

Eetu Lindberg

# KIRISTYKSEN AUTOMATISOINTI

## Kiristyslaitteen tuotekehitys

Diplomityö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Timo Lehtonen  
Mikko Vanhatalo  
Marraskuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Eetu Lindberg: Kiristuksen automatisointi – Kiristyslaitteen tuotekehitys  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Marraskuu 2022

---

Tämän diplomityön tavoitteena on kehittää kiristyslaite Sandvik Mining and Construction Oy:lle. Kehitettävän kiristyslaitteen on tarkoitus tulla osaksi hydraulisten iskuvasaroiden kokoonpanoprosessia. Kokoonpanoprosessissa kiristyslaitteella on tarkoitus kääntää samanaikaisesti neljä sidepulttia astekulmaan, joka vaihtelee iskuvasaramalleittain. Kokoonpantavia iskuvasaramalleja on 7 erilaista ja kiristyslaitteen tulee olla säädettävissä näille kaikille sopivaksi.

Diplomityön kirjallisuuskatsauksessa tutkittiin neljää erilaista tuotekehitysmenetelmää, jotka soveltuvat kiristyslaitteen tuotekehitykseen. Näistä tuotekehitysmenetelmistä valittiin tälle työlle sopivin, jonka pohjalta kiristyslaite kehitetään. Valituksi tuotekehitysmenetelmäksi päätettiin Christian Weberin kehittämä CPM/PDD (Characteristics-Properties Modeling/Property-Driven Development). CPM/PDD-menetelmän keskiössä ovat kehitettävän tuotteen ominaisuudet ja tunnuspiirteet sekä niiden välinen yhteys. Ennen kiristyslaittekonseptien kehittämistä kiristyslaitteelle kerättiin ideoita patenttiselvityksen ja benchmarking-tutkimuksen avulla. Molempien tiedonkeruumenetelmien tulokset jäivät heikoiksi, eikä vastaavaa kiristyslaiteratkaisua löytynyt. Tulokset tarjosivatkin lähinnä ideoita mahdollisen voimanvälitysratkaisun toteuttamiseksi.

Varsinainen kehitystyö koostui kolmesta kehityskierroksesta, joiden aikana kehitettiin yhteensä 8 erilaista kiristyslaittekonseptia. Konseptien kehitykseen käytetyt tutkimusmenetelmät olivat pääosin mallinnus ja skissailu. Ensimmäisellä kehityskierroksella suunniteltiin 4 karkeaa konseptia. Kehityskierroksen päämääränä oli löytää sopivin voimanlähdevaihtoehto astekulman käännön toteuttamiseen. PDD-arviointien perusteella parhaaksi voimanlähdevaihtoehdoksi nousi jokaiselle sidepultille omat sähkömoottorit. Toisella kehityskierroksella panostettiin sähkömoottorien hylsyjen välisen etäisyyden säätöön. Kierroksella kehitettiin 3 konseptia, joista PDD-arvioinnin mukaan parhaassa hylsyjen välinen säätö oli toteutettu ovirakenteen avulla. Ovirakenne mahdollisti yhdensuuntaisilla tasoilla tapahtuvan säädön, mikä paransi säädön tarkkuutta merkittävästi. Kolmannella kehityskierroksella paranneltiin aiemmalla kierroksella hyväksi todettua konseptia. Kierros koostuikin lähinnä yksityiskohtien viilaamisesta paremmiksi. Konseptille suoritetun PDD-arvioinnin perusteella todettiin, että konsepti pystyy vastaamaan kaikkiin vaadittuihin ominaisuuksiin vähintään arvosanalla hyvä, osin jopa kiitettävästi.

Kehitystyön jälkeen käytiin läpi lopullisen konseptin kehityksessä käytettyjä suunnittelufilosofioita sekä perusteltiin muun muassa toimilaittevalintoja. Johtopäätöksissä kehitetty kiristyslaite todettiin varsin onnistuneeksi ainakin teorian tasolla. Lopullinen onnistuminen nähdään vasta prototyypillä toteutettavien testien jälkeen. Myös CPM/PDD-menetelmän käyttö osoittautui varsin hyväksi valinnaksi ja sen käyttöä voidaan suositella kiristyslaitteen kaltaisissa kehityshankkeissa. Kiristyslaitteen kehitystyön seuraavat vaiheet ovat prototyypin valmistus sekä automaatiotoimittajan valinta.

Avainsanat: CPM/PDD, tuotekehitysmenetelmä, tuotekehitys, kiristyslaite, hydraulinen iskuvasara

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Eetu Lindberg: Automation of tightening – Product development of tightening device  
Master's thesis  
Tampere University  
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering  
November 2022

---

The goal of this thesis is to develop a tightening device for Sandvik Mining and Construction Oy. The tightening device being developed is intended to become part of the process of assembling hydraulic hammers. In the assembly process, the tightening device is supposed to simultaneously turn four tie bolts to a proper angle that varies from hydraulic hammer model. There are 7 different types of hammer models to assemble, and the tightening device must be adjustable to suit all of them.

The literature review of the thesis investigated four different product development methods suitable for the product development of the tightening device. Among these product development methods, the most suitable for the development of the tightening device is selected. The selected product development method was CPM/PDD (Characteristics-Properties Modeling/Property-Driven Development) developed by Christian Weber. The CPM/PDD method is based on the properties and characteristics of the product and the link between them. Prior to the development of tightening device concepts, ideas were collected for the tightening device through patent search and benchmarking. The results of both data collection methods were weak, and no corresponding tightening device solution could be found. The results mainly offered ideas for implementing a possible power transmission solution.

The actual development process consisted of three development rounds. During these, 8 different tightening device concepts were developed. The research methods used for the development of concepts were mainly modeling and sketching. In the first round of development, 4 rough concepts were developed. The goal of the development round was to find the most suitable power source option for implementing the proper angle turn. Based on the PDD evaluations, the best power supply option was own electric motor for each tie bolt. In the second development round was invested in development of distance adjusting unit of electric motors. Three different concepts were developed during the round two. In the best concept, adjustability was based on the door structure. The door structure allowed adjustment on parallel planes which significantly improved the accuracy of the adjustment. In the third development round the focus was on improving the earlier round's concept. The round consisted mostly of making the details better. Based on the PDD evaluation of the concept, it was concluded that the concept can fulfill all the required properties with at least a good, even commendable grade.

After the development process, the design philosophies used in the development of the final concept were examined and, for example, actuator choices were justified. In the conclusions the developed tightening device was found to be quite successful, at least in theory. Final level of success will be seen after tests with the prototype. The use of the CPM/PDD method also proved to be quite a good choice and its use can be recommended in similar development projects. The next steps in the development of the tightening device are the manufacture of the prototype and the selection of the automation supplier.

Keywords: CPM/PDD, product development method, product development, tightening device, hydraulic hammer

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö toteutettiin Sandvik Mining and Construction Oy:lle Lahden toimipisteellä. Aihe osoittautui erittäin monialaiseksi ja se opetti minulle paljon. Haluankin kiittää erityisesti Ossi Niemiojaa aiheen tarjoamisesta minulle. Haluan myös kiittää kaikkia työkavereitani, jotka ovat auttaneet minua läpi tämän projektin. Kiitokset myös ohjaajalleni Timo Lehtoselle, jonka antamien selkeiden suuntaviivojen ansiosta diplomityö eteni joutuisasti.

Opintojeni loppusuora alkaa häämöttää, joten tässä vaiheessa haluan kiittää kaikkia matkalla mukana olleita ihmisiä.

Tampereella, 3.11.2022

Eetu Lindberg

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Työn tausta .....	1
1.2 Työn tavoitteet ja rajaus .....	2
1.3 Työn toteutus ja rakenne .....	2
2. TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....	5
2.1 Hydraulinen iskuvasara .....	5
2.2 Tuotteisto .....	6
2.3 Kokoonpanoprosessi .....	8
2.4 Uusi automaattinen lämmityslaitteisto .....	9
2.5 Konedirektiivi 2006/42/EY .....	10
2.6 Yhteenveto lähtökohtien asettamista vaatimuksista .....	10
3. TUOTEKEHITYSMENETELMÄT .....	12
3.1 Tuotekehitysprosessista yleisesti .....	12
3.1.1 Patenttiselvitys .....	13
3.1.2 Benchmarking .....	14
3.2 Tuotekehitysmenetelmän valinnan perusteet .....	15
3.3 Erilaisia tuotekehitysmenetelmiä .....	17
3.3.1 Systemaattinen suunnitteluprosessi .....	17
3.3.2 V-malli .....	19
3.3.3 Viiden askeleen menetelmä .....	22
3.3.4 CPM/PDD .....	24
3.4 Valittu tuotekehitysprosessi .....	29
4. TUOTEKEHITYSPROJEKTIN ALUSTUS .....	31
4.1 Patenttiselvityksen toteutus .....	31
4.2 Benchmarking-tutkimuksen toteutus .....	33
4.3 CPM/PDD-menetelmän soveltaminen .....	34
4.4 Kiristyslaitteen vaatimusten määrittely .....	36
4.4.1 Vaaditut ominaisuudet .....	36
4.4.2 Tunnuspiirteet .....	38
4.4.3 Yhteydet .....	39
5. TUOTEKEHITYSPROSESSIN TOTEUTUS .....	40
5.1 Ensimmäinen kehityskierros .....	40
5.1.1 Konsepti 1 .....	41
5.1.2 Konsepti 2 .....	43
5.1.3 Konsepti 3 .....	45

5.1.4	Konsepti 4.....	46
5.1.5	Ensimmäisen kehityskierroksen tarkastelu.....	48
5.2	Toinen kehityskierros .....	50
5.2.1	Konsepti 5.....	51
5.2.2	Konsepti 6.....	53
5.2.3	Konsepti 7.....	56
5.2.4	Toisen kehityskierroksen tarkastelu .....	60
5.3	Kolmas kehityskierros .....	62
5.3.1	Konsepti 8.....	63
5.3.2	Kolmannen kehityskierroksen tarkastelu .....	67
6.	SUUNNITTELUFILOSOFIAT JA TOIMILAITTEVALINNAT .....	68
6.1	Rakenne .....	68
6.2	Sidepultin kiristysyksikkö.....	70
6.3	Ovien etäisyyden säätöyksikkö .....	71
6.4	Anturi- ja toimilaiteluettelo .....	74
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	75
7.1	Kiristyslaitteen arviointi.....	75
7.2	CPM/PDD-menetelmän arviointi.....	76
7.3	Jatkokehityssuosituksset ja tulevaisuuden näkymät.....	78
	LÄHTEET.....	79
	LIITE A: PATENTIT .....	81
	LIITE B: BENCHMARK-TUTKIMUS .....	82
	LIITE C: PÄÄKOKOONPANOPIIRUSTUS .....	83
	LIITE D: HAMMASPYÖRIEN LUJUUSLASKENTA .....	84
	LIITE E: ANTURI- JA TOIMILAITELUETTELO.....	87
	LIITE F: VUOKAAVIO JA TOIMINTAKUVAUS .....	88

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

DC-moottori	tasavirtamoottori
IV-kokoonpano	isovasarakokoonpano
CPM	Characteristics-Properties Modelling
EU	Euroopan Unioni
PDD	Property-Driven Development
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
$F$	voima
$g$	putoamiskiihtyvyyys
$M_a$	askelmoottorilta vaadittu momentti
$m$	massa
$m_d$	ovikokoonpanon massa
$r_o$	pohjan liukulaakerin ulkosäde
$r_i$	pohjan liukulaakerin sisäsäde
$s$	venttiilipesän keskipisteen ja sidepultin etäisyys
$s_{iso}$	isoimman iskuvasaran venttiilipesän keskipisteen ja sidepultin etäisyys
$s_{pieni}$	pienimmän iskuvasaran venttiilipesän keskipisteen ja sidepultin etäisyys
$x$	vierekkäisten sidepulttien etäisyys
$x_{iso}$	isoimman iskuvasaran vierekkäisten sidepulttien etäisyys
$x_{pieni}$	pienimmän iskuvasaran vierekkäisten sidepulttien etäisyys
$\mu_k$	pohjan liukulaakerin kitkakerroin

# 1. JOHDANTO

Uuden kehittäminen on ihmiselle luontaista toimintaa. Vuosisadasta toiseen ihmiset yrittävät keksiä erilaisia laitteita, joilla asiat voidaan tehdä paremmin, halvemmin tai tehokkaammin. Tästä hyvänä esimerkkinä voidaan pitää puhelimia, jotka ovat kehittyneet useiden kilojen painoisista haloista taskuun mahtuviksi minitietokoneiksi. Tämä diplomityö ei poikkea kehityksen voittokulusta, sillä tässä työssä on tarkoitus toteuttaa tuotekehitysprojekti, jonka taka-ajatuksena on tuotantoprosessin parantaminen.

## 1.1 Työn tausta

Diplomityö toteutettiin Sandvik Mining and Construction Oy:lle Lahden toimipisteellä. Sandvik on kansainvälinen teollisuuskonserni, joka toimii yli 150 maassa. Sen liiketoimintaan kuuluu kaivos- ja urakointiteollisuus, lastuavat työkalut ja työkalujärjestelmät sekä kiven murskaus- ja seulontalaitteet. Lahden toimipiste on osa Sandvik Rock Processing Solutions liiketoiminta-aluetta, joka on johtava kiven ja mineraalien murskaus- ja seulontalaitteiden toimittaja. Tarjontaan kuuluvat laitteet, työkalut, osat, palvelut ja ratkaisut kiven ja mineraalien murskaamiseen, seulontaan, rikkomiseen ja purkamiseen. (Tietoja Meistä n.d.)

Lahden toimipisteellä suunnitellaan ja valmistetaan hydraulisia iskuvasaroita. Iskuvasaroiden valmistus tuotannossa on jaettu isoihin ja pieniin iskuvasaroihin. Tämä diplomityö liittyy pelkästään isoihin iskuvasaroihin, joita kokoonpannaan IV-kokoonpanossa (isovasarakokoonpano). Tarve diplomityölle syntyi alkujaan tuotannon kehitysprojektin kautta. Kehitysprojektin tavoitteena oli nopeuttaa kokoonpanoprosessia IV-kokoonpanossa sekä tehdä siitä turvallisempi työntekijälle. Kokoonpanoprosessin pullonkaulaksi oli muodostunut iskuvasaran iskuyksikköä kasassa pitävien sidepulttien lämmitys astekulmaan kääntöä varten. Lämmitykseen saattoi tuhrautua aikaa jopa tunti. Kehitysprojektin ideana olikin korvata vanhat sidepulttien lämmitysvastukset uudella automaattisella lämmityslaitteistolla. Uuden lämmityslaitteiston ollessa vielä suunnittelupöydällä huomattiin, että laitteen automaattisuus ja tehokkuus hankaloittavat astekulmaan kääntöä. Tähän asti astekulmaan kääntö oli tehty räikkävääntimellä työntekijän toimesta. Käsin tehty astekulmaan kääntö uuden lämmityslaitteiston kanssa heikentäisi työntekijän työturvallisuutta merkittävästi. Myös mahdolliset yhteentörmäykset työntekijän ja uuden



lämmityslaitteiston välillä aiheuttivat takapakkia kehitysprojektille. Paras ratkaisu lämmityksen ja astekulmaan käännön välille todettiin olevan astekulmaan käännön jonkinasteinen automatisointi. Tämän diplomityön aiheeksi muodostuikin astekulman kääntöön soveltuvan laitteen suunnittelu.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

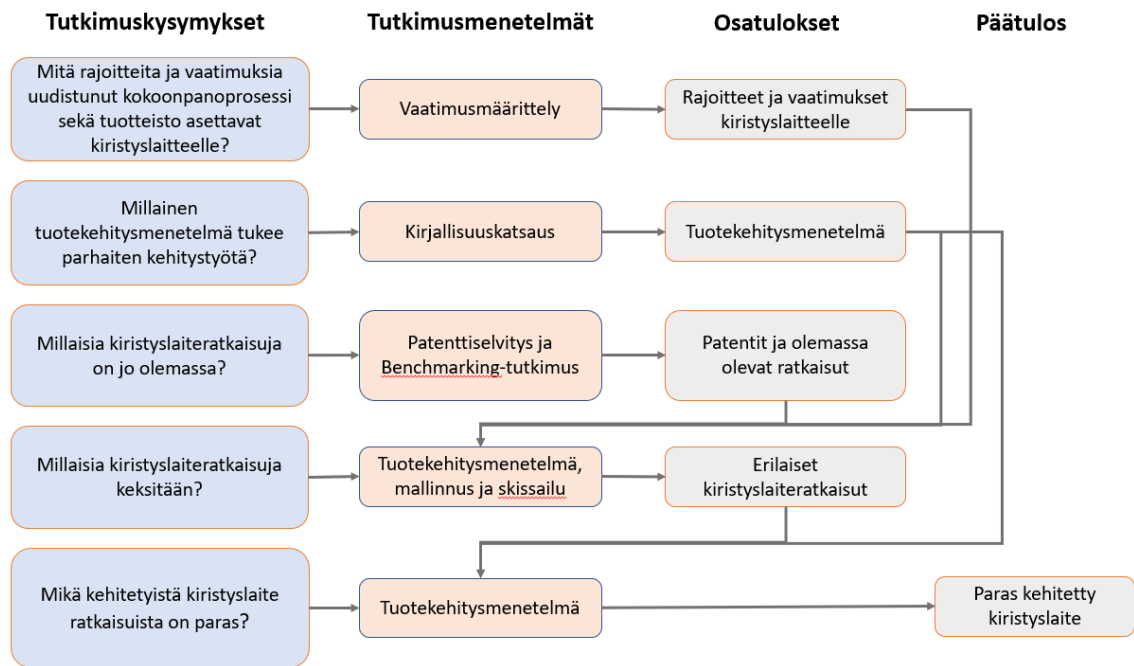
Diplomityön päätavoitteena on suunnitella paras mahdollinen laite, jolla iskuvasaran siidepultit voidaan kääntää haluttuun astekulmaan. Tästä eteenpäin suunniteltavaa laitetta kutsutaan kiristyslaitteeksi. Kiristyslaitteen tulee vastata sille asetettuja vaatimuksia, joista eräs on esimerkiksi luvussa 1.1 mainittu automaattisuus tai sen esiaste. Kiristyslaitetta on tarkoitus valmistaa vain yksi kappale IV-kokoonpanoon, joten sille ei ole asetettu mitään kaupallisia tavoitteita. Diplomityössä keskitytään vain kiristyslaitteen suunnitteluun, joten sen varsinainen fyysinen toteutus sekä mahdollisen automaation ohjelmointi rajataan työn ulkopuolelle. Suunnittelussa on tarkoitus käyttää apuna kirjallisuudesta poimittua tuotekehitysmenetelmää. Työn kirjallisuuskatsauksen tavoitteena onkin löytää tuotekehitysmenetelmä, joka tukee parhaiten tässä työssä kehitettävän kiristyslaitteen kehitystyötä. Työn tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä rajoitteita ja vaatimuksia uudistunut kokoonpanoprosessi sekä tuoteisto asettavat kiristyslaitteelle?
2. Millainen tuotekehitysmenetelmä tukee parhaiten kehitystyötä?
3. Millaisia kiristyslaiteratkaisuja on jo olemassa?
4. Millaisia kiristyslaiteratkaisuja keksitään?
5. Mikä kehitetyistä kiristyslaite ratkaisuista on paras?

Luvussa 1.3 käydään läpi, miten edellä mainittuihin tutkimuskysymyksiin uskotaan löytyvän ratkaisut.

## 1.3 Työn toteutus ja rakenne

Diplomityö toteutetaan konstruktiivisena tutkimuksena, sillä työssä on tarkoitus tuottaa innovatiivinen konstruktio. Tässä tapauksessa konstruktio on siis työn päätavoite eli paras mahdollinen kiristyslaite. Päätavoitetta lähdetään saavuttamaan edellisessä luvussa esiteltujen tutkimuskysymysten avulla. Tutkimuskysymyksiin on tarkoitus löytää ratkaisut niille määrättyjen tutkimusmenetelmien avulla. Kuvassa 1 on esitettynä diplomityön tutkimuskysymykset, -menetelmät, osatulokset ja päätulos.



**Kuva 1. Diplomityön tutkimuskysymykset, -menetelmät ja tulokset**

Ensimmäisenä tutkimusmenetelmänä käytetään vaatimusmäärittelyä. Vaatimusmäärittelyn avulla on tarkoitus määrittää suunniteltavalle tuotteelle rajoituksia ja vaatimuksia. Määritetyt rajoitukset ja vaatimukset perustuvat kerättyyn tietoon, joka on oleellista kiristyslaitteen suunnittelun ja käytön kannalta. Toinen käytettävä tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus, josta työn varsinainen teoriaosuus koostuu. Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on löytää tuotekehitysmenetelmä, joka soveltuu parhaiten kiristyslaitteen kehitystyötön. Kolmanteen tutkimuskysymykseen pyritään löytämään vastaus patenttiselvityksen sekä benchmarking-tutkimuksen avulla. Olemassa olevien ratkaisuiden tutkiminen on tärkeää, jotta vältetään keksimästä vanhoja ratkaisuja uudestaan.

Työn innovatiivisessa osuudessa tutkimusmenetelminä käytetään valittua tuotekehitysmenetelmää, mallinnusta ja skissailua. Näitä voidaan pitää työn merkittävimpinä menetelminä, sillä varsinaiset kiristyslaitteen konseptit muodostuivat näiden menetelmien avulla. Kiristyslaitteen mallinnus toteutettiin PTC Creo Parametric 4.0 -ohjelmistolla. Mallinnuksen pohjana käytettiin skissailua, joka toteutettiin pitkälti kynällä ja paperilla. Viimeiseen tutkimuskysymykseen saadaan vastaus niin ikään valitulla tuotekehitysmenetelmällä.

Työn rakenne voidaan jakaa viiteen osioon, jotka ovat johdanto, työn lähtökohdat ja teoria, soveltava osuus, tulosten tarkastelu sekä johtopäätökset. Työn lähtökohdat ja teoria kattavat luvut 2 ja 3. Näissä luvuissa syvennytään työn aiheeseen, määritellään työympäristön ja tuotteiston aiheuttamat vaatimukset sekä tutkitaan kirjallisuudesta löytyviä tuotekehitysmenetelmiä ja valitaan niistä sopivin tukemaan kehitystyötä. Työn soveltava

osuus kattaa luvut 4 ja 5. Luvussa 4 luodaan pohja kehitystyölle määrittämällä tuotekehitysmenetelmän mukaisesti kiristyslaitteelta vaadittavat ominaisuudet ja tunnuspiirteet, suorittamalla patenttihakua ja benchmarking-tutkimus. Viidennessä luvussa toteutetaan varsinainen kehitystyö valittua tuotekehitysmenetelmää apuna käyttäen. Kehitystyö etenee kehityskierroksittain niin kauan, että laite vastaa sille asetettuja vaatimuksia, ominaisuuksia ja tunnuspiirteitä. Tulosten tarkastelu tapahtuu luvussa 6. Työn päättävässä Johdopäätökset-luvussa arvioidaan työn onnistumista sekä pohditaan jatkokehityssuunnitelmia.

## 2. TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Tässä luvussa käydään läpi suunnittelutyölle oleellisia lähtökohtia ja niiden määrittämiä vaatimuksia suunniteltavalle kiristyslaitteelle. Näitä ovat muun muassa tuotteisto, kokoonpanoprosessi, uusi automaattinen lämmityslaitteisto sekä EU:n (Euroopan Unioni) konedirektiivi 2006/42/EY. Luvussa tutustutaan myös tarkemmin hydrauliseen iskuvasaraan ja sen rakenteeseen.

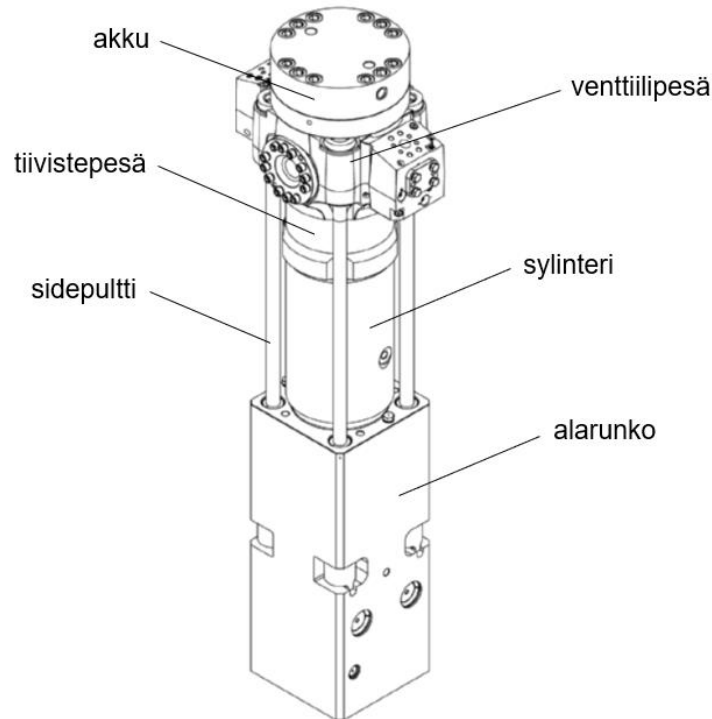
### 2.1 Hydraulinen iskuvasara

Hydraulinen iskuvasara on kaivinkoneeseen kiinnitettävä lisälaitte, joka saa voimansa kaivinkoneen hydraulikasta. Iskuvasarat soveltuvat muun muassa betonin, kallion, kiven ja roudan rikkomiseen (Rakennustieto 2011, s.15). Pienimmät vasarat soveltuvat parhaiten esimerkiksi puutarhatöihin, kun taas suurimmilla voidaan murtaa kallioita. Iskuvasaroiden kokoluokka vaihtelee alle 100 kilogrammaa painavista vasaroista yli 7000 kilogrammaa painaviin vasaroihin. Sandvikin suunnittelemat ja valmistamat iskuvasarat markkinoidaan Rammer -brändin alla, jonka juuret ulottuvat yli 40 vuoden taakse. Rammer onkin maailman tunnetuin ja arvostetuin hydraulivasaramerkki. Kuvassa 2 on esitettyä Sandvikin valmistama Rammer 9033E -iskuvasara. Rammer 9033E on Sandvikin suurin valmistuksessa oleva iskuvasara. (About Us n.d.)



*Kuva 2. Rammer 9033E -iskuvasara (Large Range n.d.)*

Hydraulinen iskuvasara koostuu terästä, kotelosta ja iskuyksiköstä. Iskuyksikköä voidaan kuvailla iskuvasaran sydämeksi. Sen sisällä hydrauliiikan avulla liikkuva mäntä saa aikaan iskuvasaran hakkaavan liikkeen. Tälle työlle relevantit iskuyksikön komponentit ovat esitetty kuvassa 3. Nämä ovat akku, venttiilipesä, tiivistepesä, sylinteri, sidepultti ja alarunko. Jokainen iskuyksikkö sisältää 4 sidepulttia.



**Kuva 3. Rammer 9033E -iskuvasaran iskuyksikkö (9033E – Parts Manual n.d.)**

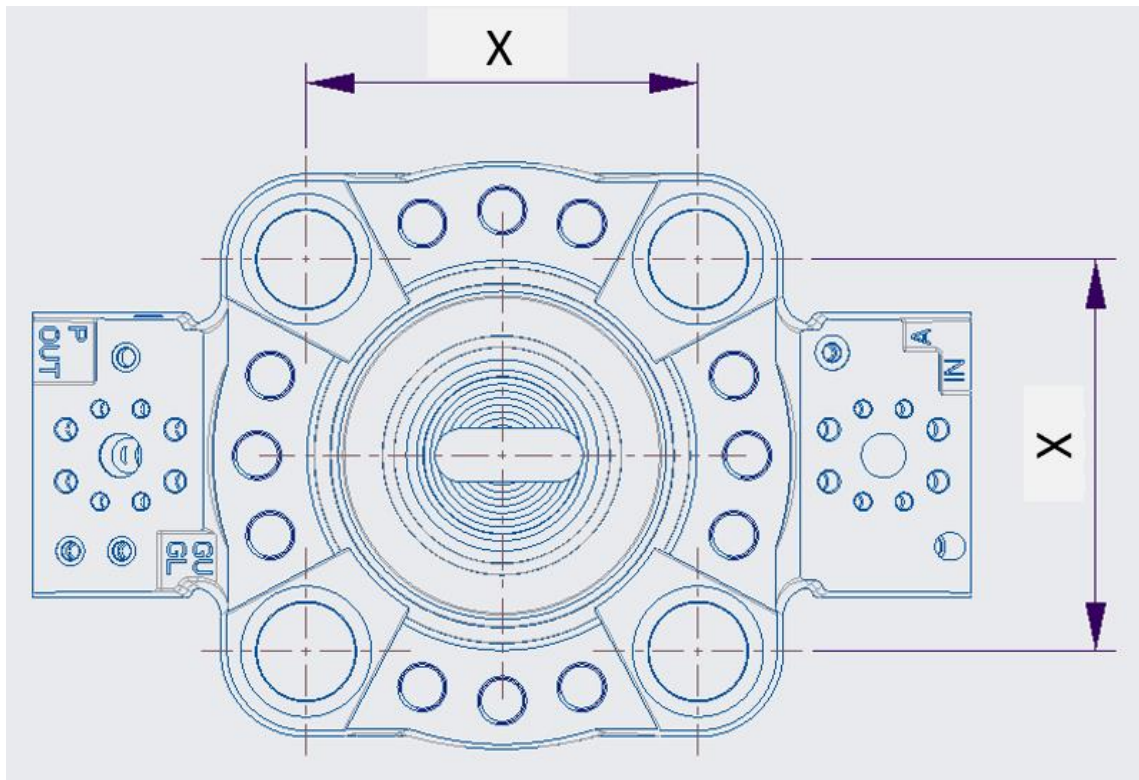
## 2.2 Tuotteisto

Sandvikin tuotannossa olevat iskuvasarat on jaettu kahteen tuoteperheeseen: Excellence ja Performance. Molemmat tuoteperheet koostuvat useista eri kokoisista iskuvasaroista. Kuvassa 4 on esitetty Excellence-tuoteperheeseen kuuluvat iskuvasarat. Kuvassa olevan sinisen suorakaiteen sisällä ovat ne iskuvasaramallit, joiden kokoonpanossa suunniteltava kiristyslaite tulee käytettäväksi. Myös muutamaa muuta Excellence ja Performance tuoteperheiden vasaraa kootaan IV-kokoonpanossa, mutta niiden sidepultit kiinnittyvät eri tavalla, jolloin tässä työssä suunniteltavaa laitetta ei voida hyödyntää niiden kokoonpanossa. Näin ollen työlle oleellisia iskuvasaramalleja on 7 kappaletta.



**Kuva 4. Excellence-mallisto (Sandvik Mining and Construction Oy 2019)**

Työlle oleellisten iskuvasaroiden sidepultit ovat geometrisesti yhden mukaiset suhteessa iskuvasaran keskipisteeseen. Näin ollen sidepulttien etäisyys toisistaan ja sidepulttien etäisyys venttiilipesän keskipisteen suhteen ovat ainoita muuttuvia tekijöitä. Kuvassa 5 on esitettynä Rammer 9033E -iskuvasaran venttiilipesä.



**Kuva 5. Rammer 9033E -iskuvasaran venttiilipesä ylhäältä kuvattuna**

Pienimmän tälle työlle oleellisen iskuvasaran X-mitta  $x_{pieni}$  on 172 mm, kun taas vastavasti suurimman X-mitta  $x_{iso}$  on 336 mm. Suunniteltavan laitteen säätövaran täytyy siis

olla vähintään 164 mm X-mittojen suunnassa. Pythagoraan lauseen avulla saadaan laskettua mitta venttiilipesän keskikohdasta sidepultin reiän keskipisteeseen. Merkitään tätä mitta muuttujalla  $s$ . Kaavaksi muodostuu

$$s = \sqrt{\left(\frac{x}{2}\right)^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2}. \quad (1)$$

Pienimmän iskuvasaran venttiilipesän keskikohdan ja sidepultin reiän keskipisteen väliseksi mitaksi saadaan

$$s_{pieni} = \sqrt{\left(\frac{x_{pieni}}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_{pieni}}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{172}{2}\right)^2 + \left(\frac{172}{2}\right)^2} = \sqrt{14792} = 121,62 \text{ mm},$$

ja vastaavaksi arvoksi suurimmalle iskuvasaralle saadaan

$$s_{iso} = \sqrt{\left(\frac{x_{iso}}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_{iso}}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{336}{2}\right)^2 + \left(\frac{336}{2}\right)^2} = \sqrt{56448} = 237,59 \text{ mm}.$$

Näin ollen kiristyslaitteelta vaadittava säädettävyys venttiilipesän keskipisteestä sidepultin keskipisteeseen on 115,97 mm välillä 121,62–237,59 mm.

## 2.3 Kokoonpanoprosessi

Ennen suunnittelutyötä on tärkeää ymmärtää kokoonpanoprosessi, jotta tiedetään ympäristö, johon suunniteltava laite ollaan sijoittamassa. Mainittakoon, että diplomityö alkoikin 3 päivän perehdytyksellä IV-kokoonpanossa iskuvasaroita kokoonpannen. Näin valmistettavat tuotteet sekä kokoonpanoprosessi tulivat tutuiksi. Kokonaisuudessaan iskuvasaroiden kokoonpanoprosessi on monivaiheinen, joten käydään läpi vain suunniteltavalle kiristyslaitteelle oleelliset vaiheet. Vaiheet ovat selitetty yleispiirteisesti eikä tarkkoja yksityiskohtia mainita. Kokoonpanoprosessi etenee seuraavasti:

- 1) Alarunko, sylinteri, tiivistepesä ja venttiilipesä kasataan päällekkäin kokoonpanomonttuun
- 2) Sidepultit laitetaan paikoilleen menemään koko iskuyksikön läpi
- 3) Sidepultit kiristetään yksitellen momenttiin X
- 4) Sidepulttien ympärille laitetaan lämmitysvastukset, joiden tarkoitus on lämpölaajenemisen periaatteen mukaisesti venyttää sidepultteja
- 5) Sidepultit käännetään räikkävääntimellä yksitellen astekulmaan Y
- 6) Lämmitysvastukset kytketään pois päältä ja otetaan pois sidepulteista

Sidepulttien kiristysmomentti ja astekulma vaihtelevat mallikohtaisesti iskuvasarasta riippuen. On huomattava, että lämmitysvastukset ovat sidepulteissa kiinni, kun sidepultit käännetään astekulmaan. Niitä ei siis oteta pois kesken kaiken.

