



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KOELAITTEEN KEHITYS ELASTOMEERIPROFIILIIEN TESTAAMISEEN

TEKIJÄ: Ville Härkönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Ville Härkönen			
Työn nimi Koelaitteen kehitys elastomeeriprofiilien testaamiseen			
Päiväys	22.4.2020	Sivumäärä/Liitteet	50
Ohjaajat Kai Kärkkäinen, Mika Mäkinen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Andritz Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää koelaitte elastomeeriprofiilien testaamiseen. Koelaitteella on tarkoitus päästä testaamaan uusia materiaali- ja rakennevaihtoehtoja Andritz Oy:n DD-pesurin tiiviste-elementin ponneprofiiliksi. Projektin aihe rajattiin opinnäytetyön osalta konseptisuunnitteluun, sisältäen koelaitteen toimintaperiaatteen, tärkeimmät komponenttivalinnat ja 3D-mallin. Valmistuspiirustukset ja koelaitteen valmistaminen tullaan toteuttamaan erillisenä projektina opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.</p> <p>Koelaitteen suunnittelu toteutettiin mukaillen Ulrich-Eppinger –menetelmän mukaista tuotekehitysprosessia sekä VDI 2221 mukaista konstruktioprosessia. Tämän ansiosta koelaitteen kehitys eteni järjestelmällisesti tuotekehitysprosessin eri vaiheiden mukaisesti. Koelaitteen suunnittelun perustana oli lisäksi käytännöstä elastomeeriprofiilien kulumisesta saadut kokemukset sekä kirjallisuudesta saadut tiedot elastomeerien materiaaliteknisistä ominaisuuksista. Komponenttivalintoihin ja rakenteen lopulliseen muodostumiseen auttoivat laskelmat tarvittavista voimista ja niistä aiheutuvista rasituksista.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin 3D-malli epäkesko-periaatteella toimivasta koelaitteesta, jolla pystytään tuottamaan elastomeeriprofiileille sekä fyysistä, että kemiallista rasitusta. Työn lopputulos oli toivotun mukainen ja se valmistui aikataulun ja budjetin rajoissa. Opinnäytetyön seurauksena päästään valmistamaan koelaitte, jolla Andritz Oy saa tehtyä jatkossa tuotekehitystyötä DD-pesurin toiminnan kannalta merkittäville komponenteille.</p>			
Avainsanat Andritz Oy, koelaitte, koneensuunnittelu, tuotekehitys			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author Ville Härkönen			
Title of Thesis Developing a Test Device for Elastomer Profiles			
Date	22 April 2020	Pages/Appendices	50
Supervisors Kai Kärkkäinen, Mika Mäkinen			
Client Organisation /Partner Andritz Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the bachelor´s thesis was to design a test device for elastomer profiles. The test device is intended to be used to test new material and structure options for the seal bar pressure profile of the pulp washer, designed by Andritz Oy. The topic of the project was limited to concept design, including operation principles, selection of components and a 3D-model. Manufacturing drawings and fabrications of the test device will be done as a separate project after the completion of the thesis.</p> <p>The design of the test device was carried out according the Ulrich-Eppinger and VDI 2221 product development processes. Thanks to this, the development of the test device progressed systematically according to the various stages of the product development process. The design of the test device was also based on practical experience of the wear of elastomer profiles and information on the material properties of elastomers from the literature. Calculations of the required forces and tensions helped with the component choices and the final formation of the structure.</p> <p>Result of the thesis was a 3D-model of a test device, which is operating on the eccentric principle. The test device is able to produce both physical and chemical stress for elastomer profiles. The result of the work was as desired and the work was completed within the schedule and budget. As a result of the thesis, it is possible to manufacture a test device, which Andritz Oy will be able to use in product development work in the future for components that are significant for the operation of the DD-washer.</p>			
Keywords Andritz Oy, test device, mechanical engineering, product development			

ESIPUHE

Opinnäytetyö on suoritettu Andritz Oy:lle osana Andritzin laajempaa tuotekehitystoimintaa. Opinnäytetyön toteuttaminen tapahtui pääasiassa Andritz Oy:n Savonlinnan toimipisteellä kevään 2020 aikana.

Haluan kiittää Andritz Oy:tä ja tuoteryhmäpäällikkö Pasi Immosta haastavan ja mielenkiintoisen opinnäytetyön aiheen tarjoamisesta. Erityinen kiitos kuuluu tuotepäällikkö Jarkko Hytöselle ohjaamisesta ja korvaamattomista neuvoista sekä tuesta koko opinnäytetyö prosessin aikana. Lisäksi kiitos kuuluu projektipäällikkö Juha Vajalalle sekä kaikille muille Washers&Filters ryhmän työntekijöille avunannosta ja asiantuntevista neuvoista. Opinnäytetyön valmistumisen kannalta merkittävässä roolissa oli myös hyvää ohjausta ja apua Savonia ammattikorkeakoulun puolelta tarjonnut Kai Kärkkäinen. Kiitoksen tukemisesta ja jaksamisesta ansaitsevat myös kaikki henkilökohtaiset tukijoukkoni.

Savonlinnassa 24.4.2020

Ville Härkönen

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	7
2 TOIMEKSIANTAJA.....	8
2.1 Andritz Group	8
2.2 Andritz Oy	8
3 TUOTEKEHITYS- JA KONSTRUKTIOPROSESSI.....	9
3.1 Järjestelmällinen tuotekehitys	9
3.2 Konstruktioprosessi	10
3.2.1 Tehtävänasettelun selvittäminen	12
3.2.2 Luonnostelu	13
3.2.3 Kehittely	15
3.2.4 Viimeistely	17
4 ELASTOMEERIT.....	19
4.1 Mekaaniset ominaisuudet	19
4.2 Kemialliset ominaisuudet	20
4.3 Lämpötekniset ominaisuudet	21
5 KOELAITTEEN KEHITYS	23
5.1 Aloitus ja taustatiedot	23
5.2 Tehtävän asettelu	23
5.3 Luonnostelu.....	24
5.4 Kehittely.....	28
5.5 Viimeistely.....	33
5.6 Lopputulos	34
6 YHTEENVETO	36
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	38
LIITE 1: VAATIMUSLISTAN 1. PAINOS.....	39
LIITE 2: VAATIMUSLISTAN 2. JA LOPULLINEN PAINOS.....	40
LIITE 3: KOELAITTEEN OSATOIMINNOT	41
LIITE 4: KOELAITTEEN LUONNOKSET	42
LIITE 5: PROFIILIN RASITUKSEEN TARVITTAVAN VOIMAN LASKEMINEN	45
LIITE 6: SÄHKÖMOOTTORIN JA EPÄKESKON MITOITUS.....	46

LIITE 7: KIILAHIHNAVÄLITYKSEN MITOITUS.....	47
LIITE 8: AKSELIN MITOITUS	48
LIITE 9: KOELAITTEEN RUNGON LUJUUSTARKASTELU	49
LIITE 10: SILIKONILÄMPÖMATON TIEDOT.....	50

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Andritz Oy:n DD-pesurin tiiviste-elementin elastomeerisen ponneprofiilin testaukseen soveltuva koelaitte. Tarve koelaitteen kehittämiseksi on syntynyt ponneprofiilista käytössä havaituista ongelmista. Koelaitteella tulisi pystyä simuloimaan sellutehtaan olosuhteita ja näin ollen mahdollistamaan ponneprofiilin kehitystyön tekeminen.

Opinnäytetyössä koelaitteen kehitystä lähestytään aluksi teorialtasolla perehtymällä koneensuunnittelu- ja tuotekehitysprosessiin. Koelaitteen kehittämisen kannalta on oleellista tietää ponneprofiileissa käytettävien materiaalien ominaisuuksista, joten opinnäytetyö sisältää myös katsauksen elastomeerien materiaaliteknisistä ominaisuuksista.

Koelaitteella tulisi pystyä testaamaan ponneprofiilin fyysisiä ominaisuuksia rasittamalla sitä mekaanisesti. Ponneprofiili altistuu käytössä myös kemialliselle rasitukselle, jota koelaitteen pitäisi myös pystyä jäljittelemään. Tavoitteena koelaitteella on pystyä testaamaan ponneprofiilille eri rakenne- ja materiaalivaihtoehtoja pienemmässä mittakaavassa ennen tehdasolosuhteisiin siirtymistä. Koelaitteessa hyväksi havaitut ratkaisut pääsevät seuraavaksi tehdasmittakaavaan kokeisiin Andritz Oy:n DD-pesuriin.

Opinnäytetyö on luonteeltaan tuotekehitysprojekti, jonka aikana on tavoitteena saada kehitettyä ponneprofiilien testaamiseen soveltuvan koelaitteen toimintaperiaatteen esittävä malli. Työ tulee sisältämään toimintaperiaatteen lisäksi 3D-mallin koelaitteesta, sekä tarvittavat komponenttivalinnat. Koelaitteen valmistaminen ja ponneprofiilin testaus- ja kehitystyö tullaan suorittamaan erillisinä projekteina opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

2 TOIMEKSIANTAJA

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Andritz Oy:n KFT-divisioonan Washers&Filters ryhmä. Tämä Savonlinnan toimipisteellä toimiva yksikkö on keskittynyt sellutehtaan kuitulinjan pesuprosessin toimintoihin. Päätuotteena tällä osa-alueella Andritzilla on DD-pesuri, jonka kehitystyöhön myös tämä opinnäytetyö liittyy.

2.1 Andritz Group

Andritz on vuonna 1852 perustettu itävaltalainen monialainen teollisuuskonserni. Andritz tarjoaa laitteita, järjestelmiä, laitteita ja palveluja useille eri toimialoille. Toiminnot ovat nykyään jakautuneet neljään pääryhmään, jotka ovat: Hydro, Metals, Pulp&Paper ja Separation. Andritz toimii yli 40 maassa työllistäen noin 29 700 henkilöä. Andritzin toiminnan tärkeimmät arvot ovat intohimo, kumpuutus, näkökulmat ja monipuolisuus. (Andritz, 2020.)

2.2 Andritz Oy

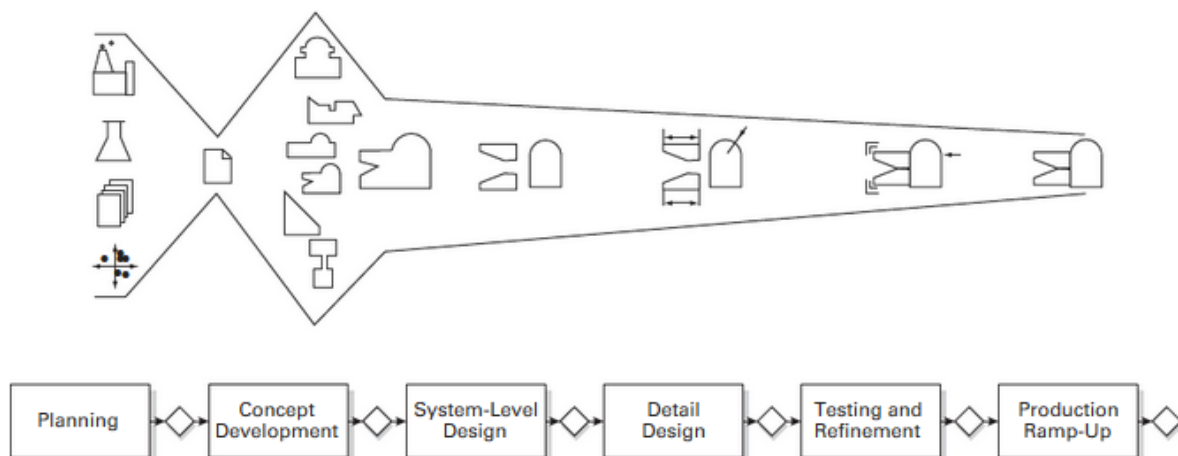
Andritz Oy on Andritzin suomalainen tytäryhtiö, joka toimii pääasiassa paperi- ja selluteollisuuden laitetoimittajana. Andritz Oy:n pääkonttori sijaitsee Helsingissä, jonka lisäksi toimipisteet löytyvät Kotkasta, Savonlinnasta, Varkaudesta, Tampereelta, Lahdesta ja Lappeenrannasta. Yhteensä nämä työllistävät yli 1300 henkilöä. Andritz Oy omistaa lisäksi kaksi konepajaa: Andritz Savonlinna Works Oy:n ja Andritz Varkaus Works Oy:n. Andritz Oy:n toiminta sellu- ja paperiteollisuudessa perustuu suurimmalta osalta sen hankkimien yritysten Kone Woodin ja Ahlstrom Machinery Oy:n teknologioiden pohjalle. Nykyään Andritz Oy on yksi johtavista sellu- ja paperiteollisuuden palveluiden ja laitteiden tarjoajista maailmassa. (Andritz Oy, 2020.)

3 TUOTEKEHITYS- JA KONSTRUKTIOPROSESSI

Opinnäytetyössä tullaan kehittämään koelaitte elastomeeriprofiilien testaamiseen. Koelaitteen kehitys tullaan suorittamaan mukaillen tuotekehityksen ja koneensuunnittelun yleisiä käytäntöjä ja ohjeistuksia. Näistä tullaan tässä työssä käsittelemään tarkemmin Ulrich-Eppinger menetelmän mukaista tuotekehitysprosessia, sekä koneensuunnitteluun tarkemmin keskittyvää VDI 2221 ohjeistuksen mukaan kulkevaa konstruktioprosessia.

3.1 Järjestelmällinen tuotekehitys

Tuotekehitystoiminnassa on tyypillistä toteuttaa tuotekehitysprosessi jonkin olemassa olevan toimintamallin tai ohjeen mukaisesti. Varsin tunnettu tällainen toimintamalli on Ulrich-Eppinger -menetelmä. Tämän menetelmän mukaan tuotekehitysprosessi on sarja eri vaiheita, joita yritys työstää läpi suunnitellessaan tuotetta (Ulrich & Eppinger 2016, 12). Ulrich-Eppinger -menetelmä jakaa tuotekehityksen vaiheisiin alla olevan kuvion 1 mukaisesti.



KUVIO 1, Ulrich-Eppinger -menetelmän mukainen tuotekehitysprosessi. (Ulrich & Eppinger 2016, 14.)

Kuvan 1 vaiheet voidaan suomentaa ja tarkentaa seuraavasti:

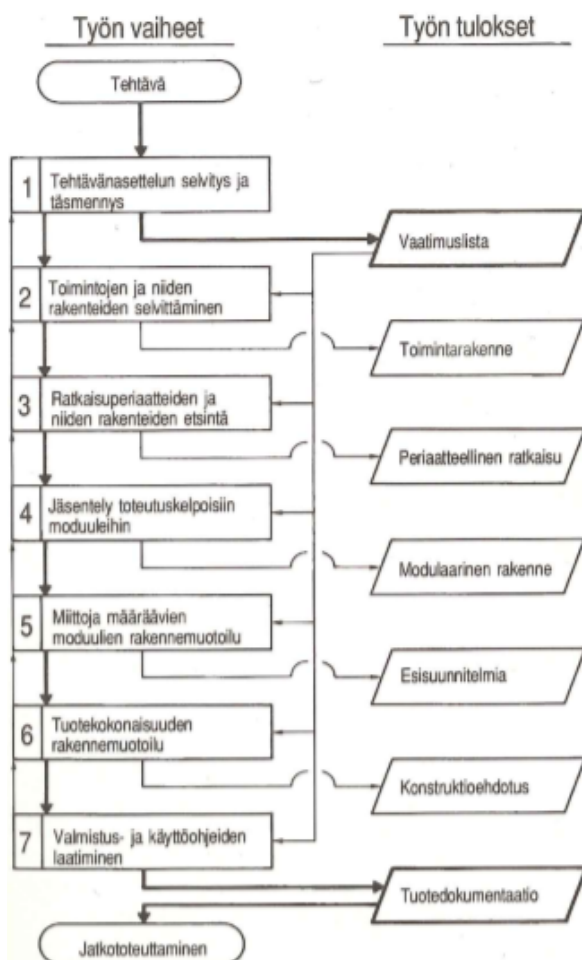
- 0. Suunnittelu:** Suunnittelua kutsutaan nolla vaiheeksi, sillä se edeltää varsinaisen tuotekehitysprosessin aloitusta. Suunnitteluvaiheen tuloksena tulisi olla selvillä tuotteen kannalta tärkeät tavoitteet, oletukset ja rajoitteet.
- 1. Konseptin kehittäminen:** Konseptointi vaiheessa on tavoitteena määrittää asiakastarve, sekä luoda ja arvioida erilaisia tuotekonsepteja, joista valitaan yksi tai useampi jatkokehitystä ja testaamista varten.
- 2. Järjestelmätason suunnittelu:** Järjestelmätason suunnitteluun kuuluu tuotearkkitehtuurin määrittäminen, tuotteen jakaminen osatoimintoihin, sekä alustava suunnittelu tärkeimmille komponenteille.

- 3. Yksityiskohtainen suunnittelu:** Yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheeseen kuuluu tuotteen lopullisen muodon, mittojen ja toimintojen määrittäminen, komponentti- ja materiaalivalinnat, sekä valmistuksen ja sen kustannusten suunnittelu. Tämän vaiheen lopputuloksena syntyy myös tuotteen valmistuspiirustukset.
- 4. Testaus ja viimeistely:** Testaus- ja viimeistelyvaiheessa tuotteesta valmistetaan ensimmäinen prototyyppi, jota testataan ja kehitetään. Tarvittaessa prototyyppijä voidaan valmistaa useampia kappaleita ja ne voivat olla jo hyvin lähellä lopullista tuotetta.
- 5. Tuotannon käynnistäminen:** Viimeisessä vaiheessa tuote valmistetaan käyttäen sille suunniteltua tuotantojärjestelmää. Tavoitteena on löytää vielä mahdollisia ongelmia tuotteesta tai tuotannosta ennen varsinaisen tuotannon käynnistämistä.

(Ulrich & Eppinger 2016, 13-16.)

