaammin: tällöin pienet tasauspyörät alkavat pyöriä akseliensa ympäri mahdollistaen toisen vetoakselin pyörimisen eri nopeudella. (Differentials explained; Karhima 2011, 182.)

2.5 Napavälitys

Etenkin raskaassa kalustossa käytetään usein napavälitystä pyörimisnopeuden pienentämiseksi ja vääntömomentin kasvattamiseksi. Karhiman (2011, 225) mukaan napavälityksen etuna on voimansiirron vääntörasitusten väheneminen, koska vääntömomenttia kasvatetaan vasta lähellä vetäviä pyöriä. Napavälitys on siis yksinkertainen alennusvaihte, joka sijaitsee vetävän pyörän navassa. (Karhima 2011, 225.)

Napavälityksiä on kahta päätyyppiä. Lieriöpyöränapavälityksen pääosina toimivat kaksi hammaspyörää, joista vetoakselin päähän kiinnitetty pienempi hammaspyörä pyörittää suurempaa, eli pyörimisnopeus pienenee. Tavallisesti napavälityksenä käytetään kuitenkin planeettapyörästä, jollainen esiteltiin aiemmin automaattivaihteiston yhteydessä kuvassa 6. (Karhima 2011, 225.)

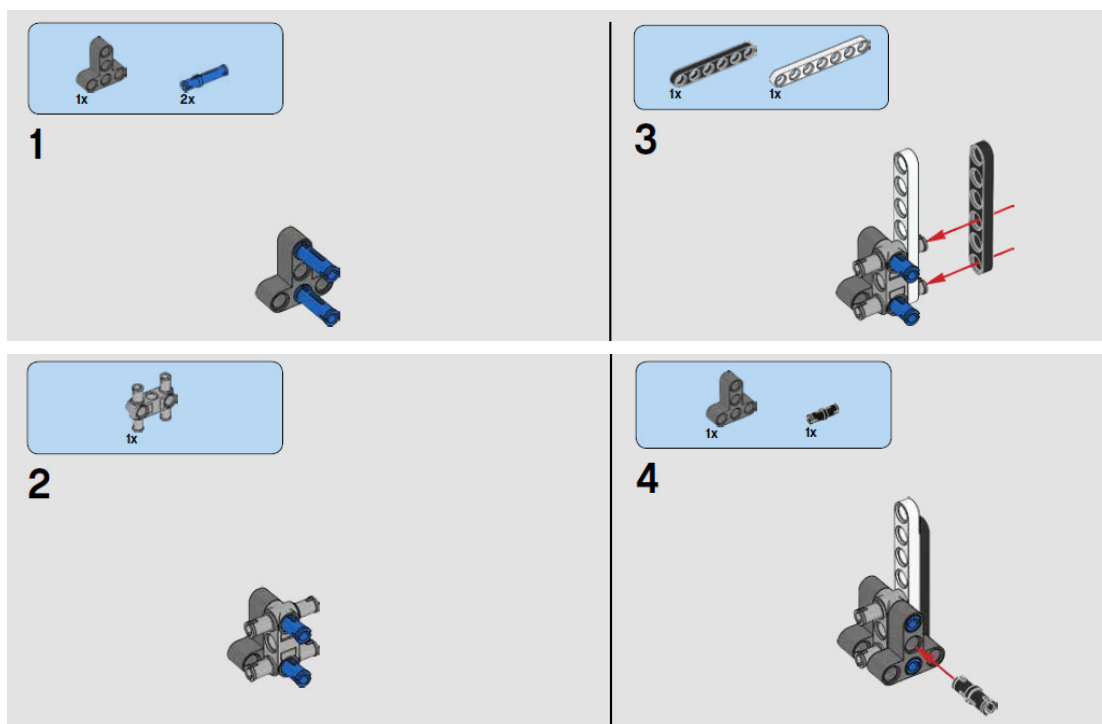
Toisin kuin automaattivaihteistossa, napavälityksessä käytetään planeettapyörästöstä vain yhtä välitystä. Vetoakseli voi napavälityksen toteutustavasta riippuen käyttää joko aurinkopyörää tai kehäpyörää, mutta molemmissa tapauksissa voima otetaan ulos planeettakannattimesta. Planeettakannatin pyörii samansuuntaisesti aurinkopyörän kanssa. (Karhima 2011, 126, 225.)

Planeettavaihteen etuna on, että sillä saadaan tehtyä suuria välityssuhteita. Lie-riöpyöränapavälitykseen verrattuna momentti myöskin jakautuu useamman kosketuspinnan kautta, mikä vähentää hammaspyörien hampaisiin kohdistuvia rasituksia. VEM Motors Finland Oy:n mukaan muita planeettavaihteen etuja ovat muun muassa hyvä hyötysuhde, pieni koko ja pitkä käyttöikä. (Planeettavaihte on energiatehokas ratkaisu vaikeisiin käyttöolosuhteisiin ja ahtaisiin tiloihin. 2010.)

3 TYÖOHJEET

Työohjeen tarkoituksena on opastaa ohjeen käyttäjää tekemään oikeat työvaiheet oikeassa järjestyksessä. Työohjeen käyttötarkoituksen mukaan siinä voidaan myös esittää oikeat työvälineet, joita tarvitaan työn suorittamiseen. Työohjeiden merkitys etenkin kokoonpanotyössä on merkittävä: huonoistakin osista voidaan valmistaa toimivia kokonaisuuksia hyvien ohjeiden avulla, kun taas huonosti ohjeistetussa kokoonpanossa voidaan pilata laadullisesti hyvät osat. (Haag – Salonen – Siltanen – Sääsäski – Järvinen 2011, 12 - 14.)

Työohjeiden tarkoituksena on myös minimoida työaika, joka kuluu uusien työtehtävien opetteluun (Haag ym. 2011, 14). Valokuvat ja 3D-mallit ovat tärkeä osa ohjeita, koska ne vähentävät selittävän tekstin tarvetta ja niistä näkee esimerkiksi kiinnitettävien osien oikeat asennot, joita olisi haastava kuvata sanallisesti. Hyvä esimerkki visuaalisesta työohjeesta on kuvassa 9 esitetty LEGO Technic -lelun kokoamisohje, jossa jokainen työvaihe selitetään pelkästään kuvia käyttäen, joten ohje on ymmärrettävissä kokoonpanijan kielestä ja kulttuurista riippumatta.



KUVA 9. Ote LEGO Technic -lelun kokoamisohjeesta (LEGO Technic 42066 A. 2017)

3.1 Työohjeen laatimisohje

Tämä ohje on laadittu opinnäytetyössä tehtyjen työohjeiden ja niiden kirjoittamisen aikana tehtyjen huomioiden perusteella. Ohjeen tarkoituksena on selittää työohjeen laatimisen pääkohdat, jotta uusia ohjeita voidaan tarvittaessa laatia samalla menetelmällä kuin opinnäytetyön aikana. Ohjetta voidaan soveltaa myös yleisellä tasolla työohjeiden laatimisen apuna. Esimerkki tämän ohjeen perusteella laaditusta työohjeesta on opinnäytetyön liitteenä 1.

3.1.1 Esivalmistelut

Työohjeen laatimisen esivalmistelut aloitetaan ottamalla valokuvat jokaisesta työvaiheesta, jotka tulevat sisällyttämään ohjeeseen. Kuvien tulee olla selkeitä ja sopivalta etäisyydeltä otettuja. On suositeltavaa käyttää tarkkaa kameraa ja ottaa kuvat riittävän kaukaa, koska kuvia voidaan rajata lähemmäs myöhemmin. Kuvia kannattaa ottaa riittävästi tuotteen eri puolilta, jotta kaikki olennaiset yksityiskohdat tulevat niihin mukaan.

Valokuvien ottamisen ohella kirjoitetaan muistioon vaiheiden sisällöt muutamalla sanalla. Kun valokuvat on otettu ja muistiinpanot tehty, tehdään valokuville kaksi kansiota, Alkuperäiset ja Muokatut. Valokuvat siirretään Alkuperäiset-kansioon ja tehdään niistä kopiot Muokatut-kansioon. Alkuperäiset-kansiossa olevia kuvia ei tule koskaan muokata, koska samaa alkuperäiskuvaa voidaan käyttää eri tavoin muokattuna usean työvaiheen selittämiseen. Jos yrityksellä on käytössä pilvipalvelu tai verkkotallennustilaa, sitä kannattaa suosia työohjeiden ja niiden kuvien tallentamisessa tietojen katoamisen välttämiseksi.

Ennen työohjeen kirjoittamisen aloittamista kannattaa selvittää, onko yrityksellä vakiintunutta työohjeen mallipohjaa, ja käyttää sitä, jos mahdollista. Jos vakiintunutta pohjaa ei ole, pohjana voidaan tarpeen mukaan käyttää vanhaa, aiemmin hyväksyttyä työohjetta. Ohjeen tekemistä tyhjälle pohjalle kannattaa välttää, koska kaikkien muotoilujen ja otsikkotyöliien uudelleen määrittäminen vie aikaa.

Jos laadittavia työohjeita on paljon ja ne valmistuvat yksitellen, selkeän kansiorakenteen luominen helpottaa versionhallintaa. Kansioita voidaan tehdä esimer-

kiksi viisi: Vanhat/poistettut, Työn alla, Hyväksyntää odottavat, Hyväksytyt ja Julkiset (Törmälä 2017). Uusia työn alla -versioita kannattaa tallentaa riittävän usein ja siirtää vanhat versiot omaan kansioonsa. Versionumerointi sisällytetään tiedoston nimeen ja se tehdään esimerkiksi kolmea tasoa käyttäen:

- taso 0.0.1: ensimmäinen oma versio
- taso 0.1.0: ensimmäinen tarkistettu versio
- taso 1.0.0: ensimmäinen hyväksytty versio.

3.1.2 Työohjeen kirjoittaminen

Työohjeen kirjoittaminen aloitetaan otsikkokentän täyttämällä. Otsikkokenttä sijaitsee työohjeen ensimmäisellä sivulla, ja siitä käy ilmi, mitä tuotteita ja mitä työvaiheita ohje koskee. Sana työohje tulee olla selvästi näkyvässä. Otsikkokentässä kerrotaan myös ohjeen laatija, tarkastajat ja hyväksyjä sekä näiden vaiheiden päivämäärät. Ohjeen painos voidaan ilmoittaa otsikkokentässä, vaikka versio kävisikin ilmi tiedoston nimestä.

Otsikkokentän täyttämisen jälkeen sijoitetaan kuva työohjeen tuotteesta etusivulle otsikkokentän alapuolelle ja lisätään tiedostoon metatiedot eli asiasanat. Jos ohjeet laaditaan Microsoft Word -ohjelmistolla, metatiedot voidaan sijoittaa tiedoston yhteenvetotietoihin otsikon Tunnisteet tai Avainsanat alle riippuen ohjelmiston versiosta. Jos yrityksessä on paljon työohjeita, avainsanat nopeuttavat ohjeiden etsintää tiedostojenhallinnassa. Avainsanat voidaan lisätä tiedoston yhteenvetotietojen lisäksi myös otsikkokenttään.

Seuraavaksi kirjoitetaan ohjeeseen työvaiheet aiemmin laaditun muistion perusteella. Vaiheet tulee merkitä selvästi ja niiden kuvailun tulee olla selkeää ja yksiselitteistä. Kaksi työvaihetta sivulle on usein sopiva määrä, koska tällöin kuville jää riittävästi tilaa. Ohjeiden tulee olla niin yksinkertaisia kuin mahdollista, mutta niiden on samalla sisällettävä kaikki olennaiset työvaiheiden suorittamiseen tarvittavat tiedot. Työohjeeseen kannattaa kirjoittaa mahdollisimman vähän usein muuttuvia raja-arvoja ohjeen päivittämistarpeen vähentämiseksi.

Ohjeiden kirjoittamisen jälkeen muokataan Muokatut-kansiossa olevista valokuvista eri vaiheisiin sopivia. Kuvat rajataan, niiden resoluutio säädetään esimerkiksi 1200 * 900 pikseliin ja korostetaan eri vaiheissa lisättäviä osia esimerkiksi punaisilla kehyksillä tai nuolilla. Jos samassa vaiheessa lisätään useita eri osia, merkitään kuvaan osien lisäysjärjestys, jos sillä on merkitystä. Eri värejä voidaan käyttää kuvien selkeyttämiseksi, mutta kuvien on oltava ymmärrettäviä myös esimerkiksi värisokean henkilön tulkitsemina (Törmälä 2017). Tämä voidaan varmistaa käyttämällä kuvissa sekä kuvailevia tekstejä että värejä. Kuvien tiedostonimien muokkaaminen työvaiheiden numeroita vastaaviksi nopeuttaa kuvien lisäämistä oikeisiin kohtiin seuraavassa vaiheessa.

Kuvien muokkaamisen jälkeen ne siirretään oikeisiin kohtiin työhjeessa. Jos samassa vaiheessa lisätään useita osia, tulee tarkistaa, että vaiheet on selitetty sanallisesti samalla tavalla kuin kuvissa. Kuvien alle lisätään lyhyet ja kuvailevat kuvatekstit. Kuvatekstien tulee olla mahdollisuuksien mukaan sellaiset, että työvaihe voidaan suorittaa pelkästään kuva ja kuvateksti tulkitsemalla. Kun ohjeet ja kuvat on koottu samaan dokumenttiin, voidaan tehdä oma pikainen tarkistus ohjeelle ja ottaa se mukaan tuotantoon.

Paras käytännön testi työhjeelle on, että ohjeen laatija kokeilee itse valmistaa tai kokoonpanna tuotteen laatimiensa ohjeiden perusteella. Jos ohjeista puuttuu jokin tarpeellinen tieto tai työvaihe, se tulee selvittää ja lisätä muistiinpanoihin. Myös tuotannon työntekijöiden mielipiteitä ja parannusehdotuksia on syytä kysyä ja tehdä sen jälkeen riittävät muistiinpanot korjauksien tekemiseksi myöhemmin. Työhjeesta on pyrittävä saamaan niin hyvä, että kuka tahansa voi valmistaa tai kokoonpanna tuotteen sen avulla.

