

Vaihteiden kiinnitysjärjestelmän suunnittelu testauslaitteistoon

Sarjatuotettujen vaihteistojen modulaarisen kiinnitysjärjestelmän suunnittelu osana testauslaitteistoa

Topias Nikki

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Konetekniikan tutkinto-ohjelma,
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

NIKKI, TOPIAS:

Vaihteiden kiinnitysjärjestelmän suunnittelu testauslaitteistoon
Sarjatuotettujen vaihteistojen modulaarisen kiinnitysjärjestelmän suunnittelu
osana testauslaitteistoa

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Huhtikuu 2024

Opinnäytetyössä tehtiin suunnittelutyö uuden sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmän kehittämiseksi. Opinnäytetyö keskittyy vaihteiden kiinnitysjärjestelmän suunnitteluun. Opinnäytetyö tehtiin koska käytössä oleva testauslaitteisto on elinikänsä päässä. Testauslaitteiston työturvallisuudessa sekä työergonomiassa on myös parannettavaa ja vaihteiden testausprosessia halutaan tehostaa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi suomalainen teollisuusyritys, joka halusi pysyä nimettömänä opinnäytetyössä.

Työn tavoitteena oli kehittää modulaarinen sarjatuotantovaihteiden kiinnitysjärjestelmä, osana vaihteiden testausjärjestelmää. Kehitystyön keskeisenä tavoitteena oli joustava järjestelmä, joka tehostaa vaihteiden testaamista sekä parantaa työturvallisuutta ja työergonomiaa.

Työn tekeminen alkoi työskentely jaksolla testauslaitteen parissa, keräten tietoa järjestelmän kehityskohteista. Riskienarvioinnilla löydettiin merkityksellisimmät kehityskohteet. Vertex G4 suunnitteluohjelman avulla suunniteltiin lopuksi tarkka 3D-malli uudesta vaihteidenkiinnitysjärjestelmästä.

Suunnittelutyön tuloksena syntyi modulaarinen kiinnitysjärjestelmä, joka mahdollistaa kaikkien tarvittavien vaihdetyyppien testauksen sekä erikoisvaihteiden testauksen. Kiinnitysjärjestelmän ja valmistelupisteen ansiosta vaihteiden testaus tehostuu merkittävästi. Työturvallisuutta parannettiin mahdollistamalla vaihteistoöljyn lisääminen valmistelupisteellä, kun aiemmin se tehtiin nostamisen aikana. Työergonomiaa parannettiin sijoittamalla vaihteiden valmistelupiste nostolavan päälle, mikä mahdollistaa työskentelykorkeuden säätämisen ja vähentää tarvetta työskennellä lattiatasolla kumarassa. Modulaarisesta kiinnitysjärjestelmästä tehtiin tarkat 3D-mallit yrityksen käyttöön.

Opinnäytetyön jälkeen toimeksiantaja pystyy jatkokehittämään sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmän kiinnitysjärjestelmän ympärille. Työn tuloksia voidaan myös hyödyntää mahdollisten laitteistonvalmistajien kilpailutuksessa, millä luodaan kuva koko järjestelmän rakentamiskustannuksille.

Asiasanat: mekaniikkasuunnittelu, 3D-mallinnus, testausjärjestelmä, vaihdeteknologia

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

NIKKI, TOPIAS:

Designing the Gearbox Mounting System for the Testing Equipment
Designing the Modular Mounting System for Mass-Produced Gearboxes As Part of the Testing Equipment.

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 1 pages
April 2024

The gearbox testing equipment has reached the end of its lifespan, so it needs to be renewed. The aim of the thesis was to improve the occupational safety, ergonomics, and efficiency of the existing testing equipment. The thesis was commissioned by an unnamed Finnish industrial company.

The focus of the development work was on creating a modular mounting system for serial production gearboxes as part of the testing system with the goal of flexibility and efficiency in testing, as well as improved occupational safety and ergonomics.

The Vertex G4 design software was utilized, and a precise 3D model of the new gearbox mounting system was created as a result of risk assessment.

A modular mounting system was developed as part of the serial production gearbox testing system. The new system allows for more efficient testing of all necessary gearbox types and special gearboxes. Occupational safety was improved by enabling gearbox oil addition at the preparation point, and ergonomics was improved by placing the preparation point on top of a lifting platform.

The results of the thesis can be utilized in the development of serial production gearbox testing systems and in competitions among equipment manufacturers, but approval of the project proposal is needed for the system to be manufactured.

Key words: mechanical design, 3D-modeling, testing system, gearbox technology

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TUTKIMUSKYSYMYKSET	7
3	LÄHTÖ TIEDOT	8
	3.1 Opinnäytetyön toimeksiantaja	8
	3.2 Testauslaitteisto	8
	3.2.1 Rakenne	8
	3.2.2 Toimintaperiaate	10
	3.2.3 Ongelmat	12
	3.3 Ohjelmistot	12
	3.3.1 Vertex Systems Oy	12
	3.3.2 Vertex G4	13
	3.3.3 Vertex Flow	15
	3.4 Koneturvallisuusstandardi	16
4	MODULAARINEN KIINNITYSJÄRJESTELMÄ	17
	4.1 Kiinnitysjärjestelmän toiminta-ajatus	17
	4.2 Suunnittelua ohjaavat tiedot	17
	4.2.1 Toimeksianto	18
	4.2.2 Järjestelmän vaatimukset	18
	4.2.3 Riskienarviointi	19
	4.3 Rakenne	21
	4.3.1 Alusta	22
	4.3.2 Pikakiinnitysalusta	25
	4.3.3 Siirtopeti	28
	4.3.4 Vaiheadapterit	31
	4.3.5 Valmistelupiste	33
5	Lujuustarkastelu	37
	5.1 Ruuviliitokset	37
	5.2 Hitsausliitokset	41
6	TULOKSET	44
7	POHDINTA	45
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	50
	Liite 1. Riskienarviointi	50

LYHENTEET JA TERMIT

PLM	Product Lifecycle Management, Tuotteen elinkaaren hallinta
CAD	Computer Aided Design, Tietokone avustettu suunnittelu
SFS	Suomen standardiliitto, suomessa hyväksytty standardi
DIN	Deutsches Institut für Normung, Saksalainen standardiliitto, saksassa hyväksytty standardi
EN	European Standard, Euroopassa hyväksytty standardi
ISO	International Organization for Standardization, Kansainvälinen standardiliitto ja sen hyväksymä standardi
SFS-EN-ISO	Maailmalla, euroopassa ja suomessa hyväksytty standardi

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on kehittää modulaarinen sarjatuotantovaihteiden kiinnitysjärjestelmä osana sarjatuotantovaihteiden testauslaitteistoa. Uuden kiinnitysjärjestelmän kehitystyössä huomioitiin työturvallisuuden, työergonomian ja vaihteiden testauksen parantaminen. Sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmästä luotiin tarkka 3D-malli yrityksen käyttöön.

Opinnäytetyö tehtiin, kun toimeksiantajalla oli ilmennyt tarve kehittää uusi sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmä, koska nykyinen käytössä oleva testausjärjestelmä on elinkaarensa päässä. Uudella järjestelmällä pyritään lisäämään huoltovarmuutta ja tehostamaan vaihteiden testausta sekä parantaa työturvallisuutta ja työergonomiaa. Tämä opinnäytetyö rajattiin uuden järjestelmän vaihteiden kiinnitysjärjestelmän kehittämiseen.

Tässä opinnäytetyössä avataan uuden testausjärjestelmän kehitystyötä. Kehitystyön lähtökohtien hahmottamisen helpottamiseksi taustatutkimus on suoritettu nykyisen testausjärjestelmän parissa. Uuden järjestelmän suunnittelutyön hahmottamiseksi opinnäytetyön tekstiä on täydennetty kuvilla uuden järjestelmän 3D-malleista.

2 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön tekeminen alkoi tutkimustyöllä nykyisen sarjatuotantovaihteiden testauslaitteiston parissa. Tutkimustyön aikana havaittiin useita ongelmia ja kehityskohteita, joita avataan tarkemmin luvussa 3.2.3. Havaitut ongelmat nostivat esiin kaksi tärkeää tutkimuskysymystä.

1. Miten työturvallisuutta ja työergonomiaa voidaan parantaa.
2. Miten vaihteen kiinnitystä voidaan nopeuttaa,

Opinnäytetyön suunnittelu- ja kehitystyö pyrkii selvittämään ja kehittämään ratkaisut näihin tärkeimpiin tutkimuskysymyksiin. Tutkimustyön ensimmäisenä prioriteettina oli työturvallisuus ja ergonomia, vasta sen jälkeen keskityttiin vaihteen kiinnityksen nopeuttamisen kehittämiseen.

3 LÄHTÖ TIEDOT

3.1 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Opinnäytetyön tilaajana ja toimeksiantajana on toiminut suomalainen teollisuusalan yritys. Yrityksen pyynnöstä opinnäytetyö kirjoitettiin mainitsematta yrityksen nimeä. Opinnäytetyössä käytetään tässä raportissa termejä "toimeksiantaja", "yritys" ja "yhtiö".

Yritys tuottaa ja myy hammasrattaita sekä vaihteistoja maailmanlaajuisesti ja se on luotettava toimija markkinoilla pitkän ja laadukkaan historiansa vuoksi. Yrityksen tuotteita käytetään maailmalla esimerkiksi voimalaitoksissa, laivanmoottoreissa, paperikoneissa ja muissa teollisuuden laitoksissa.

Yhtiön sisäisen dokumentin mukaan yhtiön liikevaihto on noussut vuonna 2020 lähes 30 % ja yritys on tehnyt positiivista tulosta. Liikevaihdon merkittävä kasvu lyhyessä ajassa osoittaa, että yritys tunnetaan luotettavana kumppanina Suomessa sekä maailmalla. Opinnäytetyö on tehty sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmän kehittämistä varten, jotta yritys pystyy vastaamaan kasvaneeseen kysyntään ja toimittamaan laadukkaita tuotteita maailmalle, joista se tunnetaan.

3.2 Testauslaitteisto

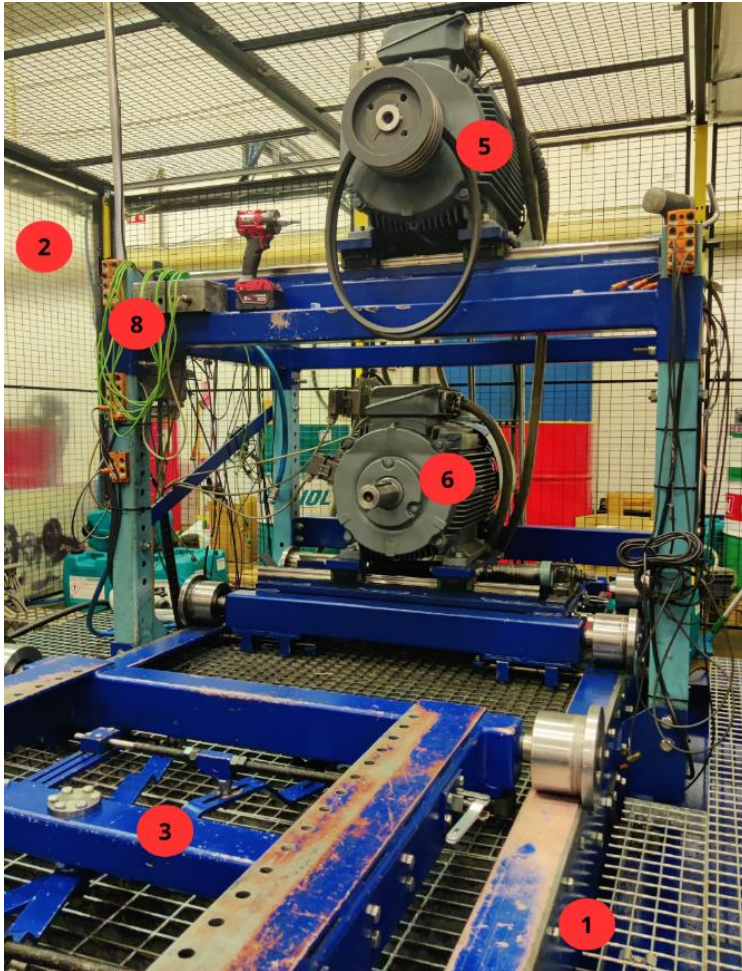
3.2.1 Rakenne

Sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmän rakenne koostuu seuraavista elementeistä:

1. alusta
2. suojaseinät
3. vaihdekelkka
4. vaihdepukki
5. 1. moottori
 - a. Liikkuu x-suunnassa
6. 2. moottori

- a. liikkuu x- ja y- suunnassa
- 7. ohjaustietokone
 - a. tietokone sijaitsee testauskuution ulkopuolella
- 8. anturit

Kuvat 1 ja 2 havainnollistavat eri elementit ja sen, miten ne sijoittuvat testauslaitteistossa.



