




Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)


Jatkoskotelon tiiveystesterin tuotekehitys

Markus Kitunen

Opinnäytetyö, helmikuu 2025

www.karelia.fi

	OPINNÄYTETYÖ Helmikuu 2025 Konetekniikan koulutus Tikkarinne 9 80200 JOENSUU +358 13 260 600 (vaihde)	
Tekijä(t) Markus Kitunen		
Nimeke Jatkoskotelon tiiveystesterin tuotekehitys Toimeksiantaja HANZA Mechanics Joensuu Oy		
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tavoitteen oli kehittää HANZA Mechanics Joensuun jatkoskoteloiden tiiveystestauslaite. Joensuun tehdas valmistaa ohutmetallirakenteisia valokuitukaapeleille tarkoitettuja jatkoskoteloita, joiden hitsaussaumojen tiiveyden tarkastamiseen käytetään tätä laitetta. Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa laitteen käyttötehokkuutta. Opinnäytetyön tietoperustassa tutkittiin VDI 2222-tuotekehitysprosesseja sekä erilaisia tiivistysmenetelmiä, joilla voitaisiin parantaa tiiveystestauslaitteen käytettävyyttä. Opinnäytetyön toteutusvaiheessa luotiin tuotekehitystyölle suunnitteluprosessi, joka perustui tietoperustassa tarkasteltuihin menetelmiin. Suunnittelutyötä ohjasivat prosessin lisäksi tiiveystestauslaitteelle asetetut vaatimukset ja tavoitteet. Työn aikana kehitettiin vaatimusten mukaisia ratkaisuvaihtoehtoja, jotka konkretisoitiin 3D-malleiksi. Opinnäytetyön tuloksena syntyi asetettujen vaatimusten mukainen tiiveystestauslaite, jonka suunnittelussa on otettu huomioon standardointi, valmistettavuus, käyttöturvallisuus sekä käyttöergonomia.		
Kieli suomi	Sivuja 50 Liitteet 0 Liitesivumäärä 0	
Asiasanat Tuotekehitys, VDI 2222, Tiivistys, Tiivistimet, Pneumatiikka		

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS February 2025 Education in Mechanical Engineering Tikkarinne 9 80200 JOENSUU FINLAND + 358 13 260 600 (switchboard)	
Author (s) Markus Kitunen		
Title Product development of the extension housing tightness tester Commissioned by HANZA Mechanics Joensuu Oy		
Abstract The aim of this thesis was to develop a leak tester for HANZA Mechanics Joensuu extension housings. The Joensuu factory manufactures extension boxes for fibre optic cables with a thin metal structure, and this device is used to check the tightness of the weld seams. The aim of the thesis was to improve the efficiency of the device. The knowledge base of the thesis investigated VDI 2222 product development processes and various sealing methods that could improve the usability of the leak tester. In the implementation phase of the thesis, a design process for the product development work was created based on the methods examined in the knowledge base. In addition to the process, the design work was guided by the requirements and objectives set for the leak tester. During this work, solution options were developed to meet the requirements and were then translated into 3D models. The result of the thesis was a leak tester that meets the requirements and whose design takes into account standardisation, manufacturability, operational safety and ergonomics.		
Language Finnish	Pages 50 Appendices 0 Pages of Appendices 0	
Keywords Product development, VDI 2222, Sealing, Seals, Pneumatics		

Sisältö

1	Johdanto	8
1.1	Opinnäytetyön aihe	8
1.2	Hanza Mechanics Oy	9
1.3	Toimeksianto	10
1.4	Rajaus ja tavoitteet	11
2	Tuotekehitys	11
2.1	Tuotekehityksen perusteet	12
2.2	Tuotekehitysmenetelmä VDI 2222	12
2.2.1	Tuotekehitysprojektin valinta ja tehtävän asettelu	15
2.2.2	Tehtävän määrittely ja luonnostelu	16
2.2.3	Kehittely	19
2.2.4	Viimeistely	22
3	Tiivistys mekaniikkaa	24
3.1	Tiivistämisen perusteita	24
3.2	Pneumaattiset tiivisteet	26
3.2.1	Staattiset tiivisteet	27
3.2.2	Dynaamiset tiivisteet	27
3.2.3	O-renkaat	28
3.2.4	U-renkaat	30
3.2.5	Laippatiivisteet	32
3.2.6	Komposiittitiivisteet	34
3.2.7	Erikoisemmat poikkileikkaukset	35
4	Työntoteutus	36
4.1	Lähtötilanne ja Tehtävän asettelu	36
4.1.1	Vaatimuslista	38
4.2	Luonnostelu	39
4.2.1	Ratkaisuvaihtoehdot	40
4.2.2	Ratkaisu vaihtoehtojen pohdintaa	41
4.2.3	Ratkaisu vaihtoehtojen päätös	41
4.3	Kehittelyvaihe	44
4.3.1	Rakenneteen suunnittelu	44
4.3.2	Puristukset ja kiinnitykset	45
4.3.3	Tiivistimet	46
4.3.4	Painetarkastelu	47
4.3.5	Hitsaus liitokset	49
4.4	Viimeistely	50
5	Tulokset	51
6	Yhteenveto	54
7	Lähteet	57

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön aihe

Jatkoskotelo toimii valokaapeliverkkojen yleisjatkoksena. Sen suunnittelussa on huomioitu suurempien kaapeleiden läpiviennit, ja kotelossa on 3–5 putkilo läpivientiä, jotka mahdollistavat eri kokoisten kaapeleiden käytön. Jatkoskotelot on valmistettu ohutmetallirakenteisina. Kuvassa 1 jatkoskotelo asennettuna tiiveystesteriin. Kotelo voidaan sijoittaa maahan tai kaapelikaivoon.

Maakaivoihin asennetut jatkoskotelot altistuvat merkittävälle rasitukselle.

Kaivoihin voi kerääntyä vettä, joka talvisin jäätyy ja aiheuttaa lisäkuormitusta kotelon rakenteille. Tämän vuoksi jatkoskotelon tiiveys on erityisen tärkeää, jotta vesi ei pääse sisään. Jatkoskoteloiden tiiviiden kannalta kriittisimmät osat ovat irrotettava kansi, jossa on kuitujen läpivientiä varten olevat putket, sekä kotelon hitsaus saumat. Näiden osien tiivyyttä testataan tiiveystesterillä, jotta varmistetaan, että jatkoskotelo on tiivis. Tiiveys suojaa kuituja korroosiolta ja varmistaa, että jatkoskotelo pysyy toimintakuntoisena vuosia. Valokaapeleiden käyttöikä voi olla kymmeniä vuosia, joten tiiveys on keskeinen ominaisuus.



Kuva 1. Tiiveystesteri, Jatkoskotelo (Hanza Mechanics 2024.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Jatkoskoteloiden tiiveystesterin toiminnan ja käytön kehityssuunnittelutyötä. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Hanza Mechanics Joensuu Oy. Työtä toteutettiin yrityksen ideoiden ja tarpeiden mukaan. Työ suunniteltiin vastaamaan sekä yrityksen että asiakkaiden tarpeisiin. Testerin kehityksessä pyritään huomioimaan siinä työskentelevän henkilön tarpeita, helpottaakseen ja nopeuttaakseen kotelon tiiveyden varmistamista. Viimeiseksi vertaillaan kehitystyön tuloksia sille asetettuihin tavoitteisiin.

1.2 Hanza Mechanics Oy

Hanza on vuonna 2008 perustettu kansainväliseen tietämykseen perustuva valmistusyritys, joka uudistaa ja tehostaa teollisuuden tuotantoa. Heillä on useita erilaisia valmistustekniikoita tarjoavia tuotantolaitoksia, jotka on koottu paikallisiksi klustereiksi, joita on ympärimailman. Niitä sijaitsee Ruotsissa viisi, Suomessa kolme, Saksassa kaksi, Baltiassa kaksi, Keski-Euroopassa kolme ja

Kiinassa yksi. Kuvassa 2 on ilmakuva Joensuun tehtaasta. Lisäksi he tarjoavat neuvontapalveluita, jotka mahdollistavat lyhyet toimitusajat, ympäristöystävällisemmät prosessit ja asiakkaidensa kannattavuuden parantamisen. Hanza tarjoaa tuotekehitystä ja valmistusta elektroniikasta ja mekatronikkaan - ideasta valmiiseen tuotteeseen. Yrityksen Aasian tukikohta tarjoaa valmiiksi elektroniikkaan, kaapelointiin ja kokoonpanoon. Hanza on laaja ja alansa johtava osaaminen koneistamisessa, metallilevyjen mekaniikassa, raskasmekaniikassa, elektroniikan valmistuksessa, johdinsarja tuotannossa ja kokoonpanopalveluissa. (Hanza Mechanics a 2024, 1–2.)



Kuva 2. Hanza Mechanics Joensuun tehdas (Hanza Mechanics 2024b, 2.)

Hanza Mechanics Joensuu perustettiin vuonna 1998 ja on nopeasti kasvanut merkittäväksi levymetallirakenteiden valmistajaksi Suomessa. Alusta alkaen yritys on sijoittanut moderniin teknologiaan ja laajentanut tuotantotiloja kasvun myötä. Tällä hetkellä yrityksellä on 7 000 neliometriä tuotantotilaa ja noin 120 työntekijää. Pääasiallinen toimiala on levymetallirakenteiden alihankintateollisuus. Asiakkaisiin lukeutuvat kansainväliset suuryritykset, kuten John Deere ja Sandvik Oy Ltd. Yhtiön liikevaihto vuonna 2023 oli 18,83 miljoonaa ja tilikauden tulos -163 tuhatta. (Hanza Mechanics Joensuu 2024b.)

1.3 Toimeksianto

Opinäytetyön toimeksiantona oli kehittää jatkoskoteloiden tiiveystesteriä nopeammaksi ja käyttövarmemmaksi. Alkuperäinen tiiveystesteri oli hidasta ja haastavaa käyttää, erityisesti kooltaan isojen jatkoskoteloiden kanssa. Näiden koteloiden asettaminen testeriin ja läpivientiputkien asentaminen tiivistyslevyyn saattoi olla hankalaa ja aikaa vievää. Uuden tiivistysmenetelmän tarkoituksena oli helpottaa jatkoskoteloiden asennusta testeriin ja varmistaa, että tiivistyskoteloiden läpiviennin ja tiivistyslevyn välillä onnistuu joka kerta luotettavasti. Kehitystyön päätteeksi toimeksiantaja teettäisi ulkoiselta toimittajalta uuden kehitetyn tiivistysmekanismi, joka otettaisiin käyttöön testerissä, mikä parantaisi koko prosessin tehokkuutta ja käyttöä.

1.4 Rajaus ja tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin suunnittelemaan uusi tiivistysmekanismi, joka parantaa jatkoskoteloiden läpivientiputkien ja tiiveystesterin välistä tiivistystä. Työn rajaus tehtiin siten, että opinnäytetyössä ei kehitetty tiiveystesterin yleistä käyttöturvallisuutta, josta keskusteltiin toimeksiantajan kanssa ensimmäisissä tapaamisissa. Tämä rajaus katsottiin tarpeelliseksi, jotta työ pysyisi järkevän kokoisena ja keskittyisi nimenomaan tiivistysmekanismin kehittämiseen. Opinnäytetyön päätavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa tiivistysmekanismi, joka vastaa käytettävyyden ja toimivuuden suhteen asetettuja vaatimuksia. Tavoitteena oli luoda ratkaisu, joka toimii luotettavasti ja joka voidaan ottaa käyttöön tuotantoprosessia.

Työn tuloksena toimeksiantajalle oli tarkoitus toimittaa tarvittavat 3D-mallit ja yksityiskohtaiset dokumentit tiivistysmekanismin valmistusta varten. Lisäksi uuden tiivistysmekanismin oli täytettävä standardien mukaiset vaatimukset käytettävyydeltään ja turvallisuudeltaan.

2 Tuotekehitys

2.1 Tuotekehityksen perusteet

Tuotekehitystoiminta vaatii niin laaja-alaista osaamista, että siihen kuuluvan yksittäisen projektin toteuttamiseen tarvitaan useiden alojen asiantuntijoista koostuva tiimi. Periaatteessa tuotekehitysprojekti ei poikkea luonteeltaan muista projekteista, joten sen suunnittelussa voidaan hyödyntää yleisiä projektin suunnittelun periaatteita. (Hietikko, 2015, 43.)

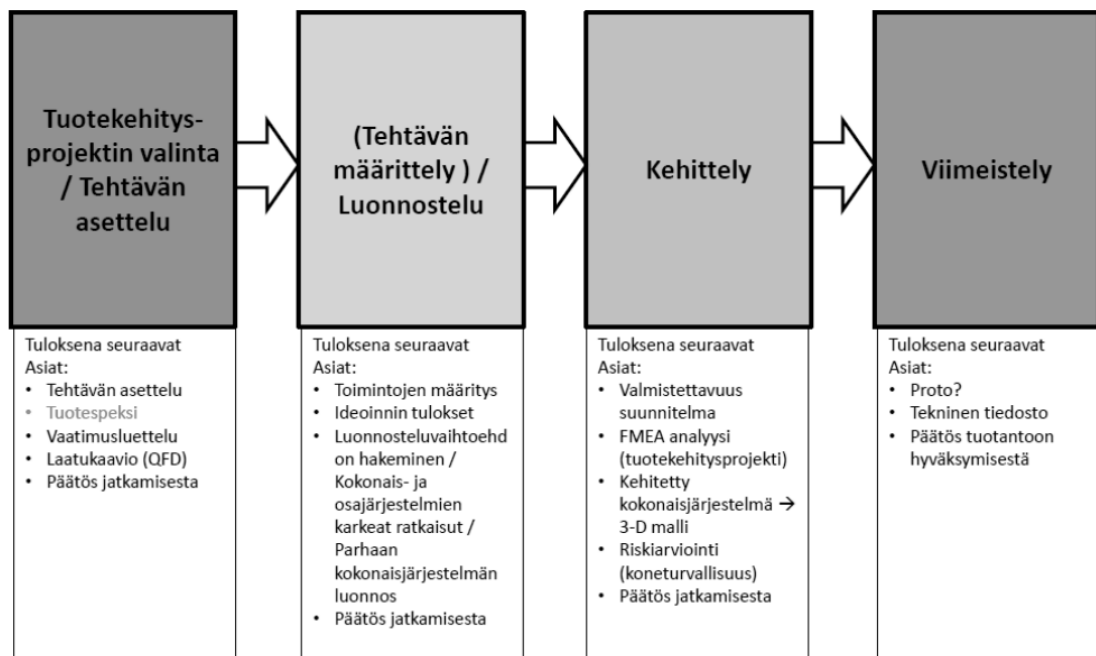
Tuotekehityksen päätavoite on luoda joko uusi tai parantaa olemassa olevaa tuotetta. Tämä prosessi on pitkä ja monivaiheinen, sillä se käsittää tuotteen kehittämisen kohteiden määrittelyn, tuoteidean luonnostelun, yksityiskohtien suunnittelun, piirustusten tekemisen, käyttöohjeiden laatimisen sekä tuotantomenetelmien kehittämisen. Tässä opinnäytetyössä päätavoite on parantaa olemassa olevaa tuotetta.

Tuotekehitysprosessia ei enää voida pitää erillisenä prosessina, vaan siihen kuuluvia toimintoja on integroitunut yrityksen muihin toimintoihin. Tämän vuoksi on parempi puhua innovaatioprosessista tai innovaatiotoiminnasta. Innovaatiotoiminta on jatkuvaa ja hajautettua jokapäiväistä toimintaa, johon tuotekehitysprojektit ovat osa. Tuotekehitysprojektit ovat selkeästi projektimaisia toteutuksia, joilla on tavoitteet, resurssit ja aikataulut. Näihin projekteihin kuuluvat vähintään tarvekuvaus, luovan työn vaihe ja detaljisuunnittelu. Prosessimalleja on useita, ja ne voidaan jakaa karkeasti peräkkäismalliin (vesiputousmalli) ja spiraalimalliin. (Hietikko, 2015, 43.)