Seuraavaksi korjataan ohje aiemmin tehtyjen muistiinpanojen perusteella. Myös avainsanat, otsikkokentän sisältö, kirjain-numeroyhdistelmät ja kuvien vastavuus kirjoitettuihin ohjeisiin on syytä tarkistaa huolellisesti. Omien tarkistusten jälkeen työhje lähetetään tarkastettavaksi ja korjataan se myöhemmin mahdollisen palautteen perusteella.

Kun kaikki korjaukset on tehty, muutetaan versionumeroksi 0.1.0 ja siirretään tiedosto Hyväksyntää odottavat -kansioon. Työhjeen hyväksyjä tekee ohjeelle

omat tarkistuksensa ja mahdolliset korjaukset, muuttaa versionumeroksi 1.0.0 ja siirtää ohjeen Hyväksytyt-kansioon. Lopuksi ohjeesta luodaan PDF-tiedosto ja siirretään se Julkiset-kansioon.

3.2 Työohjeiden nykytilanne

Työohjeiden hallinnan suurimpia ongelmia ovat dokumenttien suuri määrä ja niiden hajautuminen eri tietojärjestelmiin. Teknologian tutkimuskeskus VTT:n raportissa todetaan, että tämä voi aiheuttaa varsinkin tuotantohenkilöstön kannalta vaikean tilanteen, koska oleellinen tieto voi jäädä löytymättä informaatiotulvan keskeltä. Työntekijät saattavat myös tuottaa tietoa eri järjestelmillä, mikä vaarantaa eri ohjeistusten yhteensopivuuden ja hyödynnettävyyden tuotteen elinkaaren aikana. (Haag ym. 2011, 8.)

VTT:n raportissa kerrotaan myös suomalaisiin yrityksiin kohdistetusta kyselytutkimuksesta, joka on tehty vuonna 2010. Tutkimuksessa käsitellään teollisuuden kehittämistarpeita ja siihen on VTT:n mukaan vastannut 250 asiantuntijaa. Tutkimuksessa havaittiin, että tyypillisin työohje oli A4-kokoinen ohjeistus, joka tulostetaan työpisteelle ja joka sisältää tyypillisesti osalistan ja piirustukset. Tutkimuksen mukaan työohjeita laati tavallisesti tuotanto ja niitä tehtiin Microsoft Office -ohjelmistolla. Vaikka tutkimuksen tekemisestä on useita vuosia, samat käytännöt ovat sitkeästi voimassa nykyäänkin. (Haag ym. 2011, 13 - 16.)

Tutkimuksen mukaan työohjeistuksien suurimmiksi haasteiksi koettiin

- ohjeiden luomisen manuaalisuus, jolloin niiden päivittäminen on vaikeaa
- riittämättömät resurssit tai haluttomuus ohjeiden tekemiseen ja ylläpitoon
- ohjeiden laatimisen ja päivittämisen irrallisuus suunnittelu- tai valmistusprosessista
- todellisen opastusjärjestelmän puuttumattomuus, jolloin työohjeiden lukeminen on kiinni työntekijän omasta aktiivisuudesta. (Haag ym. 2011, 17.)

3.3 Työohjeiden kehittämismahdollisuuksia

Ensimmäinen kehitysaskel on paperisten työohjeiden korvaaminen tietokonepohjaisilla. Kaikkiin ohjeisiin kannattaa myös lisätä metatiedot ja rakentaa kan-

siorakenne tai tietokanta, josta voidaan hakea tilanteeseen sopivia ohjeita esimerkiksi asiasanojen, versionumeroinnin tai ohjeen laatimispäivämäärän perusteella lajiteltuina. Ohjeiden tulee olla helposti saatavilla, sillä jos oikean ohjeen löytäminen on haastavaa, on vaarana, että ohjeita ei käytetä. Lyhyesti kiteytetynä työhjejärjestelmässä tulee pyrkiä siihen, että viimeisin oleellinen tieto on oikeassa paikassa, oikeaan aikaan ja helposti ymmärrettävässä muodossa (Haag ym. 2011, 8).

Työhjeiden laatimiseen on suositeltavaa valita ohjelmisto ja mallipohja, jota käytetään koko yrityksessä. Saman mallipohjan käyttö nopeuttaa ohjeiden laadintaa ja helpottaa niiden päivittämistä, koska kenen tahansa ohjeistuksia laativan työntekijän on helppo päivittää samalla menetelmällä laadittuja ohjeita. Mallipohja voisi olla rakennettu siten, että esimerkiksi tekstit tulisivat automaattisesti oikeisiin kohtiin ja kuvat rajattaisiin automaattisesti oikean kokoisiksi. Jos työhjeita on vähän, työhjeiden laadintaan ja päivittämiseen voidaan nimetä vastaava henkilö, mutta jos työhjeistuksia ja muita ohjeita tehdään yrityksessä jatkuvasti, lisäresurssien käyttö voi olla tarpeen.

Tietojärjestelmään voitaisiin lisätä mahdollisuus hakea ohjeistuksia voimansiirron valmistenumeroilla, jolloin järjestelmä tunnistaisi voimansiirron mallin ja listaisi sen perusteella kyseiselle voimansiirrolle sopivat ohjeet. Jos voimansiirron valmistenumeron käyttö ei onnistu, tunnistamiseen pystytään käyttämään myös radiotaajuuksilla toimivia RFID-tunnisteita. Voimansiirtojen 3D-malleja kannattaisi hyödyntää nykyistä enemmän, koska niiden avulla voidaan laatia esimerkiksi animoituja ohjeita jo tuotteen suunnitteluprosessin aikana.

Opinnäytetyön aikana pohdittiin myös interaktiivisten työhjeiden käyttöä, jolloin kosketusnäytöltä voitaisiin valita haluttu voimansiirron osa ja näytölle avautuisivat tämän jälkeen kaikki valitun osan ohjeistukset. Interaktiiviseen ohjeistukseen olisi mahdollista sisällyttää käyttäjien mahdollisuus lisätä muistiinpanoja tai ilmoittaa ohjeen päivitystarpeesta, joka antaisi ilmoituksen ohjeiden ylläpidosta vastaavalle henkilölle.

4 SPESIFIKAATIOT

Spesifikaatiolla eli speksillä tarkoitetaan yleensä tarkkaa määrittelyä tuotteen tai palvelun ominaisuuksista. Sen tavoitteena on saavuttaa yhteisymmärrys valmiin järjestelmän ominaisuuksista toimittajan ja asiakkaan välillä. Spesifikaatioita voidaan laatia myös esimerkiksi työmenetelmille tai prosesseille. (Specification (spec) 2017.)

Speksit voidaan jakaa toiminnallisiin ja teknisiin määrittelyihin. Toiminnallisessa spesifikaatiossa määritellään yleisellä tasolla vaatimukset järjestelmälle tai palvelulle. Esimerkiksi jääkaappi-pakastimen vaatimuksissa voidaan määritellä, että sen pakastelokeron lämpötilan tulee olla -18 °C tai kylmempi. Toiminnallinen spesifikaatio ei määrittele järjestelmän yksittäisiä osia. (Specification (spec) 2017.)

Teknisessä spesifikaatiossa määritellään tarkemmin järjestelmän yksittäisten osien suorituskyky. Määrittely voidaan tehdä

- ilmoittamalla erikseen jokaisen osan nimelliset suoritusarvot toleransseineen: esimerkiksi sähkömoottorin pyörimisnopeuden ilmoittaminen muodossa $2\ 800 \pm 20\ 1/\text{min}$
- käyttämällä laatutasoa ja raja-arvoja ilmaisemaan osien suorituskykyä: esimerkiksi 1 000 kpl:n laatikko vastuksia, joista 99,99 %:ssa vastus on välillä $0,265\ \Omega - 0,275\ \Omega$
- hyödyntämällä normaalijakaumaa, jonka avulla voidaan määrittää, mikä on jokaisen yksittäisen osan suoritusarvojen hyväksyttävä vaihteluväli. (Specification (spec) 2017.)

Spesifikaatioiden yhteydessä käytetään usein myös termiä spesifiointi eli speksaus. Speksauksessa määritellään yksityiskohtaisesti, mitä tuotteen tai palvelun tulee tehdä ja millaisista osakokonaisuuksista se rakentuu. Spesifioinnin ja spesifikaation erona on, ettei tuotteen tai palvelun ostava asiakas välttämättä tiedä, miten tuote on spesifioitu, mutta hän voi lukea spesifikaatiosta valmiin tuotteen ominaisuudet. Hyvä esimerkki tästä ovat tietokoneohjelmat, joissa käyttäjä näkee valmiin käyttöliittymän, mutta ei tiedä, miten ohjelma on laadittu.

4.1 Spesifikaation laatimisohje

Spesifikaation laatimisohje on kirjoitettu opinnäytetyössä tehtyjen spesifikaatioiden pohjalta. Ohje on tarkoitettu voimansiirtojen testausspesifikaatioiden laatimiseen, mutta sitä voidaan osittain soveltaa myös muihin spesifikaatioihin. Jos spesifikaatioiden tekemiseen ei ole vakiintunutta käytäntöä, on suositeltavaa käyttää mallina standardeja, aiemmin yrityksessä laadittuja spesifikaatioita tai alalla vakiintuneita rakenteita. Esimerkki tämän ohjeen perusteella laaditusta spesifikaatiosta on opinnäytetyön liitteenä 2. Jos spesifikaatio on tarkoitus tehdä sekä suomeksi että englanniksi, käännös englanniksi kannattaa tehdä vasta suomenkielisen version hyväksymisen jälkeen, koska tällöin samoja korjauksia ei tarvitse tehdä kahteen dokumenttiin.

4.1.1 Esivalmistelut

Työ aloitetaan pohtimalla spesifikaatiolle sopiva rakenne. Rakenteen valintaan vaikuttaa, millainen tuote on kyseessä: esimerkiksi koneenosille tai palveluille voi löytyä valmiiksi mietittyjä malleja, jotka toimivat parempana pohjana kuin tässä työssä käytetty standardi SFS 4015. Rakenteen valitsemisen jälkeen luonnostellaan spesifikaation sisällysluettelo. Opinnäytetyössä laadittua sisällysluetteloä ei ollut käytetty yrityksessä aiemmin, joten se oli tarpeen katselmoida ja hyväksyä etappipalaverin yhteydessä. Tässä työssä luonnostellun sisällysluettelon päätököt ovat

1. johdanto
2. spesifikaation tarkoitus
3. symbolit ja lyhenteet
4. viranomaistiedot
5. viittaukset muihin asiakirjoihin
6. testausolosuhteet
7. testauslaitteisto
8. voimansiirron testaus
9. testauksen luotettavuus / laadunvalvonta.

Kun sisällysluettelo on valittu, sitä voidaan käyttää spesifikaation runkona. Spesifikaatioille luodaan samanlainen selkeä kansiorakenne ja versionumerointi kuin luvun 3.1.1 lopussa esitettiin. Myös spesifikaatiot kannattaa tallentaa verkkotalennustilaan tai pilvipalveluun, jos sellainen on käytettävissä.

4.1.2 Spesifikaation kirjoittaminen

Spesifikaation kirjoittaminen aloitetaan otsikkokentän täyttämällä. Otsikkokentässä kerrotaan, mitä tuotetta ja mitä työvaiheita speksi koskee. Sana spesifikaatio on oltava selkeästi näkyvissä. Otsikkokenttään lisätään myös ohjeen laatijan, tarkastajan ja hyväksyjän nimi sekä tarvittaessa painoksen numero.

Otsikkokentän alle lisätään kuva voimansiirrosta, minkä jälkeen lisätään pääotsikot omille sivuilleen ja luodaan niiden pohjalta sisällysluettelo työn etusivulle. Dokumenttiin tehdään alatunniste, joka sisältää yrityksen logon sekä sivunumeroinnin. Sivunumerointi alkaa sivulta 2. Metatiedot eli asiasanat kirjoitetaan oman, numeroimattoman otsikkonsa alle ennen johdantolukua ja ne lisätään myös tiedoston tietoihin.

Kun valmistelut on tehty, aloitetaan spesifikaation laatiminen aiemmin luonnostellun sisällysluettelon mukaisesti. Kirjoittaminen aloitetaan johdantoluvusta, jossa mainitaan vähintään spesifikaation laatimiseen johtaneet syyt sekä spesifikaation laatija (SFS 4015. 2010, 2). Myös spesifikaation oikeudet ja mahdolliset rajoitukset mainitaan johdantoluvussa.

Spesifikaation tarkoitus -luvussa esitellään tuote lyhyesti. Jos kyseessä on käytöspesifikaatio, määritellään myös spesifikaation käyttöalue. Jos spesifikaatio koskee vain pientä osaa tuotteesta tai tuotteen valmistuksesta, rajauksista tulee mainita tässä luvussa. (SFS 4015. 2010, 2.)

Symbolit ja lyhenteet -luku on tärkeä etenkin silloin, jos tuotetta toimitetaan ulkomaille. Esimerkiksi paineet, lämpötilat, tehot, pituuden ja tilavuuden yksiköt sekä virtausnopeudet ilmoitetaan SI-yksiköissä ja muunnetaan myös asiakkaan kotimaan mittayksiköiksi. Yksikköjen muuntamiseen voidaan käyttää esimerkiksi internetissä toimivaa Wolfram Alpha -työkalua (Wolfram Alpha. 2017).

Lyhenteiden selittämisen jälkeen luetellaan viranomaistiedot. Niissä viitataan ohjeisiin, joita tulee noudattaa vaaratilanteiden välttämiseksi. Jos viranomaistietoihin halutaan sisällyttää varoituksia, luku tulee kirjoittaa siten, etteivät spesifikaation kirjoittajan itse laatimat ohjeet syrjäytä yrityksen virallisia turvallisuusohjeita. Luvussa voidaan varoittaa esimerkiksi voiteluöljyn vaaroista ympäristölle ja käyttäjälle tai Törmälän (2017) mukaan vaihtoehtoisesti viitata suoraan öljynvalmistajan käyttöturvallisuustiedotteeseen. Poikkeuksellista huomiota vaativat varoitukset voidaan merkitä punaisella kärkikolmiolla, jonka sisällä on valkoinen huutomerkki.