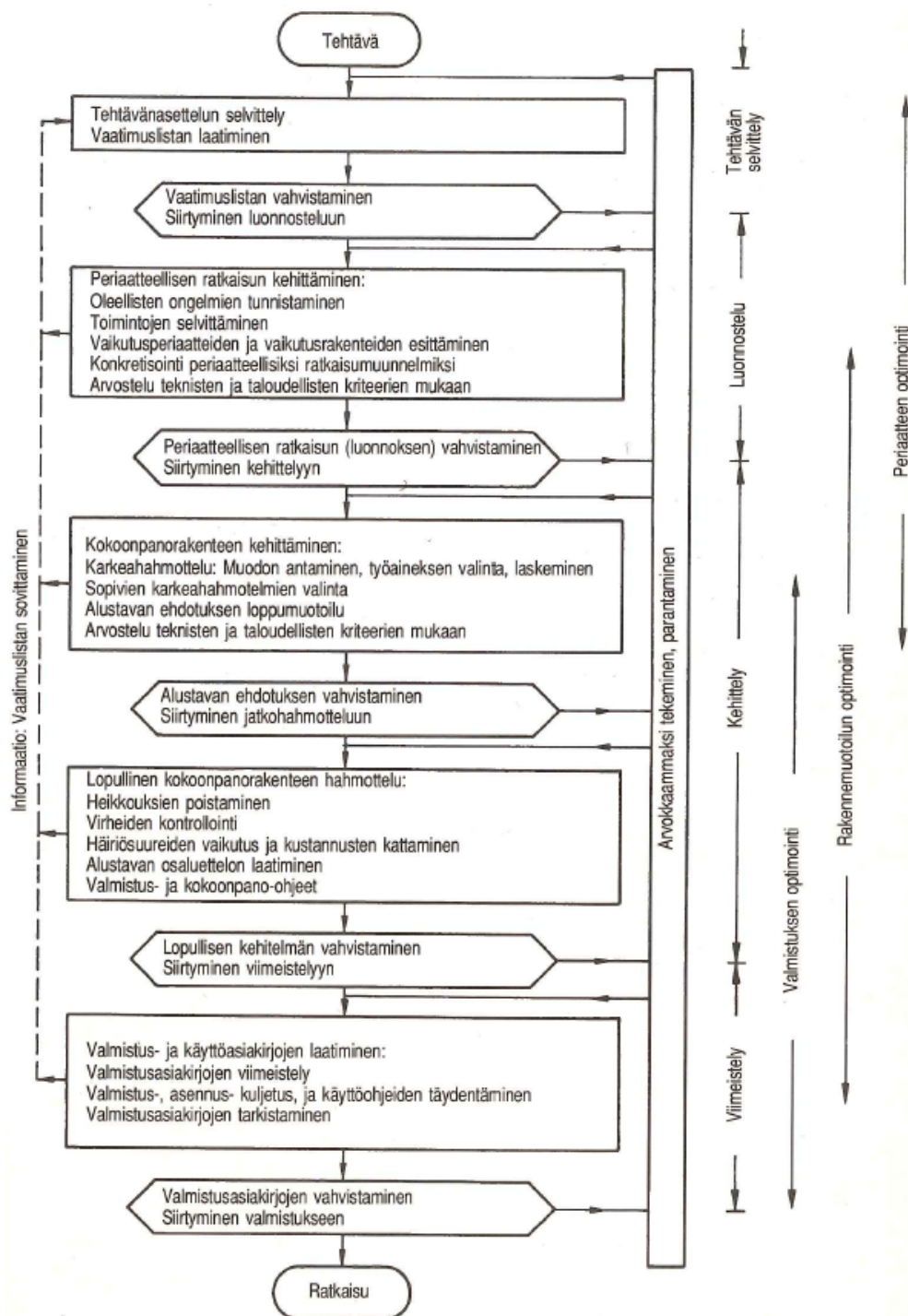
3.2 Konstruktioprosessi

Konstruktioprosessilla tarkoitetaan tuotekehitys- ja suunnitteluprosessia koneensuunnittelussa. Ohjeistuksen VDI 2221 mukaan kulkeva konstruktioprosessi keskittyy tarkemmin tuotesuunnitteluun verrattuna Ulrich-Eppinger -menetelmän tuotekehitysprosessiin. Näin ollen koelaitteen suunnittelu tässä opinnäytetyössä tullaan suorittamaan suurilta osin VDI 2221 ohjeistusta mukaillen, käyttäen tämän tukena myös Ulrich-Eppinger -menetelmää.



KUVIO 2, Kehitystyön yleinen kulku VDI 2221 mukaan. (Pahl & Beitz 1986, 47.)

Tuotekehitys- ja konstruktioprosessi jaetaan VDI 2221 ohjeistuksessa seitsemään eri askeleeseen kuvion 2 mukaisesti. Jokaisesta askeleesta on esitetty tarvittavat toimenpiteet, sekä niitä seuraavat tulokset. Työ etenee ohjeistuksen mukaan noudattaen yleistä ratkaisuprosessia, sekä koneensuunnittelun perusteita. Nämä seitsemän vaihetta voidaan johtaa eteenpäin neljään päävaiheeseen, joista saadaan luotua kuviossa 3 näkyvät konstruktioprosessin työaskeleet. Nämä neljä päävaihetta ovat: tehtävän asettelun selvittely, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Näiden lisäksi kuviossa on tarkennettu työaskeleita vastaavat toimenpiteet ja näin ollen koko konstruktioprosessin kulku tehtävästä ratkaisuun. (Pahl & Beitz 1986, 47-48.)



KUVIO 3, Konstruktioprosessin vaiheet. (Pahl & Beitz 1986, 51.)

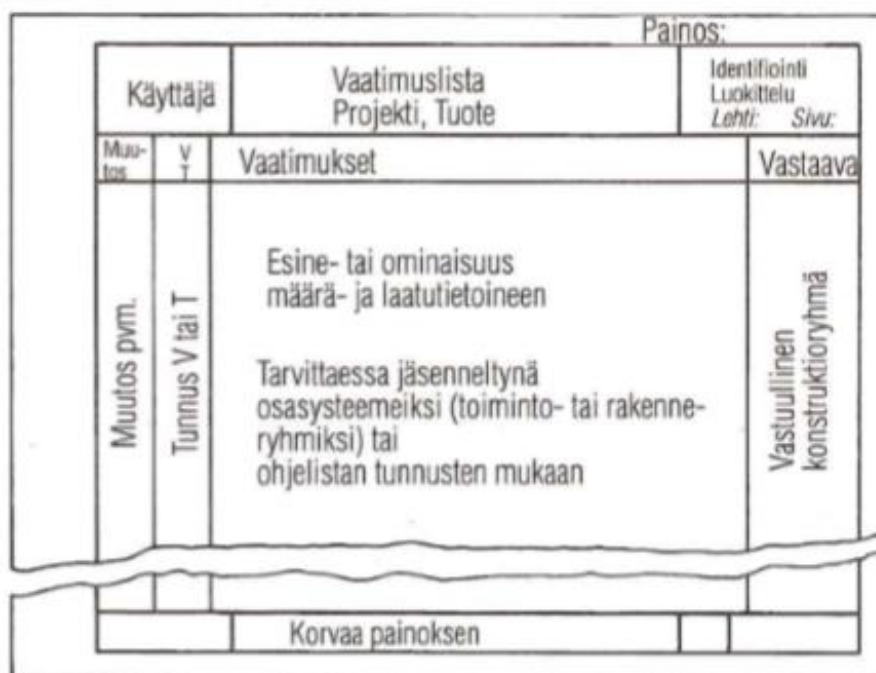
3.2.1 Tehtävänasettelun selvittäminen

Tuotekehitys- ja konstruktio työ alkaa aina ongelman ja kehityksen kohteen selvittämisellä. Ongelmasta täytyy löytää sen reunaehdot, toivomukset sekä vaatimukset heti prosessin alussa. Tehtävänasettelun selvittelyssä olennaisia kysymyksiä ovat lisäksi tulevan tuotteen ominaisuuksien tarpeellisuus tai tarpeettomuus, sekä itse tehtävänasettelun ymmärtäminen. Tämä antaa hyvän kuvan tulevasta työstä ja näin ollen helpottaa ja selkeyttää projektin kulkua huomattavasti. Tehtävänasettelusta tarpeellisen tiedon selvittyä, seuraava askel on vaatimuslistan laatiminen. (Pahl & Beitz 1986, 62-63.)

Vaatimuslista

Koneensuunnitteluprosessin alkuvaiheessa laadittava vaatimuslista toimii tuotteen suunnittelun pohjana ja rajoitteena. Vaatimuslistaan ideoidaan vaihtoehtoisia ratkaisuja erinäisistä toiminnoista, jotka jaotellaan toivomuksiin ja vaatimuksiin. Vaatimukset täytyy pystyä täyttämään kaikissa oloissa ja niiden täyttämättä jättäminen tarkoittaa täten kyseisen ratkaisun hylkäämistä. Toivomukset puolestaan otetaan mahdollisuuksien mukaan huomioon, mutta niiden täytyminen ei ole välttämätöntä. Vaatimuslista esittää täten projektin lähtökohdat, mutta sitä ajan tasalla pidettäessä, se toimii myös myöhemmin projektin ajankohtaisena asiakirjana. (Pahl & Beitz 1986, 64.)

Vaatimuslistan rakenne näkyy alla kuviossa 4. Vaatimuslistassa esitetään kuvassa näkyvät pohjatiedot, jonka lisäksi siihen aletaan listata vaatimuksia ja toivomuksia. Vaatimuslistan rakenne voidaan myös jakaa osatoimintoihin, esimerkiksi toiminnallisten tai rakenteellisten ominaisuuksien mukaan. Kun tehtävän selvittely ja vaatimukset on saatu tarpeeksi pitkälle ja toteutuskelpoiseen muotoon, voidaan vaatimuslista vahvistaa ja siirtyä luonnosteluvaiheeseen. (Pahl & Beitz 1986, 64-68.)



KUVIO 4, Vaatimuslistan rakenne. (Pahl & Beitz 1986, 65.)

3.2.2 Luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa on tarkoituksena päätyä periaatteelliseen ratkaisuun eli luonnokseen. Luonnostelu alkaa abstrahoimisella, josta siirrytään toimintorakenteen laatimiseen, vaikutusperiaatteiden etsimiseen käyttäen apuna osatoimintoihin jakoa ja lopulta tavoitteena on päätyä periaatteelliseen ratkaisuun. (Pahl & Beitz 1986, 71.)

Abstrahointi

Abstrahointi on luonnostelun ensimmäinen vaihe, jossa ongelmaa lähestytään yleisellä tasolla korostaen oleellisia asioita ja yleispätevyyttä. Abstrahointivaiheessa analysoidaan reunaehdot käyttäen apuna vaatimuslistan toimintoja. Tavoitteena tässä vaiheessa on ”tavoitteen määrittely abstraktilla tasolla sitoutumatta minkäänlaiseen ratkaisuun (Pahl & Beitz 1986, 74).” Abstrahointivaiheessa hyvä toimintatapa on edetä vaiheittain alla näkyvien askeleiden mukaan. (Pahl & Beitz 1986, 72-74.)

Abstrahoinnin askeleet:

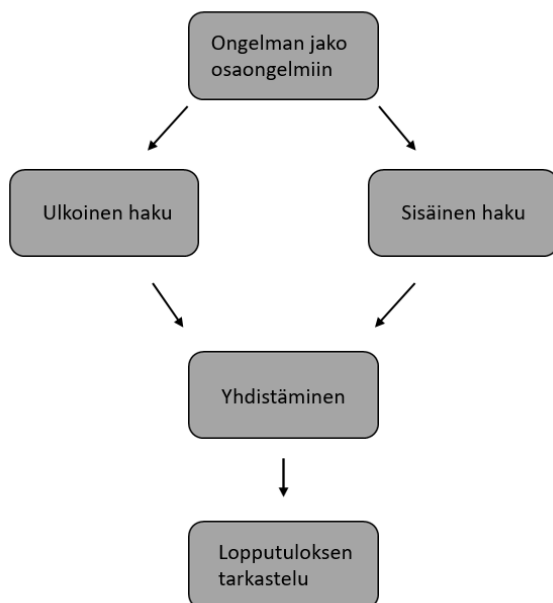
1. askel: Jätetään ajatuksista toivomukset pois.
2. askel: Jätetään sellaiset vaatimukset pois, jotka eivät välittömästi koske toimintaa ja oleellisia ehtoja.
3. askel: Määrälliset toteamukset muutetaan laadullisiksi ja supistetaan oleellisen pitäytyviksi lausumiksi.
4. askel: Laajennetaan mielekkäästi tähän saakka tunnettua.
5. askel: Muotoillaan ongelma ratkaisuun nähden neutraalisti.

(Pahl & Beitz 1986, 74.)

Toimintorakenteen laatiminen ja jako osatoimintoihin

Abstrahoinnista jatketaan toimintorakenteen laatimiseen. Toimintorakenteen laatimisessa suunniteltavan tuotteen päätoiminnot jaetaan osatoimintoihin. Tavoitteena tässä on saada monimutkaisia toimintoja hajautettua yksinkertaisemmiksi osatoiminnoiksi. Osatoimintojen avulla voidaan helposti eritellä ja kehittää tuotteen osasysteemejä. Näitä osatoimintoja on lopuksi tarkoitus saada yhdistettyä yhteen yksinkertaiseksi toimintorakenteeksi. Parhaimmillaan toimintojen jäsentely toimintorakenteen avulla säästää myös aikaa ja kustannuksia. (Pahl & Beitz 1986, 81-83.)

Ulrich-Eppinger –menetelmässä tätä luonnosteluvaihetta lähestytään myös ongelman jakamisella pienempiin kokonaisuuksiin. Ongelman ollessa jaettu sopiviin osiin aletaan ratkaisua etsiä ulkoisen ja sisäisen haun avulla kuvion 5 mukaisesti. Ulkoisessa haussa etsitään ratkaisua käyttäen kaikkea saatavilla olevaa tietoa, esimerkiksi olemassa olevia tuotteita tai materiaaleja. Sisäinen haku tapahtuu ideoimalla uusia asioita käyttäen luovan työn menetelmiä. Tämän jälkeen hakujen tulokset voidaan yhdistellä erilaisiksi vaihtoehtoiksi, joita lopuksi tarkastellaan. (Hietikko 2016, 102-103.)



KUVIO 5, Luonnostelu prosessi. (Hietikko 2016, 103)

Vaikutus- ja ratkaisuperiaatteet

Edellisessä vaiheessa laaditun toimintarakenteen ja osatoimintojen ongelmien ratkaisemiseksi etsitään niille vaikutusperiaatteita. Vaikutusperiaatteisiin kuuluvat kaikki toimintojen toteuttamiseen tarvittavat ominaispiirteet, kuten geometria tai fysikaaliset ominaisuudet. Osatoiminnoille etsittävät vaikutusperiaatteet yhdistellään vaikutusrakenteeksi, josta päästään myöhemmin myös periaatteelliseen ratkaisuun eli luonnokseen. (Pahl & Beitz 1986, 99.)

Vaikutusperiaatteiden hakuun on monia eri menetelmiä. Näitä voivat olla esimerkiksi kirjallisuuslähteet, tekniset menetelmät kuten mittaukset tai analyysit, sekä erilaiset intuitiiviset menetelmät. Intuitiivisissa menetelmissä ratkaisuperiaatteiden haku tapahtuu eri ideointimenetelmien avulla. Tyypillisesti intuitiivisissa menetelmissä hyödynnetään useamman asiantuntijan osaamista esimerkiksi aivoriihen avulla. (Pahl & Beitz 1986, 99-128.)

Samoin kuten Ulrich-Eppinger menetelmässä, tulee myös VDI 2221 ohjeistuksen mukaan vaikutusperiaatteita yhdistellä eteenpäin vaikutusrakenteeksi. Tässä perustana toimii aiemmin määritelty toimintorakenne, sekä osatoiminnot. Työkaluna yhdistelyssä voidaan käyttää ideamatriisia, jossa osatoiminnoille esitetyt ratkaisuvaihtoehdot ovat koottu yhteen ja näitä tulkitsemalla päästään ratkaisuehdotukseen. (Pahl & Beitz 1986, 129-133.)

Periaatteellisen ratkaisun löydyttyä täytyy se saada konkretisoitua. Ratkaisuperiaatteet eivät tässä vaiheessa välttämättä ole vielä tarpeeksi vahvalla pohjalla, vaan niitä täytyy tarkentaa keräämällä lisää informaatiota. Mahdollisten tarkentavien laskelmien tai yksityiskohtien hiomisen jälkeen voidaan vaikutusrakenteille suorittaa pistearviointi. Pisteytys suoritetaan ottaen huomioon vaatimuslistan asettamat toiveet ja vaatimukset, sekä kunkin seikan painoarvo. Vaatimuslistan lisänä pisteytyksessä apuna voidaan käyttää VDI 2221 ohjeistuksen mukaista, kuviossa 6 näkyvää luonnosten arvi-

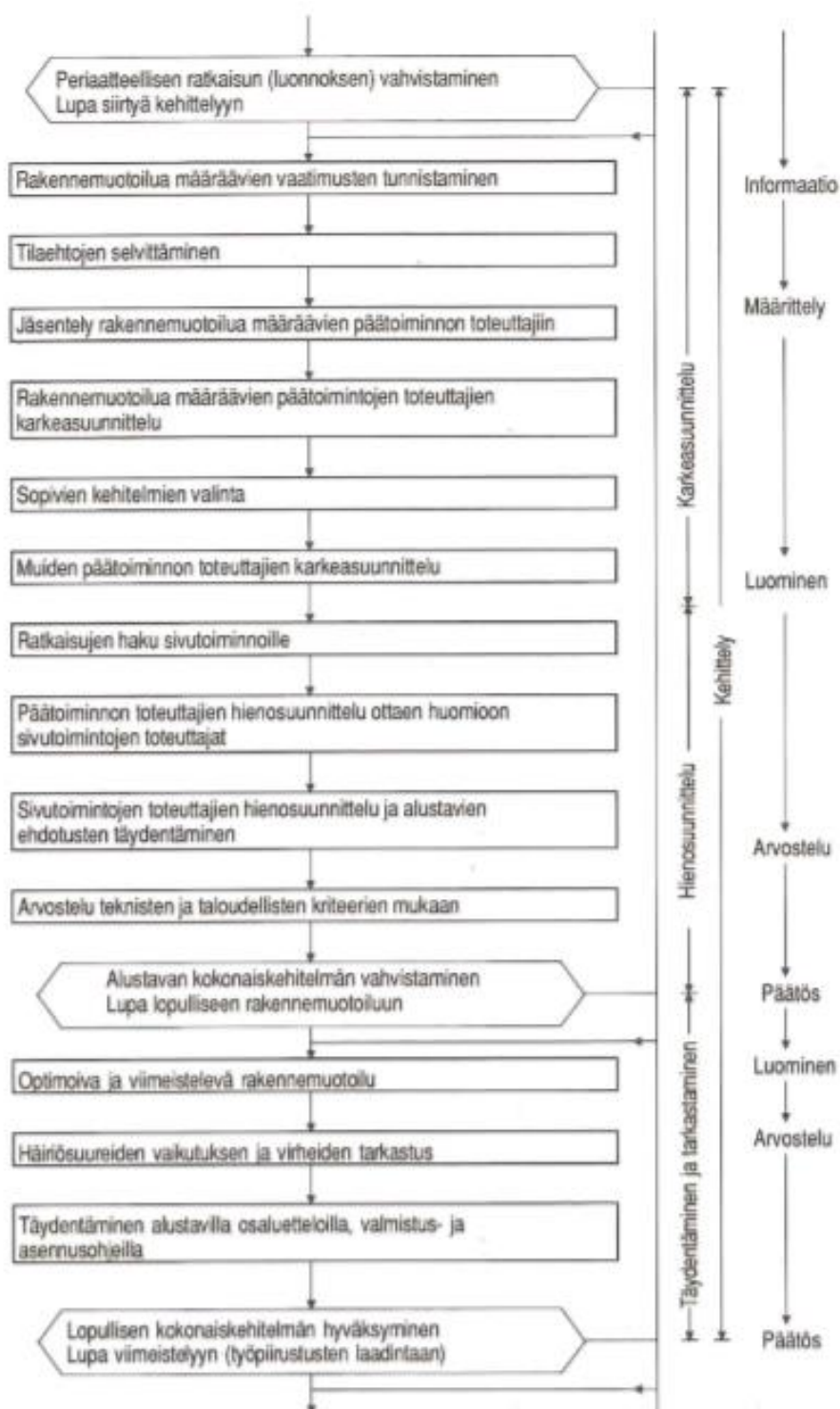
oinnin ohjelistaa. Ohjelistassa luonnokset on jaoteltu päätunnuksiin, joista on lisäksi tarkennettu niiden arviointiperusteita. Pisteyttämisen pohjalta voidaan todeta mitkä ratkaisuperiaatteet sopivat jatkokohditettäväksi seuraavaan vaiheeseen ja mitkä puolestaan täytyy hylätä. (Pahl & Beitz 1986, 138-161.)