Peräkkäismallissa vaiheet seuraavat toisiaan, ja seuraava vaihe ei voi alkaa ennen kuin edellinen on saatu päätökseen. Spiraalimallissa vaiheet kierretään ympyrämaisesti koko prosessin ajan, tarkentaen kohti lopullista ratkaisua. Viimeisimmissä malleissa on otettu käyttöön sosiaalisen median menetelmiä, jolloin prosessi etenee useiden osallistujien toimesta hallitsemattomammin kuin tavallisessa projektissa. (Hietikko, 2015, 43.)

2.2 Tuotekehitysmenetelmä VDI 2222

Tässä opinnäytetyössä käytetyssä menetelmässä noudatetaan taulukon 1) mukaista kaaviota. Käytetty menetelmä on VDI 2222 -menetelmä. Menetelmää käytetään hyvin paljon tuotekehitystoiminnassa. Itse päädyin valitsemaan juuri tämän menetelmän, koska mielestäni sitä noudattamalla saadaan parhaat tulokset ja koulutuksessani olemme käyttäneet kyseistä metodia.

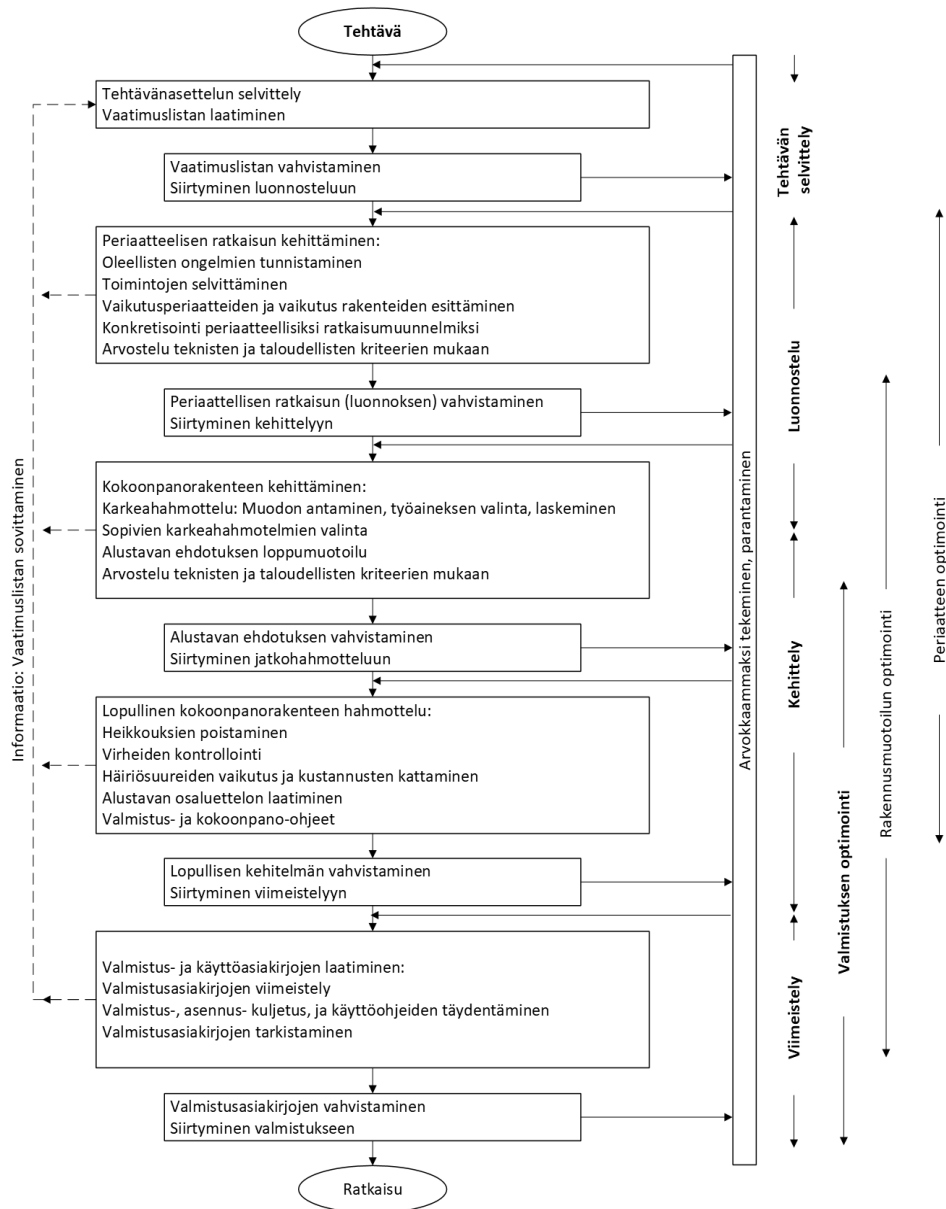


Taulukko 1. VDI 2222- menetelmäkuvaus (Mertanen, 2014.)

Vuonna 1973 julkaistiin ohje VDI 2222 Design engineering methodics Conceptioning of industrial insinöörien yhdistyksen toimikunta suunnittelumenetelmä. Tämän ryhmän puheenjohtajana toimi Fritz Kesselring. VDI 2222 perustui siis käytännön kokemuksiin ja tieteellisiin pohdintoihin, joita useiden professorien näkemyksiin. Heidän joukossaan olivat Beitz, Koller, Kollmann, Pahl, Rodenacker ja Roth. VDI 2222 oli tarkoitettu ohjeeksi teknisten tuotteiden kehittämiseen käytännössä sekä seuraaviin asioihin suunnittelukoulutuksissa. Tämän ohjeen tavoitteena on tarjota menettelytapa, jolla voidaan suunnitella ja kehittää. Ohje perustuu ongelmanratkaisuprosesseihin ja yksi ohjeen tavoitteena oli antaa suunnittelulle entistä tieteellisempi perusta. Lisäksi ohjeen keskeisenä ajatuksena oli, että

suunnittelun jakaminen eri vaiheisiin helpottaisi prosessin toteuttamista. (Jänsch, & Birkhofer, 2006. 3–4.)

VDI 2222 tyyliiseen suunnitteluprosessiin kuuluvat seuraavat vaiheet: 1) tuotekehitysprojektin valinta ja tehtävän asettelu 2) Tehtävän määrittely ja luonnostelu 3) Kehittely 4) Viimeistely jotka ovat kuvattu kuviossa 1.



Kuvio 1. Konstruoimisen työn kulku (Pahl, & Beitz, 1990, 51.)

Tuotekehitysprosessin aikana esiintyy usein ennakoimattomia tapahtumia, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi projektin etenemiseen. Tämän seurauksena lopputulos saattaa poiketa alkuperäisistä suunnitelmista. Tämän takia:

- On tärkeää kiinnittää erityistä huomiota odottamattomiin tilanteisiin, esimerkiksi kokeiden suorittamisen yhteydessä tai suunniteltaessa järjestelmiä käyttökokemusten raportointia varten.
- Tuotekehitysprosessin on oltava joustava, jotta tavoitteita voidaan muokata tarvittaessa, mikäli kohdataan odottamattomia haasteita tai tunnistetaan uusia mahdollisuuksia. (Jokinen, 2001. 18–19.)

Tehtävän asettelu keskittyy keräämään suunnittelutehtävän alkutiedot, asettamaan tavoitteet ja vaatimukset sekä selvittämään asiakastarpeet. Näiden tietojen pohjalta siirrytään luonnosteluvaiheeseen, ja tehtävän asettelun jälkeen tehdään päätös jatketaanko projektia vai palataanko alkuun.

2.2.2 Tehtävän määrittely ja luonnostelu

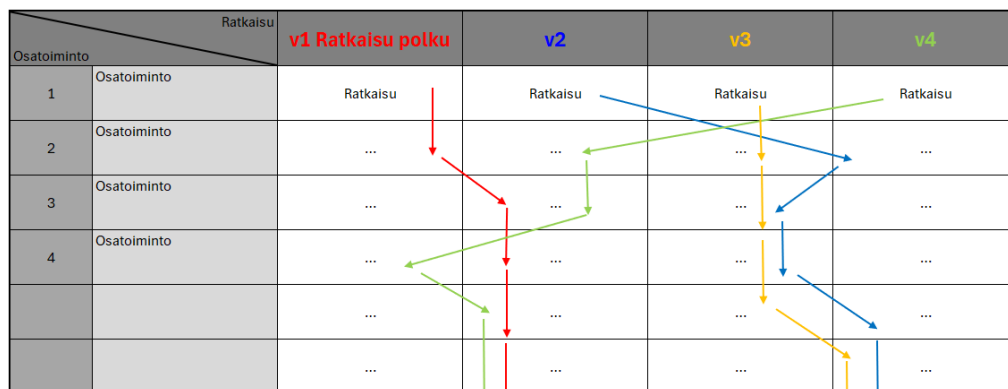
Tuotekehitysprosessissa tehtävän määrittelyä seuraa luonnosteluvaihe, jossa suunnitellaan toimintorakenne, abstrahoidaan eli yksinkertaistetaan ja muodostetaan yleiskäsitteitä sekä valitaan sopivat vaikutusperiaatteet. Näiden vaiheiden tuloksena syntyy periaatteellinen ratkaisu, eli projektin ensimmäinen luonnos. (Pahl, & Beitz, 1990. 71.)

Abstrahoinnin tarkoituksena ei ole keskittyä yksityiskohtiin tai väliaikaisiin ratkaisuihin, vaan painottaa yleispätevyyttä ja keskeisiä asioita. Sen sijaan, että tarkasti rajattuun ongelmaan haettaisiin täsmällistä ratkaisua, abstrahoinnin avulla pyritään tarkastelemaan ongelmaa laajemmasta näkökulmasta. Tehtävän ydinolemuksen syvä ymmärtäminen on olennaista, sillä vasta sen hahmottaminen paljastaa ongelman todellisen luonteen. (Pahl, & Beitz, 1990. 72–74.)

2.2.2.1 Valintavaihtoehtojen luominen ja valinta

Valintavaihtoehtojen etsimisen tavoitteena on löytää ratkaisuvaihtoehtoja tunnistettuihin osatoimintoihin. Prosessin tarkoituksena on kehittää useita mahdollisia ratkaisuideoita jokaiselle toiminnolle. Ideointivaiheessa syntyneistä ehdotuksista valitaan myöhemmin parhaimmat kokonaisuudet, joita jatkokehitetään eteenpäin. (Pahl & Beitz 1990, 99.)

Kokonaisuuden toteuttamiseksi ideoinnin tuloksena syntyneet vaikutusperiaatteet yhdistetään vaikutusrakenteeksi. Osa ideoinnissa esiin nousseista ratkaisuista voi olla sellaisenaan käyttökelpoisia ja yhteensopivia. Usein kuitenkin yhdelle osatoiminnolle on tarjolla useita vaihtoehtoja, joiden toimivuutta ja yhteensopivuutta voidaan arvioida erilaisilla yhdistelymenetelmillä. Optimaalisen ratkaisun löytämisessä voidaan hyödyntää esimerkiksi morfologista jäsentelykaaviota, kuten taulukossa 3 on esitetty. (Pahl & Beitz 1990, 129.)



Taulukko 3. Morfologinen jäsentelykaavio (Pahl & Beitz 1990, 130.)

Taulukossa jokaiselle osatoiminnolle valitaan siihen sopiva vaikutusperiaate toimintorakenteen määrittelemässä järjestyksessä. Tavoitteena on löytää toiminnallisesti yhteensopivia vaikutusperiaatteiden yhdistelmiä ”Ratkaisupolku”. Prosessin lopputuloksena tulisi muodostua useita vaikutusrakenteita, jotka ovat keskenään yhteensopivia ja mahdollistavat kokonaistoiminnon toteutuksen. (Pahl & Beitz 1990, 129.)

Valintavaihtoehtojen yhdistelyvaiheen tavoitteena on tuottaa mahdollisimman paljon erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Runsas vaihtoehtojen määrä voi kuitenkin tehdä taloudellisesti ja toiminnallisesti parhaan vaihtoehdon valinnasta haastavaa. Virheiden välttämiseksi valintaprosessissa voidaan hyödyntää esimerkiksi valintalista-menetelmää päätöksenteon tueksi. (Pahl & Beitz 1990, 133.)

Valintalista-menetelmässä ratkaisuvaihtoehtoja arvioidaan taulukon 4 mukaisten selkeiden kriteerien avulla. Ensimmäisessä vaiheessa kriteereillä A ja B suljetaan pois vaihtoehdot, jotka eivät selvästi täytä asetettuja vaatimuksia. Tämän jälkeen jäljelle jääviä vaihtoehtoja karsitaan edelleen kriteereillä C ja D, jolloin tarkastellaan ratkaisujen toteutettavuutta sekä niiden taloudellista kannattavuutta. Tarvittaessa taulukkoon voidaan lisätä muita tilanteeseen sopivia arviointikriteereitä. Jos päätöksenteko ei ole mahdollista riittämättömän tiedon vuoksi, on hankittava tarvittavat lisätiedot, ja arviointi suoritetaan tämän jälkeen uudelleen kyseisen ratkaisun osalta. (Pahl & Beitz 1990, 134.)

VALINTALISTA										
Ratkaisumuunnelman tunnus ja numero:	RATKAISUMUUNNELMA (RM)						Päätöksenteko			
	Arvostellaan valintakriteerien mukaan + Kyllä - Ei ? Informaation puute ! Vaatimuslistaa tarkistettava						Ratkaisumuunnelmat (RM) Merkitään: (+) Ratkaisuja kehitellään edelleen (-) Ratkaisu hylätään (?) Hankittava informaatiota (ratkaisu arvioitava uudelleen) (!) Harkittava vaatimuslistan muutosta			
	Yhteensopivuus taattu									Päätös
	Vaatimuslistan vaatimukset täytetty									
	Periaatteessa realisoitavissa									
	Kustannukset hyväksyttävissä									
	Välitön turvallisuustekniikka olemassa									
	Omalle yritykselle hyvin sopiva									
	Huomautuksia									
RM	A	B	C	D	E	F	G			
1	+	+	+	?				Mittauskohtien lukumäärä	?	
2	+	-						Massan sijoitus	-	
3	-							Radioaktiivisuus	-	
4	+	+	+	+		(+)		(Tähänastisten ratkaisujen jatkokehitemä)	+	
5	+	+	+	+					+	
6	-							Neste ei johtuvaa	-	
7	+	+	+	+					+	
8	+	+	+	+				Kts. RM 7.	+	
9									+	
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Taulukko 4. Esimerkki valintalistasta (mukaillen Pahl & Beitz 1990, 136.)

Valintalistassa ratkaisuvaihtoehtoja tarkastellaan yleisellä tasolla, mutta luotettavaa päätöstä ei voida tehdä ilman konkreettisempaa näkökulmaa. Arvioinnin tueksi voidaan hyödyntää esimerkiksi suuntaa antavia laskelmia, mallikokeita, simulointeja, markkinatutkimuksia tai luonnoskuvauksia. Näiden avulla kerätään riittävästi tietoa vaihtoehtojen ominaisuuksista, jotta niitä voidaan arvioida ja pisteyttää mitattavilla suureilla. (Pahl & Beitz 1990, 138.)

2.2.3 Kehittely

Kehittelyvaiheessa, jossa vahvistetaan ratkaisun rakennemuoto, keskitytään tuotteen kokoonpanorakenteen määrittelyyn ottaen huomioon sekä tekniset että taloudelliset näkökohdat. Prosessin aikana laaditaan usein useita vaihtoehtoisia ehdotuksia, jotta eri ratkaisujen vahvuudet ja heikkoudet voidaan arvioida. Teknis-taloudellisen analyysin jälkeen jokin vaihtoehto yleensä nousee esiin parhaana, mutta siinä voi silti olla osa-alueita, joita voidaan edelleen parantaa hyödyntämällä muiden ehdotusten ideoita. (Pahl, & Beitz, 1990. 49.)

