



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

DIESELMOOTTORIN SYLINTERIRYHMÄN VÄSYTYSKOELAITTEISTON KEHITYS

Topi Vilenius

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Konetekniikka
Tuotekehitys



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotekehitys

VILENIUS, TOPI:

Dieselmoottorin sylinteriryhmän väsytyскоelaitteiston kehitys

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Maaliskuu 2018

Agco Power oy:n tuotekehitysosasto on päättänyt toteuttaa uudelle dieselmoottorin sylinteriryhmälle väsytyскоokeen hydraulisesti. Tämä opinnäytetyö keskittyi hydraulisen väsytyскоokeen koestuslaitteiston konseptin luomiseen ja kehityскseen. Tavoitteena oli suorittaa dieselmoottorin sylinteriryhmän väsytyскоokeet hydraulisilla, noin 250 baarin painesykäyksillä, aikataulun vaatimalla taajuudella, kymmenen miljoonaa sykäystä. Opinnäytetyö rajattiin koskemaan konseptin ja kehitysehdotuksen luomista väsytyскоokeen hydraulikalle ja sylinteriryhmään tarvittaville testauksen apukomponenteille. Konseptin luomisen ja laitteiston vaatimusten määrittelyn takia tehtiin karkeat testin vaatiman tehon laskelmat.

Esitutkimuksen ja systemaattisen tuotekehitysprosessin tuotteena löydettiin kuusi eri-laista konseptivaihtoehtoa, jolla koe olisi mahdollista suorittaa. Näistä arvosteltiin paras vaihtoehto, ja sen pohjalta tehtiin laitteiston kehitysehdotus hydraulikkaan ja moottorin sisäisiin komponentteihin. Hydraulinen paineennostin ja moottorin sisäiset komponentit mallinnettiin 3D - ohjelmistolla, mutta niistä ei tehty tarkkoja piirustuksia, koska paineennostimen tarkka suunnitelma vaatii vielä lisäkehitystä ja moottorin sisäisten komponenttien tarkat mittakuvat vaativat moottorisuunnittelun ammattitaitoa ja tarkkoja sylinteriryhmän piirustuksia.

Tutkimustyön aikana löydettiin kaksi eri toimittajaa, joilta saatiin tarjoukset melko täydellisistä väsytyскоelaitteistoista. Opinnäytetyö ei kuitenkaan ota kantaa toimittajan valintaan, vaan antaa spesifikaation, jolla laitteistoa voidaan alkaa valmistaa paikallisesti tai ostaa valmiina laitteistona.

Tämän kehitystyön tuloksena saatiin tietoa, minkälaisella laitteistolla tämä kyseinen väsytyскоoke on edullista suorittaa ja minkälaista laitteistoa väsytyскоoestukseen on saatavilla. Kehitystyö antaa suuntaa väsytyскоelaitteiston suunnittelulle tai hankinnalle valmiina kokonaisuutena komponenttitoimittajalta. Tarkempi paineennostimen ja muiden komponenttien suunnittelu vaatii selkeän päätöksen, mihin suuntaan projektissa edetään, sekä resursseja lujuslaskentaan ja tarkempaan komponenttien suunnitteluun. Hydraulikan tehollaskelmat pitää tarkentaa, kun on selvillä tarkka suunnitelma, josta selviävät komponenttien tilavuudet, virtaukset ja tyyppi.

Asiasanat: dieselmoottori, tuotekehitys, väsytyскоoestus, hydraulikka

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

VILENIUS, TOPI:

Development of Fatigue Test Equipment for a Diesel Engine's Cylinder Block

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 1 pages
March 2018

The R&D department of Agco Power decided to implement a hydraulic fatigue test to new cylinder block of a diesel engine. This thesis focuses on creating the concept for the hydraulic fatigue test, and the scope of this thesis is limited to the concepts of hydraulics and the additional components needed to test the cylinder block. The objective was to do the fatigue test by 250 bar hydraulic pressure shocks to cylinder. The test requires 10 million shocks and the frequency has to be high enough, so that the test would not take too much time. To help creating the concept, preliminary calculations were made to find out how much hydraulic power is needed for this kind of a test.

By study and systematic concept creation, six different concepts for the hydraulics were found. These concepts were ranked in a weight table, and a development proposal was made according to the best option. A hydraulic pressure intensifier and additional components to the cylinder block were modeled with a 3D modeling program, but accurate drawings were not made at this point, as more extensive study and strength calculations are needed for those.

During the process, two potential suppliers were found, which both can offer quite complete test setups, also quotations from these companies are available for the complete system. No stance is taken in this thesis on supplier choice, but a specification is given which gives a frame to order the system from a supplier, or start to build the system locally.

This study gives a picture of what kind of equipment is needed to execute this particular fatigue test. It also gives knowledge of the equipment that is available for fatigue testing. This should give a direction to the Agco Power R&D to choose whether they want to build their own equipment or order a ready, complete system from a supplier focused on fatigue testing. Before a more detailed pressure intensifier design can be done, a decision is first needed on whether Agco Power will build the system or order from a supplier, and after that the resources need to be arranged based on the decision. The hydraulic power calculations need to be reworked after the system design is clear.

Key words: diesel engine, product development, fatigue testing, hydraulics

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYS.....	9
	2.1. AGCO konserni	9
	2.2. Agco Power oy.....	10
3	VÄSYTYSKOESTUS.....	12
	3.1. Valumateriaalien väsymislujuusominaisuudet.....	12
	3.2. Väsytykokeet	14
4	TUOTEKEHITYS	16
5	ESITUTKIMUS	18
	5.1 Tehtävän asettelu ja rajausta	18
	5.2 Laitteiston vaatimukset	19
	5.3 Hydraulisen väsytyksetin tehovaatimuslaskelmat.....	20
	5.4 Konseptin etsiminen laitteistolle.....	23
	5.4.1 Jako osatoimintoihin	24
	5.4.2 Vaihtoehtojen haku osatoiminnoille	24
	5.5 Konseptipolkujen valinta osatoiminnoista.....	24
	5.5.1 Konsepti 1 ”Edullinen”	25
	5.5.2 Konsepti 2 ”Pulsaattori”.....	28
	5.5.3 Konsepti 3 ”High end”	30
	5.5.4 Konsepti 4 Sincotec, (Teetetty testi)	31
	5.5.5 Konsepti 5 Sincotec, (Valmis laitteisto).....	31
	5.5.6 Konsepti 6 MTS Laitteisto	35
	5.6 Konseptivaihtoehtojen arvostelu ja päätös	37
	5.7 Alustava konseptiluonnos	38
6	LAITTEISTON KEHITYSEHDOTUS	40
	6.3 Suunnitelma laitteistosta	40
	6.3.1 Hydraulikojeisto	40
	6.3.2 Servoventtiilit.....	41
	6.3.3 Paineoskillaation tuottaminen	41
	6.3.4 Venttiilien ohjaus	43
	6.3.5 Paineen ja lämpötilan mittaus	43
	6.3.6 Linjastot	45
	6.3.7 Datan keruu	45
	6.4 Sylinteriryhmään tarvittavat komponentit	46
	6.4.1 Mäntä.....	47
	6.4.2 Kiertokanki.....	49

6.4.3	Kampiaksi.....	49
6.4.4	Adapteri paineen sylinteriin johtamiseksi.....	50
6.5	Turvallisuus	51
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	53
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET	55
	Liite 1. Aikataulu.....	55

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

σ_a	Jännityksen maksimiarvo, eli jännitysamplitudi
<i>TDC</i>	Top dead center, eli yläkuolokohta
<i>BTDC</i>	Before top dead center, ennen yläkuolokohtaa
<i>ATDC</i>	Afted top dead center, jälkeen yläkuolokohdan
V_s	Testattava sylinterin tilavuus
V_h	Hydraulikomponenttien tilavuus
V_{tot}	Testin kokonaistilavuus
q_v	Tilavuusvirta
p	Paine
K_f	Hydraulinesteen puristuskerroin
K_a	Ilman puristuskerroin
K_p	Hydrauliputken puristuskerroin
K_s	Testattavan sylinterin puristuskerroin
E	Kimmomoduli

1 JOHDANTO

Agco Power oy:n peruskehitysosasto on kehittämässä uutta sylinteriryhmää, jota pitää päästä väsytyскоestamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta voidaan todeta materiaalien ja mitoitusten riittävyys myös väsymisten osalta. Nykyaikaisessa dieselmoottorin tuotekehityksessä on käytössä viimeisimmät lujuuslaskenta- ja simulointityökalut, jotka antavat suunnittelijoille erittäin tehokkaat ja luotettavat lähtökohdat suunnitella kestävä ja suorituskykyinen tuote. Tämä ei kuitenkaan täysin poista tarvetta käytännössä tapahtuvalle, uusien osien toimivuuden- ja kestävyuden toteutamiselle, mitä kutsutaan testaukseksi ja verifiointiksi.

AGCO Power oy:ssä on aina ollut käytössä erittäin monipuolinen laboratorio, jossa uusia tuotteita on voitu testata muun muassa koekäyttämällä moottoria testauspenkeissä, eli jarruissa. Tämä on tietysti se kaikkein luotettavin tapa todeta moottorin kestävyys, simuloimalla todellisia moottorin käyttötilanteita. Tuotekehityksen koekäyttöjarruilla on myös mahdollista luoda vielä kovemmat kuormitusolosuhteet kuin mitä esimerkiksi traktorissa on mahdollista normaalioloissa saavuttaa. Kuitenkin jarrulla tapahtuvassa moottorin testaamisessa on omat rajoitteensa, erityisesti kun ollaan kehittämässä täysin uutta tuotetta. Esimerkiksi, sylinteriryhmää päästään rasittamaan koekäyttämällä vasta siinä vaiheessa kun myös kaikki muut moottorin osat on suunniteltu ja päätetty. Koekäyttämällä tapahtuva rasituskoee on myös melko aikaa vievä ja kallis tapa toteuttaa väsytyскоe useaan koekappaleeseen, tässä tapauksessa sylinteriryhmään.

Tähän tarkoitukseen on tarkoitus kehittää ja hankkia hydraulinen väsytyскоelaitteisto, millä on tarkoitus simuloida todellisen palotapahtuman aiheuttamia sylinteripainerasituksia. Laitteiston pitää saada aikaiseksi noin 250 bar luokkaa oleva paine. Paineita pitää pystyä nostamaan ja laskemaan lähelle nollaa vähintään 5 Hz taajuudella noin kymmenen miljoonaa sykäystä. Toisena vaihtoehtona on myös teettää väsytyскоe ulkopuolisella toimittajalla, mutta muun muassa aikataulullisen joustavuuden ja testin toistettavuuden takia, Agco Power oy:n tuotekehityksen ensisijainen tavoite on hankkia oma laitteisto testien tekemiseen.

Taajuusarvo väsytyскоeessa ei itsessään ole ratkaiseva, vaan sykäysten määrä. Testin aikataulu määrittää vaatimuksen taajuuden riittävästä tiheydestä. Esimerkiksi mainitulla

5 Hz taajuudella kymmenen miljoonan sykäyksen testi kestää ympäri vuorokauden suoritettuna ilman keskeytyksiäkin yli 23 vuorokautta.

Laitteiston pitää myös pystyä havaitsemaan nestevuoto, eli mahdollinen särö tai halkeama, jotta sitä pystytään tutkimaan mahdollisimman aikaisin, ennen kuin vaurio on tullut niin laajaksi että syntypisteen määrittely on vaikeaa.

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan hydraulikkakomponenttien spesifointia, hydraulikkakakaavion luontia ja sylinteriin luotavien testiolosuhteiden alustavaa ehdotusta.

2 YRITYS

2.1. AGCO konserni

AGCO on kansainvälinen markkinajohtaja maatalouskoneiden suunnittelussa, valmistuksessa ja jakelussa. AGCOlla on kattava valikoima traktoreita, puimureita, heinäkoneita, ruiskuja, rehukoneita, maanmuokkuskoneita, työkoneita ja viljanvarastointi- ja proteiinintuotantojärjestelmiä. Koneiden ja järjestelmien varaosia on saatavilla 3 100 itsenäisen jälleenmyyjän ja jakelijan kautta yli 140 maassa maailmanlaajuisesti. Challenger, Fendt, Massey Ferguson ja Valtra: näillä neljällä ydinmerkillään AGCO vastaa asiakkaidensa moninaisiin tarpeisiin pientilojen käyttöön sopivista pienitehoisista traktoreista aina suuren mittakaavan maataloustuotannon vaatimiin kehittyneisiin ja huipputeknisiin koneisiin. AGCON tavoite on selkeä: edistää kestävän kehityksen mukaista ja tuottavaa kasvua huippuluokan asiakaspalvelun, innovaatioiden, laadun ja sitoutumisen kautta. (insideagco.agcocorp.com)

AGCON visio on korkeateknologiset ratkaisut maailmaa ruokkiville ammattimaisille maanviljelijöille. Missio on kannattava kasvu ensiluokkaisen asiakaspalvelun, innovaation, laadun ja omistautumisen kautta.

AGCON historia juontaa juurensa syntymävuoteen 1990, jolloin Deutz Allisin johto osti yrityksen KHD:ltä ja aloitti maatalouslaitteiden valmistuksen ja jakelun tuotemerkeillä AGCO Allis ja GLEANER. Yksi merkittävä virstanpylväs osuu vuoteen 1994, jolloin AGCO osti Massey Fergusonin tuotemerkin ja valmistuksen kokonaan. Valtran AGCO hankki vuonna 2004, jossa yhteydessä työkonedieselmootoreita valmistava, silloinen Sisu Diesel oy, nykyinen AGCO Power oy, siirtyi AGCO- konsernin haltuun.

2.2. Agco Power oy

AGCO Power on 70 vuotta Nokian Linnavuoressa toiminut dieselmoottoritehdas.

Tehdas valmistaa vuodessa n. 30 000 dieselmoottoria. Henkilöstön määrä on n. 800.