KUVA 1. Keväällä 2024 käytössä oleva testausjärjestelmä. (Kuva: Topias Nikki)

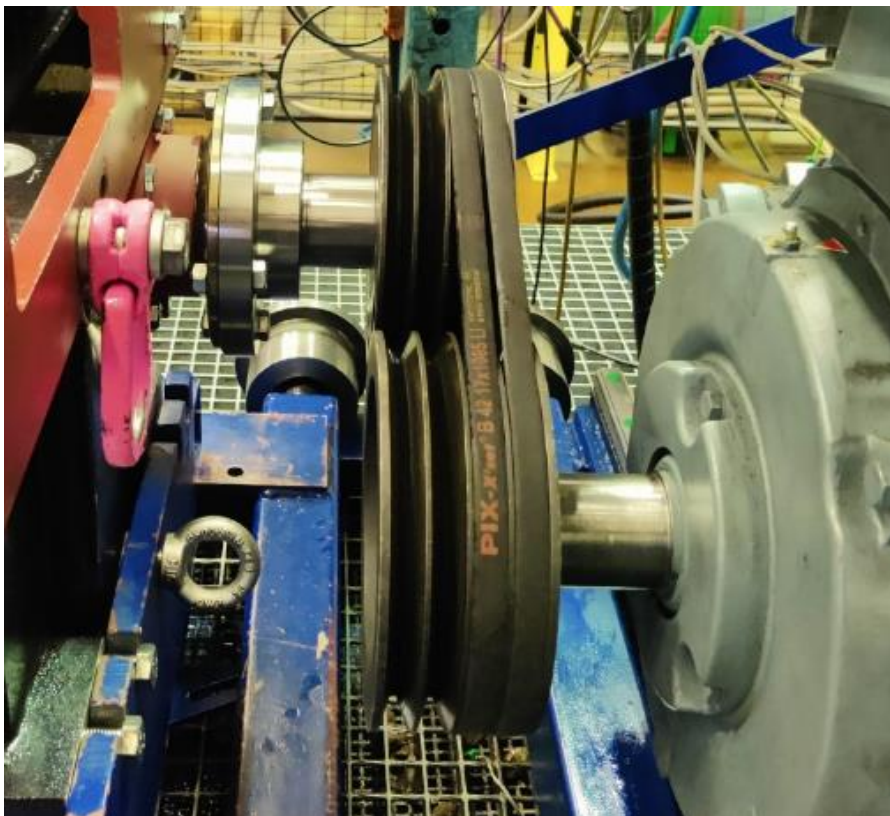


KUVA 2. Vaihdepukki, jonka päälle vaihde asennetaan. (Kuva: Topias Nikki)

3.2.2 Toimintaperiaate

Vaihteen testaaminen alkaa vaihteen asentamisella pukin päälle ja sen kiinnittämisellä ruuveilla. Hihnapyörät asennetaan vaihteen akselisiin ja lämpötila-anturit asennetaan laakeripesien kansiin. Sen jälkeen pukki ja vaihde yhdessä nostetaan nosturilla testauskuution sisälle. Noston loppuvaiheessa, kun vaihde on alustan päällä, lisätään vaihteeseen sen pohjassa olevan täyttöventtiilin kautta vaadittava määrä öljyä. Pukki lasketaan vaihdekelkalle ja kiinnitetään ruuveilla ja muttereilla.

Vaihdekelkkaa liikutetaan kiskoilla siten, että vaihteen ylemmän akselin hihnapyörä on suorassa linjassa 1. moottorin hihnapyörän kanssa ja kelkka lukitaan lukoilla paikalleen. Moottoria liikutetaan sivuttain x-suunnassa, jotta hihnapyörien väliin saadaan kiristettyä hihnat.



KUVA 3. 2. Moottorin ja vaihteen ala-akselin hihnakytkentä. (Kuva: Topias Nikki)

Toista moottoria liikuttamalla kiskoja pitkin y-suunnassa saadaan moottorin akselin ja vaihteen toisen akselin hihnapyörät suoraan linjaan (kuva 3). Toistetaan sama kiristys toimenpide kuin 1. moottorilla. Näiden toimenpiteiden jälkeen kiinnitetään testattavan vaihteen lämpötila-anturit ohjausjärjestelmän anturi yksikköön ja paineilma letku kytketään vaihteeseen, mikäli vaihdetyyppi sen vaatii.

Testauskuution sulkemisen jälkeen nollataan oven turvakytkin, joka valvoo, ettei testauskuutioon mennä testauksen aikana. Ohjaustietokone suorittaa valitun ennalta ohjelmoidun testausohjelman. Ensimmäinen moottori pyörittää vaihdetta, jotta vaihteeseen saadaan kuormitusta jarruttaa toinen moottori ensimmäistä moottoria vastaan. Tällä simuloidaan vaihteen voimanulostuloakselin hyötykuorman aiheuttamaa vastusta.

Testausohjelma kestää noin 60 minuuttia. Jos lämpötila-anturien data poikkeaa sallituista ohjearvoista, tietokone keskeyttää ohjelman. Vaihteen purkaminen tapahtuu edellisen kuvauksen mukaan käänteisessä järjestyksessä.

3.2.3 Ongelmat

Vaihteiden testausjärjestelmässä on joitakin ongelmia, joita avaan tässä luvussa. Vaihteiden kiinnittämisessä testausjärjestelmään esiintyy työturvallisuusriskejä. Yksi merkittävimmistä riskeistä liittyy vaihteistojen öljyn lisäämiseen. Öljyn lisääminen nosturissa roikkuvaan vaihteeseen on vaarallista ja altistaa vakavalle työtapaturman riskille.

Vaihdepukin kiinnittäminen vaihdekelkkaan on hidasta, johtuen kohdistuksen puutteesta sekä ruuvi- ja pulttikiinnityksen haasteista. Kohdistuksen puuttuminen aiheuttaa myös turvallisuusriskin, kun vaihdepukkia on ohjattava käsin kelkan ruuvien reikien kanssa kohdakkain. Sormien joutuminen pukin ja kelkan väliin on mahdollista ja voi aiheuttaa vakavia vammoja, sillä vaihteet voivat painaa jopa yli 500 kg.

Kiskoilla liikkuva vaihde resonoi, koska sen kiinnitys ei ole tukeva ja mahdollistaa värähtelyn. Kelkalla olevan vaihteen kohdistaminen on epätarkkaa portaittaisen lukitustavan takia sekä sen lukitusvivut jumittuvat usein. Moottoreiden ja vaihteiden erikokoiset hihnapyörät vääristävät sisään menevän ja ulos tulevan voiman suhdetta. Hihnapyörien kohtisuora veto akseliin nähden aiheuttaa myös vääntäviä voimia akseliin.

Pelkän lämpötilan mittaaminen tuottaa todella vähän dataa testattavasta vaihteesta. Mitattuja arvoja voidaan verrata vain toisiinsa, jolloin voi huomata, jos jokin testaus poikkeaa valtavirrasta. Uuteen järjestelmään lisätään erilaisia antureita, jolloin datan määrä ja laatu paranevat.

3.3 Ohjelmistot

3.3.1 Vertex Systems Oy

Opinnäytetyö on mekaniikkasuunnittelutyö, joka on tehty toimeksiannon antaneelle yritykselle. Suunnittelutyössä hyödynnetään yrityksen käytössä olevia

Vertex Systemsin ohjelmistoja. Vertex tiivistää omilla verkkosivuillaan, mikä on Vertex Systems on.

”Vertex Systems on suomalainen, maailmanlaajuisesti tunnettu ja arvostettu suunnittelun ja tiedonhallinnan ohjelmistoratkaisujen toimittaja teollisuudelle. Vertex -suunnitteluohjelmistot sujuvoittavat teollisesti valmistettävien tuotteiden suunnittelua ja valmistusta. Asiakkaitamme ovat metalliteollisuuden kone- ja laitevalmistajat, teolliset rakentajat, Skalusteiden valmistajat, laitostoimittajat, prosessiteollisuus sekä näitä palvelevat suunnittelutoimistot. Vertexin vahvuus on rakentunut oman tuotekehityksen huippuosaajien kykyyn yhdistää vankka eri toimialojen tuntemus sekä pitkäaikainen, tiivis yhteistyö asiakkaidemme kanssa.” (Vertex Systems. n.d.)

3.3.2 Vertex G4

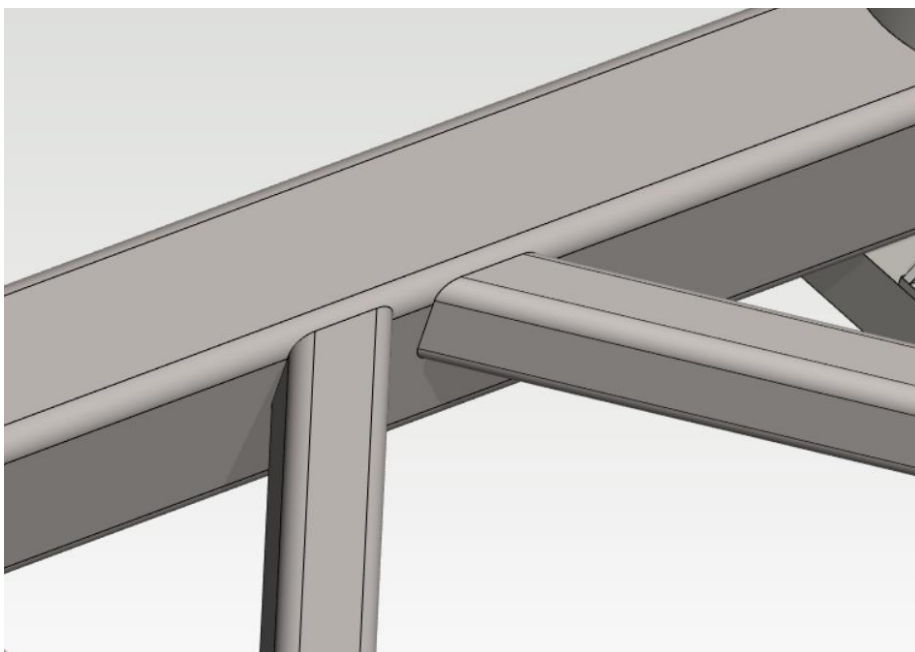
” Vertex G4 on suomalainen ammattitason CAD-ohjelma, joka on kehitetty 2D- ja 3D-mekaniikkasuunnittelua varten. Ohjelmisto tarjoaa helppokäyttöiset työkalut suunnittelutyöhön ja tiedonhallintaan.” (Vertex Systems. n.d.) Vertex tiivistää hyvin mistä G4 ohjelmassa on kyse.

G4:sen hyödyllisimmät ominaisuudet ovat

Profiilirakennesuunnittelu

Tällä työkalulla on erittäin helppoa ja nopeaa tehdä erilaisia runkoja. Sen käyttäminen edellyttää rungon piirtämisen ja mitoittamisen viivoilla, profiilin valitsemista ja sen sijoittamista viivalle, jonka jälkeen se automaattisesti mitoittaa sen pituuden mukaan.

Työkalusta löytyy myös trimmaustyökalu, jolla profiilirakenteet voi helposti muokata oikeaan muotoon varmistaakseen osien sopivuuden yhteen (Vertex Systems. n.d.).



KUVA 4. Vertex G4 profiilirakenne trimmaus työkalulla viimeistelty. (Kuva: Topias Nikki)

Kuvassa x nähdään hyvin trimmaustyökalun hyödyllisyys. Trimmaustyökalu muotoilee kuvassa 4 näkyvät ohuemmat putkipalkit oikeaan kulmaan isompaan putkipalkkiin nähden. Tämä säästää huomattavasti aikaa, kun käyttäjän ei tarvitse itse viimeistellä jokaista palkkia käsin.

Työkalusta löytyy useita rakenneprofileita, joita ovat

- alkeispoikkileikkaukset
- kuumavalssatut profiilit
- kylmämuovatut profiilit
- putkipalkit
- ohutseinäputket
- puutavara
- lisäksi joidenkin valmistajien omia profileja

(Vertex Systems. n.d.).

Levyrakennesuunnittelu

Tällä työkalulla voidaan suunnitella särmämällä taivutettuja levyosia, joissa auki levitys kuvassa huomioidaan taivutuspuunnan materiaalin venyminen. Työkalu pitää sisällään myös erilaisia kotelo- ja yhdeaihoita sekä erilaisia lävistystyökaluja. (Vertex Systems. n.d.)

Kirjastokomponentit

Vertex G4:stä löytyy monia kirjastoja eri standardikomponenteista. Komponentteja on kirjastoissa kymmeniätuhansia. Kirjastoon pystyy lisäämään myös itse komponentteja, joita löytyy miljoonittain eri nettisivustoilta. (Vertex Systems. n.d.)

Piirustukset

Piirustukset voidaan luoda joko kokonaan itse käyttämällä piirtotyökaluja tai tuomalla 3D-malli ja luomalla piirustus siitä. 3D-mallista voidaan tuottaa projektiot eri kulumista, joiden avulla kappale voidaan täysin mitoitaa. Piirustus voidaan myös esittää räjäytyskuvana, josta käy ilmi, mitä suljettu kokoonpano sisältää. (Vertex Systems. n.d.). Piirustuksen tarkoitus on tuoda osan tekijälle selkeä käsitys siitä, mitä hän on tekemässä. Piirustuksen ei tule jättää mitään tulkinnan varaan.

3.3.3 Vertex Flow

Toimeksiantajayritys hyödyntää kotimaista Vertex Systemsin Vertex Flow -järjestelmää tiedonhallinnassa. Suunnittelijat syöttävät järjestelmään tietoja, ja tehtaalla kokoonpanoa tekevä asentaja voi helposti hakea järjestelmästä työn alla olevan kokoonpanon tiedot. Järjestelmä vähentää virheiden määrää, sillä ajantasainen tieto on helposti saatavilla kaikille sitä tarvitseville.