Suunnitteluprosessin kehittelyvaiheessa aloitetaan 3D-mallinnus mittakaavaan piirrettyjen luonnoksien pohjalta, jossa otetaan huomioon kunnossapidon, valmistuksen ja asennuksen näkökulmat. Myös muotoilu otetaan mukaan suunnitteluun tässä vaiheessa projektia. (Mertanen, 2014.)

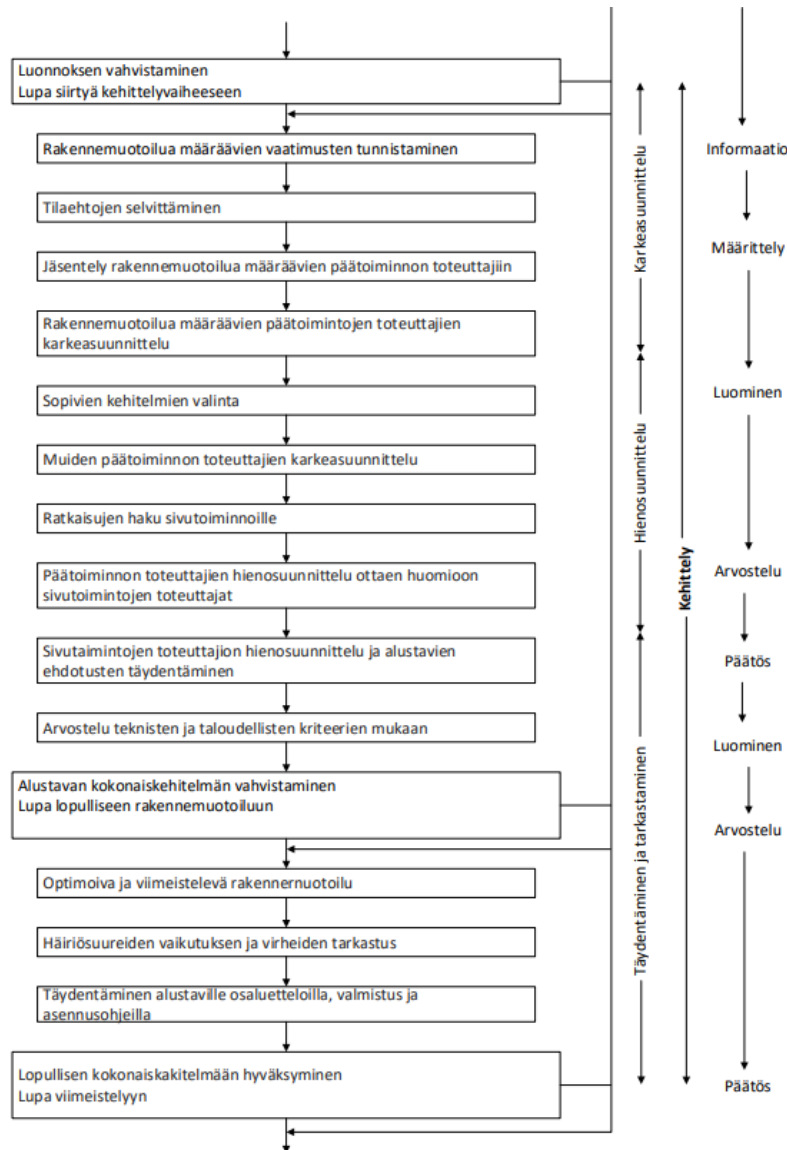
Arvostelussa esiin nousevat heikkoudet pyritään poistamaan ideoimalla uusia ratkaisuja, suunnittelemalla uudelleen ja mahdollisesti hyödyntämällä arvonalalyysiä. Tarvittaessa haetaan lisätietoa tutkimushankkeilla tai kehitetään mitoitussoppia. Parannettu konstruktio arvioidaan uudelleen, ja jos tulos on edelleen riittämätön, etsitään uusia ratkaisumahdollisuuksia tai valitaan toinen ratkaisuluonnos. Prosessi voi sisältää toistuvia silmukoita tarpeen mukaan. (Jokinen, 2001. 90.)

2.2.3.1 Kehittelyn työvaiheet

Usein on tarpeen tehdä useampia kehitelmiä tai osakehitelmiä ennen kuin saavutetaan tavoiteltu lopullinen kokoonpanorakenne. Lopullisessa päätösaskeleessa vahvistetaan kokonaiskehitemä ja muokataan sitä edelleen, jotta voidaan arvioida toiminto, kestävyys, valmistus- ja asennusmahdollisuudet, käyttöominaisuudet ja kustannukset. Vasta tämän jälkeen voidaan aloittaa työpiirustusten ja muiden valmistusasiakirjojen laatiminen. (Pahl, & Beitz, 1990. 176.)

Kehittelyvaiheessa on paljon korjaavia askeleita, jotka vuorottelevat analyyttisten ja synteettisten työtapojen kanssa. Tämän vuoksi ratkaisunhaun, valinnan ja arvioinnin menetelmien lisäksi tarvitaan vikojen tunnistamisen ja optimoinnin menetelmiä. Yksityiskohtainen tiedonhankinta työaineista, valmistusmenetelmistä, yksityiskohdista, toistuvista osista ja standardeista vaatii paljon työtä. (Pahl, & Beitz, 1990. 177.)

kehittelyvaiheen monimutkaisuuden vuoksi tiukkaa työnkulkukaaviota voidaan soveltaa vain rajoitetusti. Useiden toimien on tapahduttava rinnakkain, monet työvaiheet on toistettava lisätiedon saannin jälkeen, ja lisäykset ja muutokset vaikuttavat jo rakenteellisesti valmiisiin alueisiin. Työnkulku voidaan kuitenkin esittää periaatteellisen menettelykaavion muodossa, esimerkiksi kuviossa 2) jossa poikkeamisia ja sivuaskleita voidaan ajatella tehtävästä ja esillä olevista yksittäisistä kysymyksistä riippuen. Menettelyn yksityiskohtia on noudatettava ja sovellettava eri tavoin ongelmatilanteen mukaan. Periaatteessa on noudatettava menetelmää, jossa siirrytään asteittain laadullisesta määrälliseen, abstraktista konkreettiseen tai karkeahahmottelusta tarkkaan rakennemuotoiluun siihen liittyvine tarkistuksineen ja täydennyksineen. (Pahl, & Beitz, 1990. 177.)

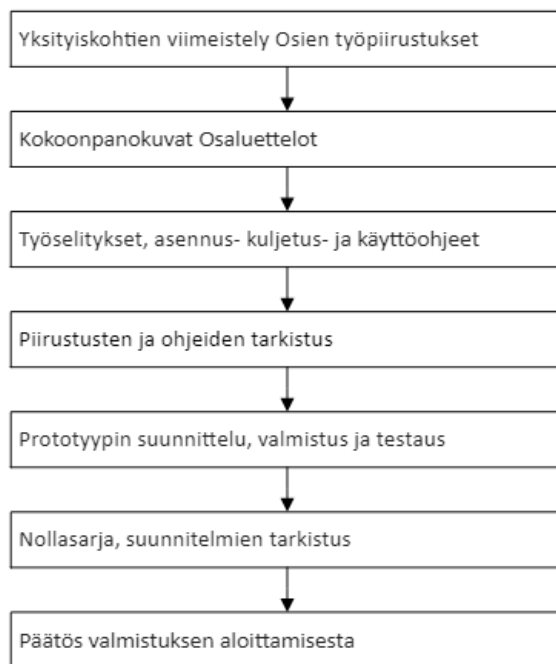


Kuvio 2. Kehittelyn työvaiheet (Pahl, & Beitz, 1990. 178.)

2.2.4 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa viimeistellään osien suunnittelu, jolloin muotoilu, yksityiskohdat ja pinnanlaatu sovitetaan vaatimusten mukaisiksi. Tässä vaiheessa tehdään myös materiaalivalinnat ja päätetään valmistusmenetelmistä. Yksityiskohtien tarkempi määrittely saattaa edellyttää muutoksia aiempiin työvaiheisiin, minkä vuoksi viimeistelyn merkitystä ei tule aliarvioida tuotekehitysprojektissa. (Pahl, & Beitz, 1990. 50.)

Viimeistelyvaihe voidaan jakaa kuvion 3. mukaisiin eri työvaiheisiin. Ensimmäinen vaihe keskittyy tuotteen yksityiskohtien viimeistelyyn. Tässä vaiheessa ratkaistaan, miten osat valmistetaan, ottaen huomioon markkinoilta saatavat tai omassa tuotannossa olevat standardiosat, käytettävissä olevat raaka-aineet ja työkonemat sekä tarvittavat ja saavutettavissa olevat toleranssit ja sovitteet. Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan myös osien työpiirustukset. (Jokinen, 2001. 96.)



Kuvio 3. Viimeistelyn työvaiheet (Jokinen, 2001. 97.)

Seuraavaksi osista kootaan rakenneryhmät. Tähän vaiheeseen laaditaan kokoonpanokuvat ja vastaavat osaluettelot. Rakenneryhmien muodostus riippuu tuotteesta, toivotusta osien valmistusjärjestyksestä ja -aikataulusta sekä asennus- ja kuljetuskysymyksistä, erityisesti silloin kun tuote viedään osina käyttöpaikalle. Osa- ja kokoonpanopiirustuksia täydentävät kirjalliset työselitykset, joissa selostetaan esimerkiksi käytettävä käämitysten kyllästysmenetelmä, metalliosien korroosiosuojaus ja pintakäsittely. Viimeistelyvaiheessa laaditaan myös asennus-, kuljetus- ja käyttöohjeet. (Jokinen, 2001. 96-97.)

3 Tiivistys mekaniikkaa

3.1 Tiivistämisen perusteita

Tiivistyksen perusidea on estää kaasun, nesteen tai öljyn pääsy tietyn mekaniikan läpi, joko paineettomana tai paineistettuna. Tiivistyksen tarkoituksena on pitää mekaniikan sisällä olevat aineet sisällä ja estää ulkopuolisten aineiden pääsy sisään. Tiivistysmenetelmiä on monia, ja jokaisella on omat etunsa ja haittapuolensa. Konesuunnittelijan tulee tunnistaa eri tiivistystyypit ja valita sopiva tiiviste suunniteltavaan kohteeseen, jotta se toimii halutulla tavalla. Tässä opinnäytteessä tutkitaan yleisimpiä pneumaattisia tiivistemenetelmiä, mikä soveltuisi tiiveystesterin kehitys työhön.

Tiivisteiden käyttö nykypäivän maailmassa on erittäin laajalle levinnyttä. Itse asiassa voi olla haastavaa keksiä jotain päivittäisessä elämässämme, mikä ei jollain tavalla liittyisi tiivistämiseen. Olemme niiden ympäröimiä kodeissamme: elintarvikepakkauksissa kuva 3, hygienia tuotteissa ja lääkevalmisteiden säiliöissä sekä vesijärjestelmien ja lasitusten tiivisteissä. Kaikki mekaaniset kuljetusvälineet ja teolliset valmistusprosessit sisältävät lukemattoman määrän erilaisia tiivisteitä. Erilaiset hyödykejärjestelmät ovat täysin riippuvaisia tiivisteistä, joko veden tai kaasun pitämiseksi jakeluverkostossa tai veden ja epäpuhtauksien poissulkemiseksi sähkö- ja elektroniikkapalveluista. (Flitney, 2007. 4.)



Kuva 3. tiivistetty eväsrasian kansi

Kuten kaikilla teknisillä aloilla, kehitys ei pysähdy. Analyysi- ja mittaustekniikoiden edistyminen on parantanut merkittävästi ymmärrystä tiivisteiden käyttäytymisestä ja niiden suorituskyvyn kannalta kriittisistä tekijöistä. Kun tämä yhdistetään materiaaliteknologian kehitykseen, tiivisteiden suorituskyky on parantunut huomattavasti viimeisen kahden vuosikymmenen aikana. (Flitney, 2007. 4.)

Tiivistin on rakenne, joka koostuu tiivistävästä osasta, kuten esimerkiksi kumisesta O-renkaasta, sekä sitä ympäröivästä rakenteesta, kuten tiivisteurasta. Tiivistimet voidaan jaotella viiteen pääryhmään niiden liikkeen luonteen mukaan:

- staattiset eli lepotiivistimet (laippaliitos)
- puolistaattiset tiivistimet (kalvorasia)
- pyörimisliikkeen tiivistimet (laakerin suojaus labyrinthi- tai säteishuulitiivistimellä)
- suoraviivaisen liikkeen tiivistimet (paineilma- tai hydraulikkasyylinteri)
- yhdistelmäliikkeen tiivistimet (liikeruuvi)

Liikkuvien pintojen väliin asennettavat tiivistimet jaetaan kahteen päätyyppiin: kosketuksettomat, kuten labyrinttitiivisteet, ja kosketukselliset, kuten säteishuulitiivisteet. Staattisissa tiivistimissä käytettävän materiaalin tulee olla tarpeeksi joustavaa, jotta se mukautuu pintojen epätasaisuuksiin, mutta samalla riittävän jäykkää, jotta tiiviste pysyy paikoillaan eikä puristu ulos. Vuoto tiivisteiden läpi tapahtuu materiaalin läpi suotautumisen kautta. (Sanoma Pro 2014, 405.)

3.2 Pneumaattiset tiivisteet

Pneumaattiset tiivisteet ovat tärkeä osa pneumaattisia järjestelmiä, jotka käyttävät paineilmaa toimintansa aikaansaamiseksi. Nämä tiivisteet joutuvat kestämaan paljon pienempiä paineita kuin hydrauliset tiivisteet, yleensä enintään 10 bar (150 lb/in²). Tämä vaatii matalan kitkan tiivisteitä, jotka usein ovat O-renkaita tai muita yksinkertaisia tiivisteitä. Venttiileissä käytetään usein pehmeämpiä paineistettuja tiivisteitä, joiden koot voivat olla suhteellisen suuria.

Ilmaa on vaikeampi tiivistää kuin nesteitä, joten tiivisteeltä vaaditaan suurta vaatimustenmukaisuutta. Myös tiivisteiden materiaalin läpäisevyys on tärkeää, erityisesti korkeammissa lämpötiloissa. Normaaleissa lämpötiloissa useimpien elastomeerien läpäisevyys on alhainen, mutta korotetuissa lämpötiloissa eroja on huomattavasti. Elastomeerit voivat myös muuttua koviksi ja hauraiksi, jos niiden käyttölämpötilojen rajat ylittyvät. Pneumaattisia tiivisteitä voidaan käyttää myös kuivissa olosuhteissa, jolloin useimmat elastomeerit kestävätkin huonommin kuin märissä olosuhteissa. Kuivana toimivan tiivisteiden näennäinen pisyvyys voi olla paljon suurempi, mikä voi edellyttää suurempaa alkuhäiriötä ja alkukitkaa. Sopivan välyksen valitseminen on vaikeampaa, ja virheet voivat aiheuttaa jatkuvan sitoutumisen ja suuren kitkan tai löysän istuvuuden ja vuodon. Pysyvästi sitova tiiviste on todennäköisempi kuin löysä tiiviste, erityisesti jos tiiviste on mitoitettu kuivana ja myöhemmin voideltu öljysummalla. Tämä voi aiheuttaa tiivisteiden turpoamista, joka on yleinen vika öljysumu- tai öljysumuvoitelulla toimivissa tiivisteissä. (Melvin, 1990. 432-434.)