Seuraavassa luvussa viitataan muihin asiakirjoihin, jos ne ovat tarpeen spesifikaation ymmärtämiseksi. Viittauksia voi olla esimerkiksi yrityksen yleisiin työ- ja turvallisuusohjeisiin tai laitteistojen käyttöohjeisiin. Viittaukset on syytä rakentaa sellaisiksi, ettei niitä tarvitse muuttaa viitattujen aineistojen päivittyessä, kuten ”tarkista viittaukset työohjeen viimeisimmästä hyväksytyistä versiosta”.

Testausolosuhteet-luvussa kerrotaan testauspaikka ja -olosuhteet. Olosuhteita ei pidä määrittää liian tarkasti, ellei niillä ole todellista vaikutusta laitteen toimintaan. Esimerkiksi asettamalla suhteellisen ilmankosteuden raja-arvot liian tiukoiksi voidaan aiheuttaa yritykselle tilanne, jossa testausta ei voida suorittaa kesäaamuisin (Törmälä 2017).

Testauslaitteisto-luvussa määritellään testauslaitteisto ja testauksessa käytettävät apuvälineet. Testauslaitteiston kuvauksessa on hyvä mainita esimerkiksi laitteiston mittaus- tai käyttöalue ja mittaustarkkuudet. Jos testausolosuhteet eroavat todellisista käyttöolosuhteista, vertailukelpoisten olosuhteiden hyväksyminen voi olla tarpeen, jolloin tehdään alaluku ”eroavavaisuudet testiolosuhteiden ja todellisten käyttöolosuhteiden välillä” (SFS 4015. 2010, 5).

Luku ”voimansiirron testaus” nimetään testattavan asian mukaan, esimerkiksi voimansiirron vuototestaus. Jos luku sisältää useita voimansiirrolle tehtäviä testejä, jokainen niistä kirjoitetaan oman alaotsikkonsa alle. Jos spesifikaatiota luetaan rinnakkain esimerkiksi testausjärjestelmän tallentaman muistion kanssa, testit on hyvä kirjoittaa samaan järjestykseen kuin testimuistiossa. Testit voidaan kuvailla seuraavasti:

- testin yleinen kuvaus, eli mitä testillä varmistetaan ja miten se suoritetaan
- tarkennukset, esimerkiksi parametrit, joita tarkkaillaan testin aikana
- testin tuloksen tulkinta, eli millä perusteilla se voidaan hyväksyä
- hyväksymiskäytäntö, eli mitä testin hyväksytystä tai hylätystä tuloksesta seuraa.

Viimeisessä luvussa määritellään testauksen luotettavuus ja laadunvalvonta. Luvussa voidaan käsitellä esimerkiksi laitteiston kalibrointi, laitteiston luotettavuuden arviointi, testaustulosten näytteenottomenetelmä ja testaajien pätevyys. Opinnäytetyössä käytettiin laitteiston luotettavuuden arviointiin keskihajontaan perustuvaa menetelmää, mutta menetelmä tulee valita laitteistolle sopivaksi.

Spesifikaation kirjoittamisen jälkeen päivitetään sisällysluettelon sivunumerointi ja tehdään työlle omat tarkistukset. Varsinkin metatiedot, otsikkokentän sisältö ja käytetyt yksiköt on syytä tarkistaa huolellisesti. Itse tehdyn tarkistuksen jälkeen lähetetään spesifikaatio tarkastettavaksi ja tehdään tarvittavat korjaukset kommenttien perusteella. Korjausten jälkeen muutetaan spesifikaation versionumeroksi 0.1.0 ja siirretään se Hyväksyntää odottavat -kansioon, minkä jälkeen hyväksyjä tekee omat tarkistuksensa dokumentille, muuttaa versionumeroksi 1.0.0 ja siirtää speksin Hyväksytyt-kansioon. Hyväksytystä spesifikaatiosta luodaan lopuksi PDF-tiedosto Julkiset-kansioon.

4.2 Spesifikaatioiden nykytilanne

Yritys X:n käyttämät spesifikaatiot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin. Valmiiden tuotteiden tuotespesifikaatiot ovat samassa järjestelmässä asianmukaisesti järjestettyinä ja niiden tekemiseen käytetään vakiintunutta pohjaa. Tuotespesifikaatioiden tekemisestä vastaavat tehtävään määrätyt henkilöt, joten niissä tilanne on hyvin hallinnassa.

Voimansiirtojen kokoonpanossa ja testauksessa käytettäville spesifikaatioille ei ole vakiintunutta mallia ja ne ovat hajautuneet eri kansioihin, mikä vaikeuttaa viimeisimpien hyväksytyjen versioiden löytämistä. Voimansiirtojen testausspesifikaatioita ei ole laadittu aiemmin, mutta nykyään niille on kasvava tarve, koska

asiakkaat ovat entistä kiinnostuneempia voimansiirtojen testauksesta ja sen laadunvalvonnasta.

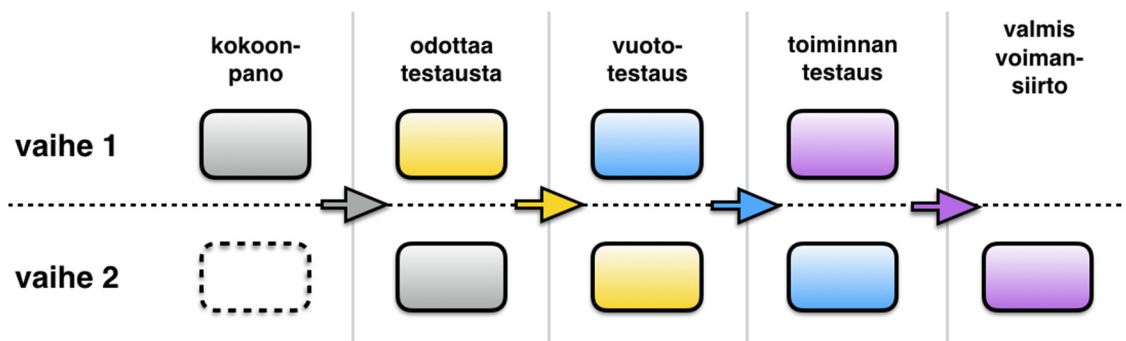
4.3 Spesifikaatioiden kehittämismahdollisuuksia

Etenkin kokoonpanon ja testauksen spesifikaatioiden laatimiseen tulee valita ohjelmisto ja käytettävä mallipohja. Pohjana voidaan käyttää esimerkiksi tässä työssä laadittuja spesifikaatioita. Kaikkiin laadittaviin spesifikaatioihin on syytä lisätä metatiedot, koska tämä mahdollistaa spesifikaatioiden helpomman hakemisen yrityksen tietojärjestelmästä. Spesifikaatioille kannattaa rakentaa selkeä kansiorakenne tai tietokanta, josta kaikki tarvittavat spesifikaatiot ja niiden eri versiot löytyvät helposti. Jos spesifikaatioita tullaan jatkossa tekemään enemmän, vastaavan henkilön nimeäminen tai lisäresurssien käyttö voi olla tarpeen.

Oikeiden spesifikaatioiden löytämistä voidaan helpottaa mahdollistamalla niiden hakeminen voimansiirron valmistenumerailla tai RFID-tunnisteilla, kuten pohdittiin aiemmin luvussa 3.3 Työohjeiden kehittämismahdollisuuksia. Spesifikaatiot ja työohjeet on mahdollista laittaa näkymään rinnakkain tietokoneen näytöllä, jolloin kaikki kyseiseen voimansiirtoon liittyvät ohjeistukset löytyisivät vaivattomasti. Speksit kannattaisi laittaa näkyviin myös testauslaitteiston näyttöön, mikä helpottaisi etenkin uusien käyttäjien ymmärrystä testauslaitteiston ja eri testien toiminnasta.

5 VOIMANSIIRTOJEN TESTAUS

Voimansiirron testaus voidaan suorittaa yhdessä tai useammassa pisteessä. Testaus on useimmiten jaettu vähintään kahteen pisteeseen, koska se mahdollistaa pidemmät testausajat pidentämättä tuotannon tahtiaikaa. Testaus voidaan järjestää esimerkiksi kuvan 10 mukaisesti, jossa vuototestattavana ollut voimansiirto siirtyy toiminnan testaukseen ja vuototestaus aloitetaan testausjärjestyksessä seuraavana olevalle voimansiirrolle. (Testausinsinööri 2017.)



KUVA 10. Esimerkki testauksen jaottelusta

5.1 Vuototestaus

Vuototestauksella varmistetaan, ettei voimansiirron osakokonaisuus vuoda öljyä ulospäin. Tämä voidaan todentaa syöttämällä voimansiirtoon ylipaine, joka vastaa voimansiirron kotelossa normaaleissa käyttöolosuhteissa vallitsevaa öljynpainetta. Jos paine ei ole laskenut määritellyn ajan kuluessa, voimansiirto on tiivis ja se voi jatkaa eteenpäin toiminnan testaukseen. Jos voimansiirrossa ilmenee vuotoja, se siirretään erilliseen työpisteeseen, missä vuodon sijainti selvitetään, vaihdetaan tarvittavat tiivisteet ja suoritetaan vuototestaus uudelleen. (Testausinsinööri 2017.)

Ennen vuototestauksen aloittamista voimansiirron osakokonaisuuteen voidaan joutua tekemään erilaisia tulppauksia, koska voimansiirto ei ole vielä lopullisessa käyttöympäristössään. Tulppaukset ovat tarpeen, ettei vuototestauksessa syötävä ylipaine pääse poistumaan voimansiirron kotelosta. Esimerkiksi öljyn täyttö- ja tarkastusaukot sekä huohottimen aukko tulpataan ennen vuototestausta. (Testausinsinööri 2017.)

Yksinkertainen vuototestaus voitaisiin suorittaa ilman erikoislaitteita esimerkiksi upottamalla epäilty vuotokohta veteen ja tarkkailemalla vedestä nousevia ilmapuolia. Menetelmä voi olla riittävä pienelle ja yksinkertaiselle laitteelle, mutta monimutkaiselle, mahdollisesti sähköisiä sisältävälle voimansiirrolle se ei ole riittävän käyttökelpoinen. Seuraavassa esitellään erilaisia vuototestausmenetelmiä ja ilmanpaineeseen perustuvan vuototestauslaitteen toimintaperiaate.

5.1.1 Testausmenetelmät

Vuototestausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti

- hydrostaattisiin
- ilmanpaineeseen perustuviin
- kaasuihin perustuviin menetelmiin. (Leak testing methods. 2013.)

Hydrostaattisessa menetelmässä käytetään paineistettua nestettä, johon voidaan lisätä väriainetta tuomaan vuotokohdat paremmin näkyviin. Vuodot voidaan havaita visuaalisesti tai painehäviöitä mittavien anturien avulla. Nesteellä saadaan aikaan vastaava paine kuin laitteen todellisissa käyttöolosuhteissa, mutta menetelmä on usein hidas ja sotkuinen verrattuna ilmanpaineeseen tai kaasuihin perustuviin menetelmiin. (Common Leak Testing Methods; Leak testing methods. 2013.)

Ilmanpainetta käyttävä menetelmä voi perustua yli- tai alipaineeseen. Lievään ylipaineeseen perustuvat laitteet ovat yleisiä, koska ne ovat suhteellisen edullisia ja tarkkoja. Alipaineeseen perustuvilla laitteilla voidaan havaita erilaisia vuotokohtia kuin ylipaineeseen perustuvilla, mutta täydellistä tyhjiötä tai korkeita, yli 30 baarin ylipaineita tavoitellessa laitteiston hinta nousee voimakkaasti. (Common Leak Testing Methods.)

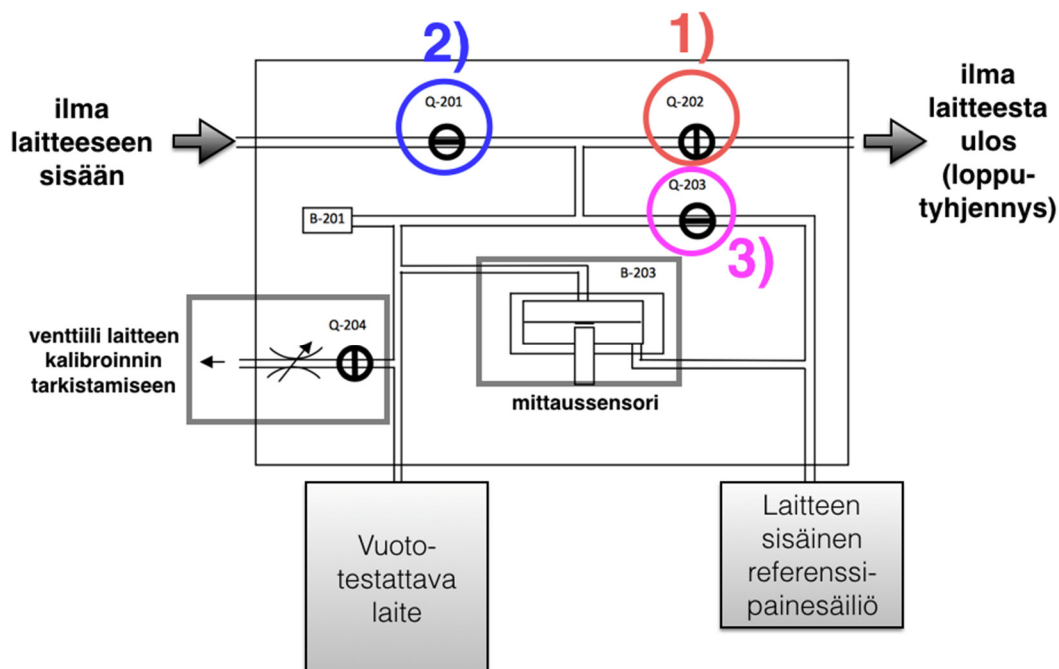
Ilmanpaineeseen perustuvissa menetelmissä vuodot voidaan havaita yli- tai alipaineen muutoksesta. Vuotokohtien tarkemmassa paikantamisessa käytetään usein saippuavettä tai suihkutettavaa vuodonilmaisuainetta, joka muodostaa kuplia vuotokohtiin. Vuotoja voidaan paikantaa myös kuuntelemalla tai käyttämällä mittalaitteita vuotokohdan paikallistamisen apuna, mutta tämä vaatii hiljaisen tes-

tausympäristön. Ilmanpaineeseen perustuvien testauslaitteiden etuna on testauksen siisteys, mutta haittana on, etteivät testit vastaa täysin paineistetulla nesteellä tehtyjä. (Common Leak Testing Methods; Leak testing methods. 2013.)