”Vertex Flow on kotimainen tuotetiedonhallinnan ohjelmistoratkaisu valmistavalle teollisuudelle. Vertex Flow kerää yrityksen kaiken tuotetiedon yhteen paikkaan, jolloin tuotetieto on aina ajan tasalla ja niiden henkilöiden käytössä, jotka tietoa tarvitsevat.” Järjestelmä hallinnoi tuotteentietoja, kuten piirustuksia, 3D-malleja, osaluetteloita, raportteja ja käyttöohjeita. Sen selkeä käyttöliittymä mahdollistaa nopean ja helpon tiedonhaun, täydennyksen ja jakamisen eri laitteilla, kuten tietokoneella, puhelimella tai tabletilla. (Vertex Systems. n.d.)

Vertex Flow ja G4 toimivat saumattomasti yhteistyössä keskenään. Tiedon haku sekä vienti järjestelmien välillä on saumatonta. G4:ssä suunnitellaan osia ja tuotetaan tietoa, joka varastoidaan Flow-järjestelmään.

"Vertex Flow PLM-järjestelmän avulla yrityksesi täyttää ISO 9001:2015 dokumentaationhallinnan vaatimukset." (Vertex Systems. n.d.)

3.4 Koneturvallisuusstandardi

Koneturvallisuusstandardi SFS-EN-ISO 12100:2010 otettiin käyttöön toukokuun loppuun mennessä vuonna 2011. Sen on laatinut ISO:n tekninen komitea. Tämä standardi korvaa aiemmat standardit EN ISO 12100-1:2003, EN ISO 12100-2:2003 ja EN ISO 14121-1:2007. (SFS-EN ISO 12100. 2010, 3.)

Tämän kansainvälisen standardin ensisijaisena tarkoituksena on esittää suunnittelijoille yleiset puitteet sekä ohjeet päätöksentekoon koneita kehitettäessä, jotta nämä voivat suunnitella koneita, jotka ovat turvallisia niiden tarkoitettuun käytössä. (SFS-EN ISO 12100. 2010, 5.)

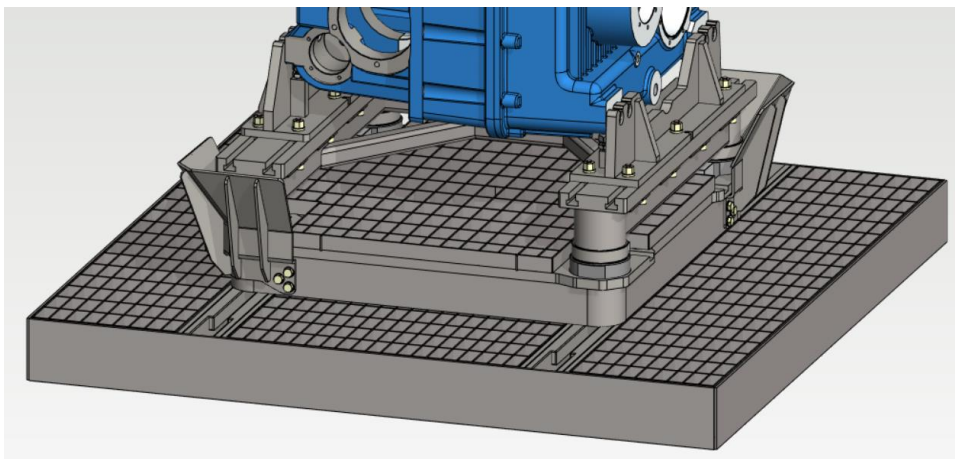
Koneturvallisuusstandardi antaa ohjeita siitä, miten suunnitellaan turvallisia koneita. Se auttaa suunnittelijoita tunnistamaan mahdolliset vaarat ja arvioimaan niiden riskit. Standardi perustuu tietoon ja kokemukseen koneiden suunnittelusta ja käytöstä sekä onnettomuuksista. Siinä kerrotaan, miten vaaroja tunnistetaan ja miten riskiä arvioidaan eri vaiheissa koneen elinkaarta varten. Lisäksi siinä neuvotaan, miten vaaroja voidaan poistaa tai riskiä pienentää. Standardi myös opastaa, miten asiakirjat laaditaan ja miten varmistetaan, että riskien arviointi ja niiden vähentämistoimet ovat tehokkaita. (SFS-EN ISO 12100. 2010, 6.)

Tämän standardin noudattaminen on ollut keskeistä opinnäytetyön suunnittelutyötä tehdessä. Standardin antamat suuntaviivat ovat helpottaneet suunnittelutyön päätösten tekemistä.

4 MODULAARINEN KIINNITYSJÄRJESTELMÄ

4.1 Kiinnitysjärjestelmän toiminta-ajatus

Järjestelmän (kuva 5) perustana toimii alusta, jolle voidaan asettaa joko pikakiinnitysalusta tai erikoisvaihte. Siirtopeti kiinnitetään pikakiinnitysalustaan nollapistekiinnittimillä, ja siihen liitetään vaiheadaptereita, joita on saatavilla 16 erilaista eri vaihteille. Tämä mahdollistaa siirtopedin nopean kytkemisen pikalukitusalus- taan. Jotta siirtopedin kytkentä olisi mahdollisimman nopeaa, järjestelmässä on valmistelupiste, jossa vaihte kiinnitetään siirtopetiin, ja siihen lisätään öljy ja tarvittavat anturit. Tällä tavoin vaihte on valmiina testattavaksi siirrettäessä se pika- kiinnitysalustalle.



KUVA 5. Modulaarisen kiinnitysjärjestelmä. (Kuva: Topias Nikki)

Järjestelmän mitat:

1400 mm x 1400 mm x 570 mm

4.2 Suunnittelua ohjaavat tiedot

Tässä kappaleessa keskitytään opinnäytetyön suunnitteluvaiheeseen, joka toteutettiin toimeksiantajalle keväällä 2024 tammi- huhtikuun aikana. Kappaleessa käydään läpi tehtyjä toimenpiteitä sekä niiden taustalla vaikuttavia syitä.

Tarkoituksena on tarjota mahdollisimman selkeä kuva suunnittelutyöstä ja sen taustalla vaikuttavista tekijöistä.

4.2.1 Toimeksianto

Toimeksianto tuli suomalaiselta teollisuuden yritykseltä ja oli osa isompaa sarjatuotettujen vaihteiden testausjärjestelmän uudelleensuunnittelua. Opinnäytetyö keskittyi vaihteen kiinnitysjärjestelmän suunnitteluun osana koko testausjärjestelmää.

Tehtävänä oli uudelleen suunnitella kiinnitysjärjestelmä siten, että vaihde voidaan kiinnittää testauslaitteeseen mahdollisimman helposti ja että vaihteen esivalmistelu voidaan tehdä testilaitteen ulkopuolella nopeuttaaksemme vaihteen kiinnitysprosessia. Tavoitteena oli luoda modulaarinen sarjatuotantovaihteiden kiinnitysjärjestelmä ja tehdä siitä 3D-malli, jonka ympärille voidaan jatkokehittää järjestelmän muita osia.

4.2.2 Järjestelmän vaatimukset

Opinnäytetyön alkaessa määriteltiin vaatimuksia, joita tulevalta kiinnitysjärjestelmältä vaaditaan. Toimeksiantajalla oli valmiina omia vaatimuksiaan, ja koeajossa tehdyn kenttätutkimuksen jälkeen vaatimuksia täydennettiin. Ideoinnin lopuksi muodostui seuraavanlainen vaatimuslista:

- vaihteiden paino enintään 1000 kg.
- testausmoottoreiden liitokset suorilla akseleilla/kardaaneilla. Ei hihnave-toisena.
- mahdollisimman paljon hyödynnetään valmiita komponentteja ja standardi osia.
- huolettavuuden parantaminen.
kahden perusvaihteen sarja-ajo mahdollistaminen. (poistettu vaatimuk-sista tammikuu 2024)
- järjestelmällä kyettävä testaamaan 16 erilaista sarjavaihdetta.
- erikoisvaihteiden testaus mahdollisuus.

- helppokäyttöisyys.
- paineilmaa saatavilla.
- tilaa käytettävissä 4,5 x 10 m.
- koeajolaitteen puhdistus/pesu oltava mahdollista.
- vaihteen esivalmistelu.
- työ ergonomian parantaminen.

Perusteellisten vaihteiden tutkimisen jälkeen kahden perusvaihteen sarja-ajomahdollisuus poistettiin vaatimuksista. Tämä johtui vaihteiden pyörimissuunnista, jotka estivät niiden järkevän asettelun peräkkäin. Tällaisen järjestelmän asentaminen olisi ollut erittäin työlästä ja hidasta, minkä vuoksi ajan säästäminen olisi jäänyt vähäiseksi.

Sarjavaihteiden mitat:

- Max leveys noin 1300 mm
 - Akseliväli 700 mm
- Max korkeus noin 1200 mm
 - Akseliväli 700 mm
- Max syvyys noin 1000 mm
- Kiinnityspisteiden Max leveys 820 mm

4.2.3 Riskienarviointi

Ennen suunnittelutyön aloittamista suoritettiin riskien arviointi niistä riskeistä, jotka liittyivät vaihteen kiinnitykseen. Arvioinnissa käytettiin työturvallisuuspakin riskienhallintatyökalua. (Työturvallisuuspakki. n.d.)

Vaihteenkiinnityksessä havaittiin neljä merkittävää työturvallisuus riskiä:

1. Raajan joutuminen vaihteen alle kiinnityksessä.
2. Vaihteen nostaminen.
3. Öljyn lisääminen noston aikana.
4. Öljyyn liukastuminen.

Esimerkki riskinarviointi

Kuvitellun riskin todennäköisyys on 2. mahdollinen ja seuraukset ovat 2. haitallisia. Taulukkoa 1. luetaan siten, että pystyakselilta haetaan tapahtuman todennäköisyys kohdasta 2. mahdollinen, ja sitten seurataan oikealle seurausten vakavuusakselia pitkin kohtaan 2. haitallinen. Tämän perusteella riskin luokitus on 3, eli kohtalainen riski.

Taulukko 1. Riskienarviointi taulukko

Tapahtuman todennäköisyys	Seurausten vakavuus		
	1. Vähäiset	2. Haitalliset	3. Vakavat
1. Epätodennäköinen	1. Merkityksetön riski	2. Vähäinen riski	3. Kohtalainen riski
2. Mahdollinen	2. Vähäinen riski	3. Kohtalainen riski	4. Merkittävä riski
3. Todennäköinen	3. Kohtalainen riski	4. Merkittävä riski	5. Sietämätön riski

Riskienhallinta työkalun tulokset

Riskienluokitus ennen riskienhallinta toimenpiteitä:

1. Raajan joutuminen vaihteen alle kiinnityksessä.
 - a. 3. Kohtalainen riski.
2. Vaihteen nostaminen.
 - a. 3. Kohtalainen riski.
3. Öljyn lisääminen noston aikana.
 - a. 4. Merkittävä riski.
4. Öljyyn liukastuminen.
 - a. 3. Kohtalainen riski.

Riskienhallinta toimenpiteet:

1. Raajan joutuminen vaihteen alle kiinnityksessä.
 - a. Kiinnityksen suunnittelu siten että se ohjaa itseään.
2. Vaihteen nostaminen.
 - a. Noudatetaan turvallisen noston periaatteita.
3. Öljyn lisääminen noston aikana.
 - a. Öljyn lisääminen maassa valmistelun aikana.
4. Öljyyn liukastuminen.

- a. Öljyn lisääminen maassa valmistelun aikana. Jämä öljyt jäävät valuma altaaseen.

Riskienluokitus riskienhallinta toimenpiteiden jälkeen:

1. Raajan joutuminen vaihteen alle kiinnityksessä.
 - a. 1. Merkityksetön riski
2. Vaihteen nostaminen.
 - a. 3. Kohtalainen riski.
3. Öljyn lisääminen noston aikana.
 - a. 1. Merkityksetön riski.
4. Öljyyn liukastuminen.
 - a. 1. Merkityksetön riski

Liitteestä 1. Voi tarkemmin tutustua riskienhallintatyökaluun ja tuloksiin.

Vaihteen kiinnitykseen liittyviä riskejä voidaan merkittävästi minimoida suunnitteluvaiheessa, ja tämä onkin suunnittelun keskeinen periaate. Uutta järjestelmää suunniteltaessa luonnollinen turvallinen suunnittelutoimenpide on tehokkain tapa riskien vähentämiseen (SFS-EN ISO 12100. 2010, 8). Esimerkiksi öljyn lisäämisen mahdollistaminen valmistelupisteellä alentaa huomattavasti vakavien työtaturmien riskiä.