3.2.1 Staattiset tiivisteet

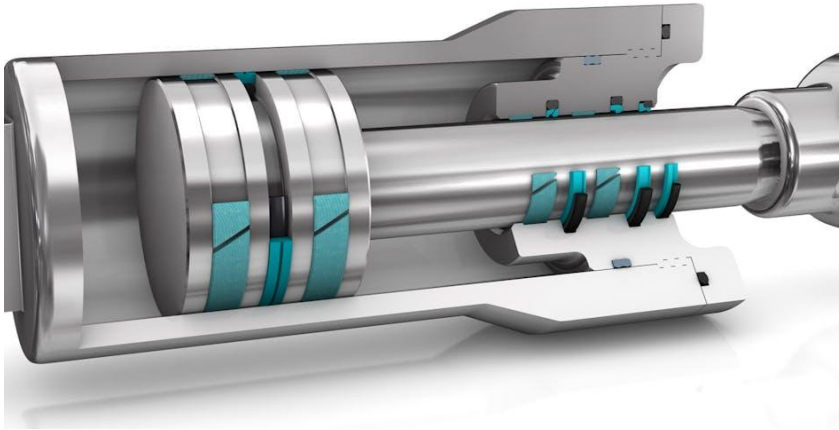
Pneumaattisissa järjestelmissä staattisia tiivisteitä käytetään muun muassa venttiileissä, suodattimissa, sylinterien päätykansissa ja erilaisissa liitoksissa. Yleisimpiä staattisia tiivisteitä ovat yksinkertaiset tiivisteet, levytiivisteet sekä O-renkaat kuva 4. Levytiivisteitä käytetään silloin, kun käytettävissä on riittävä laippapinta. Tavalliset elastomeerilevyt eivät kuitenkaan ole ihanteellisia tiivisteinä, koska ne saattavat levitä puristuksen vaikutuksesta ja vaativat hyvän puristuslujuuden. Tämän vuoksi levytiivisteet toimivat paremmin, jos ne on asennettu uraan. (Melvin, W. 1990. 434)



Kuva 4. Staattisia O-renkka tiivistimiä. (Cowseal 2024, 2.)

3.2.2 Dynaamiset tiivisteet

Dynaamiset tiivisteet ovat tiivisteitä, jotka toimivat liikkuvissa osissa. Niitä käytetään esimerkiksi sylinterien männän ja männänvarren tiivistyksessä, venttiilikarojen ja -varsien tiivistyksessä sekä pyörivissä kokoonpanoissa, kuten ilmamoottorien akselitiivisteissä ja pyörivien sylinterien jakelulaatikoissa. Esimerkki kuva 5 männän ja männän varren dynaamisista tiivistyksistä.



Kuva 5. Tiivisteiden sovittaminen dynaamisiin tiivistyssovelluksiin (Powermotiontech, 2018.)

Nykyään suunnittelussa pyritään yksinkertaisuuteen, ja perinteisten tiivisteiden tilalle on yhä useammin otettu käyttöön valmiita tiivisterenkaita. Näitä renkaita valmistetaan joko homogeenisesta kumista tai kumi-kangas-komposiiteista. Tiivisterenkaiden muotoja on monenlaisia, mutta suurin osa perustuu toimiviksi todettuihin perusmalleihin tai niiden muunnelmiin. (Melvin, 1990. 435.)

3.2.3 O-renkaat

O-renkaat soveltuvat erityisesti pienempiin kokoluokkiin ja kevyisiin edestakaisiin tiivistystehtäviin. Niitä voidaan kuitenkin käyttää menestyksekkäästi myös suuremmissa sylintereissä, sekä tanko- että männäntiivisteinä, kunhan ne toimivat nimellisrajojensa puitteissa ja on asennettu oikein suunniteltuun uraan. Kuva 6 on yksinkertaisimpia o-renkaita.

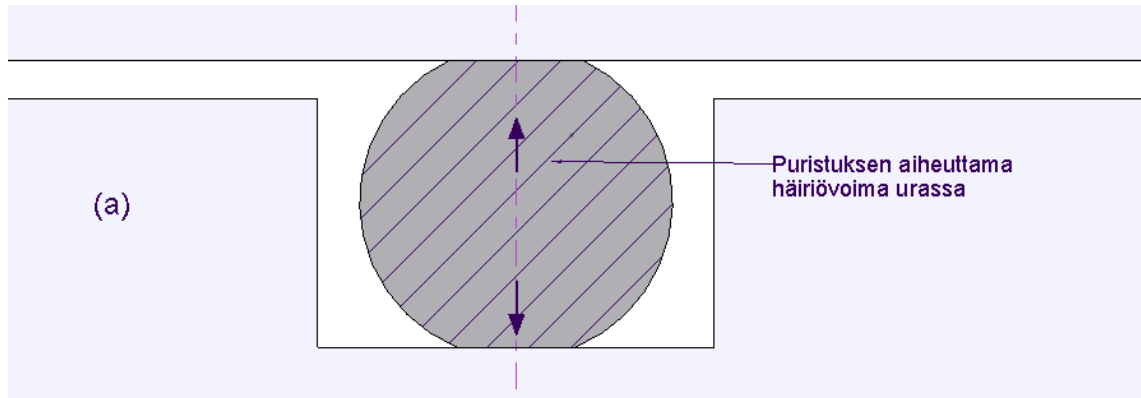


Kuva 6. O-renkaita (Klinger Finland, 4.)

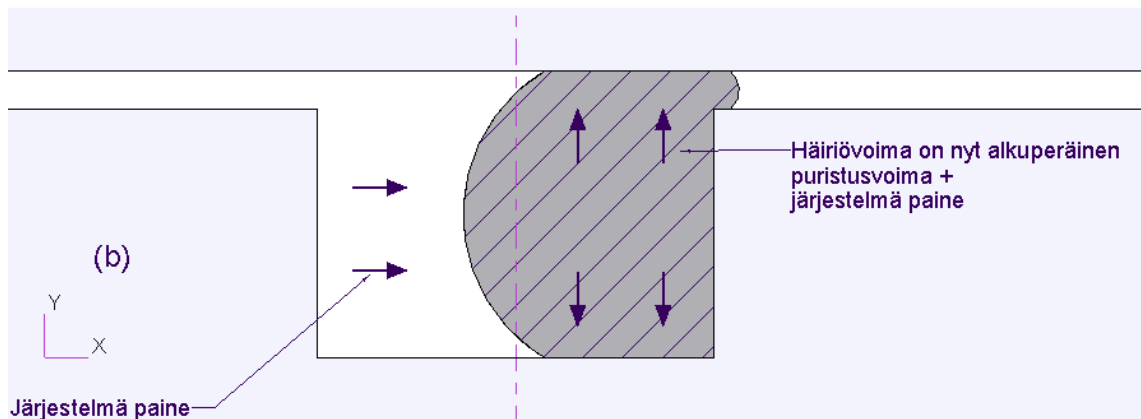
O-rengastiivisteiden toiminnan kannalta parhaat olosuhteet ovat lyhyt iskunpituus, hyvä voitelu ja kohtuullinen liukunopeus. Ongelmallisia tilanteita syntyy esimerkiksi sivu- tai taivutuskuormien vaikutuksesta, jotka aiheuttavat järjestelmän epäkeskisyyttä ja suuria paikallisia kuormituksia. Myös hyvin hitaat liikkeet ja alhaiset paineet voivat aiheuttaa kitkan kasvua ja tiivisteiden vaurioitumista. Esimerkit kuvoissa 4. ja 5. jossa kuvataan tiivisterenkaan vaurioitumista, kun rengas siirtyy paineesta.

Oikein asennettuna ja voideltuna O-rengas pysyy vakaana, eikä väännä tai pyöri liikkeen aikana. Tämä johtuu siitä, että uran pinta-ala on suurempi kuin liukupinnan kosketuspinta, mikä estää renkaan liikkumisen väärin. Staattinen kitka urassa on myös suurempi kuin hankauskitka, mikä auttaa pitämään renkaan paikallaan. Epäedulliset olosuhteet voivat kuitenkin johtaa tilanteeseen, jossa rengas osittain liukuu ja osittain rullaa, mikä aiheuttaa liiallisen kiertymisen ja lopulta tiivisteiden murtumisen. Tämä murtuma ilmenee tyypillisesti spiraalimaisena halkeamana, jota kutsutaan spiraalimurtumaksi. Spiraalimurtumille alttiisiin tilanteisiin on kehitetty O-renkaasta johdettuja vääntöjäykempiä vaihtoehtoja, jotka ovat kestävämpiä ja vähemmän herkkiä kiertymiselle. Näitä voidaan käyttää perinteisissä O-rengasurissa sekä dynaamisissa että staattisissa tiivistyksissä.

Kokonaisuudessaan O-renkaat ovat yksinkertaisia ja erittäin tehokkaita kaksitoimisia tiivisteitä edestakaisissa liikkeissä. Jos käyttöolosuhteet ylittävät O-renkaiden suorituskyvyn tai ne eivät ole riittäviä, valitaan yleensä raskaampia rengasprofileja, jotka kestävät vaativammat olosuhteet. (Melvin, 1990. 435–436.)



Kuvio 4. O-renkaan tiivistysvaikutus: (a. ilman painetta)

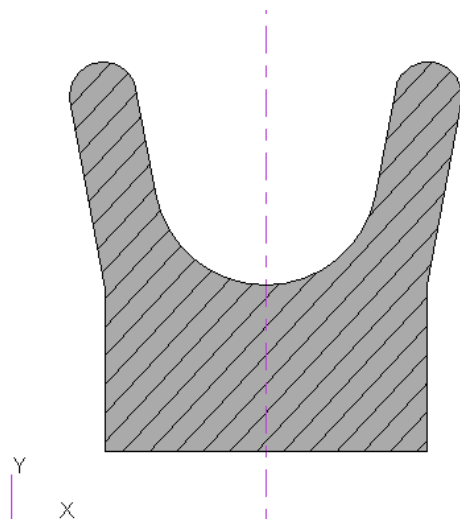


Kuvio 5. O-renkaan tiivistysvaikutus: (b. paineistettu)

3.2.4 U-renkaat

U-renkas, joka on sopivan kokoinen ja suhteellisen pehmeästä kumista valmistettu, pystyy antamaan erityisen hyvän tiivisteiden pienellä kitkalla alhaisilla paineilla. Toivottavia ominaisuuksia ovat ohuet huulet, jotka reagoivat

paineeseen, suuri pituus hyvän joustavuuden varmistamiseksi ja huulten itse suunniteltu siten, että huulten kuormitukset ovat alhaisia kitkan pienentämiseksi ja että samalla on riittävästi kosketuspinta-alaa ja esijännitystä hyvän tiivisteiden aikaansaamiseksi. Nelikulmainen kantaosa on myös suotavaa, jotta kantapään kuluminen ja nakerrukset jäävät mahdollisimman vähäisiksi, esimerkki kuvio 6. ja kuva 7. U-rengas mallista.



Kuvio 6. Poikkileikkaus yleisestä U-renkaasta (Melvin, 1990. 436.)



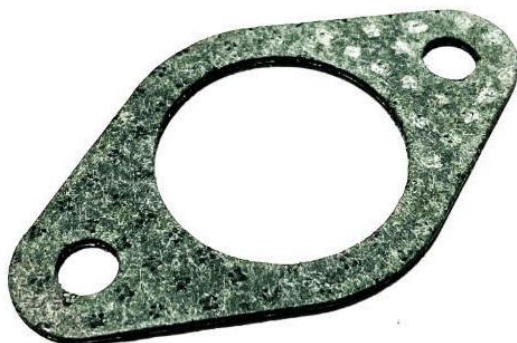
Kuva 7. U-rengas

U-rengastiivisteet ja erilaiset muunnetut muodot, jotka on kehitetty erityisesti pneumaattikalveluihin, esim. sauva- ja männäntiivisteet, poikkeavat tämän

vuoksi yleensä poikkileikkaukseltaan vastaavista hydraulisiin tehtäviin tarkoitetuista tiivisteistä. (Melvin, 1990. 436.)

3.2.5 Laippiivisteet

Laippiivisteet ovat staattisia tiivisteitä, jotka sijoitetaan vastakkaisten laippojen tai koneistettujen pintojen väliin varmistamaan tiivis liitos, miten kuviossa 7 ja kuvassa 8 on esitetty. Vaikka teoriassa hienojakoinen pintakäsittely edistää tiivistystä, pelkästään pintojen yhteen puristaminen ei aina riitä täydellisen tiiviyden saavuttamiseen. Siksi käytetään määriteltyä tiivistemateriaalia, joka ei ainoastaan paranna tiivistystä, vaan myös vähentää pintakäsittelyn tarkkuuden vaatimuksia ja siten kustannuksia.



Kuva 8. Mopon pakoputken laippiiviste (Tekant, 2025. 4.)

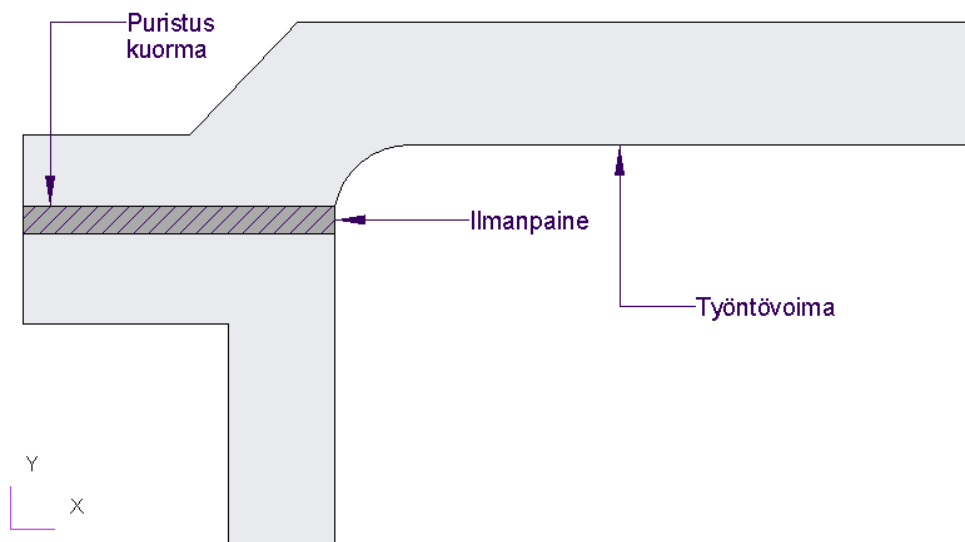
Tiivisteiden materiaalit vaihtelevat pehmeästä paperista ja muoveista kiinteään metalliin. Materiaalin valintaan vaikuttavat erityisesti:

- Yhteensopivuus tiivistettävän aineen kanssa.
- Suorituskykyvaatimukset, kuten tiivistettävä paine, lämpötila ja niiden vaihtelut.

- Liitoksen rakenteelliset rajoitukset, kuten tiivisteiden käytettävissä oleva koko ja puristusvoiman rajoitukset.

Materiaalin paksuus määräytyy sen mukaan, kuinka hyvin se pystyy mukautumaan laipan pintojen epätasaisuuksiin käytettävissä olevan puristusvoiman alaisena. Pehmeämmät materiaalit mukautuvat helpommin, mutta niiden paineensietokyky on yleensä alhaisempi. Kovemmat materiaalit kestävät suurempia paineita, mutta vaativat suuremman puristusvoiman toimiakseen. Tiivisteiden toimivuus perustuu sen kokoonpanon aikana saamaan puristusjännitykseen, joka mukauttaa sen tiiviisti liitoksen pintoihin. Sopivan paksuuden ja puristusvoiman tasapaino on tärkeää, jotta tiiviste täyttää tehtävänsä ilman, että se vaurioituu tai tiivistys pettää kuormituksen tai painevaihteluiden vaikutuksesta.

Tiivisteiden tiivistysmekanismi perustuu puristusvoimeeseen, joka kohdistuu tiivisteeseen käyttöolosuhteissa. Tämä puristusvoima syntyy liitoksen kokoonpanossa ja auttaa estämään tiivisteiden vuotamista. Sisäinen paine, kuten hydrostaattinen paine, voi kuitenkin aiheuttaa tiivisteeseen lisäkuormitusta ja pyrkiä työntämään tiivistettä ulos laipan välyksestä.



Kuvio 7. Poikkileikkaus laippatiivisteestä (Melvin, 1990. 90.)