Kaasuihin perustuvat menetelmät perustuvat vedyn, halogeenikaasujen, heliumin tai radioaktiivisten kaasujen käyttöön vuototestauksessa. Vuodot mitataan esimerkiksi massaspektrometrillä tai radioaktiivisuutta mittaavalla pulssilaskurilla. Kaasuihin perustuvilla menetelmillä voidaan tehdä testejä joko syöttämällä kaasua testattavan laitteen sisään ja mittaamalla vuotoja tai viemällä testattava laite kaasulla täytettyyn tilaan ja sijoittamalla vuotoja mittaava anturi testattavan laitteen sisään. (Leak testing methods. 2013.)

5.1.2 Ilmanpaineeseen perustuvan testauslaitteen toiminta

Yritys X käyttää voimansiirtojen vuototestauksessa lievään ylipaineeseen perustuvaa testausmenetelmää, koska voimansiirron kotelossa on ylipainetta myös normaaleissa käyttöolosuhteissa. Yrityksen käyttämän laitteen toiminta perustuu neljään toimintavaiheeseen, jotka voidaan selittää kuvan 11 avulla.



KUVA 11. Ilmanpaineeseen perustuvan vuototestauslaitteen toimintaperiaate (Leak Testing Instrument S9. 2009, 4)

Ensimmäisessä vaiheessa paineistetaan vuototestattava laite ja vuototestauslaitteen sisäinen referenssipainesäiliö. Tämä tapahtuu sulkemalla kuvaan punaisella merkitty poistoventtiili 1 ja avaamalla kuvaan sinisellä merkitty paineistusventtiili 2. Kuvaan violetilla merkitty stabilointiventtiili 3 on avoinna paineistuksen ajan. Testauslaite käyttää lyhennettä P (Pressurization) paineistusvaiheen symbolina. (Leak Testing Instrument S9. 2009, 4.)

Toisessa vaiheessa venttiili 1 pysyy suljettuna ja venttiili 2 suljetaan. Vuototestattavan laitteen ja referenssipainesäiliön paineiden annetaan tasaantua avoinna olevan venttiilin 3 kautta ennen varsinaisen mittauksen aloittamista. Toisen vaiheen lyhenne on S (Stabilization). (Leak Testing Instrument S9. 2009, 4.)

Varsinainen vuotomittaus tapahtuu kolmannessa vaiheessa. Stabilointiventtiili 3 suljetaan ja mittaussensori alkaa mitata vuototestattavan laitteen ja referenssipainesäiliön välistä paine-eroa. Jos paine-ero kasvaa laitteeseen määritettyä raja-arvoa nopeammin, laite antaa hälytyksen vuodosta. Mittausvaiheen lyhenneä käytetään kirjainta M (Measurement). (Leak Testing Instrument S9. 2009, 4.)

Neljännessä vaiheessa mittaus on suoritettu, mutta vuototestattava laite ja referenssipainesäiliö ovat vielä paineistettuja. Venttiilit 1 ja 3 avataan, jolloin paine poistuu järjestelmästä. Vaiheen lyhenne on E (Evacuation). (Leak Testing Instrument S9. 2009, 4.)

Kuvan 11 vuototestauslaitteessa on myös venttiili laitteen kalibroinnin tarkistamiseen. Kalibroitiventtiiliä avataan, kunnes haluttu vuoto nopeus saavutetaan, ja tarkistetaan venttiilin vuoto nopeus erillisen kalibrointilaitteen avulla. Venttiilin säätämisen jälkeen käynnistetään vuototestaus, jonka tuloksen tulee olla sama kuin kalibrointilaitteella saatu arvo. Kalibroinnin tarkistamisen aikana ei kytketä ulkoista vuototestattavaa laitetta järjestelmään, koska vuotoa saa tapahtua vain kalibroitiventtiilin kautta. (Leak Testing Instrument S9. 2009, 4 - 5.)

5.2 Toiminnan testaus

Voimansiirtojen toiminnan testaukseen on olemassa lukuisia erilaisia ratkaisuja. Osa valmistajista toimittaa valmiita testauslaitteistoja suoraan hyllystä -periaatteella, mutta voimansiirtojen monimutkaistuesssa erilaiset asiakkaalle räätälöidyt testauslaitteistot yleistyvät. Säkkinen (2016) mukaan eroavaisuuksia on myös siinä, miten suuri prosenttiosuus voimansiirroista käy läpi täydellisen toiminnan testauksen kokoonpanon jälkeen. Oleellista on, että testausmenetelmistä riippumatta voimansiirron luotettava toiminta pitää pystyä todentamaan ennen asiakkaalle toimittamista.

Jos samanlaisia voimansiirtoja valmistetaan suurina erinä, on mahdollista, että laatua tarkkaillaan eräkohtaisin otoksin. Tällöin vain pieni osa valmiista tuotteista käy läpi täydellisen toiminnan testauksen, eli suurimmalle osalle voimansiirroista suoritetaan pelkästään vuototestaus ja epäpuhtauksien huuhtelu ennen voimansiirron asentamista paikoilleen. Voimansiirroille voidaan myös tehdä erilaisia konenäköön perustuvia tarkistuksia kokoonpanoprosessin aikana. Tämä parantaa kokoonpanoprosessin laatua, jolloin varsinaista toiminnan testausta voidaan lyhentää. (Säkkinen 2016.)

5.2.1 Testauksen kulku

Voimansiirron toiminnan testaus alkaa aina varustelulla, jossa kytketään kaikki voimansiirron osaan liittyvät anturien johdot ja hydraulikkaletkut paikoilleen. Jos johtoja ja hydraulikkaletkuja on vähän, kytkennät voidaan tehdä suoraan testauslaitteistoon, mutta jos niitä on paljon, varustelu kannattaa suorittaa erillisessä työpisteessä. Tällöin voimansiirtoon kytkettävät yksittäiset letkut ja anturien johdot kootaan toisista päistään liittimiin tai laattoihin, mikä nopeuttaa kytkentää testauslaitteistoon. Kun varustelu on suoritettu ja voimansiirto kytketty testauslaitteistoon, aloitetaan varsinainen testaus. (Testausinsinööri 2017.)

Voimansiirtojen testauksella on useita tarkoituksia. Esimerkiksi kuorma-auton vaihteistossa on useita vaihteistolohkoon koneistettuja öljykanavia, joihin voi huolellisesta puhdistamisesta huolimatta jäädä epäpuhtauksia, jotka haittaavat voitelujärjestelmän toimintaa. Kun voimansiirron osakokonaisuus on kokoonpanttu ja

sille on suoritettu vuototestaus, aloitetaan sen testaus edellä mainitusta syystä huuhtelemalla voimansiirtoa ulkoisella huuhtelujärjestelmällä. Vähitellen voimansiirtoa aletaan pyörittää samaan aikaan hyvin hitaasti, jolloin epäpuhtaudet poistuvat öljykanavista aiheuttamatta vaurioita. (Testausinsinööri 2017.)

Kun voimansiirron osakokonaisuus on huuhdeltu ja sitä voidaan pyörittää normaalilla nopeudella, voidaan testauksen aikana tarkkailla useita asioita. Näitä ovat esimerkiksi voimansiirron pyörittämiseen vaadittavan tehon määrä, voimansiirron lämpötila sekä melu ja värinä. Näillä mittareilla voidaan löytää muun muassa viallisia laakerointeja tai hammaspyöriä, joiden pinnanlaatu ei ole riittävä. Voimansiirron sisäänmeno- ja ulostulonopeuksia tarkkailemalla voidaan myös varmistaa, että välityssuhde on suunnitellun mukainen. (Testausinsinööri 2017.)

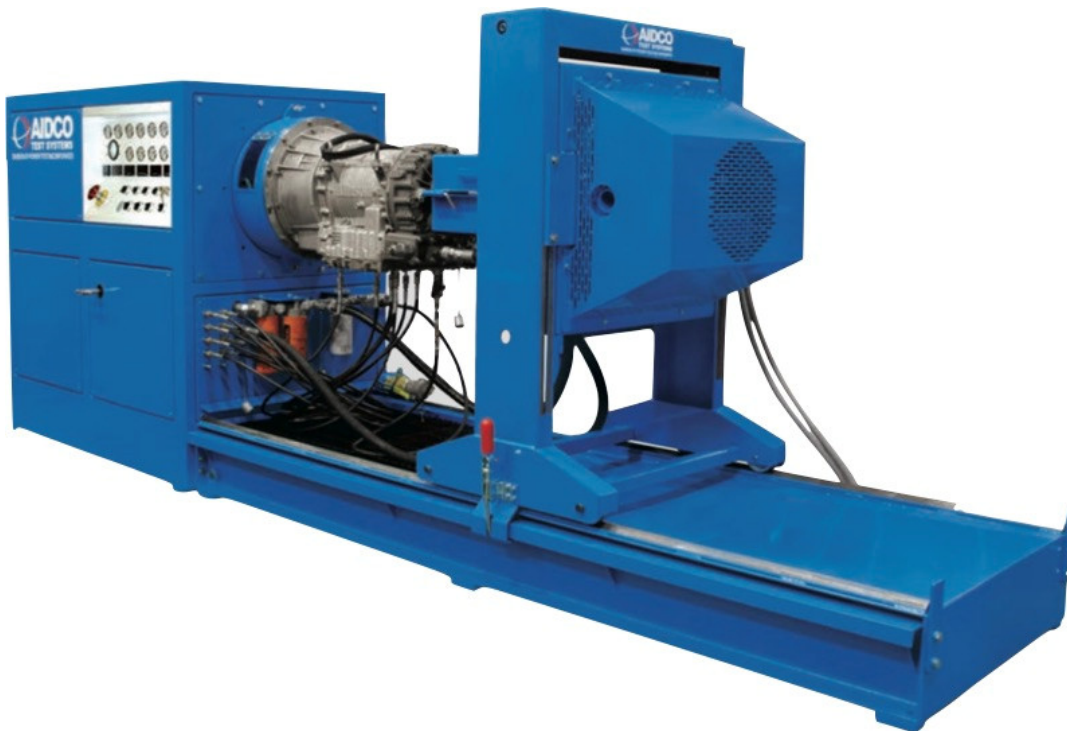
Jos voimansiirron osakokonaisuudessa on antureita tai kytkimiä, testauksen aikana tarkistetaan myös niiden toiminta ja ne kalibroidaan tarvittaessa. Myös erillisten hydrauliiikan painepiirien paineet tarkistetaan ja kalibroidaan tarpeen mukaan. Jos voimansiirron vaihteisto-osassa on useita vaihteita, voidaan antureiden jännitelukemia seuraamalla tarkkailla, kytkeytyvätkö vaihteet oikein. Voimansiirroissa mahdollisesti olevien jarrujen ja lukkojen toiminta voidaan varmistaa esimerkiksi erillistä jarrudynamometriä käyttäen. (Testausinsinööri 2017.)

Voimansiirron testauksen jälkeen se tyhjennetään öljystä, koska voimansiirron pohjalla voi olla vielä epäpuhtauksia testauksen jäljiltä. Voimansiirto kytketään irti testauslaitteistosta ja kaikki voimansiirtoon kytketyt anturien johdot sekä hydrauliiikkaletkut irrotetaan. Öljyn täyttö-, tyhjennys- ja huohotinaukot sekä muut tarvittavat kohdat tulpataan ja valmistellaan voimansiirto pesua ja maalausta varten. (Testausinsinööri 2017.)

5.2.2 Esimerkki testauslaitteistosta

Vaikka osalla testauslaitteita voidaan testata useita erilaisia voimansiirtoja, erikoiset ja -tyyppiset voimansiirrot vaativat usein erilliset testauslaitteensa. Kuvassa 12 on keskiraskaan kaluston vaihteistoille tarkoitettu testauslaitteisto, jolla voidaan suorittaa myös vaihteiston vuototestaus. Kuvassa esitellyn laitteen ominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi

- automaattivaihteiston vaihteidenvaihtojen tarkastelu ja asetus
- vääntömomentin tarkkailu liikkeelle lähtiessä ja liikkeellä ollessa
- vuotojen etsintä vaihteiston eri osista
- melu- ja värinätasojen mittaus
- vaihteiston eri hydraulikkapiirien paineiden tarkistus
- öljyn virtausnopeuden ja lämpötilan tarkastelu. (450E Transmission Test Stand. 2016, 2.)



KUVA 12. Vaihteiston toiminnan testaukseen tarkoitettu laitteisto (450E Transmission Test Stand. 2016, 1)

Testauslaitteistoon kuuluu yleensä myös erillinen käyttöpaneeli, joka voidaan sijoittaa erilleen testauslaitteistosta. Käyttöpaneeli sisältää näytön, testauslaitteiston hallintalaitteet ja testaustulosten tallentamiseen tarvittavat välineet. Käyttöpaneeli on hyvä sijoittaa erilleen varsinaisesta testauslaitteistosta, koska voimansiirron, testauslaitteiston tai hydraulikkaletkujen vaurioituminen kesken testauksen voi muuten aiheuttaa vaaratilanteen laitteiston käyttäjälle. Jos käyttöpaneeli halutaan pitää lähellä testauslaitteistoa, tulee laitteiston ympärille rakentaa riittävä suojaus öljysuihkujen ja muiden vaarojen välttämiseksi (Testausinsinööri 2017).

Testauslaitteeseen voidaan asentaa useita erilaisia lisävarusteita laitteiston käytötarkoituksen mukaan. Esimerkkinä voidaan mainita testauslaitteistoon integroitavat öljyn täyttö- ja tyhjennyslaitteet sekä erilaiset voimansiirron käsittelyä helpottavat apuvälineet. Myös öljyn esilämmitysjärjestelmä on tarpeellinen, koska se tehostaa öljyn huuhteluvaikutusta ja vähentää öljyn lämpötilan muutoksesta johtuvia vaihteluita testauksen aikana (Testausinsinööri 2017).

Toimeksiantajan hankkiman järjestelmän ominaisuutena on myös testausmuistion automaattinen tallentaminen yrityksen tietojärjestelmään. Muistio sisältää muun muassa voimansiirron valmistenumeron, testausaseman numeron, tarkan testauskellonajan sekä jokaisen testiaskelen tuloksen, raja-arvot ja testin suorituskerran numeron. Muistioon lisätään myös merkintä vuototestauksen hyväksymisestä. Jos voimansiirron testauksessa on ilmennyt ongelmia, voimansiirron testausaseman käyttäjä on lisännyt muistioon tiedon viasta ja selvityksen siitä, miten se on korjattu.