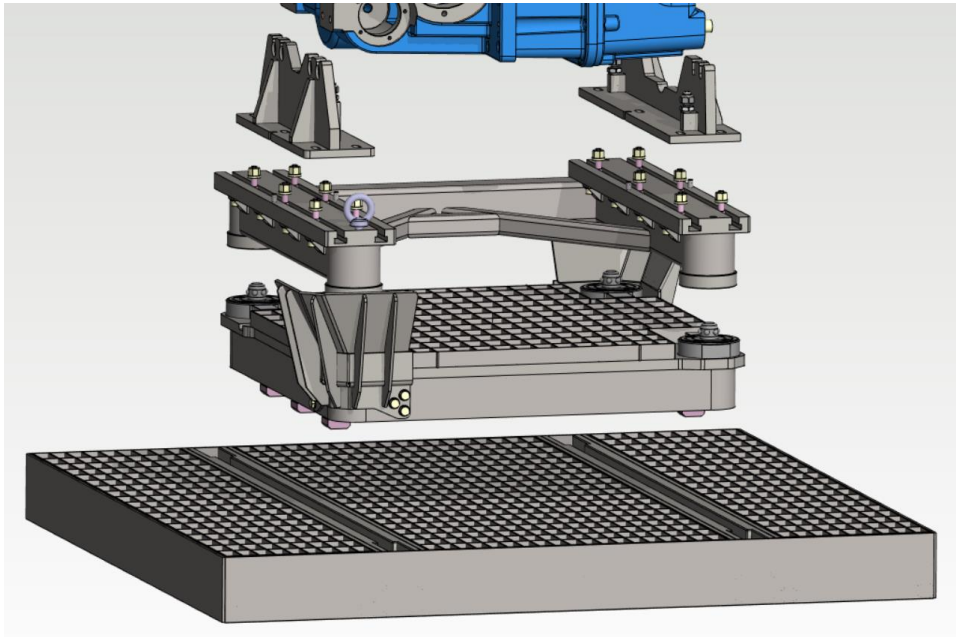
4.3 Rakenne

Tässä kappaleessa käsitellään sarjatuotantovaihteiden kiinnitysjärjestelmän rakennetta. Järjestelmä koostuu viidestä osasta. Alustan päälle rakennetaan modulaarinen kiinnitysjärjestelmä, joka mahdollistaa erilaisten sarjatuotantovaihteiden ja uusien vaihteiden testauksen mahdollisimman pienin muutoksin tulevaisuudessa.

Modulaarisen kiinnitysjärjestelmän rakenne (kuva 6) alhaalta ylöspäin:

1. Alusta
2. Lukkoalusta
3. Siirtopeti

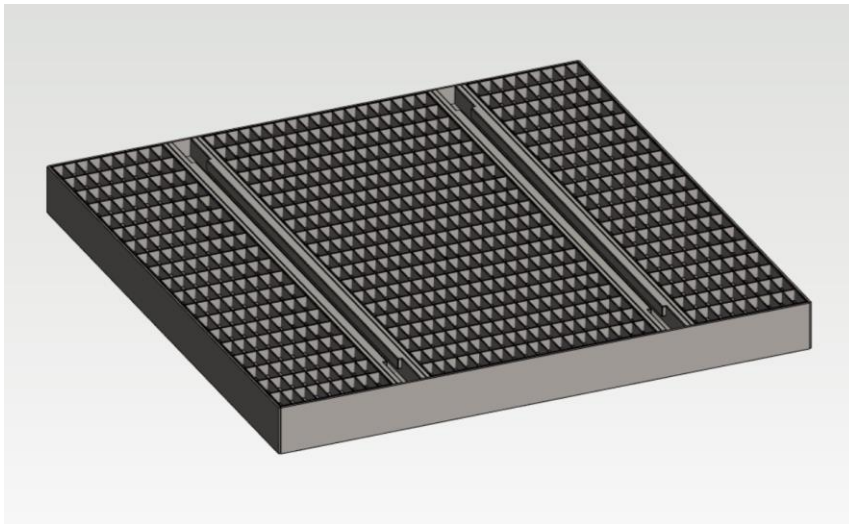
4. Vaihdeadapterit
5. Valmistelu piste



KUVA 6. Kiinnitysjärjestelmän rakenne. (Kuva: Topias Nikki)

4.3.1 Alusta

Alusta (kuva 7) muodostaa koko järjestelmän perustan, ja sen päälle rakennetaan koko modulaarinen kiinnitysjärjestelmä. Alustalle asetetut vaatimukset muodostavat kattavan lähestymistavan vaihteiston testausjärjestelmän suunnitteluun. Sen tulee mahdollistaa vaihteiden pikakiinnitysalustan ja erikoisvaihteiden kiinnitys, kerätä vaihteesta mahdollisesti vuotava öljy sekä sen pitää olla helposti puhdistettavissa. Alustan pitää myös kestää koko järjestelmän maksimi paino yli 1000 kg.



KUVA 7. Alustan kokoonpano. (Kuva: Topias Nikki)

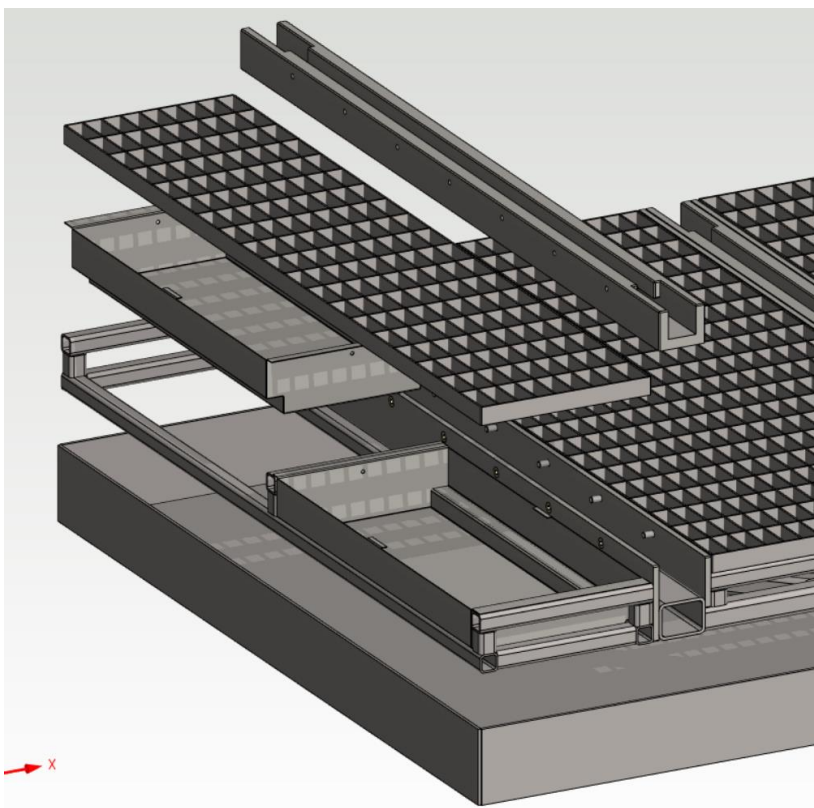
Alustan osat on listattu taulukossa 2 ja sen rakenne on seuraavanlainen. Alustan ydin on putkipalkkirunko (kuva 8) ja T-ura kiskot. T-ura kiskot ovat alustan suurinta painoa kannattelevat alueet. Kiskon alla on vahva putkipalkki ja kiskon ympärillä on tukevat 10 mm teräslevy seinät, jotka takaavat tukevan kiinnityksen kiskolle. Kiskojen välissä on tukipalkkeja, jotta alusta on riittävän jäykkä.

Alustassa on kaksi T-urakiskoa (kuva 8). Kiskoille asennetaan joko pikakiinnitys alusta tai erikoisvaihte. Kiskot on upotettu kävelytason tasalle vähentääkseen kompastumisvaaraa. Kiskot asennetaan runkoon ruuveilla. T-urakiskot on mitoitettu standardin DIN 650 mukaisesti kokoon M24 (Cfm-itbona. n.d.).

Kävelytasoksi on valittu ritilämatto (kuva 8), jotta öljy ja muut kuonat pääsevät valumaan sen alla oleviin irrotettaviin öljyaltaisiin. Öljyaltaiden irrotettavuus helpottaa niiden puhdistamista. Alustassa on yhteensä kahdeksan öljyallasta. Alustassa on useita pienempiä altaita yhden ison sijaan, jotta ne mahtuvat teollisuuspesukoneeseen.

Taulukko 2. Alustan rakenne.

Alustan rakenne (Kuva 8.)	
Osa	Materiaali
T-ura kisko	Teräs S355J2
Kävelytaso	Teräs
Öljyallas	Teräslevy DC01 AmO
Runko	Putkipalkki S355J2H RHS
Suojaseinät	Teräslevy S235JR



KUVA 8. Alustan Rakenne. (Kuva: Topias Nikki)

Öljyaltaan tilavuuden kaava:

$$A \cdot h = V$$

1

missä A on pohjan pinta-ala, h on altaan korkeus ja V on altaan tilavuus

Öljyaltaan tilavuuden laskeminen, kaava 1.

$$V_1 = ((0,3m \times 0,065m) + (0,03m \times 0,24m)) \times 0,65m \approx 0,0174m^3 = 17,4l$$

Alustan öljyaltaiden kokonaistilavuus:

Kaava:

$$n_1 \cdot V_1 = V_{kok} \quad 2$$

missä n_1 on öljyaltaiden lukumäärä, V_1 on öljyaltaan tilavuus ja V_{kok} on öljyaltaiden yhteistilavuus

Öljyaltaiden kokonaistilavuuden laskeminen, kaava 2.

$$4 \times 17,4l = 69,6l$$

Alustan ulkomitat:

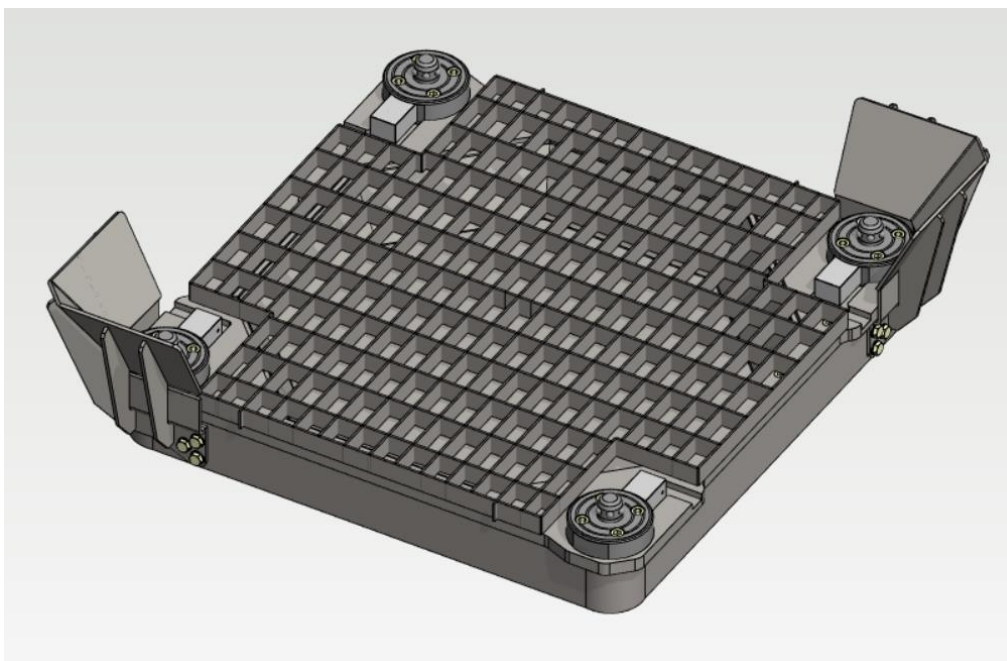
1400 mm x 1400 mm x 200 mm

4.3.2 Pikakiinnitysalusta

Pikakiinnitysalustan (kuva 9) tarkoitus on tehdä vaihteen vaihtaminen testausjärjestelmään mahdollisimman nopeaksi ja vaivattomaksi. Nopeamman testaustahdin avulla pyritään pienentämään seisokkiaikaa ja lisäämään testattavien vaihteiden määrää. Alustan tehtävänä on myös kerätä talteen mahdolliset pienet öljyvuodot, mikäli niitä ilmenee testauksen aikana. Taulukosta 3 selviää pikakiinnitysalustan rakenne ja osat.

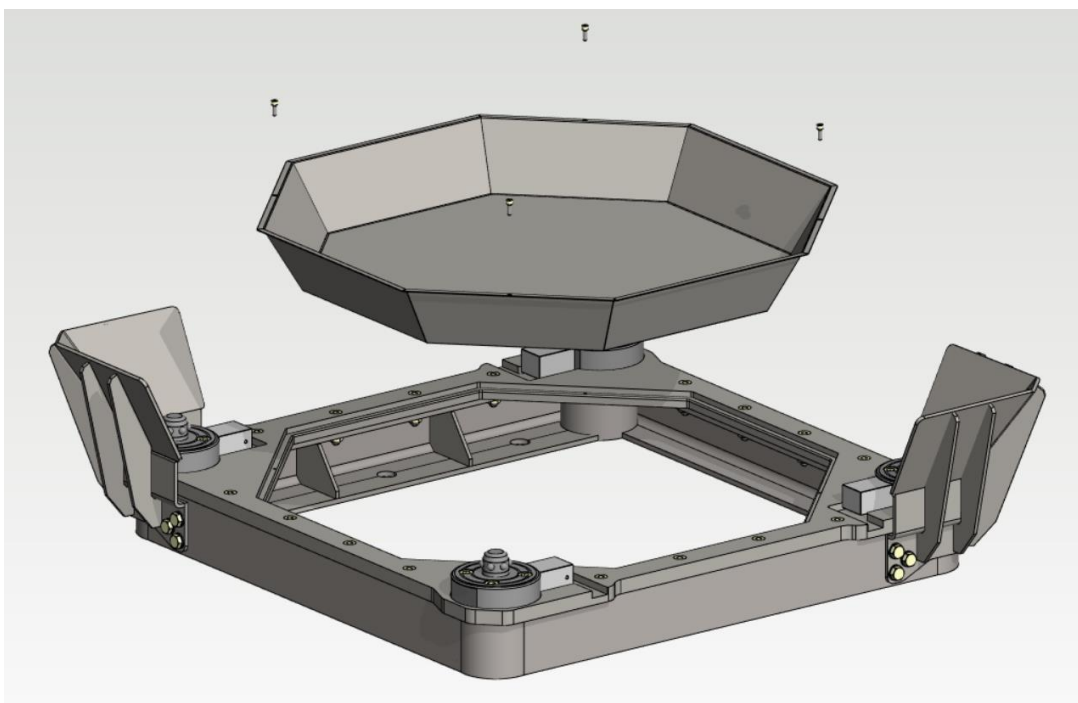
Taulukko 3. Pikakiinnitysalustan osat.