Päätunnus	Esimerkkejä
Toiminto	Valitusta ratkaisuperiaatteesta tai luonnosmuunnelmasta välittömästi seuraavien sivutoimintojen toteuttimien ominaisuudet
Vaikutusperiaate	Valittujen periaatteiden ominaisuudet niiden yksinkertaisen ja yksikäsitteisen toteutuksen, riittävän vaikutuksen ja pienten häiriötekijöiden kannalta
Rakennemuotoilu	Osien pieni lukumäärä, mutkattomuus, pieni tilantarve, ei erityisiä työaines-eikä rakennemuotoiluongelmia
Turvallisuus	Välittömän turvallisuustekniikan suosiminen (luonnostaan turvallinen), lisäsuojatoimet tarpeettomia, työ- ja ympäristöturvallisuus taattu.
Ergonomia	Ihminen-kone-suhde kunnollinen, ei liian suuria kuormituksia eikä muita haittoja, hyvä muotoilu.
Valmistus	Vähän ja tavanomaisia valmistumenetelmiä, ei kalliita työlaitteita, vähän ja yksinkertaisia osia
Tarkastus	Vähän tarkastuksia ja testauksia tarpeen, voidaan tehdä yksinkertaisesti ja luotettavasti
Asennus	Helppo, mukava, nopea, ei erityisiä apulaitteita
Kuljetus	Normaalit kuljetusmahdollisuudet, ei riskejä
Käyttö	Yksinkertainen käyttö, pitkä elinikä, vähäinen kuluminen, yksinkertainen ja mielekäs hallinta
Kunnossapito	Vähäinen ja yksinkertainen huolto ja puhdistus, helppo tarkastaa, ongelmaton kunnostus
Kierrätys	Hyvä uusiokäyttöarvo, ongelmaton purkaminen
Kustannukset	Ei erityisiä käyttö- tai muita sivukustannuksia, ei myöhästymisriskejä

KUVIO 6, Luonnosten arvioinnin ohjelista. (Pahl & Beitz 1986, 157.)

3.2.3 Kehittely

Kehittely on se vaihe tuotekehitysprojektia, jossa tuotteelle luodaan ja vahvistetaan sen rakenne, toiminnot, sekä tekniset ratkaisut. Kehittelyvaiheessa käytetään apuna aiemmissa vaiheissa tehtyjä vaatimuslistaa, osatoimintoihin jakoa, sekä vaikutusperiaatteita. Myös kehittelyvaihe on jaettu työaskeleisiin muiden prosessin vaiheiden tavoin. Kehittelyn työaskeleet näkyvät kuviossa 6. Kehittelyvaiheen päätteeksi päästään vaiheeseen, jossa voidaan siirtyä tuotteen viimeistelyyn. (Pahl & Beitz 1986, 176.)



KUVIO 6, Kehittelyn työaskeleet, (Pahl & Beitz 1986, 178.)

Kuten kuviossa 6 näkyy, tärkeä osa kehittelyvaiheen työaskeleita on rakennemuotoilu. "Rakennemuotoilussa yritetään aina ensiksi peruskonstruktion ja työaineksen valinnalla toteuttaa toiminto (Pahl & Beitz 1986, 181)." Rakennemuotoilussa tulee ottaa huomioon kehitettävän tuotteen valmistukseen, käytettävyyteen ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät tavoitteena päästä yksikäsitteiseen ratkaisuun. (Pahl & Beitz 1986, 181-183.)

Rakennemuotoilun pääsäännöt voidaan muodostaa yleisen tavoitteen asettelun kohdista: teknisen toiminnon toteuttaminen, taloudellinen toteuttaminen ja ihmisen ja ympäristön turvallisuus.

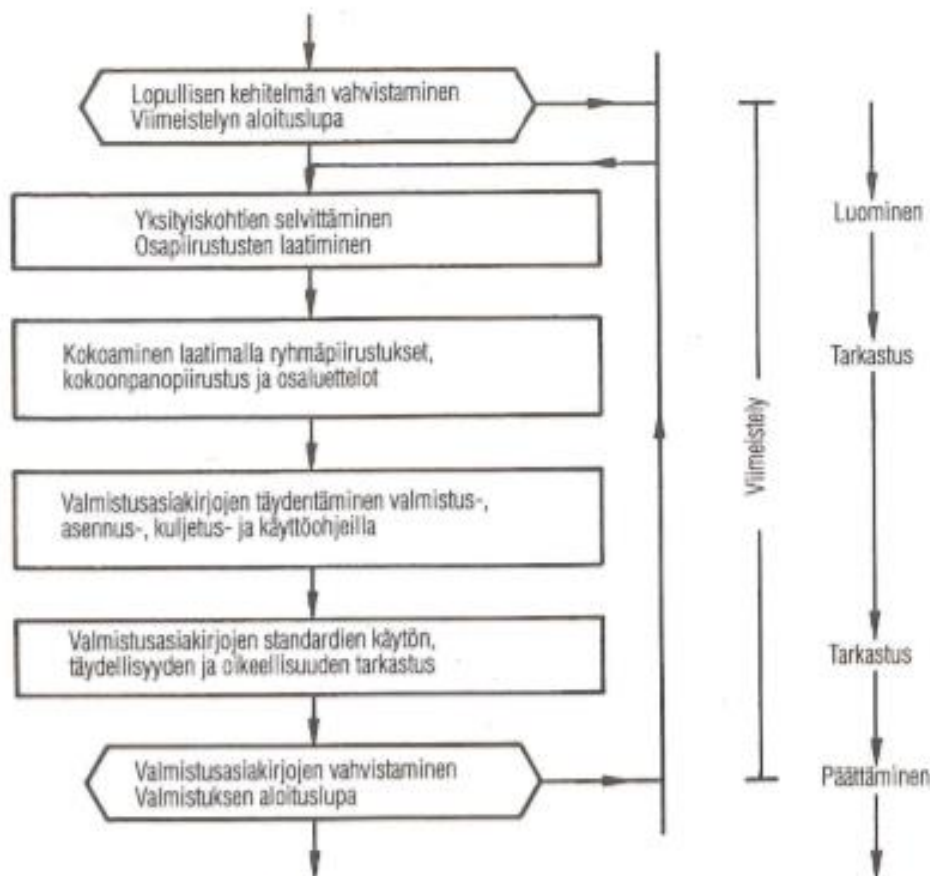
Rakennemuotoilun pääsäännöt:

- Yksikäsitteinen
- Yksinkertainen
- Turvallinen

(Pahl & Beitz 1986, 184.)

3.2.4 Viimeistely

Viimeistelyvaihe sisältää rakenteen ja vaatimusten lopullisen täydennyksen, sisältäen esimerkiksi materiaalivalinnat, pinnanlaadut, toleranssit ja mitoitukset. Vaiheeseen kuuluu myös kustannusten selvittäminen, sekä tuotedokumentaatio. Viimeistely sisältää siis paljon muutakin kuin vain luonnoksen puhtaaksi piirtämisen. Viimeistelyn työaskeleet näkyvät alla olevassa kuviossa 7. (Pahl & Beitz 1986, 458-460.)



KUVIO 7, Viimeistelyn työaskeleet. (Pahl & Beitz 1986, 459.)

Viimeistelyvaiheeseen kuuluu olennaisesti myös tuotedokumentaatio. Tämä sisältää kaiken valmistus- ja käyttöohjeista työkuviin ja osaluetteloihin. Tuotteen valmistamisen kannalta oleellinen osuus tätä on kokoonpano- ja osapiirustukset. Näitä tehdessä on otettava huomioon teknisen piirtämisen ohjeistukset ja standardit. Viimeistelyvaiheen lopputuloksena tulee olla valmiit valmistusasiakirjat ja näin ollen mahdollisuus aloittaa valmistus. (Pahl & Beitz 1986, 458-460.)

Piirustukset

Tuotteen valmistuksessa haluttuun lopputulokseen pääsemisessä valmistuspiirustuksilla on suuri rooli. Jopa 60 % tuotteista valmistetaan eri tavalla kuin piirustukset osoittavat, mikä johtuu esimerkiksi piirustusten puutteellisuudesta tai valmistuksen vaikeudesta piirustuksen mukaan toimiessa. Tästä johtuen on tuotesuunnittelussa paneuduttava huolellisesti valmistuspiirustuksiin. (Hietikko 2016, 142.)

Osapiirustusta tehtäessä tärkeitä huomioon otettavia seikkoja ovat esimerkiksi kaikkien tarvittavien mittojen ja toleranssien esittäminen, sekä osan esittäminen riittävän monesta eri näkymästä. Kokoonpanopiirustuksessa tärkeintä on saada esitettyä kokoonpanon suorittajalle tarvittavat osat ja komponentit, sekä niiden kokoonpanojärjestys. Kokoonpanopiirustuksessa on hyvä esittää myös tuotteen tärkeimmät päämitat, sekä tuotteen kokoonpanoon vaikuttavat mitat. Kokoonpanopiirustukseen täytyy sisältyä myös osaluettelo, jossa on esitetty kaikki kokoonpanoon liittyvät osat ja komponentit. Osaluettelo on tarpeellinen lisäksi oston ja työsuunnittelun kannalta, joten sen on hyvä sisältää informaatiota myös materiaaleista ja aihioista. Osa- ja kokoonpanopiirustus muodostavat osaluettelon kanssa tuotteen suunnittelun ja valmistamisen kannalta oleellimmän dokumentaation. Tämän lisäksi on kuitenkin hyvä arkistoida myös luonnokset, laskelmat, sekä muut prosessin aikana tuotetut dokumentit myöhempää käyttöä varten. (Hietikko 2016, 143-148.)

4 ELASTOMEERIT

Elastomeerit ovat yleisesti käytettyjä teknisiä kumimateriaaleja. Elastomeerit ovat materiaaleja, jotka pystyvät venymään vähintään kaksinkertaisiksi alkuperäiseen kokoonsa nähden ja palautumaan siitä nopeasti takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Kumit ovat materiaaleja, joissa materiaaliketjut ovat sidottu toisiinsa ristiliitoksella. Elastomeerit käsittävät kumien lisäksi myös monia erilaisia kumien ja muovien seoksia, näin ollen kumien ja muovien välille on vaikea tehdä selvää rajausta. Elastomeerejä nimitetään yleisesti kuitenkin kumiksi, huolimatta materiaalin tarkemmasta koostumuksesta. (Nupponen ym. 1984, 102.)

4.1 Mekaaniset ominaisuudet

Elastomeereillä ja kumeilla on monia käytön kannalta tärkeitä mekaanisia ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi vaimennus, kuluminen, kovuus ja väsyminen. Mekaanisilla ominaisuuksilla on suuret vaikutukset kumien käyttökelpoisuuteen sekä käyttötarkoitukseen.

Vaimennus ja kimpoama

Kumimateriaaleilla yksi tärkeä ja yleinen tehtävä on vaimennus. Kumin sisäinen vaimennusominaisuus aiheutuu, kun kumi kuormituksen jälkeen vapautetaan ja osa sen jousivoimasta muuttuu lämmöksi. Tämä antaa kumille ominaisuudet, jotka mahdollistavat sen käyttämisen esimerkiksi värähtelyjen ja iskujen vaimentamisessa. (Nupponen ym. 1984, 125-126.)

Kimpoama kertoo suoraan kumin vaimennusominaisuuksista. Materiaalilla ollessa suuri kimpoama, on silloin sen vaimennusominaisuudet heikot. Kumien kimpoamaa voidaan vertailla ilmoittamalla kimpoama-arvo prosentteina muodonmuutoksesta takaisin saadun ja siihen vaaditun energian suhteena. (Nupponen ym. 1984, 126.)

Kuluminen

Kuluminen voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen, jotka ovat:

1. Hankaava kuluminen
2. Tarttuva kuluminen
3. Kemiallinen kuluminen

Kumin kulumisenkestävyys ominaisuudet ovat yleisesti korkeat ja tästä syystä niitä voidaankin käyttää hyväksi esimerkiksi tiivisteissä. Kulumisenkestävyys ominaisuudet riippuvat suuresti kulutusolosuhteista. Useimmissa tapauksissa olosuhteiden lisänä kulumisominaisuuksiin vaikuttavat irtonaisten kappaleiden aiheuttava iskevä kuluminen. (Nupponen ym. 1984, 127-128.)

Kovuus

Kumin ominaisuuksien kannalta tärkeä arvo on kovuus. Kovuutta voidaan mitata erinäisillä menetelmillä, mutta kumin kovuuden ilmaisemiseksi ei ole olemassa absoluuttista yksikköä. Kumin kovuus kertoo paljon kumin teknisistä ominaisuuksista, mutta sillä ei kuitenkaan ole riippuvuutta kumin lujuusominaisuuksien kanssa. Kovuus antaa kuitenkin käsityksen siitä, mikä on kumin kimmomoduuli. Kumin tapauksessa kimmomoduuli ei ole vakio kuten metalleilla, vaan se riippuu olosuhteista sekä kappaleen muodosta. Kimmomoduuli voidaan määrittää alla näkyvällä tavalla:

$$E = \frac{\text{pintaa vastaan kohtisuora voima/pinta-ala}}{\text{voiman suuntainen pituuden muutos/alkuperäinen pituus}}$$

(Nupponen ym. 1984, 128-131.)

Kovuuden voidaan sanoa olevan eniten mitattu ominaisuus kumimateriaaleista. Se vaikuttaa lähes kaikkiin kumin teknisiin ominaisuuksiin ja sitä voidaan käyttää apuna myös kumimateriaalien laadun tarkkailussa. (Ciullo & Hewitt 1999, 59-60)

Väsyminen ja viruminen

Kumin väsymisen aiheuttaa toistuva rasitus. Väsyminen voidaan jakaa kolmeen eri tapaan, jotka ovat:

1. Kappaleen pinnalle muodostuu pieniä halkeamia, jotka kasvaessaan aiheuttavat murtuman.
2. Kappaleen delaminoituminen erillisiksi kerroksiksi. Tyypillinen ilmiö lujitetuissa kumikappaleissa.
3. Vaimentumisen aiheuttama lämpötilan nousu aiheuttaa kemiallisia reaktioita, joiden vaikutuksesta kappale rikkoutuu.

(Nupponen ym. 1984, 135.)

Kumin viruminen on tärkeä ominaisuus sitä käytettäessä esimerkiksi joustimena jollekin rakenteelle. Tällaiseen rakenteeseen soveltuvan kumimateriaalin viruma on hyvä olla alle 30 %. Kumin viruvuus ominaisuudet ovat myös riippuvaisia lämpötilasta, viruvuus pienenee lämpötilan laskiessa. (Nupponen ym. 1984, 135.)

4.2 Kemialliset ominaisuudet

Mekaanisen rasituksen lisäksi kumimateriaalien kestävyys riippuu suuresti myös muista käyttöolosuhteista. Näistä tärkeä tekijä on altistuminen kemialliselle rasitukselle. Kemiallisen rasituksen kestämiseen tärkeitä vaikuttavia tekijöitä ovat kemikaalin voimakkuus, lämpötila ja altistumisaika. (Nupponen ym. 1984, 135.)

Kemikaalienkestävyys

Tiedot kumien kemikaalienkestävyydestä perustuvat pitkälti tutkimustuloksiin ja valmistajien tietoihin tuotteistaan. Kemikaalienkestävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kumityyppi, sen kemiallinen koostumus ja olosuhteet jolle kumi altistuu. Hyvä esimerkki vahvojakin kemikaaleja kestävästä kumityypistä on EPDM, joka sietää väkeviä ja hapettavia kemikaaleja. (Nupponen ym. 1984, 135-136.)

Sään-, otsonin- ja säteilyn kestävyys

Ulkoilma ja sääolosuhteet aiheuttavat omat ongelmansa kumimateriaaleille. Kumi halkeilee venyesään ulkoilmassa herkästi johtuen molekyyileissä olevien kaksoissidosten halkeilusta otsonin vaikutuksesta. Jos materiaali ei sisällä kaksoissidoksia on se yleensä tällöin myös otsoninkestävä. Otsoninkestävyyttä voidaan myös parantaa lisäaineistamalla materiaalia käyttämällä antiotsonanteja. Säteilynkestävyydestä on hyötyä ydinteknisissä sovelluksissa. Kumi kestävät yleisesti vähäistä säteilyä ja niiden säteilynkestävyyttä arvostellaankin tästä johtuen säteilyn määrän mukaan, joka aiheuttaa materiaalissa muutoksia. (Nupponen ym. 1984, 139.)

Otsonin vaikutuksen lisäksi tärkeä sääolosuhteista riippuva vaikuttaja on UV-valo. UV-valo aiheuttaa hapettumista, jolle mikään elastomeeri ei ole täysin immuuni. Toisin kuin otsonien vaikutuksessa, UV-valo ei tarvitse materiaalin venymistä tai rasiutusta aiheuttaakseen vaurioita. (Ciullo & Hewitt 1999, 66)

Nesteiden vaikutus

Neste aiheuttaa kumille tyypillisesti joko kumin liukenemisen nesteeseen tai vaihtoehtoisesti nesteen imeytymisen kumiin ja näin ollen kumin turpoamisen. Yleisesti ottaen imeytyminen ja siitä johtuva kumin turpoaminen on yleisempää kuin liukeneminen. Yleisimpiä turpoamista aiheuttavia kemikalleja ovat öljyt ja polttonesteet. Tilavuuden muutoksen voimakkuus sekä suunta ovat riippuvaisia vaikuttavan kemikaalin lisäksi voimakkaasti myös kumityypistä. (Nupponen ym. 1984, 140-142.)