Useissa maailman johtavissa traktorimerkeissä, kuten Valtra, Massey Ferguson, Challenger ja Fendt sekä muissa maatalouskoneissa on moottorina AGCO POWER, joka toimii voimanlähteenä myös useissa muissa työkoneissa ympäri maailmaa. Seuraavassa on listattu joitain työkonetuotemerkkejä jotka käyttävät AGCO POWER- moottoreita:

- Valtra
- Massey Ferguson
- Fendt
- Challenger
- JCB Fastrack
- Komatsu Forest
- Logset
- Gleaner
- Sampo Rosenlew
- Lännen
- Kalmar
- Iseki
- Ljungby

AGCO Power on edelläkävijä moottoriteknologiassa, mistä osoituksena ovat uudet Common Rail – moottorit, täyttäen viimeisimmät päästövaatimukset Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa.

AGCO POWER- moottoreita valmistetaan iskuutilavuudeltaan kokoluokassa 3,3 l – 16, 8 l. Tämä moottorivalikoima kattaa teholuokat välillä 50- 500 kW.

Kaikki Linnavuoressa valmistettavat moottorit täyttävät viimeisimmät työkoneille asetetut päästörajat, EU Stage 4 ja EPA Tier 4 Final.

Nykyisten dieselmoottorien NO_x- päästöjen (typen oksidipäästöt) hallinta on erittäin vaativaa. AGCO Power on ollut edelläkävijä SCR- teknologian (selective catalytic reduction) käyttöönotossa työkoneissa.

Vuonna 2009 esiteltiin ensimmäinen traktori (MF8690) maailmassa SCR- teknologialla Stage 3 päästöluokkaan, joka voitti merkittäviä kansainvälisiä palkintoja, mm. polttoaineenkulutus oli SCR- tekniikan johdosta ylivoimainen verrattuna esimerkiksi EGR (exhaust gas recirculation) tekniikkaa käyttäviin moottoreihin.

AGCO POWER moottorit on suunniteltu erittäin modulaarisiksi, jolloin samoja komponentteja voidaan käyttää eri teholuokissa. Tästä saatavat hyödyt ovat taloudellisia ja käytännöllisiä, kuten eri osanimikkeiden määrä on alhaisempi, työkalukustannukset saadaan jaettua suuremmalle volyymille ja myös ostokomponenttien eräkoot ovat isompia. Esimerkkinä mainittakoon sylinterikannet, kuusisylinterisessä on kaksi kolmisylinterisen kantta ja verrattain harvinaisessa, 7- sylinterisessä moottorissa on kolme- ja nelisylinterisen moottorin kannet. (AGCO Power yritysesittelymateriaali)

3 VÄSYTYSKOESTUS

Väsytyiskoestus on aineenkoetuksen yksi osalaji. Yleinen aineenkoetus keskittyy materiaalien ominaisuuksien toteamiseen standardoiduin koemenetelmin, mikä mahdollistaa eri materiaalien suoran vertailun. Tämän opinnäytetyön kehitysaiheena oleva väsytyiskoelaitteisto ei tule standardoituun, sauvaan tehtävään materiaaliväsytykokeeseen, vaan jo valmiin kappaleen, eli dieselmoottorin sylinteriryhmän väsymisominaisuuksien tutkimiseen.

Tehtävän testin tarkoitus on ensisijaisesti verifioida simulointien ja suunnittelun kautta valitun materiaalivalinnan- ja kappaleen, eli sylinteriryhmän muotoilun yhdessä aikaansaaman väsymislujuuden riittävyys.

Materiaalin väsymislujuus itsessään ei ole ainevakio vetolujuuden tapaan, vaan koneenosissa ja laitteissa on paljon vaikuttavia tekijöitä, kuten: koko, pinnan laatu, kolot ja olakkeet sekä syövyttävä ympäristö. (Tiilikka 1999)

3.1. Valumateriaalien väsymislujuusominaisuudet

Koneenosa voi murtua joutuessa jatkuvan vaihto- tai tykytysrasituksen alaiseksi, vaikka yhden sykäyksen aikainen jännitysamplitudi σ_a olisi huomattavasti aineelle määriteltyä murtolujuutta pienempi. Tällainen vauriotyyppi on väsymismurtuma. (Tiilikka 1999 s.24)

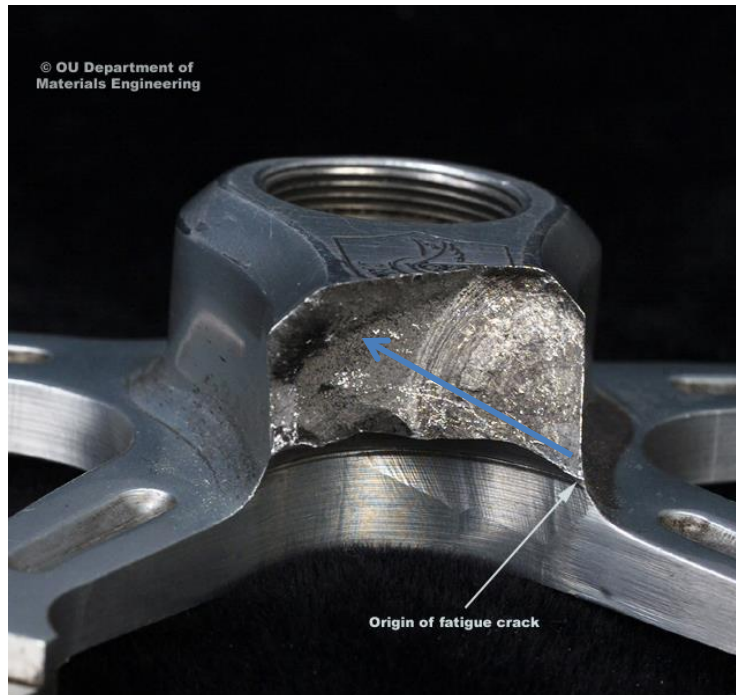
Arvioiden mukaan 90 % kaikista vaurioitumisista johtuu väsymisestä.

(Meskanen, Höök s.17)

Väsymällä murtuneen kappaleen pinnasta havaitaan yleensä tyypillisimmät tuntomerkit väsymismurtumalle:

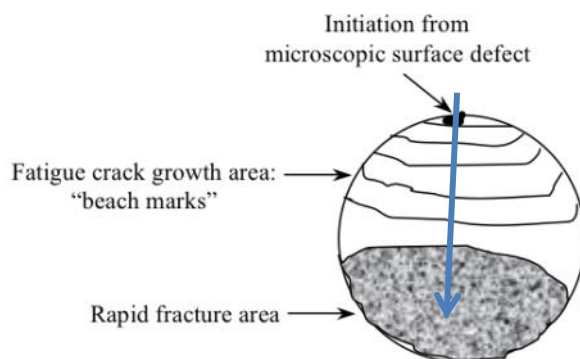
- Väsymisrepeämän alue on sileäpintainen (Kuva 1 Sinisen nuolen osoittaman suunnan alkupuolisko)
- Jäännösmurtumapinta on karkea ja epätasainen (Kuva 1, sinisen nuolen osoittaman murtosuunnan loppupuolisko)

- Kohdat joissa väsymisrepeämä on pysähtynyt pienentyneen jännitysamplitudin johdosta, näkyvät lepoviivoina eng. Beach marks (Kuva 2).



KUVA 1. Väsymismurtuma polkupyörän polkimessa (Kuva: pardo.net)

Kuvassa 2 osoitetaan sinisellä nuolella väsymismurtuman suuntaa, kuvasta tulee myös selkeämmin ilmi väsymismurtumalle ominainen vaiheittaisuus, murtuman alku (särö), väsymiskohta, joka on sileä koska kappale ”hieroo” itseään sileäksi, ja viimeisenä nopeasti tapahtuva jäännösmurtuma, mikä muistuttaa haurasmurtumaa.



KUVA 2. Väsymismurtuma (Kuva: www.phase-trans.msm.)

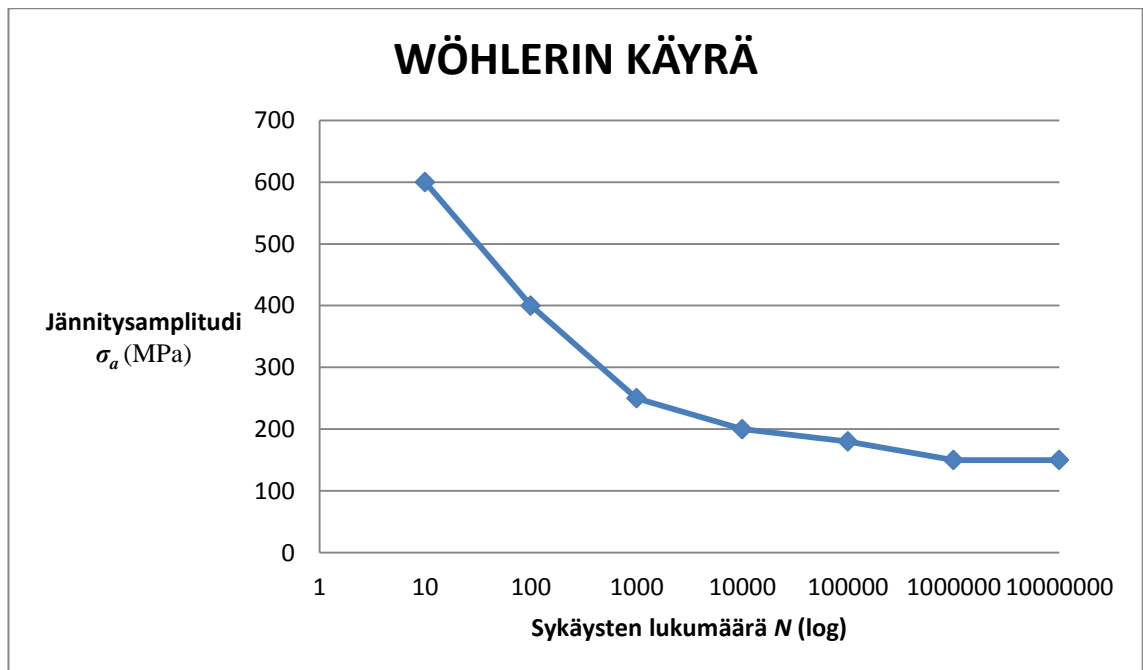
Väsymismurtuma saa yleensä alkunsa paikallisista jännityshuipuista, epäpuhtaussulkeumista, erkaumista tai hilavioista, useimmiten terävistä kulmista ja nurkista. (Meskanen, Höök s.17)

Staattisessa jännityksessä tapahtuneeseen vaurioon liittyy aina plastinen muodonmuutosvaihe, sen sijaan väsymismurtumassa ei tällaista vaihetta ole, mikä tarkoittaa että vaurio on huomattavasti äkillisempi tapahtuma, eikä sitä huomaa etukäteen ulospäin niin helposti.

3.2. Väsytykokeet

Yleinen tapa standardoituun materiaaliväsytykokeeseen on standardissa määritetyn malliselle koesauvalle tuotettava vaihtojännitys, joka vaihtelee yhtä suurena veto- sekä puristusjännityksenä.

Koetta tehdään vähintään kymmenellä sauvalla ja jokaista kuormitetaan murtumiseen, tai ennalta sovittuun jännitysjaksojen lukumäärään saakka. Jännitysamplitudeja ja kuormaa vaihtelemalla, tällaisella kokeella saadaan aikaan Wöhlerin käyrä (kaavio 1), jossa pystyakselilla on jännitysamplitudi σ_a ja vaaka-akselilla (logaritminen) kesto-
luku N , joka ilmoittaa jännitysvaihtelujen määrän ennen sauvan katkeamista.



KAAVIO 1. Wöhlerin käyrä

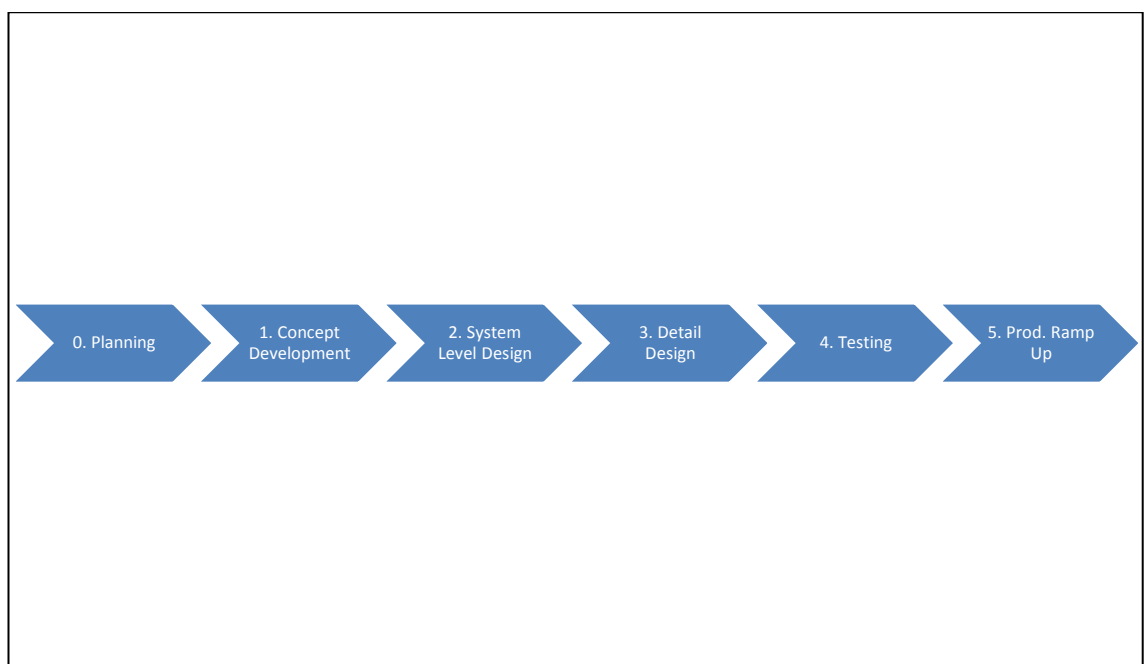
4 TUOTEKEHITYS

Tuotekehitys tieteenhaarana on suhteellisen nuori, jonka alkulähteet ovat 1940- 1950-luvulla. Systemaattinen, suunnitelmallinen tuotekehitysprosessi ei vielä nykypäivänäkään ole itsestäänselvyys, varsinkin jos puhutaan pienissä sarjoissa projektityyppisesti tehtävistä tuotteista.