Pikakiinnitysalustan osat (Kuva 10.)	
Osa	Materiaali
Runko	Putkipalkki S355J2H RHS
Nollapistekiinnittimien kiinnityslevy	Teräslevy S235JR
Laajat ohjaimet	Teräs S355J2
Nollapistekiinnittimet	Teräs
Öljyallas	Teräslevy DC01 AmO



KUVA 9. Pikakiinnitysalustan kokoonpano. (Kuva: Topias Nikki)

Pikakiinnitysalustan ulkomitat ovat 900 mm x 900 mm x 265 mm. Öljyaltaan tilavuus on 32. 2 l. Tilavuus määritettiin Vertex G4 analyysityökalua hyödyntäen.



KUVA 10. Pikakiinnitysalustan rakenne. (Kuva: Topias Nikki)

Siirtopedin kiinnitys

Siirtopedin nopean kiinnittämisen mahdollistamiseksi pikakiinnitysalustan ristikäisiin kulmiin sijoitetaan ohjaimet (kuva 10), jotka ohjaavat siirtopedin nollapistekiinnittimille. Näin varmistetaan, että siirtopedin kiinnitys tapahtuu tarkasti ja nopeasti. Ohjaava alusta auttaa myös pitämään kädet turvallisesti poissa puristumisvaaralliselta alueelta.

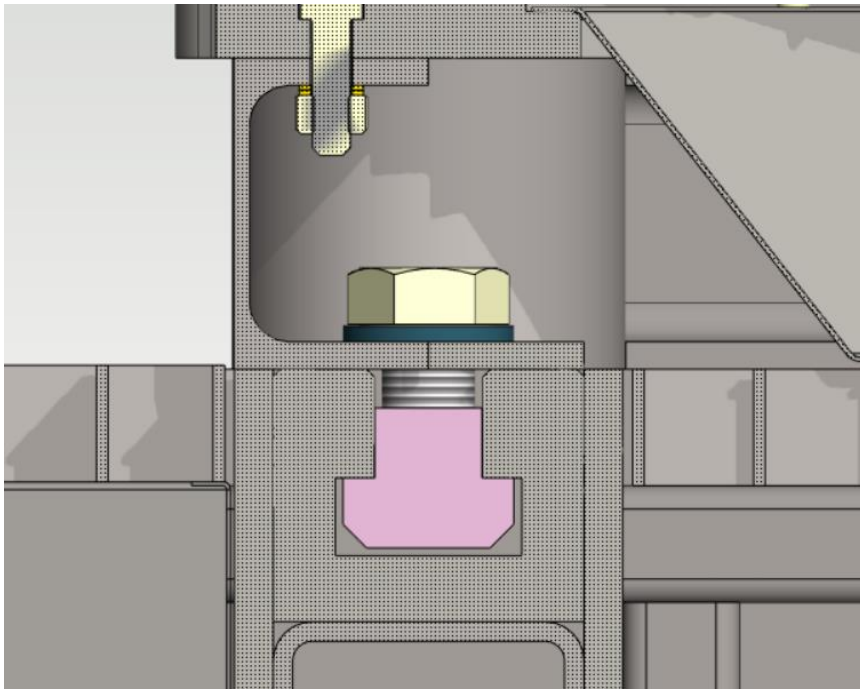
Siirtopedissä on vastakappaleet nollapistekiinnittimille. Näiden kiinnittimien avulla kiinnitysnopeus kasvaa, sillä niiden lukitusmekanismi toimii paineilman avulla. Vaihde voidaan käytännössä vain laskea niiden päälle ja lukita kiinnittimet painamalla nappia.

Nollapistekiinnittimet

Nollapistekiinnittimen lukitusvoima on 5 kN ja koko alustan yhteenlaskettu lukitusvoima on 20 kN. Kiinnittimen lukitus toimii paineilmalla. Nollapistekiinnitin lukittuu mekaanisesti ja se avataan paineilman voimalla. Tämä lisää kiinnittimen turvallisuutta sillä paineilma järjestelmän paineen romahtaminen ei aukaise lukkoja. Kiinnittimet kykenevät keskittämään siirtopedin jopa 0.01 mm:n tarkkuudella. (Erwin Halder KG. 2024.)

Pikakiinnitysalusta kiinnitetään pitkäaikaisesti alustaan, se irrotetaan vain, jos erikoisvaihteita tarvitsee testata. Pikakiinnitysalustan kiinnitykseen käytetään DIN 508 M24 T-ura muttereita (Kuva 11) ja M24 ruuveja (Erwin Halder KG. 2024.).

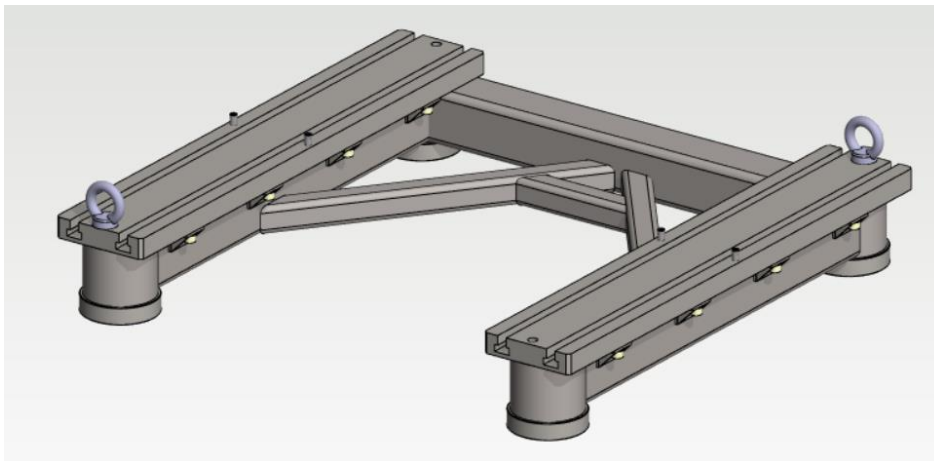
Kiinnityksessä käytetään kuutta ruuvia ja T-uramutteria, jotta se pysyy varmasti paikoillaan. T-ura kiinnitys antaa mahdollisuuden säätää pikakiinnitysalustan sijaintia alustalla ja siihen voidaan kiinnittää lähes mikä tahansa erikoisvaihde erilaisilla kiinnitystarvikkeilla mitä on saatavilla T-ura järjestelmiin.



KUVA 11. pikakiinnitysalustan kiinnitys alustaan T-ura mutterilla ja ruuvilla.
(Kuva: Topias Nikki)

4.3.3 Siirtopeti

Siirtopeti (kuva 12) on tämän modulaarisen kiinnitysjärjestelmän ydin, joka mahdollistaa rajattoman määrän erilaisia vaihdeadaptereita eri vaihteita varten. Siirtopedin päälle asennetaan valittu vaihdeadapteri ja vaihde. Siirtopedin rungon pohjassa jokaisessa kulmassa on nollapistekiinnittimen vastakappale, joka mahdollistaa nopean ja turvallisen kiinnityksen pikakiinnitysalustaan.

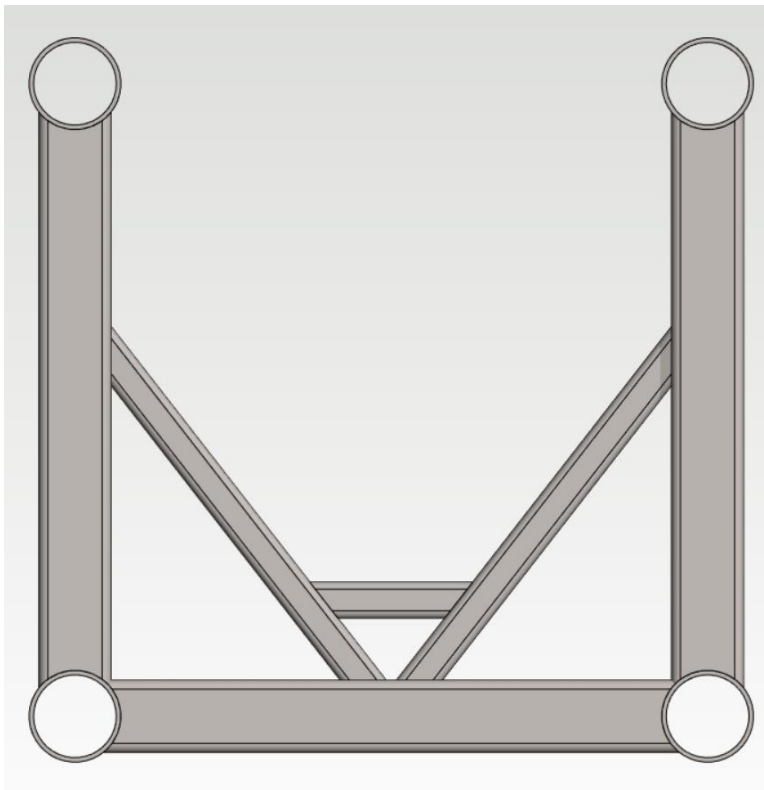


KUVA 12. Siirtopeti. (Kuva: Topias Nikki)

Putkipalkki runko

Siirtopedin rungon (kuva 13) kiinnityspisteet on mitoitettu symmetrisesti 700 mm etäisyydelle toisistaan. Tämä mahdollistaa pedin asettamisen pikakiinnitysalueelle neljään eriasentoon. Vapaus siirtopedin asettamisessa alustalle helpottaa vaiheadapterien suunnittelua. Kokonaisuudessaan siirtopedin ulkomitat ovat 840 mm x 800 mm x 140 mm.

Siirtopedin suunnittelussa mietittiin kahta erilaista muotoa rungolle, neliön mallista ja U-mallista (kuva 13). Runkoa lähdettiin suunnittelemaan neliön mallisena mutta se muutettiin U-malliseksi suunnittelutyön edetessä. Runko muutettiin U-malliseksi työturvallisuuden parantamisen takia. U runko mahdollistaa helpomman työskentelyn valmistelupisteellä, kun vaihteen pohjaan pääsee vaivatta käsi. Tämä mahdollistaa öljyn lisäämisen valmistelupisteellä, jolloin sitä ei tarvitse tehdä nosturissa roikkuvan vaihteen alla. U runko vaatii enemmän tukipalkkeja kuin neliö runko mutta ne saatiin suunniteltu siten että ne ole vaihteiden edessä. Rungon kulmissa käytetään pyöreätä putkipalkkia nollapistekiinnittimien vastakappaleen pyöreän muodon vuoksi. Runko kootaan hitsaamalla.

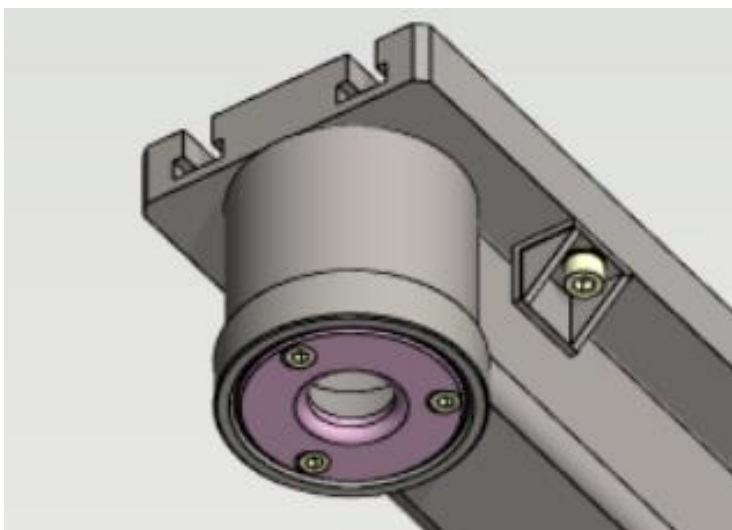


KUVA 13. Siirtopedin putkipalkkirunko. (Kuva: Topias Nikki)

Rungon materiaalit

Rungon materiaalina on käytetty RSH putkipalkkia. Putkipalkkeja on kahta eri kokoa, 80 mm x 80 mm x 5 mm ja 40 mm x 40 mm x 4 mm. Kylmävalssatun putkipalkin teräksen laatu on S355J2H. Rungon nurkissa olevat pyöreät CHS putkipalkit ovat kokoa 101,6 mm x 5 mm ja materiaali on samaa terästä kuin RST putkipalkeissa. (Cronvall. n.d.)