Jotta tiiviste pysyisi tiiviinä, tehokkaan puristuspaineen täytyy olla suurempi kuin sisäinen paine. Tämä tarkoittaa, että kokoonpanon kuormituksen ja hydrostaattisen paineen välinen ero on riittävä pitämään tiiviste paikallaan. Yleinen suositus on lisätä puristuspaineseen vähintään kaksinkertainen turvakerroin, jotta voidaan ottaa huomioon tiivisteiden mahdollinen puristusjännityksen väheneminen ajan myötä.

Tiivistemateriaalin ominaisuudet ovat ratkaisevassa roolissa tiivistyksen varmistamisessa. Materiaalit, joilla on pieni relaksaatio (eli ne eivät menetä puristusjännitystä helposti), ovat erityisen suositeltavia. Ne mahdollistavat tiivistämisen joko pienemmällä alkupuristusaineella tai suuremman varmuuskertoimen saavuttamisen samalla paineella.

3.2.6 Komposiittitiivisteet

Komposiittitiivisteet koostuvat jäykästä rengasosasta ja joustavasta tyynyosasta. Jäykkä osa voi olla esimerkiksi metallia tai kitkaa vähentävää materiaalia, kuten PTFE:tä, ja se muodostaa tiiviste- ja hankauspinnan. Tyynyosa puolestaan tarjoaa kimmoisuuden ja mahdollistaa tiivisteiden puristumisen. Näitä tiivisteitä käytetään erityissovelluksissa, joissa vaaditaan sekä tiivistys- että tukitoimintoja.

Yksi komposiittitiivisteiden eduista on niiden kyky toimia yhtä aikaa laakereina ja tiivisteinä. Ne kestävät sivuttaiskuormituksia ja pystyvät automaattisesti asettumaan keskitetyksi, mikä tekee niistä hyödyllisiä monimutkaisemmissa pneumaattisissa sovelluksissa.

Erityinen esimerkki komposiittitiivisteestä on yhdistelmä, jossa O-rengas yhdistetään jäykkään PTFE-rengasosaan kuva 9. Tällainen rakenne tarjoaa alhaisen kitkan tiivistyspinnan, joka toimii tehokkaasti sekä voiteluaineen

kanssa että ilman sitä. Tämä tiiviste voidaan asentaa joko sisä- tai ulkopuolisesti, ja sen suorituskyky on huomattavasti parempi dynaamisissa olosuhteissa verrattuna perinteisiin O-renkaisiin.



Kuva 9. PTFE komposiittitiiviste

Staattisen kitkan osalta komposiittitiivisteet ovat samankaltaisia O-renkaiden kanssa. Niiden etu korostuu kuitenkin dynaamisissa tilanteissa, joissa matala kitka yhdistyy parempaan kulutuskestävyyteen. Toisaalta huulitiivisteillä on alhaisin kitka hyvin matalissa paineissa, mutta paineen kasvaessa niiden kitka lisääntyy huomattavasti, mikä erottaa ne komposiittitiivisteistä.

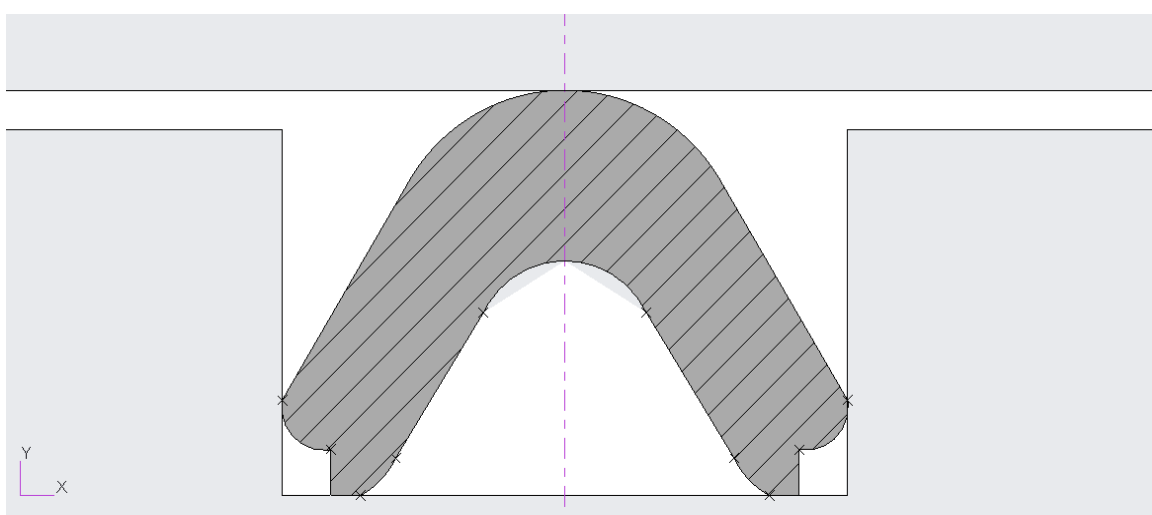
3.2.7 Erikoisemmat poikkileikkaukset

Pneumaattisten sylintereiden mäntä- ja tankotiivisteissä käytetään monenlaisia erikoisprofiileja, kuten muunneltuja U-renkaita, C-renkaita ja niiden muunnelmia. Näitä profiileja on kehitetty erityisesti pneumaattisiin sovelluksiin, joissa tiivisteiden toimivuus matalissa paineissa ja vähäkitkaisuus ovat tärkeitä ominaisuuksia.

Yksi esimerkki erityisestä poikkileikkauksesta on sormitiiviste kuvio 8. Tämä tiiviste on suunniteltu korvaamaan O-renkaita ja sopii käytettäväksi samanlaisessa urassa. Sormitiivisteiden etuja ovat pienempi purkautumiskitka,

joka johtuu tiivisteiden ohuemmasta poikkileikkauksesta ja paremmasta joustavuudesta, sekä samanlainen dynaaminen kitka kuin O-renkaalla.

Sormitiivisteiden erityisominaisuutena on sen sisäpuoliset urat, jotka sallivat ilman pääsyn tiivisteeseen. Tämä saa vastakkaisen huulen painautumaan uran seinämää vasten, jolloin tiiviste toimii paineistettuna sekä staattisissa että dynaamisissa olosuhteissa. Lisäksi sormitiiviste tiivistää molempiin suuntiin, mikä tekee siitä monikäyttöisen vaihtoehdon pneumaattisiin tiivistystarpeisiin. (Melvin, 1990. 437.)



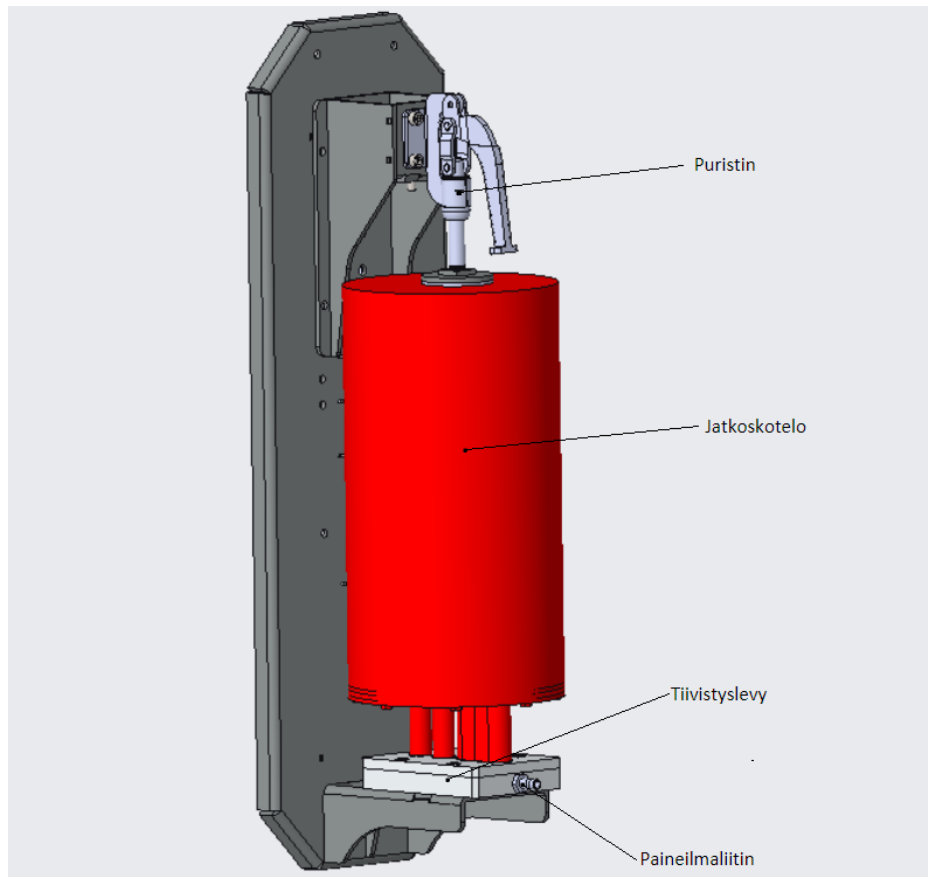
Kuvio 8. sormitiiviste poikkileikkaus (Melvin, 1990. 437.)

4 Työntoteutus

4.1 Lähtötilanne ja Tehtävän asettelu

Jatkoskotelon tiiveystesterillä tarkastellaan itse kotelon ja samalla sen kannen tiiviyttä. Kotelon kannessa on mallin mukaan 3–6 läpivientiputkea, jotka asetetaan sopivaan tiivistyslevyyn kuvio 9. Putkien tiivistys tapahtuu O-renkaiden avulla. Tiivistyslevyssä on yksi paineilmaliihtä, jota pitkin kotelo paineistetaan 0,5 baarin paineella. Lisäksi kotelon ja kannen väliin asetetaan laippakumitiiviste, joka varmistaa tiiviiden niiden välillä.

Koko kokonaisuus asetetaan puristuslaitteeseen, joka sijaitsee kotelon yläpuolella. Kun kotelo on paineistettu, sen hitsausseamoja tarkastellaan suihkuttamalla niihin saippuavettä. Mahdolliset vuotokohdat havaitaan syntyvistä ilmakuplista.



Kuvio 9. Nykyinen tiiveystesteri.

Jatkokotelon tiiveystesterin kehitystyö sai alkunsa palaverista, jossa pohdimme laitteen uudelleensuunnittelua ja käyttövaatimuksia. Testerillä työskenteleviltä käyttäjiltä kerättiin ideoita ja havaintoja siitä, miten laitetta voitaisiin parantaa. Kehitystyön päätavoitteet ovat seuraavat:

- Kotelon asennus ajan nopeuttaminen testeriin
- Työskentely ergonomia
- Helppokäyttöisyys
- Luotettavuus

Nykyisessä tiiveystesterissä on kuitenkin useita käytettävyyssongelmia. Suurten jatkoskoteloiden asettaminen testeriin on raskasta ja vaikeaa, erityisesti silloin, kun työtä tehdään yksin. Joidenkin mallien putkien tiivistykseen kuluu huomattavan paljon aikaa, ja tiivistyslevyjen tiivisteet rikkoutuvat usein, mikä heikentää laitteen käytettävyyttä ja luotettavuutta. Tiivisteiden korjauksen yhteydessä käyttäjä joutuu toisinaan tekemään pikapatentteja, mikä vie ylimääräistä aikaa. Lisäksi, jos tiivistystä ei saada toimimaan laipan kohdalta, saippuavedestä muodostuvat suuret kuplat tekevät hitsaussaumojen vuotokohtien tarkastamisen käytännössä mahdottomaksi, kuten kuvassa 10 voidaan havaita.



Kuva 10. Laipan ja läpivienti putkien tiivistys epäonnistunut.

4.1.1 Vaatimuslista

Kun laitteen vaatimukset oli selvitetty, niiden pohjalta oli helppo laatia vaatimuslista taulukko 5. Apuna käytettiin tietopohjasta läpikäytyä VDI 2222 - taulukkoa. Listaan koottiin kaikki suunnitteluun olennaisesti vaikuttavat

vaatimukset ja toiveet. Yksityiskohtien liiallista syventämistä vältettiin pitämällä vaatimukset mahdollisimman selkeinä ja keskittyä tärkeimpiin kohteisiin.

Muutos pvm.	KV, VV, T	Vaatus	Tärkeys
		KÄYTTÖ	
3.1.2025	KV	Jatkoskotelon tiivistämisen onnistuminen toistuvassa käytössä	1
3.1.2025	KV	Sarjatestauksen nopeuttaminen	1
27.1.2025	T	Tiivistyksen kestävä useita testauksia	2
3.1.2025	VV	Helppo käytettävyys	1
		ERGONOMIA	
27.1.2025	KV	Laitteen käyttäjän työskentely ergonomia oltava järkevä	1
3.1.2025	T	Laitteen siisteys, kaadot saippua nesteelle	2
		GEOMETRIA	
27.1.2025	KV	Mahduttava 2x2m työskentely pöydälle	1
		TURVALLISUUS	
3.1.2025	T	Turvalliset kiristyskahvat	2
		HUOLTAMINEN	
3.1.2025	T	yksinkertainen ja nopea	2
3.1.2025	KV	tiivistyksen uusiminen isompien sarjatestauksien jälkeen (100-200)	2
		VOIMAT	
27.1.2025	KV	Puristus voima tiivistäessä oltava tarpeeksi suuret	2
27.1.2025	VV	Pursitus laite oltavan käsin voimin käytettävä	1
		AINES	
27.1.2025	KV	rakenteen ja tiivisteiden kestävä saippua liuoksia	1
		RAKENNE	
27.1.2025	KV	Painetta kestävä rakenne	1

KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäis vaatimus, T = toivomus, 1-3= Tärkeä- Ei tärkeä

Taulukko 5. Tiiveystesterin vaatimuslista

4.2 Luonnostelu

Nykyiset tiivistyslevyt eivät täytä käytettävyydelle ja tiiveydelle asetettuja vaatimuksia, ja erityisesti niiden O-renkaiisiin perustuva tiivistysmetodi osoittautui epäluotettavaksi. O-renkaat eivät tiivistä halutulla tavalla, mikä on johtanut vuotoihin ja laitteen käytettävyyden heikkenemiseen. Tämän vuoksi kehitettävässä tuotteessa ei tulla käyttämään O-renkaiisiin perustuvaa tiivistysmetodia.

Yhtenä vaihtoehtona voisi kuitenkin olla uusien tiivistystekniikoiden kokeilu nykyisten levyjen pohjalta. Tämä olisi kustannustehokas kokeilumetodi, mutta sen toimivuuden arviointi vaatisi toistuvia käyttötestejä, joiden aikana laitteen tiivistysominaisuuksia ja kestävyttä voitaisiin arvioida pitkällä aikavälillä.

Tiivistämisen modulaarisuus otetaan huomioon suunnittelussa siten, että ratkaisu voidaan mukauttaa erikokoisiin ja -muotoisiin koteloihin. Tällä tavalla vähennetään tiivistyslevyjen vaihtamiseen kuluva aikaa ja tarpeettomien lisäosien käyttöä. Käytettävyyttä parannetaan suunnittelemalla ergonomisia kahvoja ja vipuja, jotka helpottavat kotelon asettamista ja lukitsemista testeriin. Lisäksi valitaan materiaalit ja tiivisteet, jotka kestävät toistuvaa käyttöä, painevaihteluita ja kemikaalien vaikutuksia.

4.2.1 Ratkaisuvaihtoehdot

Ratkaisuvaihtoehtojen kehittämisessä hyödynnettiin sekä tuotantotekijöiden että asiaan perehtyneen suunnittelutiimin asiantuntemusta. Eri menetelmiä ja kokeiluideoita kartoitettiin tutkimalla tehtaalla käytössä olevia samankaltaisia laitteita ja niiden toimintaa. Lisäksi etsittiin valmiita tai helposti muokattavissa olevia komponentteja, joita voitaisiin hyödyntää suoraan. Parhaat ideat ja konseptit kerättiin VDI 2222 -menetelmän mukaiseen osatoiminto kaavioon.

Taulukko 6.