Uuden automaattisen lämmityslaitteiston on tarkoitus korvata tällä hetkellä käytössä olevat lämmitysvastukset. Tämä ei varsinaisesti vaikuta kokoonpanoprosessin etenemiseen, mutta hankaloittaa työntekijän räikkävääntimellä tekemää astekulmaan kääntöä. Riittävän turvallisuuden takaamiseksi kiristyslaitteiston tulisi tehdä astekulmaan kääntö automaattisesti tai etäkäyttöisesti. Näin ollen siis uudella lämmityslaitteistolla kokoonpanoprosessin tulisi edetä kutakuinkin seuraavanlaisesti:

- 1) Alarunko, sylinteri, tiivistepesä ja venttiilipesä kasataan päällekkäin kokoonpanomonttuun
- 2) Sidepultit laitetaan paikoilleen menemään koko iskuyksikön läpi
- 3) Sidepultit kiristetään yksitellen momenttiin X
- 4) Uusi lämmityslaitteisto siirretään kokoonpanomontussa olevan iskuyksikön ympärille
- 5) Suunniteltava kiristyslaite nostetaan kokoonpanomontussa olevan iskuyksikön venttiilipesän päälle
- 6) Sidepulttien lämmitys aloitetaan
- 7) Kiristyslaite kääntää sidepultit astekulmaan Y automaattisesti tai etäkäyttöisesti
- 8) Kiristyslaite antaa käskyn lämmityslaitteistolle lopettaa lämmityksen
- 9) Lämmityslaitteisto ja kiristyslaite siirretään pois iskuyksikön luota

## **2.4 Uusi automaattinen lämmityslaitteisto**

Uuden automaattisen lämmityslaitteiston toiminta perustuu induktioon. Lämmityslaitteisto koostuu neljästä induktiokelasta, joista kukin lämmittää yhtä sidepulttia. Kelat liikkuvat automaattisesti ylös-alas sidepulttia pitkin, jotta lämpö jakautuu tasaisesti lähes koko sidepultin pituudelle. Automaattisesti liikkuvat induktiokelat ovat varsinainen pääsyy sille, miksi koko kiristyslaiteprojekti laitettiin aluilleen. Liikkuvien kelojen ja työntekijän yhteentörmäykset astekulmaan käännön aikana olivat todellinen riski. Käytännössä vain astekulmaan käännön automatisoinnilla voidaan varmistua siitä, ettei yhteentörmäyksiä satu. Toiminnallisia vaatimuksia, joita automaattinen lämmityslaitteisto aiheuttaa kiristyslaitteelle ovat seuraavat:



- Suunniteltavan kiristyslaitteen tulee olla automaattinen, osittain automaattinen tai etäkäyttöinen, jotta työntekijällä säilyy riittävä turvaetäisyys (1 m) lämmityslaitteistoon lämmityksen aikana
- Suunniteltavan kiristyslaitteen tulee katkaista lämmitys, kun astekulmaan kääntö on suoritettu

Toiminnallisten vaatimusten lisäksi uusi lämmityslaitteisto asettaa suunniteltavalle kiristyslaitteelle myös fyysisiä vaatimuksia. Onhan lämmityslaitteiston ja kiristyslaitteen mahdolltava toimimaan samanaikaisesti iskuyksikön ympärillä. Vaikka lämmityslaitteisto on melko suuri, ei sen koko rajoita suunnittelutyötä lähes yhtään. Syy tälle on se, että lämmityslaitteisto rajoittaa käytettävää tilaa lähinnä venttiilipesän alapuolella, jossa sidepultit sijaitsevat. Astekulmaan kääntö tapahtuu kuitenkin venttiilipesän yläpuolella, joten tämän rajoite ei tule vaikuttamaan kiristyslaitteen suunnitteluun millään tavalla. Ainoa rajoite muodostuukin lämmityslaitteiston lineaariyksiköstä, joka liikuttaa induktiokeloja ylös-alas. Lineaariyksikön sähkömoottori nousee venttiilipesän tasopinnan yläpuolelle, jolloin se rajoittaa kiristyslaitteen mittoja sivuttaissuunnassa. Lämmityslaitteiston aiheuttama fyysinen vaatimus on seuraava:

- Kiristyslaitteen etäisyys venttiilipesän keskipisteestä lämmityslaitteen lineaariyksikköä päin ei saa olla suurempi kuin 370 mm, jotta kiristyslaite ei osu lämmityslaitteiston lineaariyksikön sähkömoottoriin

## 2.5 Konedirektiivi 2006/42/EY

EU:n alueella käytettävien koneiden tulee olla EU:n konedirektiivin 2006/42/EY vaatimusten mukaisia. Tällä pyritään takaamaan koneiden hyvä turvallisuus sekä vapaa liikkuvuus. Konedirektiiviä täytyy soveltaa markkinoille saatettaviin koneisiin sekä myös omaan käyttöön otettaviin koneisiin. Näin ollen suunniteltava kiristyslaitteen tulee täyttää EU:n konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset ja olla CE-merkitty. (Koneita koskevat vaatimukset n.d.)

## 2.6 Yhteenveto lähtökohtien asettamista vaatimuksista

Tähän lukuun kootaan kaikki luvuissa 2.1–2.5 esitetyt lähtökohtien asettamat vaatimukset kiristyslaitteelle. Lähtökohtien perusteella määritetyt vaatimukset suunniteltavalle kiristyslaitteelle ovat:

- Kiristyslaitteen säätövaran venttiilipesän keskipisteistä sidepultin keskipisteeseen tulee olla vähintään 115,97 mm välillä 121,62–237,59 mm

- Kiristyslaitteen tulee pystyä kiristämään iskuvasaran 4 sidepulttia samanaikaisesti
- Kiristyslaitteen tulee olla automaattinen, osittain automaattinen tai etäkäyttöinen, jotta työntekijällä säilyy riittävä turvaetäisyys (1 m) lämmityslaitteistoon lämmityksen aikana
- Kiristyslaitteen tulee katkaista lämmitys, kun astekulmaan kääntö on suoritettu
- Kiristyslaitteen etäisyys venttiilipesän keskipisteestä lämmityslaitteen lineaariyksikköä päin ei saa olla suurempi kuin 370 mm, jotta kiristyslaite ei osu lämmityslaitteiston lineaariyksikön sähkömoottoriin
- Kiristyslaitteen tulee täyttää EU:n konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset

## 3. TUOTEKEHITYSMENETELMÄT

Työn kirjallisuuskatsauksessa tutkitaan erilaisia tuotekehitysmenetelmiä ja valitaan niistä sopivin tukemaan kiristyslaitteen kehitysprosessia. Tässä luvussa tutustutaan yleisesti tuotekehitysprosessiin ja sen vaiheisiin, jotka ovat syytä toteuttaa kehittäessä uutta laitetta. Tämän jälkeen tutustutaan erilaisiin tuotekehitysmenetelmiin, huomioon otettaviin seikkoihin tuotekehitysmenetelmän valinnassa sekä valitaan tälle työlle sopivin tuotekehitysmenetelmä.

### 3.1 Tuotekehitysprosessista yleisesti

Tuotekehitysprosessi on sarja vaiheita ja toimintoja, joita käytetään tuotteen keksimiseen, suunnitteluun ja kaupallistamiseen. Tuotekehitysprosessi vaihtelee paljon organisaatiosta riippuen. Jotkut organisaatiot seuraavat tarkasti ennalta määriteltyä kehitysprosessia, kun taas toiset kulkevat enemmän yksilöiden intuition mukaan. Ei ole olemassa vain yhtä oikeaa tapaa kehittää tuotteita, vaan eri prosessit soveltuvat erilaisiin tarkoituksiin. Tuotteiden monimutkaistumisen ja kehitysprosessin tehokkuuden parantamiseksi on kehitetty monia erilaisia tuotekehitysmenetelmiä. (Filippi & Cristofolini 2010, s. 13; Otto & Wood 2001, s. 12; Ulrich & Eppinger 2012, s. 12) Vaikka erilaisia tuotekehitysmenetelmiä on lukuisia, on niillä usein paljon yhtäläisyyksiä. Yleensä tuotekehitysmenetelmät etenevät vaiheittain ja noudattavat pääpiirteittäin perinteistä ongelmanratkaisua. Prosessin alussa tutustutaan tehtävään ja kerätään siihen liittyvää tietoa. Tämän jälkeen määritellään tuotteelle asetettavat vaatimukset ja rajoitukset. Vaatimusten määrittämisen jälkeen kehitetään konsepti. Konseptin kehitysvaihe jaetaan yleensä useisiin eri tasoihin, kuten järjestelmätason suunnitteluun ja yksityiskohtien suunnitteluun. Lopuksi arvioidaan, pystyykö konsepti täyttämään sille asetetut vaatimukset. (Cross, N. 2008, s. 29–30; Kroll et al. 2001, s. 4–5; Pahl et al. 2007, s. 125–127)

Kehitystyön apuna käytetään usein erilaisia toimintoja tai työkaluja, miksi niitä ikinä haluaakaan kutsua. Usein tuotekehitysmenetelmät sisältävätkin listan toiminnoista, joita tehdä missäkin vaiheessa. Mitä yksityiskohtaisempia menetelmät ovat, sitä enemmän niissä on toimintoja. Toimintojen suuri määrä tekee suunnitteluprosessista hyvin tarkastuslistamaisen. Tehtävät toiminnot riippuvat hyvin pitkälti siitä, missä vaiheessa kehitystyö etenee. Esimerkiksi kehitystyön alussa on tyypillistä kerätä tietoa kehitystyötä varten. Tiedon keräämiseen on useita eri työkaluja, kuten kirjallisuuskatsaus, patenttiselvitys, benchmarking-tutkimus, asiantuntijoiden konsultaatio ja käyttäjähaastattelu. Tiedon ke-

räämisellä tarkoitetaan usein kilpailijoiden markkinoilla olevien tuotteiden ja niiden ratkaisujen tutkimista. Tämän tarkoituksena on saada ideoita omaan kehitettävään tuotteeseen. (Clarkson & Eckert 2005, s. 21; Otto & Wood 2001, s. 260; Ulrich & Eppinger 2012, s. 120 ja 124) Tässä työssä tiedon keräämiseen päätettiin hyödyntää patenttiselvitystä sekä benchmarking-tutkimusta. Valinnat kohdistuivat näihin työkaluihin, sillä käyttäjähaastatteluiden tai kirjallisuuskatsauksen ei nähty tuovan merkittävää lisäarvoa kehitystyöhön. Varsinkin tässä tapauksessa, kun kehitetään kokonaan uutta laitetta eikä esimerkiksi vain paranneta olemassa olevaa ratkaisua, ovat nämä työkalut omiaan olemaan osana kehitystyötä. Kahdessa seuraavassa luvussa tutustutaan tarkemmin patenttiselvitykseen ja benchmarking-tutkimukseen.

Voittoa tavoitteleville yrityksille on tärkeää, että tuotekehitys johtaa tuotteisiin, joita voidaan myydä kannattavasti. Tuotekehityksen onnistumista voidaan arvioida viiden kriteerin perusteella. Nämä ovat tuotteen laatu, valmistuskustannukset, kehitykseen kulunut aika, kehityskustannukset ja kehityskyky. Tuotteen laatu heijastuu suoraan hintaan, jonka asiakas on valmis maksamaan siitä. Tuotteiden täytyy olla vankkoja ja luotettavia, jotta päästään suuriin markkinaosuuksiin. Valmistus- ja kehityskustannukset määrittelevät, kuinka paljon voittoa myydystä tuotteesta kertyy tietyllä myyntihinnalla. Kehitykseen kulunut aika korreloi pitkälti yrityksen kykyyn vastata kilpailuun ja teknologian kehitykseen. Mikäli kehitystyö on hidasta, voi se johtaa kilpailukyvyn menetykseen ja taloudellisiin tappioihin. Kehityskyvyllä seurataan, miten kehitysprosessi itsessään toimii. Kehityskykyä tulee kehittää jokaisesta kehitysprosessista saaduilla kokemuksilla, jotta kehitysprosessista saadaan tehokkaampi ja taloudellisempi. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 2–3) Voidaankin sanoa, että yritystoiminnan kannattavuus perustuu pitkälti kulujen madaltamiseen. Tuotekehitysmenetelmien ja niiden sisältämien toimintojen avulla kehitysproesseista saadaan kustannustehokkaampia, mikä tekee toiminnasta kannattavampaa. (Elmoselhy, S. A. M. 2016, s. 17–18)

### 3.1.1 Patenttiselvitys

Patentti on teollisoikeudellinen suojamuoto, joka antaa oikeuden kieltää muita käyttämästä keksintöä ammattimaisesti hyväkseen. Keksinnön täytyy olla olennaisella erolla uudenlainen verrattuna itsestään selvään ratkaisuun, jotta se kelpaa patentoitavaksi. Patentin voimassaoloaika on enintään 20 vuotta hakemispäivästä, mikäli säädetyt vuosimaksut suoritetaan asianmukaisesti. Vanhentuneet patentit ovat vapaasti hyödynnettävissä. On huomattava, että patentti on voimassa vain sen myöntäneen valtion tai valtioryhmän alueella. Patentin lisäksi muita teollisoikeuksia ovat hyödyllisyysmalli, mallioikeus ja tavaramerkki. (Patenttiopas 2018, s. 4–5)

Tuotekehitysprojektin alussa on syytä tarkistaa, mitä aiheeseen liittyvää on keksitty aiemmin, jotta vältetään keksimästä niin sanotusti pyörää uudelleen. Patenttijulkaisuja tutkimalla voidaan saada myös uusia ideoita tai löytää potentiaalisia ratkaisuja omaan suunnittelutyöhön. Patenteista voidaan poimia yksittäisiä ratkaisuja ja yhdistellä niitä paremmaksi ratkaisuksi. Näin vältetään patenttirikkomuksilta. Patenttijulkaisuiden tutkimisesta ei ole apua pelkästään tuotekehitysprosessin alussa, vaan niistä voi löytää mahdollisia ratkaisuja myös myöhemmin kohdattaviin ongelmiin. (Patenttiopas 2018, s. 26)

Patenttijulkaisun rakenne on syytä tuntea, sillä se nopeuttaa huomattavasti patenttien lukemista. Patentti koostuu kansilehdestä, selitysosasta ja vaatimuksista. Näistä tärkeimmät ovat selitysosassa ja vaatimukset. Selitysosassa kerrotaan yleisiä tietoja patentista, kuten keksinnön käyttöala, tunnusmerkit ja edut verrattuna tunnettuun tekniikkaan. Vaatimuksissa määritellään tarkalleen ottaen, mitä on patentoitu. Vaatimukset voivat olla joko itsenäisiä tai epäitsenäisiä. Itsenäinen vaatimus sisältää keksinnön tärkeimmät piirteet sekä suojapiirin laajuuden. Epäitsenäinen vaatimus viittaa joko itsenäiseen tai toiseen epäitsenäiseen vaatimukseen. Niiden tarkoitus on täydentää keksintöä. Sekä itsenäisiä että epäitsenäisiä vaatimuksia voi olla useita ja ne yhdessä määrittelevät patentin suojapiirin. Oleellista on tietää, milloin patenttia rikotaan. Tätä rikkomista kutsutaan yleisesti loukkaamiseksi. Patenttia loukataan, mikäli kaikki itsenäisen vaatimuksen piirteet ovat mukana omassa tuotteessa. Eli, jos yksikin piirre puuttuu, patenttia ei loukata. Epäitsestä vaatimusta ei voi loukata ilman, että sen viittaama itsenäinen vaatimus olisi mukana. (Koivukunnas 2012, s. 19, 23–24; Patenttiopas 2018, s. 12)

Patenttiselvitystä tehdessä on syytä tuntea myös patenttiluokitukset, joista kaksi laajimmin käytettyä ovat kansainvälinen patenttiluokitus (IPC) ja Cooperative Patent Classification (CPC). Luokitusten avulla haku saadaan kohdistettua tiettyyn tekniikan alaan, mikä karsii epäoleelliset patentit haun ulkopuolelle. IPC:ssä tekniikan alat ovat jaoteltuna noin 70 000 ryhmään, kun taas CPC:ssä ryhmiä on noin 250 000. CPC:tä pidetäänkin usein käyttökelpoisempänä luokittelutapana tiedonhakijalle ryhmien runsaan lukumäärän vuoksi. (Patenttiluokitus tietokantahakujen avuksi 2021)

### 3.1.2 Benchmarking

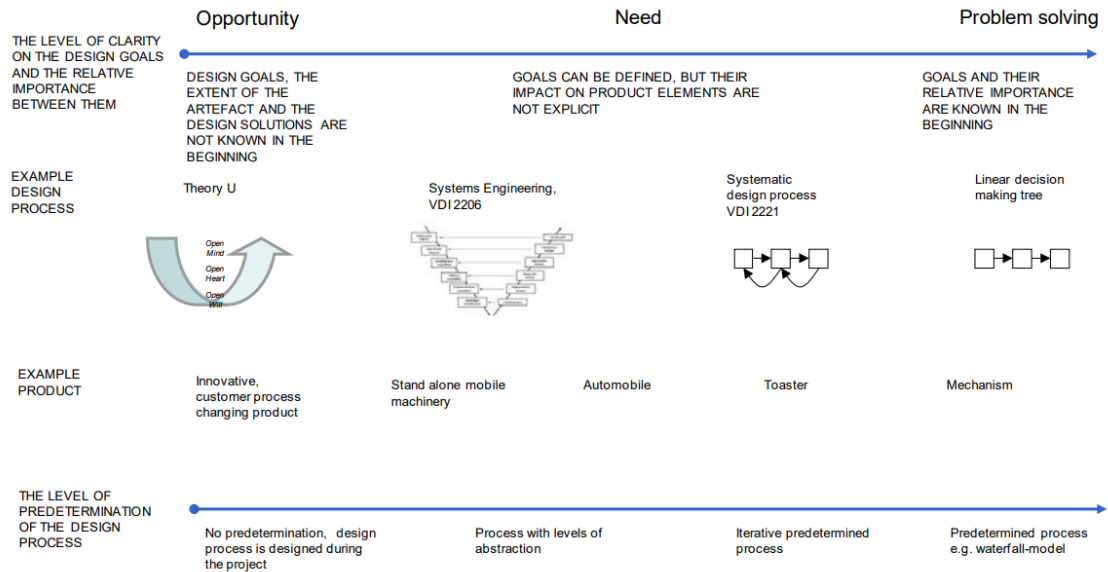
Olemassa olevien teknisten järjestelmien analysointi on yksi tärkeimmistä keinoista luoda uusia tai parannettuja ratkaisuja. Tällöin puhutaan usein benchmarkingista eli vertailuanalyysistä. Useat lähteet (Bralla 1996; Pahl et al. 2007; Ullman, D. G. 2010; Ulrich & Eppinger 2012) suosittelevatkin analysoimaan kilpailevien yritysten tuotteita ja kokoonpanoja, joiden toimintorakenne vastaa haettava ratkaisua. Innovaatiota kannattaa lähtökohtaisesti lähteä etsimään kaikista markkinoilla olevista tuotteista, eikä vain parhaista.

Usein niin sanotusti huonommissakin tuotteissa on mahdollisesti joitakin osa-alueita, jotka ovat toteutettu todella hyvin. Mikäli nämä jätetään tarkastelun ulkopuolelle, voi potentiaalisia ratkaisuja jäädä huomaamatta. (Bralla 1996, s. 90–91; Pahl et al. 2007, s. 82–83; Ullman, D. G. 2010, s. 157; Ulrich & Eppinger 2012, s. 99) Jos markkinoilta ei löydy ratkaisua, joka pystyisi vastaamaan määritettyihin vaatimuksiin, on se merkki mahdollisuudesta uuden kehittämiseksi. Vastaavasti jos markkinoilta löytyy ratkaisu, joka vastaa täysin määriteltyjä vaatimuksia, on tätä ratkaisua syytä tutkia tarkemmin ja hyödyntää sitä patenttien sallimissa rajoissa. (Ullman, D. G. 2010, s. 157)

Benchmarkingista on hyötyä etenkin ensimmäisten ratkaisujen keksimisessä. Markkinoilla olevista tuotteista voidaan saada suuntaviivoja, joiden perusteella on helpompi lähteä liikkeelle omassa suunnittelutyössä. On kuitenkin oltava tarkkana, jotta keksityt tuotteet eivät ala ohjaamaan ajattelua liikaa. Pahimmassa tapauksessa uudet ideat voivat jäädä kokonaan syntymättä, mikäli keskitytään liikaa olemassa oleviin ratkaisuihin. (Pahl et al. 2007, s. 82–83)

### **3.2 Tuotekehitysmenetelmän valinnan perusteet**

Huolimatta siitä, että tuotekehityksen parissa on tehty laajaa tutkimusta 1950-luvulta lähtien, ei ole syntynyt tuotekehitysmenetelmää, joka sopisi kaikkiin tilanteisiin (Clarkson & Eckert 2005, s. 35). On siis tärkeää osata valita useiden eri kehitysmenetelmien joukosta se, jolla päästään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen kussakin tapauksessa. Lehtonen et al. (2011) mukaan tuotekehitysmenetelmä tulisi valita projektin lähtötietojen selkeyden ja yksityiskohtaisuuden perusteella. Kuvassa 6 on esitetty erilaisten tuotekehitysmenetelmien soveltuvuus suhteessa lähtötietojen laajuuteen. Oikealla puolella olevat menetelmät soveltuvat tilanteisiin, joissa suunnittelutavoitteet ja niiden suhteellinen tärkeys ovat selvillä jo prosessin alussa. Keskellä ovat ne menetelmät, joissa suunnittelutavoitteet ovat määritelty jo etukäteen, mutta niiden vaikutusta tuotteen ominaisuuksiin, kuten rakenteeseen ja toimintaan, ei tunneta. Vasemmalla olevat menetelmät soveltuvat tilanteisiin, joissa sekä tavoitteet että tuotteen ominaisuudet ovat epäselviä prosessin alussa. (Lehtonen et al. 2011)



**Kuva 6. Erialaisten tuotekehitysmenetelmien vertailu (Lehtonen et al. 2011)**

Lineaarinen tuotekehitysprosessi soveltuu parhaiten lähtötilanteisiin, joissa tavoitteet ja ominaisuudet ovat yksityiskohtaisesti tiedossa. Tällöin kehitysprosessi etenee vaihe kerrallaan, eikä edellisiin vaiheisiin palata. Lineaarinen tuotekehitysprosessi soveltuukin parhaiten yksinkertaisten mekaniismien kehittämiseen, eikä sitä kannata hyödyntää monimutkaisissa tuotteissa. Toinen ääripää on lähtötilanne, jossa sekä tavoitteet että ominaisuudet ovat epäselvät. Tällöin kehitysprosessi elää prosessin ja tuotteen mukana eikä sillä ole selvää ohjenuoraa. Tämä prosessi soveltuu parhaiten innovointiin. Näiden kahden ääripään välistä löytyvät systemaattinen tuotekehitysprosessi ja systeemin suunnittelu (Systems Engineering). Näitä menetelmiä käytettäessä, lähtötilanteessa tiedetään tavoitteet, mutta tuotteen rakenne tai ominaisuudet eivät ole tarkasti selvillä. Näissä kehitysprosesseissa tuotetta testataan ja parannellaan tarvittaessa. Kyseessä on siis iteraatiivinen prosessi. On huomattava, että mitä enemmän määrittelemättömiä muuttujia tuotteeseen liittyy, sitä enemmän prosessin tulee sallia muutoksia. (Lehtonen et al. 2011)

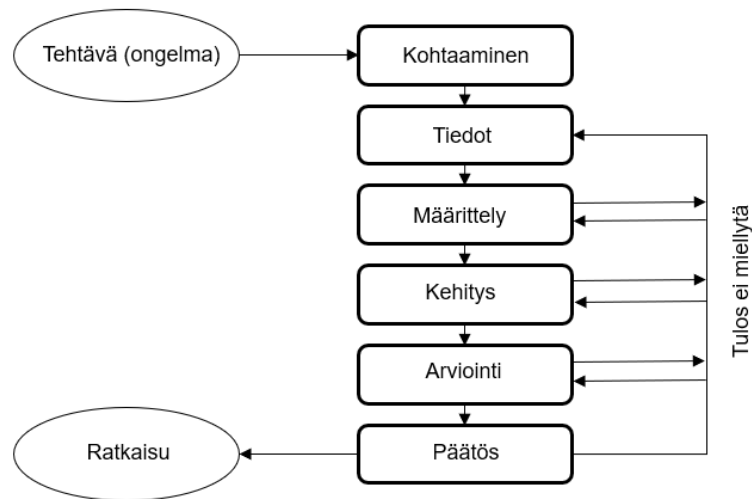
Tässä työssä lähtötiedot kehitystyölle ovat osittain tiedossa. Työn tavoitteet ovat selkeästi asetetut, mutta kiristyslaitteen ominaisuuksissa on selkeitä puutteita. Tiedossa on, että ratkaisun tulisi sopia usean eri kokoisen iskuvasaran kokoonpanoon ja siinä tulisi olla yhteys uuteen lämmityslaitteistoon. Tiedossa ei kuitenkaan ole ratkaisun rakennetta ja kiristyslaitteen toimintaperiaatetta. Näin ollen siis tuotekehitysprosessi tulee sisältämään iteraatioita, jotta päästään parhaaseen mahdolliseen ratkaisuun. Lehtonen et al. (2011) mukaan tuotekehitysprosessin tulisi olla systemaattinen tai vastaava.

### 3.3 Erilaisia tuotekehitysmenetelmiä

Seuraavissa luvuissa esitellään neljä erilaista tuotekehitysmenetelmää: Systemaattinen suunnitteluprosessi, V-malli, Viiden askeleen menetelmä ja CPM/PDD. Luvusta 3.2 saattujen suuntaviivojen perusteella esiteltäviksi valitut tuotekehitysmenetelmät ovat luonteeltaan iteratiivisia. Näiden neljän kehitysmenetelmän joukosta valitaan tähän työhön parhaiten sopiva menetelmä.

#### 3.3.1 Systemaattinen suunnitteluprosessi

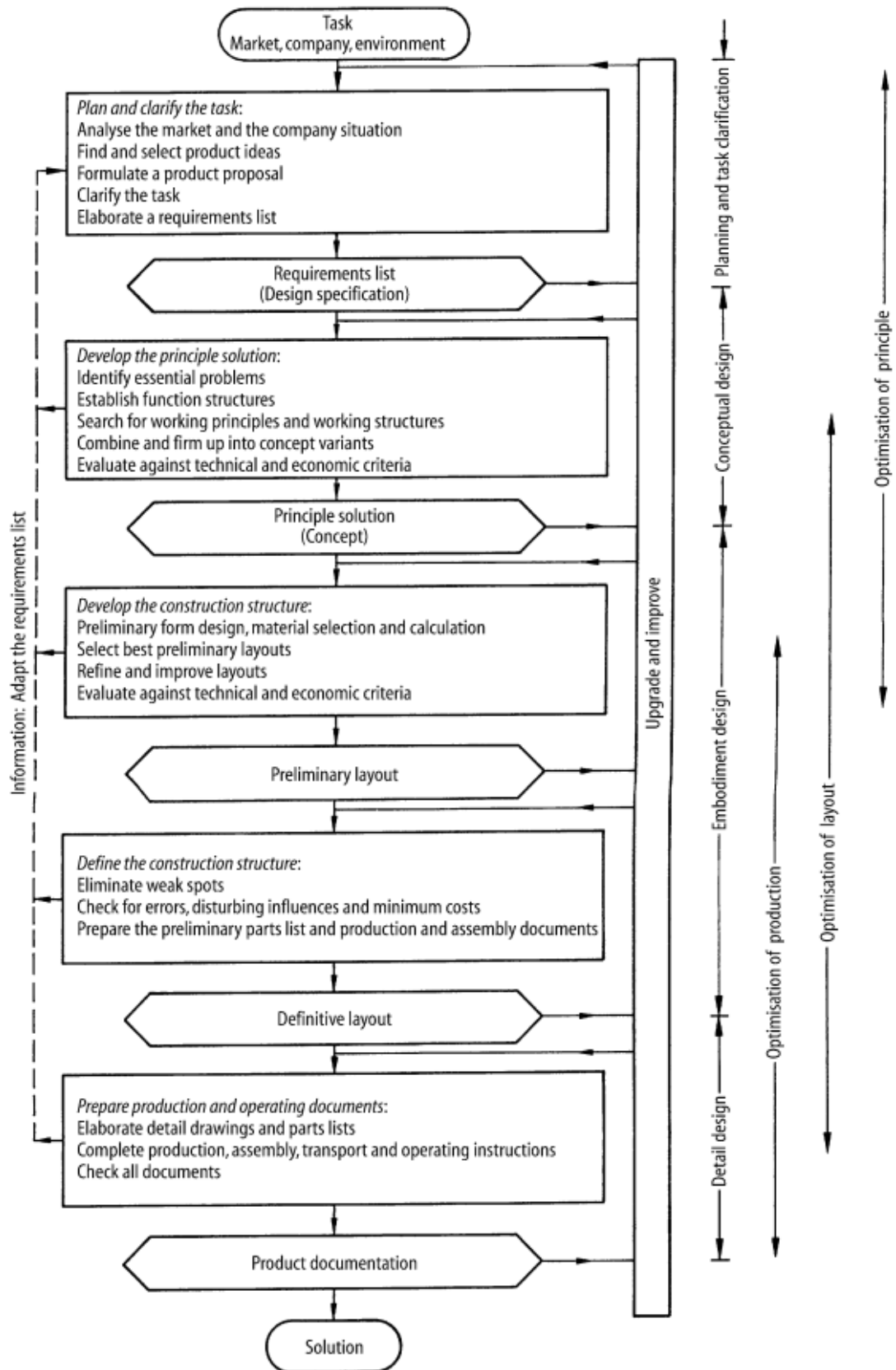
Systemaattinen suunnittelu perustuu geneeriseen ongelmanratkaisuprosessiin. Geneerinen ongelmanratkaisuprosessi on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7. Geneerinen ongelmanratkaisuprosessi (mukaillen, Pahl et al. 2007, s. 127)**

Systemaattisessa suunnitteluprosessissa pyritään pitämään iteraatiosilmukat mahdollisimman pieninä. Jos päädytään suunnittelussa umpikujaan, voidaan palata vain pieni askel prosessissa taaksepäin. Tämä pitää suunnitteluprosessin tehokkaana. (Pahl et al. 2007, s. 126) Varsinainen suunnitteluprosessi koostuu 4:stä päävaiheesta. Nämä ovat suunnittelu ja tehtävän selvennys, konseptisuunnittelu, järjestelmätason suunnittelu ja yksityiskohtainen suunnittelu. (Pahl et al. 2007, s. 129) Kuvassa 8 on esitettyä havainnollistava kuva tuotekehitysprosessin etenemisestä.





**Kuva 8. Systemaattinen tuotekehitysprosessi (Pahl et al. 2007, s.130)**

Suunnittelun ja tehtävän selvennysvaiheen tarkoituksena on kerätä tietoa vaatimuksista ja rajoituksista, joita tuotteen tulee noudattaa. Pahl et al. (2007) suosittelevatkin tekemään vaatimuslistan (eng. requirements list), johon on merkitty kaikki vaatimukset ja rajoitukset. Tämän listan on tarkoitus ohjata suunnittelutyötä myöhemmissä vaiheissa. On muistettava, että vaatimuslistaa on tarkoitus päivittää aina, kun uusia vaatimuksia tai rajoituksia ilmenee. Tämä ilmenee myös edellä esitetystä kuvasta 8, jossa vaatimuslista on takaisin kytketty edelliseen vaiheeseen. (Pahl et al. 2007, s. 131)

Konseptisuunnitteluvaiheessa määritellään tuotteen periaatteellinen ratkaisu eli luodaan tuotteesta konsepti. Tämä saavutetaan abstraktioimalla olennaiset ongelmat, luomalla toimintorakenteet, etsimällä sopivia toimintaperiaatteita ja yhdistämällä nämä periaatteet toimivaksi rakenteeksi. Konseptisuunnittelu on syytä tehdä huolella, sillä myöhemmissä vaiheissa on erittäin vaikeaa lähteä korjaamaan ratkaisuperiaatteen perustavanlaatuisia puutteita. Kestävä ja onnistunut ratkaisu syntyykin todennäköisimmin sopivimpien periaatteiden valinnasta kuin liiallisesta keskittymisestä teknisiin yksityiskohtiin. (Pahl et al. 2007, s. 131–132) Konseptin tulisi sisältää selkeä kuvaus tuotteen muodosta, toiminnasta ja ominaisuuksista. Tässä vaiheessa on syytä tehdä myös analyysi kilpailijoiden vastaavista tuotteista. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 15)

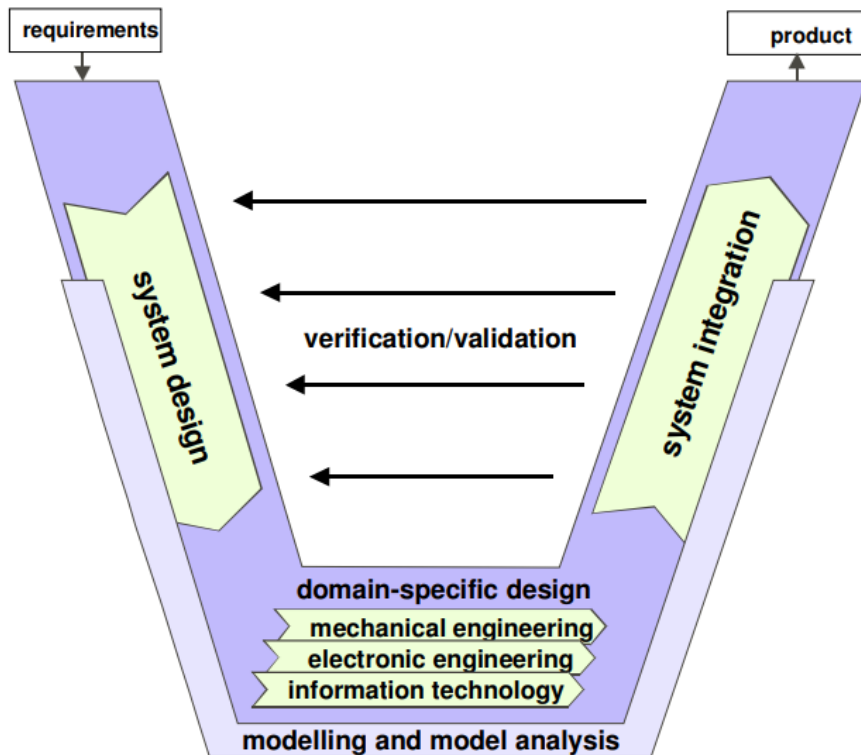
Järjestelmätason suunnitteluvaiheessa jatkojalostetaan konseptia pidemmälle. Konseptin pohjalta suunnitellaan tuotteen rakenne, osakokoonpanot, avainkomponentit ja materiaalit. Usein on tarpeellista tehdä muutamia eri variaatioita tuotteesta, jotta nähdään niiden vahvuuksia ja heikkouksia toisiinsa nähden. Lopuksi valitaan yksi variaatio, josta tehdään kokoonpanoon tarvittavat dokumentit. (Pahl et al. 2007, s. 132) Ulrich & Eppinger (2012, s. 15) suosittelevat tekemään kokoonpanoprosessista vuokaavion, sillä se helpottaa prosessin hahmottamista.