CHS putkipalkkien pohjaan hitsataan istukka mihin nollapistekiinnittimen vastakappale (kuva 14) kiinnitetään ruuveilla. Vastakappaleita on 4 kpl, jokaisessa kulmassa yksi.



KUVA 14. Nollapistekiinnittimen vastakappale. (Kuva: Topias Nikki)

T-ura levyt

Modulaarisen siirtopedistä tekee rungon päällä olevat T-ura levyt (kuva 12), T-urat on mitoitettu standardin DIN 650 mukaan kokoon M12 (Cfm-itbona. n.d.) Levyn kahdella T-uralla varmistetaan vaihdeadapterin riittävän vakaa kiinnitys. Levyn materiaalina käytetään S355J2 terästä.

T-ura levyn keskellä on kaksi M10 DIN 913 ruuvia (kuva 12) vaihdeadaptereiden keskitys tappeina. Niiden kanssa asentaja pystyy asentamaan adapterin nopeasti ja tarkasti oikealle paikalle.

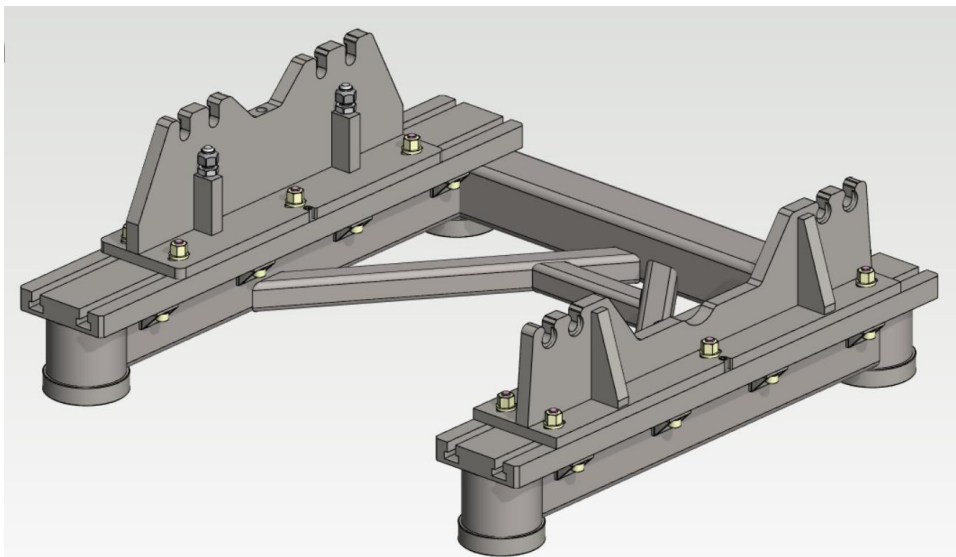
Levyjen molempiin pätyihin porattiin M16 reiät nostolenkkien (kuva 12) asentamista varten. Nostolenkkien ansiosta siirtopetiä on turvallista nostaa ja siirtää myös ilman vaihdetta.

T-ura levyt kiinnitetään putkipalkkirunkoon M10 koon ruuveilla. Ruuvien aluslaattoina käytetään Nord-lock aluslevyjä koska ne ei löysty juuri ollenkaan täri- nästä niin kuin tavallinen DIN 125 aluslevy (Nord-lock Group. n.d.).

4.3.4 Vaiheadapterit

Vaiheadapterit ovat tärkeä osa kiinnitysjärjestelmän modulaarisuutta. Erilaiset adapterit mahdollistavat lukuisien vaihteiden testaamisen samalla järjestelmällä. Opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä erilaisia vaihteita on 16 kpl. Tässä käytetään yhden vaihteen adapteria (kuva 15) esimerkkinä selkeyden vuoksi.

Vaiheadapterin ajatus on, että se on järjestelmän ainut muuttuva osa, kun vaihdetyyppi vaihtuu. Adapterilla vaihde kiinnitetään siirtopetiin M12 T-urapulteilla ja muttereilla kiritetään se tukevaksi. Siirtopeti, vaiheadapteri ja vaihde nostetaan yhdessä testausjärjestelmän sisälle pikakiinnitysalustaan.

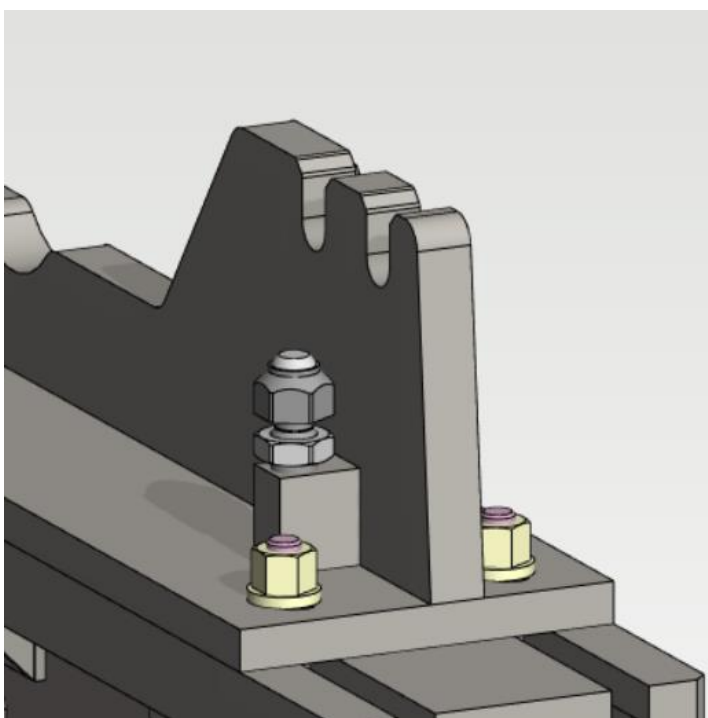


KUVA 15. Ylärunko ja vaiheadapterit. (Kuva: Topias Nikki)

Vaihteen tuenta

Nykyisessä kiinnitysjärjestelmässä esimerkkinä toimivan vaihdetyypin ongelmana on ollut kiinnityksessä se, että vaihteen järjestelmään sovittamisen hetkellä vaihteen paino on ollut ruuvien varassa. Kun ruuveja on kiristetty, on vaihteen kuoresta hajonnut kierteitä. Tämä ongelma ratkaistiin lisäämällä adapteriin säädettävät kannatintapit (kuva 16), jotka ottavat kuorman vastaan ja ruuvit saadaan kiristettyä ilma häiritseviä vastavoimia.

Yksi kannatintappi kantaa 25 kN, adapterissa on 4 kannatintappia, joten kannattavuus on yhteensä 100kN. Se siittää helposti kannattelemaan tätä n. 500 kg painavaa vaihdetyyppiä. (Erwin Halder KG. 2024.)

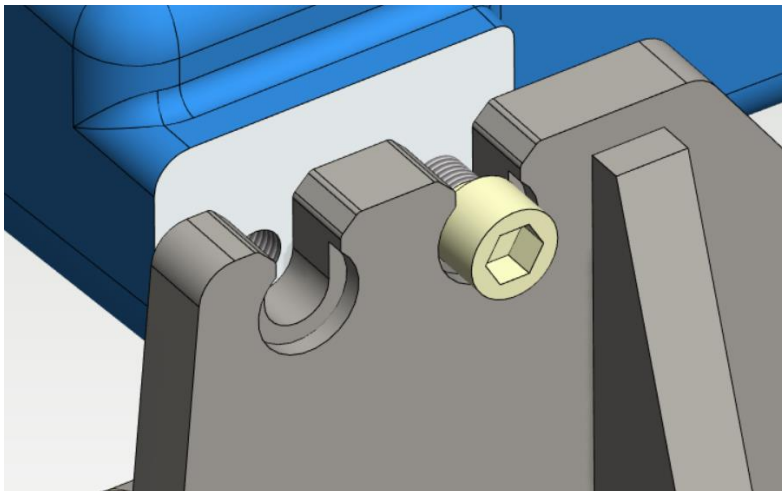


KUVA 16. Vaihteen tuki ja korkeuden säätö. (Kuva: Topias Nikki)

Vaihteen asennus

Vaihte lasketaan ylhäältä alas adapterin päälle. Asentamisen helpottamiseksi kiristys ruuvien reikien yläpinnat on avattu ja viistetty jotta pultit voi olla vaihteessa kiinni, kun se lasketaan adapterin päälle. näin pultit toimivat myös ohjaimina, että vaihte osuu kohdalleen. Ruuveille on tehty 5 mm syvennys adapterin pysty levyyn (kuva 17) ettei vaihte pysty irrota adapterista noston aikana vaikka joku

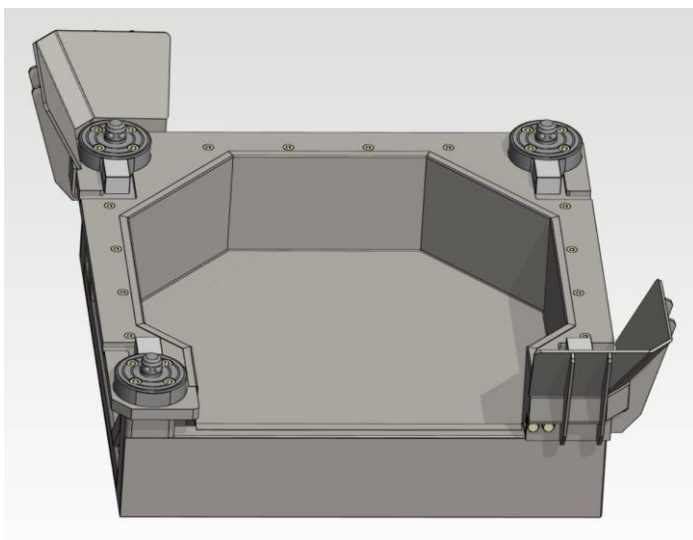
pultti jäisi vahingossa löysälle tai löystyy jostain syystä. Tämä suunnittelu ratkaisu parantaa nostojen turvallisuutta.



KUVA 17. Vaihteen kiinnitys adapteriin. (Kuva: Topias Nikki)

4.3.5 Valmistelupiste

Vaihteiden valmistelupiste (kuva 18) tuo etuja uuteen testausjärjestelmään. Se nopeuttaa vaihteiden testausta koska vaihde on jo valmisteltu valmistelupisteellä, jolloin vaihteen kytkemiseen testausjärjestelmään menee vähemmän aikaa. Ensimmäisenä prioriteettina valmistelupisteellä oli vaihteiston öljyn lisäämisen mahdollistaminen. Valmistelupisteellä myös kytketään vaihteeseen kaikki mahdolliset anturit.



KUVA 18. Valmistelupiste. (Kuva: Topias Nikki)

Vaihteen valmistelun työergonomiaa haluttiin myös parantaa. Nykyisessä järjestelmässä vaihte valmistellaan lattialla ja työasennot ovat usein todella huonoja. Työergonomian parantamiseksi suunniteltiin tukeva valmistelupiste ja kun sen sijoittaa nostopöydän (kuva 19) päälle voidaan työasentoja parantaa huomattavasti riippumatta vaihteen tyypistä ja koosta. Nostopöydästä löytyy työturvallisuuden kannalta välttämätön puristuksen esto suoja ja sen nosto kyky on 2000 kg mikä riittää nostamaan painavimmankin vaihteen kevyesti (Aj tuotteet. n.d.).

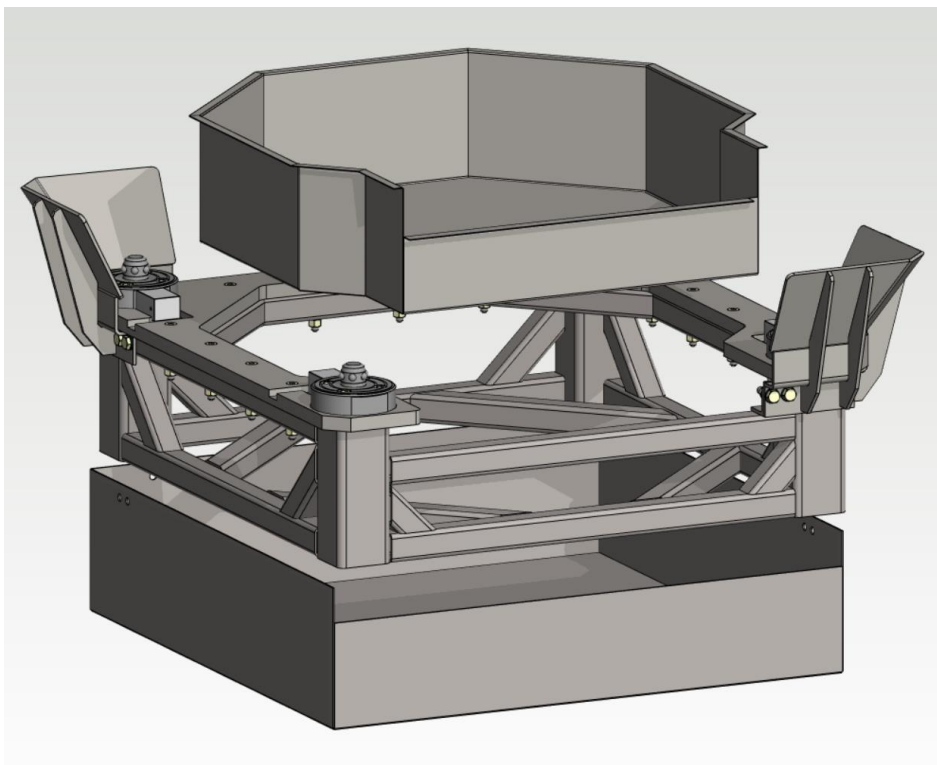


KUVA 19. Nostopöytä, jonka päälle valmistelupiste sijoitetaan. (Kuva: Aj tuotteet. n.d.)