Tämän työn laitteisto on yksittäinen projektityö, mutta haastava sellainen. Tarkempaa näkemystä millaisella laitteistolla tällainen väsytysoke saadaan suoritettua, ei työn alkessa ollut. Näiden syiden johdosta työssä päätettiin hyväksikäyttää systemaattista tuotekehitystä, erityisesti konseptin etsintää.

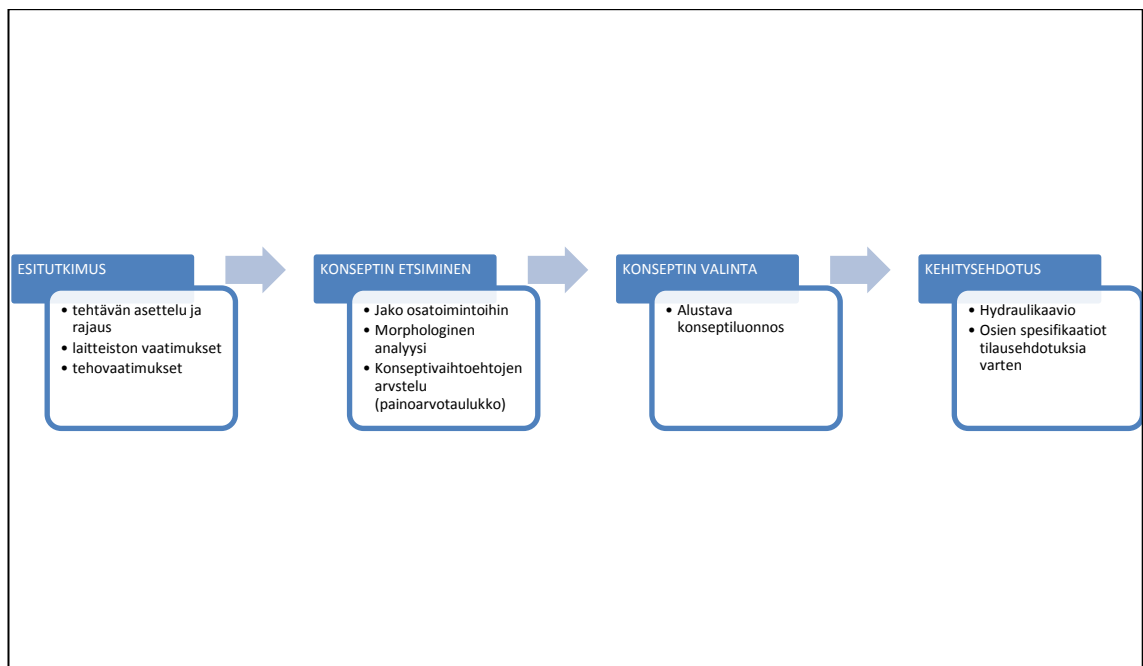
Yksi tapa ajatella tuotekehitysprosessia on suhtautua siihen työnä jossa ensin yritetään luoda laajasti eri vaihtoehtoja tuotekonseptille, minkä jälkeen aletaan kaventaa vaihtoehtoja ja samaan aikaan kasvattaa tuotteen spesifikaatiota. Tämän tarkoituksena on löytää mahdollisimman luotettavasti toteutettava konsepti. (Ulrich & Eppinger 2008, 13) Tässä työssä on kyse juuri tämänkaltaisesta tuotekehitysprosessista.

Erilaisia moniportaisia malleja tuotekehityksen vaiheiksi on olemassa paljon, esimerkiksi Ulrichin ja Eppingerin (2008) kuusiportainen malli, missä päävaiheet muodostuu kuvan 3 mukaan.



KUVA 3. Geneerinen tuotekehitysprosessi

Tähän työhön näistä sovellettiin ja rajattiin tehtävänantoon riittävät vaiheet, käytännössä geneerisen tuotekehitysprosessin vaiheista tässä työssä käytettiin vain kolmea ensimmäistä vaihetta, tarkan designin jäädessä työn ulkopuolelle. Geneerisen prosessin vaihe 1. Konseptin kehitys, jaettiin kahtia konseptin etsimiseen ja konseptin valintaan. Tämän seurauksena tämän kehitystyön prosessista muodostui neljästä päävaiheesta koostuva prosessi (Kuva 4).



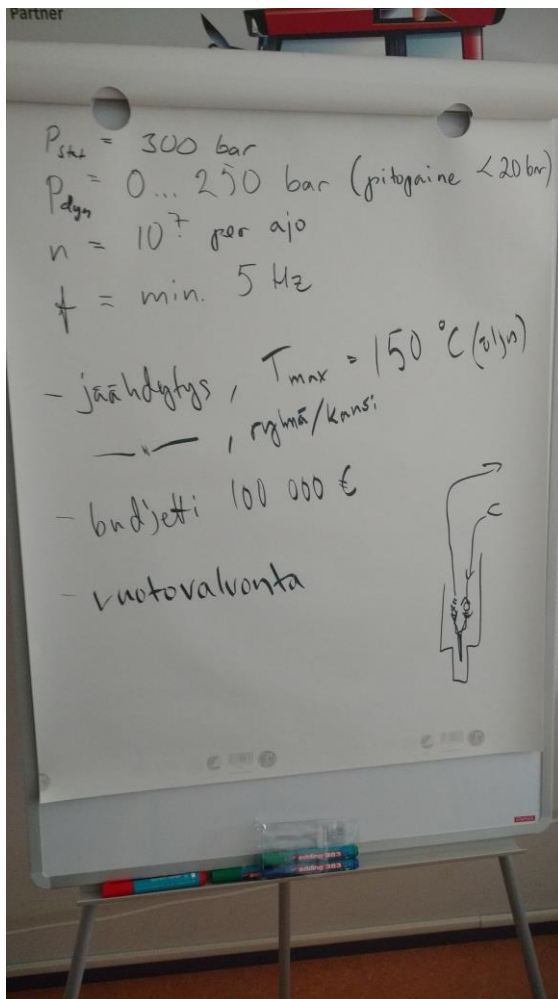
KUVA 4. Väsytyiskoelaitteiston kehitysprosessi

5 ESITUTKIMUS

5.1 Tehtävän asettelu ja rajaus

Tehtävä annettiin AGCO Power oy:n perussuunnitteluosastolta, osaston päällikön toimesta. Ensimmäisessä tapaamisessa aiheen tiimoilta pidettiin ideariihi itse aiheesta, sekä rajattiin tehtävänanto.

Tehtäväksi annettiin spesifioida laitteisto, millä saadaan suoritettua uuden sukupolven sylinteriryhmälle väsytyksoke hydraulisesti, painetta nostamalla ja laskemalla välillä 0-250 bar, vähintään 5 Hz taajuudella. Kuvassa 4 on ideariihessä kirjatut karkeat vaatimukset testille ja sitä myötä testilaitteistolle.



KUVA 5. Karkeat laitteistovaatimukset

Tehtävä rajattiin koskemaan hydraulikkakomponenttien spesifointia, hydraulikkakäivion luontia ja sylinteriin luotavien testiolosuhteiden alustavaa ehdotusta. Tehtävänannon ulkopuolelle jäävät mm.:

- Komponenttien hankinta
- Sähkölaitteiden suunnittelu
- Järjestelmän kokoonpano
- Testaus
- Tilat testilaitteistolle
- Jäähdytys
- Sylinteriin tarvittavien osien tarkempi mallinnus

5.2 Laitteiston vaatimukset

Karkeat laitteistovaatimukset luotiin jo ensimmäisessä ideariihessä, mutta ne tarkennettiin ennen lopullista konseptivaihtoehtojen etsimistä. Taulukosta 1 löytyy lopulliset laitteistovaatimukset, minkä pohjalta konseptivaihtoehtoja lähdettiin etsimään.

TAULUKKO 1. Laitteiston vaatimukset

ID	Vaatus	Prioriteetti
1	Noin 5- 250 bar oskillaatio, vähintään 5 Hz taajuudella	Pakollinen
2	Noin 300 bar staattinen paine	Kriittinen
3	Alapaine < 20 bar	Kriittinen
4	Paineanturointi, mittaustaajuus niin että paineiskut pystytään laskemaan	Kriittinen
6	Turvallinen	Pakollinen
7	Toistuvaan käyttöön, eliniän odote >100 000 h	Kriittinen
8	Laitteiston pitää huomata vuoto, eli halkeama testattavassa kohteessa	Kriittinen
9	Skaalautuvuus - esim. Voidaan tehdä testi erikokoisille sylintereille	Tarpeellinen
10	Liitäntäpiste muokattavissa väsyttävän kohteen mukaan	Tarpeellinen
11	Hinta budjetin rajoissa	Kriittinen
12	Jäähdytys, max. Lämpötila öljylle + 150 °C	Kriittinen
13	Testisyklin pituus 10 ⁷ paineiskua	Pakollinen
14	Luotettava data testin perusteella	Pakollinen
15	Mahdollinen valmistaa/ saada testi aikaiseksi LIN resurssein	Ehdollinen

Itse väsytykskokeen jälkeen on tavoitteena myös testata staattinen paineraja sylinterin lujuudelle, mistä on lähtöisin tavoite staattiselle paineelle (min. 300 bar).

5.3 Hydraulisen väsytystestin tehovaatimuslaskelmat

Väsytykskokeen tehovaatimus on mielenkiintoinen ensinnäkin laitteiston määrittämisen kannalta. Teho on tärkeä arvo myös testin aiheuttaman lämpötehon vuoksi, mikä auttaa arvioimaan systeemin jäähdytystarvetta.

Hydraulisten laitteistojen teho määritetään tilavuusvirran q_V ja paineen p tulona (Kauranne, Kajaste, Vilenius s. 78).

$$P = q_V \cdot p. \quad (1)$$

Laskelmat aloitettiin selvittämällä koestettavan sylinterin tilavuus. Väsytykskokeessa halutaan simuloida todellisen palotapahtuman paineennousun aiheuttamaa väsytyksrasitusta sylinteriin, joten oli syytä selvittää missä kohtaa sylinterissä vallitsee huippupaine ja männän asema väsytykskokeessa valitaan sen perusteella.

Dieselmoottorissa polttoaine ruiskutetaan korkeapaineisena hieman ennen kuin mäntä on puristustahdin yläkuolokohdassa (*BTDC*), kuitenkin huippupaine on hieman yläkuolokohdan jälkeen (*ATDC*).

Moderneissa ahdetuissa dieselmoottoreissa, joissa ruiskutusaineet yltyvät n. 2000 bar tasolle, ruiskutusennakko on yleensä välillä 0,3- 0,8 ms *BTDC* ja ruiskutus jatkuu palotapahtuman aikana (Mollenhauer, Tchöke s. 67- 68).

Huippupaineen kohta 9° *ATDC*, saatiin selville lasketuista sylinteripainekäyristä uudelle moottoriperheelle. Tämän männänkohdan perusteella laskettiin sylinterin tilavuus testattavassa kohdassa.

Huomioon otettiin vielä se että paine vaikuttaa ylimmän männänrenkaan yläpuolisella alueella, joten testattava mäntä mitoitetaan niin että se ulottuu tasapäisenä ylimmän männänrenkaan yläreunan tasolle. Näiden pohjatietojen perusteella testattava sylinteritilavuudeksi V_s saatiin 9° kammenkulmalla n. 130 cm^3 .

Hydraulikomponenttien (putkisto, liittimet, pumppu jne.) tilavuudeksi V_h arvioitiin tässä vaiheessa n. 0,5 l. Tämä pitää tarkentaa kun lopullinen laitteistokokoonpano on selvillä, jotta pystytään laskemaan tarkat tehovaatimukset.

Näin saatiin laskettua testin kokonaistilavuus

$$V_{tot} = V_s + V_h = 630 \text{ cm}^3. \quad (2)$$

Tällaisessa väsytykskokeessa ei ole jatkuvaa virtausta, jotta päästiin käsiksi tilavuusvirtaan, piti saada selville nesteen ja sylinterin muodonmuutokset, joista muodostuu systeemin jousto. Järjestelmän tilavuus kasvaa vallitsevan paineen vaikutuksesta ja neste taas puristuu kokoon. Kokonaiselle järjestelmälle yhtälö kokonaistilavuudenmuutoksesta voidaan kirjoittaa muotoon

$$\Delta V = \frac{1}{K_e} \cdot V_{tot} \cdot \Delta p, \quad (3)$$

jossa K_e on järjestelmän kokonaispuristuskerroin (Kauranne, Kajaste, Vilenius s. 88-91).

Kokonaispuristuskerroin muodostuu tässä systeemissä nesteen puristuskertoimesta K_f , nesteessä olevan vapaan ilman puristuskertoimesta K_a , hydrauliputken puristuskertoimesta K_p ja testattavan sylinterin puristuskertoimesta K_s .

Näitä arvoja ja yksittäisten osien tilavuuksia käyttäen saadaan laskettua systeemin kokonaispuristuskerroin kaavalla

$$K_e = \frac{1}{\left[\frac{1}{K_f} + \left(\frac{V_s}{V_{tot}} \cdot \frac{1}{K_s} \right) + \left(\frac{V_p}{V_{tot}} \cdot \frac{1}{K_p} \right) + \left(\frac{V_a}{V_{tot}} \cdot \frac{1}{K_a} \right) \right]}. \quad (4)$$

Iso osa joustoista tulee nesteen puristuskertoimesta, mutta isoin vaikutus on nesteessä olevalla vapaalla ilmalla, mitä on tyypillisesti järjestelmissä 0,1- 5 % sen nestetilavuudesta (Kauranne, Kajaste, Vilenius s. 88-91).