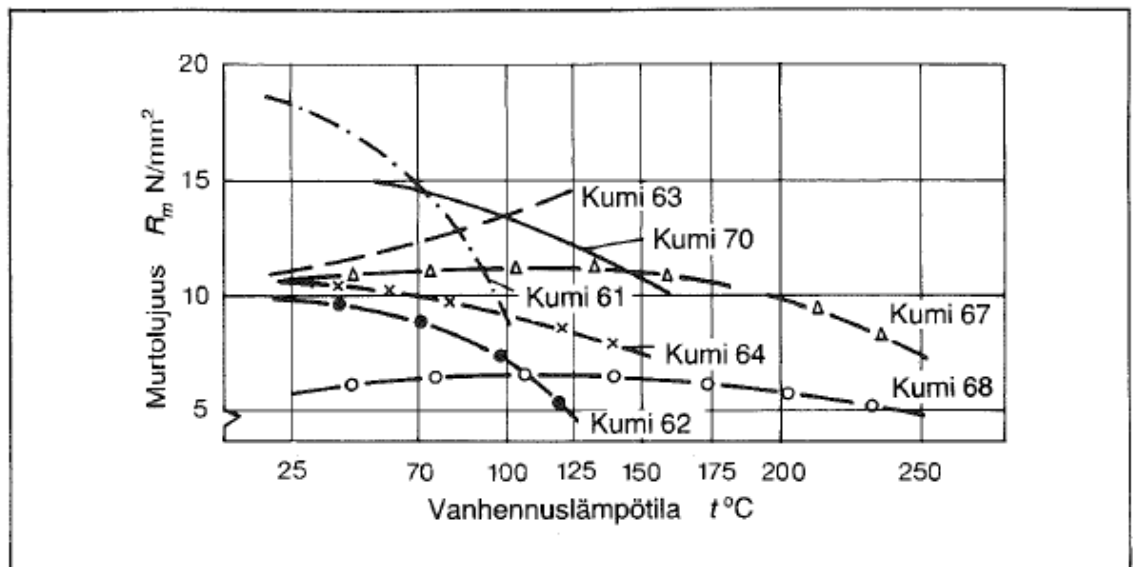
4.3 Lämpötekniset ominaisuudet

Kumin lämpötekniset ominaisuudet vaikuttavat mekaanisten ja kemikaalisten ominaisuuksien tavoin kumin ominaisuuksiin ja sen käyttötarkoitukseen. Lämpöteknisistä ominaisuuksista suurimmat vaikuttavat tekijät ovat käyttölämpötilat ja kumin vanhenemisominaisuudet. (Nupponen ym. 1984, 142.)

Kumimateriaalien yhteydessä puhuttaessa lämmönkestävyydestä tärkeä asia on peruuttamattomat muodonmuutokset. Yleensä muodonmuutokset ovat kahdenlaisia, joko laajentumisesta tai pehmentymisestä johtuvia muodonmuutoksia. Muodonmuutoksien lisäksi muutoksia syntyy yleisesti esimerkiksi kovuus- ja lujuusominaisuuksiin. (Ciullo & Hewitt 1999, 61)

Vanheneminen

Kumin vanheneminen on suuresti riippuvainen sen käytössä altistuvaan lämpötilaan. Yleisellä tasolla kumin vanhenemisnopeuden voidaan todeta kaksinkertaistuvan jokaista 10 °C:n lämpötilan nousua kohden. Vanheneminen on ilmassa olevan hapen aiheuttama kemiallinen prosessi. Se huonontaa monia kumin fysikaalisia ominaisuuksia, esimerkiksi heikentää sen murtolujuutta. Kuviossa 8 näkyy eräiden kumimateriaalien seitsemän vuorokauden vanhentamisen jälkeen lämpötilan vaikutus vetomurtolujuuteen. (Nupponen ym. 1984, 142-145)



KUVIO 8, Eräiden kumimateriaalien vetomurtolujuus lämpötilan funktiona. (Nupponen ym. 1984, 143)

Käyttölämpötilat

Lämpötilalla on vaikutuksia kumimateriaaleihin sekä kylmissä, että lämpimissä olosuhteissa. Alhaisissa lämpötiloissa kumi muuttuu hauraaksi ja se voi murtua helposti iskuista. Korkeissa lämpötiloissa kumi altistuu vanhenemisreaktiolle. Kumin sietämään maksimikäyttölämpötilaan vaikuttaa suuresti se, kuinka pitkään kumi altistuu korkealle lämpötilalle. Lämpötilan vaikutukset nousevat esiin myös esimerkiksi vulkanoidessa kumia. Kumin pituuden lämpötilakertoimen ollessa suuri voivat kumituotteet kutistua vulkanoidessa useita prosentteja. Tämä kuitenkin vaihtelee eri kumilaatujen välillä suuresti ja johtaa siihen, että valmistuksessa joudutaan eri kumilaatujen välillä usein käyttämään eri muotteja. (Nupponen ym. 1984, 145-146)

5 KOELAITTEEN KEHITYS

Koelaitteen kehitys suoritetaan mukailten aiemmin opinnäytetyössä teoriatasolla käsitellyjä Ulrich-Eppinger -menetelmän tuotekehitysprosessia, sekä VDI 2221 ohjeistuksen mukaan kulkevaa konstruktioprosessia. Koelaitteella tulisi pystyä testaamaan ponneprofiilin eri ominaisuuksia, joille se altistuu käytössä sellupesurissa. Elastomeereistä kirjoitettu teoriaosuus antaa tähän hyvän pohjan ja siitä löytyvää tietoa voidaan soveltaa koelaitteeseen.

5.1 Aloitus ja taustatiedot

Koelaitteella tulisi pystyä testaamaan Andritz Oy:n DD-pesurissa käytettävän elastomeerisen ponneprofiilin ominaisuuksia. Ponneprofiilin tehtävänä on painaa tiiviste-elementtiä DD-pesurin rumpua vasten. Ponneprofiili altistuu käytössä mekaaniselle sekä kemialliselle rasitukselle, mikä aiheuttaa ongelmia ponneprofiilin kestävyydelle.

Opinnäytetyön aihe rajattiin työn laajuus ja tavoitteet huomioon ottaen. Opinnäytetyön aikana on tarkoituksena tehdä koelaitteelle konseptisuunnittelu, sisältäen toimintaperiaatteen, 3D-mallin ja tarvittavat komponenttivalinnat. Työpiirustusten teko sekä koelaitteen valmistus päätettiin jättää opinnäytetyön ulkopuolelle aiheen laajuuden vuoksi. Koelaitteen valmistus tulee tapahtumaan erillisenä projektina opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tammikuussa 2020. Aloituspalaveri, jossa määritettiin työn tavoitteet, sisältö ja aikataulu pidettiin Savonlinnassa 15.1.2020. Palaverissa määritetyn aikataulun mukaan tulisi opinnäytetyön valmistua huhtikuun 2020 loppuun mennessä ja itse koelaitteen olla käytössä vuoden 2020 loppuun mennessä. Aloituspalaverin jälkeen päästiin opinnäytetyössä aloittamaan koelaitteen kehitys tuotekehitysprosessin mukaisesti.

5.2 Tehtävän asettelu

Tavoitteena opinnäytetyössä on saada suunniteltua koelaitte, jolla saadaan testattua erilaisia ponneprofiilivaihtoehtoja pienemmässä mittakaavassa ennen tehdasolosuhteisiin siirtymistä. Koelaitteella tulisi pystyä luomaan mekaanista rasitusta, jolla saataisiin simuloitua rasitusta, jolle ponneprofiili altistuu oikeassa käytössään. Lisäksi ponneprofiilille tulisi pystyä luomaan kemiallinen rasitus altistamalla se lämpimälle nesteelle. Koelaitteen tulisi pystyä suorittamaan ponneprofiilille pitkäkestoinen rasituskoe, joka simuloi ponneprofiilin käyttöolosuhteita sellupesurissa.

Tehtävän asettelu ja reunaehdojen ollessa selvillä jatkettiin vaatimuslistan laatimiseen. Vaatimuslistassa koelaitte jaettiin osatoimintoihin, joista jokaiselle listattiin vaatimuksia ja toivomuksia. Vaatimukset ovat koelaitteen toiminnan kannalta välttämättömiä ominaisuuksia ja toivomukset mahdollisuuksien mukaan toteutettavissa olevia lisäyksiä. Vaatimuslistan ensimmäinen versio on esitetty liitteessä 1 ja myöhemmin päivitetty lopullinen versio liitteessä 2. Vaatimuslistan laatimisessa käytettiin apuna toimeksiantajan kokemuksia ja asiantuntemusta ponneprofiilin käyttöolosuhteista ja niiden

ponneprofiilille luomista ongelmista. Näistä hyvä esimerkki on liikkeelle vaadittava taajuus, joka tulee suoraan DD-pesurin rummun pyörimisnopeudesta tai testattavan profiilin paine, joka vastaa painetta sen oikeissa käyttöolosuhteissa. Tämän pohjalta saatiin luotua selkeä kuva siitä, millaisia ominaisuuksia koelaitteelle täytyy saada luotua. Vaatimuslistan laatimisen jälkeen päästiin siirtymään luonnosteluvaiheeseen.

5.3 Luonnostelu

Luonnostelu aloitettiin abstrahoinnalla. Abstrahoinnissa käytettiin apuna vaatimuslistaa (liite 2) edeten abstrahoinnin työaskeleiden mukaan. Tavoitteena abstrahointivaiheessa on saada ongelma muotoiltua yksinkertaisemmaksi, sitoutumatta vielä mihinkään yksityiskohtaiseen ratkaisuun.

Abstrahointi

Tulokset 1&2 askeleen jälkeen:

- Testattavan profiilin koko 56x20 mm, pituus n. 500 mm
- Rakenteen täytyy olla jäykkä
- Pystyttävä testaamaan vähintään kahta profiilia kerrallaan
- Profiilia rasitettava iskevällä liikkeellä, taajuus 1-5 Hz
- Laitteen tuottaman voiman täytyy puristaa profiilia kasaan 30-40 %
- Testattavan profiilin paine 1-2 bar
- Profiili kosketuksissa nesteen kanssa
- Neste lämmitettävä
- Nesteen lämpötilanmittaus
- Paineilman syöttö profiilille
- Pyörivät ja liikkuvat osat oltavat suojattu
- Rakenteen täytyy kestää liikkeen aiheuttama rasitus
- Kemikaalit ei saa roiskua laitteen ympärille

Tulokset 3 askeleen jälkeen:

- Rakenteen täytyy olla jäykkä
- Iskevä liike
- Profiili kosketuksissa nesteen kanssa
- Nesteen lämmitys
- Paineilman syöttö profiilille
- Pyörivät ja liikkuvat osat oltavat suojattu
- Kemikaalit eivät saa roiskua laitteen ympärille

Tulokset 4 askeleen jälkeen:

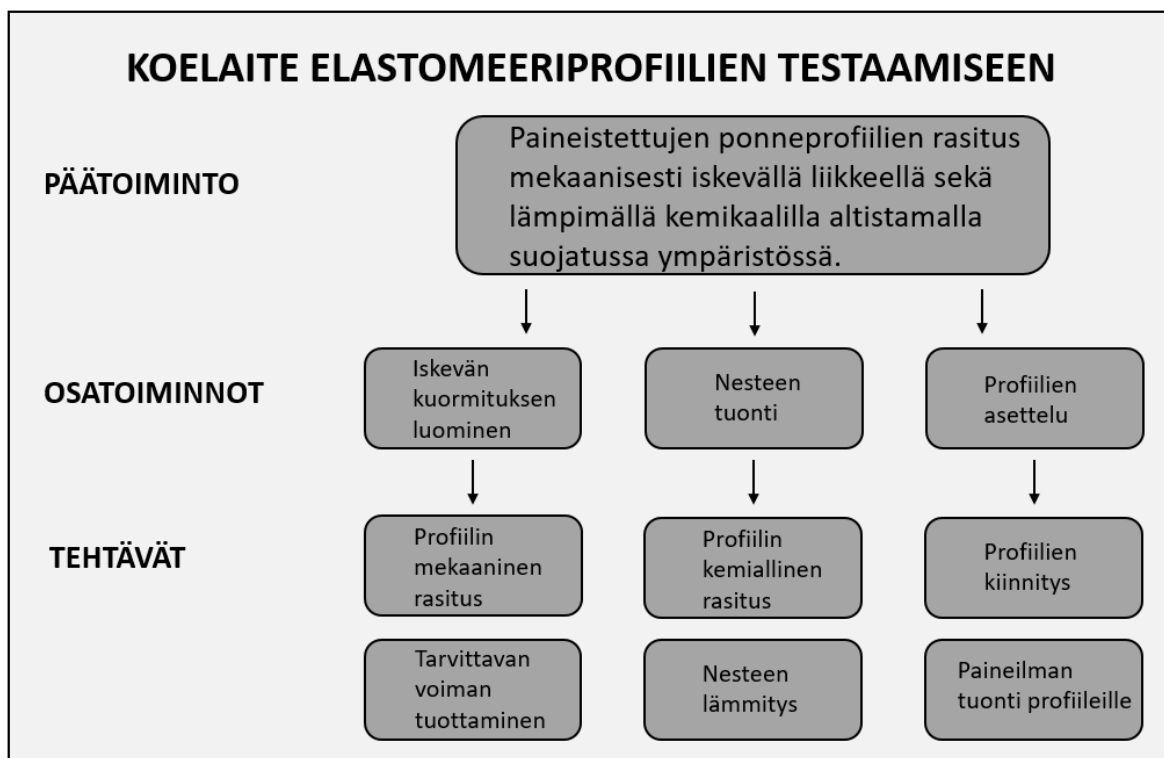
- Iskevä liike
- Profiili kosketuksissa nesteen kanssa
- Nesteen lämmitys
- Paineilman syöttö
- Suojaus

Lopputulos 5 askeleen jälkeen:

- Paineistettujen ponneprofiilien rasitus mekaanisesti iskevällä liikkeellä sekä lämpimällä kemikaalilla altistamalla suojatussa ympäristössä.

Toimintorakenteen laatiminen ja jako osatoimintoihin

Abstrahoinnin viimeisen askeleen tuloksena ongelma saatiin muotoiltua yksinkertaiseen muotoon, jossa se samalla kuitenkin esittää laitteen keskeisen toimintaperiaatteen. Tämän perusteella laitteelle voitiin tehdä osatoimintoihin jako, joka on esitetty liitteessä 3. Tämän lisäksi koelaitteelle saatiin määritettyä sen toimintorakenne, joka esittää sen päätoiminnon sekä tärkeimmät osatoiminnot ja niiden tehtävät. Toimintorakenne näkyy alla kuviossa 8.



KUVIO 9, Toimintorakenne.

Luonnostelu jatkui tärkeimpien osatoimintojen pisteytyksellä ideamatriisin muodossa. Ideamatriisiin listattiin kymmenen tärkeintä osatoimintoa sekä niille erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Ideamatriisiin kootut ideat pisteytettiin Ville Härkösen lisäksi Andritz toimihenkilöiden Jarkko Hytösen ja Juha Vajalan toimesta. Pisteytys tapahtui asteikolla 0-5, jonka jälkeen tuloksille laskettiin keskiarvo. Keskiarvojen perusteella järjestetyt ratkaisut osatoiminnoille näkyvät taulukossa 1.

TAULUKKO 1, Ideamatriisi koelaitteen osatoiminnoista.

Ideamatriisi					
Ratkaisut osatoiminnoille					
Osatoiminto	A	B	C	D	E
1. Mekaaninen rasitus	Epäkesko liike 4,67	Hydrauli sylinteri 3,33	Pneumatiikka Sylinteri 2,33	Painon pudotus 2	Palje 0,67
2. Nesteen tuonti	Upotetaan osittain 4,33	Upotetaan kokonaan 3,33	Suihkutus 1	Roiske"voitelu" 1	
3. Nesteen lämmitys	Induktio 3,67	Sähkövastus, erillinen haude 3,67	Suoraan sähkövastuksella 3,33	Propanaikaasu 1,33	Kuumailmapuhallin 0,67
4. Profiilin asettelu	Vaakaan, kuormitus alas 4	Vaakaan, kuormitus ylös 2,33	Pystyyn, kuormitus sivulta 2,33	45-asteen kulmassa 2,33	
5. Profiilin kiinnitys	U-kourujen väliin 4,33	Koneistettu ura + U-kourut 4	Hitsattu kehikko 2,67	Koneistettu ura (muotosulkeinen) 2	Ruuvipuristin 0,67
6. Laitteen kiinnitys	Pultataan lattiaan 4	Hitsataan lattiaan 2,33	Painot 2	Upotetaan lattiaan 0,67	
7. Suojaus kemikaalien roiskumiselta	Koko laitteen kotelointi 3,67	Profiilin kotelointi 3,67	Erillinen lukittu tila 2	Pussi 0,67	
8. Lämpötilan seuranta	Digitaalinen lämpömittari 4	Analoginen lämpömittari 2	Laserlämpömittari 1,67		
9. Voiman tuottaminen	Sähkömoottori 4,33	Hydraulipumppu 2,67	Paineilma-kompressori 1,67	Polttomoottori 1,33	
10. Liikkuvien osien suojaus	Koko laitteen kotelointi 3,67	Liikkuvien osien erillinen kotelointi 3,67	Valoverho 1,67		

Vaikutus- ja ratkaisuperiaatteet

Ideamatriisiin osatoimintojen ja niiden pisteytyksen pohjalta jokainen ideointiin osallistunut henkilö yhdisteli kolme eri periaatteellista ratkaisua koelaitteesta. Näistä luonnoksista piirrettiin yksinkertaiset havainnekuvat Autocad-ohjelmistolla. Luonnoksien toimintaperiaatteet esittävät havainnekuvat sekä selvitykset niiden toimintaperiaatteista löytyvät liitteestä 4.

Periaatteellisista ratkaisuista päätettiin valita kaksi vaihtoehtoa tarkempaan tarkasteluun. Nämä olivat hydraulikalla toimiva luonnos 4 ja epäkeskolla toimiva luonnos 5. Nämä vaihtoehdot erottuivat muista selkeästi toimivan periaatteen ja helpon toteutettavuuden avulla. Nämä kaksi vaihtoehtoa pistearvioitiin VDI 2221 ohjeistuksen ohjelistaa mukaillen. Ohjelistan arviointiperusteet näkyvät kuviossa 6. Arviointi toteutettiin asteikoilla 0-5 jokaisen ideointiin osallistuneen toimesta. Arvioinnit painotettiin jokaiselle kriteerille erikseen määritetyn painokertoimen mukaan. Tämän lisäksi tuloksista laskettiin keskiarvo ja ne koottiin yhteen taulukkoon. Luonnosten pistearvioinnin lopputulokset löytyvät alta taulukosta 2.

Pistearviointiin osallistui opinnäyteyön tekijän lisäksi kaksi muuta ideointiin osallistunutta Andritz Oy:n toimihenkilöä. Arvostelun skaala jäi näin ollen hieman kapeaksi ja suositeltavaa olisikin käyttää suurempaa joukkoa arvioijia. Tässä tapauksessa kolmellakin arvostelijalla päästiin kuitenkin selkeään lopputulokseen, joten arvioinnin päätettiin olevan riittävä.