Valmistelupisteelle suunniteltiin tukeva putkipalkkirunko ja nollapistekiinnittimet vaihteen kiinnitykseen, näin vaihdetta on turvallista käsitellä liikkuvan nostolavan päällä. Valmistelupisteeseen sijoitettiin myös irrotettava öljyallas. Öljynlisäyksessä vuotaa lähes aina hieman öljyä. Allas kerää vuotaneen öljyn ja sieltä se voidaan kerätä talteen. Allas voidaan irrottaa ja pestä tarvittaessa. Taulukossa 4 listattuna valmistelupisteen osat ja materiaalit.

Taulukko 4. Valmistelupisteen osat

Valmistelupisteen osat (kuva 20)	
Osa	Materiaali
Laajat ohjaimet	Teräs S355J2
Öljyallas	Teräslevy DC01 AmO
Nollapistekiinnitimet	Teräs
Nollapistekiinnitimen kiinnityslevy	Teräslevy S235JR
Runko	Putkipalkki S355J2H RHS
Suojaseinät	Teräslevy DC01 AmO



KUVA 20. Valmistelupisteen rakenne. (Kuva: Topias Nikki)

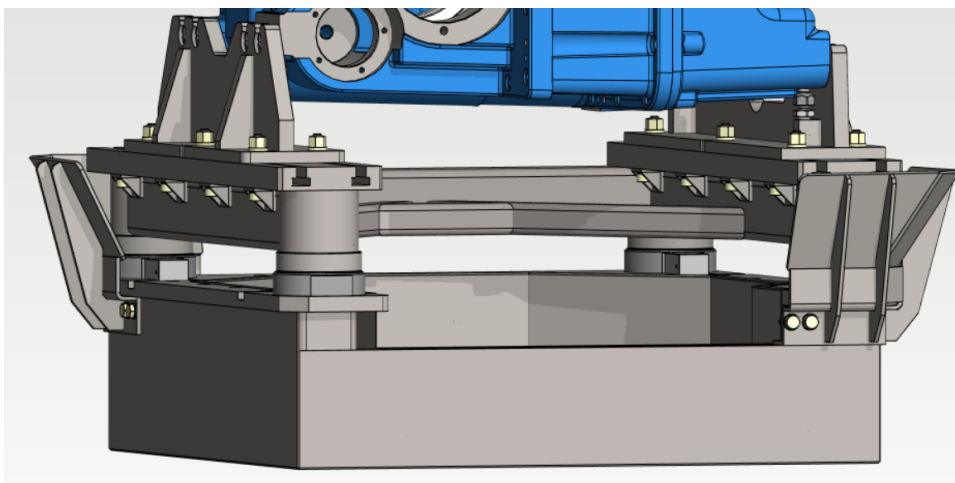
Öljyaltaan tilavuuden laskeminen, kaava 1.

$$V_2 = \left(\left((0,69m \times 0,685m) - ((185m)^2 + (0,07m)^2 + (0,12m \times 0,07m)) \right) \right) \times 0,11m$$

$$\approx 0,426m^3 = 46,8l$$

Valmistelupisteen ulkomitat ovat

990 mm x 990 mm x 390 mm.



KUVA 21. Vaihde asennettuna valmistelupisteeseen. (Kuva: Topias Nikki)

Kuvasta 21 näemme miltä siirtopeti, vaihdeadapteri ja vaihde kokonaisuus näyttää valmistelupisteen päällä. Valmistelupisteen etureunaa on madallettu helpottamaan pääsyä vaihteen alle ja se helpottaa myös öljynlisäämistä. Valmistelupisteen etureunan ja vaihteen pohjan välillä on yli 350 mm korkeus eroa.

5 Lujuustarkastelu

Sarjatuotantovaihteiden kiinnitysjärjestelmään syntyy kuormitusta, kun vaihde lepää siirtopedillä ja kun vaihdetta sekä siirtopetiä nostetaan testausjärjestelmän sisälle. Testauksen aikana moottorit tuottaa vaikutuksiltaan mitättömiä vääntövoimia, joten niitä ei tässä huomioida. Nostot toteutetaan vaihteesta nostamalla, joten vaihteen painoa ei tarvitse huomioida noston kestävyyksien laskemisessa.

5.1 Ruuviliitokset

Kiinnitysjärjestelmän turvallisuuden kannalta merkittävimmät ruviliitokset ovat Vaiheadapterin liitos vaihteeseen, vaiheadapterin liitos siirtopedin T-ura kiskoon ja T-ura kiskon kiinnitys siirtopedin runkoon.

Vaihde kiinnitetään vaiheadapteriin 8.8 M16 ruuveilla. Esimerkin adapterissa ruuveja on 8 kpl, näihin ruuveihin voi kohdistua leikkausjännitystä noston aikana vaiheadapterin ja siirtopedin massan takia. Vaiheadapterin kiinnitysruuvien koko määräytyy vaihteessa olevien kiinnityspisteiden kierrekoon mukaan.

Vaiheadapteri kiinnitetään T-ura kiskoon 10.9 M12 ruuveilla. Esimerkin adapterissa ruuveja on 12 kpl, näihin ruuveihin kohdistuu vetojännitystä siirtopedin painosta noston aikana.

T-ura kiskot (2 kpl) $m_T = 2 \cdot 9kg$ on kiinnitetty siirtopedin runkoon 8.8 M10 ruuveilla, ruuveja on yhteensä 16 kpl. Näihin kohdistuu noston aikana rungon painosta m_r vetojännitystä.

Kaavat

Siirtopedin massa lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$m_{sp} = m_r + m_T \quad 4$$

missä m_r on siirtopedin rungon massa, m_T on t-urakiskojen massa ja m_{sp} on siirtopedin kokonaismassa.

Siirtopedin ja vaihdeadapterin kokonaismassa lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$m_{SpVa} = m_{Sp} + m_{Va} \quad 5$$

missä m_{Va} on vaihdeadapterin massa ja m_{SpVa} on siirtopedin ja vaihdeadapterin yhteismassa.

Leikkaus-, veto-, puristusjännityksen ja poikki pinta-alan sekä painovoiman laskukaavoissa hyödynnettiin Tekniikan kaavakokoelmaa. (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öimistö. 2019, 18, 91,139, 140.)

Leikkausjännitys lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad 6$$

missä Q on leikkausvoima, A on leikkautuva poikki pinta-ala ja τ leikkausjännitys.

Veto ja puristusjännitys lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad 7$$

missä F on puristus- tai leikkausvoima, A on poikkipinta-ala ja σ on puristus- tai leikkausjännitys.

Poikkipinta-ala lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad 8$$

missä A on poikki pinta-ala ja r on ruuvin säde.

Painovoima lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$F_G = m \cdot g \quad 9$$

missä F_G on painovoima, m on kappaleen massa ja g on painovoiman kiihtyvyys.

Yhteen ruuviin kohdistuva voima lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$F_2 = \frac{F_1}{n_2} \quad 10$$

missä F_1 on ruuveihin kohdistuva voima, n_2 on ruuvien lukumäärä ja F_2 on yhteen ruuvien kohdistuva voima

Voimien laskeminen

siirtopedin kokonaismassa, kaava 4

$$20kg + 2 \cdot 9kg = 48kg$$

Siirtopedin ja vaihdeadapterin kokonaismassa, kaava 5

$$48kg + 42kg = 90kg$$

Siirtopedin rungon painovoima, kaava 9

$$F_G = 20kg \cdot 9.81m/s^2$$

$$F_{G1} = 196N$$

Siirtopedin kokonaispainovoima, kaava 9

$$F_G = 48kg \cdot 9.81m/s^2$$

$$F_{G2} = 471N$$

Siirtopedin ja vaihdeadapterin kokonaispainovoima, kaava 9

$$F_G = 90kg \cdot 9.81m/s^2$$

$$F_{G3} = 883N$$

Ruuvien poikkipinta-alojen laskeminen

Ruuvien kierrakenteen takia sen poikkipinta-ala ei ole tasainen. Sen takia poikkipinta-aloja laskiessa käytetään kylkihalkaisijaa mikä on ulko- ja sisähalkaisijan väli arvo. Käytettyjen ruuvien tiedot on koottu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Ruuvien tiedot (KPT Group. n.d.)

Halkaisija M	Ulkohalkai- sija	Kylkihalkai- sija	Sisähalkai- sija	Lujuus- luokka	Murtolujuus (MPa)
M10	10 mm	8,9 mm	8,00 mm	8,8	800
M12	12 mm	10,7 mm	9,8 mm	10,9	1000
M16	16 mm	14,6 mm	13,4 mm	8,8	800

Lasketaan esimerkki ruuvien ISO 4762 M10 poikkipinta-ala kaavalla 8. Kaikki ruuvien poikkipinta-alat on koottu taulukkoon 6.

$$A_{M10} = \pi \cdot 4,45mm^2 = 62,21mm^2$$

$$A_{M10} \approx 62mm^2$$

Taulukko 6. Ruuvien poikkipinta-alat.

Ruuvi	r	A
ISO 4762 M10	8	$A_{M10} \approx 62mm^2$
DIN 787 M12	12	$A_{M12} \approx 90mm^2$
ISO 4762 M16	8	$A_{M16} \approx 167mm^2$

Ruuvien Leikkaus- ja vetojännitys

Lasketaan esimerkki ruuvien ISO 4762 M10 leikkaus- ja vetojännitys. Kaikki ruuvien tulokset on koottu taulukkoon 7.

Yhteen ruuviin kohdistuva voima, kaava 10

$$\frac{196N}{8} = 24,5N$$

Leikkaus- ja vetojännitys, kaavat 6,7.

$$\frac{24,5N}{62mm^2} \approx 0,4MPa$$

Taulukko 7. Ruuvien leikkaus- ja vetojännitykset.

Ruuvi	n_2	F_1	F_2	σ, τ
ISO 4762 M10	8	196N	24,5N	0,4MPa
DIN 787 M12	12	471N	39,3N	0,44MPa
ISO 4762 M16	8	883N	110,4N	0,66MPa

Laskujen jälkeen on helppo todeta, että ruuviliitokset kestävät niihin kohdistuvat voimat. Ruuvien koko ja määrä vaikuttaa ylimitoitetulta, jos pelkkiä leikkaus- ja vetojännityksiä katsoo. Ruuvien kokoon ja lukumäärään vaikuttaa merkittävästi koko järjestelmän rakenne ja riittävän jäykkyyden saaminen. Järjestelmä ei saa päästä tilanteeseen, jossa ruuviliitosten vähäisyyden takia joku osa voisi nurjautaa.

5.2 Hitsausliitokset

Kiinnitysjärjestelmän tärkeimmät hitsausliitokset ovat siirtopedissä ja vaihdeadapterissa. Siirtopedin T-urakiskon kiinnityspulttien kiinnityskorvakkeet kannattelevat Siirtopedin runkoa nostoissa. Vaihdeadapterin kiinnityslevyn ja pohja-levyn liitos kannattelee koko siirtopetiä nostojen aikana. Molemmat liitokset hitsataan Pienahitsillä. Pienahitsin kestävyden määrittämiseksi on olemassa yksinkertaistettu menetelmä, joka esitetään SFS-EN 1993-1-8 standardissa (SFS-EN 1993-1-8. 2005, 47.)

Kaavat

Pienahitsin voidaan olettaa riittävän kestäväksi, kun se täyttää seuraavan ehdon.

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad 11$$

missä $F_{w,Ed}$ on hitsin pituusyksikköä kohdin vaikuttavan voiman mitoitusarvo ja $F_{w,Rd}$ on hitsin kestävyden mitoitusarvo pituusyksikköä kohden.

$F_{w,Ed}$ lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$F_{w,Ed} = \frac{F_h}{l} \quad 12$$

missä F_h on voima, joka vaikuttaa hitsausaumaan ja l on hitsausauman pituus.

$F_{w,Rd}$ lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_\omega \cdot Y_{M2}} \cdot a \quad 13$$

missä

f_u	materiaalin murtolujuuden nimellisarvo (MPa)
β_ω	pianahitsin korrelaatiokerroin
Y_{M2}	kestävyyden osavarmuuskerroin 1,25
a	a-mitta (mm)

Pianahitsin a-mitan mitoitukseen käytetään seuraavaan kaavaa.

$$a \geq \sqrt{t} - 0.5mm \quad 14$$

missä t on hitsattavan materiaalin vahvuus. Kuitenkin a-mitta on oltava $3mm \leq a \leq 15mm$. (SFS-EN 1993-1-8. 2005)

Vaihdeadapterin hitsausliitoksen laskeminen.

Esimerkin vaihdeadapterin materiaalina käytetään S235JR terästä, jonka pakkuus on 20 mm, myötölujuus on 235 MPa ja murtolujuus on 360–500 MPa (BE Group. 2020, 44).