Osatoiminto		Ratkaisu			
		v1	v2	v3	v4
1	Testerin ja kotelon välinen tiivistys metodi	Sormitiiviste	U-rengas	Laippatiiviste	Komposiittitiiviste
2	Pursituslaitteisto	Vipuvarsi pursitin (nykyinen)	Kierrepuristin	Vertical puristin	-
3	Kotelon puristuksen sijainti	Kotelon päältä	Kotelon laipain reunoilta	-	-
4	Rakenne malli	Koneistettu alumiini laippa	Ohutlevymetalli	-	-
		-	-	-	-
		-	-	-	-

Taulukko 6. Tiiveystesterin osatoiminto kaavio

Ostotoiminnon kaavioon saatiin neljä selvästi toisistaan poikkeavaa ratkaisuvaihtoehtoa, joista valita. Tässä vaiheessa VDI-2222:n mukaan valinta tulisi tehdä valintalistan avulla. Koska päätös on tässä tapauksessa hyvin yksiselitteinen, valintalistan käyttö ei ole tarpeellista.

4.2.2 Ratkaisu vaihtoehtojen pohdintaa

V1-, V2- ja V4-testereiden sekä kotelon välisessä tiivistysmenetelmässä käytetään O-renkaita, jotka asetetaan nykyiseen alumiinilaippaan. Näiden menetelmien kokeilu olisi teoriassa mahdollista toteuttaa vähäisellä vaivalla, ja ne todennäköisesti toimisivat pyöreissä putkissa. Suurin haaste kuitenkin ilmenee ovaalinmuotoisten putkien tiivistämisessä, mikä on yleistä useimmissa jatkokoteloiden laippamalleissa. Ovaalin muodon vuoksi tiivistäminen tiivisterenkaalla on haastavaa, sillä useimmat tiivisterenkaat on suunniteltu pyöreille poikkileikkauksille. Tämä epäsäännöllinen muoto aiheuttaa epätasaisen puristuksen tiivisteeseen, mikä voi johtaa vuotoihin.

Kaikki puristinmallit osatoimintokaaviossa ovat toimivia ja tuottavat riittävän puristusvoiman, jotta kotelo pysyy tukevasti kiinni testauksen ajan. Nykyinen puristinmalli, joka sisältyy V1- ja V2-vaihtoehtoihin, on nopea käyttää, mutta sen avaaminen voi aiheuttaa vaaratilanteita. V4-puristin puolestaan tarjoaa paremman toimintavarmuuden ja mahdollisuuden säätää puristusvoimaa tarkasti, mikä varmistaa napakan ja luotettavan kiinnityksen kotelolle. V3-malli erottuu nopean käytettävyytensä ansiosta, ja sen etuna on myös se, että puristimia voidaan vaihtaa tai lisätä vaivattomasti tarpeen mukaan.

Rakennemallissa valittiin tarkasteltavaksi vain kaksi vaihtoehtoa, sillä rakenteen on kestettävä sekä painetta että kulutusta. Laippamallisessa rakenteessa toleranssialueet voidaan pitää pienempinä ja tarkempina, mikä parantaa osien yhteensopivuutta ja vähentää kokoonpanovirheiden riskiä. Sen sijaan ohuesta metallista valmistetussa rakenteessa valmistusvirheiden määrä voi kasvaa, ja toleranssialueiden tarkkuus ei välttämättä toteudu suunnitellusti. Lisäksi rakenteen lujuus voi heikentyä, jos esimerkiksi kanttaukset tai hitsaukset eivät ole riittävän tarkasti toteutettuja.

4.2.3 Ratkaisu vaihtoehtojen päätös

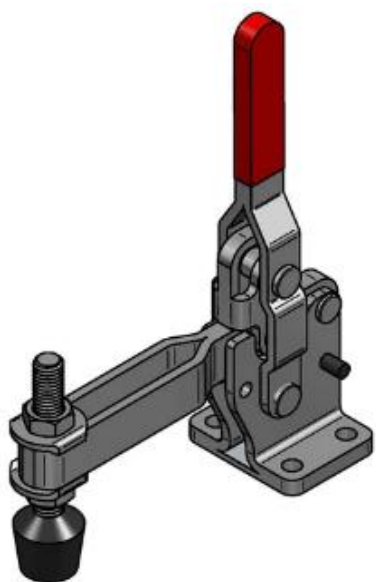
Ratkaisuvaihtoehdot valittiin tuotekehitysprosessin mukaisesti valintalista hyödyntäen. Taulukossa 7 on esitetty valintalista ja päätöksenteon kulku. Testerikehityksessä päätettiin noudattaa V3-osatoiminnon kaavion osoittamaa polkua.

VALINTALISTA							
Ratkaisumuunnelma	RATKAISUMUUNNELMA (RM)					Päätöksenteko	
	Arvostellaan valintakriteerien mukaan + Kyllä - Ei ? Informaation puute ! Vaatimuslistaa tarkistettava					Ratkaisumuunnelmat (RM) Merkitään: (+) Ratkaisuja kehitellään edelleen (-) Ratkaisu hylätään (?) Hankittava informaatiota (!) Harkittava vaatimuslistan muutosta	
	Kustannukset hyväksyttävissä					Päätös	
	Vaatimuslistan mukainen						
	Toteutus mahdollista						
	Periaatteessa realisoitavissa						
	Riittävä turvallisuus taso saavutettavissa						
RM	A	B	C	D	E	F	Huomautuksia
v1	+	-	+	-	-		Vipuvarsi puristus ei ole riittävän turvallinen
v2	+	-	+	+	-		U-renkaan toiminta varmuuden heikkous
v3	+	+	+	+	+		Rakenteen kestäminen
v4	+	+	-	-	+		Kierrepuristimen hitaus

Taulukko 7. Tiiveystesterin valintalista

Laippatiivisteiden valinta perustui sen ylivoimaiseen luotettavuuteen ja helppokäyttöisyyteen, mikä teki siitä parhaan vaihtoehdon. Tämän tiivistetyypin käyttö mahdollistaa testerin rakenteen yksinkertaistamisen ja vähentää merkittävästi tiivisteiden rikkoutumisriskiä. Kun kotelo puristetaan laippatiivisteitä vasten oikealla voimalla, saavutetaan erittäin luotettava ja varma tiivistys, mikä samalla vähentää tiivisteiden tarkkaa asettelutarvetta. Sormitiivisteet ja U-renkaat puolestaan muistuttavat rakenteeltaan nykyisiä O-renkaita, joten niiden käytössä voi ilmetä samoja ongelmia kuin O-renkaiden kanssa. Tästä syystä niiden soveltuvuus jäi heikommaksi vaihtoehdoksi verrattuna laippatiivisteisiin.

Nykyinen vipuvarsipohjainen puristuslaitteisto, joka puristaa koteloa sen yläpäästä, toimii muuten hyvin, mutta sen asettelu- ja säätömekanismi on varsin kömpelö käyttää. V3-kaaviopolussa valitsin kotelon laipan puristukseen vertikaalisen puristimen kuvio 9. Tämä ratkaisu, jossa puristus esimerkiksi voisi tapahtua laipan sivulta kolmesta pisteestä, mahdollistaa tasaisen ja tukevan puristuksen. Kierrepuristin toimivuuden ja puristus voiman säätely tarkkuudeltaan olisi tehokkain, mutta käytön hitauden vuoksi tämä vaihtoehto jäi vertikaalisen puristimen taakse.



Kuvio 9. Esimerkki malli Vertikaali puristimesta

Ohutlevymetallirakenteen valinta oli luonteva ratkaisu. Hanzan Joensuun tehtaalla on valmiudet tuottaa ohutlevymetallirakenteisia tuotteita, mikä tarkoittaa, että kaikki tarvittava tuotanto voidaan hoitaa paikallisesti ilman ulkoisia toimittajia. Ohutlevymetallirakenteessa on kuitenkin otettava huomioon, että sen on oltava riittävän luja kestääkseen paineen ilman muodonmuutoksia. Rakenteen suunnittelussa päädyttiin kotelomalliseen ratkaisuun, koska siinä on mahdollista testata myös koteloiden kansia, ja samalla läpivientiputket voidaan tiivistää asianmukaisesti. Tämä lähestymistapa varmistaa sekä rakenteen toimivuuden että sen soveltuvuuden suunniteltuun käyttöön.

4.3 Kehittelyvaihe

Tiiveystesterin kehitystyö käynnistyi luomalla ensimmäiset mallit kehitysvaiheen aikana. Työssä painotettiin erityisesti laitteen valmistettavuutta ja käytettävyyttä. Toimeksiantaja antoi vapaat kädet uuden testerin rakenteen suunnitteluun sekä materiaalivalintoihin, mikä mahdollisti joustavan lähestymistavan. Suunnittelu tehtiin Creo 6 -ohjelmistolla, jonka avulla kehitettiin laitteen lopulliset ratkaisut ja luotiin tarkat 3D-mallit. Toimeksiantajan toiveena oli, että tässä opinnäytteessä esitettävät jatkoskotelomallit ovat yksinkertaistettuja ja sellaisia, ettei niitä voida yhdistää tietyn asiakkaan tilaustuotteisiin.

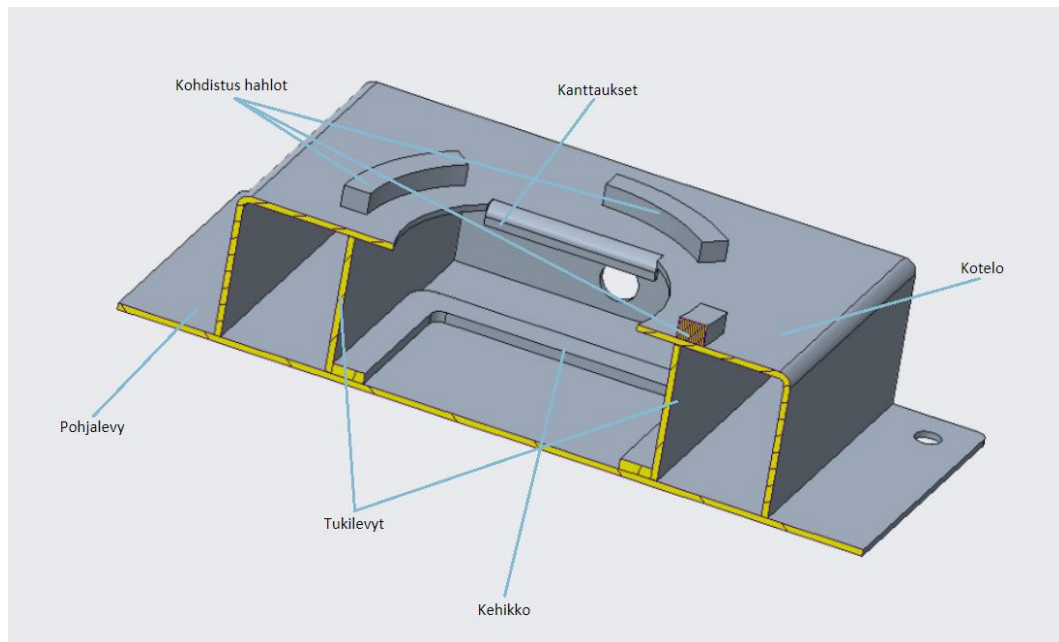
Tässä opinnäytetyössä päädyimme siihen lopputulokseen, että kehitysvaiheessa ei käytetty laskentamenetelmiä tiivistämisen varmistamiseen tai muihin arviointeihin, lukuun ottamatta paineistetun tilan kestävyys simulointia Creo 6 FEM -ohjelmistolla. Laippatiivisteisiin perustuvia tiivistysmittaustyökaluja ei ollut saatavilla, eikä niiden käyttöä lopulta pidetty tarpeellisena.

4.3.1 Rakenneteen suunnittelu

Testerissä suunniteltiin ensin rakenne, jossa päädyttiin ohutlevyrakenteeseen. Koko rakenne mallinnettiin Creo-ohjelmiston sheet metal -työkalulla. Materiaaliksi valittiin 3 mm paksu S355J2-teräslevy, joka tarjoaa riittävän kestävyys ja kohtuullisen painon. Sen mekaaniset ominaisuudet sopivat hyvin sekä valmistettavuuden että lujuuden näkökulmasta.

Rungosta kehitettiin yksinkertainen, kuten kuviossa 10 on esitetty. Se koostuu kahdesta suuremmasta levyleikkeestä: pohjasta ja kotelosta. Pohjalevyä jatkettiin molemmilta sivuilta 50 mm, mikä parantaa vakautta ja mahdollistaa testerin kiinnityksen työpöytään tarvittaessa. Rakenteen jäykistämiseksi koteloon lisättiin kaksi tukilevyä sekä kanttaukset tiivistysaukon ympärille. Tukilevyt myös pienentävät paineistettavaa tilaa, mikä nopeuttaa käyttöä. Lisäksi koteloon tehtiin neljä kohdistushahloa testattavan komponentin

asettamista helpottamaan. Testerin pohjalle lisättiin kehikko, johon tiivistysmatto on helppo asetettavissa testauksia varten.



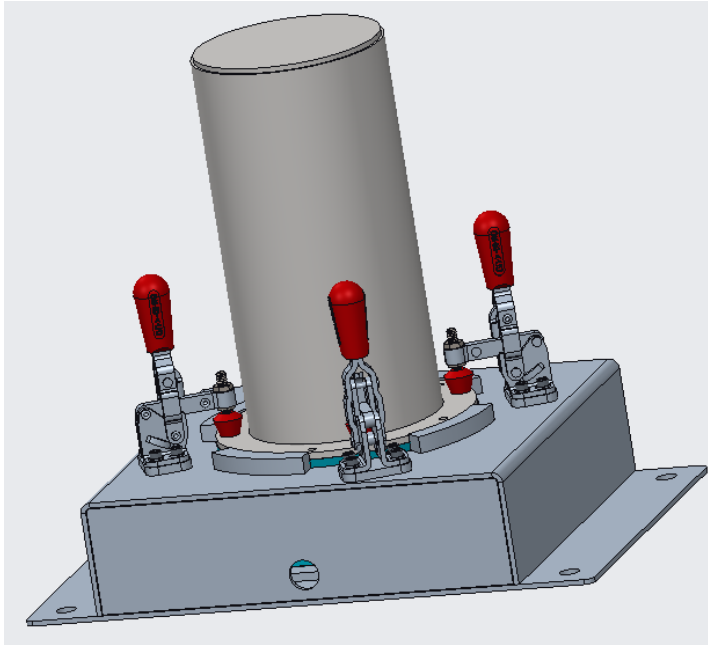
Kuvio 10. Poikkileikkaus testerin rakenteesta.

4.3.2 Puristukset ja kiinnitykset

Testerissä käytettäväksi puristuslaitteistoksi valittiin vertikaalinen puristusmenetelmä, joka varmistaa puristuksen onnistumisen ja ennen kaikkea turvallisuuden. Aiemman puristimen säätäminen oli hankalaa, ja sen avautuminen saattoi tapahtua äkillisesti suurella voimalla, mikä aiheutti vaaratilanteita. Vertikaalinen puristin on helppokäyttöinen, säädettävä ja kompaktimpi vaihtoehto, joka vähentää riskejä.

Tässä työssä ei suunnitella uutta vertikaalipuristinta, vaan valitaan sopiva malli markkinoilla olevista vaihtoehdoista. Puristimen on täytettävä vaaditut liikeradat mahdollisimman pienessä tilassa ja tarjottava riittävä puristusvoima tiivistyksen varmistamiseksi. Lisäksi sen tulee helpottaa testattavan kappaleen asennusta.

Lopulta puristimeksi valittiin Destacon 202-sarjan malli, joka täyttää testerin vaatimukset. Sen puristuskärjen liikerata on 106 astetta, joten se voidaan kääntää pois tieltä testattavan kotelon asettamisen ajaksi. Lisäksi puristuskärki on riittävän lyhyt, jotta se saadaan asetettua testattavan kotelon sivuille, kuten kuviossa 11 on esitetty.