Tämän ja mekaanisten osien tarkkojen joustojen erittäin vaikean määrittämisen takia, tässä vaiheessa hydraulijärjestelmän mitoitusta, voidaan testattava sylinteri ja sinne johtava

hydrauliputki käsitellä onttona nesteen täyttämänä sylinterimäisenä kappaleena, millä on vakio seinämävahvuus, tälle saadaan puristuskerroin kaavasta

$$K = \frac{E \cdot s}{d}, \quad (5)$$

missä E on kimmomoduli, s rakenteen seinämävahvuus ja d sylinterimäisen rakenteen sisähalkaisija (Kauranne, Kajaste, Vilenius s. 90).

Sijoittamalla kaavaan 5

$$K_s = \frac{210 \text{ GPa} \cdot 10 \text{ mm}}{110 \text{ mm}} = 1,909 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$$

ja

$$K_p = \frac{210 \text{ GPa} \cdot 3 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 7,875 \cdot 10^{10} \text{ Pa.}$$

Nesteessä olevan vapaan ilman määräksi laskennassa arvioitiin 3 %.

Puristuskerroin ilmalle saadaan paineennousua adiabaattisena ilmiönä tarkastellessa kaavalla

$$K_a = 1,4 \cdot p, \quad (6)$$

jossa p on järjestelmän paine tarkasteluhetkellä. (Kauranne, Kajaste, Vilenius s. 90)

Nesteen puristuskertoimeksi valittiin $1,5 \cdot 10^9$ Pa. Putken ja sylinterin tilavuudet laskettiin kaavalla

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h. \quad (7)$$

Tämän jälkeen päästiin sijoittamaan arvot kaavaan 4, ja saatiin likimääräinen arvio koko systeemin puristuskertoimesta K_e

$$\frac{1}{\left[\frac{1}{1,5 \cdot 10^9 \text{ Pa}} + \left(\frac{130 \text{ cm}^3}{630 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1}{1,909 \cdot 10^{10} \text{ Pa}} \right) + \left(\frac{2,5 \text{ cm}^3}{630 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1}{7,875 \cdot 10^{10} \text{ Pa}} \right) \right]} + \left(\frac{3 \% \cdot 630 \text{ cm}^3}{630 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1}{1,4 \cdot 2,5 \cdot 10^7 \text{ Pa}} \right)}$$

$$= 6,516 \cdot 10^8 \text{ Pa}.$$

Kun tämä tulos sijoitetaan kaavaan 3, saadaan likiarvoksi tilavuuden muutokselle

$$\Delta V = \frac{1}{6,516 \cdot 10^8 \text{ Pa}} \cdot 630 \text{ cm}^3 \cdot 2,5 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 24 \text{ cm}^3.$$

Kun ΔV kerrotaan ensinnäkin testin tavoitetaajuusarvolla 5 Hz ja kerrotaan 60 sekunnilla, saadaan arvioksi tilavuusvirralle

$$q_V = 24 \text{ cm}^3 \cdot 5 \text{ Hz} \cdot 60 \text{ s} = 7,2 \frac{1}{\text{min}}.$$

Tuloksen avulla hydraulinen saadaan teho kaavasta 1

$$P = 7,2 \frac{1}{\text{min}} \cdot 2,5 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 3 \cdot 10^3 \text{ W}.$$

Eli karkeasti laskettuna hydraulisen tehon systeemissä voidaan arvioida olevan vähintään 3 kW. Arvoon on syytä suhtautua varauksella, kun otetaan huomioon että yleisesti hydraulijärjestelmän laskelmat tehdään vasta kun laitteiston tyyppi on valittu. Näissä laskelmissa pyrittiin asia yleistämään, jotta päästiin eteenpäin konseptin etsinnässä edes karkean suuruisen tehovaatimuksen kanssa.

5.4 Konseptin etsiminen laitteistolle

5.4.1 Jako osatoimintoihin

Laitteiston suunnittelun helpottamiseksi se jaettiin osatoimintoihin seuraavasti.

1. Paineen tuottaminen
2. Paineen siirto
3. Paineoskillaation tuottaminen
4. Paineen mittaus
5. Testin Ohjaus- ja säätöohjelmisto

5.4.2 Vaihtoehtojen haku osatoiminnoille

Kun osatoimintoihin jako oli suoritettu, alettiin etsiä mahdollisimman paljon vaihtoehtoja jokaiselle osatoiminnoille. Eri vaihtoehdot löytyvät taulukosta 2.

TAULUKKO 2. Vaihtoehdot laitteiston osatoiminnoille

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5
Paineen tuottaminen	Muuttuvatilavuuksinen mäntäpumppu+ paineakku	Normaali hammasrataspumppu + paineakku	Normaali mäntäpumppu+ paineakku	Väsytyksokkeisiin tarkoitettu hydraulikojeisto	Hydraulisylinteri, johon muuttuvaikuinen, mekaaninen käyttö
Paineen siirto	Korkeapaineputkisto	Normaali hydrauliputkisto	Korkeapaineletkut	Sincotec	
Oskillaation tuottaminen	x kpl Servoventtiilit rinnan	x kpl magneettiventtiilit rinnan	Muuttuvatilavuuksinen mäntäpumppu	Paineennostin (hydraulic intensifier)	Hydraulisylinteri, johon muuttuvaikuinen, mekaaninen käyttö
Paineen mittaus	Paineanturi sylinteriin	Paineanturi pumpun yhteydessä	Paineanturit pumpulla ja sylinterissä	Sincotec	
Testin Ohjaus- ja säätöohjelmisto	PLC ohjaamaan venttileitä. Datalogger	Sincotec	MTS		

Vaihtoehtojen etsinnässä apuna käytettiin Kauranteen, Kajasteen ja Vileniuksen (2013) Hydrauliteknikka- kirjaa sekä haastateltiin kokeneempia tuotekehittäjiä ja hydraulikka-alan asiantuntijoita.

5.5 Konseptipolkujen valinta osatoiminnoista

Näistä tuotetuista vaihtoehdoista osatoiminnoille valittiin kuusi erilaista konseptipolkua (Taulukko 3), jotka vaikuttivat mahdollisilta toteuttaa ja riittävän erilaisilta erottuakseen omiksi konsepteikseen.

Konseptivaihtoehdot pyrittiin samalla myös nimeämään jollain tapaa, jotta niiden vertailu- ja arvosteluvaiheessa työskentely olisi helpompaa.

TAULUKKO 3. Konseptipolut

	Paineen tuottaminen	Paineen siirto	Oskillaation tuottaminen	Paineen mittaus	Testin Ohjaus- ja säätöohjelmisto
Konsepti 1, "Edullinen"	Normaali hammasrataspumppu+ paineakku	Normaali hydrauliputkisto	x kpl magneettiventtiilit rinnan	Paineanturi sylinteriin	Datalogger, excel, PLC ohjaamaan venttiileitä
Konsepti 2, "Pulsaattori"	Hydraulisyylinteri, johon muuttuvaikäinen käyttö	Korkeapaineputkisto	Hydraulisyylinteri, johon muuttuvaikäinen käyttö	Paineanturit pumpulla ja sylinterissä	Datalogger, excel
Konsepti 3, "High End"	Väsytyksokkeisiin tarkoitettu hydraulikojeisto	Korkeapaineputkisto	x kpl Servoventtiilit rinnan	Paineanturit pumpulla ja sylinterissä	Sincotec
Konsepti 4, Sincotecillä teetetty testi	Sincotec	Sincotec	Sincotec	Sincotec	Sincotec
Konsepti 5, Sincotec laitteisto	Väsytyksokkeisiin tarkoitettu hydraulikojeisto	Sincotec	Sincotec venttiilistö	Sincotec	Sincotec
Konsepti 6, MTS Laitteisto	MTS hydraulikojeisto	Korkeapaineputkisto	MTS Pulsaattori	Paineanturit pumpulla ja sylinterissä	MTS

Seuraavissa aliotsikoissa on esitelty vielä hieman tarkemmin valitut kuusi konseptipolkua.

5.5.1 Konsepti 1 "Edullinen"

Ensimmäiseen konseptipolkuun pyrittiin valitsemaan kaikista vaihtoehdoista yksinkertaisimmat ja edullisimmat vaihtoehdot laitteiston osatoimintoihin, kuitenkin niin että polku pysyisi mahdollisena ja täyttäisi vaatimukset:

- Normaali hammasrataspumppu+ paineakku
- Normaali hydrauliputkisto
- Adapteri sylinteriin, rakennetaan CRIN- Sumuttimesta
- x kpl magneettiventtiilit rinnan
- Paineanturi sylinteriin
- Visuaalinen vuotovalvonta
- Datalogger, excel,
- PLC ohjaamaan venttiileitä
- Hinta < 20 000€

Paine tuotettaisiin tässä konseptissa hammasrataspumpulla (kuva 6), jolle rakennettaisiin käyttö esimerkiksi oikosulkusähkömoottorilla, minkä pyörimisnopeutta päästään säätämään taajuusmuuttajan avulla.



KUVA 6. Hammasrataspumppu (Kuva Bosch Rexroth.com)

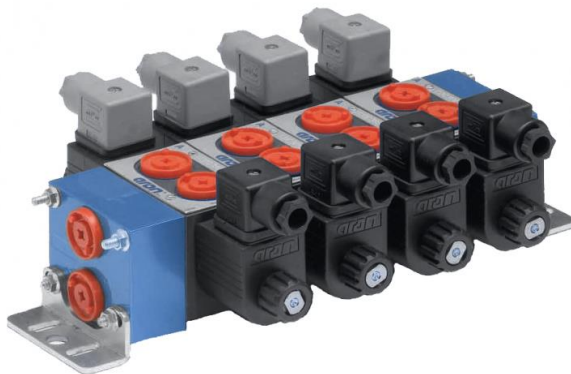
Hydraulipumpun yhteyteen liitetään paineakku (kuva 7), joka toimii energiavarastona, sekä suojelee pumppua paineiskuilta.



KUVA 7. Paineakku

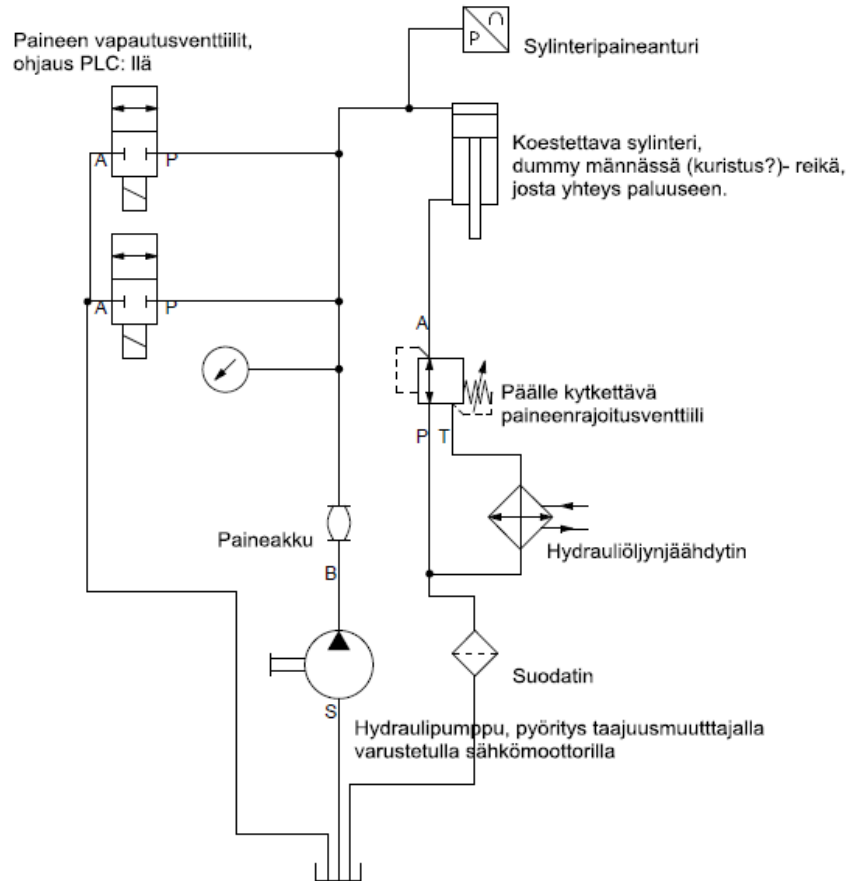
Putkistot tässä konseptissa tehtäisiin tavallisilla hydrauliputkilla ja mahdollisesti korkeapaineletkuilla.

Paineoskillaatio tuotettaisiin magneettiventtiileillä (kuva 8), joiden avautumista ohjattaisiin ohjelmoitavan logiikkayksikön avulla.



KUVA 8. Magnettiventtiilistö

Kuvassa 9 on esitetty alustava konsepti miten hydraulikka tässä konseptissa kytkettäisiin.