5.3 Testauslaitteiston luotettavuuden todentaminen

Testauslaitteistossa on paljon mittausantureita, joista jokaisella on oma ominais-tarkkuutensa. Osaan mittauksista joudutaan käyttämään useita antureita samaan aikaan, jolloin pienetkin virheet yksittäisissä antureissa voivat kertautua ja aiheuttaa merkittäviä poikkeamia lopputuloksiin. Tällaisissa tilanteissa voi olla haastavaa löytää virheen alkulähde, koska antureiden antamia mittatietoja prosessoidaan moneen kertaan ennen niiden näkymistä oikeissa mittayksiköissään testauslaitteiston monitorilla (Testausinsinööri 2017). Testauslaitteiston luotettavuuden arvioinnin ongelmana on myös suuri muuttujien määrä itse voimansiirroissa.

On selvää, että eri voimansiirtojen mittaustuloksissa on eroavaisuuksia, mutta myös samasta voimansiirrosta voidaan saada erilaisia tuloksia eri testauskerroilla. Tähän vaikuttavat etenkin voimansiirron ja siihen syötettävän öljyn lämpötila. Kylmällä öljyllä saadaan aikaan korkeampia paineita kuin kuumalla öljyllä, mutta virtausnopeudet ovat korkeampia kuumempaa öljyä käytettäessä. Tämä johtuu öljyn viskositeetin vaihtelusta lämpötilan muuttuessa, eli sama öljy on kylmänä paksumpaa ja kuumana ohuempaa (Usein kysytyjä kysymyksiä autonhoi-dosta. 2017).

Voimansiirto lämpiää luonnostaan testauksen aikana, jolloin paineiden ja virtausnopeuksien muuttumisen lisäksi voimansiirron sisäiset tehohäviöt pienenevät öljyn muuttuessa ohuemmaksi. Tehohäviöihin vaikuttaa suuresti myös voimansiirron öljyn pinnankorkeus testauksen aikana: tehohäviöt lisääntyvät öljyn pinnankorkeuden kohotessa ja vähenevät öljyn pinnankorkeuden laskiessa. Öljyn pinnankorkeus täytyy kuitenkin aina pysyä riittävän korkealla voimansiirron riittävän voitelun takaamiseksi. (Testausinsinööri 2017.)

Haasteistaan huolimatta voimansiirtojen testauslaitteiston luotettava toiminta on tärkeää, koska voimansiirron lopputestaus voi olla ainut mahdollisuus testata valmiin voimansiirron toiminta ennen sen toimittamista asiakkaalle. Ellei laitteisto ole luotettava ja viallinen voimansiirto päättyy asiakkaalle asti, kaikki valmistus- ja kokoonpanotyön laatuun panostettu työ on ollut asiakkaan näkökulmasta turhaa. Seuraavissa alaluvuissa esitellään kaksi mahdollista ratkaisua testauslaitteiston luotettavuuden todentamiseen.

5.3.1 Referenssivoimansiirto

Yksi ratkaisu luotettavuuden todentamiseen on niin sanottu referenssivoimansiirto, joka on testattu testauslaitteiston valmistajan suorittaman laitteiston kalibroinnin jälkeen (Törmälä 2017). Referenssivoimansiirron alkuperäiset testitulokset voidaan tallentaa, testata sama voimansiirto uudelleen määrätyin väliajoin ja vertailla tuloksia alkuperäisiin. Väliaika voi perustua aikaan tai voimansiirtojen määrään, esimerkiksi kahden viikon tai 50:n voimansiirron välein.

Referenssivoimansiirroksi kelpaa myös testauksessa hylätty voimansiirto, jonka korjaaminen veisi enemmän aikaa kuin uuden voimansiirron kokoonpano. Voimansiirron vika ei saa kuitenkaan pahentua, vaikka voimansiirtoa testattaisiin useita kertoja. Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi referenssivoimansiirron testauksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota voimansiirron ja siihen syötettävän öljyn lämpötilaan sekä öljyn pinnankorkeuteen.

Voimansiirtoon voidaan myös asentaa ylimääräisiä antureita, jotka mittaavat samoja asioita kuin testauslaitteiston anturit (Törmälä 2017). Ylimääräisten anturei-

den lukemia voidaan tarkastella erillisellä laitteella ja vertailla niitä testauslaitteiston antureiden lukemiin. Testauslaitteiston tietokoneelle voidaan tarvittaessa asentaa laskuri tai ajastin, joka muistuttaa referenssivoimansiirron uudelleentestauksesta määräajoin, esimerkiksi joka toinen torstai.

5.3.2 Itsediagnostiikkaa hyödyntävän testiohjelman laatiminen

Voimansiirron testaus koostuu testimoduuleista, joilla testataan voimansiirron eri osa-alueiden toiminta. Yksi osa-alue voi olla esimerkiksi voimansiirron sisäisten paineiden mittaaminen. Voimansiirrolle sopivat testimoduulit ja niiden järjestys haetaan tietojärjestelmästä testisekvenssin avulla, joten järjestelmään voitaisiin määrittää kokonaan uusi sekvenssi, johon voidaan laatia uudet testimoduulit laitteiston kalibroinnin tarkistamista varten.

Kalibroinnin tarkistamisen testimoduulit alkaisivat laitteiston antureiden referenssi- eli nollatasojen lukemisella. Mittaukset toistetaan peräkkäin esimerkiksi kymmenen kertaa ja määritetään ohjelma tallentamaan jokainen yksittäinen tulos testiraporttiin. Referenssitasojen lukemisen jälkeen voimansiirtoa pyöritetään eri nopeuksilla ja otetaan jokaisesta tilanteesta samanlainen kymmenen mittauksen sarja.

Testiohjelmaan voidaan syöttää kaavoja, jotka laskevat anturikohtaisten tulosten keskiarvot ja -hajonnat valmiiksi testiraporttiin. Keskiarvoille ja -hajonnoille voidaan määrittää sallitut raja-arvot, jolloin raportista näkee suoraan, onko anturin kalibrointi hyväksytyllä tasolla (PASSED), vai tarvitseeko anturi vaihtoa tai uudelleenkalibrointia (FAILED). Keskihajonnan laskemiseen voidaan käyttää apuna kuvan 13 kaltaista taulukkoa.

Tulosten keskiarvo ja keskihajonta

Vaihda arvoja vain sinisiin kenttiin.

| Mittauskerta | Tulos | Poikkeama keskiarvosta | Poikkeama keskiarvosta ^2 |
|---------------------------|--------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 990 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 985 | -5,0 | 25,0 |
| 3 | 995 | 5,0 | 25,0 |
| 4 | 992 | 2,0 | 4,0 |
| 5 | 988 | -2,0 | 4,0 |
| 6 | 994 | 4,0 | 16,0 |
| 7 | 986 | -4,0 | 16,0 |
| 8 | 991 | 1,0 | 1,0 |
| 9 | 989 | -1,0 | 1,0 |
| 10 | 990 | 0,0 | 0,0 |
| Summa | 9900 | | 92,0 |
| Tulosten keskiarvo | 990,0 | | 10,2 |
| Pienin yksittäinen tulos | 985 | | |
| Suurin yksittäinen tulos | 995 | | |
| | | 3 | Haluttu laatutaso, sigmaa |
| | | 9,6 | Toleranssi, +- |
| | | 980,4 | Alaraja |
| | | 999,6 | Yläraja |

| Sigmatasot: | |
|-------------|---------------|
| | Hyväksytyt, % |
| 1 sigma | 68,27 |
| 2 sigmaa | 95,45 |
| 3 sigmaa | 99,73 |
| 4 sigmaa | 99,9937 |
| 5 sigmaa | 99,999943 |
| 6 sigmaa | 99,9999998 |

Summa jaettuna luvulla (n - 1): jos esim. 10 tulosta, luku on 10 - 1 = 9
 (neliöjuuri solusta "Summa jaettuna luvulla (n - 1)")

KUVA 13. Kuvankaappaus keskihajonnan laskennan Excel-taulukosta (Jokinen 2015)

Kuvan 13 taulukon sinisellä merkityt tulokset ovat yksittäisiä mittaustuloksia. Jokaiselle yksittäiselle mittaustulokselle lasketaan poikkeama keskiarvosta ja korotetaan se toiseen potenssiin. Toiseen potenssiin korotetut poikkeamat lasketaan yhteen, jaetaan summa luvulla n-1 (tulosten määrä miinus yksi) ja otetaan osamäärästä neliöjuuri, jolloin tulokseksi saadaan tulosten keskihajonta.

Lasketun keskihajonnan perusteella voidaan määrittää mittaustuloksille raja-arvot. Jos esimerkiksi halutaan, että 99,73 % mittaustuloksista on raja-arvojen sisällä, valitaan laatutasoksi 3 sigmaa. Tämä tarkoittaa, että tulokset saavat olla enintään kolmen keskihajonnan päässä keskiarvosta, joka kuvan 13 tapauksessa on 990,0. Toleranssiksi muodostuu siis $3 * 3,2 = 9,6$, jolloin raja-arvoiksi valitaan $990,0 \pm 9,6$, eli 980,4 ja 999,6. Kuvassa 13 näkyvän taulukon keskihajonta on laskettu kaavaan 1 perustuen (Jokinen 2015).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

KAAVA 1

σ = keskihajonta

Σ = summa

$(x_i - \bar{x})$ = yksittäisen tuloksen poikkeama keskiarvosta

n = yksittäisten tulosten määrä

Testausohjelmassa ei kuitenkaan voida käyttää kuvassa 13 esitettyä aputaulukkoa, vaan koko kaava pitää mahduttaa yhteen soluun (Testausinsinööri 2017). Jos oletetaan, että mittaustuloksia on kymmenen kappaletta ja ne tulevat taulukon soluihin A1 - A10, tulosten keskihajonnan saa laskettua Excelissä syöttämällä soluun kaavan 2.

$$\begin{aligned} &= \text{NELIÖJUURI}(((A1 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + \\ &((A2 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + ((A3 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + \\ &((A4 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + ((A5 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + \\ &((A6 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + ((A7 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + \\ &((A8 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + ((A9 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2 + \\ &((A10 - \text{SUMMA}(A1:A10)/10))^2)/9). \end{aligned}$$

KAAVA 2

Kaava 2 noudattaa täysin kaavan 1 periaatetta. Kaavasta muodostuu pitkä, koska kymmenen tuloksen keskiarvo (merkitty kaavaan 2 vihreillä kohdilla) joudutaan laskemaan erikseen joka kerta, kun määritetään yksittäisen tuloksen poikkeama keskiarvosta.

6 TYÖOHJEIDEN JA SPESIFIKAATIOIDEN LAATIMINEN

Työ aloitettiin tutustumalla toimeksiantajan projektikansioon. Kansiossa oli muun muassa tietoja hankitusta testauslaitteistosta ja sen suunnitellusta layoutista, voimansiirtojen osakokonaisuuksien liikutteluun tarkoitetuista apuvälineistä ja alustavista testimoduulien rakenteista. Työn alussa tutustuttiin myös voimansiirtojen kokoonpanoprosessiin. Tässä vaiheessa testauslaitteistoa ei ollut vielä kokonaisuudessaan toimitettu tehtaalles, mutta vuototestausten laitteistot olivat jo valmiina, joten varsinainen käytännön osuus päästiin aloittamaan vuototestausten työohjeiden laadinnalla.

6.1 Vuototestausten työohjeet

Vuototestausten työohjeet laadittiin luvussa 3.1 Työohjeen laatimisohe esitetyllä menetelmällä. Eri vaiheista otettiin valokuvat, tehtiin tarvittavat muistiinpanot, kirjoitettiin ohjeet ja tarkasteltiin laadittuja ohjeita tuotannon työntekijöiden kanssa. Eri vaiheissa lisättävät osat merkittiin kuviin punaista huomioväriä käyttäen ja kirjoitettiin lyhyet ohjeet myös vuototestauslaitteen käytöstä. Työohjeet muodostuivat pääasiassa vuototestausten aikana voimansiirtoon lisättävien tulppausten luettelemisesta.

Työohjeiden eri vaiheiden järjestyksiä optimoitiin tuotannon työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella ja ohjeen laatija kokeili itse suorittaa monimutkaisimman vuototestauksen laatimansa ohjeen perusteella. Ohjeisiin tehtiin korjaukset ja niille saatiin testausinsinöörin hyväksyntä, minkä jälkeen niistä luotiin PDF-versiot yrityksen sisällä jaeltaviksi. Vuototestaukseen laadittiin yhteensä kolme työohjetta ja niistä jokaisen pituudeksi muodostui 6 - 10 sivua. Vuototestausten työohjeet laadittiin suomeksi.

6.2 Vuototestausten spesifikaatiot

Työ jatkui vuototestausten spesifikaatioilla, jotka laadittiin luvussa 4.1 Spesifikaation laatimisohe esitetyllä tavalla. Eri osioita alettiin kirjoittaa palaverissa katselmoitun sisällyluettelon pohjalta ja kysyttiin tasaisin väliajoin mielipiteitä spesifikaatioista Yritys X:n työntekijöiltä sekä opinnäytetyön ohjaajalta. Kun kaikki osiot

oli kirjoitettu, niissä käytetyt yksiköt kerättiin otsikon ”symbolit ja lyhenteet” alle ja etsittiin yksiköille muuntokertoimet Wolfram Alpha -työkalulla. Spesifikaatioiden kirjoittaja teki ohjeille omat tarkastuksensa ja lähetti ne sen jälkeen muiden tarkistettaviksi. Spesifikaatiot korjattiin, hyväksyttiin ja luotiin niistä lopuksi jaeltavat PDF-tiedostot. Vuototestausten spesifikaatioita laadittiin yhteensä kuusi, kolme suomeksi ja kolme englanniksi. Spesifikaatioiden kääntäminen englanniksi tehtiin suomenkielisten versioiden hyväksymisen jälkeen. Jokaisen spesifikaation pituudeksi muodostui 5 sivua.