Viimeisessä eli yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheessa määritellään kaikkien yksittäisten osien muodot, mitat, pintaominaisuudet ja niin edelleen. Myös kaikkien tarvittavien dokumenttien, kuten koneenpiirustusten ja osalistan, teko kuuluu tähän vaiheeseen. Usein tässä vaiheessa joudutaan tekemään korjauksia, jolloin kannattaa palata vielä edellisten vaiheiden pariin. Siten saadaan kokoonpanosta ja komponenteista parempia sekä mahdollisesti kustannukset laskevat. (Pahl et al. 2007, s. 132)

### 3.3.2 V-malli

V-mallin juuret ulottuvat aina 1980-luvulle asti, mutta sen varsinainen hyödyntäminen suunnitteluprosesseissa alkoi vuonna 1995. Aluksi sen käyttö keskittyi lähinnä ohjelmistoalaan, mutta vuosien varrella mallia on jalostettu myös mekatronisten järjestelmien kehitystyökaluksi. Näistä ehkä tunnetuin on vuonna 2004 julkaistu VDI (Verein Deutscher

Ingenieure) 2206-yleisohje mekatronisten järjestelmien kehitykseen. (Graessler 2017) VDI 2206-ohjenuora lähtee liikkeelle tuotekehitysprosesseille tyypilliseen tapaan vaatimusten määrittelyllä. Määritetyt vaatimukset toimivat samalla myös mittarina kehitetyn tuotteen arvioinnille. Vaatimusten jälkeen päästään ohjeen kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat järjestelmäsuunnittelu, toimialakohtainen suunnittelu ja järjestelmän integraatio. Järjestelmäsuunnittelussa on tavoitteena määrittellä tuotteen olennaiset fyysiset ja loogiset ominaisuudet. Järjestelmä on syytä jakaa alatoimintoihin, jotta toimintaperiaatteista saadaan yksityiskohtaisemmat. Toimialakohtaisessa suunnittelussa työestetään järjestelmään kuuluvia osia yksityiskohtaisemmin kullekin toimialalle kuuluvien työntekijöiden voimin. Näin vastualueet voidaan jakaa alan ammattilaisille. Mekatronisen tuotteen kehittämisessä tarvitaan yleensä muun muassa mekaniikka-, sähkö- ja automaatio-osaamista. Viimeisessä päävaiheessa, eli järjestelmän integroinnissa, on tarkoitus nimensä mukaisesti integroida edellisen vaiheen toimialakohtaiset osat yhdeksi kokonaisuudeksi. Huomion arvoista on se, että ratkaisun täytyy vastata määritellyjä vaatimuksia. Tätä nimitetään VDI 2206-ohjenuorassa varmentamiseksi ja validoinniksi. Mikäli lopputulos ei vastaa vaadittua, palataan aiempiin vaiheisiin. Päävaiheiden rinnalla on syytä hyödyntää mallintamista, joka on mainittuna myös VDI 2206-yleisohjeen V-mallissa. Kuvassa 9 on esitetty VDI 2206:n mukainen V-malli. Kuvasta nähdään, miten suunnitteluprosessin vaiheet ovat sijoiteltu v-kirjaimen muotoon, johon V-mallin nimikin perustuu. (Gausemeier & Moehring 2003)

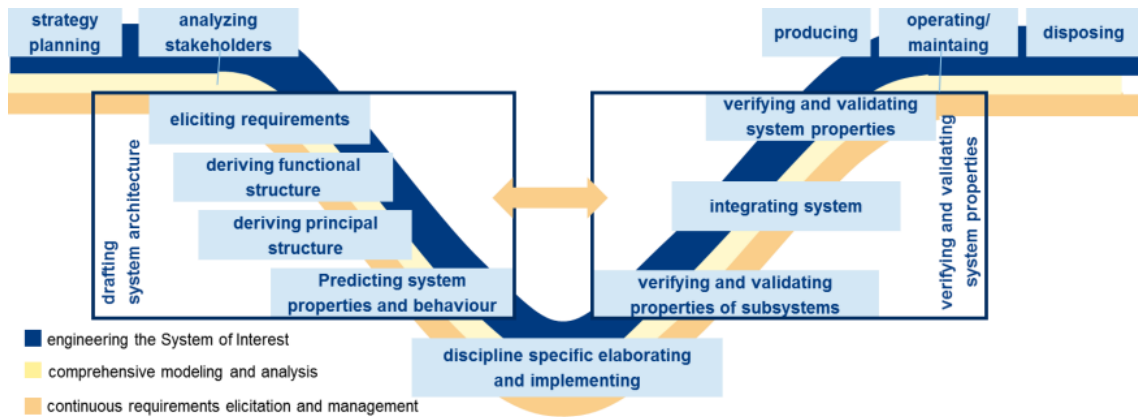


**Kuva 9. VDI 2206:n mukainen V-malli (Gausemeier & Moehring 2003)**

Nykypäivän teknisille sovelluksille on ominaista korkea poikkitieteellisyys, mikä on aiheuttanut myös tarpeen uudistaa V-mallia. Kun ennen pärjättiin pelkillä mekaniikan, hydraulikan, sähkötekniikan ja tietotekniikan osaajilla, tarvitaan nykyään myös loX (Internet of Everything) osaajia, jotta älykkäät laitteet saadaan kommunikoimaan keskenään. Graessler (2017) esittelee parannetun V-mallin, joka ottaa huomioon kehityksen tuoman muutoksen tuotekehitysprosessiin. Parannettu V-malli sisältää kolme uutta ydinelementtiä verrattuna VDI 2206-yleisohjeeseen. Näistä ensimmäinen on jatkuva vaatimusten selvittäminen ja hallinta. Kun VDI 2206:n V-mallissa vaatimukset määriteltiin alussa, on uudessa versiossa tarkoitus määritellä vaatimuksia koko prosessin ajan. Tuotekehitysprosesseissa vaatimukset tyypillisesti elävät läpi prosessin, joten mahdollisuus tarkentaa ja muuttaa määriteltyjä vaatimuksia kesken prosessin on elintärkeää parhaan lopputuloksen saavuttamisessa. (Graessler 2017)

Toinen uusi elementti käsittelee mallintamista ja analysointia. Vuoden 2004 versiossa mallinnusvaihe alkaa järjestelmän suunnittelun puolesta välistä ja päättyy järjestelmän integroinnin puoleen väliin. Uudessa V-mallissa mallinnusvaihe kulkee läpi koko prosessin. Mallipohjaisen suunnittelun avulla voidaan ennustaa järjestelmän ominaisuuksia ja käyttäytymistä. Kolmas uusi elementti mahdollistaa digitaalisten liiketoimintamallien kehittämisen. Tarkoituksena on yksinkertaisesti lisätä kommunikaatiota yrityksen sisällä.

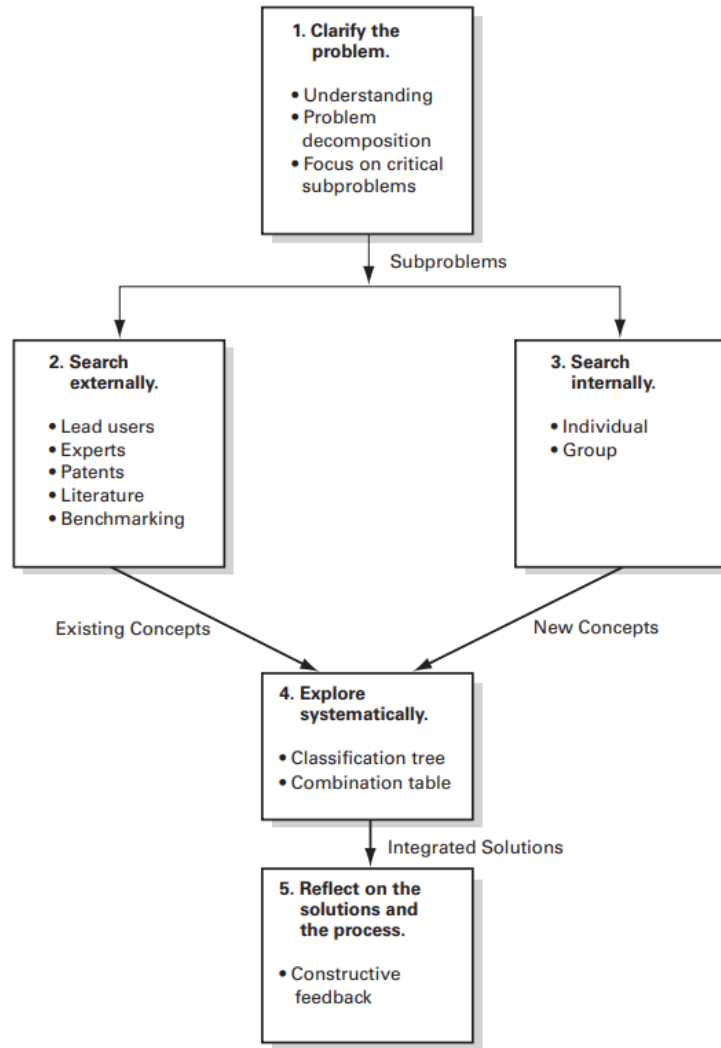
Suunnittelijoiden tukena voi olla esimerkiksi markkinointitiimi, jolta saadaan tietoa markkinoilla pärjäävistä tuotteista. (Graessler 2017) Paranneltu V-malli on esitetty kuvassa 10.



**Kuva 10. Paranneltu V-malli (Graessler 2017)**

### 3.3.3 Viiden askeleen menetelmä

Viiden askeleen menetelmä on rakenteeltaan hyvin samankaltainen kuin Pahl et al. (2007) esittämä systemaattinen suunnitteluprosessi. Se koostuu nimensä mukaisesti viidestä vaiheesta: ongelman selvitys, ulkoinen haku, sisäinen haku, systemaattinen tutkiminta sekä ratkaisujen ja prosessin pohdinta. Prosessin tarkoituksena on rikkoa monimutkaiset ongelmat yksinkertaisiksi aliongelmiksi, jotta ne olisi helpompi ratkaista. Kuvassa 11 on esitettyinä viiden askeleen menetelmän rakenne. Vaikka prosessi on kuvattu lineaarisena mallina, on prosessi oikeasti iteratiivinen. Näin ollen ongelmia kohdatessa, voidaan palata aina edellisiin vaiheisiin ja edellisiä vaiheita voidaan täydentää prosessin edetessä. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 119)



**Kuva 11. Viiden askeleen menetelmä (Ulrich & Eppinger 2012, s. 120)**

Ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus saada yleiskäsitys ongelmasta, jotta se voidaan jakaa osaongelmiin. Osaongelmiinjakoa ei tehdä, mikäli ongelma itsessään on tarpeeksi yksinkertainen. Projektin missio, luettelo asiakkaan tarpeista ja alustava tuotespesifikaatio ovat ihanteellisia lähtökohtia prosessille. Usein näitä jalostetaan vielä prosessin aikana, joten valmista ei tarvitse tulla kerralla. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 121)

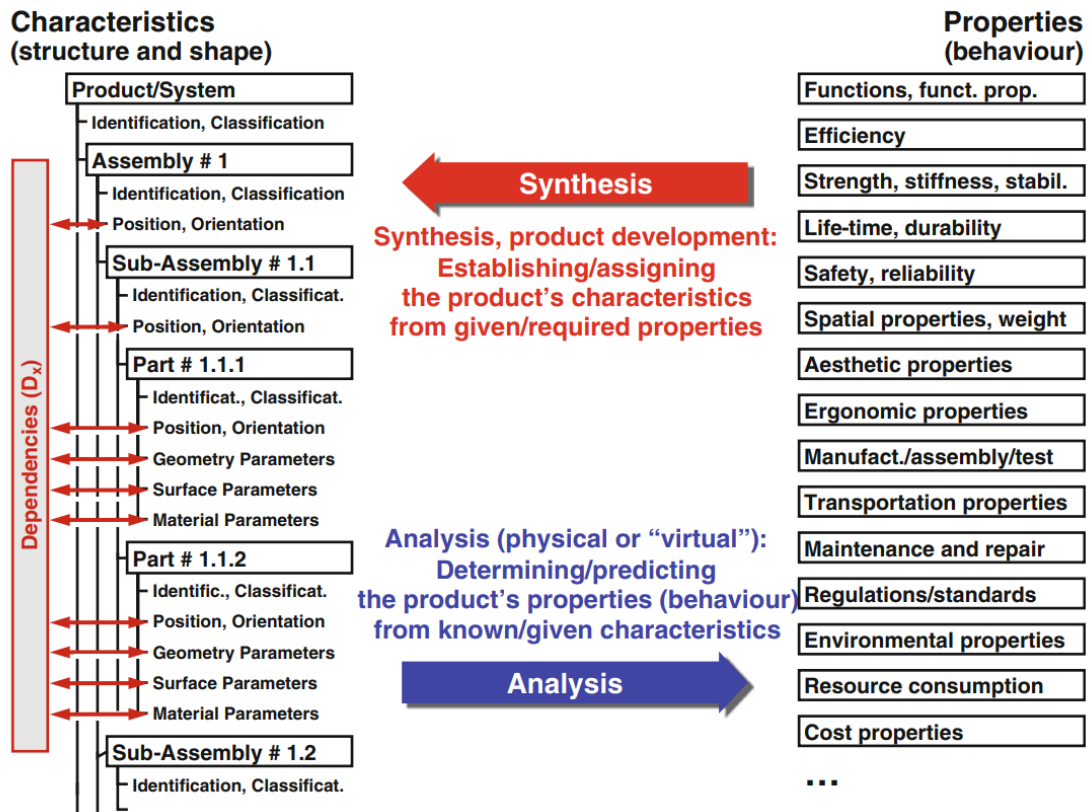
Ulkoisella haulla pyritään löytämään jo olemassa olevia ratkaisuja sekä kokonaisuongelmaan että edellisessä vaiheessa tunnistettuihin aliongelmiin. Patenttihakut, käyttäjähaastattelut, asiantuntijahaastattelut, kilpailevien tuotteiden tutkiminen ja kirjallisuushaust ovat hyviä esimerkkejä ulkoisesta hausta. Vaikka ulkoinen haku on listattu prosessissa toiseksi, on ulkoisen haun syytä jatkaa koko prosessin ajan. Prosessin aikana voidaan kohdata uusia ongelmia, joihin voi löytyä ratkaisut ulkoisella haulla. Olemassa olevan ratkaisun käyttöönotto on yleensä nopeampaa ja halvempaa kuin uuden ratkaisun kehittäminen, joten ulkoisella haulla on paikkansa kehitysprosessissa. (Ulrich & Eppinger

2012, s. 124) Sisäinen haku poikkeaa ulkoisesta hausta merkittävästi. Sisäinen haku on henkilökohtaisen ja suunnittelutiimin tiedon ja luovuuden käyttöä. Tyypillinen menetelmä sisäiselle haulle on aivorihi, jossa tiimin kesken heitellään mahdollisia ideoita ilmoille. Tällä menetelmällä voidaan saada todella innovatiivisia ideoita, joita ei muulla tavalla keksittäisi. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 127–128)

Neljäs vaihe, joka prosessikaaviossa yhdistää ulkoisen ja sisäisen haun, on systemaattinen tutkinta. Tässä vaiheessa on tarkoitus käydä läpi kaikki ulkoisessa ja sisäisessä haussa löydetty ideat ja ratkaisut, ja järjestellä ne luokittain. Apuna tässä luokittelussa kannattaa käyttää joko käsitteiden luokittelupuuta tai yhdistelmätaulukkoa. Luokittelun tarkoituksena on karsia mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja pois, mikä helpottaa ideoiden yhdistämisprosessia. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 130–137) Viimeisessä vaiheessa on tarkoitus pohtia kehitettyjä ratkaisuja ja prosessia. Tätä pohdintaa tulisi harjoittaa koko prosessin ajan, mutta selvyuden vuoksi se on sijoitettu prosessin loppuun. Pohdinnan tarkoitus on parantaa niin tuotetta kuin prosessia tulevaa varten. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 139)

### **3.3.4 CPM/PDD**

Christian Weberin kehittämä Characteristics-Properties Modeling / Property-Driven Development (CPM/PDD) on kaksiosainen menetelmä tuotekehitykseen. CPM edustaa tuotemallia ja PDD kuvaa CPM-tuotemalliin perustuvaa tuotekehitysprosessia. (Conrad et al. 2008, s. 746–747) CPM/PDD perustuu tuotteen tunnuspiirteiden (eng. characteristics) ja ominaisuuksien (eng. properties) välisille vuorovaikutuksille. Tunnuspiirteet ovat tuotteen ulkoisia tekijöitä, kuten rakenne ja muoto. Ominaisuudet kuvastavat tuotteen käyttäytymistä. Näitä voivat olla esimerkiksi kokoonpantavuus, turvallisuus ja luotettavuus. Tunnuspiirteet ovat suoraan suunnittelijan määriteltävissä, kun taas ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa vain muuttamalla tunnuspiirteitä. (Weber 2014, s. 329) Kuvassa 12 on esitetty tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien välinen yhteys. Kuvan vasemmalla puolella ovat tunnuspiirteet ja oikealla puolella ovat ominaisuudet.



**Kuva 12. Tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien välinen yhteys (Weber 2014, s. 331)**

Tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien välinen yhteys koostuu analyysistä (eng. analysis) ja synteisistä (eng. synthesis). Analyysissä määritettyjen tunnuspiirteiden perusteella määritellään sen ominaisuudet, kun taas synteisissä vaadittujen ominaisuuksien perusteella määritetään tuotteen tunnuspiirteet. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, vain tunnuspiirteitä voidaan itse määrittellä. Synteisiä voidaankin pitää tuotekehityksen päätehtävänä. Vaadittuja ominaisuuksia voidaan kuvailla vaatimuslistana. Synteisin avulla suunnittelijan tehtävänä on löytää sopivat ratkaisut eli tunnuspiirteet, jotka täyttävät vaaditut ominaisuudet. (Weber 2014, s. 332)

Varsinainen tuotemallinnusvaihe (CPM) koostuu edellä mainituista analyysistä ja synteisistä. Tarkoitus on mallintaa tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien väliset yhteydet. Mallinnuksessa käytetään seuraavia symboleita:

- $C_i$  = tunnuspiirteet (characteristics)
- $P_j$  = ominaisuudet (properties)
- $PR_j$  = vaaditut ominaisuudet
- $D_x$  = tunnuspiirteiden väliset riippuvuudet (rajoitukset)

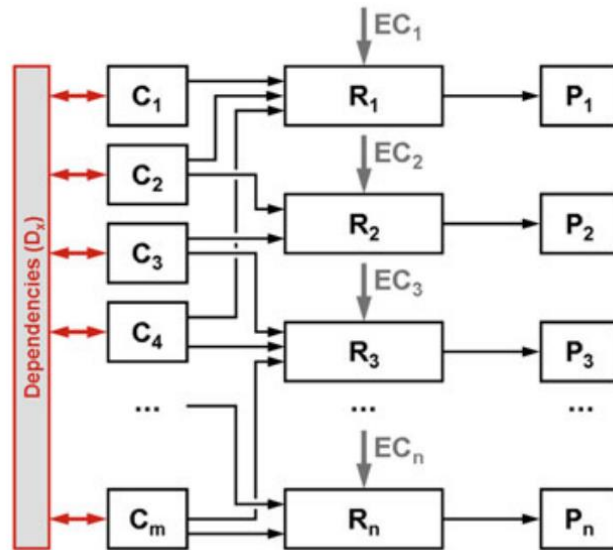


- $R_j =$  tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien väliset suhteet (analyysioperaatio)
- $R_j^{-1} =$  tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien väliset suhteet (synteesioperaatio)
- $EC_j =$  ulkoiset olosuhteet

Kuvassa 13 on esitettyä analyysin perusmalli. Malli kuvastaa sitä, miten tuotteen tunnuspiirteet ( $C_i$ ) määrittelevät kaikki tuotteen olennaiset ominaisuudet ( $P_j$ ). On huomattava, että jokaiselle yksittäiselle ominaisuudelle on olemassa erilainen tunnuspiirteiden yhdistelmä. Tuotteen ominaisuuksien toimivuuden analysointi tuotekehityksen aikana, voidaan toteuttaa analyysioperaatioilla ( $R_j$ ). Analyysioperaatiot ovat menetelmiä ja työkaluja, jotka soveltuvat joko fyysisiin tai ei-fyysisiin malleihin. Niiden tarkoituksena on kertoa relevanttien tunnuspiirteiden vaikutuksista vastaaviin ominaisuuksiin. Menetelmät ja työkalut voivat olla varsin epävirallisia tai vastaavasti virallisia. Weberin esittämät menetelmät ja työkalut listattuna epävirallisimmasta virallisimpaan ovat:

- Arvailu, arvio
- Kokemus
- Asiantuntija- ja asiakaskyselyt
- Fyysiset testit ja kokeet prototyypeillä
- Taulukot ja kaaviot
- Perinteiset laskelmat
- Tietokonepohjaiset menetelmät ja työkalut

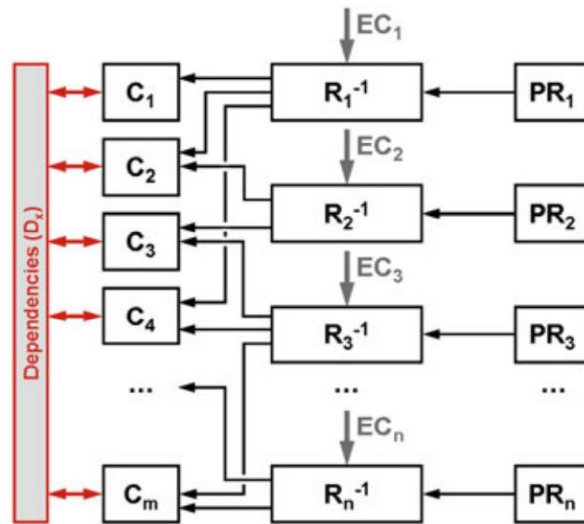
Ominaisuuksien määrittelyssä täytyy muistaa ottaa huomioon myös ulkoiset olosuhteet ( $EC_j$ ). Ulkoiset olosuhteet määrittelevät puitteet, joissa määritelty ominaisuus on voimassa. (Weber 2007, s. 90–91; Weber 2014, s. 333)



**Kuva 13. Analyysin perusmalli (Weber 2014, s. 333)**

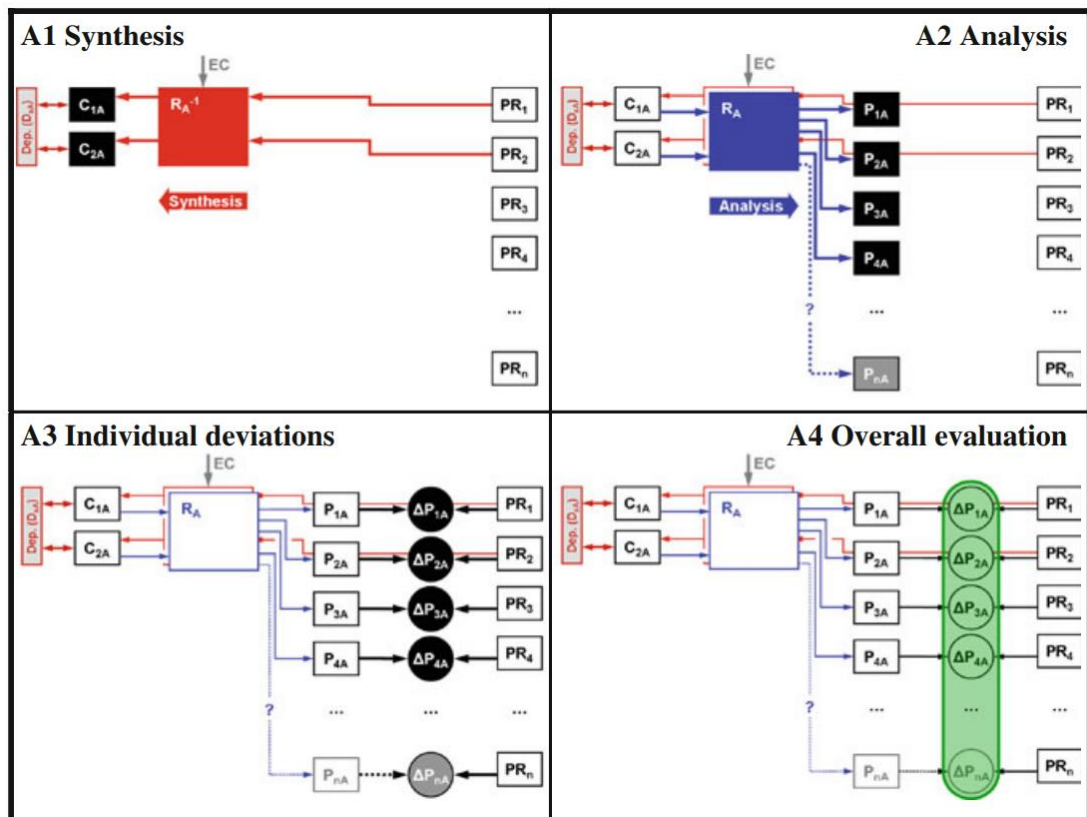
Kuten jo aiemmin todettiin, on synteesi analyysin vastakohta. Siinä vaadittujen ominaisuuksien ( $PR_j$ ) perusteella määritellään tuotteen tunnuspiirteet ( $C_i$ ). Synteessin perusmalli on esitettyä kuvassa 14. Analyysin tavoin, synteessilläkin on omat menetelmänsä ja työkalunsa. Myös sama epävirallisuus ja virallisuus pätee näihin. Erilaisia synteessimenetelmiä ja työkaluja epävirallisimmasta virallisimpaan ovat:

- Luovuus
- Assosiaatio
- Kokemus
- Luetteloiden ja standardien käyttö
- Sääntöjoukko ja metodiset/systemiset lähestymistavat
- Käänteiset laskelmat
- Tietokonepohjaiset menetelmät ja työkalut (Weber 2007, s. 91–92; Weber 2014, s. 334–335)



**Kuva 14. Synteesin perusmalli (Weber 2014, s. 335)**

Weberin CPM/PDD-menetelmän toinen osa on kehitysprosessin mallintaminen (PDD). PDD-prosessissa kehitystyö tapahtuu sykleittäin. Sykli koostuu neljästä vaiheesta, jotka ovat synteesi, analyysi, poikkeamien arviointi ja yleinen arviointi. Sykli sykliltä on tarkoitus päästä lähemmäs tuotteelle asetettuja vaatimuksia. Prosessi on siis iteratiivinen. Kuvasssa 15 on esitettyä PDD-prosessin vaiheet. (Weber 2014, s. 337)



**Kuva 15. PDD-prosessin vaiheet (Weber 2014, s. 338)**

Iteraatioisyklin kaksi ensimmäistä vaihetta, synteesi ja analyysi, perustuvat tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien välisiin yhteyksiin. Prosessin aikana jokaisella uudella synteesi-vaiheella on tarkoitus määrittellä lisää tuotteen tunnuspiirteitä tai muokata vanhoja. Näin tuote tarkentuu jokaisella syklillä uusien tunnuspiirteiden muodossa. Myös analyysivaiheen tehtävä on niin ikään tuottaa yhä tarkempaa tietoa tuotteen ominaisuuksista eli käyttäytymisestä. Varsinainen synteessin ja analyysin toiminta selitettiin jo edellä, joten siirrytään suoraan prosessin vaiheisiin 3 ja 4. Synteessin ja analyysin lisäksi kukin iteraatioisykli sisältää arviointia. Poikkeamien arviointivaiheessa on tarkoitus verrata tuotteen nykyisiä ominaisuuksia vaadittuihin ominaisuuksiin. Arviointi tulee tehdä erikseen jokaisen ominaisuuden osalta. Iteraatioisyklin viimeisessä vaiheessa, eli yleisessä arvioinnissa, verrataan vastaavatko tuotteen ominaisuudet vaadittuja ominaisuuksia. Mikäli lopputulos miellyttää, prosessi päättyy. Jos tulokset eivät kuitenkaan ole tyydyttäviä, aloitetaan uusi iteraatioisykli tarkemmilla synteessin ja analyysin metodeilla ja työkaluilla. Yleistä arviota voidaankin pitää prosessin ajavana voimana. (Weber 2014, s. 337)

### 3.4 Valittu tuotekehitysprosessi

Kuten luvussa 3.2 todettiin, tuotekehitysmenetelmän valintaan vaikuttavat annetut lähtötiedot sekä niiden selkeys. Tässä työssä suunniteltavalle kiristyslaitteelle annetut lähtötiedot ovat selkeät etenkin tavoitteiden puolesta. On kuitenkin todettava, että annettuja lähtötietoja on määrällisesti melko vähän. Kiristyslaitteen fyysisiä ominaisuuksia lähtötiedot rajoittavat lähinnä ulkomittojen ja hylsyjen säätövaran muodossa. Tiedossa ei kuitenkaan ole kiristyslaiteratkaisun rakennetta tai kiristyksen toimintaperiaatetta. Tästä syystä tuotekehitysmenetelmää lähdettiin etsimään iteratiivisten menetelmien joukosta. Tarkasteltaviksi menetelmiksi valittiin edellä esitetyt systemaattinen suunnitteluprosessi, V-malli, viiden askeleen menetelmä ja CPM/PDD.

Tutkittavista menetelmistä systemaattinen suunnitteluprosessi ja viiden askeleen menetelmä olivat hyvin samankaltaisia. Molemmat prosessit etenevät systemaattisesti vaihe vaiheelta. Jokaisessa vaiheessa suoritetaan vaiheelle kuuluvat tehtävät, kuten esimerkiksi patenttiselvitys tai benchmarking-tutkimus, ja edetään seuraavaan vaiheeseen. Mikäli jossakin vaiheessa kohdataan ylitsepääsemättömiä ongelmia, palataan edelliseen vaiheeseen ja määritellään esimerkiksi vaatimuksia uudelleen. Molemmat menetelmät ovat siis iteratiivisia, mikä on perusedellytys tällaisille suunnittelutehtäville. Ongelmaksi näissä menetelmissä muodostuu niiden prosessikeskeisyys. Menetelmät keskittyvät enemmän kehitysprosessin hallintaan kuin itse varsinaiseen kehitystyöhön. Siksi näiden menetelmien käyttö ei varsinaisesti tarjoa kehitystyölle muuta kuin selkeän viivan, jota pitkin kehitystyö etenee.

V-mallilla on paljon yhteneväisyyksiä systemaattisen suunnitteluprosessin ja viiden askeleen menetelmän kanssa. Se etenee vaihe vaiheelta eteenpäin aivan kuten edellä mainitut menetelmät. Erona edellisiin menetelmiin perinteisessä VDI 2206-yleisohjeen mukaisessa V-mallissa on vain yksi palautesilmukka, joka on sijoitettu kehitystyön loppuun. Näin ollen menetelmän mukaan laite tehdään valmiiksi, ja lopussa pohditaan vastaako se alussa määriteltyjä vaatimuksia vai ei. Tämä menetelmä ei näin ollen sovellu kiristyslaitteen suunnittelussa käytettäväksi menetelmäksi, sillä kiristyslaitteen suunnittelussa on tarpeen päästä tekemään nopeita suunnan muutoksia. Syy tälle on lähtötietojen vähäinen määrä, mikä antaa suunnittelulle hyvinkin vapaat kädet. Näin ollen myös kehitystyön väärään suuntaan vieminen on huomioonotettava riski, jota on syytä eliminoida useilla palautesilmukoilla. Uudistetussa V-mallissa palautesilmukoita on enemmän, mikä tekee siitä varteenotettavan vaihtoehdon. Tässäkin tapauksessa on kuitenkin todettava, että V-malli itsessään ei tuo varsinaiseen kehitystyöhön muuta kuin selkeän raamin, jota pitkin edetään.

Toisin kuin kolme edellistä menetelmää, keskittyy CPM/PDD-menetelmä prosessin sijasta kehitettävään laitteeseen. Menetelmän keskiössä ovat kehitettävän laitteen ominaisuudet ja tunnuspiirteet sekä niiden välinen yhteys. Kehitystyö etenee edellisten menetelmien tapaan iteratiivisesti. Varsinainen kehityskierros koostuu synteesisistä, analyysistä, yksityiskohtaisesta arvioinnista sekä kokonaisvaltaisesta arvioinnista. Menetelmän avulla nähdään kätevästi, pystyykö kehitetty tunnuspiirre vastaamaan ominaisuuksien vaatimuksiin. Tämä onkin CPM/PDD-menetelmän hienoin ominaisuus, sillä arvioinnin avulla kehitetyt konseptit on helppo asettaa paremmuusjärjestykseen. Arviointi osoittaa myös, millä tunnuspiirteillä saatiin selvää etua muihin konsepteihin nähden. Näin kehitystyötä pystytään jatkamaan parhaiksi osoittautuneilla tunnuspiirteillä seuraavalla kehityskierroksella.

Edellä pohdittiin neljän kehitysmenetelmän sopimista kehitettävän kiristyslaitteen suunnittelutyön avuksi. On todettava, että jokaista menetelmää pystyttäisiin soveltamaan kiristyslaitteen kehityksessä. Merkityksellisempää on kuitenkin se, tuoko menetelmä mitään lisäarvoa kehitystyöhön. Systemaattinen suunnitteluprosessi, viiden askeleen menetelmä ja V-malli tarjoavat lähinnä raamit kehitysprosessin suorittamiseen usean peräkkäin olevan vaiheen avulla. Näiden menetelmien hyöty tässä kehitystyössä keskittyisikin lähinnä prosessinhallintaan, mistä ei olisi itsessään hyötyä kehitystyön kannalta. CPM/PDD-menetelmä on taas kuin yksi vaihe näistä pitkistä vaiheketjuista. Se tarjoaakin konkreettista apua laitteen ratkaisujen kehittämiseen sekä niiden arviointiin. Näiden perusteluiden pohjalta kiristyslaitteen kehityksen tukena päätettiin käyttää CPM/PDD-menetelmää.