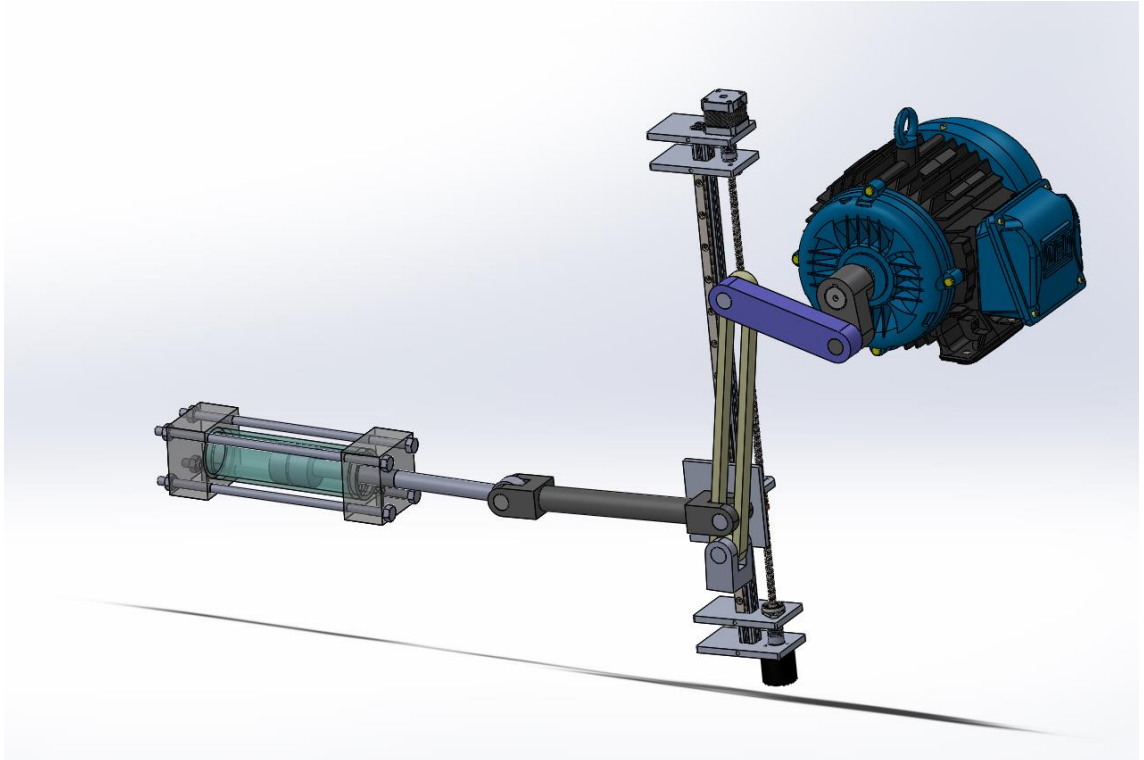
KUVA 9. Alustava hydraulikaavio

5.5.2 Konsepti 2 ”Pulsaattori”

Toisessa konseptipolussa erilaista olisivat varsinkin paineen tuotto ja oskillointi, mitkä tuotettaisiin sylinterin avulla, mihin toteutettaisiin muuttuvaiskuinen käyttökoneisto:

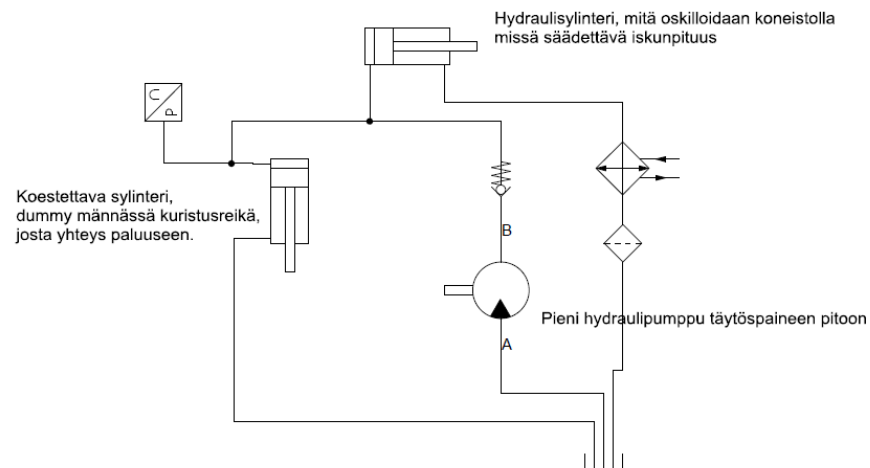
- Hydraulisyylinteri, johon muuttuvaiskuinen käyttö.
- Sylinterin täyttö painepuolella
- Männän tiivisteet pois
- Varren puolelle paluu
- Vääntömoottori sädetävällä kierrosluvulla
- Pieni hydraulipumppu täytöspaineen pitoon
- Korkeapaineputkisto
- Adapteri, rakennetaan CRIN- Sumuttimesta
- Ylä- ja alapaineen seuranta
- Datalogger, excel
- < 50 000€

Ajatus on siis että valittaisiin soveltuva hydraulikkasyylinteri, jota käytettäisiin paineen ja oskillaation tuottamiseen liikuttamalla sen mäntää edestakaisin. Konsepti vaatii säätyvän iskunpituuden jotta painetasoa voitaisiin säätää, kuvassa 10 on esimerkki millainen koneisto voisi olla. Säättö voitaisiin toteuttaa esimerkiksi lineaarijohteen avulla. Paineoskillaation taajuus säätäisi tässä konseptissa helposti sähkömoottorin kierroslukua säätämällä.



KUVA 10. ”Pulsaattori”

Kuvan 11 hydraulikaavio havainnollistaa millainen konsepti olisi karkeasti toiminnaltaan.



KUVA 11. Konsepti ”Pulsaattori”, hydraulikaavio

5.5.3 Konsepti 3 ”High end”

Kolmas konsepti muistuttaa toiminnaltaan hyvin paljon ensimmäistä ”edullinen”- konseptia:

- Väsytykokeisiin tarkoitettu hydraulikojeisto
- Korkeapaineputkisto
- Adapteri sumuttinen paikalle
- x kpl Servoventtiilit rinnan
- Paineanturit pumpulla ja sylinterissä
- Ylä- ja alapaineen seuranta
- Sincotec(?) ohjaus ja datan keruu ohjelmisto
- < 100 000€

Suurin eroavaisuus ”edullinen” konseptiin on erityisesti väsytykokeisiin tarkoitettu hydraulikojeisto (Kuva 12), joka sisältää hydraulipumpun käyttömoottoreineen, paineakun, öljysäiliön sekä tarvittavat liitännät.



KUVA 12. Väsytykokeisiin tarkoitettu hydraulikojeisto (Kuva Zwick.fi)

Itse toimintaperiaate tulisi olemaan hyvin samankaltainen kuin edellisen konseptipolun kuvan 8 hydraulikaaviossa. Paineoskillaation tuottamisessa hyödynnettäisiin servoventtiileitä, joiden ohjausohjelmisto pitää hankkia erikseen.

5.5.4 Konsepti 4 Sincotec, (Teetetty testi)

Yhtenä konseptivaihtoehtona koko projektiin on teettää tarvittavat väsytykokeet ulkopuolisella yrityksellä. Sincotec on AGCO Power oy: lle ennestään tuttu kumppani, mikä johdosta heiltä pyydettiin tarjous spesifioidun testin tekemisestä. Heidän tekemänä yhden sylinterin testikerta tulisi maksamaan noin 5000 – 10000€.

AGCO Power oy:n vastuulla olisi edelleen testiolosuhteiden luominen sylinteriin, eli männän lukitseminen paikalleen ja niin edelleen.

5.5.5 Konsepti 5 Sincotec, (Valmis laitteisto)

Samalla kun edellisen konseptin yrityksestä pyydettiin tarjous väsytykokeen tekemisestä, pyydettiin myös arvio mitä laitteisto maksaisi heidän tekemänään. Ensimmäinen

ehto heiltä oli että he halusivat tehdä ensin yhden testin itse, ennen kuin tarkemmin spesifioivat laitteiston AGCO Power oy:n tarpeisiin.

Alustava tarjous laitteiston hinnaksi oli 150 000 €, ilman hydraulikojeistoa. He kuitenkin palasivat myöhemmin melko yksityiskohtaisen tarjouksen kera, missä oli myös hydraulikojeisto. Heidän tarjous sisälsi kaikki tarvittavat komponentit testin tekemiseen CE- hyväksyntöineen. Periaatteessa heidän tarjous on ”avaimet käteen” periaatteella oleva koko laitteisto (Kuva 13), sisältäen myös koulutuksen Saksassa.



KUVA 13. Sincotec- laitteisto

Tarjous sisälsi seuraavat osat:

- Teräskehikon valmistus, johon hydraulikojeisto ja testattava kappale kiinnitetään
- Joustava kiinnitys sylinteriryhmälle
- Turvakammio
- Kuormitussovellus (venttiilien ohjaus)
- Dokumentaatio ml. Käyttöohjeet
- Sisältää riskikartoituksen ja CE hyväksynnän koko testilaitteistolle

- Servohydrauliset venttiilit
- Hydraulikkalohko
- Hydraulikojeisto (Kuva 14)
 - 20l / min 280 bar
 - 15 kW, 160 l tankki
 - Hydrauliset korkeapaineletkut
 - Kaapeloinnit



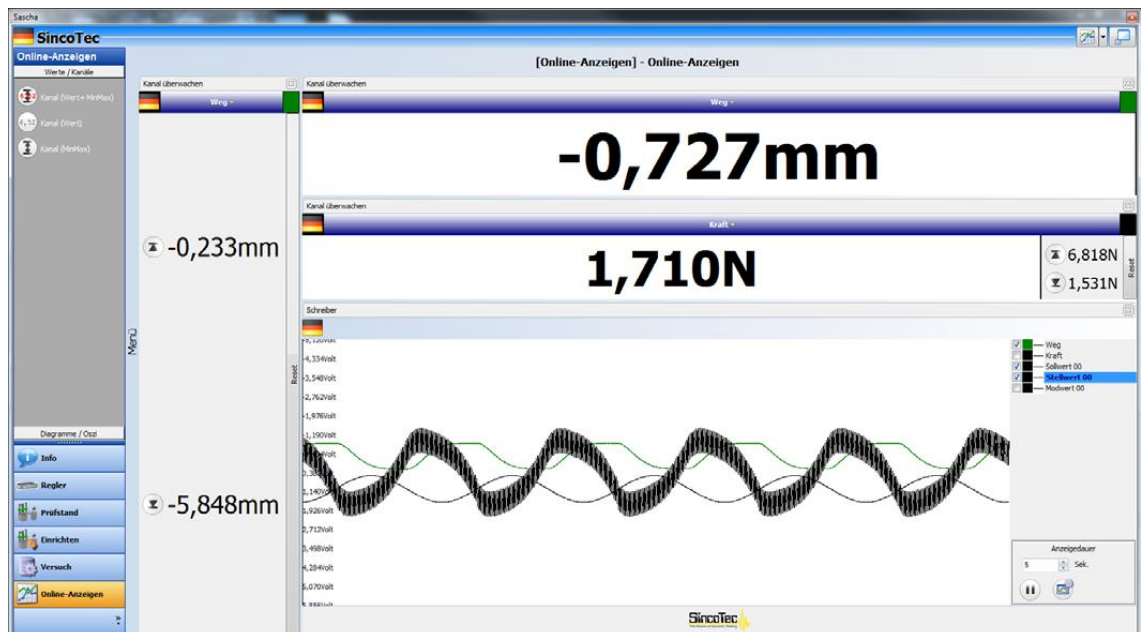
KUVA 14. Sincotec- hydraulikojeisto

- Ohjausjärjestelmä ”TestPilot Professional” (Kuva 15)
 - 1- 4 kanavainen
 - Intelligent control algorithm
 - Joka kanavan näytteenottotaajuus 10 kHz
 - 16 vapaata digital in- ja out- kanavaa



KUVA 15. Sincotec TestPilot Professional- ohjausjärjestelmä

- CoPilot- Ohjelmisto mitattujen signaalien visualisointiin työpöydällä (Kuva 16)
 - Windows 10
 - Yhden tai useamman ohjausoperaation hallinta yhdellä PC: llä



KUVA 16. Sincotec CoPilot- ohjelmisto

- Ohjaustietokone
 - Intel Core I5, suoritin, 4 GB Muisti
 - 500 GB kovalevy
 - Grafiikkakortti 2 GB

- Windows 10 käyttöjärjestelmä
- Teline ohjaustietokoneelle “control cabinet” (Kuva 17)



KUVA 17. Control cabinet

- Esihyväksyntä laitteistolle ja koulutus (Clausthal- Zellerfeld)
- Pakkaus, lähetys Linnavuoreen (sis. Vakuutus)
- Laitteiston kokoonpano Linnavuoreessa, sisältäen samalla kahden päivän käyttökoulutuksen

5.5.6 Konsepti 6 MTS Laitteisto

MTS on yksi tunnetuimmista väsytyскоelaitteistojen valmistajista. Agco konsernissa on myös ennestään MTS: n valmistamia laitteistoja traktorien tuotekehitysosastojen käytössä. Näiden syiden johdosta MTS edustajalta pyydettiin tarjousta testilaitteistosta. Heidän konseptiehdotus perustuu n. 60 l/ min hydraulikojeistoon, servoventtiileihin ja

erityiseen tuplasynteritön tyyliseen pulsaattoriin (hydraulic intensifier), mitä ohjataan servoventtiileiden avulla.

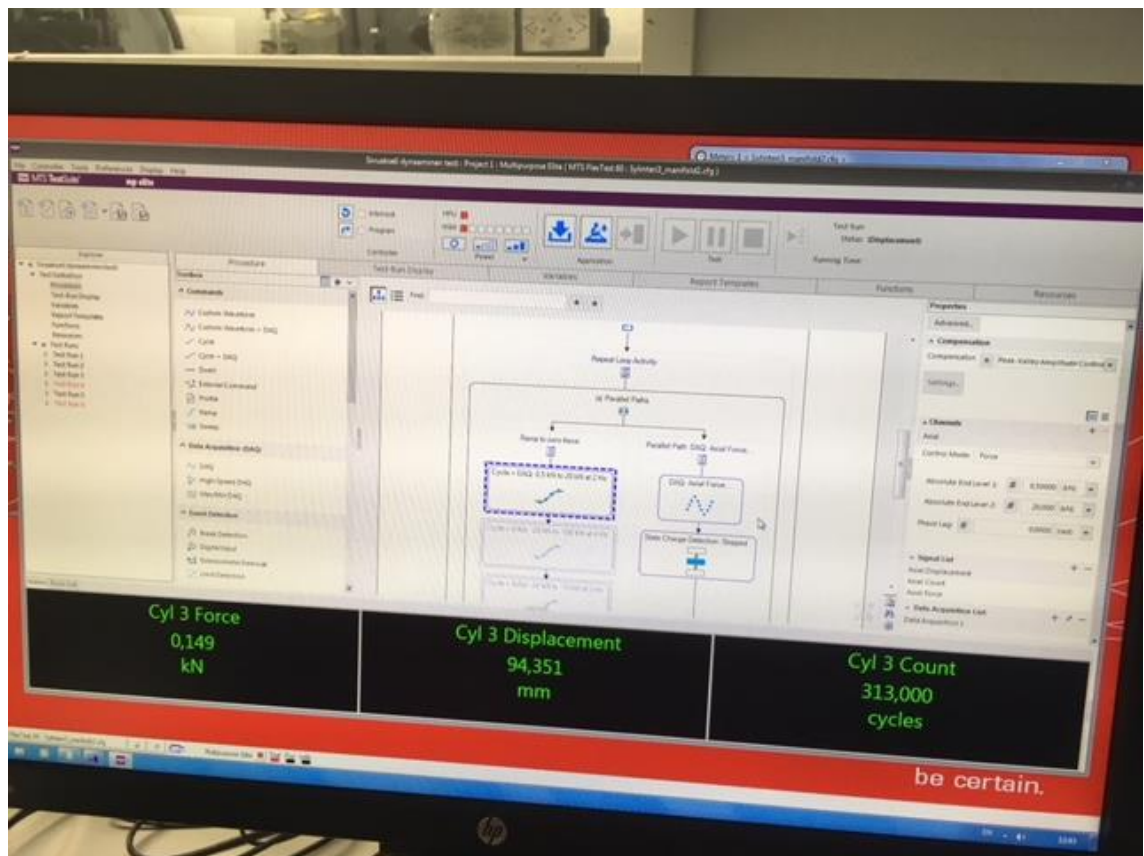
Tarjous saatiin ja hinta- arvio oli n. 250 000€ ja toimitusaika noin kuusi kuukautta.