TAULUKKO 2, Luonnosten pistearviointi.

Luonnosten pistearviointi					
Arviointi 0-5 p.		Luonnos A "hydrauliikka"		Luonnos B "epäkesko"	
Ohjelistan päättynyt	Painokerroin	Pisteet	Painotetut pisteet	Pisteet	Painotetut pisteet
Toiminto	0,15	4,00	0,6	3,67	0,55
Vaikutus- periaatteet	0,15	3,33	0,5	4,33	0,65
Rakenne- muotoilu	0,1	3,67	0,37	3,33	0,33
Turvallisuus	0,1	3,33	0,33	3,67	0,37
Ergonomia	0,1	3,33	0,33	4,00	0,40
Valmistus	0,1	3,33	0,33	4,33	0,43
Tarkastus	0,05	2,50	0,13	4,33	0,22
Asennus	0,05	2,67	0,13	4,33	0,22
Käyttö	0,1	2,67	0,27	4,33	0,43
Kunnossapito	0,05	2,83	0,14	4,00	0,20
Kustannukset	0,05	2	0,10	4,33	0,22
yht.	1	33,67	3,23	44,67	4,02
ka.		3,37		4,47	

Pistearviointi kääntyi kohtalaisen selkeästi epäkesko vaihtoehdon puolelle. Tähän suurimpina syinä olivat hydrauliikkakomponenttien selkeästi kalliimpi hinta. Koelaitteen vaatiman hydraulijärjestelmän hinta-arvio suoritettiin pyytämällä tarjous komponenteista lappeenrantalaiselta Teho Hydro Oy:ltä. Tarjous sisälsi koneikon, sylinterin, venttiilit ja ohjauslogiikan joiden hinnaksi muodostui yhteensä 15 600 euroa. Korkeaan hintaan vaikutti osaltaan se, että suurin osa näistä komponenteista olisi jouduttu valmistamaan mittatilaustyönä tätä projektia varten.

Epäkeskoperiaatteella toimivaa laitetta puolsi myös sen toimintavarmuus ja tarvittavien komponenttien vähäisyys. Hydrauliikkajärjestelmän ollessa huomattavasti monimutkaisempi, on sen vikaantumisen riski myös suurempi. Koelaitteella tehtävien yksittäisten testien on tarkoitus kestää jopa yli vuoden, joten toimintavarmuus on erittäin tärkeää.

5.4 Kehittely

Kehittelyvaiheen aluksi hyväksyttiin periaatteellinen ratkaisu, johon luonnosvaiheessa päädyttiin. Tästä seuraavana vuorossa oli 3D-mallinnus Autodesk Inventor-ohjelmaa käyttäen. 3D-mallin lopulliseen muotoutumiseen vaikuttaa suuresti komponenttivalinnat, joten niitä tehtiin jo koelaitteen mallintamisen ohessa. Komponenttivalintoihin suuresti vaikuttavat tekijät ovat vaatimuslistan asettamat reunaehdot ja näistä johdettavat tiedot, kuten tarvittavat voimat ja niistä aiheutuvat rasitukset. Laskelmat profiilin rasitukseen tarvittavista voimista löytyvät liitteestä 5.

Komponenttivalinnat ja osatoimintojen ratkaisut

1. Moottori: ABB M3BP132MC B3 5,5 kW 1000 IE2 sähkömoottori.

Koelaitteen voimantuotto suunniteltiin toteutettavaksi sähkömoottorilla. Sähkömoottorin kierroslukua tulisi pystyä säätämään taajuusmuuttajan avulla, mikä mahdollistaisi kuormitukselle vaatimuslistan mukaisen 1-5 Hz taajuuden toteuttamisen. Moottorin tehon tarve mitoitettiin profiilien painamiseen tarvittavan voiman, epäkeskoliikkeen tarvitseman vääntömomentin ja aiheutuvien kitkavoimien mukaisesti. Laskelmat näistä löytyvät liitteestä 5. Sähkömoottorin valinnassa on käytetty apuna lisäksi ABB:n sähkömoottorin mitoitusohjeita, sekä standardin SFS 3527 mukaista ohjeistusta. Tehon tarpeeksi laskelmien perusteella saatiin 5,2 kW ja vääntömomentiksi epäkeskoakselilla 165 Nm. Tämän mukaan valikoitui ABB:ltä 5,5 kW moottori, joka täyttää nämä molemmat vaatimukset.

2. Taajuusmuuttaja: ABB ACS580-01-12A7-4+B056

Taajuusmuuttajan valinta tapahtui sähkömoottorin valinnan pohjalta ABB:n ohjeistuksen mukaisesti. Sähkömoottorin mukaisesti maksimi ulosotto teho taajuusmuuttajalla on 5,5 kW. Vaikka koelaitteen nesteen kanssa tekemisissä olevat osat ovat suojattu, päätettiin taajuusmuuttaja valita IP-54 suojaluokituksella sen käyttöympäristön vuoksi.

3. Kiilahihnavälitys: 2 kpl SPA 3150 mm

Kiilahihnavälityksen valitseminen aloitettiin pienemmän hihnapyörien koon määrittämisellä sähkömoottorin tehon ja halutun välityssuhteen 3,33 perusteella. Hihnapyöräksi valikoitui 140 mm ja 450 mm, joilla välityssuhteeksi saatiin 3,21. Tehon tarpeen ja hihnapyörien koon perusteella valittiin kiilahihnan tyyppi SPA ja koelaitteeseen alustavasti suunnitellun hihnapyörien akselivälin perusteella, kiilahihnan pituudeksi valikoitui 3150 mm. Lopuksi laskettiin vielä tarvittavien kiilahihnojen lukumäärä yhden hihnan tehonsiirtokyvyn sekä olosuhteiden määrittämien kertoimien mukaisesti. Lopputuloksena oli, että koelaitteessa käytetään rinnakkain kahta kiilahihnaa. Laskelmat kiilahihnojen valinnasta löytyy liitteestä 6.

4. Epäkeskoakseli: s355 umpitanko, $d=100$ mm.

Tehonsiirtoakselin halkaisija määritettiin laskelmat siihen kohdistuva vääntö- ja taivutusjännitys. Nämä laskut löytyvät liitteestä 7. Akseli mitoitettiin sen mukaan, että se valmistettaisiin s355 rakenneterästä olevasta umpitangosta.

Vääntöjännityksen perusteella akselin halkaisijaksi olisi riittänyt 34,3 mm, mutta taivutusjännityksen kestäminen vaati 86,2 mm paksun akselin. Tästä syystä akselin paksuudeksi valikoitui 90 mm, laakerin määrittämällä h6 toleranssilla. Akselin aihio täytyy kuitenkin valita suuremmaksi, jotta siihen voidaan koneistaa vaadittu 5 mm epäkeskoisuus. Epäkeskon osuudelle vaadittiin laakeroinnin puolesta toleranssiksi h8.

5. Laakerointi: SKF SYJ 90 TF kuulalaakeriyksikkö ja SKF PCM 9510060 M liukulaakeri.

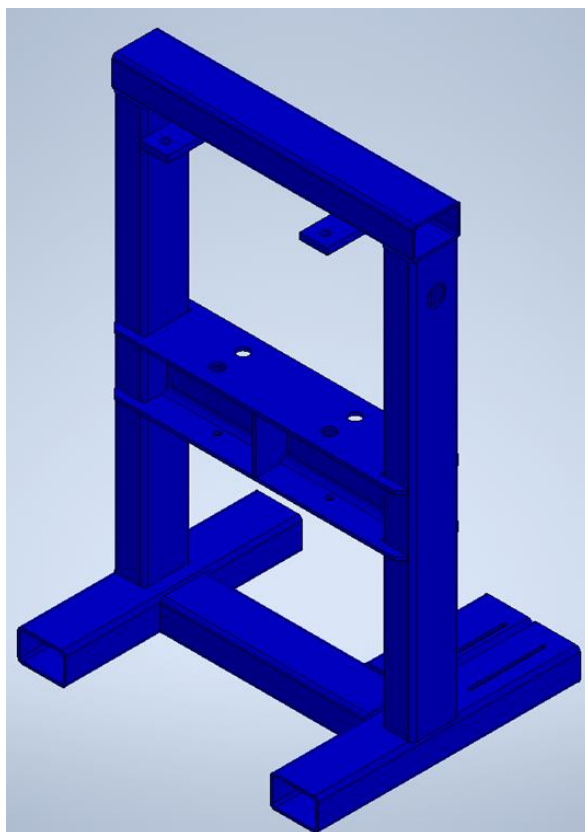
Akselin laakerointi päätettiin toteuttaa kahdella kuulalaakeriyksiköllä. Laakeripukkeja varten tehtiin koelaitteen yläosaan kiinnityslaput, johon laakeripukit voidaan pultata kiinni. Laakerivalinta tapahtui akselihalkaisijan perusteella. Laakeriksi valitun SKF SYJ 90 TF suurin sallittu dynaaminen kuorma on 95,6 kN, joten sen voidaan todeta kestävän koelaitteessa siihen kohdistuvat rasitukset.

Akselin epäkesko-osuuden laakerointi päätettiin toteuttaa liukulaakereilla. Tähän käyttöön sopivat liukulaakerit löytyivät SKF:n valikoimasta. Valittu liukulaakeri PCM 9510060 M on varustettu metallisella kuorella ja komposiittimateriaalia olevalla liukupinnalla. Laakerille suurin sallittu dynaaminen kuorma on 670 kN, joten se täyttää vaatimukset moninkertaisesti.

6. Runko: suorakaideprofiili 150x100x8 mm, HE 240 A palkki, Lattateräs 12 x 90 mm materiaali s355J rakenneteräs.

Rungon materiaaliksi suurimmilta osin valittiin s355 materiaalia oleva 150x100x8 mm suorakaideprofiili. Testattavien profiilien pohjan tueksi laitettiin HE 240 A I-profiili palkki ja laakereiden tueksi lisättiin 12x90 mm lattateräkset. Rungon suunnittelun lähtökohtana oli saada rungosta tarpeeksi vahva, mutta samalla saada kaikki mahtumaan mahdollisimman pieneen tilaan. Testattavat profiilit haluttiin saada hyvälle työkentelykorkeudelle, mikä määrittäi rungon korkeuden. Vaatimuslistan mukaisesti rungon väriksi määräytyi Andritzin sininen. Rungon 3D-malli näkyy kuvassa 1.

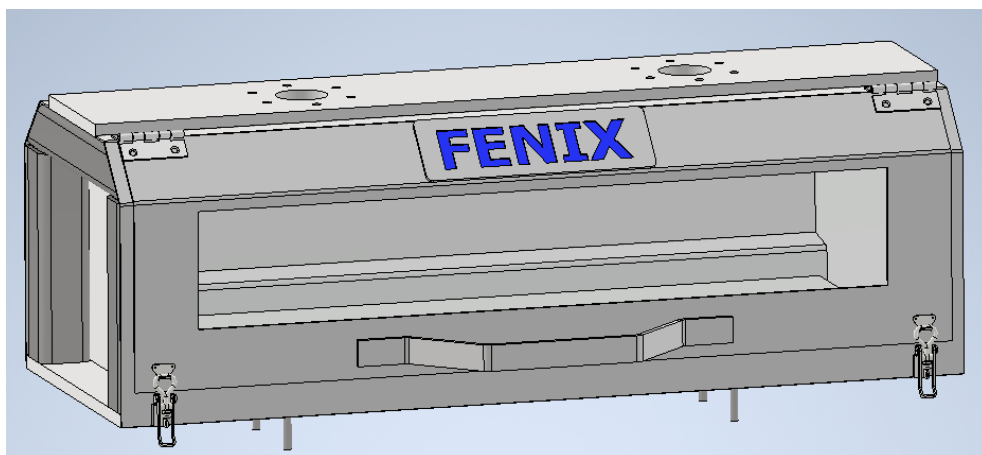
Koelaitteen rungolle tehtiin lujuustarkastelu ANSYS-ohjelmistolla. Sekä siirtymät että jännitykset pysyivät pieninä ja runko vaikutti riittävän lujalta. Suurimmat jännitykset olivat suuruudelta noin 60 MPa, mutta esiintyivät erittäin paikallisesti. Lujuustarkastelun tulokset näkyvät liitteessä 9.



KUVA 1, Rungon 3D-malli.

7. Suojakehikko: neliöprofiili 40x40x4 mm, teräslevy; paksuus 10 mm ja 2 mm, materiaali haponkestävä teräs 1.4404.

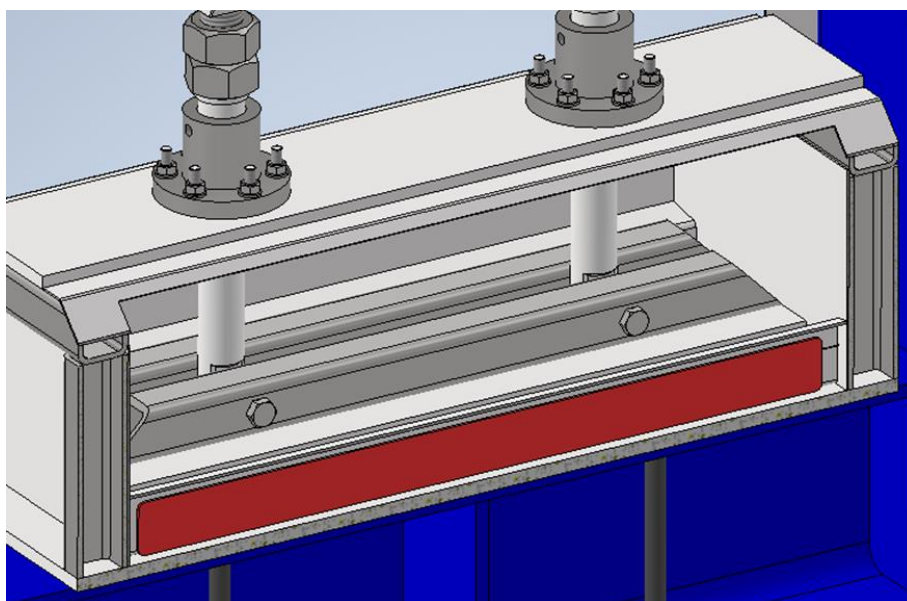
Ponneprofiilien suojakehikko, eli kaikki kemikaalien kanssa kosketuksissa olevat osat valmistettiin haponkestävästä teräksestä. Kehikon runko päätettiin tehdä 40x40x4 neliöprofiilista. Kehikon pohja ja kansi valmistettiin 10 mm paksusta levystä, jotta niihin olisi mahdollista koneistaa kierrereiät laippojen ja ilmaliittimien kiinnittämistä varten. Suojakehikko koteloitiin 2 mm paksulla haponkestävällä levyllä ja etupuolelle tehtiin avattava luukku, jossa on läpinäkyvä plexilasi. Tämän lisäksi suojakehikon sisäpuolelle tehtiin erillinen kemikaaliallas, jonka reunoille kiinnittyvät lämpövastusmatot. Alla olevassa kuvassa 2 näkyy suojakehikon 3D-malli.



KUVA 2, Suojakehikko.

8. Nesteen lämmitys: Meyer-vastus silikonilämpömatot.

Nesteen lämmitys koelaitteessa päätettiin toteuttaa Meyer-vastuksen valmistamalla silikonilämpömattoilla. Lämpömatot ovat varustettu lämpötila-antureilla ja lämpötilanousu hoidetaan säädettävällä termostaatilla. Kemikaalialtaan molemmille pitkille sivuille asennetaan 50 mm korkeat, liimapinnalla kiinnittyvät silikonilämpömatot. Näillä kahdella matolla saavutetaan noin 600 W teho, jolla olisi tavoitteena saada pidettyä nesteen lämpötila 95 °C läheisyydessä. Matot ovat koteloitu altaan reunojen ulkopuolella, josta ne lämmittävät nestettä altaan reunojen ollessa samalla suojassa kemikaaleilta. Lämpövastus matto näkyy kuvassa 3 punaisena. Tarkemmat tiedot silikonilämpömattoista löytyvät liitteestä 10.

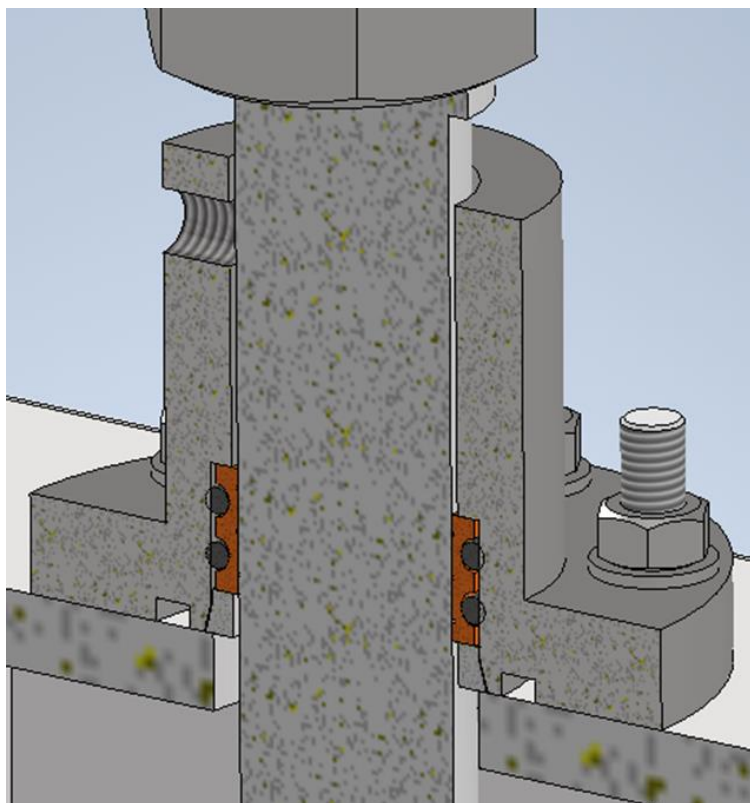


KUVA 3, Silikonilämpövastusmatto kiinnittyy kemikaalialtaan reunoille.

9. Karan tiivistäminen/linearijohde

Karan tiivistäminen profiilien suojakehikon kanteen päätettiin toteuttaa käyttämällä DD-pesurin tiiviste-elementin uutta tiivistettä ja laipparakennetta. Tiiviste, jossa on muovinen holkki ja kaksi O-rengasta tiivistävät karan ja estävät näin ollen roiskeiden tai höyryjen pääsemisen koelaitteen muihin rakenteisiin. Tiiviste ja laipparakenne näkyvät kuvassa 4. Rakenne myös ohjaa ja rajoittaa samalla karan pystysuuntaista liikettä.

Uudelle tiivisteratkaisulle saadaan näin ollen kulutuskoee samaan koelaitteeseen. Tiiviste altistuu pystysuoralle edestakaiselle liikkeelle myös oikeassa käytössä DD-pesurissa. Koelaitteessa karan tiivisteelle aiheutuma rasitus simuloi hyvin todellisuutta ja tällä vältyttiin erillisen rasitustestikoelaitteen tekemisestä karan tiivistetestausta varten.