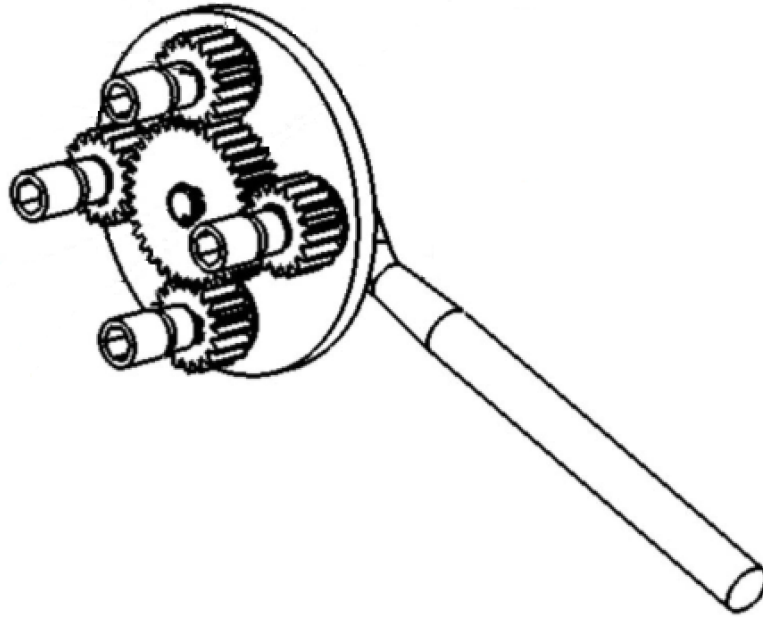
## 4. TUOTEKEHITYSPROJEKTIN ALUSTUS

Tässä luvussa luodaan pohja kehitystyölle. Luvussa toteutetaan patenttiselvitys ja benchmarking-tutkimus, joiden tarkoituksena on kerätä tietoa kehitystyötä varten. Kerättyjen tietojen pohjalta määritellään, miten CPM/PDD-menetelmää sovelletaan kehitystyössä. Lopuksi toteutetaan CPM-menetelmän mukainen kiristyslaitteelta vaadittujen tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien määrittäminen sekä muodostetaan yhteydet näiden välille.

### 4.1 Patenttiselvityksen toteutus

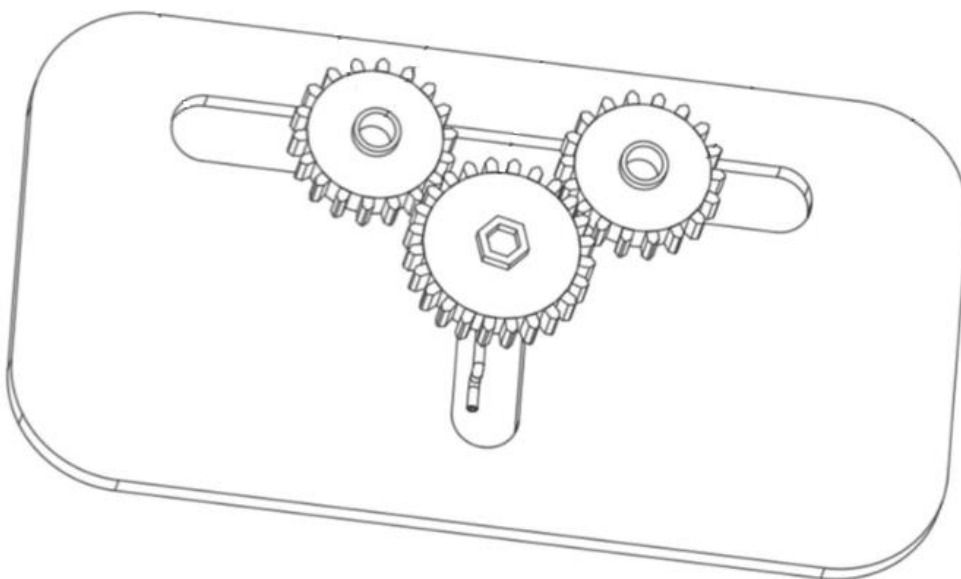
Patenttiselvitys toteutettiin työn varsinaisen tuotekehitysprosessin alussa. Patenttijulkaisujen hakemiseen käytettiin Espacenet -tietokantaa, josta löytyy yli 130 miljoonaa patenttidokumenttia. Haku toteutettiin hyödyntämällä Espacenet:n maailmanlaajuista tietokantaa (Worldwide), jotta patenttiselvityksestä saadaan mahdollisimman kattava. (Espacenet 2021; Espacenet patent search n.d.) Olemassa olevien kiristinlaitteiden, ideoiden, ratkaisujen ja sovelluksien etsimisessä käytettiin hakusanoina muun muassa seuraavia sanoja ja niiden yhdistelmiä: bolt, multi, tightening, spindle, shaft, torsion spring, tensioner, adjustable, hydraulic-hammer, assembly, disassembly, nut, gear, wrench ja torque transfer. Muutaman potentiaalisen patentin löydyttyä, voitiin näiden patenttien patenttiluokitusta hyödyntää, jotta hausta saatiin tehokkaampaa. Patenttiluokituksena käytettiin IPC-luokitusta, sillä löydetyissä patenteissa oli lähtökohtaisesti käytetty vain IPC-luokitusta. IPC-luokituksen mukaisia ryhmiä olivat esimerkiksi B25B17/00 (Hand-driven gear-operated wrenches or screwdrivers) ja B25B23/00 (Details of, or accessories for, spanners, wrenches, screwdrivers).

Liitteestä A löytyy listattuna kaikki tässä työssä hyödynnetyt patentit. Todettakoon, että patenttijulkaisuista ei löytynyt vastaavaa laitetta, joka tässä diplomityössä on tarkoitus suunnitella. Tämä ei tullut yllätyksenä, sillä käyttökohteet tällaiselle laitteelle ovat hyvin rajatut. On siis mahdollista, että tällaista laitetta ei ole koskaan aiemmin tarvittu. Patenttijulkaisuiden suurin anti kohdistuikin ratkaisuihin ja sovelluksiin, joita suunniteltava kiristinlaite voisi hyödyntää. Etenkin voimavälitykseen löytyi paljon potentiaalisia vaihtoehtoja. Esimerkiksi kuvassa 16 esitetyssä patentissa CN210650424U (Multi-bolt quick detaching and tightening device) voimavälitys on toteutettu hammaspyörillä. Muita patenttijulkaisuissa esiintyviä ratkaisuja voimavälitykseen olivat muun muassa ketjut ja hihnat.



**Kuva 16. Voimavälitys hammaspyörillä patentissa CN210650424U (CN210650424U)**

Voimavälityksen ohella ratkaisuja löytyi myös säädettävyyden toteuttamiseen. Esimerkiksi patentissa CN216067210U voimavälitys on toteutettu edellisen tapaan hammaspyörillä. Ratkaisussa hammaspyörät ovat sijoitettu kulkemaan urissa, jolloin hammaspyöriä voidaan liikuttaa lineaarisesti. Kehittämällä tätä ratkaisua pidemmälle, voidaan saada varsin potentiaalinen vaihtoehto kiristyslaitteen säädettävyyden toteutukseen. Kuvassa 17 on esitettyä patentin CN216067210U ratkaisu urilla liikkuvista hammaspyöristä.



**Kuva 17. Hammaspyörät urissa patentissa CN216067210U (CN216067210U)**

## 4.2 Benchmarking-tutkimuksen toteutus

Benchmarking-tutkimus toteutettiin Google-hakukoneen avulla. Tavoitteena oli löytää kiristyslaitetta vastaavia tuotteita sekä kiristyslaitteessa mahdollisesti sovellettavia ratkaisuja. Hakusanoina käytettiin muun muassa seuraavia sanoja ja niiden yhdistelmiä: automatic, bolt, multi, tightening, spindle, shaft, torsion spring, tensioner, adjustable, hydraulic-hammer, assembly, disassembly, nut, gear, wrench ja torque transfer.

Liitteessä B on esitettyä markkinoilla olevia kiristyslaitteita ja sovelluksia vertailutaulukossa. Taulukkoon on kerätty keskeisiä tietoja laitteista sekä niiden ominaisuuksista. Benchmarking-tutkimuksen tulokset jäivät patenttiselvityksen tavoin melko valjuiksi. Syy tälle on yksinkertaisesti se, että markkinoilla ei ole tuotetta, joka vastaisi tälle suunnittelutyölle annettuja vaatimuksia. Näin ollen keskittyminen kohdistettiin laitteiden ominaisuuksiin, joita voitaisiin hyödyntää suunnittelutyössä. Eräs varteenotettava toiminnallisuus oli erään laitteen säädettävyyden toteutus. Säädettävyys oli toteutettu pyörivien komponenttien avulla, joihin jokaiseen oli kiinnitetty yksi kara. Karat pyörivät siis pyörivien komponenttien keskipisteen suhteen. Kuvassa 18 on esitettyä kiristinlaite, jossa karojen säätö tapahtuu pyörivien komponenttien avulla.



**Kuva 18. Suhner POLYdrill (Suhner – Multi Spindle Drilling Heads n.d.)**

Pyörivien komponenttien säädettävyyden heikkous on ehdottomasti säädettävyyden liikerata. Liikeradan olisi hyvä olla lineaarinen eikä epälineaarinen, kuten pyörivien karojen tapauksessa. Lineaarinen säädettävyys lisää laitteen käytettävyyttä, mikä on syytä olla



hyvällä tasolla tuotannon sujuvuuden kannalta. Lineaarinen säätö olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi erillisiä kiristyskomponentteja käyttämällä. Kuvassa 19 on esitettyinä DOGA DC-moottori (tasavirtamoottori) kierukkavaihteella. Sijoittamalla neljä sähkömoottoria lineaarisesti säädettävään rakenteeseen on eräs vaihtoehto saada aikaan lineaarinen säätö. Markkinoilta löytyy lukuisia erilaisia sähkömoottoreita lukuisilla erilaisilla vaihteilla, joten kiristyslaite ratkaisuun löytyisi varmasti sopiva sähkömoottori voimanlähteeksi.

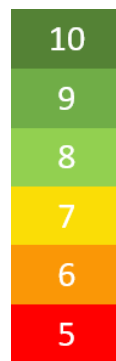


*Kuva 19. DOGA DC-moottori kierukkavaihteella (DOGA n.d.)*

### 4.3 CPM/PDD-menetelmän soveltaminen

Ennen varsinaisen suunnittelutyön aloittamista on tärkeää määrittellä, miten CPM/PDD-menetelmää sovelletaan suunnittelutyön tukena. Vaihtoehtoisia tapoja on monia, eikä yhtä oikeaa tapaa ole. Eräs varsin toimiva soveltamistapa on verrata omaa ratkaisua markkinoilta löytyvään ratkaisuun. Tällöin nähdään esimerkiksi, pystyykö oma tuote vastaamaan markkinoilla olevaan kilpailuun. Heikoiksi jääneiden patenttiselvityksen ja benchmarking-tutkimuksen tulosten takia, suunniteltavaa kiristyslaitetta ei voida kuitenkaan vertailla suoraan markkinoilta löytyvään ratkaisuun tai laitteeseen. Tässä tapauksessa konseptien onnistumisen arviointi ja vertailu on järkevä suorittaa erilaisten kehitettyjen kiristyslaittekonseptien välillä. Näin konsepteja ja niiden ominaisuuksia voidaan pisteyttää paremmuusjärjestykseen, jolloin kehitystyössä osataan edetä oikeaan suuntaan. Pisteytys tapahtuu kiristyslaitteelta vaadittujen ominaisuuksien perusteella, jotka määritellään suunnittelutyön alussa annettujen lähtötietojen ja yleisten koneelta vaadittujen ominaisuuksien perusteella.

CPM/PDD-menetelmä ei määrittele, mitä asteikkoa arvioinnissa tulisi käyttää. Tämä jää siis käyttäjän päätettäväksi. Tässä työssä arviointi päädyttiin toteuttamaan asteikolla 5–10. Arvosana 5 tarkoittaa sitä, että tunnuspiirteessä on potentiaalia, mutta se ei vielä vastaa vaadittua ominaisuutta. Arvosanan 10 saa sellaiset tunnuspiirteet, jotka vastaavat täydellisesti vaadittua ominaisuutta eikä niissä näin ollen ole kehittämisen varaa. Arvioinnissa ei tarvita alle 5:n arvosanoja, sillä näissä ideoissa ei ole tarpeeksi potentiaalia, jotta niitä edes lähdetäisiin konseptoimaan. Hyvän ratkaisun rajaksi asetetaan arvosanan 8, jonka alle jääneiden ratkaisujen kehitystä jatketaan. Kun tunnuspiirteet vastaavat kaikkia ominaisuuksia vähintään arvosanalla 8, kehitystyö lopetetaan. Arvioinnin perustana käytetään kiristyslaitekonsepteista mallinnettuja 3D-malleja. Mainittakoon myös, että kaikki ominaisuudet ovat yhtä arvokkaita, joten ominaisuuskohtaisia painokertoimia ei käytetä. Tämä ei kuitenkaan poissulje ominaisuuksien priorisoimista toisten edelle. Arvosanojen lisäksi käytetään värikoodeja, jotka lisäävät havainnollisuutta. Värikoodit ovat esiteltynä kuvassa 20.



**Kuva 20. Pisteytyksen värikoodit**

Kehitysprosessi on tarkoitus toteuttaa kierroksittain, jotta luotuja konsepteja voidaan arvioida ja vertailla kesken kehitystyön. Näin aikaa ei tuhlaannu kaikkien konseptien valmiiksi saattamiseen, vaan kehitystyö etenee koko ajan parhaan mahdollisen ratkaisun ehdoilla. Kehityskierroksen alussa määritellään, mihin kehityskierroksella on tarkoitus panostaa ja kuinka pitkälle konsepteja kehitetään. Jokaiselle kehityskierroksella kehitetylle konseptille tehdään PDD-arviointi, kun konsepti on saatu kehitettyä kehityskierroksen mukaiselle tasolle. Näin edellisten konseptien arvioinnista voidaan ottaa vinkkejä, jos huomataan jonkin tunnuspiirteen menevän kehityksen kannalta todella epäedulliseen suuntaan. Tällöin koko kehityskierros ei mene pilalle yhden huonon tunnuspiirteen takia. Kehityskierroksen lopussa vertaillaan kaikkia kehityskierroksella kehitettyjä konsepteja keskenään. Vertailun tarkoituksena on löytää konsepteista ne tunnuspiirteet, jotka toivat selkeää etua muihin konsepteihin nähden. Vertailun jälkeen kehitystyötä jatketaan niillä tunnuspiirteillä, jotka osoittautuivat parhaimmiksi. Vaikka kehitys eteneekin kehityskierroksittain, on kiristyslaitetta tarkoitus parantaa konsepti konseptilta.

## 4.4 Kiristyslaitteen vaatimusten määrittely

CPM/PDD-menetelmän soveltaminen aloitetaan määrittämällä vaatimuslistat kiristyslaitteen ominaisuuksille ja tunnuspiirteille. Vaatimusten määrittelyllä on tärkeä rooli koko valitun kehitysmenetelmän käytön kannalta. Kuten luvussa 4.2 todettiin, perustuu konseptien arviointi ja vertailu näihin ennalta määriteltyihin ominaisuuksiin. Ominaisuudet on syytä määritellä täsmällisesti, jotta ne eivät jätä liikaa tulkinnanvaraa suuntaan tai toiseen. Liian löyhästi määritetyt ominaisuudet voivat johtaa kehitystyön epäonnistumiseen. Vaatimuksia määriteltäessä on myös syytä pohtia, mitkä vaatimuksista ovat ehdottomia kiristyslaitteen kannalta, ja mistä voidaan joustaa tiukan paikan tullen. Vaatimusten määrittelyn jälkeen muodostetaan yhteydet ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden välille.

### 4.4.1 Vaaditut ominaisuudet

Suunniteltavalle kiristyslaitteelle asetettiin kaikkiaan 10 vaadittua ominaisuutta. Ominaisuuksien määrittämisen pohjana käytettiin luvussa 2 esiteltyjä työn lähtökohtia. Lähtökohtien perusteella ominaisuuksiksi muodostui automaattisuus/etäkäyttöisyys, kiristystarkkuus, säädettävyyden, turvallisuus ja yhteys lämmityslaitteistoon. Muiden ominaisuuksien tarve pohjautui yleisiin ominaisuuksiin, joita koneilta usein vaaditaan. Näiksi ominaisuuksiksi muodostui huollettavuus, kestävyys, käytettävyyden, toimintavarmuus/luotettavuus ja valmistettavuus. Näiden ominaisuuksien tarkoituksena on johdattaa kiristyslaitteeseen, että se on mahdollista toteuttaa myös fyysisesti. Ominaisuudet kriteereinään ovat listattuna taulukossa 1.

**Taulukko 1. Kiristyslaitteelle asetetut ominaisuuksien kriteerit**

Ominaisuudet	Kriteerit
Automaattisuus / Etäkäyttöisyys	Kiristys tapahtuu automatiikan avulla tai vaihtoehtoisesti riittävän turvaetäisyyden (1 m) päästä etäkäyttöisesti. Laitteen automaattisuus yleisesti
Huollettavuus	Rikki menneet osat voidaan vaihtaa uusiin. Mahdollisesti purettavissa, jotta rikki menneet osat voidaan vaihtaa
Kestävyys	Kestää päivittäisen käytön tuotantoympäristössä
Kiristystarkkuus	Kiristystarkkuuden tulisi olla $\pm 2$ astetta

Käytettävyys	Helppo käyttää
Säädettävyys	Säädettävyys on helppo toteuttaa ja se on tarkka
Toimintavarmuus / Luotettavuus	Laite kykenee toistamaan kiristysprosessin ilman vaihtelua lopputuloksissa
Turvallisuus	Laitteen läheisyydessä (1 m) ei tarvitse olla kiristysprosessin aikana. Ei puristumisvaaroja. Konedirektiivi
Valmistettavuus	Laitteen tulee olla valmistettavissa saatavilla olevilla valmistusmenetelmillä. Suunnittelulla pyritään minimoimaan valmistuksesta syntyvät kustannukset
Yhteys lämmityslaitteistoon	Laite katkaisee lämmityksen, kun sidepultit on kiristetty

Taulukossa olevista ominaisuuksista tärkeimmät ovat automaattisuus/etäkäyttöisyys, kestävyys, kiristystarkkuus, käytettävyys, säädettävyys, toimintavarmuus/luotettavuus, turvallisuus sekä yhteys lämmityslaitteistoon. Nämä ominaisuudet pyritään saamaan vähintäänkin hyvälle tasolle, jotta kiristyslaite palvelee käyttötarkoitustaan mahdollisimman hyvin. Jäljelle jääneet ominaisuudet, eli huollettavuus ja valmistettavuus, ovat ominaisuuksia, joista voidaan tilanteen tullen joustaa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että näistä alettaisiin lähtökohtaisesti joustamaan, vaan vasta silloin, mikäli tilanne vaatii. Mahdollista on, ettei joustamista tarvita, vaan kiristyslaite pystyy vastaamaan kaikkiin ominaisuuksiin hyvin.

Eräs hyvin yleisesti käytetty ominaisuus on hinta. Kiristyslaitteen tapauksessa hintaa ei kuitenkaan ole syytä määrittää ominaisuudeksi, sillä laitetta ei ole tarkoitus kaupallistaa. Mainittakoon myös, että kiristyslaitteelle ei ole yrityksenkään puolesta määritelty mitään hintakattoa, joten painetta suunnittelulle ei tule sieltäkään suunnasta. Hyvällä suunnittelulla pyritään kuitenkin maksimoimaan kiristyslaitteen valmistettavuus, jolloin valmistuksesta syntyvät kustannukset laskevat.

#### 4.4.2 Tunnuspiirteet

Suunnittelutyön alussa laitteelle asetettavat tunnuspiirteet ovat etäisyys keskipisteestä ja säätövara. Määritetyt tunnuspiirteet perustuvat joidenkin ominaisuuksien tavoin luvussa 2 esitettyihin työn lähtökohtiin. Lähtötietojen perusteella ainoat tunnuspiirteet ovatkin fyysisiä rajoituksia, joita kokoonpanoympäristö ja tuotteisto aiheuttavat. Näiden lisäksi on kuitenkin ilmeistä, että kiristyslaite tarvitsee voimanlähteen, jolla se kääntää sidepultit haluttuun astekulmaan. Voimanlähde voidaan siis määrittää kiristyslaitteen tunnuspiirteeksi jo näin ennen varsinaista suunnittelutyötä. Kaiken kaikkiaan tunnuspiirteiden määrä jää todella vähäiseksi näin suunnittelutyön alussa, sillä tässä vaiheessa prosessia on mahdotonta tietää, millainen suunniteltavasta kiristyslaitteesta tulee. On kuitenkin odotettavissa, että suunnittelutyön edetessä myös tunnuspiirteiden määrä kasvaa. Lähtötilanteessa kiristyslaitteelle asetetut tunnuspiirteet sekä niiden kriteerit ovat esitetty taulukossa 2.

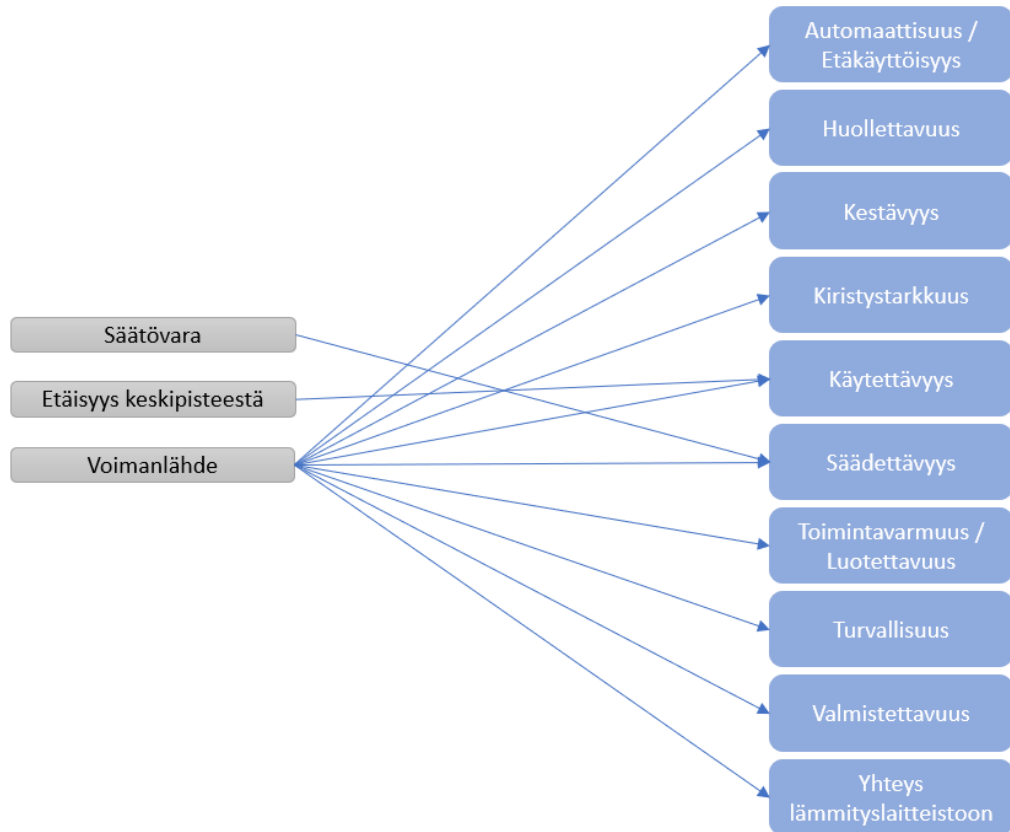
**Taulukko 2. Kiristyslaitteelle asetetut tunnuspiirteiden vaatimukset**

Tunnuspiirteet	Kriteerit (mikäli on)
Etäisyys keskipisteestä	Pienempää kuin 370 mm lämmityslaitteiston lineaariyksikköä päin
Säätövara	Min. 240–480 mm
Voimanlähde	-

Etäisyys keskipisteestä -tunnuspiirre kuvastaa etäisyyttä venttiilipesän keskipisteestä lämmityslaitteiston lineaariyksikköä päin. Kiristyslaitteen ei tarvitse olla symmetrinen, vaikka jo tässä vaiheessa on oletettavaa, että laitteesta tulee jokseenkin symmetrinen. Tämä oletus pohjautuu sidepulttien asemointiin venttiilipesässä, joka on täysin symmetrinen. Etäisyys keskipisteestä -mitta mitataan siis kiristyslaitteen siitä pisteestä, joka on kohdakkain venttiilipesän keskipisteen kanssa, lämmityslaitteiston lineaariyksikön puoleiseen reunaan tai pisteeseen. Tämä reuna tai piste saattaa vaihdella eri iskuvasaromallien kohdalla riippuen siitä, miten säädettävyys toteutetaan. Vaikka lähtötiedoissa esitetty säätövara mitattiin venttiilipesän keskipisteestä sidepultin keskipisteeseen, päätettiin säätövara-tunnuspiirre esittää ristikkäin olevien sidepulttien etäisyytenä. Tällöin säätövaran arvo on kaksinkertainen verrattuna lähtötiedoissa esitettyyn arvoon.

### 4.4.3 Yhteydet

Kiristyslaitteelta vaadittujen ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden määrittämisen jälkeen muodostettiin CPM/PDD-menetelmän mukaisesti riippuvuussuhteita kuvaava kaavio. Kuvassa 21 on esitettyä kiristyslaitteen ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden väliset yhteydet.



**Kuva 21. Yhteydet tunnuspiirteiden ja ominaisuuksien välillä**

Kuten kuvasta 21 nähdään, ominaisuuksien ja tunnuspiirteiden väliset riippuvuussuhteet jäivät melko vähäisiksi. Tämä selittyy osittain tunnuspiirteiden vähäisellä määrällä, mutta myös tunnuspiirteiden laadulla. Esimerkiksi säätövara vaikuttaa vain säädettävyyteen, sillä säätövara itse tunnuspiirteenä on vain mittaväli, jonka tunnuspiirteen tulee toteuttaa. Myös etäisyys keskipisteestä -tunnuspiirre vaikuttaa vain yhteen ominaisuuteen. Tämä ominaisuus on käytettävyys. Etäisyydellä keskipisteestä on niin ikään määritelty mitta-arvo, jota tässä tapauksessa tunnuspiirre ei saa ylittää. Etäisyys keskipisteestä vaikuttaa kuitenkin merkittävästi kiristyslaitteen käytettävyyteen, sillä mitä pienempi laite sitä helpompaa sen käsittely on. Toisin kun edellä mainitut tunnuspiirteet, vaikuttaa voimanlähde kaikkiin kiristyslaitteelle määrättyihin ominaisuuksiin. Tämä perustuu siihen, että voimanlähde määrittelee hyvin pitkälti, millaisia muita tunnuspiirteitä laitteeseen muodostuu, joten se vaikuttaa vähintäänkin epäsuorasti kaikkiin määriteltyihin ominaisuuksiin.

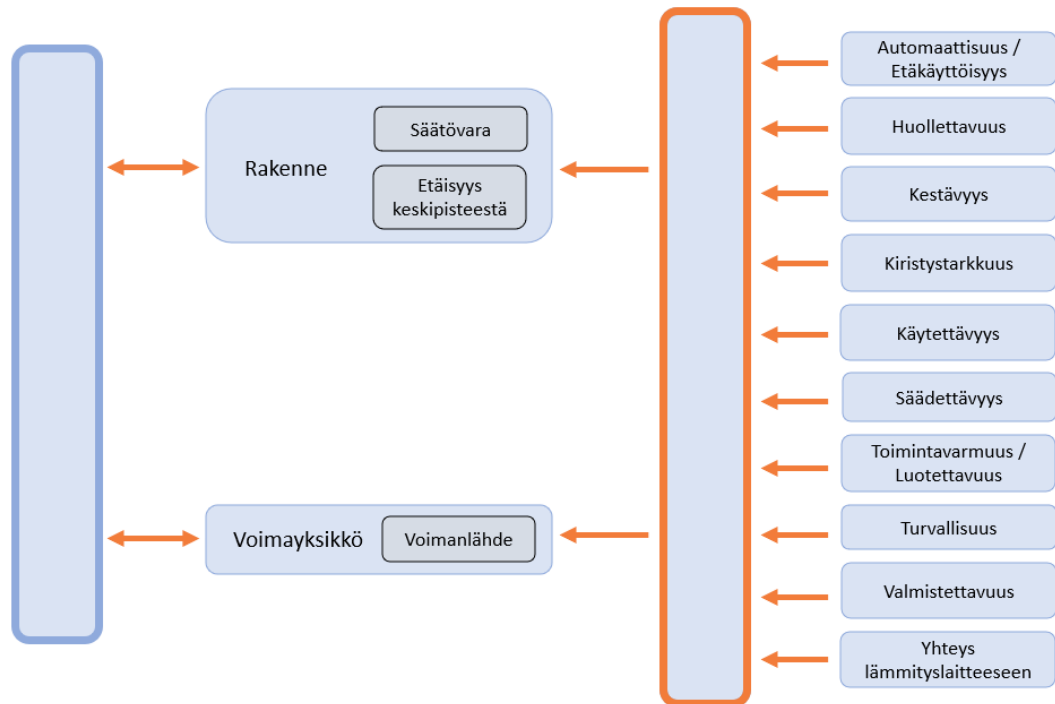
## 5. TUOTEKEHITYSPROSESSIN TOTEUTUS

Tässä luvussa toteutetaan varsinainen kehitystyö. Kehitystyö toteutettiin kierroksittain, joita muodostui kolme kappaletta. Jokainen kehityskierros alkaa johdannolla, jossa kerrotaan mihin seikkoihin kehityskierroksella on tarkoitus keskittyä. Johdantoa seuraa luotujen konseptien esittely ja arviointi. Kehityskierroksen lopuksi tarkastellaan kehityskierroksella luotujen konseptien arvioita sekä päätetään millä tunnuspiirteillä kehitystyötä jatketaan vai lopetetaanko kehitystyö siihen kierrokseen.

### 5.1 Ensimmäinen kehityskierros

Ensimmäisellä kehityskierroksella lähdettiin luomaan karkeita konsepteja mahdollisista ratkaisuksista. Ideoinnin pohjana käytettiin pitkälti patenttiselvityksestä ja benchmarking-tutkimuksesta saatuja vaihtoehtoisia ratkaisuja. Kehityskierroksen päätavoitteena oli löytää kiristyslaitteelle sopivin voimanlähderatkaisu. Voimanlähteellä on suuri vaikutus laitteen rakenteeseen, joten sen päättäminen tässä vaiheessa suunnittelutyötä on välttämätöntä. Kehityskierroksella ei puututa kiristyslaitteen tarkempiin yksityiskohtiin, jotta ne eivät ala rajoittamaan kehitystyötä. Myöskään yksittäisiin kiristyslaitteelta vaadittaviin ominaisuuksiin ei keskitytä, vaan kehitystyö pidetään hyvin yleispiirteisenä.

PDD-menetelmän soveltaminen ensimmäisellä kehityskierroksella aloitettiin luomalla synteesi. Kehitystyön alussa synteesi perustuu vain ennalta määritettyihin tunnuspiirteisiin sekä vaadittuihin ominaisuuksiin. Ensimmäisen kehityskierroksen synteeseihin listatut tunnuspiirteet ovat jo luvussa 4 mainitut säätövara, etäisyys keskipisteestä ja voimanlähde. Säätövara ja etäisyys keskipisteestä sijoitettiin synteessissä rakenne -nimiseen osakokoonpanoon. Toisena osakokoonpanona on voimayksikkö, johon voimanlähde sijoitettiin. Ensimmäisen kehityskierroksen synteesi on esitettyinä kuvassa 22.