Toimitussisältö olisi suurin piirtein seuraavanlainen:

- Hydraulikojeisto
- Hydraulilohkot
- Paineennostin
- Servoventtiilit
- Venttiilien ohjauslaitteisto

He eivät lupaa CE- hyväksyntää laitteistolle, ja turvallisuus jää asiakkaan (AGCO Power) vastuulle.

MTS- laitteistoihin oli mahdollista tutustua Valtra oy:n tuotekehityksessä, jonne tehtiin matka kehitystyön aikana. Heidän kokemukset MTS- laitteistoista oli pääosin positiivista, muun muassa testilaitteiston asennus tuli avaimet käteen periaatteella ja toimittaja huolehti loppuun asti että laitteisto on käyttökunnossa. Testiohjelmien tekeminen MTS: n sovelluksessa (Kuva 18) koettiin hieman hankalana, tai ainakin koettiin että se vaatii jo melko paljon ammattitaitoa.



KUVA 18. MTS- Ohjelmisto

5.6 Konseptivaihtoehtojen arvostelu ja päätös

Eri konseptien arvostelua ja pisteytystä varten tehtiin painoarvotaulukko, taulukosta 4 löytyy käytetyt arvostelukriteerit ja niiden painoarvot. Tällä laskentataulukolla laskettiin jokaiselle kuudelle konseptille pisteytys, ottaen huomioon tutkitun ominaisuuden jokaiselle arvostelukriteerille.

Parhaan pistemäärän painotetuilla pisteillä sai konsepti 5 Sincotec laitteisto, myös painottamattomat pisteet oli konseptilla 5 suurimmat. Tässä konseptivaihtoehtoissa nähtiin muutenkin ratkaisevan vahvoina puolina laitteiston kestoikää, ja sitä myötä mahdollisuutta toistaa testiä aikataulun puitteissa runsaasti.

TAULUKKO 4. Painoarvotaulukko

Arvostelukriteeri	Painoarvo	Konsepti 1, "Edullinen"			Konsepti 2, "Pulsaattori"			Konsepti 3, "High end"		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Investointi	20 %	20 000 €	5	1	50 000 €	5	1	100 000 €	4	0,8
Testin onnistumisvarmuus	20 %	tydyttävä	2	0,4	Hyvä	3	0,6	Hyvä	4	0,8
Valmistettavuus	5 %	Yksinkertainen	4	0,2	Keskinkertainen	3	0,15	Yksinkertainen	4	0,2
Taajuus	10 %	Max. 5 Hz	1	0,1	25 Hz?	4	0,4	1-5 Hz	2	0,2
Hinta/ testi	15 %	< 5kpl testejä	2	0,3	> 5kpl testejä	3	0,45	> 5kpl testejä	3	0,45
Skaalautuvuus	5 %	Ok	3	0,15	Hyvä	4	0,2	Hyvä	4	0,2
Turvallisuus	10 %	Heikko	2	0,2	tydyttävä	3	0,3	Tydyttävä	3	0,3
Testikerrat vs. aikatalaulu	15 %	< 5 kpl	3	0,45	< 5 kpl	3	0,45	> 10 kpl	5	0,75
	100 %	yht.	22	2,8	yht.	28	3,55	yht.	29	3,7

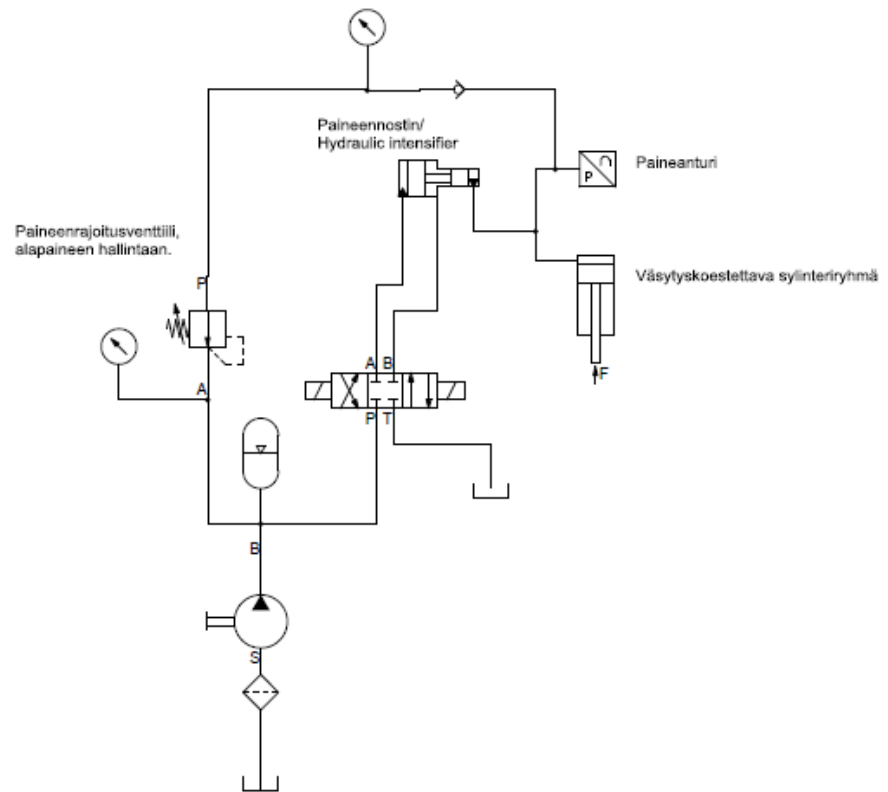
Arvostelukriteeri	Painoarvo	Konsepti 4, Sincotecillä teetetty testi			Konsepti 5, Sincotec laitteisto (Saatavilla vasta teetetyt testin jälkeen)			Konsepti 6, MTS Laitteisto		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Investointi	20 %	10 000 €	5	1	200 000 €	2	0,4	250 000 €	1	0,2
Testin onnistumisvarmuus	20 %	Kiitettävä	5	1	Kiitettävä	5	1	Kiitettävä	5	1
Valmistettavuus	5 %	Helppo	5	0,25	Avaimet käteen	5	0,25	Hyvä	4	0,2
Taajuus	10 %	15 Hz	4	0,4	15 Hz	4	0,4	15 Hz	4	0,4
Hinta/ testi	15 %	Kertakäyttöinen	1	0,15	20 vuotta	5	0,75	20 vuotta	5	0,75
Skaalautuvuus	5 %	Heikko	1	0,05	Hyvä	4	0,2	Kiitettävä	5	0,25
Turvallisuus	10 %	Kiitettävä	5	0,5	Hyvä	4	0,4	Hyvä	4	0,4
Testikerrat vs. aikatalaulu	15 %	< 3 kpl	2	0,3	< 3 kpl	3	0,45	< 3 kpl	2	0,3
	100 %	yht.	28	3,65	yht.	32	3,85	yht.	30	3,5

5.7 Alustava konseptiluonnos

Konsepteista valikoitui painoarvotaulukon perusteella lopulta Sincotec: in valmistama valmis testilaitteisto. Kuitenkin laitteiston kehitysehdotus tullaan tekemään yleisellä tasolla, lukitsematta mitään yksittäistä toimittajaa. AGCO Power oy: n tuotekehitysosasto voi tämän kehitysehdotuksen perusteella valikoida joko MTS: n tai Sincotecin tekemän valmiin laitteiston, tai rakentaa oman laitteiston valitsemalla yksittäiset komponentit valikoimiltaan toimittajilta.

Konseptit 3, 5 ja 6 muistuttavat toimintaperiaatteeltaan hyvin pitkälti toisiaan, perustuen hydraulisiin väsytykokeisiin tarkoitettuihin komponentteihin. Kehitysehdotus vastaa pitkälti näistä kolmesta konseptista poimittuja ratkaisuja.

Hydraulikaavio kehitysehdotuksessa on kuvan 19 mukainen.



KUVA 19. Konseptiluonnoksen hydraulikaavio

6 LAITTEISTON KEHITYSEHDOTUS

6.3 Suunnitelma laitteistosta

6.3.1 Hydraulikojeisto

Hydraulikojeistolla tarkoitetaan tässä kehitysehdotuksessa koko pakettia joka hoitaa paineen tuottamisen, energian varastoinnin ja paineen siirron venttiileille asti.

Kojeiston tulee sisältää:

- Hydraulipumppu
- Moottori (Voiman tuotto pumpun pyörittämiseen)
- Paineakku
- Öljysäiliö
- Tarvittavat liitännät
- Hydrauliikkalohko
- Sähköt ja kaapeloinnit
- Ohjauspaneeli

Kojeiston tulee täyttää seuraavat vaatimukset

- Tuotto min. 20 l/ min 250 bar
- Max. Staattinen paine 300 bar
- Komponentit parasta mahdollista laatua, mitkä tulisi olla väsytykskokeissa koeteltua laatua
- Öljysäiliö min. 50 l
- CE hyväksytty
- Tarvittavat ohjeet ja dokumentaatio kojeiston mukana

6.3.2 Servoventtiilit

Servoventtiilit on myös syytä olla väsytykokeisiin tarkoitettuja komponentteja (Kuva 20), jotta voidaan varmistua niiden luotettava toimivuus jatkuvassa, oskilloivassa kuormitusilanteessa.



KUVA 20. MTS- servoventtiilit

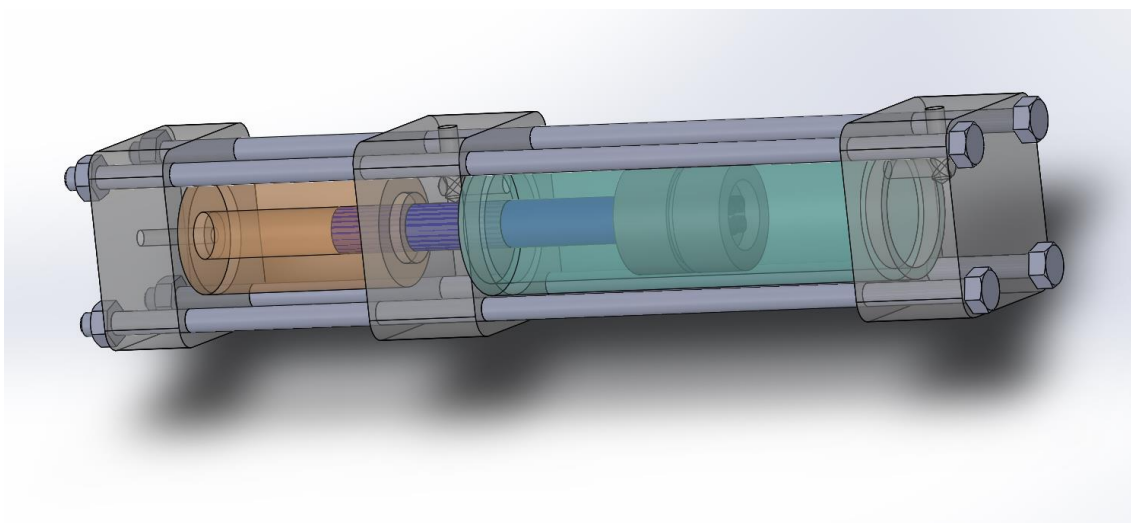
6.3.3 Paineoskillaation tuottaminen

Pelkästään venttiilein tuotettavassa paineoskillaatiossa luultavasti tulee ongelmaksi paineenlaskuaika. Vaikka servoventtiilit aukenevat nopeasti, paineenlasku sylinterissä ottaa aina tietyn aikaa riippuen mm. venttiilien ja läpivientien virtausvastuksista. Tämä voi rajoittaa paineoskillaation taajuuden n. 1 Hz tasolle, mikä taas tekee väsytykokeesta liian pitkäkestoisen.

Oskillaation tuottamiseen järjestelmässä, joka toteutetaan hydraulikojeiston ja servoventtiilien avulla, on muutama eri vaihtoehto.

Yksi vaihtoehto on että sylinteriryhmään, kiertokangen paikalle asennetaan kahteen suuntaan toimiva hydraulisylinteri, jota ohjataan servoventtiileillä suorittamaan edestakaista liikettä. Tässä vaihtoehdossa pitää olla erillinen matalapainepiiri millä syötetään sylinteriin öljyä ja pieni alapaine. Hydraulisylinterin liikkeellä tuotetaan sylinteriin tarvittava paineimpulssi. Tässä tapauksessa sylinterin paineenlaskutapahtuma ei rajoita taajuustasoa koska mäntä vedetään sylinterillä takaisin.