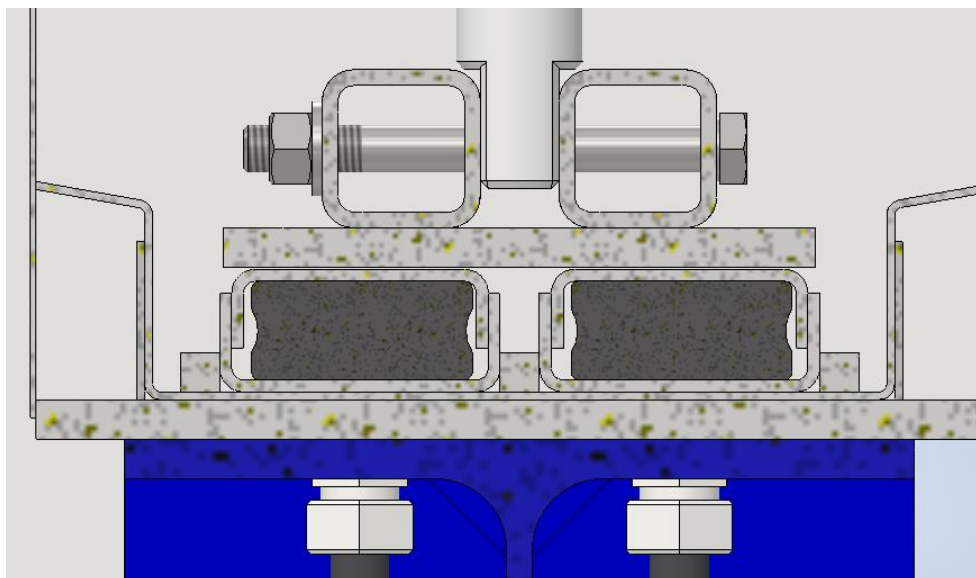
KUVA 4, Karan tiivistämiseen ja ohjaamiseen käytettävä rakenne.

10. Paineilman tuonti profileille: Elastomeeriprofiilien ilmaliittimet.

Paineilman tuonti elastomeeriprofiileille päätettiin toteuttaa käyttämällä DD-pesurissa käytettäviä vakiokomponentteja. Paineilma tuodaan suojakehikon pohjan läpi jokaiselle neljälle testattavalle profiilille erikseen. Paineilmalinjat yhdistävät yhteen koelaitteen alla, johon kiinnitetään ulkoinen paineilman syöttö. Ilmaliitin kiinnittyy koelaitteen pohjaan M18-kierteellä ja tiivistyy O-renkaan avulla.

11. Profiilien kiinnitys: U-kourut ja 10x10 mm neliötanko.

Elastomeeriprofiilit kiinnitetään kemikaalialtaan pohjalle käyttämällä profiilien kiinnitykseen DD-pesurissa käytettäviä U-kouruja. U-kourut lukitaan kemikaalialtaan pohjaan hitsaamalla kourujen tueksi 10x10 mm neliötangot. U-kourut asettuvat näiden väliin mikä estää niiden liikkumisen sivuttaissuunnassa ja takaa samalla myös helpon U-kourujen ja profiilien vaihtamisen. Poikkileikkaus profiilien asettelusta näkyy alla olevassa kuvassa 5.



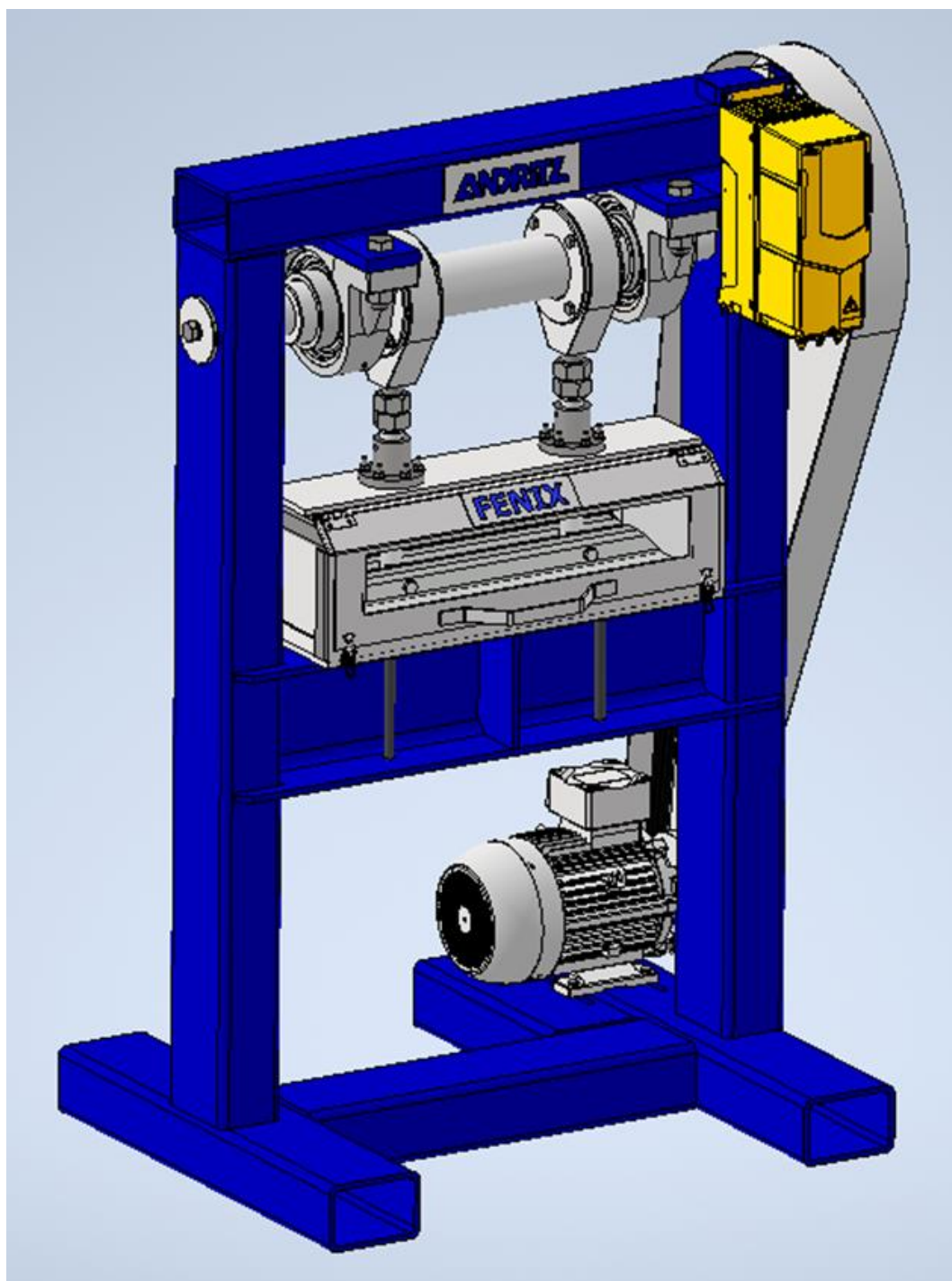
KUVA 5, Poikkileikkaus elastomeeriprofiilien kiinnityksestä.

5.5 Viimeistely

Kehittelyn, komponenttivalintojen ja osakokonaisuuksien suunnittelun jälkeen päästiin koelaitetta viimeistelemään. Opinnäytetyön aiheen rajauksen mukaisesti, viimeistelyvaiheeseen normaalisti kuuluva valmistuspiirustusten teko ja muu tuotedokumentaatio jätettiin työn ulkopuolelle. Näin ollen tässä tapauksessa viimeistelyvaiheeseen ei kuulunut muuta, kuin koelaitteen rakenteen viimeistely ja 3D-mallin kokoaminen. Koelaitteen valmis 3D-malli on esitetty kuvassa 6.

Viimeistelyvaiheessa koelaitteen rakenteeseen tehtiin vielä viimeiset tarkennukset esimerkiksi taajuusmuuttajan kiinnittämisen osalta. Projektin alussa tehty vaatimuslista käytiin vielä kerran läpi ja varmistettiin, että kaikki vaatimukset täyttyvät. Vaatimuslistassa vaatimukseksi turvallisuusosioon merkattu hätäseisäkytkin puuttui koelaitteesta, joten se päätettiin vielä lisätä laitteeseen. Muilta osin koelaitte vastasi vaatimuslistaa ja oli täten valmis kokonaisuus.

Viimeistelyn loppuun jäi tehtäväksi enää koelaitteen ulkoasun viimeistely. Koelaitteen rungon väriksi valittiin toivottu Andritzin sininen. Projektipäällikön toiveiden mukaisesti päätettiin koelaitte nimitä Fenix-koelaitteeksi. Koelaitteen runkoon kiinnitettiin näin ollen Fenix sekä Andritz tekstikyltit.



KUVA 6, Koelaitteen valmis 3D-malli.

5.6 Lopputulos

Koelaitteen suunnittelua lähdettiin viemään läpi aiemmin opinnäytetyössä käsitellyn tuotekehitys- ja koneensuunnitteluprosessin mukaisesti. Lopputuloksena oli tavoitteen mukaisesti järjestelmällisen prosessin pohjalta syntynyt koelaitteen toimintaperiaate, tärkeimmät komponenttivalinnat ja 3D-malli. Koelaitteen lopullisen muotoutumisen pohjalla oli laskelmat voimista ja rasituksista, jonka perusteella päästiin valitsemaan sopivat komponentit ja rakenteet. Näistä pystyttiin kokoamaan kasaan kokonaisuus, joka on kaikin puolin toimiva ja kustannustehokas ratkaisu.

Koelaitteen konseptisuunnittelu valmistui sille suunnitellussa aikataulussa ja rakenne sekä komponenttihankinnat on mahdollista toteuttaa budjetin rajoissa. Aloituspalaverissa määritetty budjetti oli 10 000 euroa, sisältäen materiaalien ja komponenttien hankintakustannukset.

Opinnäytetyön valmistumisen jälkeen koelaitteen kehitys jatkuu valmistuspiirustusten tekemisellä, komponenttien hankinnalla ja koelaitteen valmistamisella. Koelaitteen on tarkoitus valmistua vuoden 2020 loppuun mennessä. Tämän jälkeen päästään aloittamaan DD-pesurin tiiviste-elementin elastomeeriprofilien testaaminen ja kehittäminen.

6 YHTEENVETO

Koelaitteen kehitys oli monipuolinen ja onnistunut tuotekehitysprojekti. Prosessi oli antoisa molemmille osapuolille, niin toimeksiantajalle kuin työn toteuttajalle. Työn rakenne muovautui prosessin aikana loogiseksi ja käsitellyt teoriaosuudet tukivat loistavasti käytäntöä ja koelaitteen kehitystä. Opinnäytetyön lopputulos oli toivotun mukainen, konseptisuunnittelun valmistuminen elastomeeri-profiilien testaamiseen soveltuvalla koelaitteella.

Opinnäytetyön aiheen rajaaminen konseptisuunnitteluun oli onnistunut. Opinnäytetyön laajuus huomioon ottaen, olisi työ venynyt liian pitkäksi ajallisesti sekä työmäärältään, jos siihen olisi sisällytetty myös valmistuspiirrustukset tai laitteen valmistaminen. Tästä johtuen nämä tullaan toteuttamaan erillisenä projektina opinnäytetyön valmistuessa.

Suurimmat haasteet koelaitteen kehityksessä muodostuivat kemikaalien yhdistämisessä fyysistä rasitusta tuottavaan koelaitteeseen. Kuumat kemikaalit eivät saa roiskua ympäristöön, eikä päästä tekemisiin rungon osien kanssa. Laitteen turvallisuuden sekä toimivuuden kannalta ainoaksi ratkaisuksi muodostui koteloida testausympäristö täydellisesti. Koteloinnissa päätettiin tiivistää myös paininta liikuttavien karojen läpiviennit, jonka ansiosta kotelosta saatiin täysin tiivis. Tämä suojelee samalla hyvin myös runkoa, sillä kemikaalina käytettävän lipeän pelkkä höyrystyminen olisi voinut mahdollisesti aiheuttaa korroosiota rungon yläosille.

Paininta liikuttavien karojen tiivistäminen toteutettiin tiiviste-elementin karan tiivisteratkaisulla, mikä toi työlle lisäarvoa. Tämän ansiosta tiiviste-elementin karan uusia tiivisteratkaisuja päästään testaamaan samassa koelaitteessa, eikä tähän tarvitse suunnitella ja valmistaa erillistä laitetta. Karan uusia tiivisteratkaisuja on testattu jo aiemmin, mutta ilman fyysistä rasitusta. Elastomeeriprofiilien testaamiseen suunniteltu koelaitte aiheuttaa kuitenkin myös karan tiivisteelle DD-pesurissa aiheutuvaa rasitusta loistavasti simuloivan liikkeen. Tämä ratkaisu tuo koelaitteelle monipuolisuutta ja hyötyä laajemmassa mittakaavassa.

Andritz Oy:n DD-pesurin tuotekehitystyötä ja testaustoimintoja ajatellen koelaitteella on suuri merkitys. Tämä mahdollistaa DD-pesurin toiminnan kannalta oleellisten komponenttien testaamisen pienemmässä mittakaavassa ennen tehdasolosuhteisiin siirtymistä. Tiiviste-elementin ponneprofiilin pettäminen käytössä aiheuttaa merkittäviä kustannuksia esimerkiksi pesutuloksen heikkenemisen ja kasvaneiden huoltokustannuksien muodossa. Pidemmälle ajanjaksolle katsoen opinnäytetyössä kehitetyllä koelaitteella on mahdollista saavuttaa kehitystä komponenttien toimintaan ja näin ollen merkittäviä kustannussäästöjä. Tämä edellyttää onnistunutta testaus- ja kehitystyötä, jonka perusteella päästään uusiin entistä toimivampiin ja parempiin ratkaisuihin.

Koelaitteen kehitys oli tekijälleen haastava, mutta ennen kaikkea opettavainen kokemus tuotekehityksestä ja koneensuunnittelusta. Työ opetti työskentelemään järjestelmällisen ratkaisuprosessin mukaisesti kohti haluttua päämäärää. Tämä ilmeni käytännössä loistavasti esimerkiksi joidenkin osakokonaisuuksien itsestään selviltä tuntuvien ratkaisujen muovautumisesta prosessin aikana. Opin- näytetyö sisälsi suunnittelutyötä, tiedon hankintaa eri teknisistä ratkaisuista ja näiden soveltamista käytäntöön. Yhdessä tämä kaikki vahvisti tekijänsä ammatillista osaamista ja valmisti työelämässä tulevaisuudessa odottaviin haasteisiin.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ABB 2020. Sähkömoottori ja taajuusmuuttaja. [viitattu 2020-24-03]. Saatavissa:

<https://new.abb.com/products/3GBP133324-ADB>

<https://new.abb.com/products/3AXD50000038970/acs580-01-12a7-4-pn-5-5-kw-i2n-12-6-a-protection-class-ip55-emc-class-c2>

AIRILA, EKMAN, HAUTALA, KIVIOJA, KLEIMOLA, MARTIKKA, MIETTINEN, NIEMI, RANTA, RINKINEN, SALONEN, VERHO, VILENIUS JA VÄLIMAA 1997. Koneenosien suunnittelu. 2. painos. Porvoo: WSOY-kirjapainoyksikkö.

ANDRITZ 2020. Andritz Group. [viitattu 2020-21-01]. Saatavissa: <https://www.andritz.com/group-en>

ANDRITZ Oy 2020. Andritz Oy. [viitattu 2020-21-01]. Saatavissa: <https://www.andritz.com/pulp-and-paper-en/locations/andritz-oy>

CIULLO, Peter ja HEWITT, Norman 1999. The Rubber Formulary. 1. Painos. New York: Noyes Publications.

HIETIKKO, Esa 2016. Tuotekehitystoiminta. 3. Painos. Helsinki: BoD – Books on Demand.

PAHL, Gerhard ja Beitz, Wolfgang 1986. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

ULRICH, Karl ja EPPINGER, Steven 2016. Product Design and Development. 6. painos. New York: McGraw-Hill Education.

MEYER-VASTUS 2020. Silikonilämpömatto. [viitattu 2020-10-04]. Saatavissa: <https://www.meyer-vastus.fi/tuotteet/kiinteiden-aineiden-lammitys/silikonivastukset/>

MÄKELÄ, SOININEN, TUOMOLA ja ÖISTÄMÖ 2015. Tekniikan kaavasto. 15. painos. Porvoo: Bookwell Oy.

NUPPONEN, LEHTONEN, SILENIUS ja LAUNIS 1984. Raaka-ainekäsikirja: Muovit, kumit. 1.painos. Tampere: Satapaino.