Pianahitsin a-mitta lasketaan kaavalla 14.

$$a \geq \sqrt{20 \text{ mm}} - 0.5mm = 3.97$$

Valitaan a-mitaksi 4 mm.

Pianahitsin pituusyksikköä kohdin vaikuttavan voiman mitoitusarvo $F_{w,Rd}$ lasketaan kaavalla 12.

$$F_{w,Ed} = \frac{471 \text{ N}}{2 \cdot 400 \text{ mm} + 2 \cdot 500 \text{ mm}} = 0,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Pianahitsin kestävyuden mitoitusarvo $F_{w,Rd}$ pituusyksikköä kohden lasketaan kaavalla 13. Valitaan standardin mukaan korrelaatiokertoimeksi $\beta_\omega = 0,8$. (SFS-EN 1993-1-8. 2005, 47.)

$$F_{w,Rd} = \frac{360 \text{ N}/\sqrt{3}}{0,8 \cdot 1,25} \cdot 4 \text{ mm} = 831,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Pianahitsin riittävän kestävyuden vertailuun käytetään kaavaa 11.

$$0,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \leq 831,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Laskutoimitusten jälkeen ja kaavan 11 mukaisen vertailun tuloksena nähdään, että noston aikana rakenteen painosta johtuvat voimat on todella pieniä ja rakenne kestää sille aiheutuvan kuormituksen reilulla ylitykselläkin.

6 TULOKSET

Opinnäytetyön tuloksena syntyi modulaarinen kiinnitysjärjestelmä sarjatuotantovaihteille. Järjestelmä koostuu testauslaitteiston neliosaisesta kiinnitysjärjestelmästä sekä valmistelupisteestä, ja tarkempi kuvaus siitä löytyy kappaleesta 4.3. Uuden kiinnitysjärjestelmän ja testauspisteen avulla onnistuttiin täyttämään järjestelmän kehitykselle asetetut vaatimukset. Vaihteiden testaaminen on nyt tehokkaampaa, mikä pienentää testausjärjestelmän seisonta-aikaa. Lisäksi uusi järjestelmä merkittävästi parantaa työturvallisuutta ja vähentää vakavien työtapa-turmien riskiä.

Toimeksiantaja saa tästä työstä suunnitelman modulaariseen sarjatuotantovaihteiden kiinnitysjärjestelmään sekä tarkat 3D-mallit koko järjestelmästä. Näiden avulla toimeksiantaja voi jatkaa kokonaisen sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmän kehittämistä. Työtä voidaan myös hyödyntää testauslaitteiston rakentamiseen liittyvien tarjousten kilpailuttamisessa sekä budjettiesityksen laatimisessa järjestelmän rakentamiseksi.

7 POHDINTA

Yrityksen toimeksiannossa onnistuttiin kehittämään modulaarinen kiinnitysjärjestelmä sarjatuotantovaihteille. Suunnittelutyön valmistumiseen tarvittiin kattava tuntemus nykyisestä testauslaitteistosta sekä ymmärrys sen ongelmakohdista ja kehittämistarpeista.

Suunnittelutyö pohjautui vahvasti sekä teoriaan että käytäntöön. Teoreettinen osuus käsitti turvallisen suunnittelun periaatteiden tuntemuksen ja yleisen rakennesuunnittelun osaamisen. Kattavan teoreettisen viitekehyksen ansiosta suunnittelutyö sujui helpommin, ja tulokset muotoutuivat selkeämmin. Käytännön osuudessa tutkittiin vaihteiden testausjärjestelmää ja tehtiin konkreettista suunnittelutyötä. Yhdistämällä käytännön ja teorian saatiin kehitettyä toimiva ja vaatimuksia vastaava modulaarinen kiinnitysjärjestelmä sarjatuotantovaihteille, mikä mahdollistaa testausjärjestelmän seisonta-ajan minimoimisen.

Opinnäytetyö perustuu olemassa olevaan vaihteiden testausjärjestelmään. Uuden testausjärjestelmän, joka sisältää opinnäytetyössä suunnitellun modulaarisen kiinnitysjärjestelmän, on tarkoitus tehostaa sarjatuotantovaihteiden testausta nykyisen järjestelmän rinnalla ja tarjota päivitys mahdollisuuksia nykyiseen järjestelmään. Sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmän käyttöaste tulee kasvamaan tulevaisuudessa verrattuna nykyiseen järjestelmään. Käyttöasteen muuttuessa on tarpeen päivittää testausjärjestelmän käyttöohjeita vastaamaan uuden järjestelmän vaatimuksia.

Suunnittelutyössä onnistuttiin parantamaan työturvallisuutta kehittämällä valmistelupiste, jossa vaihteistoöljy lisätään. Sen ansiosta öljyä ei tarvitse lisätä noston aikana ja öljyyn liukastumisen riski pienenee, kun sitä ei pääse valumaan testauslaitteiston kävelytasolle. Valmistelupisteen ansiosta myös vaihteen vaihtoaika lyhenee koska vaihde voidaan valmistella lähes täysin valmiiksi, samaan aikaan kun toinen vaihde on koeajossa. Vaihteen kiinnittäminen nopeutui paineilmalla toimivien nollapistekiinnittimien ansiosta. Sähköohjatulla paineilmalla napista painamalla avataan lukot ja vaihde voidaan istuttaa kiinnittimien päälle sekä napista painalla kiinnittimet suljetaan. Jatkossa ei tarvitse toimia hitaiden ruuvi- ja mutteriliitosten kanssa huonossa työasennossa.

Opinnäytetyönä kehitettyä sarjatuotantovaihteiden kiinnitysjärjestelmän jatkokehityksessä siitä voidaan pyrkiä tekemään vielä kevyempi ja hieman yksinkertaisempi. Nämä kehityksen kohteen vähentäisivät valmistus- ja rahtikustannuksia. Kiinnitysjärjestelmä tulee myös tulevaisuudessa integroida osaksi kokonaista sarjatuotantovaihteiden testausjärjestelmää.

LÄHTEET

Aj-tuotteet. n.d. Nostopöytä HYPER. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024.

<https://www.ajtuotteet.fi/varasto-teollisuus/nostolaitteet/nostopoydat/nostopoydat-yksisaksiset/nostopoyta-17337-17339>

Cfm-itbona. 2006. T-SLOT ACCURACY TO DIN 650. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2024. <http://www.cfm-itbona.com/itbona/STOLLE/tslotaccuracy.htm>

Cronvall. n.d. PUTKIPALKKI S355J2H (CHS) 101.6X5MM 12000MM. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2024. https://www.cronvall.fi/epages/CronvallShop.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/CronvallShop/Products/1200102495&ViewAction=ViewProduct&SearchParams=%7B%22Ulkohalkaisija%22%3A%22101.6mm%22%2C%22Materiaali%22%3A%22Ter%C3%83%C2%A4s%22%2C%22Tyyppi%22%3A%22Py%C3%83%C2%B6r%C3%83%C2%B6putki%22%7D

Cronvall. n.d. PUTKIPALKKI S355J2H (RHS) 40X40X4MM 6000MM. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2024. https://www.cronvall.fi/epages/CronvallShop.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/CronvallShop/Products/1200331260&ViewAction=ViewProduct&SearchParams=%7B%22Materiaali%22%3A%22Ter%C3%83%C2%A4s%22%2C%22Tyyppi%22%3A%22Neli%C3%83%C2%B6putki%22%7D

Cronvall. n.d. PUTKIPALKKI S355J2H (RHS) 80X80X5MM 6000MM. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2024. https://www.cronvall.fi/epages/CronvallShop.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/CronvallShop/Products/1200332080&ViewAction=ViewProduct&SearchParams=%7B%22Materiaali%22%3A%22Ter%C3%83%C2%A4s%22%2C%22Tyyppi%22%3A%22Neli%C3%83%C2%B6putki%22%7D

Erwin Halder KG. 2024. Kiinnityselementit modulaariset, pneumaattiset EH 1990. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2024. <https://www.halder.com/fi/PM/Standardiosat/Nollapistekiinnitysjaerjestelmaet/Kiinnityselementit-Kiinnitysrenkaat/Kiinnityselementit-modulaariset-pneumaattiset>

Erwin Halder KG. 2024. Kuulavasteet säädettävä, itsepalautuva. Verkkosivu. Viitattu 7.4.2024. <https://www.halder.com/fi/PM/Standardiosat/Kone-ja-laitteosat/Kuulavasteet/Kuulavasteet-saeaedettaevae-itsepalautuva/22741.0124>

Erwin Halder KG. 2024. T-uramutterit DIN 508. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2024. <https://www.halder.com/fi/PM/Standardiosat/Kiinnityselementit/T-uramutterit/T-uramutterit-DIN-508/23010.0281>

Etra. 2021. Ruuvien tekniset ominaisuudet. Pdf-dokumentti. Viitattu 7.4.2024. https://www.etra.fi/media/mageworx/downloads/attachment/file/e/t/etra_ruuvien-tekniset-mitat_taulukot_2021_muokattu.pdf

KPT Group. n.d. Ruuvienhankinta. Verkkotiedosto. Viitattu 7.4.2024. <https://www.ruuvihankinta.fi/images/pdf/HRH010Nousut.pdf>

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öimistö, J. 2019. Tekniikan kaavasto. 20. uud. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Nord-lock Group. n.d. Nord-lock alkuperäiset aluslevyt. n.d. Verkkosivu. Viitattu 4.4.2024. <https://www.nord-lock.com/fi-fi/nord-lock/tuotteet/aluslevyt/>

SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 30.3.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/164706.html.stx>

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 10.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9359.html.stx>

Suomen standardit. n.d. Miltä standardi näyttää?. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>

Suomen standardit. n.d. Standardoinnin lyhenteitä ja termejä. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://sfs.fi/osallistu-ja-vaikuta/tietoa-standardointiin-osallistuvalla/standardoinnin-lyhenteita-ja-termeja/>

Työturvallisuuspakki. n.d. Riskienhallinta. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://xn--tyoturvallisuuspakki-r6b.fi/riskienhallinta/>

Valmistajat.fi. n.d. Din standardit. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. <https://valmistajat.fi/standardit/din-standardit>

Vertex Systems. n.d. Kirjastokomponentit. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024. <https://kbfi.vertex.fi/g4/kirjastokomponentit>

Vertex Systems. n.d. Levyrakennesuunnittelu. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024. <https://kbfi.vertex.fi/g4/levyrakennesuunnittelu>

Vertex Systems. n.d. Nopeuta mekaniikkasuunnittelua huipputason CAD-ohjelman avulla. Verkkosivu. Viitattu 15.3.2024. <https://vertex.fi/g4/>

Vertex Systems. n.d. Piirustukset. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024. <https://kbfi.vertex.fi/g4/vertex-g4-perustoiminnallisuus#VertexG4perustoiminnallisuus-Piirustukset>

Vertex Systems. n.d. Poista päällekkäinen ja turha työ. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://vertex.fi/flow/>

Vertex Systems. n.d. Profiilirakennesuunnittelu. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024. <https://kbfi.vertex.fi/g4/profiilirakennesuunnittelu>

Vertex Systems. n.d. Vaatimukset täyttävä tuotetiedonhallinta. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2024. <https://vertex.fi/flow/>

Vertex Systems. n.d. 46 vuoden kokemuksella – 18 000 käyttäjää 147 maassa. Verkkosivu. Viitattu 15.3.2024. <https://vertex.fi/yritys/>

LIITTEET

Liite 1. Riskienarviointi

		RTT Työturvallisuuspekki											
		Riskienarviointi		Opinnäytetyö									
				Vaihteen kiinnitys									
		Arvioinnin tekijä: Topias Nikki											
		Päivämäärä: 20.01.2024											
1. Nro	2. Vaaratekijä	3. Seuraus	4. Luettele tärkeimmät olemassa olevat riskinhallinta- ja torjuntakeinot	5. Riskin arviointi		6. Riski	7. Tarvittavat täydentävät toimenpiteet vaaralanteiden hallitsemiseksi ja torjumiseksi	8. Riskin arviointi		9. Jänneariisi (lupallinen)			
				Seurausten vakavuus 1-3	Todennäköisyys 1-3			Seurausten vakavuus 1-3	Todennäköisyys 1-3				
1	Raajan joutuminen vaihteen alle kiinnityksessä	Raaja vamma, mustelma, haava, murtuma. Työn keskeytyks.	riskienarviointi, kehitystyö	2	2	3	suunnitellaan kiinnitys siten että se ohjaa itseään.	1	1	1			
2	Vaihteen nostaminen ja siirto	Vaihteen tippuminen ja hajoaminen, alle jäädessä vakava vamma, Työn keskeytyks.	riskienarviointi, kehitystyö, turvallisen noston periaatteet	3	1	3	Noudatetaan turvallisen nostamisen periaatteita ja noston aikana ei mennä vaihteen alle	3	1	3			
3	Öljyn lisääminen ostion aikana	Pitää mennä nostion aikana vaihteen alle. Tippuessa vakava vamma tai jopa kuolema. Työn keskeytyks.	riskienarviointi, kehitystyö, Pyritään lisäämään öljyä niin ettei tarvitse laittaa käsi vaihteen alle	2	3	4	öljyn lisääminen valmistelun aikana	1	1	1			
4	liukastuminen öljyyn	kaatuminen, fyysinen vamma, työn keskeytyks.	riskienarviointi, kehitystyö	2	2	3	öljyn lisääminen valmistelun aikana, jämä öljy jää valuma altaaseen	1	1	1			