Toinen vaihtoehto on kaksoissylinterin tyyppinen paineennostin eng. hydraulic intensifier (Kuva 21), eli sylinteri jota ohjataan samalla tavalla servoventtiileillä, mutta sylinteriin on liitetty samaan varteen toinen mäntä mikä tekee paineiskun korkeapainejärjestelmään, eli testattavaan sylinteriin. Paineennostimen malli ei ole suoraan valmistettavissa, vaan karkeahko luonnos. Jos se halutaan valmistaa itse, vaatii se vielä jatkokehitystä ja mm. lujouden tarkastelun. MTS tarjoaa tämän tyyppistä vaihtoehtoa omaan laitteistoonsa.



KUVA 21. Paineennostin

Molemmissa tapauksissa sylinterin paluuliikettä pitää pystyä rajoittamaan ja painetasoa pitää pystyä säätämään jotta voidaan pikkuhiljaa kokeilemalla säätää sopiva paineimpulssi testattavaan sylinteriin. Tässä kohtaa tulee vahvasti mukaan paineoskillaation taajuuden aiheuttama dynamiikka, mikä lopulta ratkaisee testattavassa sylinterissä tapahtuvan painehuipun tason.

6.3.4 Venttiilien ohjaus

Venttiilien ohjauksen pystyy rakentamaan tavallisella ohjelmoitavalla logiikalla, mutta edistyneempi, älyä sisältävä ohjainlaitteisto on suositeltava. Muun muassa koska tällaisen dynaamisen ja oskilloivan paineaallon aikaansaaminen voi olla oskillaation tuottamistavasta riippuen erittäin haastavaa. Tämän vuoksi edistynyt ohjainlaite, jossa on mukana paineentunnistus, helpottaa merkittävästi luotettavan väsytykokeen suorittamista, koska tällaisessa laitteistossa voidaan määrittää halutut painerajat minkä sisään paineaaltokuvio pitää saada. Tavallisessa ohjelmoitavassa logiikassa on yleensä lähtökohtana aikaan perustuva ohjaus, mikä ei välttämättä toimi varsinkaan pitkässä väsytykokeessa, missä väkisin systeemissä tulee muutoksia johtuen eri muuttujista kuten: lämpötila, nesteen määrä systeemissä, vuodot jne.

Suositteluja toimittajia ohjainlaitteelle ovat mm. MTS ja Sincotec, johtuen heidän kokemuksestaan väsytykokeestuksen alalta.

Toinen vaihtoehto on yleinen ohjauslogiikka, mutta siinä tapauksessa sen ohjelmointiin on syytä varautua ulkopuolisen resurssin käyttöön.

Joka tapauksessa venttiilien ohjauksessa on syytä varautua n. 10 000 € kuluerään.

6.3.5 Paineen ja lämpötilan mittaus

Paineen mittaukseen sylinteristä voidaan hyödyntää vastaavia antureita mitä käytetään normaalisti AGCO Power tuotekehityslaboratoriossa. Tärkeää on että paineanturien ja mittausvahvistimen mittaustaajuus on riittävä tällaisille taajuuksille (5- 15 Hz). Pitää muistaa että jos halutaan mitata 15 Hz paineoskillaatiota, anturoinnin mittataajuus pitää olla tätä huomattavasti suurempi, mieluiten ainakin viisinkertainen, jotta päästään muodostamaan painekuvaaja. Paineanturin on syytä olla myös lämpötilakompensoiva. Suositeltu anturityyppi on esimerkiksi Wika P30- sarjan (Kuva 22) anturi tai vastaava.



KUVA 22. Wika P30- sarjan paineanturi (Kuva www.wika.fi)

Tällaisen anturin hinta on alkaen noin 600 €.

Laitteiston ja testattavan sylinteriryhmän lämpötilaa on syytä mitata testin aikana, lämpöanturit ovat edullisia ja suhteellisen helposti saatavilla, mutta nämä pitää ottaa huomioon mittausvahvistimen hankinnassa. 16- kanavainen, CAN- väylään dataa lähettävä vahvistin on suositeltava. Esimerkiksi IMC: n Cansas- sarjan moduleista on jo ennestään hyvät kokemukset. Kuvassa 23 esimerkkinä IMC SCI-16, joka olisi varmasti riittävä tähän laitteistoon, vaikka laitteiston käyttöä myöhemmin laajennettaisi esimerkiksi moneen sylinteriin kerralla tapahtuvaksi.



KUVA 23. IMC SCI- 16 Mittausmoduuli (Kuva www.imc-finland.com)

Paineen mittausantureihin ja mittausvahvistimeen pitää varata budjettia n. 6000 – 7000€.

6.3.6 Linjastot

Hydraulipaineen sylinteriin johtamiseen tulee käyttää mahdollisimman kovia linjastoja, letkut eivät ole suositeltuja niiden elastisuuden takia.

Mieluimmin linjat tulisi rakentaa koneistetuista, korkeapaineputkista, joiden muodonmuutokset ovat mahdollisimman pieniä ja hallittuja (tiedossa). Tämä mahdollistaa mahdollisimman nopean paineen nousun sylinterissä, mikä simuloi parhaiten oikeassa käyttilanteessa tapahtuvia painerasituksia.

6.3.7 Datan keruu

Mittadatan keruuta varten tarvitaan datan keruulaite (nk. dataloggeri), joka kerää anturien mittatietoa. Esimerkiksi IMC BUSDAQ- sarjan tuotteet (Kuva 24) sopivat erinomaisesti tähän käyttöön.

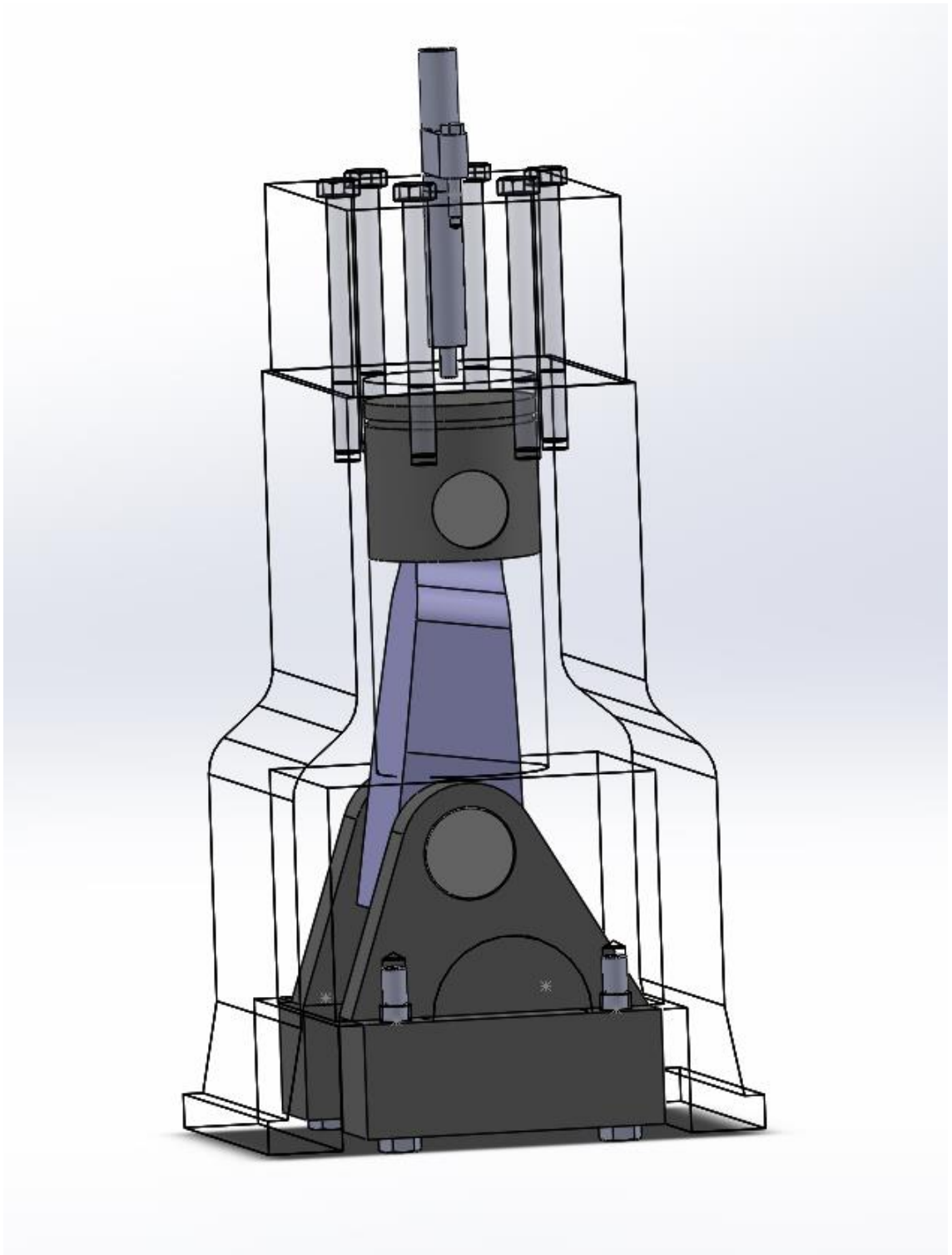


KUVA 24. IMC BUSDAQ- Dataloggeri (Kuva www.imc-finland.com)

Mittadatan analysointi hoituu periaatteessa yksinkertaisimmin excel: in avulla, sillä saadaan laskettua paineiskujen määrä ja niin edelleen. Mutta testin aikaiseen valvontaan edistyneempi datan analysointiohjelmisto olisi ehdottoman tarpeellinen. Testi kestää esimerkiksi 5 Hz taajuudella, ympäri vuorokauden tehtäessä 23 vuorokautta, joten valvonta tulee haasteeksi ilman kunnollista valvontaohjelmistoa mikä sisältää datan keruun, ja kertoo heti systeemin tilan, eli onko testi edelleen käynnissä vaatimuksien mukaisesti. Myös olisi hyvä jos valvontaohjelmistoon pystyisi rakentamaan tekstiviestihälytyksiä esimerkiksi vuototilanteessa, jolloin testin kesto saataisiin mahdollisimman lyhyeksi, kun vikatilanteisiin päästäisiin reagoimaan mahdollisimman nopeasti. Kuitenkaan testiä ei tule kukaan valvomaan ympärivuorokauden, eikä edes työaikaa kokonaan, vaan valvonta tehdään muiden töiden ohessa.

6.4 Sylinteriryhmään tarvittavat komponentit

Kuvassa 25 on näkyvissä komponentit mitä sylinteriryhmän väsytykokeeseen pitää valmistaa moottorin osalta: mäntä, kiertokanki, kampiakseli ja adapteri paineen johtamiseksi sylinteriin.



KUVA 25. Moottoriin valmistettavat komponentit

6.4.1 Mäntä

Tässä väsytykskokeessa on tarkoitus keskittyä sylinteriryhmän väsymislujouden toteamiseen. Männän osalta voidaan vapaasti toteuttaa ratkaisu mikä tukee koetta parhaiten,

eikä tarvitse yrittää saada normaalisti käytettävää, rengastettua alumiinimäntää pitämään öljyä sylinterissä.

Männässä materiaaliksi sopii teräs, esimerkiksi S355 ainestanko, mistä sorvataan lieriön mallinen mäntä. Männän tulee korkeudeltaan ja männäntapin asemaltaan olla samankoinen ja mallinen kuin normaalisti käytettävä mäntä, jotta sylinterin seinämään kohdistuva jännitys simuloi todellista tilannetta. Männän tiivistykseen pitää käyttää hydraulikkäyttöön tarkoitettuja o- renkaita tai V- huulitiivisteitä.



KUVA 26. Mäntä

6.4.2 Kiertokanki

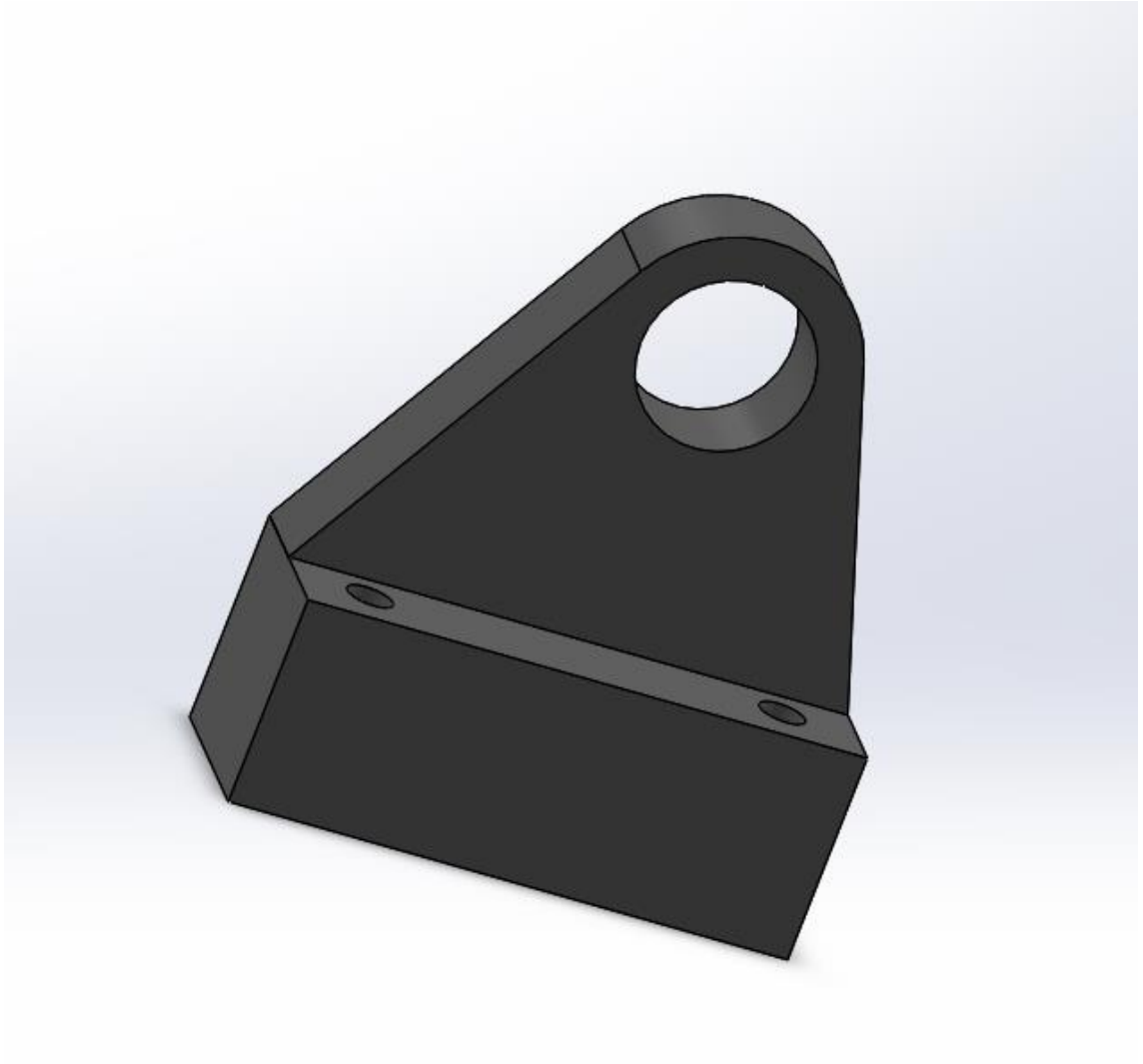
Kiertokankena voi periaatteessa olla käytössä moottorissa myöhemmin käyttöön tuleva kanki, jolloin myös sen väsymistä pystytään periaatteessa testaamaan.