SKF 2020. Laakerointi. [viitattu 2020-26-03]. Saatavissa:

<https://www.skf.com/group/products/bearing-units/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SYJ%2090%20TF>

<https://www.skf.com/group/products/plain-bearings/bushings-thrust-washersstrips/bushings/productid-PCM%209510060%20M>

LIITE 1: VAATIMUSLISTAN 1. PAINOS

		1. Painos 29.1.2020
Andritz	Vaatuslista koelaitteelle	
Muutokset	V/T	Vaatimukset
		1. Geometria
		Testattavan profiilin koko 60x25 mm, pituus min 500 mm
		Profiilille täytyy olla tasainen pinta
		Rakenteen täytyy olla jäykkä
		2. Kinematiikka
		Profiilia rasitettava iskevällä liikkeellä
		Profiilin kestettävä paikoillaan
		Laitteen kestettävä paikoillaan
		3. Voimat
		Profiilia täytyy painaa voimalla x
		Testattavan profiilin paine 2.0 bar
		3. Energia
	T	Iskevän liikkeen tiheys säädettävissä
		Profiili kosketuksissa nesteen kanssa
		Neste lämmitettävä
		4. Materiaali
		Nesteen kanssa kosketuksissa olevat osat
	T	oltava haponkestävää terästä
	T	Runko rakenneterästä
		5. Turvallisuus
		Rakenteen täytyy kestää liikkeen aiheuttama rasitus
		Kemikaalit ei saa roiskua laitteen ympärille
		Laitteessa oltava hätäseisäkytkin
		6. Ergonomia
	T	Laite hyvällä työskentely korkeudella
		7. Valmistus
		Käytettävä varastosta löytyviä materiaaleja
	T	mahdollisuuksien mukaan
		8. Asennus
		Koottava tarvittaessa käyttöpaikassaan
		9. Käyttö
		Laitteen tulee pystyä pyörimään itsenään yhtäjaksoisesti
		Profiilin vaihto täytyy onnistua helposti
		10. Kunnossapito
	T	Nesteen vaihto onnistuttava helposti
		11. Kustannukset
		Valmistuskustannukset max 10 000 €
		12. Aikataulu
		Koelaitteen oltava valmiina xx.xx.2020

Vaatimuksia (V) ei merkitty, vain toivomukset (T)

LIITE 2: VAATIMUSLISTAN 2. JA LOPULLINEN PAINOS

		2. Painos 30.1.2020
Andritz	Vaatuslista koelaitteelle	
Muutokset	V/T	Vaatimukset
		1. Geometria
		Testattavan profiilin koko 56x20 mm, pituus n. 500 mm
30.tammi		Profiilille täytyy olla tasainen pinta
		Profiili oltava testattaessa U-kourujen välissä
30.tammi		Rakenteen täytyy olla jäykkä
		Pystyttävä testaamaan vähintään 2 profiilia kerrallaan
		2. Kinematiikka
		Profiilia rasiitettava iskevällä liikkeellä, taajuus 1-5 Hz
		Profiilin kestettävä paikoillaan
		Laitteen kestettävä paikoillaan
		3. Voimat
30.tammi		Laitteen tuottaman voiman täytyy puristaa profiilia kasaan 30-40 %
		Testattavan profiilin paine 1 - 2 bar
		4. Energia
	T	Iskevän liikkeen tiheys säädettävissä
		Profiili kosketuksissa nesteen kanssa
		Neste lämmitettävä
30.tammi		Paineilman syöttö profiilille
		5. Materiaali
		Nesteen kanssa kosketuksissa olevat osat oltava haponkestävää terästä
	T	Runko rakenneterästä
30.tammi		Runko maalataan Andritzin sinisellä
		6. Signaali
30.tammi		Nestein lämpötilan mittaus
		7. Turvallisuus
30.tammi		Pyörivät ja liikkuvat osat oltavat suojattu
		Rakenteen täytyy kestää liikkeen aiheuttama rasitus
		Kemikaalit ei saa roiskua laitteen ympärille
		Laitteessa oltava hätäseisäkytkin
		8. Ergonomia
	T	Laite hyvällä työskentely korkeudella
		9. Valmistus
	T	Käytettävä varastosta löytyviä materiaaleja mahdollisuuksien mukaan
		10. Asennus
		Koottava tarvittaessa käyttöpaikassaan
		11. Käyttö
	T	Kemikaalien/nestein lisäys onnistuttava helposti
		Laitteen tulee pystyä pyörimään itsenäisesti yhtäjaksoisesti
	T	Profiilin vaihto täytyy onnistua helposti
	T	Nestein vaihto onnistuttava helposti
		12. Kunnossapito
		Kuluvat osat oltava vaihdettavissa
		13. Kustannukset
30.tammi		Valmistuskustannukset max 10 000 € (sis. Komponentit ja materiaalit)
		14. Aikataulu
30.tammi		Koelaitteen konseptisuunnittelu oltava valmiina 30.4.2020
30.tammi		Koelaitte valmistettuna viimeistään 6.12.2020

Vaatimuksia (V) ei merkitty, vain toivomukset (T)

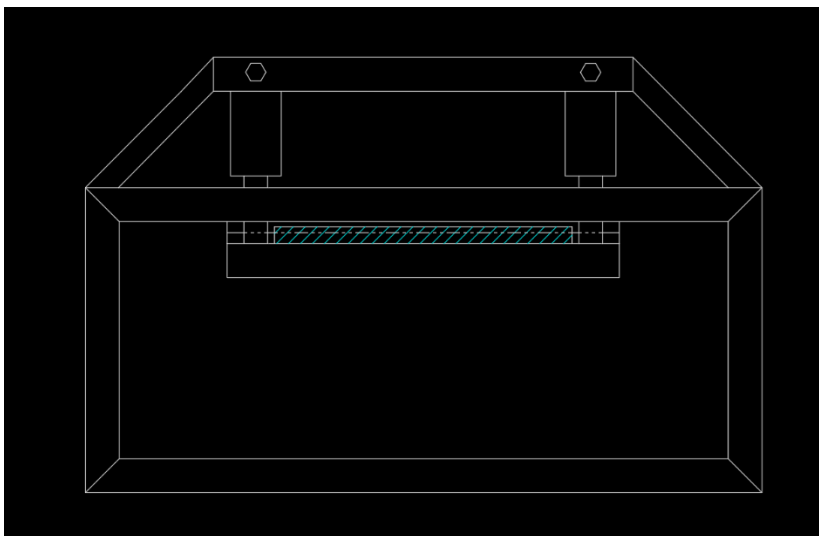
LIITE 3: KOELAITTEEN OSATOIMINNOT**Vaikutusperiaatteiden haku ja osatoiminnot****Osatoiminnot:**

1. Mekaaninen rasitus
2. Nesteen tuonti
3. Nesteen lämmitys
4. Profiilin asettelu
5. Profiilin kiinnitys
6. Laitteen kiinnitys
7. Suojaus kemikaalien roiskumiselta
8. Lämpötilan seuranta
9. Voimien säätö
10. Liikkuvien osien suojaus

Päätoiminto:

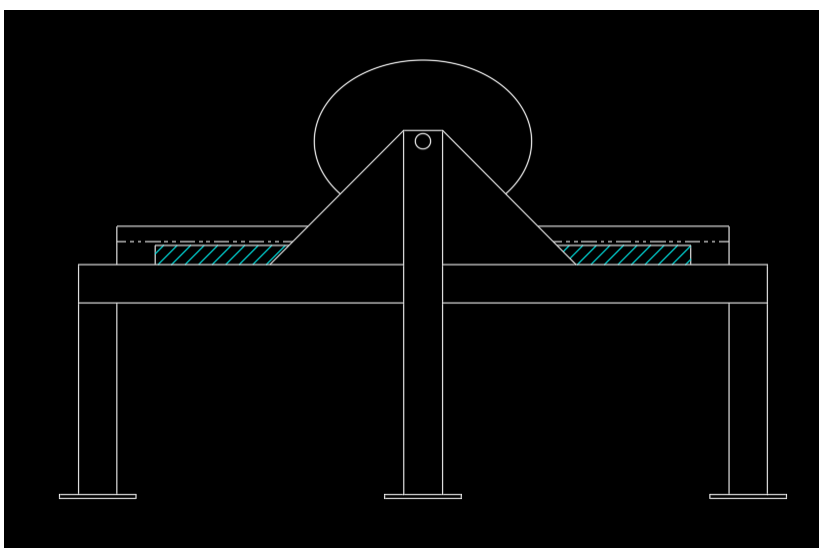
Paineistettujen ponneprofiilien rasitus mekaanisesti iskevällä liikkeellä sekä lämpimällä kemikaalilla altistamalla suojatussa ympäristössä.

LIITE 4: KOELAITTEEN LUONNOKSET



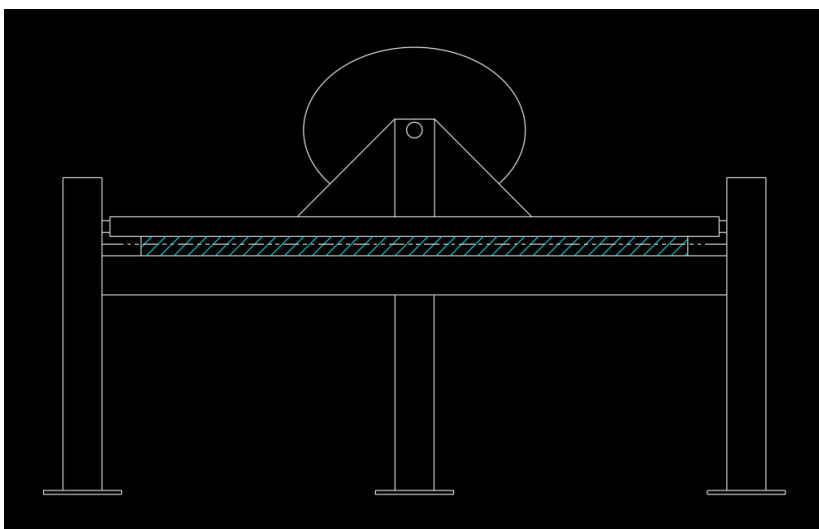
Luonnos 1

Hydrauliikkasylinterit nostavat ja samalla puristavat ponneprofiilia kasaan. Profiili on upotettuna nesteeseen osittain. Voima tuotetaan hydraulipumpulla.



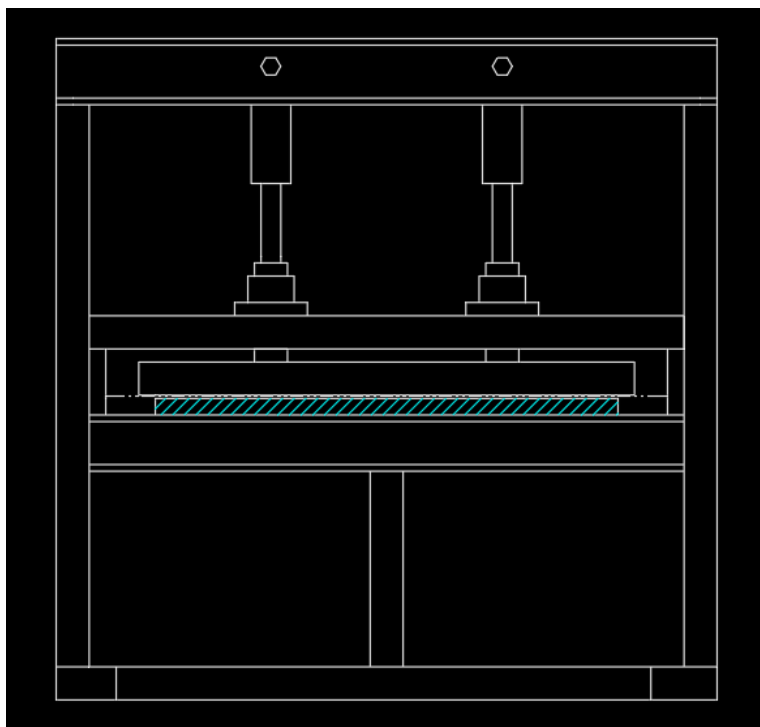
Luonnos 2

Epäkesko pyörii ja painaa ponneprofiilia kasaan. Ponneprofiili on upotettuna kokonaan nesteeseen. Voima pyörimisliikkeelle tuotetaan sähkömoottorilla.



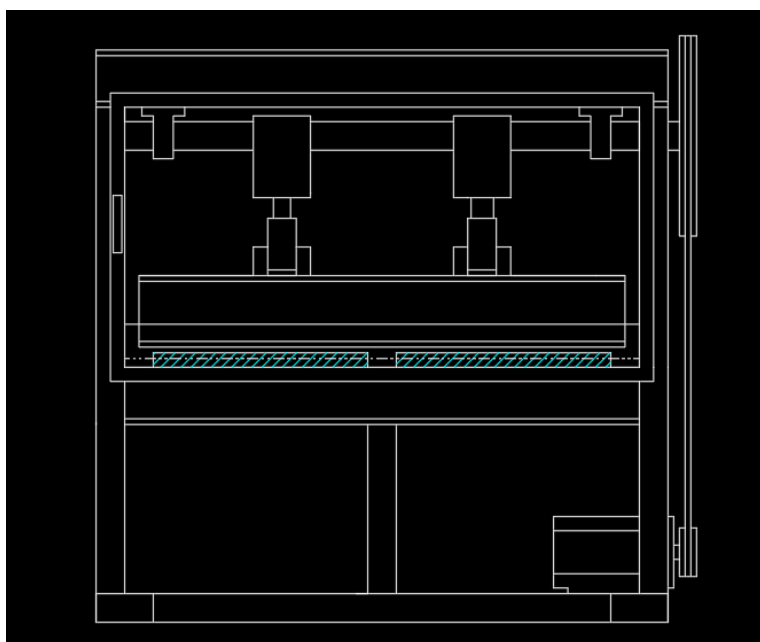
Luonnos 3

Vapaasti liikkuvaan kehykseen kiinnitetty epäkesko liikkuu pyörimisen seurauksena työntää ponneprofiilia. Ponneprofiili on upotettuna nesteeseen osittain. Voima pyörimisliikkeelle tuotetaan sähkömoottorilla.



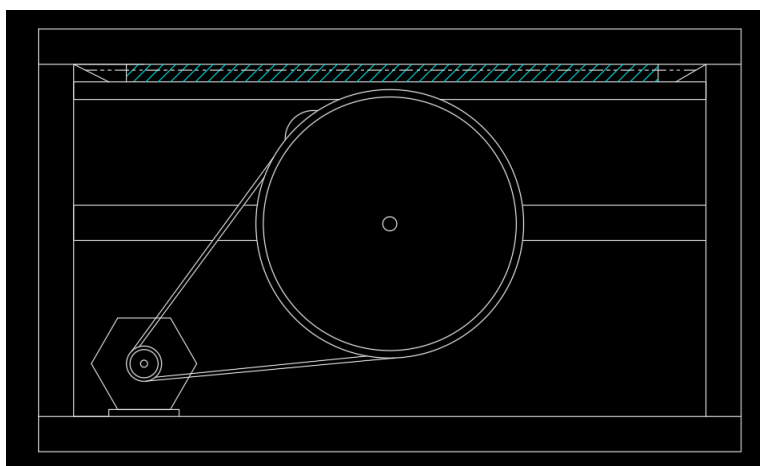
Luonnos 4

Hydrauliikkasylinteri työntää palkkia alaspäin, joka painaa ponneprofiilia kasaan. Ponneprofiili on osittain upotettu nesteeseen. Voima tuotetaan hydraulipumpulla.



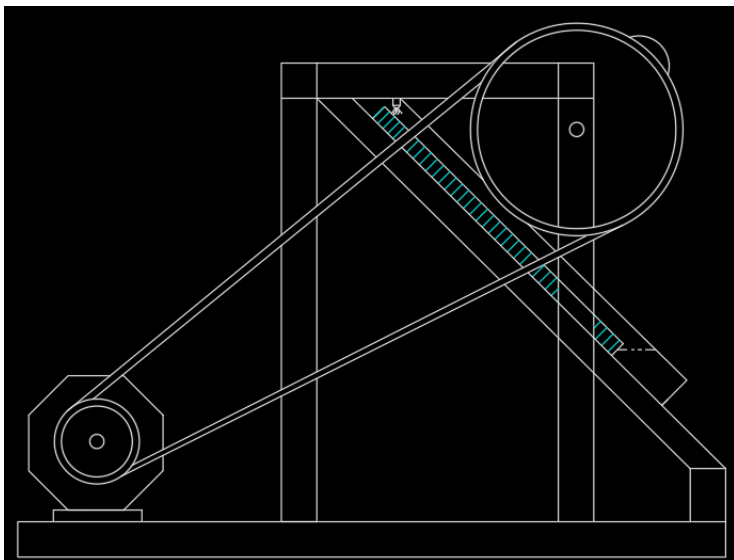
Luonnos 5

Kampiakseli tyyppinen epäkeskoliike työntää palkkia alaspäin, joka painaa ponneprofiilia kasaan. Ponneprofiili on osittain upotettu nesteeseen. Voima tuotetaan sähkömoottorilla, josta se välitetään eteenpäin kiilahihnalla.



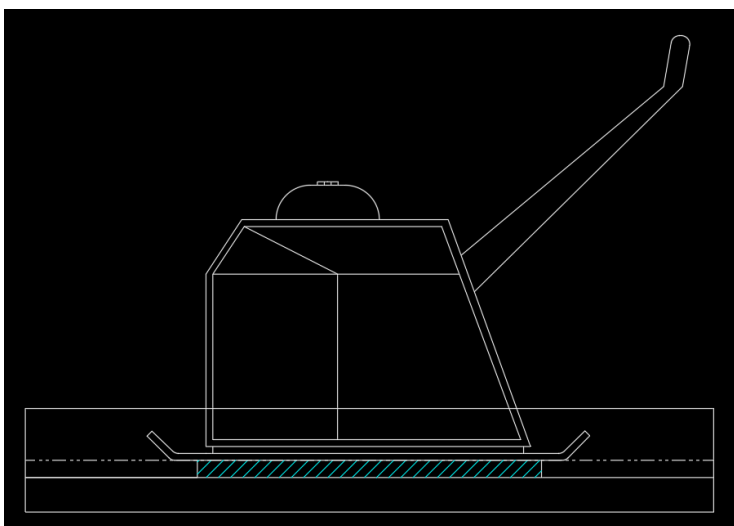
Luonnos 6

Epäkesko pyörii ja painaa ponneprofiilia kasaan alhaalta päin. Ponneprofiili on osittain upotettuna nesteeseen. Voima tuotetaan sähkömoottorilla, josta se välitetään eteenpäin kiilahihnalla.



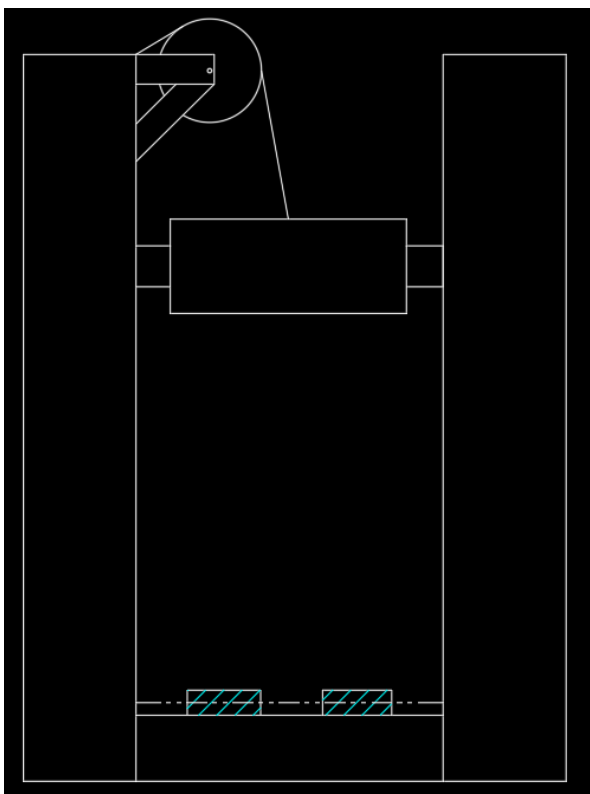
Luonnos 7

Ponneprofiili on 45-asteen kulmassa ja sitä rasitetaan epäkeskoliikkeellä. Neste tuodaan profiilille suihkuttamalla, josta se valuu alas profiilia pitkin. Voima tuotetaan sähkömoottorilla, josta se välitetään eteenpäin kiilahihnalla.



Luonnos 8

Ponneprofiilia rasitetaan täryjyrällä. Profiili upotettuna kokonaan nesteeseen. Voima sähkömoottorista.



Luonnos 9

Ponneprofiilia rasitetaan juntaamalla sitä painolla. Paino nostetaan ylös ja pudotetaan profiilien päälle. Profiili on osittain upotettuna nesteeseen.