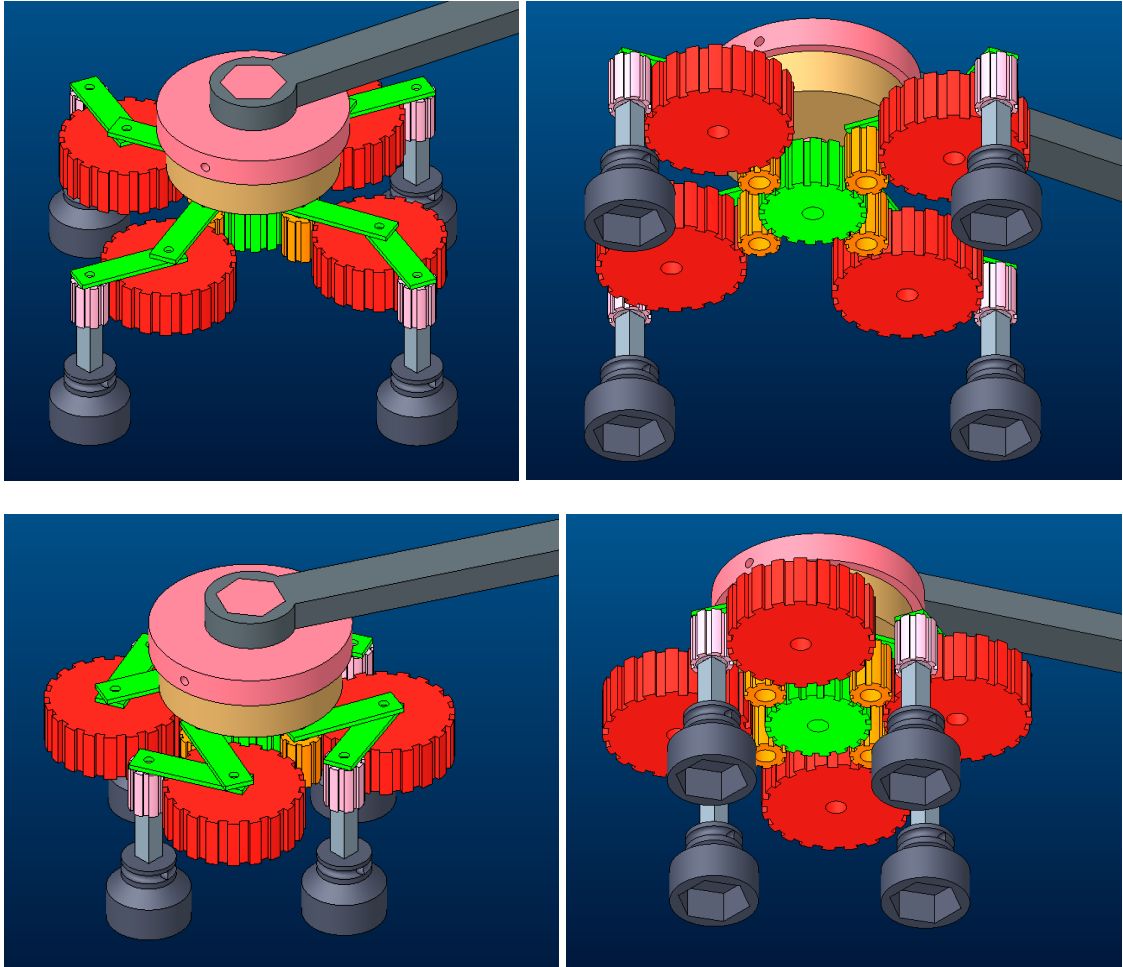


**Kuva 22. Ensimmäisen kehityskierroksen synteesi**

### 5.1.1 Konsepti 1

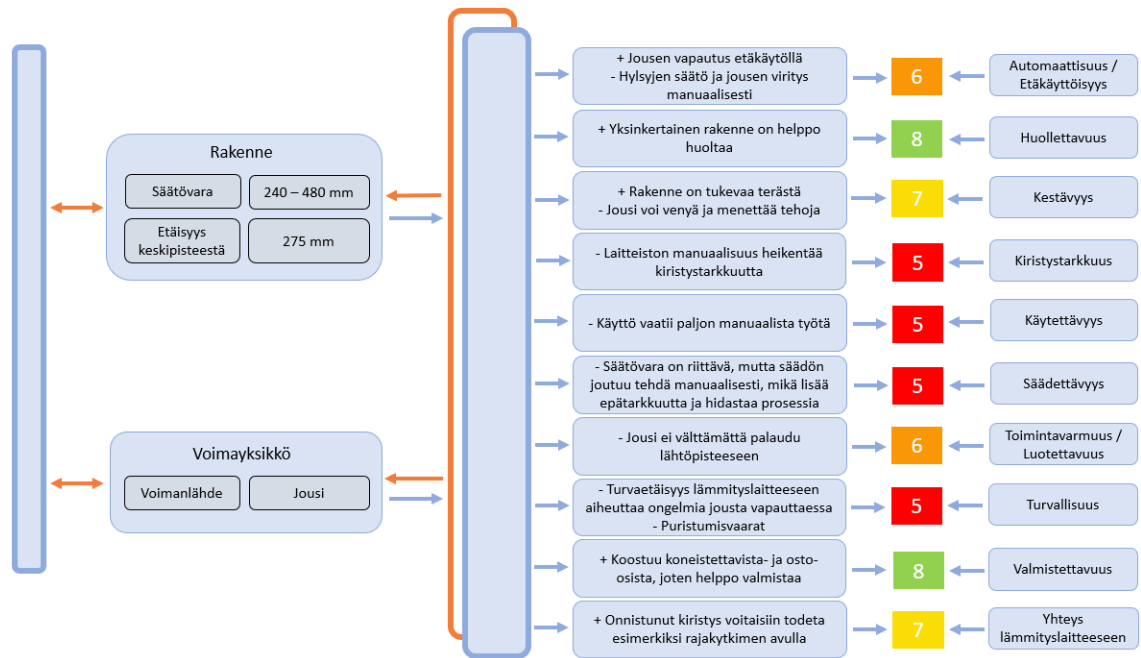
Ensimmäinen konsepti hyödyntää voimanlähteenään jousia. Työntekijän tehtävänä on laittaa hylsyt kohdilleen sidepultteihin ja virittää jousi. Jousen vapautus toteutetaan etäkäyttöisesti, jotta turvaetäisyys on riittävä lämmityksen aikana. Konseptissa jousen vapauttama voima välittyy hylsyihin hammaspyörien avulla. Myös säädettävyys on toteutettu toisiinsa nähden liikkuvien hammaspyörien avulla. Jotta jousi saadaan viritettyä ilman, että kaikki hammaspyörät pyörivät, täytyy jousen pyörittämälle hammaspyörälle asentaa vapaakytkin. Vapaakytkimen ansiosta voima välittyy vain yhteen suuntaan. Vapaakytkimet täytyy sijoittaa myös hylsyjä pyörittäville hammaspyörille, jotta hylsyt saadaan kohdakkain sidepulttien kanssa. Inspiraation lähteenä konseptille toimi patentin CN216067210U hammaspyöräratkaisu, joka esiteltiin luvussa 4.1.1. Konsepti 1 on esitettyä kuvassa 23, jossa konsepti on säädettynä maksimi- ja minimisäädölle.





**Kuva 23. Konsepti 1 maksimi - ja minimisäädöillä**

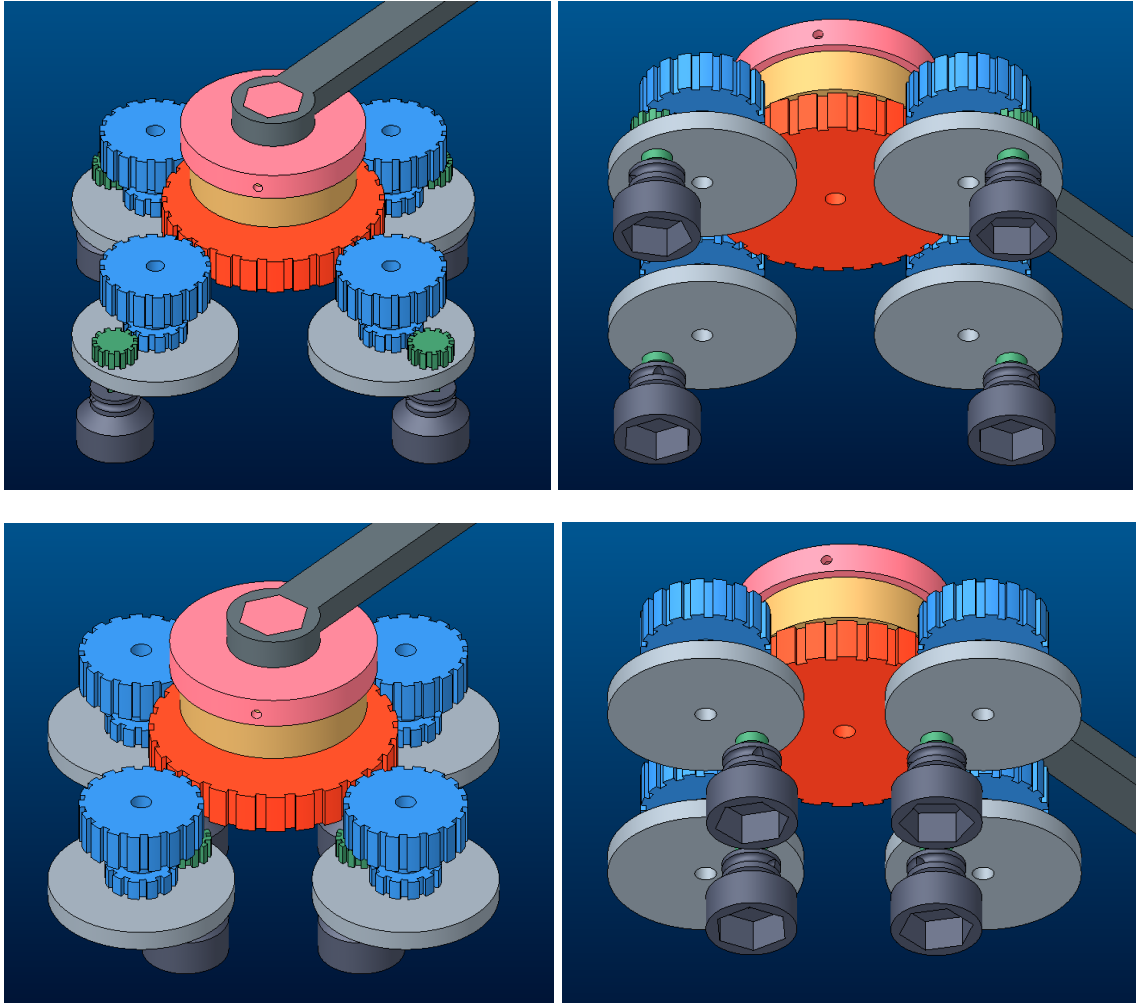
PDD-menetelmän mukaisesti konseptille suoritettiin analyysi ja arviointi. Arviointi on esitettyä kuvassa 24. Konsepti 1 täyttää tunnuspiirteille asetetut vaatimukset eli sen säätövara on tarpeeksi laaja sekä ulkoiset mitat jäävät asetetun raja-arvon alle. Konseptin parhaat puolet perustuvat pitkälti laitteen yksinkertaisuuteen. Yksinkertainen rakenne tekee laitteesta helposti huollettavan ja valmistettavan. Vastapainona yksinkertaisuus heikentää etenkin kiristyslaitteelle tärkeitä ominaisuuksia, kuten kiristystarkkuutta, käytettävyyttä ja säädettävyyttä. Kiristystarkkuus jää jousitoimisella järjestelmällä epätarkaksi eikä esimerkiksi parin asteen tarkkuudelle ole mahdollista päästä. Myös säädettävyyden manuaalisuus lisää prosessin epätarkkuutta, mikä ei ole toivottavaa. Kaiken kaikkiaan konseptin pisteet jäävät monelta osin ala-arvoisiksi.



**Kuva 24. Konseptin 1 arviointi**

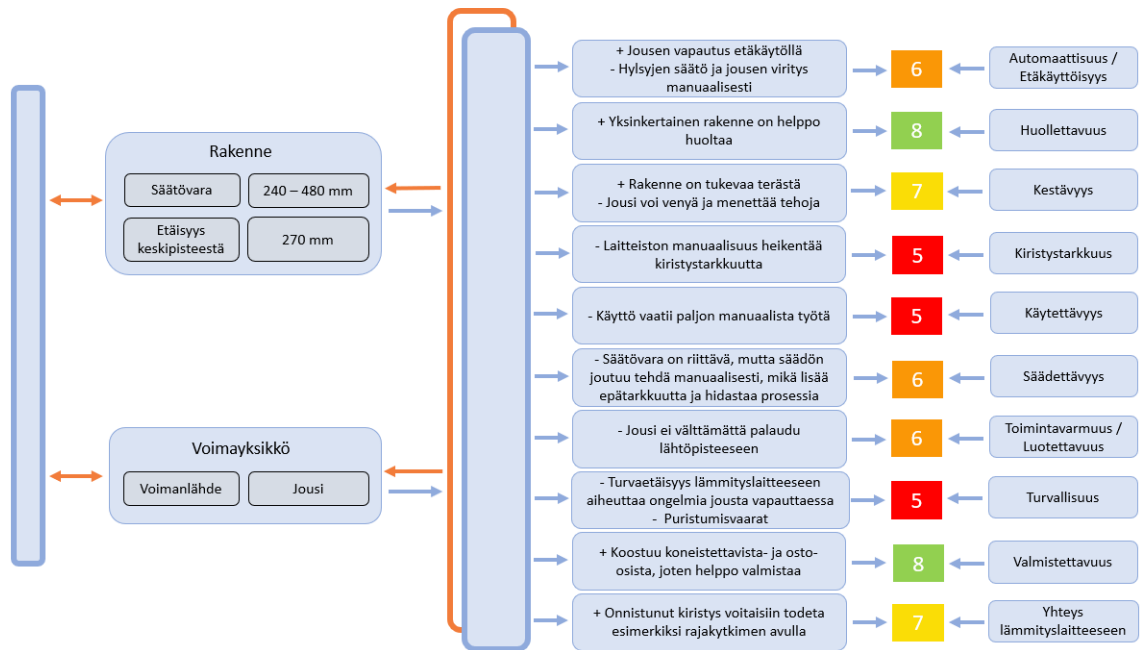
## 5.1.2 Konsepti 2

Konsepti 2 hyödyntää edellisen konseptin tapaan voimanlähteenään jousia. Myös voimanvälitys hylsille on toteutettu hammaspyörillä, kuten edellisessäkin konseptissa. Ero konseptien välillä syntyy säädettävyyden toteutuksessa. Tässä konseptissa säädettävyys toteutetaan hammaspyörien ympäri liikkuvien hylsyn karojen avulla. Edellisen konseptin tapaan vapaakytkimiä tulee sijoittaa jousen pyörittämälle hammaspyörälle sekä hylsyjä pyörittäville hammaspyörille. Idean pohjana on käytetty benchmarking-tutkimuksessa löydettyä Suhner POLYdrill:ia, joka esiteltiin luvussa 4.1.2. Kuvassa 25 on esitettyä konsepti 2 maksimi- ja minimisäädöillä.



**Kuva 25. Konsepti 2 maksimi- ja minimisäädöillä**

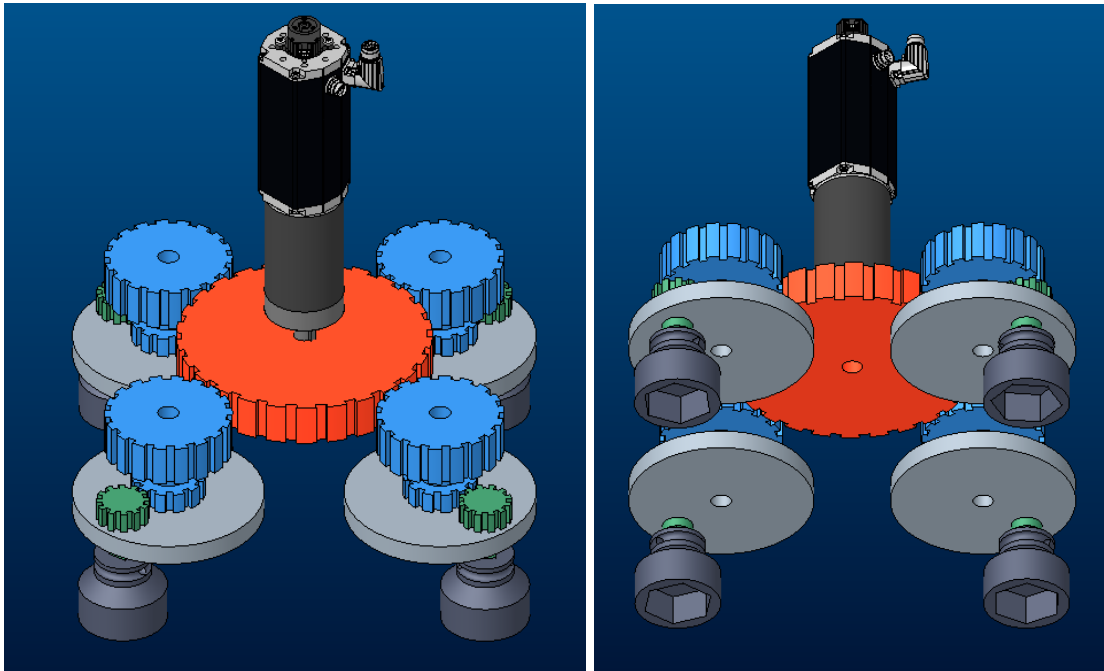
Konseptille 2 suoritettu arviointi on esitettyä kuvassa 26. Kompaktin kokonsa ja varsin potentiaalisen säätöratkaisunsa ansiosta konsepti täyttää säätövaralle sekä etäisyydelle keskipisteestä asetetut raja-arvot helposti. Tämä ei kuitenkaan näy arvioinnissa muuten kuin huollettavuuden ja valmistettavuuden hyvinä arvoina. On todettava, että konseptin arvioinnin tulokset seuraavat pitkälti edellisen konseptin tuloksia. Suurimmat ongelma-kohtat liittyvät kiristystarkkuuteen, säädettävyyteen sekä käytettävyyteen. Vaikka säädettävyys on tässä konseptissa toteutettu varsin näppärästi, vaatii säätötyö tuotannon puolella työntekijältä paljon aikaa ja tarkkuutta. Näin ollen käytettävyydelle ja säädettävyydelle on tässä vaiheessa mahdotonta antaa suurempaa arvosanaa kuin 5. Kiteytetynä konseptin heikot tulokset aiheutuvat pitkälti manuaalisen työn suuresta määrästä.



Kuva 26. Konseptin 2 arviointi

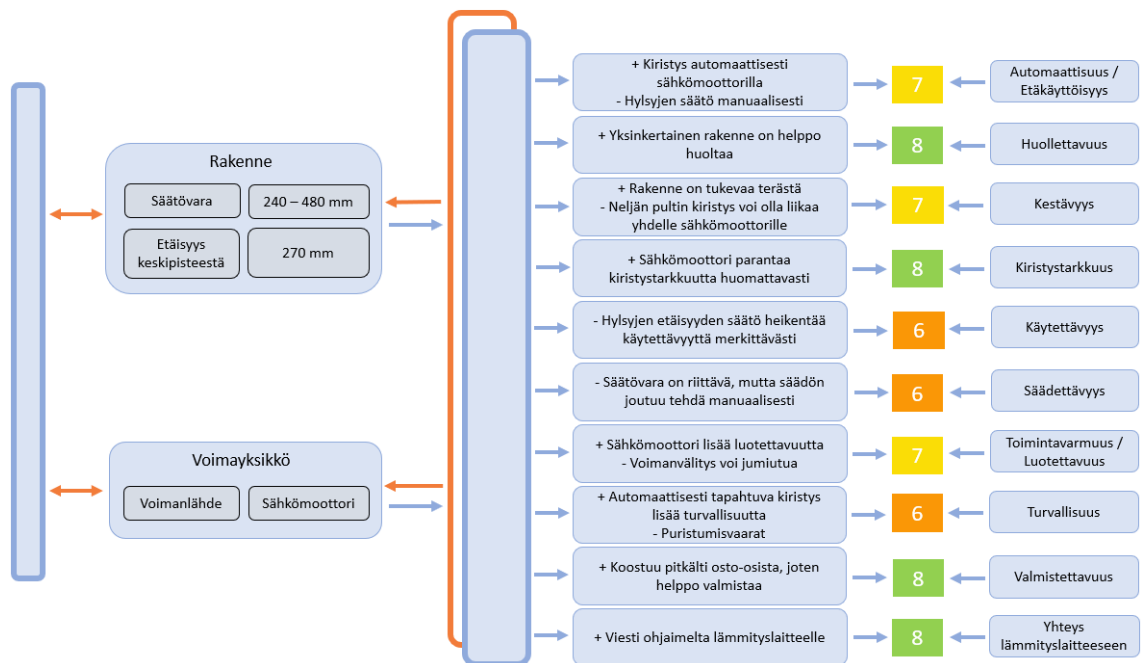
### 5.1.3 Konsepti 3

Toisin kuin edellisissä konsepteissa, tämän konseptin voimanlähteenä toimii sähkömoottori. Voimanvälitys hylsyille toteutetaan edellisen konseptin hammaspyöräsysteemin avulla. Sähkömoottoria ei jousen tapaan tarvitse ladata, joten vain hylsyjä pyörittäville hammaspyörille tarvitsee sijoittaa vapaakytkimet. Konsepti 3 on esitettyä kuvassa 27.



Kuva 27. Konsepti 3 maksimisäädöllä

Arviointin tulokset konseptille 3 ovat esitettynä kuvassa 28. Sähkömoottori lisää kiristystarkkuutta merkittävästi verrattuna jousitoimisiin konsepteihin, sillä sähkömoottoriin kiinnitetyn pulssianturin avulla käännetty astemäärä nähdään todella tarkasti. Myös toimintavarmuus lisääntyy, sillä sähkömoottori kykenee toistamaan prosessin uudelleen ja uudelleen ilman pelkoa esimerkiksi jousen venymisestä. Tämän lisäksi sähkömoottorin avulla laitteesta saadaan huomattavasti automaattisempi. Näin inhimillisten virheiden määrä pienenee ja prosessista tulee turvallisempi. Käytettävyyden ja säädettävyyden ongelmat jatkuvat tässäkin konseptissa. Hylsyjen etäisyyden säätö ja voimavälitys on hankala toteuttaa samaan rakenteeseen, mikä aiheuttaa säädettävyyden ja käytettävyyden heikon menestyksen. Vaihtoehtoiksi jää erottaa nämä toiminnallisuudet toisistaan tai kehittää ratkaisu, joka pystyy vastaamaan käytettävyyden ja säädettävyyden edellyttämään tasoon.

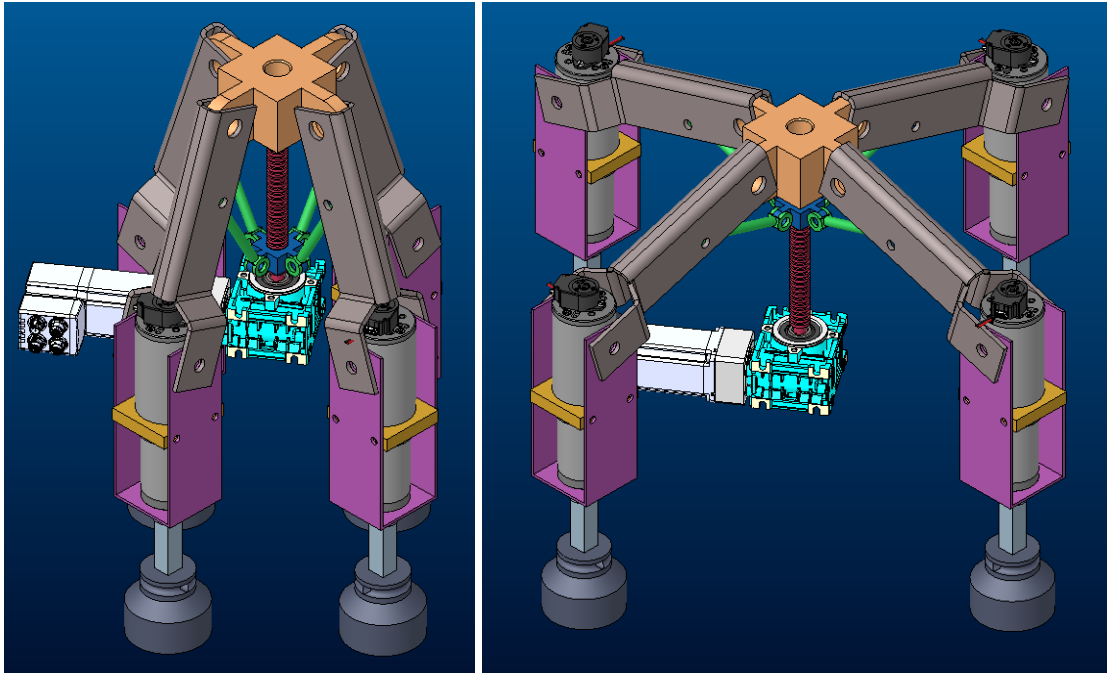


Kuva 28. Konseptin 3 arviointi

#### 5.1.4 Konsepti 4

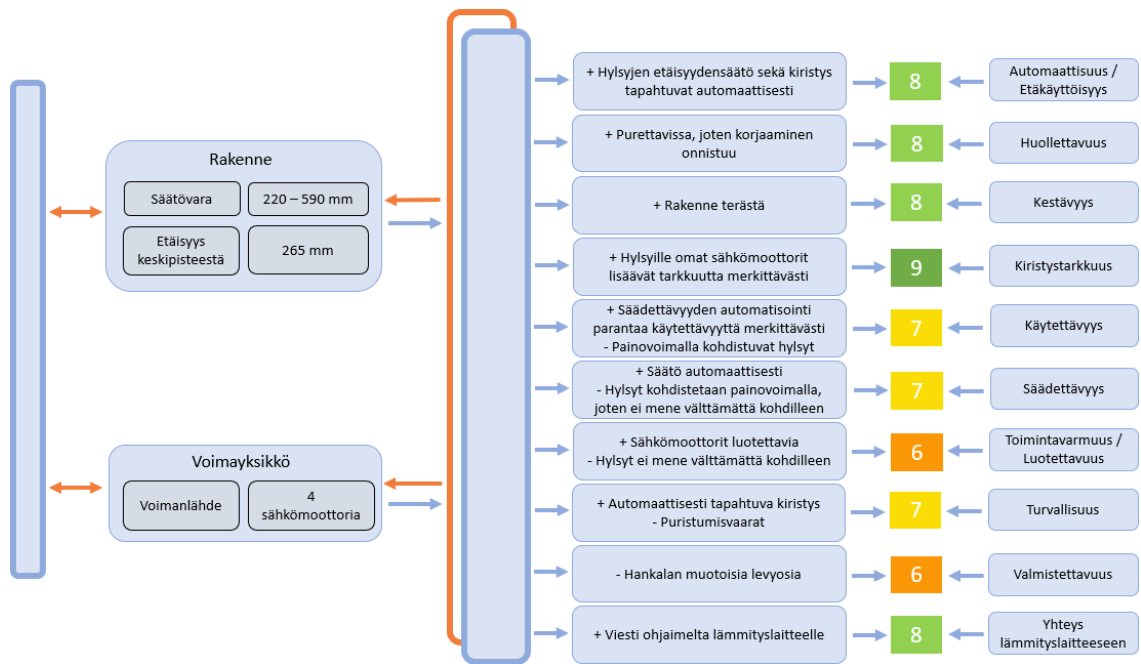
Konsepti 4 eroaa edellisistä konsepteista huomattavasti, sillä siinä jokaista hylsyä pyörittää oma sähkömoottori. Näin ollen erillistä voimavälitysyksikköä ei tarvita. Erillisen voimavälitysyksikön puuttuminen tekee säädettävyydestä huomattavasti helpomman toteuttaa. Konseptissa 4 säädettävyys on toteutettu trapetsikierretangon avulla. Sähkömoottori pyörittää trapetsia, jolloin pyörimästä estetty liikepala liikkuu trapetsia pitkin ylös-alas. Liikepalaan on kiinnitetty tukivarret, jotka työntävät sähkömoottoritelineiden jalkoja ylös sekä vastaavasti vetävät alas. Konsepti 4 on esitettynä kuvassa 29. Kuvassa

trapetsikierretanko on esitetty ruosteenpunaisena, liikepala sinisenä ja tukivarret vihreinä.



**Kuva 29. Konsepti 4 minimi- ja maksimisäädöillä**

Arviointi toteutettiin tuttuun tyyliin myös neljännelle konseptille. Arvioinnin tulokset ovat esitettyinä kuvassa 30. Neljän sähkömoottorin edut tulevat esille varsinkin säädettävyydessä, kiristystarkkuudessa ja käytettävyydessä. Säädettävyyden kohdalla parannus johtuu juuri edellä mainitusta erillisen voimavälityksikön puuttumisesta. Tämän ansiosta säädettävyys saatiin myös automatisoitua, jolloin laite vastaa paremmin ominaisuuksiin, kuten automaattisuus, säädettävyys ja käytettävyys. Säädettävyydessä riittää kuitenkin vielä kehitettävää, sillä painovoimalla kohdistuvat sähkömoottoritelineet voivat aiheuttaa ongelmia iskuyksikön kokoonpanijalle. Tämä vaikuttaa negatiivisesti myös käytettävyyteen ja toimintavarmuuteen/luotettavuuteen, jotka jäävät arvosanoille seitsemän ja kuusi. Loppuun todettakoon, että konsepti on kokonaisuutena varsin onnistunut ja siinä on paljon potentiaalia mahdollista jatkokehitystä varten.



Kuva 30. Konseptin 4 arviointi

### 5.1.5 Ensimmäisen kehityskierroksen tarkastelu

Ensimmäisen kehityskierroksen arviointien jälkeen, konseptaja vertailtiin keskenään, jotta kehitystyötä osattiin jatkaa oikeaan suuntaan. Taulukossa 3 on esitettyä kaikkien ensimmäisellä kehityskierroksella läpi käytyjen konseptien pisteet kullekin ominaisuudelle sekä yhteenlasketut kokonaispisteet. Kokonaispisteistä nähdään, että sähkömoottoreilla toteutetut konseptit vastasivat parhaiten vaadittuja ominaisuuksia. Eritoten konsepti 4, jossa jokaiselle pultille oli oma sähkömoottori, kykeni vastaamaan kaikista parhaiten vaadittuihin ominaisuuksiin.

Taulukko 3. Ensimmäisen kehityskierroksen konseptien pisteet

	Konsepti 1	Konsepti 2	Konsepti 3	Konsepti 4
Automaattisuus / Etäkäyttöisyys	6	6	7	8
Huollettavuus	8	8	8	8
Kestävyys	7	7	7	8
Kiristystarkkuus	5	5	8	9
Käytettävyys	5	5	6	7
Säädettävyys	5	6	6	7

Toimintavarmuus / Luotettavuus	6	6	7	6
Turvallisuus	5	5	6	7
Valmistettavuus	8	8	8	6
Yhteys lämmityslaitteeseen	7	7	8	8
Yhteensä	62	63	71	74

Konseptien 1 ja 2 suurimmaksi kompastuskiveksi koituu niiden manuaalisuus. Ensimmäinen merkittävä tekijä manuaalisuudessa on voimanlähteenä toimiva jousi. Jousikäytöllä ei päästä samaan kiristystarkkuuteen kuin konsepteissa 3 ja 4 olevalla sähkökäytöllä. Tämä johtuu siitä, että jousikäytöllä voimavälitykseen joudutaan asentamaan vapaakytkimiä, jotka sallivat pyörimisen vain yhteen suuntaan. Vapaakytkimiä tarvitaan, jotta hylsy saadaan kohdilleen pulttien päälle sekä jousen virittämiseen. Näin ollen, vaikka jousi pyörittäisikin täsmälleen tietyn astemäärän ensimmäistä hammaspyörää, voi hammaspyöräkoneistossa tapahtua ylimääräistä pyörimistä vapaakytkinten takia. Jousikäytöllä ei näin ollen voida varmasti sanoa, että kiristystä on tehty juuri tietyn astemäärän verran. Tämä näkyy arvioinnissa myös heikkona toimintavarmuutena/luotettavuutena kiristystarkkuuden lisäksi.

Toinen merkittävä manuaalisuuden aiheuttama heikkous on huono käytettävyys. Tämä koskee konsepteja 1, 2 ja 3. Hylsyjen etäisyydensäädön ollessa manuaalinen, on käytettävyyttä hankala saada tyydyttävälle tasolle. Tuotannossa kokoonpantava vasaramalli voi vaihdella mahdollisesti jopa vasaran välein, jolloin työntekijälle aiheutuu huomattavaa lisäkuormaa manuaalisesta säädöstä. Tällöin uuden lämmityslaitteiston tuoma prosessin nopeutuminen voi jopa kääntyä päälakalleen, mikä ei ole suotavaa. Mikäli hylsyjen etäisyyden säätö toteutetaan manuaalisesti, pitäisi sen olla nopeasti ja vaivattomasti tehtävissä. Muuten ainoaksi vaihtoehdoksi jää säädön automatisointi, jotta kokoonpanoprosessi säilyy tehokkaana. Automaattisen säädön toimivuuden osoitti jo konsepti 4.

Arvioinneista saatujen kokonaispisteiden ja edellä mainittujen perusteluiden pohjalta todettiin, että kehitystä jatketaan konseptilla 4. Tärkeimmät konseptista poimitut tunnuspiirteet ovat kaikille hylsille omat sähkömoottorit sekä automatisoitu hylsyjen etäisyyden säätö. Nämä kaksi tekijää antoivat selvää etulyöntiasemaa muihin konsepteihin nähden.

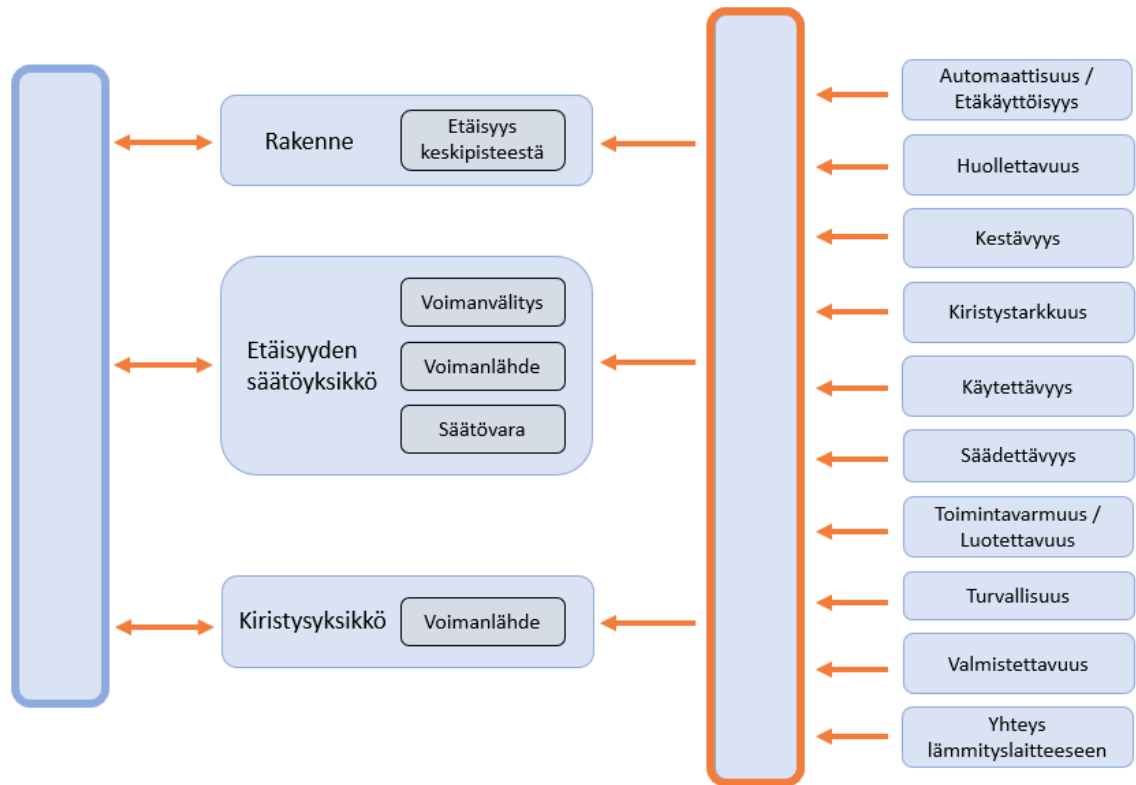


## 5.2 Toinen kehityskierros

Toisella kehityskierroksella jatkettiin ensimmäisen kehityskierroksen parhaan konseptin jatkokehittämistä. Konseptiin ei kuitenkaan juututtu liikaa, vaan siitä poimittiin esiin tunnuspiirteet, jotka olivat menestyksen avaimet ensimmäisellä kehityskierroksella. Nämä tunnuspiirteet ovat jokaiselle pultille oma sähkömoottori sekä hylsyjen etäisyydensäädön automaattisuus. Tällä kehityskierroksella on tarkoitus syventyä konsepteihin yksityiskohdaisemmin, jotta niiden toimivuudesta voidaan varmistua. Konsepteja ei ole tarkoitus viimeistellä loppuun asti, vaan se jätetään myöhemmille kierroksille.