Kuvio 11. testeriin puristus asennettu jatkoskotelo

Tarvittavaa puristuskapasiteettia ei voitu tarkasti laskea, joten se arvioitiin varmuuden vuoksi hieman yläkanttiin. Destaco 202-sarjan yksittäisen puristimen maksimipidon kapasiteetti on 890 N, minkä vuoksi testeriin asennettiin neljä puristinta tasaisesti ympärille. Puristusvoimaa voidaan säätää puristuskärjen kierrettä säätämällä, jotka haetaan käytännössä, kun laite on käyttö valmis.

4.3.3 Tiivistimet

Tiivistysmateriaaliksi valittiin Hanzan valikoimasta NR Parakumi, joka on erittäin joustava ja kulutusta kestävä materiaali. Se on laajalti käytössä erilaisissa tiivistystehtävissä, joten sen valinta oli luonnollinen ratkaisu. Sekä ylä- että

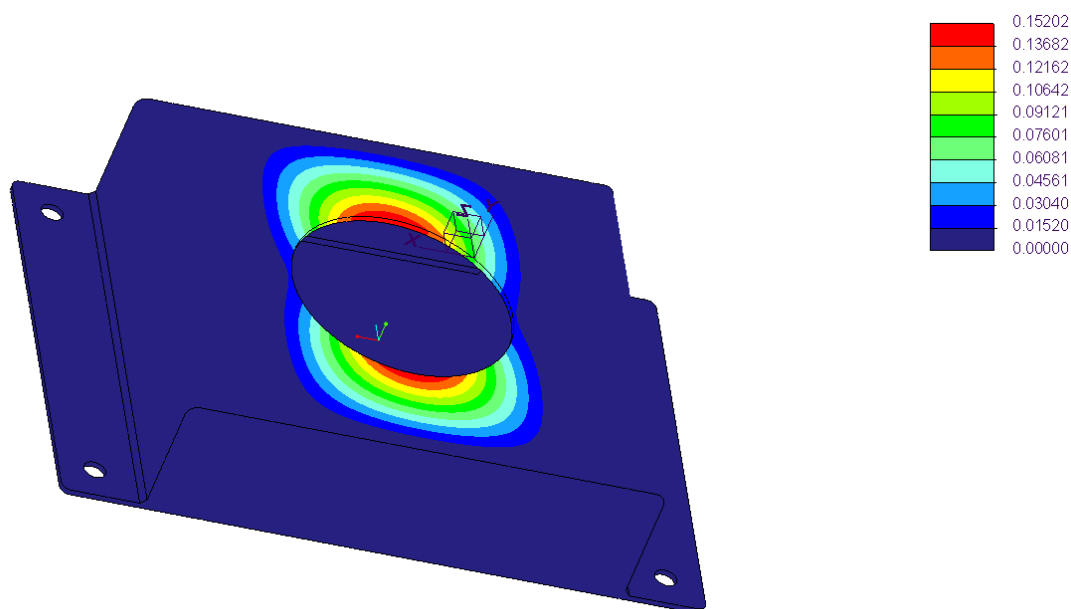
alapuolen tiivistyslaipat ovat 5 mm paksuja, mikä on tarkoituksellista, sillä koteloiden laippapinnat ovat melko karheita ja epätasaisia. Koska pintoja ei ole koneistettu tai suoristettu, paksu tiivistyslaippa takaa tiiviyn epätasaisuuksista huolimatta. Tiivistyslaipat leikataan valmiiksi oikeisiin mittoihin, mikä tekee niiden vaihdosta nopeaa ja vaivatonta. Käytön myötä laipat kuluvat, erityisesti alapuolen laipat, joihin putket kohdistavat voimakasta leikkausvoimaa.

4.3.4 Painetarkastelu

Paineistetun rakenteen tarkastelu suoritettiin Creon FEM-työkalulla. Laskenta onnistui, kun kokoonpanosta luotiin yhtenäinen ja tiivis malli. Simuloinnissa huomioitiin hitsaussaumojen sijainnit, ja laskentamalleihin sisällytettiin kaikki rakenteen lujuuteen olennaisesti vaikuttavat piirteet. Hitsaussaumat pyöristettiin, jotta vältettiin pistemäiset jännityskeskittymät, joita simuloinnissa saattaa ilmetä. Materiaalivalinnan mukaiset lujuusominaisuudet määritettiin tarkasti, ja analyysi suoritettiin 1 baarin ilmanpaineella varmistaen, että rakenne kestää myös ylipaineen, vaikka laitteen käyttöpainetasoksi on määritelty 0,5 bar. Analyysissä tarkasteltiin erityisesti testerin ulkohalkaisijan muutosta sekä hitsaussaumoihin kohdistuvia jännityksiä.

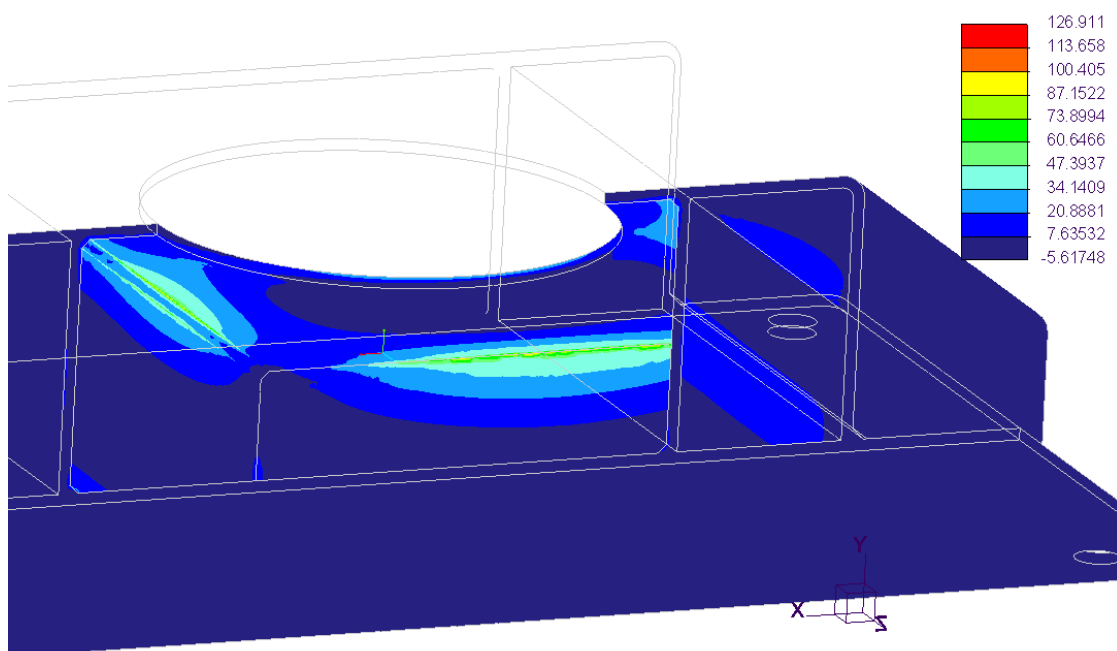
Paineastian suurimmat kuormitukset kohdistuvat testerin keskiosaan, erityisesti keskireiän läheisyyteen. Ulkopinnan maksimaalinen muutos on vain 0,15 mm pienellä alueella, mikä on käytännössä merkityksetön, joka havaitaan kuviossa

12.



Kuvio. 12 Kotelon muutokset (mm)

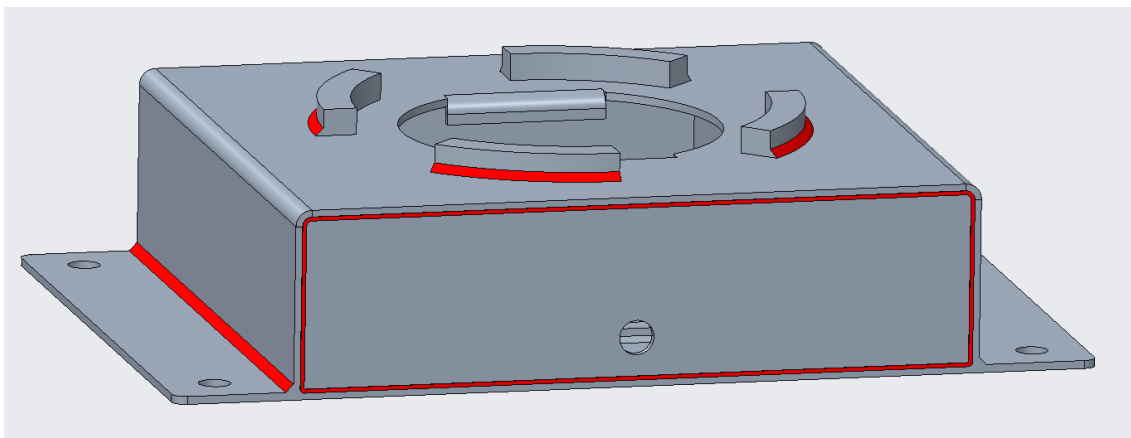
Suurimmat jännitykset kohdistuvat testerin sisäisiin hitsausaumoihin, mikä on nähtävissä kuviosta 13. Suurin mitattu jännitys on 126,9 MPa, mutta se esiintyy vain hyvin pienillä alueilla. Hitsausaumoiissa jännitystasot vaihtelevat pääosin 47–87 MPa välillä.



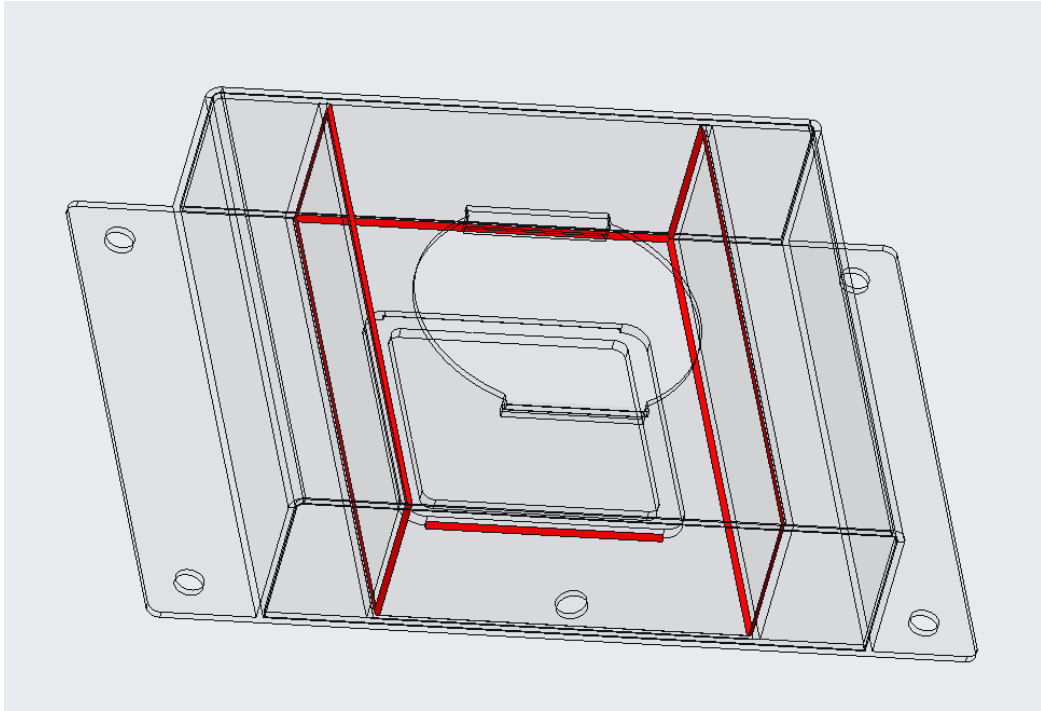
Kuvio. 13 Kotelon jännitykset (Mpa)

4.3.5 Hitsaus liitokset

Jatkoskotelon rakenne koostuu kokonaan hitsausliitoksilla yhteen liitetystä ohutlevyosista. Koska liitoksiin ei kohdistu merkittäviä kuormia, niiden mitoituksessa ei ollut tarpeen käyttää ylimääräistä aikaa. Suunnittelussa keskityttiin erityisesti liitosten järkevään sijoitteluun kuten näemme kuviossa 14 ja 15, jotta valmistusprosessi olisi mahdollisimman tehokas ja sujuva. Lähes kaikki kotelon hitsausliitokset ovat 90 asteen pienahitseillä toteutettuja kiinnitysliitoksia, paitsi kansien päätylevyjen hitsaukset tapahtuvat I-hitsillä. Koska hitsausaumoihin kohdistuvat kuormitukset ovat vähäisiä, kaikille pienahitseille valittiin a-mitaksi 3 mm.



Kuvio 14. Testerin ulkoiset hitsausliitokset



Kuvio 15. Testerin sisäiset hitsausliitokset

4.4 Viimeistely

Viimeistelyvaiheessa tiiveystesterin lopullinen rakenne ja yksityiskohdat viimeisteltiin huolellisesti. Ensimmäisessä vaiheessa määritettiin valmistusmenetelmät ja materiaalivalinnat, jotta varmistettiin laitteen kestävyys ja soveltuvuus tuotantoympäristöön. Kokoonpanossa kiinnitettiin erityistä huomiota ergonomiaan ja huollettavuuteen.

Testerissä otettiin käyttöön uusi vertikaalinen puristusmekanismi, joka mahdollistaa tasaisemman ja hallitumman puristusvoiman. Tämä paransi merkittävästi laitteen käytettävyyttä, erityisesti suurikokoisten jatkoskoteloiden testauksessa. Lisäksi laippatiivisteiden käyttö lisäsi tiivistysprosessin luotettavuutta ja vähensi aiemmin esiintyneitä vuoto-ongelmia.

Lopulliset 3D-mallit ja yksityiskohtaiset piirustukset laadittiin Creo 6 -ohjelmistolla. Tässä vaiheessa kaikille osille määriteltiin lopulliset toleranssit,

minkä jälkeen malleista tehtiin piirustukset. Kokoonpanoihin lisättiin myös standardin mukaiset ruuvit ja mutterit.

5 Tulokset

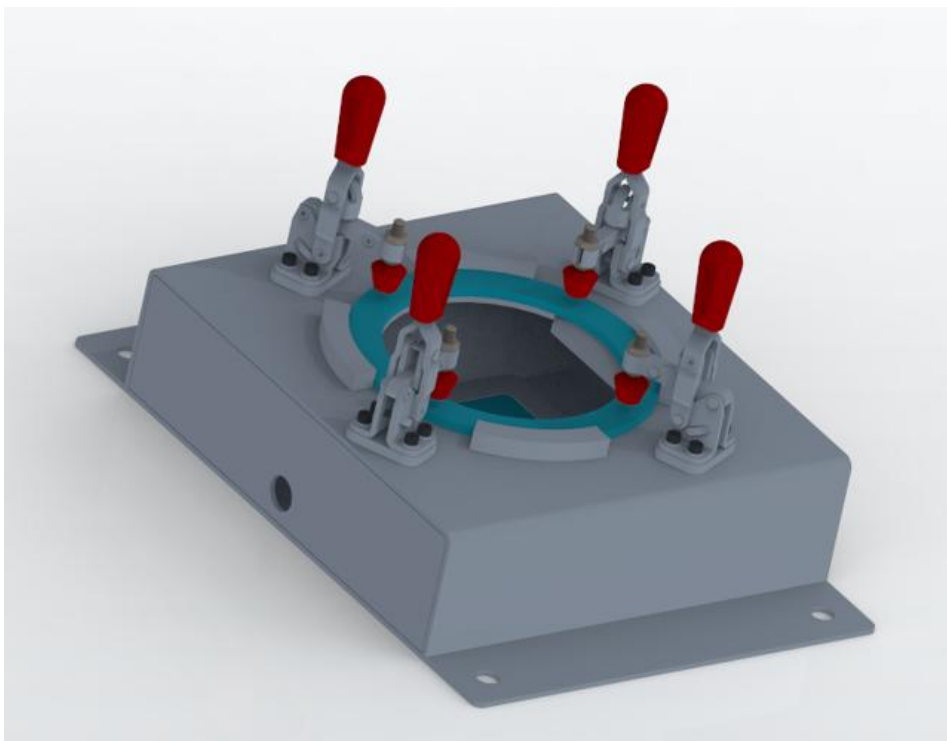
Lopputuloksena todettiin, että työkalu täyttää kaikki vaatimuslistassa esitetyt kiinteät ja vähimmäisvaatimukset. Lisäksi suunnittelulle asetettiin joitakin lisätoiveita, joista kaikkia ei kuitenkaan voitu toteuttaa suunnitteluprosessin aikana. Esimerkiksi testerin rakenteeseen toivottiin kaatoja, joiden avulla suihkutettava saippuavesi valuisi hallitusti keräysastiaan ja voitaisiin mahdollisesti uusiokäyttää. Tämä olisi ollut mahdollista toteuttaa lisäämällä kanttauksia, mutta samalla valmistusvirheiden riski olisi kasvanut. Tarkkuuden heikkeneminen olisi voinut vaikuttaa tiiviyteen, mikä teki ratkaisusta epäkäytännöllisen. Rakenteen yksinkertaisuus päätettiin säilyttää, jotta toimivuus varmistettaisiin ja jotta tulevaisuudessa testereitä voitaisiin valmistaa helposti lisää tuotannon tehostamiseksi.