6.3 Varustelun ja testauksen työohjeet

Vuototestausten spesifikaatioiden laatimisen jälkeen loput testauslaitteet oli toimitettu tehtaalle, joten varustelun ja testauksen työohjeiden laatiminen voitiin aloittaa. Myös varustelun ja testauksen työohjeet laadittiin luvussa 3.1 Työohjeen laatimishoje esitetyllä menetelmällä. Osassa työohjeita varustelu, testaus ja varustelun purku sijoitettiin samaan työohjeeseen, mutta monimutkaisimmalle voimansiirron osakokonaisuudelle kaikki kolme ohjetta kirjoitettiin erillisinä. Voimansiirtojen testauksen ohjeisiin sisällytettiin voimansiirron kiinnittäminen testauslaitteistoon ja irrottaminen testauslaitteistosta, mutta itse testauslaitteiston käyttöohjeita ei kirjoitettu, koska ne saatiin laitteiston valmistajalta.

Varustelun työohjeiden kuvissa käytettiin eri värejä selkeyttämään johtosarjan kytkentää. Värit valittiin Yritys X:ssä saatavilla olevien värillisten nippusiteiden mukaisesti ja tehtiin nippusiteillä johtosarjaan vastaavat värikoodit kuin työohjeissa. Värien käyttö nopeutti huomattavasti johtosarjan kytkentää, koska jokaisessa johdossa olevia kirjain-numeroyhdistelmiä ei tarvinnut enää lukea ja eri vaiheissa kiinnitettävät johdot löytyivät helpommin.

Ohjeiden tekemisen jälkeen ne käytiin läpi tuotannon työntekijöiden kanssa. Ohjeisiin tehtiin tarvittavat korjaukset, ne hyväksyttiin ja lisättiin ohjeista jaeltavat versiot omaan kansioonsa. Varusteluun ja testaukseen laadittiin suomeksi viisi työohjetta, joiden pituus vaihteli 5 - 13 sivun välillä.

6.4 Testausprosessin spesifikaatiot

Testausprosessin spesifikaatiot laadittiin työssä viimeisenä ja ne tehtiin vuototes-
tausten spesifikaatioiden pohjalle. Kohdat ”asiasanat”, ”symbolit ja lyhenteet”,
”testauslaitteisto” ja ”testauksen luotettavuus / laadunvalvonta” päivitettiin tes-
tausprosesseja vastaaviksi ja kohta ”voimansiirron testaus” kirjoitettiin kokonaan
uudelleen, mutta muita suuria muutoksia ei tarvinnut tehdä. Voimansiirrolle suo-
ritettavat testit kirjoitettiin samaan järjestykseen kuin testausjärjestelmän laati-
massa testimuistiossa, koska tällöin spesifikaatiota ja testausmuistiota on tarvit-
taessa helpompi lukea rinnakkain. Testausprosessille laadittiin kuusi spesifika-
atiota, joista kolme tehtiin suomeksi ja kolme englanniksi. Spesifikaatiot kirjoitettiin
ensin suomeksi ja ne käännettiin englanniksi hyväksyntöjen jälkeen. Spesifika-
tioiden pituudet vaihtelivat 8 - 11 sivun välillä.

7 POHDINTA

Opinnäytetyössä suunniteltiin spesifikaatiot uuden voimansiirtomallin osakokonaisuuksien vuotomittaus- ja testausprosesseille. Prosesseihin laadittiin työohjeet ja testauslaitteiston luotettavuuden arviointiin pohdittiin eri menetelmiä. Työn tuloksena saatiin 12 spesifikaatiota ja 8 työohjetta. Kaikki työohjeet laadittiin suomeksi, mutta spesifikaatioista puolet tehtiin englanniksi. Spesifikaatioiden ja työohjeiden oikeudet jäivät yritykselle, joten niitä voidaan hyödyntää myös tulevien voimansiirtomallien dokumentoinnissa. Työ tuki yrityksen liiketoimintaa uuden voimansiirtomallin kehityksessä ja prototyypin testauksessa.

Opinnäytetyön alussa tehtiin tiedonhaku suunnitelma, joka helpotti työhön sopivien lähteiden löytämistä. Työn alussa hahmoteltiin myös lohkokaavio työn rajauksesta ja tehtiin projektisuunnitelma opinnäytetyön etapeista, joita oli projektin aikana yhteensä viisi. Opinnäytetyön aikana tehtiin viikoittain lyhyt viikkoraportointi, joka sisälsi kuluneen viikon tulokset, seuraavan viikon suunnitelmat, mahdolliset kriittiset asiat ja tuntiraportoinnin.

Varsinainen opinnäytetyön tekeminen aloitettiin voimansiirto-osion teorian kirjoittamisella. Voimansiirroista kirjoittaminen oli mielenkiintoista, eikä siinä ilmennyt juurikaan ongelmia. Opin työn aikana itsekin uusia asioita esimerkiksi eri vaihteistojen toimintatavoista. Myös työohjeiden teoriaosuuteen löytyi hyvä lähde, mikä nopeutti luvun kirjoittamista. Työohjeiden teorian kirjoittamisen ohella aloitettiin myös varsinaisten työohjeiden laatiminen.

Työohjeiden tavoitteena oli antaa selkeä, havainnollinen käsitys voimansiirron osakokonaisuuksien testausprosesseista. Työohjeet tuli laatia siten, että niitä voitaisiin käyttää apuna esimerkiksi uuden työntekijän perehdytyksessä. Visuaalisuuden tärkeys työohjeissa avautui minulle kunnolla vasta työn aikana: kuvista tulee muokata niin selkeitä, että työvaiheet voidaan tehdä jopa pelkästään ohjeistuksen kuvat katsomalla. Työohjeiden laatimisen aikana luotiin myös värikoodaus voimansiirtojen testauksessa käytettävälle johtosarjalle ja käytettiin samoja värejä työohjeissa, mikä nopeutti huomattavasti johtosarjan kytkentää.

Työtä jatkettiin spesifikaatioiden teoriataustan kirjoittamisella. Tämä oli haastavaa, koska suurin osa löytämistäni lähteistä koski ohjelmistoihin liittyviä spesifikaatioita eikä niitä voitu kunnolla hyödyntää teknisten spesifikaatioiden kohdalla. Erilaiset spesifikaatiot ja varsinkin niiden tekeminen olivat minulle vieraita ennen opinnäytetyötä, minkä takia teorian kirjoittamisen jälkeinen testauspesifikaatioiden laatiminen olikin työn haasteellisimmista osuuksista.

Spesifikaatioiden tavoitteena oli määritellä testauksissa käytettävä laitteisto ja apuvälineet sekä kuvata jokainen testiaskel selkokielisesti. Kuvauksista tuli selvitä, mitä yksittäiset testit mittaavat, miten niiden tuloksia tulkitaan ja mitä testien läpäisyyn vaaditaan. Yrityksellä ei ollut spesifikaatioiden laadintaan soveltuvaa ohjeistusta, eikä testauspesifikaatioita ollut tehty aiemmin. Myös oikean termin löytäminen englanniksi laadittuihin spekseihin oli vaikeaa. Spesifikaatioille saatiin laadittua järkevä rakenne standardia SFS 4015 soveltaen.

Työohjeiden ja spesifikaatioiden kirjoittamisen ohella niille tehtiin myös laatimishjeet, joita voidaan soveltaa ohjeistuksien laatimisen tai päivittämisen apuna. Tämä oli opinnäytetyötä ohjaavan opettajan Esa Törmälän ajatus. Vaikka pidin ideaa aluksi hieman outona, mielipide asiasta muuttui ohjeita kirjoittaessa. Toisen työntekijän laatimia ohjeistuksia on aina vaikea päivittää, jos ei tiedä, millä periaatteella ne on alun perin rakennettu. Laatimishjeet nopeuttavat myös uusien ohjeiden laadintaa, jos niitä halutaan tehdä myöhemmin samalla menetelmällä kuin opinnäytetyössä.

Työn viimeinen teoriaosa käsitteli voimansiirtojen testausta. Vaikka itse voimansiirtojen testaaminen oli minulle osittain tuttua keväällä 2016 suoritetun projektiharjoittelun myötä, kyseessä oli nyt eri tuote ja uudenlainen testauslaitteisto, mikä piti mielenkiinnon yllä koko opinnäytetyön ajan. Teoriaosuuden kirjoittamisessa opittiin esimerkiksi erilaisia vuototestausmenetelmiä ja ilmanpaineeseen perustuvan vuototestauslaitteen toimintatapa.

Testauslaitteiston luotettavuuden arviointi osoittautui vaikeaksi useiden muuttujien takia. Suurimman ongelman aiheutti öljyn viskositeetin ja samalla voimansiirron arvojen muuttuminen lämpötilan vaihdellessa. Luotettavuuden arviointiin pohdittiin referenssivoimansiirron ja itsediagnostiikkaa hyödyntävän testausohjelman

lisäksi erillisen laitteen rakentamista, jonka ominaisuuksien tulisi pysyä mahdollisimman vakioina ulkoisista tekijöistä riippumatta. Laite olisi voinut sisältää esimerkiksi yksinkertaisia paineenrajoitin- ja virtauksensäätöventtiilejä, mutta ajatus hylättiin, koska öljyn viskositeetin vaihtelu lämpötilan vaihdellessa olisi todennäköisesti aiheuttanut samoja ongelmia kuin referenssivoimansiirtoa käytettäessä.

Omat haasteensa työhön toi myös salassapitovelvollisuus voimansiirrosta ja sen käyttökohteesta, minkä takia työssä jouduttiin käyttämään epäselvää termiä ”voimansiirron osakokonaisuus” puhuttaessa voimansiirron eri osista. Salassapitovelvollisuudella oli suuri vaikutus työn sisältöön, koska yksityiskohtaisten selvitysten sijaan työssä käsitellään esimerkiksi voimansiirtoja ja testauslaitteistoja hyvin yleisellä tasolla. Tällä menetelmällä laadittua opinnäytetyötä voidaan toisaalta soveltaa laajemmin useille erilaisille voimansiirroille, mutta on ymmärrettävää, että osalle lukijoita yksityiskohtien puuttuminen voi vähentää mielenkiintoa opinnäytetyöhön.

Opinnäytetyön sisältö ja käytännön osuus muokkautuivat hieman lähtötietomui-
tioon kirjatuista. Esimerkiksi laadittujen työohjeiden määrä oli suurempi kuin työn alussa ennakoitiin ja testauslaitteiston luotettavuuden arviointiin alun perin pohdittu Gage R&R -menetelmä vaihtui keskihajontaan perustuvan menetelmän käyttöön. Muutoksista huolimatta työ vastasi hyvin lähtötietomui-
stiossa pohdittua, eikä suuria yllätyksiä tullut raportin kirjoittamisen aikana.

Työ oli kokonaisuutena mielenkiintoinen. Mieleen jäivät erityisesti tutustuminen uuteen voimansiirtoon ja ensimmäiset testit uutta testauslaitteistoa käyttäen. Vuototestauksen tekeminen ensimmäistä kertaa itse kirjoitetun työohjeen perusteella tuntui samaan aikaan hauskalta ja erikoiselta: vaikka työtä ei ollut tehnyt aiemmin itse, se sujui ensikertalaiseksi jopa yllättävän hyvin. Opinnäytetyön aikana opitun perusteella omien työohjeiden testaaminen käytännössä vaikutti erittäin toimivalta ratkaisulta, mutta on ymmärrettävää, ettei tämä aina ole mahdollista.

Riittävän yksityiskohtainen projektisuunnitelma mahdollisti opinnäytetyön valmistamisen lähes tavoiteaikataulussa, vaikkakin spesifikaatioiden kääntäminen englanniksi jäi ihan työn loppuun. Osasyynä tähän oli työn viimeisillä viikoilla sattunut

tietokoneen hajoaminen, mikä kovasta loppukiristä huolimatta aiheutti työhön muutaman päivän viivästyksen. Työn aikana opittiin, että tiedostoille kannattaa tehdä järkevä kansiorakenne ja varmistaa, että kaikki opinnäytetyöhön oleellisesti liittyvät materiaalit varmuuskopioidaan riittävän usein, eli vähintään kerran päivässä.

Työ herätti paljon ajatuksia etenkin työohjejärjestelmän kehittämisestä ja voimansiirron testauslaitteiston luotettavuuden arvioinnista. Työssä pohdittiin esimerkiksi mahdollisuutta hakea kaikki voimansiirtoon liittyvät speksit ja työohjeet tietokoneen näytölle voimansiirron valmistenumeroilla. Tällainen järjestelmä helpottaisi huomattavasti tuotannossa ja testauksessa olevien ohjeistusten ylläpitoa, koska järjestelmä hakisi ohjeista automaattisesti viimeisimmät versiot. Työohjeille ja spesifikaatioille kannattaisi myös valita vakituinen mallipohja ja lisätä tiedostoihin metatiedot aina uusia ohjeita luotaessa. Myös 3D-mallien pohjalta tehtyjä animaatioita voitaisiin käyttää ohjeiden laadinnassa.

Yritys X:n kannattaisi mielestäni jatkaa itsediagnostiikkaa hyödyntävän testausohjelman mahdollisuuksien pohdintaa, koska testiohjelman laatimisen jälkeen sitä voitaisiin vähäisillä muutoksilla käyttää myös muissa yrityksen testauslaitteistoissa, eikä referenssivoimansiirtoja tarvittaisi välttämättä lainkaan. Laaditulla testausohjelmalla varmistettaisiin laitteistojen mittaustulosten luotettavuus, ja mikä tärkeintä, uudelleenkalibrointi voitaisiin suorittaa silloin, kun sille on oikeasti tarvetta.

LÄHTEET

450E Transmission Test Stand. 2016. AIDCO Test Systems. Power Test Incorporated. Saatavissa: <http://powertestdyno.com/wp-content/uploads/sites/2/2016/03/450E-Test-Stand.pdf>. Hakupäivä 17.4.2017.

Brain, Marshall 2000. How Manual Transmissions Work. HowStuffWorks.com. Saatavissa: <http://auto.howstuffworks.com/transmission.htm>. Hakupäivä 5.1.2017.

Clutch and Manual Transmission/Transaxle. 2009. ProCarCare. ©1998 W. G. Nichols - Chilton's Easy Car Care. Saatavissa: http://www.procarcare.com/icar_resourcecenter/encyclopedia/icar_resourcecenter_encyclopedia_manualtran.asp. Hakupäivä 4.2.2017.