Ominaisuudet, joihin kierroksella kiinnitettiin erityisesti huomiota, olivat säädettävyys, käytettävyys ja toimintavarmuus/luotettavuus. Viime kierroksella kehitetyistä konsepteista mikään ei pystynyt vastaamaan näihin ominaisuuksiin hyvällä tasolla. On siis ilmeistä, että näihin ominaisuuksiin on syytä pureutua tarkemmin. Nämä ominaisuudet ohjaavat merkittävästi kiristyslaitteen toimintaa, joten ne on syytä saada hyvälle tasolle mahdollisimman nopeasti. Etenkin säädettävyyteen tulee panostaa, sillä sen toimiminen tai toimimattomuus vaikuttaa epäsuorasti myös muihin ominaisuuksiin. Eräs tällainen epäsuoran vaikutuksen alainen ominaisuus on käytettävyys. Mikäli säädettävyys ei toimi vaaditulla tavalla, ei luultavimmin myöskään laite ole käytettävyydeltään optimaalinen. Usein jo yksikin hyvä ratkaisu voi nostaa useamman ominaisuuden arvosanaa selkeästi. Tämä nähtiin jo edellisen kehityskierroksen tarkastelussa.

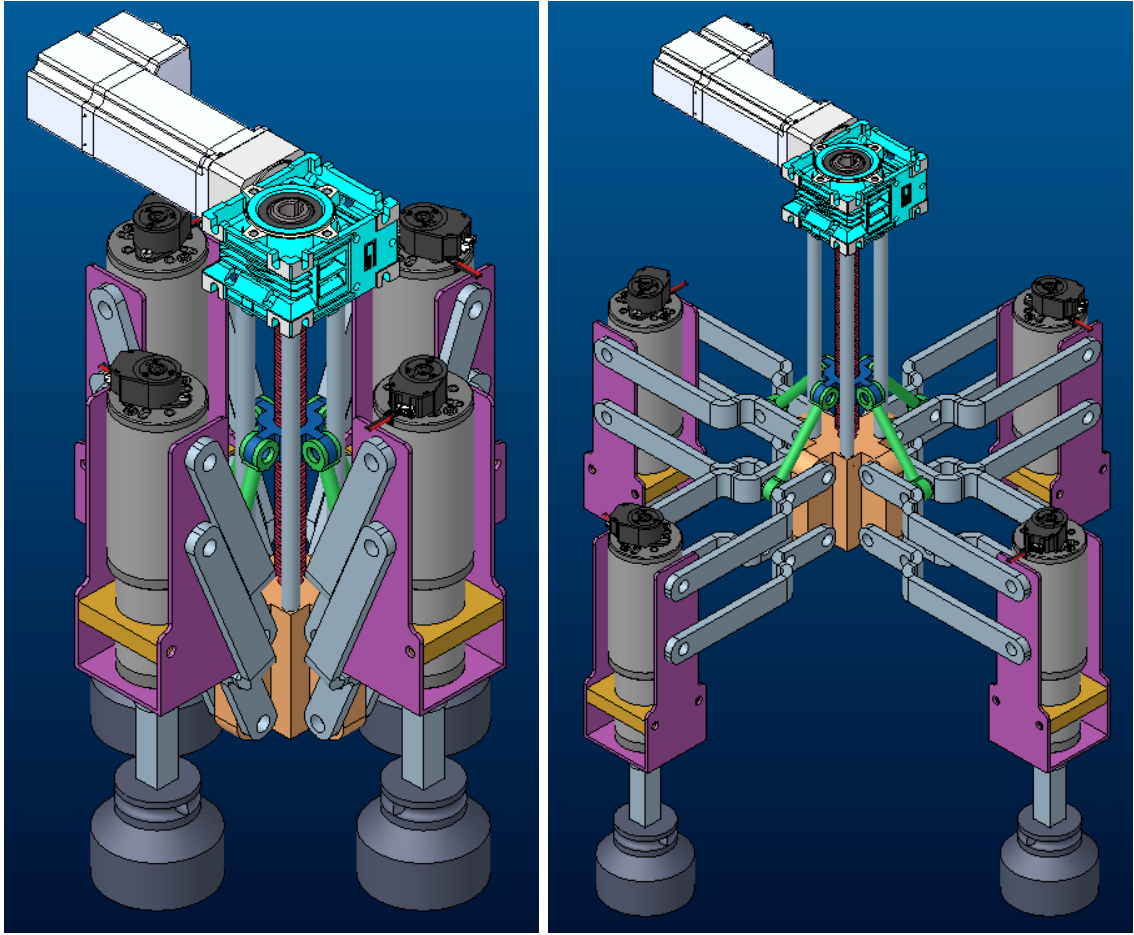
Toisen kehityskierroksen synteesi on esitetty kuvassa 31. Kiristyslaite on jaettu kolmeen osakokoonpanoon, jotka ovat rakenne, etäisyyden säätöyksikkö ja kiristysyksikkö. Rakenne kuvastaa nimensä mukaisesti laitteen rakennetta eli runkoa. Sille on määritelty tässä vaiheessa tunnuspiirteeksi etäisyys keskipisteestä. Etäisyyden säätöyksikkö on osakokoonpano, jonka tarkoituksena on säätää hylsyjen etäisyys kohdilleen. Sen tunnuspiirteiksi muodostui voimavälitys, voimanlähde ja säätövara. Viimeinen osakokoonpano on kiristysyksikkö, joita kiristyslaite sisältää 4 kappaletta. Tässä vaiheessa kiristysyksikkö koostuu yhdestä tunnuspiirteestä, joka on voimanlähde. Kiristysyksikön voimanlähteeksi määriteltiin edellisellä kierroksella sähkömoottori.



**Kuva 31. Toisen kehityskierroksen synteesi**

### 5.2.1 Konsepti 5

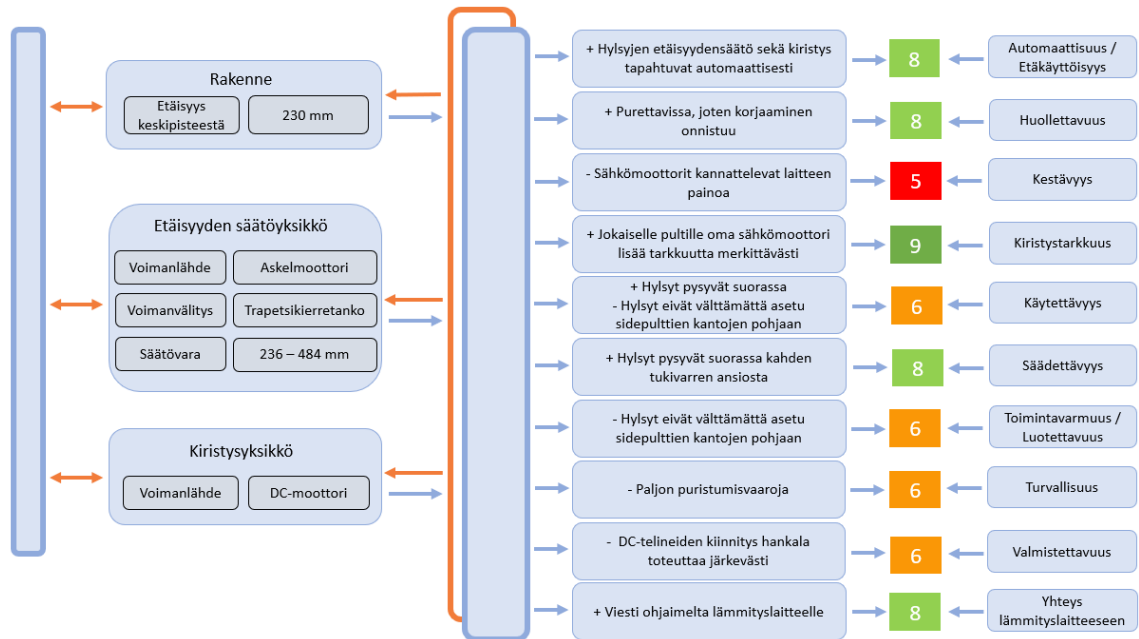
Konsepti 5 perustuu pitkälti edellisellä kehityskierroksella kehitettyyn konseptiin 4. Merkittävimpänä muutoksena voidaan pitää trapetsitangon kääntämistä ylösalaisin, minkä tarkoituksena on parantaa laitteen käytettävyyttä ja säädettyvyttä. Ylösalaisin käännön ansiosta sähkömoottoritelineet saatiin kiinnitettyä kahden yhdensuuntaisesti kulkevan tukivarsiparin avulla. Yhdensuuntaisten tukivarsiparien avulla sähkömoottoritelineet pysyvät aina kohtisuorassa venttiilipesän tasopintaa vasten. Näin hylsy saadaan varmasti kohdilleen sidepulttien päälle toisin kuin konseptissa 4, jossa telineet roikkuivat vapaasti yhden tukivarren varassa. Kuvassa 32 on esitettyä konsepti 5 minimi- ja maksimisäädöillä.



**Kuva 32. Konsepti 5 minimi- ja maksimisäädöillä**

Konseptille 5 suoritettu arviointi on esitettyä kuvassa 33. Yhdensuuntaisilla tukivarsipareilla toteutettu kiinnitys vaikutti positiivisesti käytettävyyteen ja säädettävyyteen. Säädettävyyden toteutus säilyi muuten täysin samana kuin edellisessä konseptissa pois lukien tukivarsiparien tuoma uudistus. Vaikka tukivarsiparit lisäsivätkin käytettävyyttä, ei sitä kuitenkaan saatu arvioinnissa halutulle tasolle. Ongelmakohtaksi nousi hylsyjen saaminen sidepulttien kantoihin kiinni. Hylsy on tarkoitus pyöryttää sähkömoottorien avulla sidepulttien kantojen mukaisesti, jolloin ne tippuvat kantoihin kiinni. Varsinaiseksi ongelmaksi nousikin se, miten hylsy saadaan tippumaan sidepulttien kantoihin kiinni yhtä aikaa. Kiristyslaitteella ei ole muita tukipisteitä venttiilipesään nähden kuin hylsy. Ongelmaksi voi tulla esimerkiksi tilanne, jossa vastakkaiset hylsy ovat kohdillaan sidepultteihin nähden, mutta näiden vieressä olevat toiset vastakkaiset hylsy eivät ole vielä kohdillaan. Tässä tapauksessa hylsy eivät putoa sidepulttien kantoihin kiinni, vaan ne jäävät pyörimään tyhjä sidepulttien päälle. Tämä käytettävyyden heikkous korreloi suoraan verrannollisesti toimintavarmuuteen/luotettavuuteen. Mikäli ei voida olla varmoja siitä, tippuvatko hylsy pulttien kantoihin, jää toimintavarmuuden/luotettavuuden arvona kelvottomaksi.

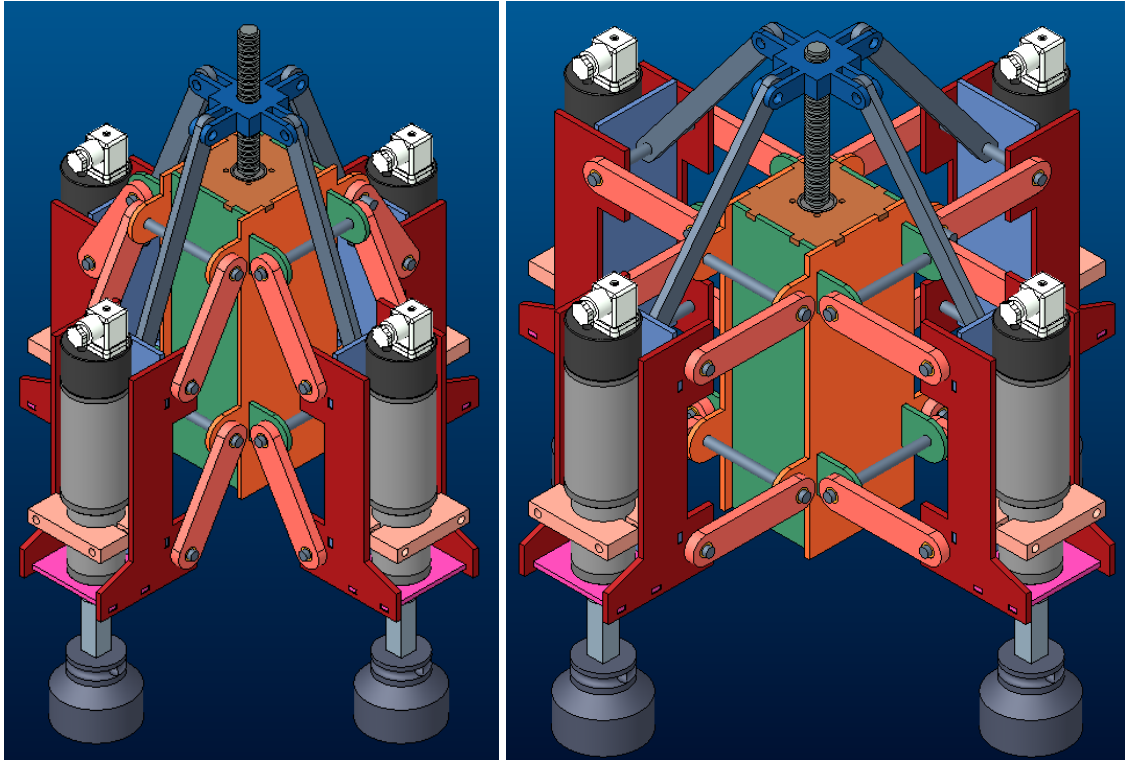
Hylsyjen kohdistamisongelman seurauksena huomattiin, että sähkömoottorien hylsyet kannattelevat koko kiristyslaitetta, kun se lasketaan venttiilipesän päälle. Tämä näkyy arvioinnissa ala-arvoisena kestävytenä. Hylsyjen karat ovat kiinnitetty suoraan sähkömoottorien karoihin, jotka eivät missään nimessä kestä kiristyslaitteen painoa. On myös syytä pohtia sähkömoottoritelineiden kestävyyttä, sillä ylhäältä auki oleva teline ei ole kestävyuden kannalta optimaalisin ratkaisu. Jatkokehittämistä kestävyuden kannalta jää siis paljon.



**Kuva 33. Konseptin 5 arviointi**

## 5.2.2 Konsepti 6

Konsepti 6 on edellisen konseptin tapaan hyvin samantyylinen konseptin 4 kanssa. Suurin muutos on tapahtunut rakenteessa, joka perustuu yhteen hitsattaviin teräslevyihin. Rakenteen muutoksella pyrittiin parantamaan kiristyslaitteen kestävyttä, joka osoittautui kompastuskiveksi edellisessä konseptissa. Teräslevyjä on hyödynnetty sekä sähkömoottorien telineissä että keskellä olevassa päarakenteessa. Levymäiset osat ovat edullisia valmistaa laserleikkaamalla, jolloin valmistuskustannuksia saadaan alaspäin. Levyt on suunniteltu tarkoituksella siten, että niitä ei tarvitse särmätä, jolloin ne voidaan palapelin tapaisesti kokoonpanna ja hitsata yhteen. Konseptissa trapetsikierretankoa pyörittävä sähkömoottori on sijoitettu keskellä olevan levyrakenteen sisälle. Kuvassa 34 on esitettyä konsepti 6 minimi- ja maksimisäädöllä.

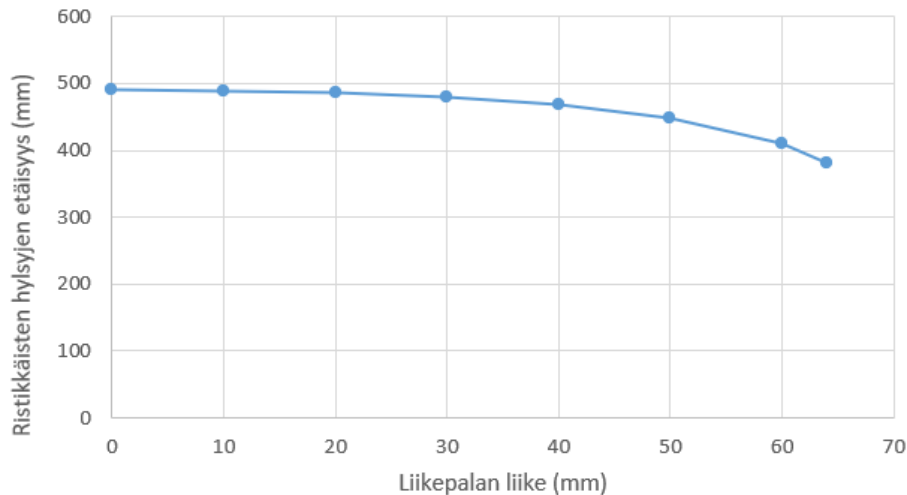


**Kuva 34. Konsepti 6 minimi- ja maksimisäädöillä**

Konseptin 6 suurimmaksi ongelmaksi nousi säädettävyys, joka jäi arvosanalle 5. Kun vaadittava minimietäisyys hylsyjen välillä on 240 mm, päästiin konseptilla vain 380 mm:iin. Tämä johti siihen, että konseptin arvioinnin pisteet jäivät hyvinkin mataliksi, vaikka konsepti vaikutti aluksi hyvin potentiaaliselta. Konseptia yritettiin pienentää mahdollisuuksien mukaan, jotta säätövaran minimiarvoa saataisiin pienennettyä, mutta tulokset jäivät heikoiksi. Esteeksi nousi pääosin levyosista koottu palapelimainen rakenne, joka kasvatti kiristyslaitteen kokoa merkittävästi. Vaikka hitsattavista levyosista saatiinkin etua valmistettavuuden osalla, vaikuttivat niiden asettamat rajoitukset negatiivisesti muihin ominaisuuksiin, kuten säädettävyteen.

Säädettävyden heikkoon menestykseen vaikutti myös säädön toteutustapa. Kuten kahdessa edellisessäkin konseptissa, säätö oli tarkoitus toteuttaa trapetsikierretankoa pitkin liikkuvan liikepalan avulla. Tätä konseptia kehitettäessä huomattiin kuitenkin, että trapetsitangolla toteutettu säätö on todella epätarkka. Säätö osoittautuu ongelmalliseksi etenkin silloin, kun lähestytään säädettävyden ääriarvoja, eli minimi- ja maksimisäädettävyttä. Minimiarvoilla yksi pyöräytys trapetsikierretankoa kasvattaa hylsyjen välistä etäisyyttä merkittävästi enemmän kuin lähellä maksimiarvoa. Säätö ei näin ollen tapahdu lineaarisesti vaan eksponentiaalisesti. Säädön eksponentiaalisuuden pohdinnalle saatiin varmistus mittaamalla hylsyjen etäisyyttä ja liikepalan liikettä 3D-mallista. Konseptin 6 säädettävydestä muodostettu kuvaaja on esitettyä kuvassa 35. Kuvaajassa x-akselilla

on liikepalan liikkuma matka trapetsikierretangoa ylöspäin ja y-akselilla ristikkäisten hylsyjen välinen etäisyys. Kuten kuvasta nähdään, muodostaa trapetsikierretangolla tapahtuva säätö eksponenttifunktion. Lähellä maksimiarvoa liikepalan liike muuttaa hylsyjen etäisyyden arvoa vain mittleillä, kun taas lähellä minimiarvoa jo pienikin muutos liikepalan paikassa vaikuttaa suuresti hylsyjen väliseen etäisyyteen. Tämä aiheuttaa suuria ongelmia niin säädön luotettavuuden kuin automatiikan ohjelmoinnin kanssa. On siis syytä pohtia vaihtoehtoisia ratkaisuja, joilla päästäisiin parempiin tuloksiin.

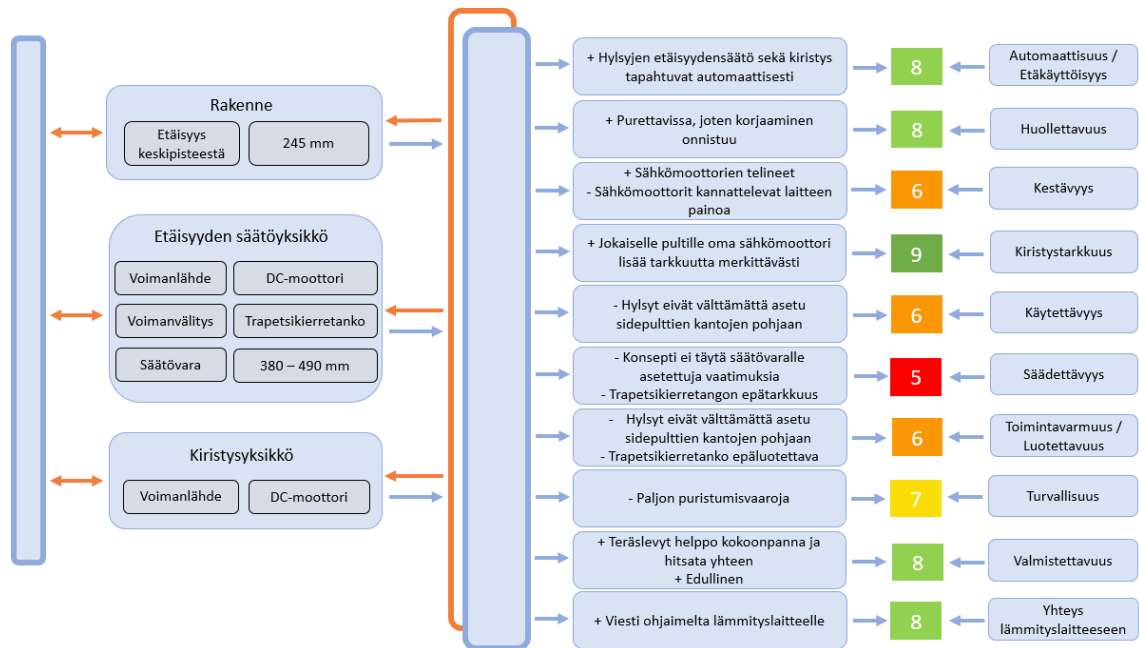


**Kuva 35. Liikepalan liike - ristikkäisten hylsyjen etäisyys -kuvaaja**

Edellisessä konseptissa ongelmaksi nousi hylsyjen saaminen sidepulttien kantaan kiinni. Hylsyjen pohjaan painumisongelmaa yritettiin ratkaista kehittämällä teleskooppitoimista karaa, joka painaisi hylsyn sidepultin kannan pohjaan. Tämän jousitoimisen teleskooppikaran hyödyntäminen tässä konseptissa todettiin kuitenkin mahdottomaksi suuren kokonsa vuoksi. Vaikka levyistä kasatut sähkömoottoritelineet saatiin vankkoiksi, osoittautui teleskooppikaran lisääminen niihin mahdottomaksi. Teleskooppikaran lisäys sähkömoottoritelineeseen olisi yli kaksinkertaistanut sen korkeuden, mikäli olisi tehnyt rakenteesta aivan liian korkean, joten sitä ei lopulta lähdetty edes toteuttamaan. Yli metrin korkeus olisi aiheuttanut käytettävyyden huomattavan heikkenemisen. Toinen syy teleskooppikaran toteuttamatta jättämiseen oli edellä mainittu trapetsikierretangon käyttökelvottomuuden toteaminen, joka käytännössä keskeytti konseptin kehityksen.

Varsinaista kestävyysongelmaa lähdettiin ratkaisemaan lisäämällä tukijalat päärakenteen pohjaan, joiden varaan laite asetettaisiin venttiilipesän päälle. Tukijalat todettiin kuitenkin käyttökelvottomiksi ilman jousitoimista teleskooppikaraa. Syy tälle on se, että venttiilipesän ja sidepultin kannan välinen ero vaihtelee vasarakohtaisesti. Näin ollen ilman teleskooppikaraa tukijalat ovat käyttökelvottomat, sillä hylsy eivät ylettyisi kaikkien

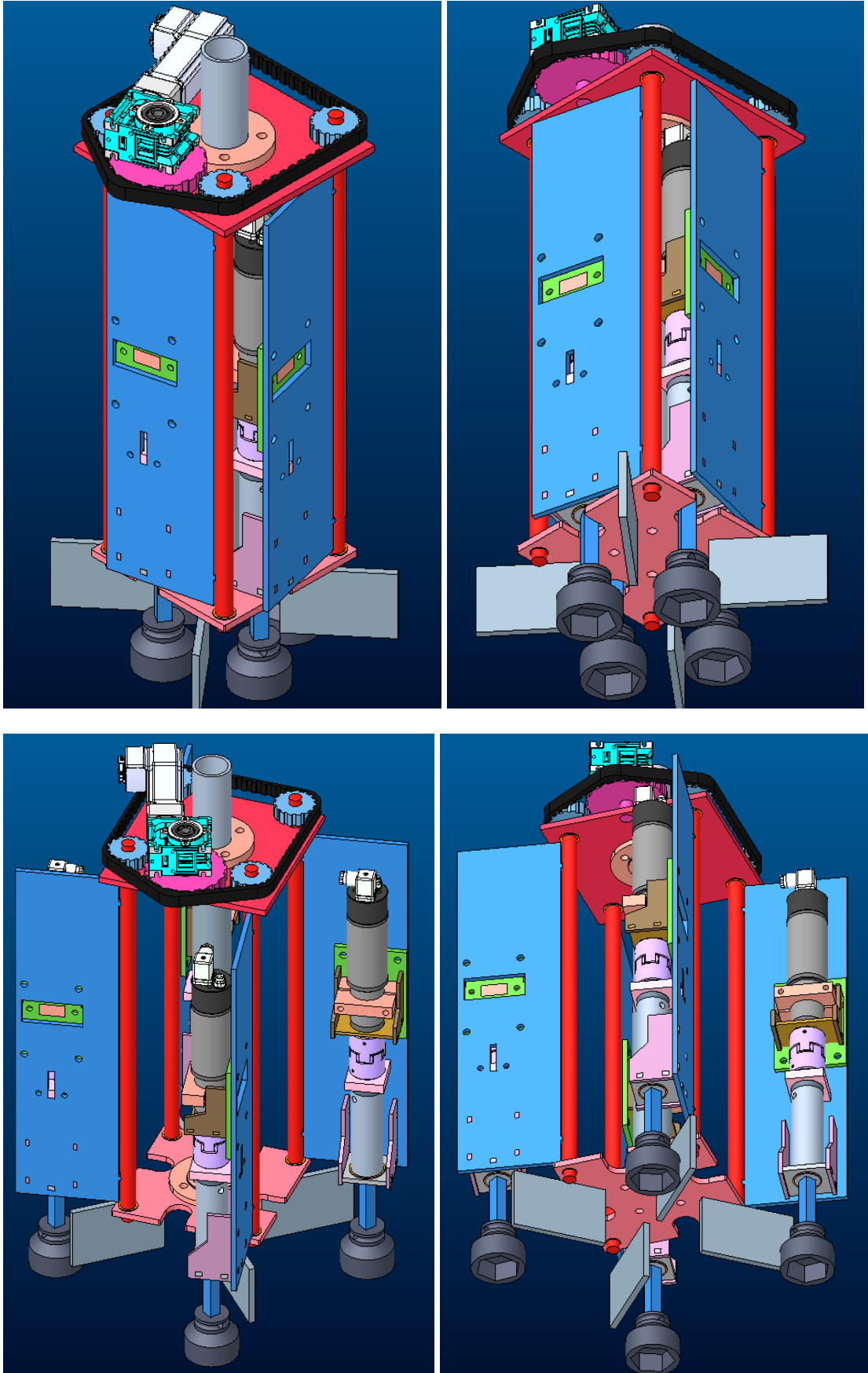
kokoonpantavien sidepulttien kantoihin kiinni. Tämän takia tukijalat lopulta poistettiin konseptista. Konseptin 6 arviointi on esitettyä kuvassa 36.



**Kuva 36. Konseptin 6 arviointi**

### 5.2.3 Konsepti 7

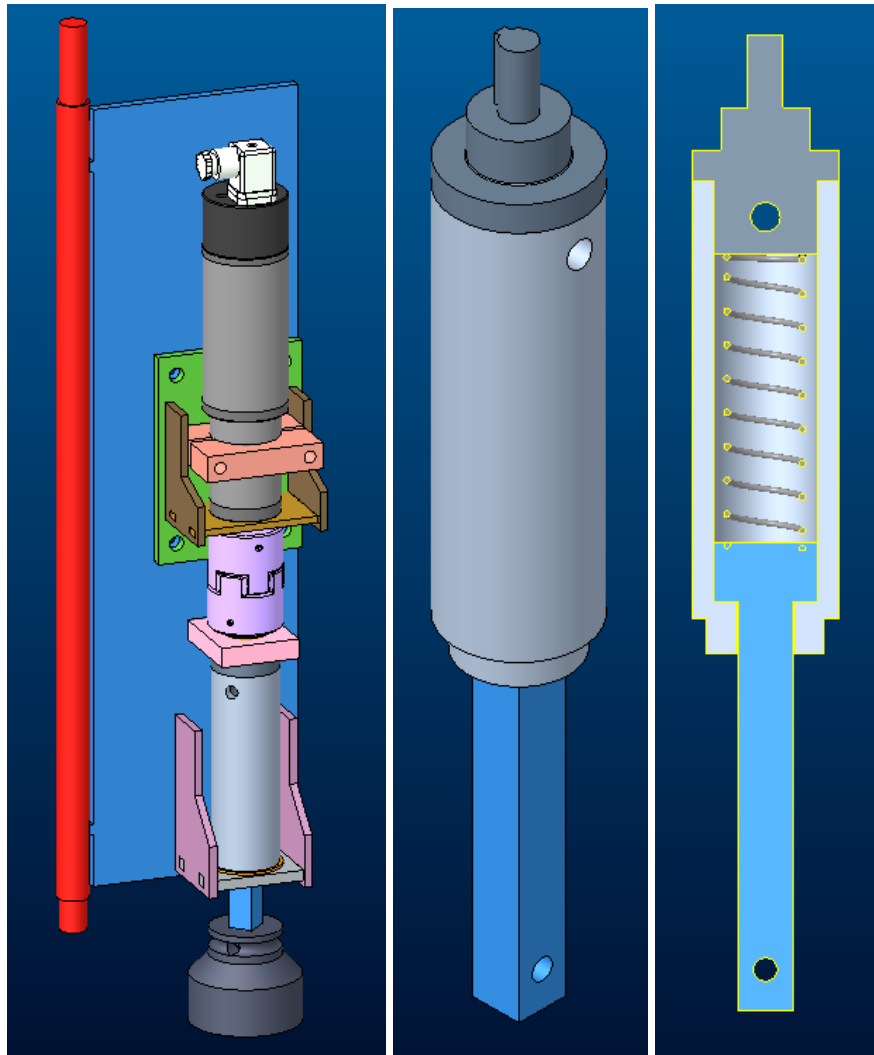
Konseptissa 7 lähdettiin toteuttamaan säädettävyttä aivan eri kantilta kuin kahdessa edellisessä konseptissa. Kun edellisissä konsepteissa säätö tapahtui pystysuunnassa, päätettiin toimivaa ratkaisua lähteä hakemaan vaakasuunnasta. Tuloksena syntyi vaakasuunnassa säädettävä konsepti 7. Konsepti koostuu neljästä ovirakenteesta, joihin on sijoitettuna hylsyä pyörittävä sähkömoottori sekä jousitoiminen teleskooppikara hylsulle. Ovirakenteet ovat kiinnitettynä päärakenteeseen pyörivillä akseleilla. Päärakenteen yläpuolella on etäisyyden säätöyksikkö, joka hammashihnan avulla pyörittää ovien akseleita, jolloin ovet kääntyvät sisään- ja ulospäin. Säätöyksikön voimanlähteenä toimii sähkömoottori. Päärakenteen pohjassa on kiinni neljä teräslaippaa, joiden varassa kirstyslaite lepää venttiilipesän päällä. Kuvassa 37 on esitettyä konsepti 7 minimi- ja maksimisäädöllä.



**Kuva 37. Konsepti 7 minimi- ja maksimisäädöillä**



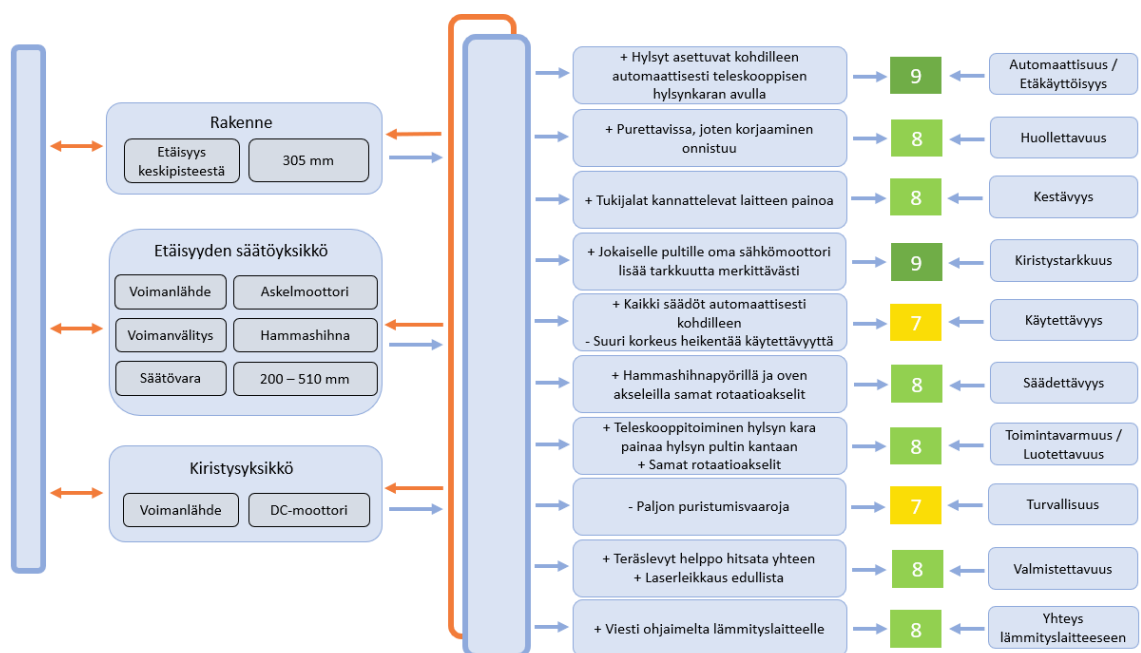
Kuten edellä kerrottiin, konseptin säädettävyys perustuu ovien kaltaisiin rakenteisiin. Ovet pääsevät kääntymään päarakenteen sisälle, mikä laajentaa säätövaraa huomattavasti. Kuvassa 38 on esitettyä ovirakennetta sekä teleskooppikara ja sen poikkileikkaus. Ovirakenteen ylhäällä on planeettavaihteellinen sähkömoottori ja alempana teleskooppikara. Näiden välissä on akselikytkin, jonka tarkoituksena on suojata sähkömoottorin planeettavaihteen karaa aksiaalisilta sekä radiaalisilta voimilta. Teleskooppikaran tarkoituksena on painaa hylsy sidepultin kannan pohjaan. Kuten edellisessä luvussa mainittiin, sidepultin kannan etäisyys venttiilipesän tasopinnasta vaihtelee vasarakohtaisesti, joten teleskooppikara on välttämätön. Teleskooppikara kehitettiin jo edellistä konseptia varten, mutta tilan loppumisen takia sitä ei voitu siinä konseptissa hyödyntää. Ovirakenteen ansiosta tähän konseptiin teleskooppikara saatiin mahtumaan helposti. Ovirakenteissa hyödynnettiin edelliseen konseptia kehitettyjä palapelimaisia levyrakenteita.