LIITE 5: PROFIILIN RASITUKSEEN TARVITTAVAN VOIMAN LASKEMINEN

Profiilin rasitukseen tarvittava voima:

Profiilin rasitukseen saatava voima saadaan laskettua, kun tiedetään profiilin sisälle haluttu paine 2.0 bar. Profiilin pinta-alan ollessa 500 x 50 mm, saadaan paineen kaavalla laskettua tarvittava voima:

$$p = \frac{F}{A} \rightarrow F = A \times p = 0,5 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 200000 \text{ Pa} = \mathbf{5000 \text{ N}}$$

Profiilia rasittava liike on pituudeltaan 5 mm, joten profiili myös puristuu kokoon 5 mm matkan. Paineistettuna profiilin paksuus sisämitaltaan on 17 mm, joten paksuus kokoon puristuessa on 12 mm. Profiilin puristuessa kokoon myös profiilin paine muuttuu, sillä Boylen lain mukaan lämpötilan pysyessä samana, on paineen ja tilavuuden tulo vakio. Tästä saadaan laskettua profiilin paine kokoon puristuneena:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{2,0 \text{ bar} \times 0,5 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 0,017 \text{ m}}{0,5 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 0,012 \text{ m}} = \mathbf{2,8 \text{ bar}}$$

Näin ollen tarvittava voima on:

$$F = A \times p = 0,5 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 280000 \text{ Pa} = \mathbf{7000 \text{ N}}$$

Testattavia profiileita ollessa kaksi kappaletta täytyy myös voima kaksinkertaistaa. Tämän lisäksi koelaitetta suunniteltaessa päätettiin varmuuskertoimeksi asettaa kaksi, jolloin koelaitteen tuottaman pystysuoran kuormituksen täytyy olla:

$$7000 \text{ N} \times 2 \times 2 = \mathbf{28\ 000 \text{ N}}$$

LIITE 6: SÄHKÖMOOTTORIN JA EPÄKESKON MITOITUS

Sähkömoottori ja epäkeskoliike

Vaadittu liikkeen suuruus 5 mm

Liikkeen taajuus 5 Hz = 300 rpm

Voiman momentti:

$$M = F \times r = 28\,000\, N \times 0,005\, m = \mathbf{140\, Nm}$$

Kitkan aiheuttama momentti:

Liukulaakerin kitkakerroin $\mu = 0,02$

Akselin halkaisija 90 mm

$$28\,000\, N \times 0,045\, m \times 0,02 = \mathbf{25\, Nm}$$

Kokonaismomentti:

$$140\, Nm + 25\, Nm = \mathbf{165\, Nm}$$

Sähkömoottorin teho:

$$P = \frac{M \times n}{9550} = \frac{165\, Nm \times 300\, rpm}{9550} = \mathbf{5,2\, kW}$$

Valittu sähkömoottori:

ABB M3BP132MC B3 5,5 kW 1000 IE2

- Teho 5,5 kW
- Pyörintänopeus 1000 RPM

Varmuuskerroin sähkömoottorin teholle:

Todellinen varmuuskerroin sähkömoottorin teholle saadaan kertomalla sähkömoottorin laskennallisen tehon ja valitun sähkömoottorin teho valitulla varmuuskertoimella kaksi.

$$2 \times \frac{5,5\, kW}{5,2\, kW} = \mathbf{2,1}$$

LIITE 7: KIILAHIHNAVÄLITYKSEN MITOITUS

Kiilahihnavälitys

Arvot laskelmiin on otettu SFS 3527 kapeiden kiilahihnojen mitoitus- ja asennusohjeiden standardissa olevista taulukoista ja vakioista.

Pienen hihnapyörän mitoitus:

$$d_p = \frac{1,5 \times K_k \times P}{\pi \times n_1 \times F_j} = \frac{1,5 \times 1,1 \times 5,5 \text{ kW}}{\pi \times \frac{1000 \text{ rpm}}{60} \times 1,3 \text{ kN}} = \mathbf{0,133 \text{ m}}$$

Valitaan taulukosta näille arvoille sopivin hihnatyypin, joka on **SPA**.

Hihnapyörän halkaisijaa lähin hihnapyörän koko SPA kiilahihnalle taulukosta, joka on **140 mm**.

Välityssuhde:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1000 \text{ rpm}}{300 \text{ rpm}} = \mathbf{3,33}$$

Ison hihnapyörän halkaisija:

$$D = d \times i = 140 \text{ mm} \times 3,33 = \mathbf{466,2 \text{ mm}}$$

Valitaan taulukosta lähimpänä tätä halkaisijaa oleva vakio hihnapyörän halkaisija, joka on **450 mm**.

Todellinen välityssuhde:

Hihnapyörien ollessa valittu saadaan todellinen välityssuhde, joka on:

$$i = \frac{D}{d} = \frac{450}{140} = \mathbf{3,21}$$

Kiilahihnan pituus:

Koelaitteessa hihnapyörien akseliväli on noin 1100 mm, joten tarvittava kiilahihnan pituus on 3148 mm. Valitaan tätä lähin vakio koko, joka on

3150 mm

Tarvittavien hihnojen määrä:

$$Z = \frac{P \times k_k \times k_t \times k_o}{P_0 \times k_\beta \times k_l} = \frac{2,2 \text{ kW} \times 1,1 \times 1,2 \times 1}{3,9 \text{ kW} \times 0,92 \times 1,04} = \mathbf{1,95}$$

Tuloksen ollessa 1,95 tarvitaan koelaitteeseen **kaksi kiilahihnaa**.

LIITE 8: AKSELIN MITOITUS

Akselin mitoitus

Akselin tarvittava minimi halkaisija saadaan arvioitua sallittujen jännitysten perusteella

1. Vääntöjännityksen suhteen:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \times M_V}{\pi \tau_{sall}(1-\alpha^4)}}$$

Akselin ollessa umpinainen ja materiaalin s355 ($\tau_{sall} = 18 \text{ Mpa}$), saadaan halkaisija yksinkertaisemmin (Airila ym. 1997, 327):

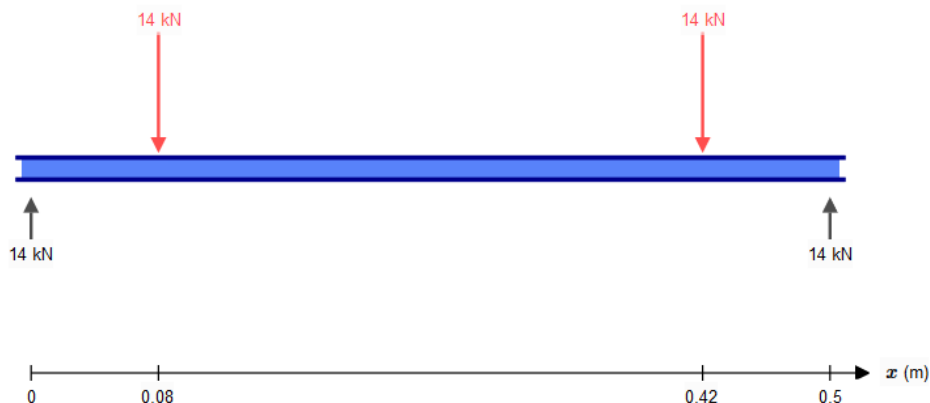
$$D = 6,6 \times \sqrt[3]{M_V} = 6,6 \times \sqrt[3]{140 \text{ Nm}} = \mathbf{34,3 \text{ mm}}$$

2. Taivutusjännityksen suhteen:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \times M_t}{\pi \sigma_{sall}(1-\alpha^4)}}$$

Akselin halkaisijan arvioiminen taivutussuhteen vaatii taivutusmomentin selvittämisen. Tämän laskemiseksi tarvitaan akseliin vaikuttavat voimat:

$$\sum F^{\rightarrow} = 0 \quad \sum F^{\uparrow} = 0 \quad \sum M_A^{\uparrow} = 0$$



Josta saadaan laskettua taivutusmomentti:

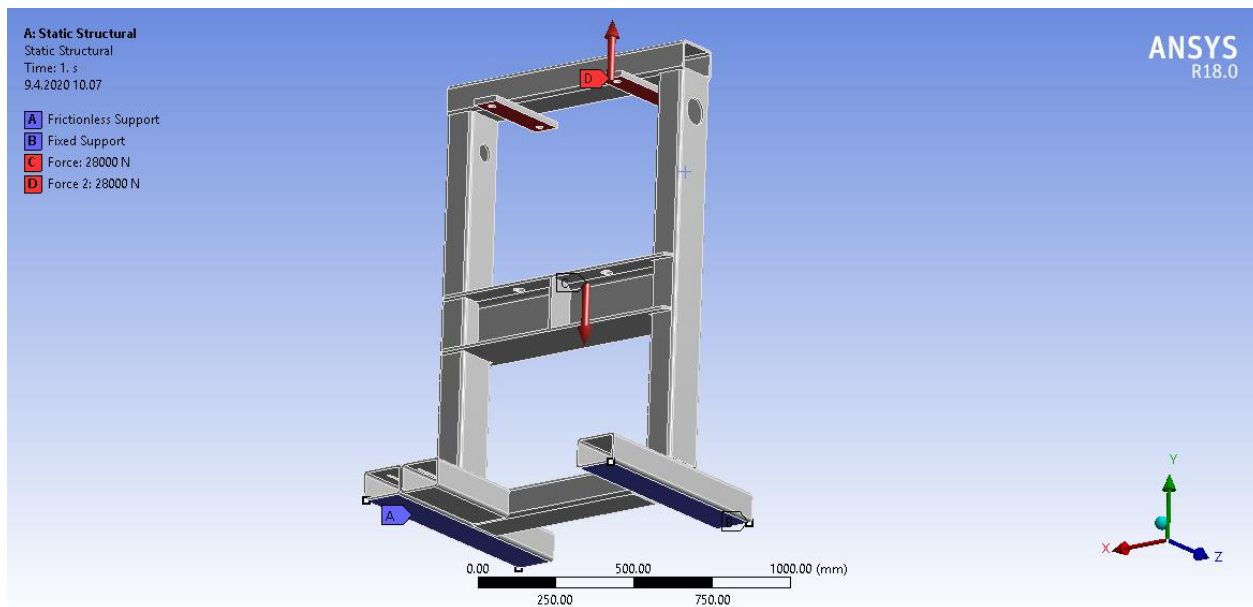
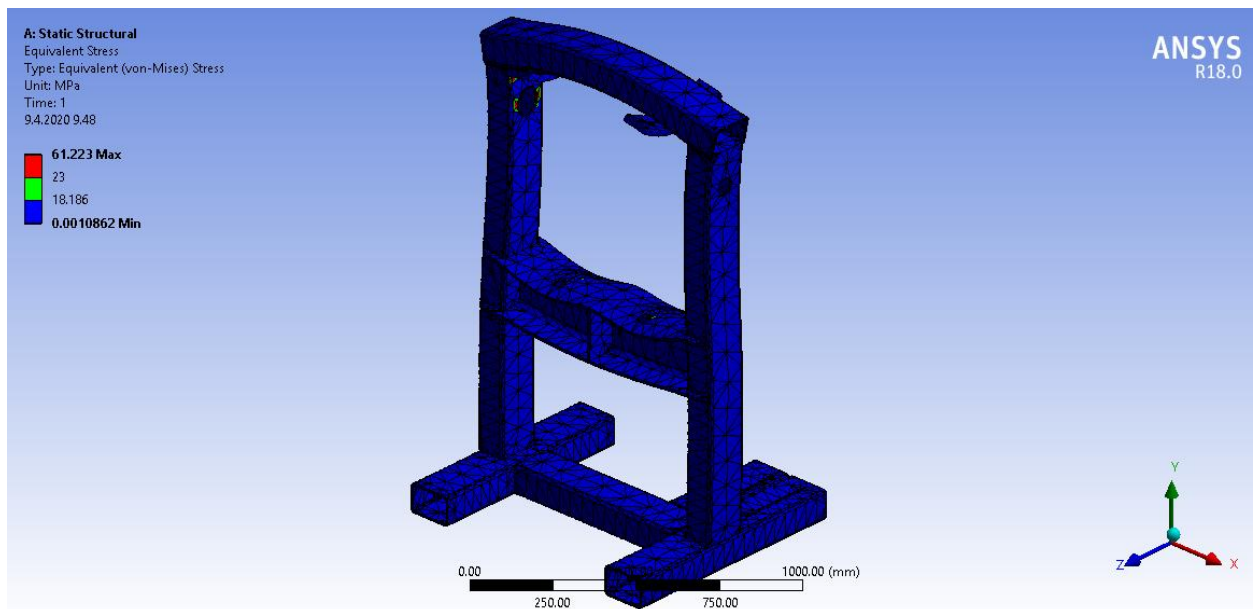
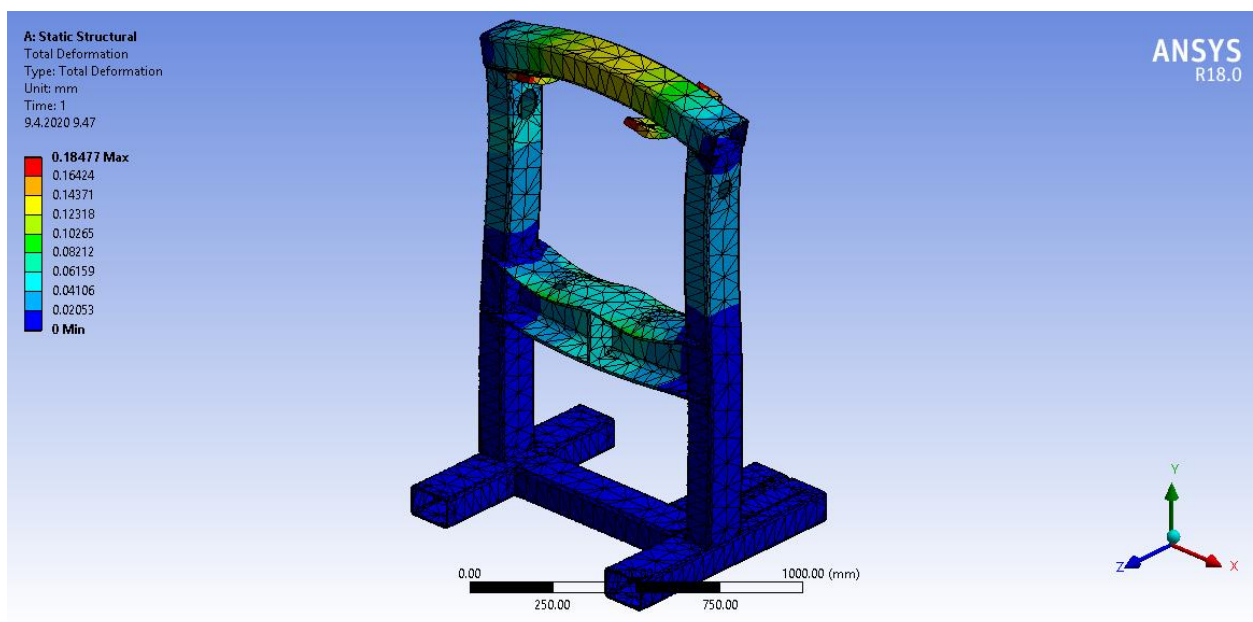
$$M_t(x) = -Fx = 14 \text{ kN} \times 0,08 \text{ m} = 1,12 \text{ kNm}$$

Akselin ollessa umpinainen ja materiaalin s355 ($\tau_{sall} = 18 \text{ Mpa}$), saadaan halkaisija yksinkertaisemmin (Airila ym. 1997, 327):

$$D = 8,3 \times \sqrt[3]{M_t} = 8,3 \times \sqrt[3]{1120 \text{ Nm}} = \mathbf{86,2 \text{ mm}}$$

Tästä voidaan todeta aiemmin valitun 90 mm paksun akselin olevan riittävä.

LIITE 9: KOELAITTEEN RUNGON LUJUUSTARKASTELU

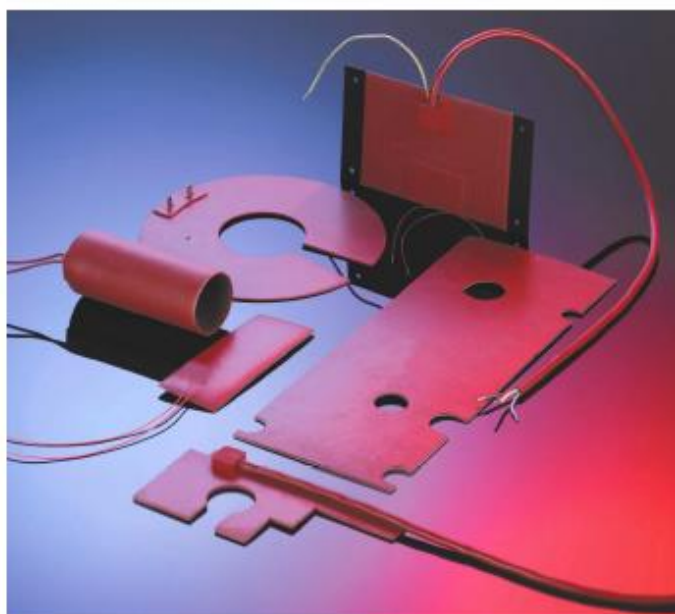


LIITE 10: SILIKONILÄMPÖMATON TIEDOT

Silikonilämpömatot

Silikonilämpömattoja voidaan käyttää monessa paikassa lämmön ylläpitämiseen, lämmittämiseen ja sulatukseen. Lämpömatot ovat taipuisia ja muoto voidaan tehdä toivomusten mukaan. Useita kiinnitysvaihtoehtoja esim. liimalla, ruuveilla tai vanteilla.

Käyttökohteet:
Säiliöt, kuljettimet, lämpölevyt, antennit, rummut, kotelot...



Käyttäjännite:	Käyttäjännite 12V ... 415V
Pintateho:	Maksimi 5kW/m ² (0,5W/cm ²)
Rakenne:	Kaksi-kerroksinen silikonimatto joiden välissä vastuspunos tai lasikuitueristetty vastuslanka
Koko:	Maksimi koko 3000mm x 940mm
Paksuus:	0,7-3mm
Taivutus:	Pienin taivutussäde 50mm
Alin käyttölämpötila:	-60°C
Korkein käyttölämpötila:	+200°C , liimapinnalla +150°C
Jännitekoe:	1,5kV
Liitäntä:	Silikonijohtimet tai kaapeli 2-johdin
Kiinnitys:	Kiinnitetään suoraan lämmitettävään pintaan liimaamalla tai vanteilla. Huom! Lämpömaton ja lämmitettävän pinnan väliin ei saa jäädä ilmarakoa.
Ohjaus:	Erillisellä termostaatilla
Optiot:	Useampi lämpöpiiri Sisäänrakennettu lämpötilarajoiitin tai -anturi Epäsäännölliset muodot ja reiät Korkeampi pintateho

1/11/11

MEYER-vastus

Oy Meyer vastus Ab, Sepäntie 2, 07230 Monninkylä
Puh/tel. 019-5740 200, Fax 019-5740 220
www.meyervastus.fi
E-mail info@meyervastus.fi