Common Leak Testing Methods. Forward Technology - a Crest Group Company. Saatavissa: <http://www.forwardtech.com/plastic-assembly/leak-burst-testers/common-leak-testing-methods>. Hakupäivä 17.4.2017.

Differentials explained. Drivingfast.net. Saatavissa: <http://www.drivingfast.net/differentials-explained/>. Hakupäivä 11.2.2017.

Haag, Mikael – Salonen, Tapio – Siltanen, Pekka – Sääsäski, Juha – Järvinen, Paula 2011. Työohjeiden laadintamenetelmiä kappaletavaratuotannossa. VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W162.pdf>. Hakupäivä 4.5.2017.

Harris, William 2005. How CVTs Work. HowStuffWorks.com. Saatavissa: <http://auto.howstuffworks.com/cvt.htm>. Hakupäivä 14.3.2017.

Jokinen, Tauno 2015. T342203 Tuotteen laatu 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2015. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Kalaja, Kimmo 2011. Voimansiirtoratkaisuna planeettavaihde. VEM Motors Finland Oy. Saatavissa: <http://www.vem.fi/userData/vem/uutisten-liitteet/voimansiirtoratkaisuna-planeettavaihde.pdf>. Hakupäivä 18.2.2017.

Karhima, Matti 2011. Autotekniikka 6: Voimansiirto. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Leak Testing Instrument S9. 2009. Nolek AB. Saatavissa: <http://www.nolek.com/wp-content/uploads/2015/09/prodsheet-leak-instrument-s9-english.pdf>. Hakupäivä 17.4.2017.

Leak testing methods. 2013. BINDT (The British Institute of Non-Destructive Testing). Saatavissa: <http://www.bindt.org/What-is-NDT/Leak-testing-methods/>. Hakupäivä 17.4.2017.

LEGO Technic 42066 A. 2017. Rakennusohje. © The LEGO Group. Saatavissa: <https://www.lego.com/fi-fi/technic/building-instructions>. Hakupäivä 20.4.2017.

Nice, Karim 2000. How Torque Converters Work. HowStuffWorks.com. Saatavissa: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/towing/towing-capacity/information/torque-converter.htm>. Hakupäivä 14.3.2017.

Planeettavaihte on energiatehokas ratkaisu vaikeisiin käyttöolosuhteisiin ja ahtaisiin tiloihin. 2010. VEM Motors Finland Oy. Saatavissa: <http://www.vem.fi/uutiset/uutiset/planeettavaihte-on-energiatehokas-ratkaisu-vaikeisiin-kayttoolosuhteisiin-ja-ahtaisiin-tiloihin>. Hakupäivä 11.2.2017.

Roberts, Jack 2015. New integrated drivetrains speak a language all their own – and that’s a good thing for fuel-conscious fleets. CCJ Commercial Carrier Journal - Fleet Management Magazine. Saatavissa: <http://www.ccj-digital.com/new-integrated-drivetrains-speak-a-language-all-their-own-and-that-s-a-good-thing-for-fuel-conscious-fleets/>. Hakupäivä 4.2.2017.

SFS 4015. 2000. Teknisten spesifikaatioiden laadintaohje. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Specification (spec). 2017. BD BusinessDictionary. © WebFinance Inc. Saatavissa: <http://www.businessdictionary.com/definition/specification-spec.html>. Hakupäivä 10.2.2017.

Säkkinen, Jukka 2016. T362030 Projektiharjoittelu 30 op. Projektiharjoittelun aikana käydyt keskustelut eri valmistajien voimansiirroista keväällä 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan osasto.

Tasauspyörästä. 1984. Spede Show -televisiosarja. Video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=BZFW2njDWKc>. Hakupäivä 11.2.2017.

Testausinsinööri 2017. Yritys X. Opinnäytetyön aikana käydyt keskustelut keväällä 2017.

Törmälä, Esa 2017. Konetekniikan lehtori, Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyöpalaverien keskustelut keväällä 2017.

Usein kysytyjä kysymyksiä autonhoidosta. 2017. Mobil henkilöautoöljyt. Saatavissa: http://www.mobil.fi/Finland-Finnish-LCW/carengineoils_car-caretips_faqs.aspx. Hakupäivä 8.4.2017.

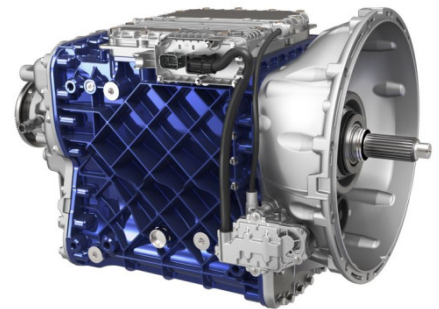
Vaihteistot. 2016. Motiva Oy. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/nain-liikut-viisaasti/valitse-auto-viisaasti/ajoneuvotekniikka/vaihteistot>. Hakupäivä 3.5.2017.

Vorkoetter, Stefan 2000. Demystifying Gearing and Gearboxes. Stefanv.com. Saatavissa: <http://www.stefanv.com/rcstuff/qf200003.html>. Hakupäivä 11.2.2017.

Wolfram Alpha. Saatavissa: <https://www.wolframalpha.com/>. Hakupäivä 23.4.2017.

| <u>Yritys X</u> | TYÖOHJE | | XXX-001X | | |
|--|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <i>KOSKEE MALLEJA:</i> | <i>LAATIJA:</i> | <i>TARKASTAJAT:</i> | | <i>HYVÄKSYJÄ:</i> | <i>PAINOS:</i> |
| Voimansiirto X | Marko Jokimäki, OAMK | Xxxxx Xxxxxx | | Xxxxxx Xxxxxx | 1 |
| | xx.xx.2017 | xx.xx.2017 | | xx.xx.2017 | |
| Voimansiirto X:n varustelu testaukseen | | | | | |
| Asiasanat: voimansiirto X, varustelu, testaus, työohje, XXX-001X | | | | | |

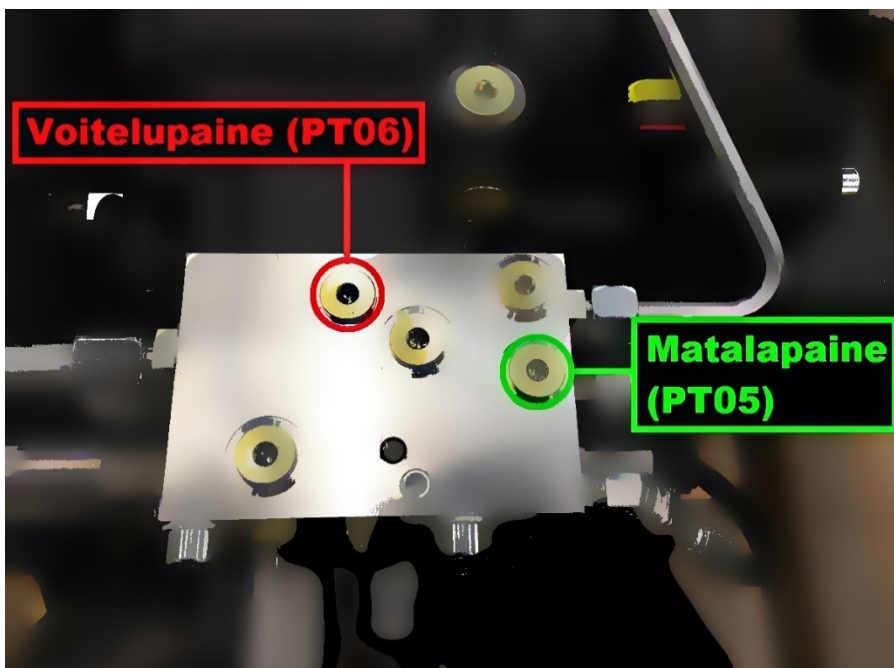
OHJETTA MUOKATTU ALKUPERÄISESTÄ



Esimerkkikuva. 2016. © Volvo AB.
<http://www.volvotrucks.us/powertrain/i-shift-transmission/>

Vaihe 1

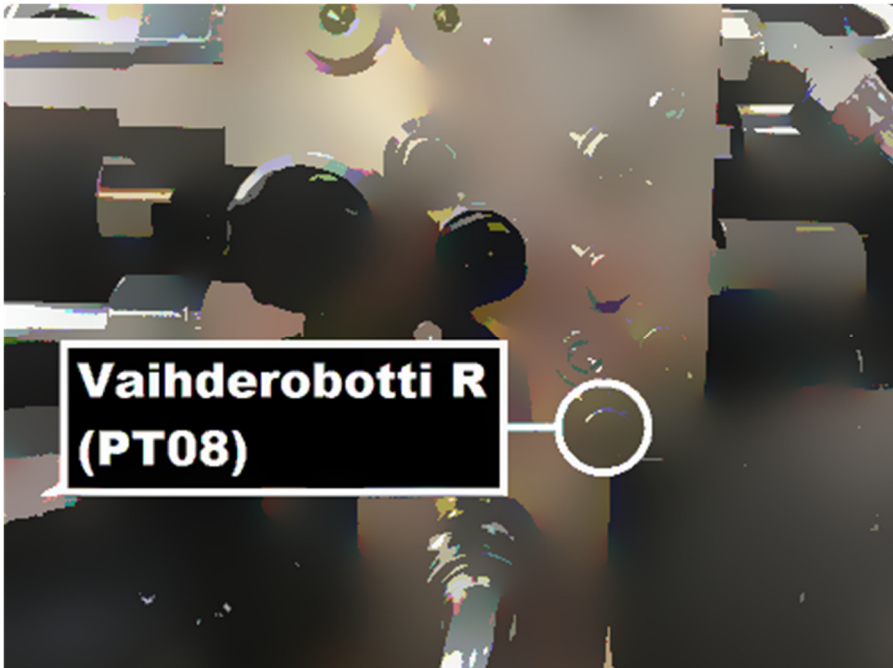
- Kytke laatta x:ään voitelupainepiiriin (PUN) ja matalapainepiiriin (VIHR) liittimet.



Kuva 1. Laatta x ylhäältä päin katsottuna

Vaihe 2

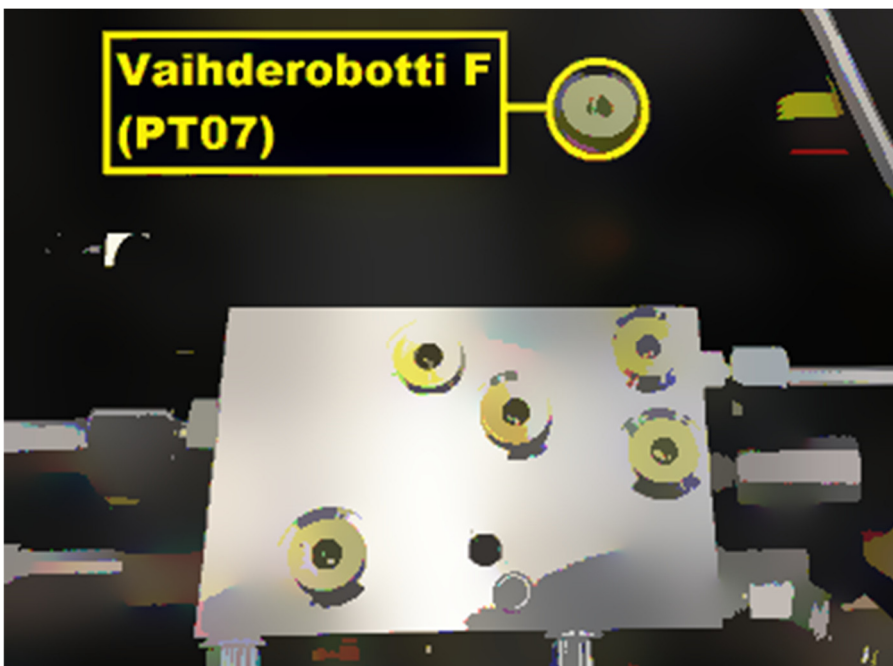
- Kytke laatta x:ään vaihderobotin R (VALK) liitin.



Kuva 2. Laatta x edestä päin katsottuna

Vaihe 3

- Kytke vaihderobotin F (KELT) liitin laatan x viereen.



Kuva 3. Laatta x ylhäältä päin katsottuna

Vaihe 4

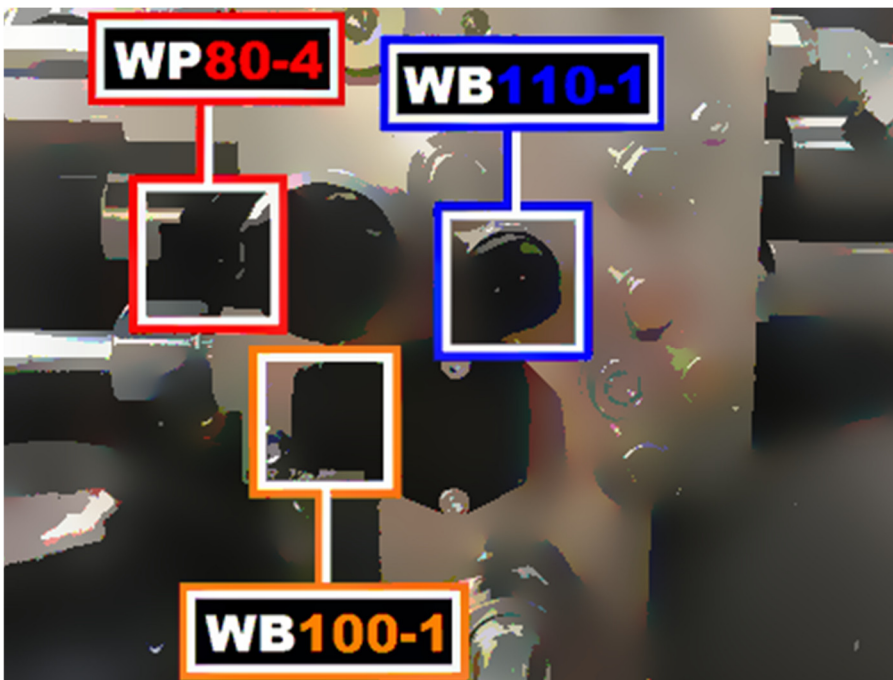
- Kytke laatta x:ään käsijarrupaineen (PUN/KELT) liitin.