**Kuva 38. Konseptin 7 ovirakenne sekä hylsyn teleskooppikara ja sen poikkileikkaus**

Konseptin 7 arviointi on esitetty kuvassa 39. Arvioinnin vihreästä värimaailmasta nähdään heti, että konseptin tunnuspiirteet vastaavat vaadittuihin ominaisuuksiin hyvin. Etenkin aiemmin ongelmia aiheuttaneet kestävyys, säädettävyys ja toimintavarmuus/luotettavuus ovat saatu hyvälle tasolle. Suurin yksittäinen tekijä konseptin menestykseen on ovirakenne, joka mahdollisti yhdensuuntaisilla tasoilla tapahtuvan säädettävyyden. Yhdensuuntaisilla tasoilla tapahtuva hylsyjen etäisyyden säätö tapahtuu lineaarisesti, sillä oven akseli sekä hihnapyörä pyörivät saman rotaatioakselin ympäri. Näin ollen, mikäli hihnapyörää käännetään 30 astetta, ovi kääntyy 30 astetta. Saman rotaatioakselin ympäri tapahtuva säätö tekee etäisyyden säädöstä tarkan, mikä nostaa säädettävyyden pisteet arvioinnissa arvosanalle 8. Tarkkuus perustuu säädön sisäisten muuttujien pieneen määrään, mikä taas on saman rotaatioakselin ansiota.

Ovirakenne itsessään mahdollisti teleskooppikaran lisäämisen kokoonpanoon, mikä paransi laitteen automaattisuutta, käytettävyyttä ja toimintavarmuutta/luotettavuutta. Kuten aiemmin tässä luvussa todettiin, on teleskooppikara välttämätön kiristyslaitteen toiminnan kannalta. Tästä syystä se vaikuttaa useaan ominaisuuteen positiivisesti, sillä sen voidaan luonnehtia poistaneen yksi merkittävimmistä pullonkaloista kiristyslaitteen toimivuudessa. Teleskooppikaran ansiosta kokoonpanoon voitiin myös lisätä tukijalat, jotka poistivat epävarmuuden kestävyuden osalta. Ovirakenteen kääntöpuolena on sen mitattava 900 mm korkeus. Näin suuri korkeus heikentää laitteen käytettävyyttä, mikä laski käytettävyyden arvioinnin arvosanalle 7. Kokonaisuutena konsepti 7 on kuitenkin erittäin onnistunut ja siinä on paljon potentiaalia mahdollista jatkokehitystä varten.



**Kuva 39. Konseptin 7 arviointi**

### 5.2.4 Toisen kehityskierroksen tarkastelu

Toisen kehityskierroksen jälkeen toteutettiin vertailu kehitettyjen konseptien kesken. Taulukossa 4 on esitettyä toisella kehityskierroksella kehitettyjen konseptien pisteet kullekin ominaisuudelle sekä yhteenlasketut kokonaispisteet. Konseptin 5 säädettävyydelle annettiin alkuperäisessä arvioinnissa arvosana 8. Tämä ei kuitenkaan nykytiedon puitteissa pidä paikkaansa, sillä trapetsikierretangon kautta tapahtuva säätö osoittautui todella epätarkaksi ja hankalasti toteutettavaksi konseptin 6 kehityksen aikana. Näin ollen todellinen pistemäärä konseptin 5 säädettävyydelle on arvosana 5. Tämä arvosana on esitettyä taulukossa 4 esiintyvässä arvioinnissa ja kokonaispisteissä. Vanhan arvioinnin mukaiset pisteet säädettävyydelle ja kokonaispisteille on esitettyä taulukossa 4 sulkeiden sisällä.

**Taulukko 4. Toisen kehityskierroksen konseptien pisteet ja yhteenlasketut kokonaispisteet**

	Konsepti 5	Konsepti 6	Konsepti 7
Automaattisuus / Etäkäyttöisyys	8	8	9
Huollettavuus	8	8	8
Kestävyys	5	6	8
Kiristystarkkuus	9	9	9
Käytettävyys	6	6	7
Säädettävyys	5 (8)	5	8
Toimintavarmuus / Luotettavuus	6	6	8
Turvallisuus	6	7	7
Valmistettavuus	6	8	8
Yhteys lämmitys- laitteeseen	8	8	8
Yhteensä	67 (70)	71	80

Arvioinnista parhaiten suoriutui konsepti 7, joka pystyi vastaamaan vaadittuihin ominaisuuksiin huomattavasti paremmin kuin kaksi muuta konseptia. Selkeimmät erot syntyivät kestävyuden, säädettävyyden ja toimintavarmuuden/luotettavuuden kohdalla. Suurimpana yksittäisenä tekijänä voidaan pitää konseptin 7 rakennetta, joka mahdollisti paremmat toiminnalliset ratkaisut kuin konseptien 5 ja 6 rakenteet. Toiminnallisten ratkaisujen toimivuus heijastui suoraan arvioinnin hyviin arvosanoihin. Konsepti 7 oli myös kehityskierroksen ainoa konsepti, jonka voidaan tässä vaiheessa olettaa toimivan sellaisenaan ilman merkittäviä rakenteellisia muutoksia.

Konseptien 5 ja 6 suurimmaksi epävarmuustekijäksi nousi trapetsikierretangon kautta tapahtuva hylsyjen etäisyyden säätö. Kuten luvussa 5.2.2 mainittiin, trapetsikierretangolla toteutettu etäisyyden säätö tapahtuu eksponenttifunktion mukaisesti. Tämä heikentää säätötarkkuutta etenkin silloin, kun lähestytään etäisyyden säädön minimiarvoa. Kun verrataan trapetsikierretangolla toteutettua säätöä konseptissa 7 olevaan hammashihnalla toimivaan säätöön, sen heikkous korostuu entisestään. Konseptissa 7 säätö tapahtuu samojen rotaatioakselien ympäri, jolloin hammashihnapyörän pyörimä kulma on täsmälleen sama kuin oven kääntyvä kulma. Säädön sisäiset muuttujat jäävät tällöin vähäisiksi, mikä tekee toiminnosta luotettavan ja tarkan. Konseptien säätöratkaisuiden toimivuus ja luotettavuus näkyivät säädettävyyden ja toimintavarmuuden/luotettavuuden hyvänä ja niin ikään huonoina arvosanoina.

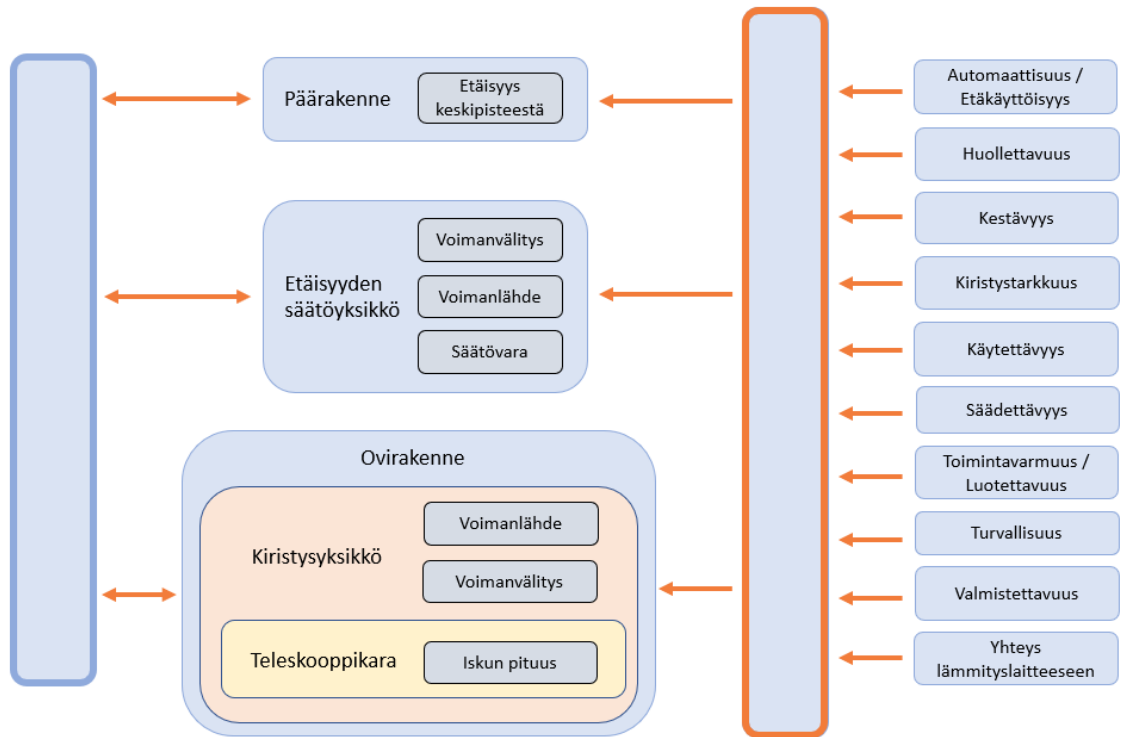
Toiseksi merkittävää eroa tekeväksi ominaisuudeksi nousi kestävyys. Konseptit 5 ja 6 eivät pystyneet vastaamaan kestävyuden asettamiin kriteereihin läheskään yhtä hyvin kuin konsepti 7. Kestävyysongelman pääsyyinä voidaan pitää tukijalkojen puutetta, mikä tarkoittaa sitä, että konsepteilla 5 ja 6 ei ole muita tukipisteitä iskuyksikköä kohden kuin pelkät hylsy. Kiristyslaitteen massasta aiheutuvat voimat kohdistuvat siis suoraan sähkömoottorien karoille, jotka eivät kestä näin suurta voimaa. Ongelmaa yritettiin ratkaista teleskooppikaran avulla jo konseptiin 6, mikä olisi mahdollistanut tukijalkojen lisäämisen. Teleskooppikarojen lisääminen olisi kuitenkin tehnyt konseptista aivan liian korkean, mikä olisi heikentänyt käytettävyyttä merkittävästi, joten muutos jätettiin tekemättä. Tästä syystä ongelma saatiin korjattua vasta konseptiin 7 sen ovirakenteen ansiosta. Ovira-kenteeseen saatiin lisättyä teleskooppikarat helposti, minkä johdosta myös tukijalat saatiin osaksi rakennetta. Tämä poisti kestävyysmurheet konseptin 7 osalta.

Arvioinnista saatujen pisteiden ja edellä mainittujen perustelujen pohjalta on ilmeistä, että kehitystä jatketaan konseptilla 7. Konseptin voittavat tunnuspiirteet ovat ovirakenne sekä teleskooppikara. Nämä tunnuspiirteet lisätään jo aiemmin valittujen tunnuspiirteiden joukkoon seuraavaa kehityskierrosta varten.

### 5.3 Kolmas kehityskierros

Kolmannella kehityskierroksella jatkettiin konseptin 7 jatkokehittämistä. Konseptia kehitettiin edellisellä kierroksella jo siihen pisteeseen, että se pystyi vastaamaan lähes kaikkiin vaadittuihin ominaisuuksiin vaadittavalla tasolla. Arvioinnissa tyydyttävälle tasolle jäivät kuitenkin kaksi ominaisuutta: käytettävyys ja turvallisuus. Molemmat ominaisuudet ovat tärkeitä kiristyslaitteen käytön kannalta, joten niitä on välttämätöntä parantaa, jotta laitteeseen voidaan olla tyytyväisiä. Konseptin 7 käytettävyyden tyydyttävä arvosana, johtui konseptin suuresta korkeudesta. Vaikka korkeutta ei ole rajoitettu mihinkään tiettyyn maksimiarvoon, heikentää suuri korkeus käytettävyyttä merkittävästi. Turvallisuuden tyydyttävä arvosana aiheutui puristumisvaarasta, jonka etenkin hihnäkäytöllä oleva hylsyjen etäisyydensäätö aiheutti. Näin ollen tällä kehityskierroksella pyritään eritoten madaltamaan laitetta sekä pääsemään eroon puristumisvaaroista. Edellä mainittujen kehityskohteiden lisäksi tällä kehityskierroksella on tarkoitus viimeistellä koko konsepti. Tämä tarkoittaa esimerkiksi osien muotoilun ja dimensioiden optimointia sekä kiinnityskomponenttien valintaa.

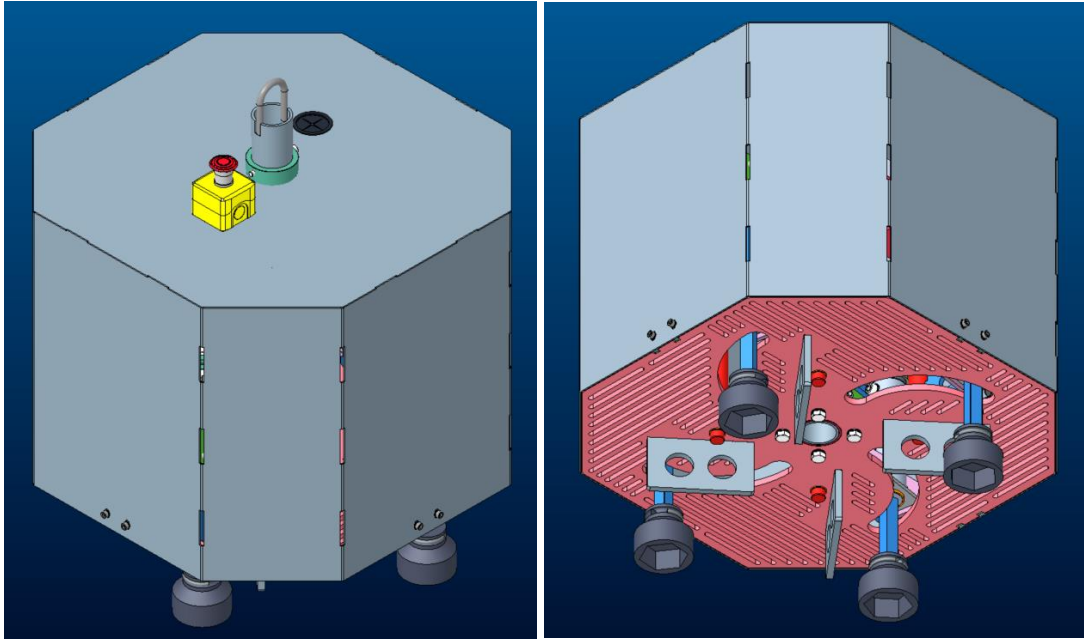
Toisella kehityskierroksella kiristyslaitteen toiminnallisuuksien toteutus tarkentui huomattavasti, minkä johdosta konseptille saatiin useita uusia tunnuspiirteitä sekä osakokoonpanoja. Konsepti voidaan jakaa kolmeen osakokoonpanoon, joita ovat pää rakenne, etäisyyden säätöyksikkö ja ovirakenne. Ovirakenteella on kiristysyksikkö-niminen alikokoonpano, jolla taas on teleskooppikara-niminen alikokoonpano. Kiristysyksikön tunnuspiirteiksi muodostui voimanlähde ja voimanvälitys. Voimanvälitys-tunnuspiirteen tarve havaittiin, sillä sähkömoottorin ja teleskooppikaran väliin tarvitaan ratkaisu, joka välittää voiman sähkömoottorilta teleskooppikaralle. Konseptissa 7 voimanvälitys toteutettiin akselikytkimellä. Teleskooppikara-osakokoonpanon tunnuspiirteeksi määriteltiin iskun pituus. Iskun pituuden tulee olla vähintään 31 mm tukijalkojen pohjasta tai vastaavasti venttiilipesän tasopinnasta alaspäin, jotta kiristyslaitteella voidaan kokoonpanna kaikkia 7 erimallista iskuvasaraa. Päärakenteen tunnuspiirteeksi muodostui edellisten kierrosten tapaan etäisyys keskipisteestä. Etäisyyden säätöyksikön tunnuspiirteet säilyivät samana kuin edelliselläkin kierroksella. Nämä kaikki osakokoonpanot ja tunnuspiirteet on koottu kolmannen kehityskierroksen synteesiin, joka on esitettyinä kuvassa 40.



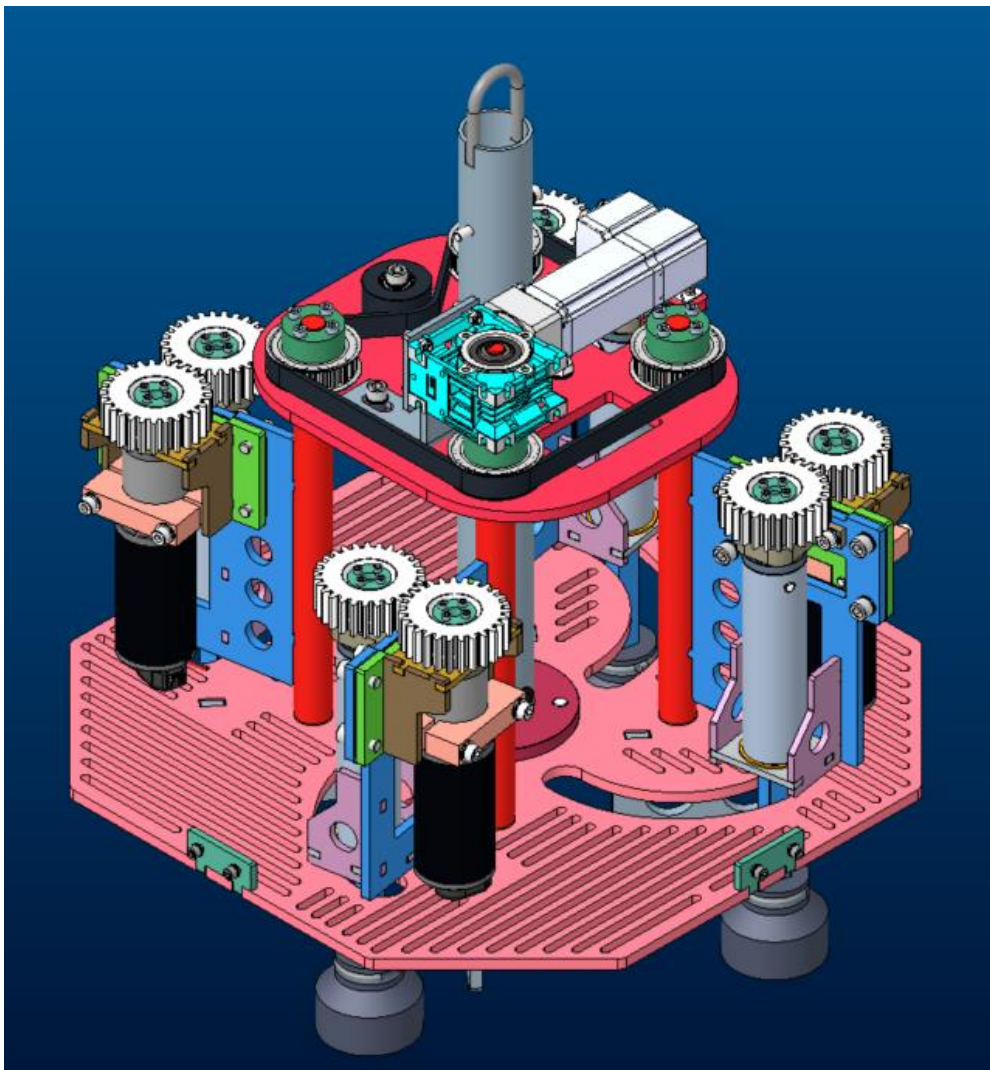
**Kuva 40. Kolmannen kehityskierroksen synteesi**

### 5.3.1 Konsepti 8

Konsepti 8 on ulkonäöltään hyvin samankaltainen konseptin 7 kanssa. Suurin muutos on ehdottomasti tapahtunut ovirakenteissa. Kun konseptissa 7 sähkömoottori sekä teleskooppikara olivat sijoitettuna oven sisäpuolelle päällekkäin, on konseptissa 8 sähkömoottori sekä teleskooppikara sijoitettu vastakkaisille puolille ovea. Toinen silmämääräisesti nähtävä muutos on kotelointi, joka peittää koko kiristyslaitteen. Kuvassa 41 on esitettyä konsepti 8 maksimisäädöllä kotelon kanssa. Kuvassa 42 on esitettyä konsepti 8 maksimisäädöllä ilman koteloa.

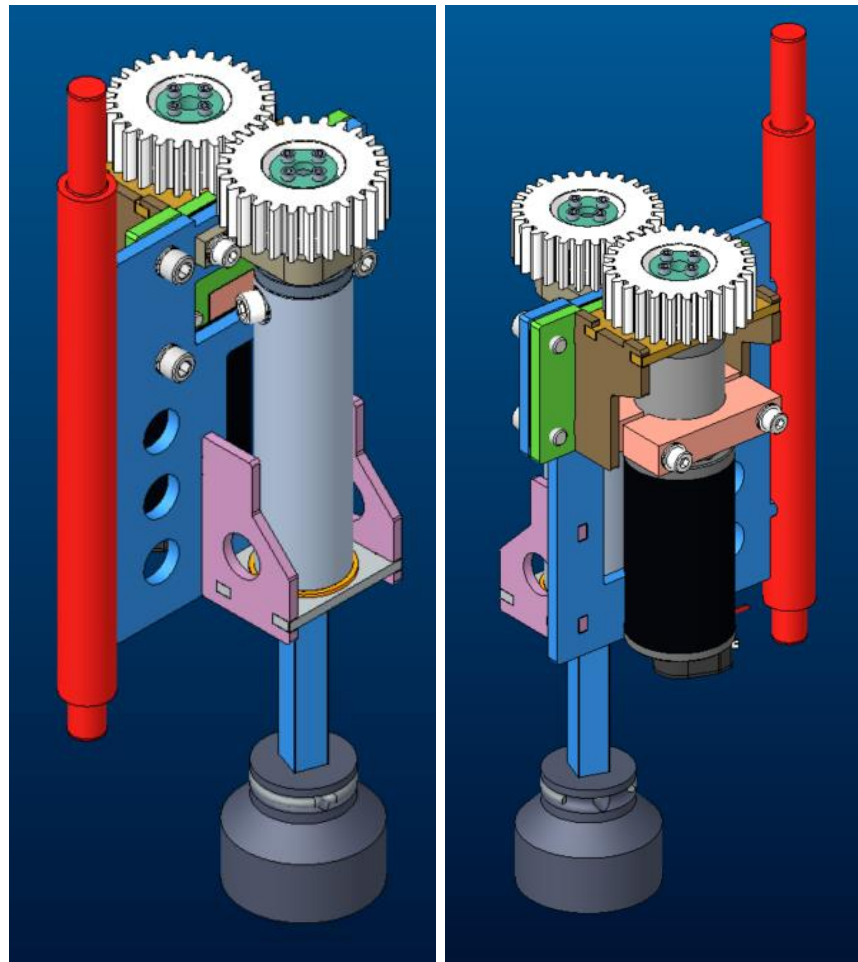


**Kuva 41. Konsepti 8 maksimisäädöllä kotelon kanssa**



**Kuva 42. Konsepti 8 maksimisäädöllä ilman kotelo**

Ovirakenteeseen tehdyn osien uudelleensijoittelun myötä siitä saatiin huomattavasti matalampi. Kuvassa 43 on esitettyä ovirakenne molemmin puolin. Kuvassa oikealla puolella oleva sähkömoottori on käännetty ylösalaisin muuhun rakenteeseen nähden. Näin sähkömoottorin voima voidaan välittää hammaspyörien avulla oven toisella puolella olevalle teleskooppikaralle. Tämän ratkaisun avulla konseptia saatiin madallettua merkittävästi. Hammaspyörillä toteutettu voimavälitys poistaa sähkömoottorin planeettavaihteiston karaan kohdistuvat aksiaaliset voimat kokonaan. Myös sähkömoottorin väännöstä aiheutuvat radiaaliset voimat jäävät planeettavaihteiston karalle asetettujen maksimiarvojen sisälle, joten akselikytkimille ei ole tässä konseptissa tarvetta.



**Kuva 43. Konseptin 8 ovirakenne**

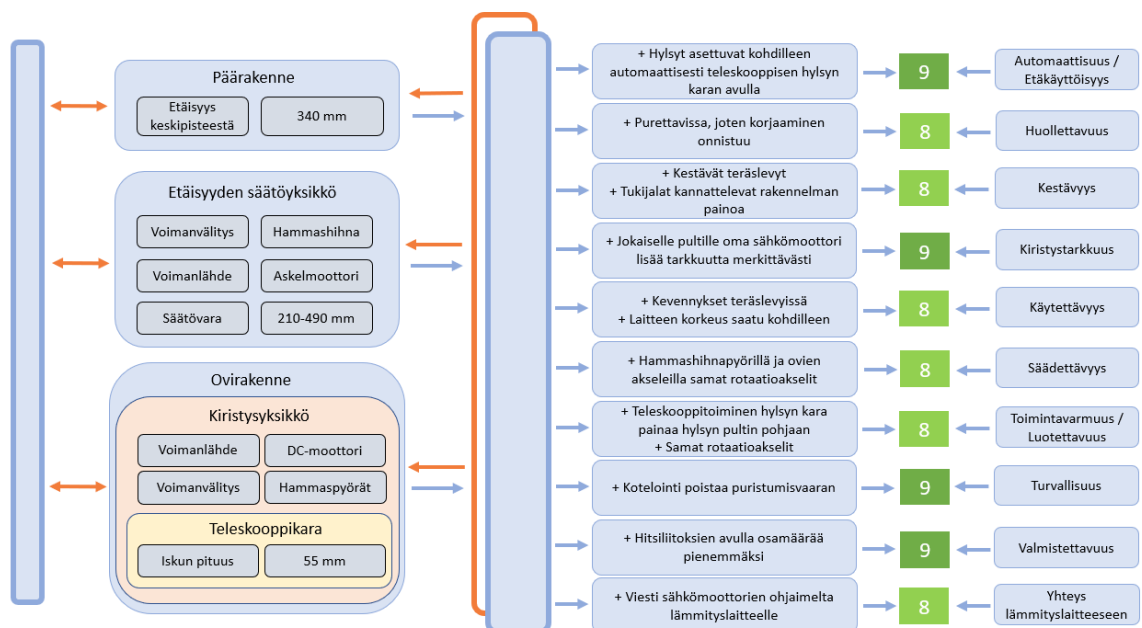
Konseptin 8 arviointi on esitettyä kuvassa 44. Jo edellinen versio tästä konseptista pärjäsi verrattain hyvin arvioinnista, joten vihreän sävyinen arviointi ei tule yllätyksenä tässä tapauksessa. Ongelmakohdat, joita lähdettiin parantamaan tällä kehityskierroksella, olivat käytettävyys ja turvallisuus. Kuten arvioinnista nähdään, saatiin molemmat ominaisuudet halutulle tasolle. Näiden ominaisuuksien lisäksi konseptin valmistettavuus



parani ja nousi arvosanalle 9. Todettakoon myös, että tällä kehityskierroksella ei konseptin suhteen syntynyt takapakkaa, joten jo edellisellä kehityskierroksella konseptille 7 toimivaksi todetut ominaisuudet säilyivät toimivina myös konseptilla 8.

Käytettävyyden paranemisen takana on kiristyslaitteen korkeuden merkittävä madaltuminen. Kun konseptin 7 korkeus oli yli 900 mm, saatiin konseptia 8 madallettua 555 mm:iin nostokiinnike ja hätä-seis-nappi pois luettuna. Tämä tekee kiristyslaitteesta huomattavasti helpomman käsitellä, mikä näkyi positiivisesti käytettävyyden arvioinnissa. Kuten jo edellä todettiin, on konseptin madaltamisen takana ovirakenteeseen tehdyt muutokset. Muutoksia voidaan siis luonnehtia onnistuneiksi. Ovirakenteen muutosten lisäksi koko kiristyslaitteen rakennetta pyrittiin keventämään mahdollisimman paljon. Ylimääräisestä massasta eroon pääsemisen tarkoituksena oli parantaa niin ikään laitteen käytettävyyttä. Mitä kevyempi laite on, sen helpompi sitä on käsitellä nosturin kanssa. Merkittävimpänä kevennystoimena voidaan pitää teräslevyjen rei'itystä, jolla osien massaa saatiin pienennettyä varsin menestyksekkäästi.

Turvallisuutta vietiin eteenpäin lisäämällä koko kiristyslaitteen kattava kotelointi. Kotelointi estää työntekijöiden sormien eksymisen vaarallisiin paikkoihin, mikä lisää turvallisuutta huomattavasti. Kotelon päälle lisättiin myös hätä-seis-nappi mahdollisten vaaratilanteiden varalle. Turvallisuuden lisäksi parannusta tapahtui valmistettavuuden saralla. Valmistettavuuden paranemisen taustalla on muun muassa levyosien materiaalivaihtuuksien yhtenäistäminen sekä levyosien välisten ruuviliitosten korvaaminen hitsiliitoksilla.



**Kuva 44. Konseptin 8 arviointi**

### 5.3.2 Kolmannen kehityskierroksen tarkastelu

Kolmas kehityskierros erosi kahdesta edellisestä siten, että tässä kehitettiin vain yksi konsepti. Kehityskierroksen tarkoituksena olikin vain hienosäätää jo entuudestaan hyvää konseptia. Jotta tehdyille parannuksille saadaan konkretiaa, verrataan tällä kehityskierroksella kehitettyä konseptia edellisen kierroksen parhaimpaan konseptiin. Taulukossa 5 on esitettyä konseptien 7 ja 8 pisteet sekä yhteenlasketut kokonaispisteet.

**Taulukko 5. Toisen kehityskierroksen parhaan konseptin ja kolmannen kehityskierroksen konseptin pisteet ja yhteenlasketut kokonaispisteet**

	Konsepti 7	Konsepti 8
Automaattisuus/Etäkäyttöisyys	9	9
Huollettavuus	8	8
Kestävyys	8	8
Kiristystarkkuus	9	9
Käytettävyys	7	8
Säädettävyys	8	8
Toimintavarmuus/Luotettavuus	8	8
Turvallisuus	7	9
Valmistettavuus	8	9
Yhteys lämmityslaitteeseen	8	8
Yhteensä	80	84

Kuten yllä olevasta taulukosta nähdään, parannusta tapahtui käytettävyydessä, turvallisuudessa sekä valmistettavuudessa. Näin ollen kaikki konseptin 7 heikkoudet onnistuttiin korjaamaan konseptiin 8. Toiminnallisuudeltaan konseptit ovat lähes identtiset. Pienet muutokset erityisesti ovirakenteessa sekä koteloinnin lisääminen paransivat kuitenkin konseptia siten, että se pystyi vastaamaan myös käytettävyyden ja turvallisuuden vaatimuksiin riittävällä tasolla. Kolmannen kehityskierroksen tulosten perusteella voidaan todeta, että konsepti 8 täyttää kaikki kiristyslaitteelle asetetut vaatimukset. Kehitystyö voidaan siis lopettaa tältä osin tähän. Konseptin 8 pääkokoontuotteen esitettyä liitteessä C.

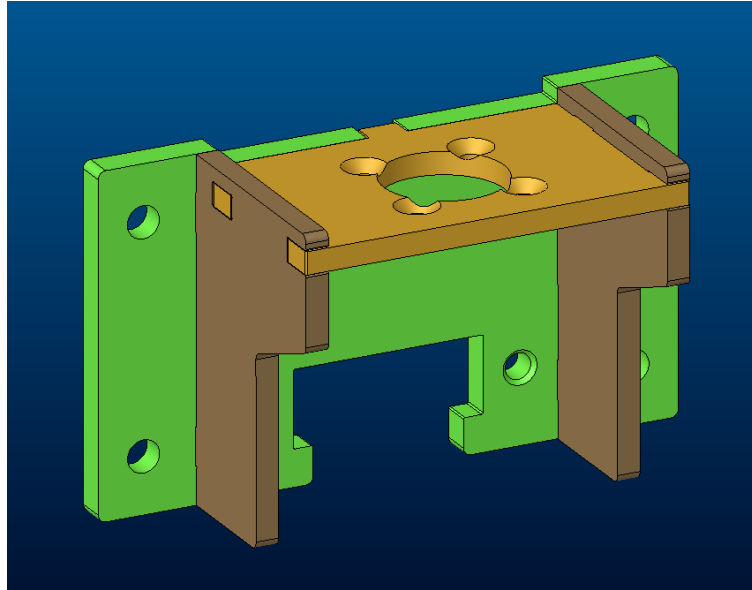
## 6. SUUNNITTELUFILOSOFIAT JA TOIMILAITTEVALINNAT

Tässä luvussa käydään läpi työssä käytettyjä suunnittelufilosofioita, jotka ovat ohjanneet kiristyslaitteen ratkaisut sellaiseksi kuin ne ovat lopullisessa konseptissa 8. Tämän lisäksi luvussa perustellaan konseptiin tehtyjä valintoja sekä osien että toimilaitteiden kohdalla.