Testerin kunnossapidettävyyden ja käytettävyyden huomioitiin jo suunnitteluvaiheessa. Yksinkertaiset tiivistysmenetelmät ja hyväksi todetut materiaalit valittiin parantamaan laitteen huollettavuutta ja kestävyyttä. Vaikka laite vaatii säännöllistä kunnossapitoa, sen helppo huollettavuus varmistaa, ettei tämä muodostu ongelmaksi. Tarkkoja huoltovälejä tiivisteille voidaan arvioida vasta, kun laite on ollut käytössä pidemmän aikaa.

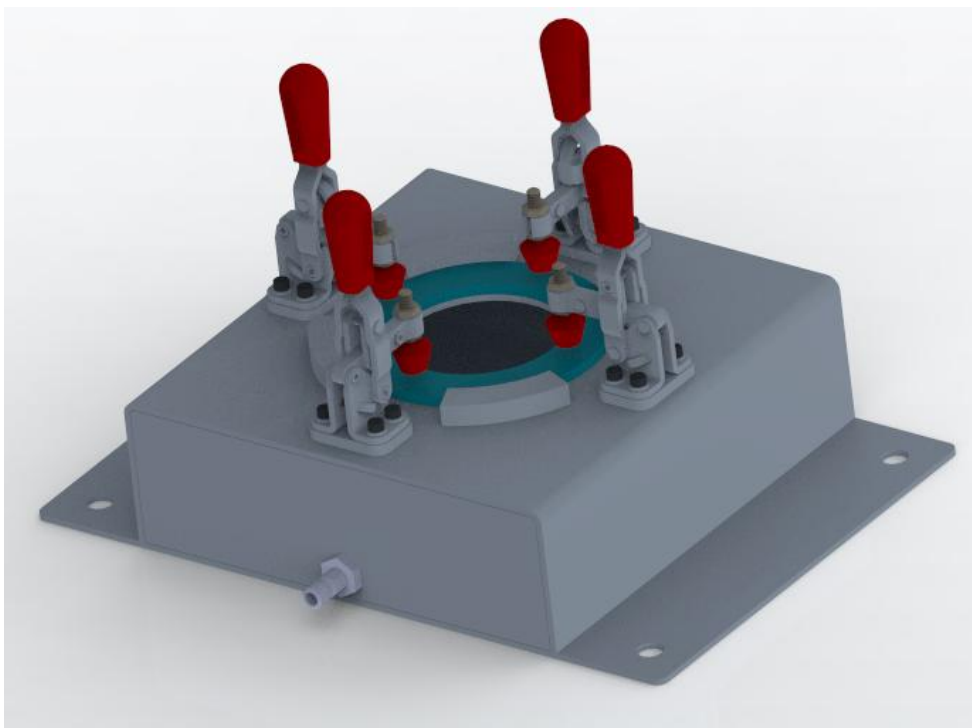
Aluksi käyttöturvallisuuden tarkastelu oli tarkoitus rajata opinnäytetyön ulkopuolelle, sillä kehitystyön arvioitiin olevan laaja. Kuitenkin laitteen turvallisuus parani luonnostaan suunnitteluprosessin myötä. Pienempien vertikaalipuristimien käyttöönotto ja päätös luopua vanhasta testeristä kokonaan paransivat turvallisuutta entisestään. Näin ollen vanhaa laitetta ei yhdistetty uuteen tiivistyslaitteeseen lainkaan.

Opinnäytteen lopputuloksena syntyi 4 erilaista testerimallia, joilla voi testata yhteensä 22 erilaista jatkos kotelo mallia. Kuvissa on 11, 12, 13 ja 14 3D mallit

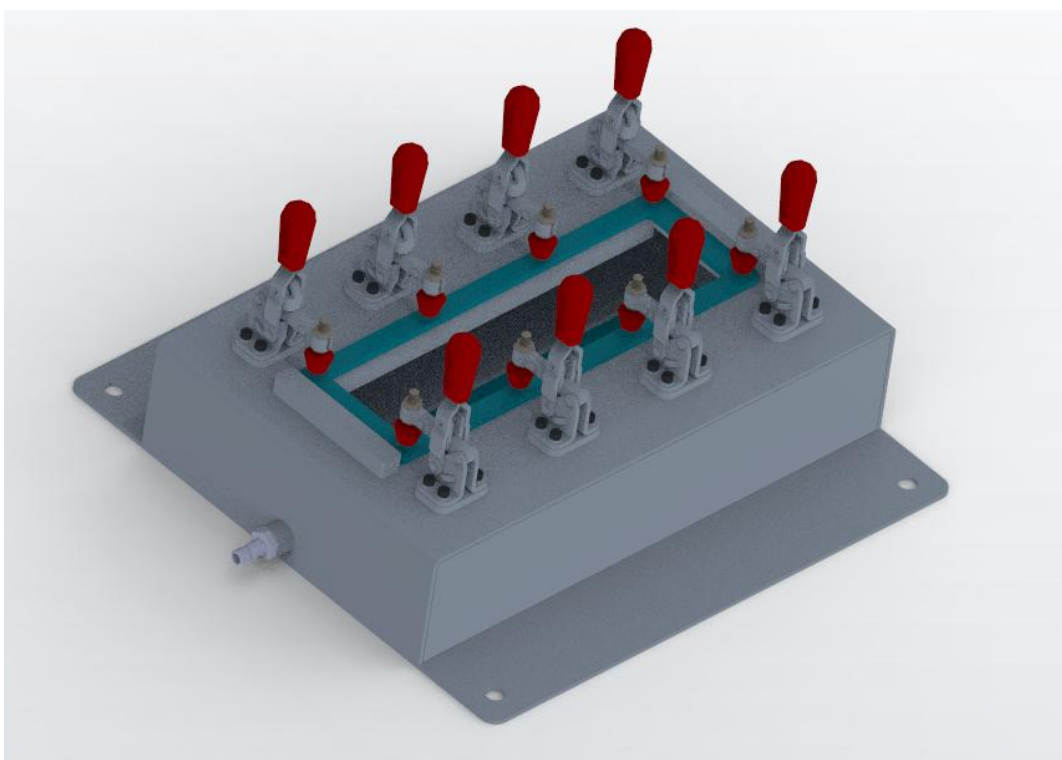
testeristä. Kolme jatkokotelomallia jäivät ilman testeriratkaisua, sillä niiden monimutkaiset muodot estivät testerin kehittämisen. 3D-malleista on nähtävissä, että kaikki toteutetut testerimallit perustuvat samaan yksinkertaiseen ratkaisumalliin, mutta ne on mitoitettu tarkasti kunkin kotelomallin vaatimusten mukaisesti.



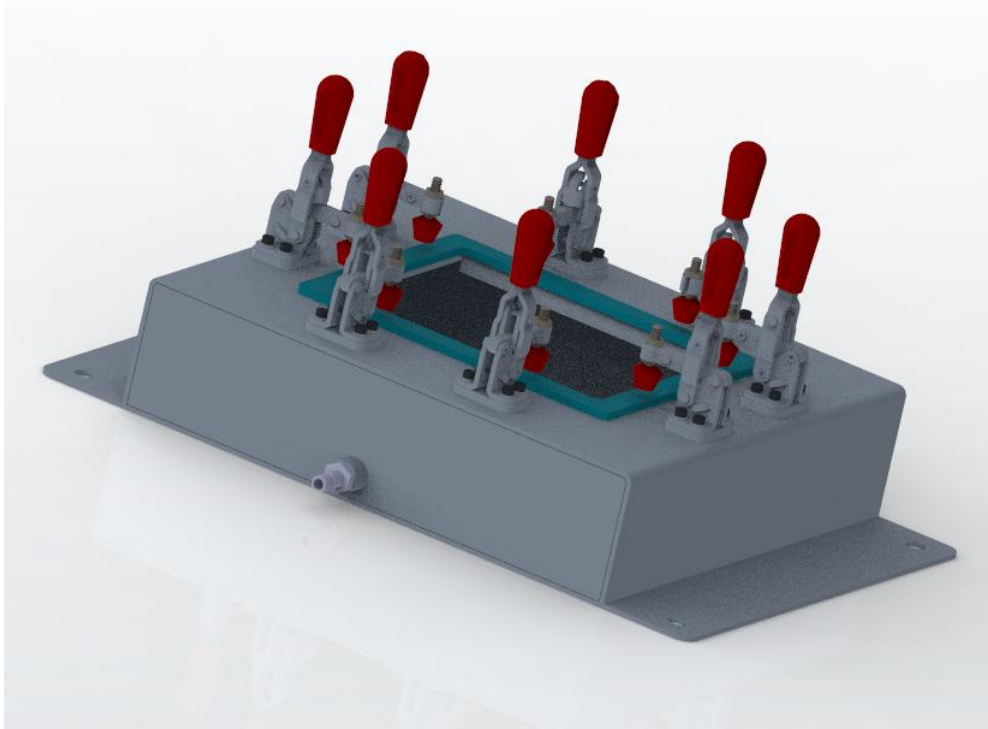
Kuva 11. 3D malli testeristä 1



Kuva 12. 3D malli testeristä 2



Kuva 13. 3D malli testeristä 3



Kuva 14. 3D malli testeristä 4

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuote kehittää jatkoskoteloille tarkoitettua tiiveystesteriä, jolla tarkastellaan jatkoskoteloiden hitsaus saumojen tiiveys. Opinnäytetyö oli hyvin tarpeellinen Joensuun Hanzalle, koska koteloiden suuri kysyntä ja testerin käyttö oli suuri pullonkaula tuotanto prosessissa.

Opinnäytetyö aloitettiin laatimalla kattava tietoperusta tuotekehitysprosesseista sekä tiivistämisen perusteista ja niiden toiminnasta. Työssä keskityttiin VDI 2222 -suunnittelumenetelmään, joka on vanha, mutta sen työkalut ja menetelmät ovat yhä käyttökelpoisia nykyaikaisessa tuotekehityksessä. Menetelmä perustuu ongelmanratkaisuprosesseihin, ja sen tavoitteena on tarjota suunnittelulle tieteellisempi perusta. Lisäksi menetelmän keskeinen ajatus on jakaa suunnittelu eri vaiheisiin, mikä helpottaa prosessin hallintaa ja toteuttamista. Tässä työssä ei kuitenkaan hyödynnetty kaikkia VDI 2222 -mallin

menetelmiä, vaan valittiin tarkoitukseen parhaiten soveltuvat työkalut. Tietoperustan toinen puolisko keskittyi tiivistysmekaniikan perusteisiin ja toimintamalleihin. Siinä käsiteltiin tiivistämisen merkitystä nykypäivän teollisuudessa sekä yleisimpiä tiivistystyökaluja, joita käytetään konetekniikan suunnittelussa. Lähdeaineisto koostui pääosin vanhemmista tutkimuksista ja asiantuntijakirjallisuudesta, mutta ne tarjosivat edelleen pätevää tietoa aihealueesta.

Toteutusvaiheessa työn pääpaino oli suunnittelussa ja mallinnuksessa. Suunnittelutyön alkuvaihe osoittautui haastavaksi, sillä nykyisessä tuotteessa oli laajoja ongelmia, joita ei olisi voitu ratkaista pelkillä pienimuotoisilla testeillä. Kehitysprosessi eteni kuitenkin sujuvasti tiiviin yhteistyön ansiosta. Keskustelut tuotanto- ja suunnitteluhenkilöstön kanssa sekä ratkaisuvaihtoehtojen ideointi auttoivat luomaan yhteisen ja selkeän näkemyksen tulevasta kehitystyöstä. Lopulta kehitys- ja suunnittelutyö valmistui asetetun aikataulun puitteissa.

Työn tuloksena syntyi neljä erilaista testerimallia, joilla voidaan testata yhteensä 22 erilaista kotelomallia. Suunnittelun päätavoitteena oli kehittää mahdollisimman varmatoiminen laite, joka ei vaadi käyttäjältään aikaa vievää säätämistä ja mahdollistaa tehokkaan sarjatestauksen. Erityistä huomiota kiinnitettiin myös laitteen käyttöturvallisuuden parantamiseen. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan päästy testaamaan laitteen toimivuutta käytännössä, mutta toimeksiantaja antoi valmiista suunnitelmasta positiivista palautetta.

Opinnäytetyö toteutettiin eettisiä periaatteita noudattaen. Kaikki työssä käytetty tieto, joka perustui aiempiin lähteisiin, merkittiin asianmukaisesti lähdeviitteillä. Lisäksi työssä otettiin huomioon toimeksiantajan tietoturvamääräykset, jotta varmistettiin, ettei se sisällä salassa pidettävää tietoa.

Työn aikana pääsin monipuolisesti soveltamaan opintojeni aikana hankittua osaamista. Mielenkiintoinen aihe ja työympäristö tekivät projektista mielekkään ja motivoivan. Prosessin edetessä opin paljon uutta suunnittelutyöstä, tuotekehitysprosessista sekä koneensuunnittelusta. Työlle asetetut vaatimukset

toivat haastetta ja edellyttivät asioiden tarkastelua useista eri näkökulmista, mikä syvensi ymmärrystäni suunnittelutyön luonteesta ja sen vaatimuksista.

7 Lähteet

Cowseal. 2024.

<https://cowseal.com/what-are-static-seals/> (16.12.2024).

Flitney, R. 2007. Seals and Sealing Handbook. 5. painos.

Butterworth-Heinemann (Elsevier), Oxford, Burlington

Hanza mechanics 2024a. Sopimusvalmistus maailmanlaajuisella verkolla –

HANZA. <https://hanza.com/fi/>. (10.12.2024)

Hanza mechanics 2024b. HANZA Mechanics Joensuu.

<https://hanza.com/manufacturing-clusters/cluster-finland/hanza-mechanics-joensuu/>. (10.12.2024)

Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. 3. painos. Helsinki: BoD – Books on Demand

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. 6. painos. Helsinki:

Otatieto. Oy Yliopistokustannus University Press Finland

J. Jänsch & H. Birkhofer 2006.

The Development of the guideline vdi 2221 - the change of direction. international design conference - design 2006 Dubrovnik – Croatia.

Klinger Finland

<https://klinger.fi/en/products/industrial-gaskets/o-rings/> (3.1.2025)

Melvin, W. 1990. Seals & Sealing Handbook. 3. painos.

Mayfield House, 256 Banbury Road, Oxford OX2 7DH England.

Mertanen, J. 2014. Tuotekehitys kurssin opintomateriaali.

Karelia Ammattikorkeakoulu

Powermotiontech 2018

<https://www.powermotiontech.com/technologies/seals/article/21887824/matching-seals-to-dynamic-sealing-applications>

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos.

Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

Sanoma Pro. 2014. Koneenosien suunnitelu. 6. painos. Helsinki:

Sanoma Pro Oy

Tekant 2025

<https://www.tekant.fi/fi> (14.2.2025).