Kuva 4. Laatta x vasemmalta yläviistosta katsottuna

Vaihe 5

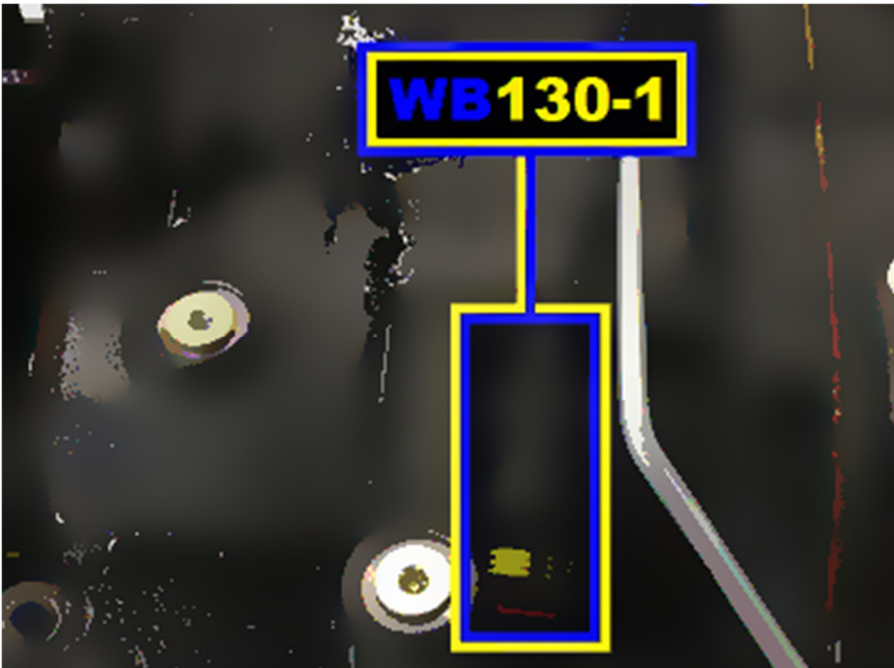
- Kytke liitin WB100-1 (VALK/ORANS), liitin WB110-1 (VALK/SIN) ja liitin WP80-4 (VALK/PUN) laatta x:ään.



Kuva 5. Laatta x edestä päin katsottuna

Vaihe 6

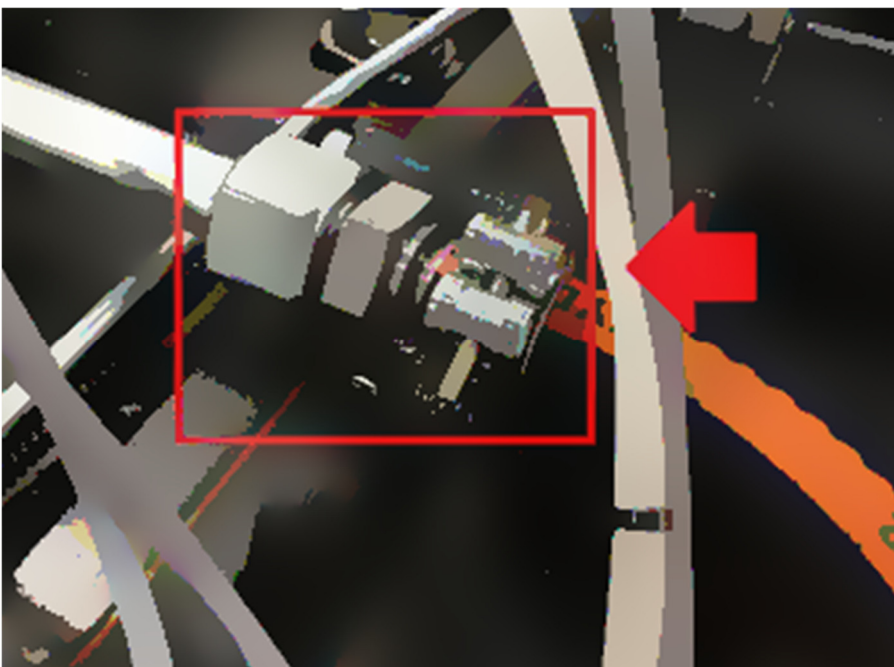
- Kytke voimansiirron päällä sijaitseva nopeusanturin liitin WB130-1 (SIN/KELT).



Kuva 6. Voimansiirto ylhäältä päin katsottuna

Vaihe 7

- Kiinnitä öljyn paluuletku voimansiirron päällä olevan vapaan hydrauliputken päähän.



Kuva 7. Voimansiirto ylhäältä päin katsottuna

| | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <u>Yritys X</u> | TESTAUSSPESIFIKAATIO | | XXX-001X | | |
| <i>KOSKEE MALLEJA:</i> | <i>LAATIJA:</i> | <i>TARKASTAJAT:</i> | | <i>HYVÄKSYJÄ:</i> | <i>PAINOS:</i> |
| Voimansiirto X | Marko Jokimäki, OAMK | Xxxxx XXXXXX | | Xxxxx XXXXXX | 1 |
| | xx.xx.2017 | xx.xx.2017 | | xx.xx.2017 | |
| | Voimansiirto X:n vuototestaus | | | | |
| | | | | | |

SPESIFIKAATIOTA MUOKATTU ALKUPERÄISESTÄ

Esimerkkikuva. 2016. © Volvo AB.
[http://www.volvotrucks.us/powertrain/
i-shift-transmission/](http://www.volvotrucks.us/powertrain/i-shift-transmission/)



SISÄLLYS

| | |
|---|---|
| 1 JOHDANTO | 2 |
| 2 SPESIFIKAATION TARKOITUS | 2 |
| 3 SYMBOLIT JA LYHENTEET | 2 |
| 4 VIRANOMAISTIEDOT | 3 |
| 4.1 Vaikutukset ympäristölle ja eläimille | 3 |
| 4.2 Vaikutukset käyttäjälle | 3 |
| 5 VIITTAUKSET MUIHIN ASIAKIRJOIHIN | 3 |
| 6 TESTAUSOLOSUHTEET | 4 |
| 7 TESTAUSLAITTEISTO | 4 |
| 7.1 Testauslaitteiston kuvaus | 4 |
| 7.2 Testauksessa käytettyjen apuvälineiden kuvaus | 4 |
| 7.3 Eroavaisuudet testiolosuhteiden ja todellisten käyttöolosuhteiden välillä | 4 |
| 8 VOIMANSIIRTO X:N VUOTOTESTAUS | 4 |
| 9 TESTAUKSEN LUOTETTAVUUS / LAADUNVALVONTA | 5 |
| 9.1 Laitteiston kalibrointi | 5 |
| 9.2 Laitteiston luotettavuuden arviointi | 5 |
| 9.3 Testaustulosten näytteenottomenetelmä | 5 |
| 9.4 Testaajien pätevyys | 5 |

ASIASANAT

vuototestaus, spesifikaatio, voimansiirto X, XXX-001X

1 JOHDANTO

Tämä spesifikaatio on laadittu voimansiirron testausmenetelmien dokumentoimiseksi. Alkuperäisen spesifikaation rakenteen on laatinut Marko Jokimäki Oulun ammattikorkeakoulusta keväällä 2017. Spesifikaation oikeudet kuuluvat Yritys X:lle ja sen muokkaaminen ilman lupaa on ehdottomasti kielletty.

2 SPESIFIKAATION TARKOITUS

Spesifikaatio koskee voimansiirto X:n lopputestausta ennen asiakkaalle toimittamista. Spesifikaatiossa määritellään

- voimansiirron testauksessa käytettävä laitteisto ja apuvälineet
- voimansiirrolle tehtävät testit ja testien hyväksymisen ehdot
- testauksen luotettavuus ja laadunvalvonta.

3 SYMBOLIT JA LYHENTEET

| | |
|--------------------|--|
| °C | lämpötila, celsiusastetta (celsiusasteista kelvineiksi: °C + 273,15, celsiusasteista fahrenheit-asteiksi: (°C * 1,8) + 32) |
| kPa | paine, kilopascalialia (1 bar = 100 kPa = 14,5038 psi) |
| mm ³ /s | virtaus, kuutiomillimetriä sekunnissa (1 mm ³ /s = 3,531 * 10 ⁻⁸ ft ³ /s) |

4 VIRANOMAISTIEDOT

Luvussa 4 luetellut vaikutukset ovat esimerkkejä mahdollisista vaaratilanteista, eivätkä ne korvaa Yritys X:n voimansiirtoihin liittyviä turvallisuusohjeita. Noudata aina Yritys X:n päivitettyjä ohjeistuksia voimansiirtojen käyttöön ja huoltoon liittyen.

4.1 Vaikutukset ympäristölle ja eläimille

Voimansiirto sisältää voiteluöljyä, joka on haitallista ympäristölle ja eläimille. Käytetty voiteluöljy on ongelmajätettä, joka tulee toimittaa keräyspisteeseen.

4.2 Vaikutukset käyttäjälle

Öljysumu on haitallista hengitettynä. Pitkäaikainen ihokosketus öljyn kanssa voi aiheuttaa ihotumaa, ihon kuivumista tai allergisen reaktion. Jos öljyä on nieltävä, on hakeuduttava välittömästi lääkärin hoitoon.



Jos voimansiirroissa on ulkoisia paineletkuja tai -putkia ja ne alkavat vuotaa vaurion tai väärin tehdyn asentamisen seurauksena, voimansiirron käyttöä ei saa jatkaa ennen vian korjaamista. Korkeapaineinen öljysuihku voi tunkeutua ihon läpi ja aiheuttaa kuolemaan johtavan verenmyrkytyksen.



Voimansiirron öljy kuumenee voimansiirtoa käytettäessä. Kuuma öljy voi aiheuttaa palovammoja.

5 VIITTAUKSET MUIHIN ASIAKIRJOIHIN

Jos Yritys X:n ohjeistuksista ei löydy testilaitteiston käyttöön tarvittavia työ- tai turvallisuusohjeita, ota yhteyttä esimieheesi. Älä käytä testilaitteistoa, ellei ole varma, miten sitä käytetään turvallisesti.

Spesifikaatiossa viitataan voimansiirto X:n vuototestauksen työhjeeseen. Tarkista viittaukset työhjeen viimeisimmästä hyväksytystä versiosta.

6 TESTAUSOLOSUHTEET

Testaus suoritetaan voimansiirtojen kokoonpanohallissa, missä lämpötila on + 10 °C:n ja + 30 °C:n välillä.

7 TESTAUSLAITTEISTO

7.1 Testauslaitteiston kuvaus

Vuototestaus suoritetaan Kontrollautomatik FD62-F -mallisella vuototestauslaitteella. Laitteella voidaan tehdä vuotomittauksia painealueella 0 - 400 kPa ja se pystyy mittaamaan vuodot, jotka ovat välillä 0 - 999 mm³/s. Valmistajan ilmoittama toleranssi laitteelle on ± 0,30 % mittausalueesta + 2 % mittarin näyttämästä.

7.2 Testauksessa käytettyjen apuvälineiden kuvaus

Testauksessa käytetyt apuvälineet on määritelty voimansiirto X:n vuototestauksen työohjeessa.

7.3 Eroavaisuudet testiolosuhteiden ja todellisten käyttöolosuhteiden välillä

Yritys X:n osasto Y on hyväksynyt testausmenetelmän voimansiirto X:n vuototestaukseen.

8 VOIMANSIIRTO X:N VUOTOTESTAUS

- Testillä varmistetaan, että voimansiirto X:n tiivisteet ovat kunnossa. Tämä todennetaan syöttämällä voimansiirtoon ylipaine, joka on suurempi kuin voimansiirron kotelossa normaaleissa käyttöolosuhteissa vallitseva öljynpaine.
- Vuototestaus suoritetaan erikseen voimansiirto X:n kotelolle ja voimansiirto X:n pumpupiirille.
- Voimansiirto X:n vuototestauksen tulos on joko hyväksytty tai hylätty. Tulos on hyväksytty, kun työohjeistuksessa määritetty ylipaine pysyy voimansiirrossa vähintään työohjeistuksessa määritellyn ajan. Jos paine laskee määritellyn ajan aikana, voimansiirto X viedään korjattavaksi ja siihen vaihdetaan tarvittavat uudet tiivisteet.
- Hyväksymiskäytäntö: Voimansiirto X:lle ei saa tehdä muita testejä, ennen kuin molemmista vuototesteistä (voimansiirto X:n kotelo ja pumpupiiri) on saatu hyväksytty tulos.

9 TESTAUKSEN LUOTETTAVUUS / LAADUNVALVONTA

9.1 Laitteiston kalibrointi

Mittauksissa käytetty vuototestauslaite on kalibroitu sen valmistajan toimesta. Vuototestauslaitteen kalibrointi tarkistetaan viikoittain suorittamalla vuototestaus laitteelle itselleen, jolloin tuloksen on oltava $0 \pm 3 \text{ mm}^3/\text{s}$.

9.2 Laitteiston luotettavuuden arviointi

Laitteiston luotettavuuden arviointiin käytettiin laitteen sisäänrakennettua control leak -virtausventtiiliä, joka säädettiin arvoon $40 \text{ mm}^3/\text{s}$. Vuototestauslaitteen antamien tulosten keskihajonta 10 mittaustuloksen perusteella oli $0,9661 \text{ mm}^3/\text{s}$ keskiarvon ollessa $40,4 \text{ mm}^3/\text{s}$. Pienin yksittäinen tulos oli $39 \text{ mm}^3/\text{s}$ ja suurin $42 \text{ mm}^3/\text{s}$.

9.3 Testaustulosten näytteenottomenetelmä

Vuototestauslaite lisää painetta hitaasti testauslaitteeseen määriteltyyn raja-arvoon asti, jonka jälkeen se antaa paineen stabiloitua ennen varsinaisen mittauksen aloittamista.

9.4 Testaajien pätevyys

Vain valtuutetut testaajat saavat testata voimansiirtoja. Testaajat on erikseen perehdytetty työtehtäviinsä. Jokainen testaaja kirjautuu testijärjestelmään henkilökohtaisilla tunnuksillaan, jotta jokaisen voimansiirron testaaja saadaan tarvittaessa selvitettyä.