Mutta itse sylinteriryhmän väsytykokeen kannalta kiertokangeksi kannattaa valmistaa alkuperäistä jäykempi kanki. Se on toteutettavissa melko suoraviivaisesti, koska kiertokangen ei tässä tapauksessa tarvitse mahtua seuraamaan kampiakselin pyörimisliikettä, vaan se lukitaan yhteen asemaan sylinteriryhmän sisään.

Kangen ylä- ja alapään reiät pitää mitoittaa niin että liukulaakerit jätetään välistä pois ja reiät sovitetaan melko tiukoiksi kampiakselin ja männän tapin kanssa. Tämä siksi että liitokset ensinnäkin pitää pysyä ”pyörivinä”, jotta männän aiheuttamat jännitykset simuloisivat mahdollisimman hyvin todellisten jännityksien suuntaa. Toisaalta liitoksille ei testissä saada voitellua aikaan, eivätkä ne varsinaisesti pyöri, joten välitys saa olla mahdollisimman pieni että estetään liitoskohtien pintojen aikainen kuluminen.

6.4.3 Kampiakseli

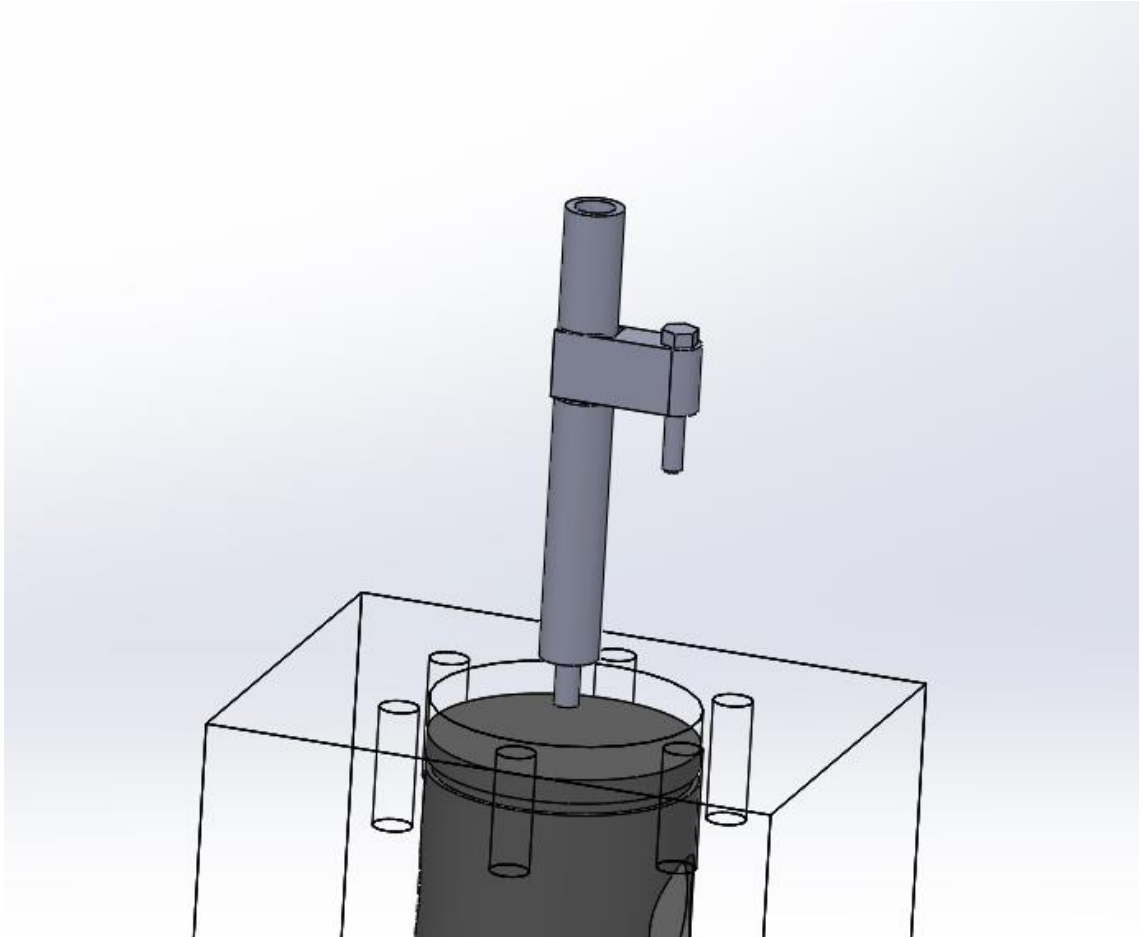
Kampiakselina olisi myös mahdollista käyttää oikeaa kampiakselia, joka lukittaisiin oikeaan kohtaan jollain tavalla. Toinen vaihtoehto on tehdä kampiakseliksi suoraan oikeaan kohtaan asemoidut adapterit, joiden väliin liitetään tappi. Tässä vaihtoehdossa pitää ottaa huomioon että sylinteriryhmän alapään rasitukset voivat olla oikeaa tilannetta suuremmat, jos käytetään vain yhtä sylinteriä ympäröiviä kampiakselin runkopukkien kiinnityspisteitä.



KUVA 27. Kampiakseliadapteri

6.4.4 Adapteri paineen sylinteriin johtamiseksi

Paine pitää johtaa sylinteriin sylinterikannen läpi. Luonnollisin valinta paineen sisäänmenoaukoksi on sumuttimen reikä. Tähän voidaan melko helposti valmistaa koneistamalla adapteri, mikä kiinnitetään kuten common- rail sumutin normaalisti. Adapterin päähän pitää koneistaa kierre käytettävien hydraulikomponenttien perusteella.



KUVA 28. Adapteri paineen sylinteriin johtamiseksi

6.5 Turvallisuus

Turvallisuudessa ensimmäinen lähtökohta on että itse testi pitää suorittaa suljetus (lukitussa) tilassa, mihin ulkopuoliset eivät pääse testin aikana. Tämän lisäksi tärkeä osaluokitus on laitteistoon rakennettava valvonta esimerkiksi letkun pettämiseksi, laitteiston ylikuumenemiselle ja paineen liialliselle nousulle.

Tarkempi riskiarviointi tehtiin perustuen taulukkoon missä on lueteltu eri tunnistetut riskit, joille on arvioitu jokaiselle erikseen riskitaso vakavuuden ja riskin todennäköisyyden perusteella. Riskitaso vaihtelee vähäisen ja sietämättömän riskin välillä, taulukon 5 määrittelyn perusteella.

TAULUKKO 5. Riskitason määrittely

	Lievästi haitallinen	Haitallinen	Erittäin haitallinen
Hyvin epätodennäköinen	Vähäinen riski	Siedettävä riski	Kohtalainen riski
Epätodennäköinen	Siedettävä riski	Kohtalainen riski	Merkittävä riski
Todennäköinen	Kohtalainen riski	Merkittävä riski	Sietämätön riski

Taulukossa 6 on lueteltu tunnistetut riskit ja niille toimenpiteet millä riskiä voidaan vähentää, minkä jälkeen on arvioitu uusi riskitaso toimenpiteiden jälkeen.

TAULUKKO 6. Sylinteriryhmän väsytyскоelaitteiston riskiarviointi

Vaara	Vakavuus/ todennäköi	Riskitaso	Riskin vähentäminen?	Jälkiarviointi	Riskitaso toimenpiteiden jälkeen
				Uusi vakavuus/ todennä	
Äkillisen painevuodon aiheuttama vamma.	Erittäin haitallinen/ Todennäköinen	Sietämätön riski	Laitteiston sijoittelu lukittuun tilaan. Tai laitteiston huolellinen suojaus. (Turvakaappi)	Erittäin haitallinen/ Epätodennäköinen	Kohtalainen riski
Melu	Haitallinen/ Todennäköinen	Merkittävä riski	Kuulonsuojainten käyttö/ laitteiston sijoittelu	Lievästi haitallinen/ epätodennäköinen	Siedettävä riski
Kuuman laitteiston aiheuttama palovamma	Erittäin haitallinen/ epätodennäköinen	Merkittävä riski	Työvaatteet, laitteiston sijoittelu, hälytykset yllimmästä	Lievästi haitallinen/ Epätodennäköinen	Siedettävä riski
Liukastuminen vuotoaneeseen öljyn	Haitallinen/ Todennäköinen	Merkittävä riski	Roiskesuojaus, vuotovalvonta Lattian puhtaanapito	Haitallinen/ Hyvin epätodennäköinen	Siedettävä riski
Vammat laitteiston asennuksen yhteydessä	Erittäin haitallinen/ Epätodennäköinen	Kohtalainen riski	Opastus, dokumentaatio, valmis laitteisto? Laadukkaat nostovälineet	Haitallinen/ Hyvin epätodennäköinen	Siedettävä riski
Laitteistosta sinkoutuvat esineet	Erittäin haitallinen/ epätodennäköinen	Merkittävä riski	Laitteiston sijoittelu lukittuun tilaan. Tai laitteiston huolellinen suojaus. (Turvakaappi)	Haitallinen/ Hyvin epätodennäköinen	Siedettävä riski

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kokonaisuutena opinnäytetyön tavoitteista suurin osa pystyttiin täyttämään, työ tarjoaa kehitysehdotuksen väsytyскоelaitteiston jatkokehitykselle. Jos se päätetään valmistaa paikallisesti, jatkokehitystä ja tarkempaa suunnittelua toki vielä tarvitaan. Myös kaksi eri potentiaalista toimittajaa kokonaisten laitteistojen toimittamiseksi löydettiin opinnäytetyön tekemisen aikana.

Työn teoriaosuus on pääosin lähteistä ja AGCO Power oy: n tuotekehitysosaston ammattilaisilta kerättyä aineistoa. Teholaskelmat on osio johon on syytä suhtautua varauksella, koska laitteiston tarkat spesifikaatiot ja mitat eivät olleet laskuja suorittaessa selvillä. Tämän johdosta laskut ovat lähinnä pohjia lopullisille laskuille kun tarkka laitteisto on selvillä.

Laitteiston vaatimuksista jäi tarkemmin huomioimatta vuodontunnistus, mikä pitää ottaa huomioon kun laitteiston tarkempi kehityssuunta on selvillä. Staattinen (300 bar) painevaatimus huomioitiin hydraulikojeiston vaatimuksissa, mutta tilanteen mukaan sitä ei kannata pitää määrittävänä tekijänä, laitteiston kehitystyön aikana tuli käsitys että staattinen osuus on yksinkertainen suorittaa esimerkiksi omalla erillisellä pumpulla. Koska itse dynaaminen väsytyскоe on erittäin haastava laitteiston spesifioinnin osalta, ei sitä kannata rajoittaa staattisella painevaatimuksella, joka on toteutettavissa suoraviivaisemmin spesifioitavalla välineistöllä.

Opinnäytetyön tekijälle annettu aihe oli lopulta erittäin haastava ja mielenkiintoinen ja päästi soveltamaan ja edelleen opiskelemaan konetekniikan koulutusohjelmassa opittua tietoa. Vaikka tehtävä rajattiin koskemaan tiettyä aluetta, ei tällaisessa työssä voi välttyä paineilta koko laitteiston ja itse kokeidenkin suorittamisen onnistumisesta. Jos laitteisto päädytään valmistamaan paikallisesti, suosittelen että laitteiston valmistuksen projektihallinta ja itse väsytyскоeiden toteuttamisen hallinta ja tulosten analysointi annetaan seuraavan opiskelijan tai yrityksestä tarkkaan nimetyn henkilön vastuulle.

LÄHTEET

Kauranne, H., Kajaste, J., Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. 2. Painos. Helsinki: Sanoma Pro oy.

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., Tuomikoski, J. 1999. Konetekniikan Materiaalioppi. 8. Painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Meskanen, S., Höök, T. 2014. Suunnittelijan perusopas. Tarkastusmenetelmät. Luettu 22.12.2017. www.valuatlas.fi

Mollenhauer, K., Tschöke. 2010. H.Handbook of Diesel Engines. Berlin: Springer- Verlag.

Ulrich, K., Eppinger, S. 2008. Product Design and Development. New York: McGraw-Hill/Irwin.

AGCO:n henkilöstön intranet sivuston osio ”keitä me olemme”. Luettu 11.12.2017 <https://insideagco.agcocorp.com/company>

AGCO Power yritysesittelymateriaali. 2017. Luettu 11.12.2017.

LIITTEET: Liite 1. Aikataulu