### 6.1 Rakenne

Kiristyslaitteen rakenne voidaan jakaa päärakenteeseen ja ovirakenteeseen. Näistä päärakenne käsittää kiristyslaitteen varsinaisen rungon, joka kannattelee koko rakennelmaa. Se koostuu jaloista, pohja- ja kattolevyistä sekä keskiputkesta. Ovirakenne mahdollistaa kiristyslaitteelta vaaditut toiminnallisuudet rotaatiollaan akselinsa ympäri. Sekä päärakenteen että ovirakenteen materiaalivalinta on rakenneteräs S355J0. Teräksen valintaa vaikuttivat sen hyvät mekaaniset ominaisuudet, kuten suuri myötölujuus. Rakenteista toteutettiin muutamia simulaatioita, jotta sen kestävydestä voitiin varmistua.

Rakenteiden suunnittelufilosofiana voidaan pitää kustannusten minimointia sekä rakenteen kestävyttä. Kiristyslaitteen käytettävyydestä ja toiminnallisista vaatimuksista ei kuitenkaan oltu valmiita tinkimään missään vaiheessa. Rakenteiden suunnittelussa pyrittiin ennen kaikkea välttelemään koneistettuja osia. Syyinä tälle on niiden korkea hinta. Tästä lähtikin liikkeelle idea laserleikatuista levyosista, jotka voitaisiin kasata palapelin tapaisesti yhteen ja sen jälkeen hitsata kiinni toisiinsa. Levyosat paikoittavat näin itse itsensä, mikä helpottaa kokoonpanotyötä ja hitsaamista merkittävästi. Varsinainen idea lähti sähkömoottoritelineitä suunniteltaessa. Mikäli sähkömoottoritelineet olisi koneistettu yhdestä teräsaihiosta, olisi siinä ollut hukkamateriaalia noin 80 %. Tämä olisi näkynyt suurina materiaali- sekä koneistuskustannuksina. Teräslevyistä valmistettu teline oli näin ollen huomattavasti järkevämpi ratkaisu. Tämä osoittautuikin mainioksi keksinnöksi, ja sitä hyödynnettiin lopulta lähes kaikessa mahdollisessa. Kuvassa 45 on esitettyinä sähkömoottoritelineen hitsauskokoonpano, johon on koneistettu muutama kierre ja viiste.



**Kuva 45. Sähkömoottoriteline**

Laserleikattujen teräslevyjen ja niiden yhteen hitsaamisen heikkoutena voidaan pitää mahdollista teräslevyn kieroutta. Esimerkiksi ovirakenne ja sähkömoottoriteline on tarkoitus liittää toisiinsa ruuveilla. Koska levyjen tasopintoja ei ole koneistettu, ovat ne oletettavasti vähän kieroja suuntaan tai toiseen. Mitoituksen kannalta kyseessä on kuitenkin kriittiset osat, sillä hammaspyörät kulkevat näiden kahden osan välisen liitoksen yli. Jotta hammaspyörät saadaan paikoilleen, on sähkömoottorin karan sekä teleskooppikaran etäisyyden oltava täsmälleen 81 mm. Ratkaisu tähän mitoitusongelmaan löydettiin mellapellistä. Tasopintojen väliin päätettiin jättää 2 mm rako, joka voidaan täyttää eri vahuisilla mellapelleillä siten, että karojen etäisyydeksi saadaan täsmälleen 81 mm. Tästä aiheutuu kiristyslaitetta kokoonpantaessa hiukan ylimääräistä työtä, mutta mellapellin hyödyt katsottiin suuremmaksi kuin haitat, sillä kiristyslaitteita on tarkoitus valmistaa vain yksi kappale. Toinen heikkous, joka voidaan katsoa johtuvan laserleikattujen levyjen käytöstä, on liukulaakerien pesän reiät. Valmistajan mukaan liukulaakereille tarkoitettujen pesien toleranssi tulee olla H7, jota ei laserleikkaamalla voida saavuttaa. Näin ollen liukulaakerien pesien reiät tulee koneistaa. Tämä koskee päärakenteen pohja- ja kattolevyjä sekä ovirakenteen teleskooppikaran telinettä ja yläkiinnikettä.

Kustannuksia pyrittiin hillitsemään myös yhtenäistämällä teräslevykanta. Lopullisen konseptin teräslevyjen materiaalivahvuuksiksi jäivät 6, 8 ja 10 mm. Näin ei synny levyvaihtoja, jolle sijoitetaan vain muutama osa, vaan jokaiselle levyvahvuudella saadaan useita osia. Osien muotoja ei kuitenkaan lähdetty optimoimaan siten, että ne saataisiin sijoitettua mahdollisimman lähemmäksi levyaihiolle. Kyseessä on kuitenkin vain yhden kiristyslaitteen valmistus, joten tätä ei nähty niin suureksi tekijäksi valmistuskustannusten osalta, että siihen olisi käytetty aikaa.

Rakenteiden yhteen kokoaminen toteutettiin pitkälti ruuveilla ja edellä mainituilla hitsiliitoksilla. Kaikki liitokset, jotka oli mahdollista hitsata yhteen, hitsattiin. Purettavuuden ja kokoonpantavuuden kannalta kriittiset liitokset toteutettiin ruuviliitoksilla. Purettavuus mahdollistaa esimerkiksi hyvän huollettavuuden, mikä oli myös yksi vaadituista ominaisuuksista. Hitsiliitosten lisäksi osamäärää pyrittiin mahdollisuuksien mukaan minimoimaan koneistamalla kierteet teräslevyihin, jotta muttereista päästiin eroon. Tämä vähensi osamäärää merkittävästi. Kiristyslaitteesta toteutettiin myös osaluettelo, mutta sitä ei tähän diplomityöhön lisätty, vaan se päätettiin pitää yrityksen sisäisenä dokumenttina.

Koko kiristyslaite päätettiin koteloida, jotta puristumisvaaroista päästiin eroon. Kotelointi toteutettiin 2 mm vahvuisen alumiinikotelon avulla. Kotelo koostuu 3 palasta, jotka hitsataan yhteen. Kotelo päätettiin jakaa kolmeen osaan sen suuren koon vuoksi, jotta se olisi mahdollisimman helppo särmätä. Kotelon jakaminen useaan osaan helpottaa myös toimittajan valinnassa, sillä kaikilla toimittajilla tuskin olisi mahdollisuutta särmätä kiristyslaitteen suurta koteloa yhdestä levystä.

## 6.2 Sidepultin kiristysyksikkö

Työn yksi merkittävimmistä suunnittelukohdista oli sidepulttien kiristyksen toteutus. Kiristyksen voimanlähteen valinta otettiin päätettäväksi jo ensimmäisellä kehityskierroksella, sillä se määritteli pitkälti, mihin suuntaan suunnittelutyö lähtee. Ensimmäisen kehityskierroksen arvioinnin perusteella kiristys päädyttiin toteuttamaan jokaiselle sidepultille omalla sähkömoottorilla. Toisella kehityskierroksella huomattujen toiminnallisten vaikeuksien, kuten hylsyjen sidepultin kantaan kiinni saamisen, perusteella kiristysyksikkö täydentyi jousitoimisella teleskooppikaralla. Lopullisessa konseptissa sähkömoottori ja teleskooppikara saivat rinnalleen hammaspyörät, joiden kautta sähkömoottorin voima saatiin välittymään teleskooppikaralle.

Sähkömoottoriksi valittiin planeettavaihteellinen DC-moottori. Valitusta moottori-vaihderyhdistelmästä saadaan ulos 26 Nm nimellisvääntömomentti. Pyörimisnopeudeksi 1:288 välityssuhteella muodostuu 11,6 rpm. DC-moottorin valintaan vaikuttivat muun muassa sen moottorinohjaimen yksinkertaisuus, edullinen hinta, hyvä momentin tunnistamiskyky, pieni koko sekä markkinoilla oleva tarjonta. Moottorinohjaimen tai vaihtoehtoisesti erillisen shunttivastuksen avulla nähdään virransyötössä tapahtuvat muutokset, josta taas nähdään suoraan momentissa tapahtuneet muutokset. Esimerkiksi askelmoottorista momentin tunnistaminen olisi ollut hankalaa. Edellisten lisäksi myös planeettavaihte voidaan lukea olevan yksi syy DC-moottorin valintaan, sillä planeettavaihteiden tarjonta muille moottorityypeille oli heikkoa. Planeettavaihte sopi huomattavasti paremmin kiinnitettäväksi ovirakenteeseen kuin esimerkiksi kulmavaihte. Astekulman luku

suoritetaan DC-moottoriin kiinnitetyn inkrementtian turin avulla, jolla päästään helposti alle asteen tarkkuuteen.

Teleskooppikaralta vaadittavaksi minimi-iskun pituudeksi määriteltiin 31 mm venttiilipesän tasopinnasta alaspäin. Konseptin 8 iskunpituudeksi venttiilipesän alapinnasta muodostui noin 55 mm riippuen käytettävästä hylsystä. Pienellä iskun pituuden ylittämällä, teleskooppikaran iskun voima saatiin sopivaksi. Teleskooppikaran sisälle sijoitettiin 127 mm pitkä jousi, jonka jousivakio on 0,93 N/mm. Iskuvasaramallista riippuen jousi painaa hylsyä sidepultin kantaan noin 25 N voimalla. DC-moottorin ja teleskooppikaran välinen voimavälitys päätettiin toteuttaa hammaspyörien avulla. Hammaspyörät ovat helppo asentaa eivätkä ne vaadi huoltoa, joten valinta oli ilmeinen. Hammaspyöräksi valikoitui C45E teräksestä valmistetut 27 hampaiset moduulin 3 napahammaspyörät. Hammaspyörien kiinnityksessä käytetään kiinnitysholkkeja, joten kiristysyksikkö on tarpeen vaatiessa purettavissa. Hammaspyörien mitoittamiseen käytettiin verkosta löytyviä laskureita, jotka pohjautuvat ISO 6336-2 ja ISO 6336-3 standardeihin (Engineering-abc.com n.d.). Laskureista saatuja arvoja verrattiin myös hammaspyörävalmistajan verkkosivuilta löytyneeseen kuvaajaan, jossa oli määritelty hammaspyörien vääntömomenttien kesto (Lieriöhammaspyörät n.d., s. 2). Tulosten ollessa likimain samat laskurin voidaan todeta olevan pätevä mitoituskeino. Hammaspyörien lujuuslaskennat ovat esitettynä liitteessä D.

### 6.3 Ovien etäisyyden säätöyksikkö

Omana suunnittelukohtanaan voidaan pitää myös ovien etäisyyden säätöyksikköä. Konseptin 8 säätöyksikkö perustuu hihnäkäyttöön, jonka voimanlähteenä toimii kulmavaihteellinen askelmoottori. Kulmavaihteellinen askelmoottori pyörittää yhden oven akselia, joka on hinnan ja hihnäpyörien välityksellä yhteydessä muihin oviin. Ovien etäisyyden säätöyksikkö koostuu kaiken kaikkiaan kulmavaihteellisesta askelmoottorista, hammas-hihnasta, neljästä hammashihnäpyörästä, neljästä kiinnitysholkista, hihnankiristimestä sekä kahdesta induktiivisesta anturista.

Askelmoottorin valinnan perusteena voidaan pitää sen hyvää paikallaan pitomomenttia, pientä pyörimisnopeutta sekä hyvää paikoitustarkkuutta. Askelmoottoria voidaan ajaa askel kerrallaan, mikä on avaintekijä hyvään paikoitustarkkuuteen. Näin ollen askelmoottori ei tarvitse ylimääräisiä kulma-antureita, vaan paikoitus voidaan toteuttaa kullekin vasaramallille ennalta määrätyn askelmäärän perusteella. Tämä edellyttää tietenkin sitä, että ovet ovat referenssipisteessä, josta askelmäärä on mitattu. Referenssipisteen löytäminen toteutettiin induktiivisten anturien avulla, joista kerrotaan lisää alempana. Vaihteiston valintaan vaikutti ennen kaikkea sen muoto. Kulmavaihteen matala profiili sopi

hyvin sijoitettavaksi päärakenteen yläpuolelle, sillä siellä tilaa oli juuri vaakasuunnassa. Näin ollen kulmavaihte oli huomattavasti parempi vaihtoehto kuin esimerkiksi planeettavaihte, joka olisi vienyt tilaa pystysuunnassa, mikä olisi johtanut kiristyslaitteen korkeuden kasvamiseen. Kulmavaihteiselta askelmoottorilta vaadittu momentti  $M_a$  laskettiin kaavalla

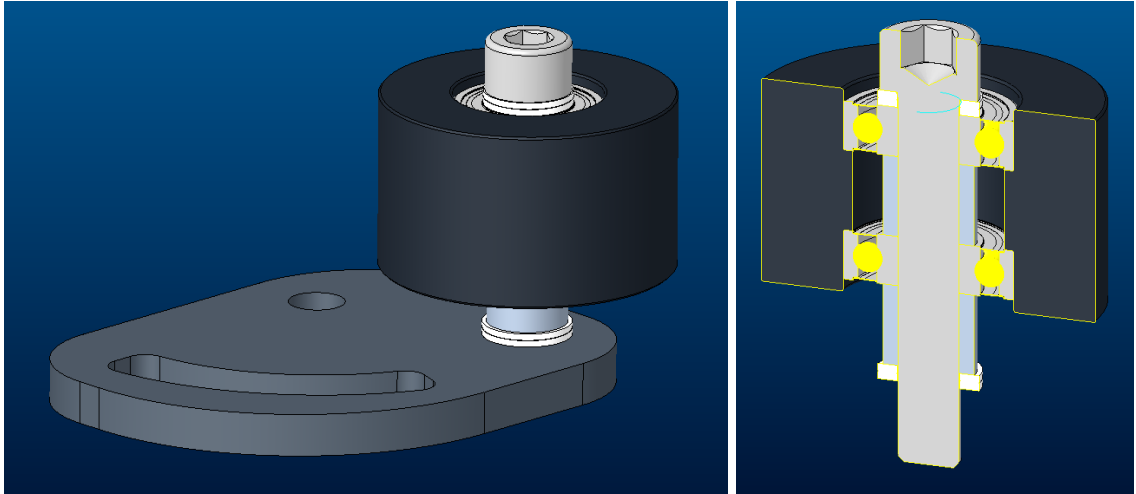
$$M_a = 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot \mu_k \cdot m_d \cdot g \cdot \left( \frac{r_o^3 - r_i^3}{r_o^2 - r_i^2} \right), \quad (2)$$

jossa  $\mu_k$  on oven akseleiden alla olevien liukulaakerien kitkakerroin,  $m_d$  on ovikokoonpanon massa,  $g$  on putoamiskiihtyvyys,  $r_o$  on liukulaakerin ulkosäde ja  $r_i$  on liukulaakerin sisäsäde. Vaadittavaksi momentiksi saatiin

$$M_a = 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,2 \cdot 18 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left( \frac{0,015^3 - 0,0115^3}{0,015^2 - 0,0115^2} \text{ m} \right) = 1,88263 \text{ Nm}.$$

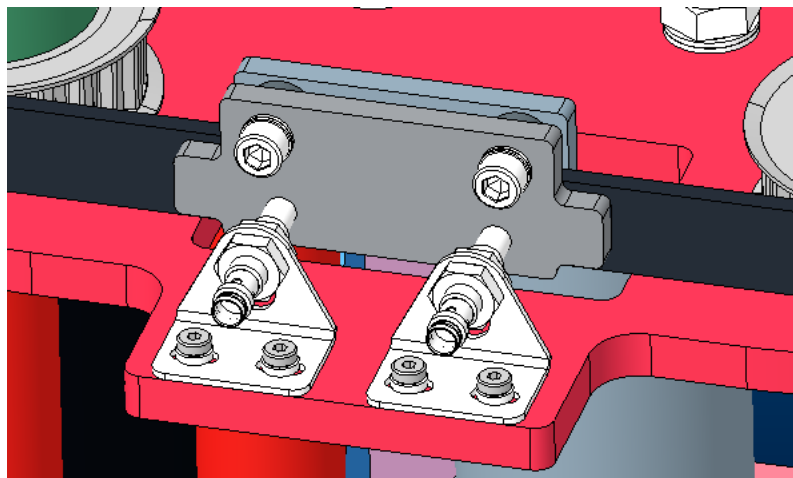
Vaadittavan momentti perustuu siis pohjalevyn ja liukulaakerien väliseen kitkaan, joka jää liukulaakerien pienen kitkakertoimen takia melko mitättömäksi. Laskussa ei oteta huomioon ovien aiheuttamaa sivuttaissuuntaisia voimia, mutta niiden oletetaan olevan suuruudeltaan edellisen laskun tuloksen luokkaa. Tästä huolimatta askelmoottoria haluttiin hieman ylivoimistaa, jotta saadaan suurempi pitomomentti. Lopullisen kulmavaihteellisen askelmoottorin momentiksi muodostui 30 Nm.

Hihnan ja hihnapyörien valinta perustui pitkälti niiden saatavuuteen. Hihnan kestäväydestä ei tehty mitään suurempia laskelmia, vaan hihna ylivoimistettiin selkeästi. Hihnaksi valittiin 20 mm leveä T10 profiilinen hammashihna, jonka sallittu vetovoima on 1900 N ja vetolujuus 7600 N. Hammashihnapyöräksi valittiin hihnalle sopivat alumiiniset 22 hampaiset pyörät. Hammashihnapyörät kiinnitettiin ovien akseleihin samanlaisilla kiinnitysholkeilla, joita käytettiin kiristysyksikön voimavälityksen kiinnittämiseen. Itsekeskittyvät kiinnitysholkit ovat helppo asentaa ja purkaa sekä niillä on hyvä pitomomentti. Hihnan asennusta helpottamaan tarvittiin säätöyksikköön myös hihnankiristin. Hihnankiristin jouduttiin lopulta suunnittelemaan itse, sillä markkinoilta ei löytynyt tarpeeksi pientä ratkaisua tähän tarpeeseen. Kuvassa 46 on esitettyä hihnankiristin ja sen poikkileikkaus.



**Kuva 46. Hihnankiristin ja hihnankiristimen rullan poikkileikkaus**

Ovien etäisyyden säätöyksikön tärkein tehtävä on saada ovet oikeille kohdille, jotta hylsyt tippuvat sidepulttien kantaan. Tätä varten hihnayksikön viereen asennettiin kaksi induktiivista anturia, joiden avulla voidaan tunnistaa ovien paikka. Valinta kohdistui induktiivisiin antureihin niiden yleisyyden sekä varmatoimisuuden takia. Paikoitus olisi voitu toteuttaa jopa yhdellä anturilla, mutta silloin mahdolliset törmäykset hylsyn karojen ja pohjalevyn välillä olisi ollut mahdollista. Näin ollen päädyttiin kahden anturin paikoitukseen, joka tekee siitä toiminnaltaan täysin varman. Paikoitus toimii siten, että hihnaan kiinnitetään 90 cm leveä teräspalikka kahden anturin väliin. Kun molemmat anturit tunnistavat teräspalikan, ovat kaikki ovet jossain minimi- ja maksimisäädön välissä. Kun ulkopäin katsottuna vasemmanpuoleinen anturi ei enää tunnista teräspalikkaa, ovat ovet maksimisäädöllä. Vastaavasti, kun oikeanpuoleinen anturi ei tunnista teräspalikkaa, ovat ovet minimisäädöllä. Näin ovet eivät koskaan pääse menemään minimi- ja maksimialueiden yli, jolloin yhteentörmäyksiä voisi tapahtua. Kuvassa 47 on esitettyä induktiiviset anturit, referenssipalikka ja hihna kokoonpanossa.



**Kuva 47. Induktiiviset anturit, referenssipalikka ja hihna kokoonpanossa**



## 6.4 Anturi- ja toimilaiteluettelo

Kiristyslaitteiston vaatimasta elektroniikasta laadittiin yksinkertainen anturi- ja toimilaiteluettelo. Luetteloon on listattuna kaikki anturit ja toimilaitteet, jotka kiristyslaite tarvitsee toimiakseen. Toimilaitteille on asetettu toiminnallisia vaatimuksia, jotka niiden tulee täyttää. Luetteloon on merkitty joitakin ehdotuksia valittavista toimilaitteista ja komponenteista, kuten esimerkiksi induktiivisista antureista, mutta näiden osalla lopullisen valinnan tekee automaatiotoimittaja. Toiminnallisten vaatimusten on kuitenkin täytyttävä, jotta kiristyslaite saadaan toimimaan halutulla tavalla. Anturi- ja toimilaiteluettelo on esitettyinä liitteessä E.

Anturi- ja toimilaiteluettelon lisäksi kiristyslaitteen toiminnasta laadittiin vuokaavio sekä siihen perustuva sanallinen toimintakuvaus järjestelmän, käyttäjän ja käyttöliittymän näkökulmasta. Kuvausten tarkoituksena on auttaa automaatiotoimittajaa hahmottamaan kiristyslaitteen toiminta niin järjestelmänä kuin tuotannon työkoneena. Vuokaavio sekä sanallinen toimintakuvaus löytyvät liitteestä F.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa tarkastellaan työn onnistumista sekä kiristyslaitteen että CPM/PDD-menetelmän käytön osalta. Luvussa pohditaan myös, millaisia jatkokehityssuosituksia ja mahdollisuuksia kiristyslaiteella on.

### 7.1 Kiristyslaitteen arviointi

Työn päätavoitteena oli kehittää paras mahdollinen kiristyslaite iskuvasaran sidepulttien astekulmaan kääntöä varten. Päätavoitteen saavuttamiseksi suunniteltavalle kiristyslaitteelle määriteltiin lähtötietojen asettamat vaatimukset, valittiin kehitystyön tueksi sopiva tuotekehitysmenetelmä, tutkittiin olemassa olevia kiristyslaiteratkaisuja sekä kehitettiin useita erilaisia kiristyslaiteratkaisuja.

Kiristyslaitteen kehitystyötä tukemaan valittiin CPM/PDD-tuotekehitysmenetelmä. Menetelmän mukaisesti kiristyslaitteelle määriteltiin vaaditut ominaisuudet ja tunnuspiirteet. Kiristyslaiteratkaisujen onnistumista voitiin arvioida vertailemalla kehitettyjen ratkaisujen tunnuspiirteitä vaadittaviin ominaisuuksiin. PDD-arviointi perustui kiristyslaitekonsepteista mallinnettuihin 3D-malleihin, jotka tarkentuivat kehitystyön edetessä. Lopulliselle konseptille suoritettuna PDD-arvioinnin perusteella voidaan todeta, että konsepti pystyy vastaamaan kaikkiin vaadittuihin ominaisuuksiin vähintään arvosanalla hyvä, osin jopa kiitettävästi. Kiristyslaitetta voidaan siis pitää onnistuneena ainakin PDD-arvioinnin pohjalta.

Kiristyslaitteen onnistumisen takana ovat muutamat avaintekijät, jotka mahdollistivat sen vaatimusten mukaiset toiminnallisuudet. Nämä ovat ovirakenne sekä DC-moottoreilla toteutettavat sidepulttien astekulmaan käännöt. Ovirakenne itsessään mahdollisti hylsyjen välisen etäisyyden säädön toteuttamisen siten, että se on tarkka ja luotettava. Tämän keksimistä voidaan pitää kiristyslaitteen kehitysprosessin tärkeimpänä oivalluksena ja sitä voidaan kuvailla merkittäväksi onnistumiseksi kehitystyössä. Ovirakenne mahdollisti myös DC-moottorin ja teleskooppikaran tilatehokkaan sijoittelun, jonka ansiosta kiristyslaitteesta saatiin mahdollisimman matala. Tämä näkyi muun muassa hyvänä käytettävyytenä. Myös DC-moottorien voidaan todeta olleen varsin onnistunut valinta astekulmaan käännön toteuttamiseen. Ne mahdollistavat ennen kaikkea asteen tarkan kiristys- ja hyvät ominaisuudet automatiikan toteuttamiseen.

Kiristyslaitteen onnistumisen arviointi perustuu tässä vaiheessa lähes kokonaan PDD-arvioinnin tuloksiin. Vaikka paperilla suunniteltu kiristyslaite osoittautuikin varsin onnistuneeksi, nähdään laitteen todellinen onnistuminen vasta, kun kiristyslaite on konkreettisesti toteutettu ja testattu. Tästä huolimatta työn voidaan katsoa saavuttaneen tavoitteensa parhaimman mahdollisen kiristyslaiteratkaisun kehittämisessä osalta, sillä kiristyslaitteen toteutus rajattiin työn ulkopuolelle.

## 7.2 CPM/PDD-menetelmän arviointi

Työn kehitysvaihe toteutettiin Christian Weberin CPM/PDD-menetelmän mukaisesti. Työn kirjallisuuskatsauksessa tutkittiin neljää eri kehitysmenetelmää, joista CPM/PDD todettiin sopivan parhaiten kiristyslaitteen suunnitteluun. CPM/PDD-menetelmä erottui joukosta etenkin sen kehityskeskisyyden vuoksi. Sitä voidaankin kuvailla raa'aksi kehitystyökaluksi, kun taas muut tutkittavana olleet kehitysmenetelmät keskittyivät lähinnä prosessin hallintaan varsinaisen kehitystyön sijasta. CPM/PDD-menetelmän keskiössä ovat kehitettävän laitteen tunnuspiirteet ja ominaisuudet sekä niiden välinen yhteys. Menetelmän hienous piileekin sen sisältävässä arvioinnissa, jossa pohditaan vastaavatko kehitetyn laitteen tunnuspiirteet laitteelle määritetyt ominaisuuksia. Tämän takia työssä ei tarvinnut käyttää erillistä arviointimenetelmää, jolla kehitetyt konseptit olisi määritelty paremmuusjärjestykseen, sillä CPM/PDD-menetelmä itsessään sisälsi sen.

CPM/PDD-menetelmän käyttöön on useita erilaisia tapoja, joten menetelmän valinnan jälkeen oli syytä pohtia, miten sitä hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti tässä kehityshankkeessa. Kehityshankkeen tavoitteena oli kehittää paras mahdollinen kiristyslaite, joten oli selvää, että vaihtoehtoisia ratkaisuja on vertailtava keskenään. Erilaisia ratkaisuja lähdettiin kartoittamaan patenttiselvityksen ja benchmarking-tutkimuksen avulla. Näiden tulokset jäivät hyvinkin heikoiksi, sillä vastaavia kiristyslaitteita ei markkinoilta löytynyt. Patenttiselvitys ja benchmarking-tutkimus tarjosivatkin lähinnä ideoita erilaisiin ratkaisuihin. Näin ollen suoraa vertailua markkinoilla olevaan laitteeseen ei voitu tehdä. Tämän johdosta ehdottomasti järkevin tapa hyödyntää PDD-menetelmää oli vertailla kehitettyjä kiristyslaiteratkaisuja keskenään.

Kehitettyjen konseptien välinen vertailu osoittautui varsin toimivaksi tavaksi hyödyntää PDD-menetelmää. Huonot tunnuspiirteet saatiin karsittua pois ja kehitystyö eteni hyvien tunnuspiirteiden ehdoilla. Avaintekijänä voidaan pitää erilaisten ratkaisuideoiden tuottamiskykyä. PDD-menetelmä ei auta suunnittelijaa keksimään ratkaisuja kehitettävästä tuotteesta, vaan lähinnä auttaa valitsemaan oikean polun ratkaisujen keskeltä. PDD-me-

netelmän hyöty perustuukin tällaisissa vertailukohdattomissa tapauksissa siihen, keksiikö suunnittelija monipuolisesti ideoita vai ei. Vertailukohtien puute nostaa suunnittelijan vastuuta merkittävästi menetelmän toimivuudesta.

Kehitystyö toteutettiin kolmessa kehityskierroksessa, joiden aikana kehitettiin 8 konseptia. Jokaiselle konseptille tehtiin PDD-arviointi, joita vertailtiin keskenään kehityskierroksen lopussa. PDD-arvioinnit toivat selvää konkretiaa eri tunnuspiirteiden vertailuun. Arviointien perusteella oli helppoa nähdä, mikä eri tunnuspiirteistä pystyi vastaamaan vaadittuihin ominaisuuksiin parhaiten. Riskinä tietysti on se, että arvioinnissa tapahtuu virhe. Tässä työssä virhe tapahtui konseptin 5 arvioinnin kohdalla, kun säädettävyyden ominaisuutena arvioitiin arvosanalle 8. Säädettävyyden arviointi perustui tunnuspiirteeseen, joka oli toteutettu trapetsikierretangon avulla. Samaa tunnuspiirrettä käytettiin kuitenkin konseptissa 6, jonka arvioinnissa huomattiin, että tunnuspiirre on huono eikä se vastaa säädettävyydelle määritettyjä kriteereitä. Tässä tapauksessa sudenkuoppa onnistuttiin välttämään, mutta pahimmassa tapauksessa virhe olisi huomattu vasta kiristyslaitteen testivaiheessa. Tapahtunut virhe ei varsinaisesti liity itse PDD-menetelmään, sillä kyseessä oli arvioinnin aikana tapahtunut ihmisen tekemä inhimillinen virhe. Virhe olisi hyvin suurella todennäköisyydellä tapahtunut, vaikka arvioinnissa olisi käytetty jotain toista menetelmää. Tärkeää on kuitenkin tiedostaa mahdollisuus inhimillisiin virheisiin, joiden estämiseksi arvioinnit voidaan suorittaa esimerkiksi useamman henkilön toimesta tai vastaavasti tarkistaa ne useampaan kertaan.

Kuten edellisessä luvussa todettiin, kehitettyä kiristyslaitetta voidaan pitää varsin onnistuneena. Oma osuutensa tästä kuuluu myös CPM/PDD-menetelmälle. Menetelmän avulla löydettiin nopeasti oikea suunta kehitystyölle. Avainasemassa oli kehityskierroksittain toteutettu kehitystyö, jonka ansiosta kiristyslaite eteni koko ajan PDD-arviointien tulosten mukaiseen suuntaan. Tämä piti työn ennen kaikkea aikataulussa, sillä aikaa ei kulunut huonompien ratkaisujen ylimääräiseen kehittämiseen. Tätä voidaan pitää menetelmän yhtenä tärkeimpänä antina tälle työlle, sillä kehitystyön alussa kiristyslaitteen rakenteesta tai toiminnallisuuksien ratkaisuista ei ollut mitään tietoa. Voidaan jopa sanoa, että kehitystyö aloitettiin tyhjältä pöydältä. Tämän kaltaisessa kehitystyössä, jossa lähdetään liikkeelle nolasta, CPM/PDD-menetelmän voidaan todeta toimivan hyvin. Menetelmän valintaa voidaan siis pitää onnistuneena ja sitä voidaan suositella käytettäväksi tämän työn kaltaisten kehityshankkeiden toteuttamisessa.

### 7.3 Jatkokehityssuosituksat ja tulevaisuuden näkymät

Seuraavaksi kiristyslaitteesta tulisi rakentaa ensimmäinen prototyyppi. Prototyypin avulla kiristyslaitteen toiminta saadaan testattua. Testien avulla nähdään mahdolliset ongelmat, joita suunnittelussa ei olla osattu ottaa huomioon. Mahdollinen jatkokehitystarve selviää näin ollen vasta testien jälkeen. Koska kiristyslaitteita on tarkoitus valmistaa vain yksi kappale, on syytä olettaa, että prototyyppi on se yksilö, joka päättyy lopulta tuotantoon. Näin ollen mahdolliset muutokset ja parannukset toteutetaan oletettavasti suoraan prototyyppiin. Suunnittelussa huomioitiin kiristyslaitteen huollettavuus yhtenä ominaisuutena, jonka johdosta laite on yhteen hitsattavia osia lukuun ottamatta täysin purettavissa. Tämä helpottaa mahdollista jatkokehitystä, jolloin mahdollisuuksien mukaan voidaan vaihtaa vain yksittäisiä osia koko kiristyslaitteen uusimisen sijaan.

Jotta prototyyppi saadaan toimimaan, on siihen toteutettava automaatio-ohjelma. Prototyypin lisäksi seuraava kehitysaskel on kartoittaa mahdollisia automaatiotoimittajia ja valita niistä yksi toteuttamaan ohjelma kiristyslaitteelle. Automaatiotoimittajaa varten kiristyslaitteen elektroniikasta laadittiin anturi- ja toimilaiteluettelo. Tämän lisäksi kiristyslaitteen toiminnasta tehtiin vuokaavio sekä siihen perustuva sanallinen toimintakuvaus. Näitä käsiteltiin tarkemmin luvussa 6.4. Automaatiotoimittajan lisäksi on syytä pohtia, tehdäänkö laitteen mekaaninen rakenne yrityksen sisällä itsenäisesti vai tilataanko se joltain ulkoiselta toimijalta.

Tulevaisuuden näkymiä katsellessa voidaan todeta teollisuuden automatisoituvan koko ajan entistä enemmän. On siis mahdollista, että kiristyslaitteen kaltainen osittain automatisoitu kokoonpanolaite tulee jättämään aikansa ennemmin tai myöhemmin. Työn alussa pohdittiinkin ajatuksen tasolla, voisiko astekulmaan käännön hoitaa teollisuusrobotilla. Itse kääntö onnistuisi robotilta siinä missä ihmiseltäkin, mutta ongelmaksi koitui kokoonpanoympäristö, johon robottia ei voida sijoittaa. Näin ollen robotti jätettiin odottamaan aikaansa.

Vaikka teollisuusrobotti ei tällä hetkellä ollutkaan vaihtoehto, voi se tulevaisuudessa olla. Mikäli iskuyksikön kokoonpaneminen automatisoitaisiin, voisi kehitettyä kiristyslaitetta hyödyntää siitä huolimatta ainakin jollain asteella. Kiristyslaitteen voisi esimerkiksi integroida sopivaksi jonkin teollisuusrobotin varteen sopivaksi. Tämä vaatisi kuitenkin pieniä muutoksia kiristyslaitteen rakenteessa, mutta ajatuksen tasolla tämä on mahdollista. On kuitenkin todettava, että varrellinen teollisuusrobotti voisi kääntää pelkän sähkömoottorin avulla sidepultit yksitellen astekulmaan, mikä olisi huomattavasti parempi ratkaisu kuin kiristyslaitteen asentaminen robotin varteen.

# LÄHTEET

About Us. n.d. Rammer. Viitattu 6.4.2022. [About Us - Rammer](#)

Bralla, J. G. 1996. *Design for Excellence*. United States: McGraw-Hill.

Clarkson, J. & Eckert, C. 2005. *Design Process Improvement A review of current practice*. 1<sup>st</sup> ed. London: Springer London.

CN210650424U. 2020. *Multi-bolt quick detaching and tightening device*. Wuhan Changxing Electrical Appliance DEV CO LTD, Wuhan. CN201921448876U, 31.08.2019. 02.06.2020. 7 s.

CN216067210U. 2022. *Multifunctional wrench*. Hagenbel Power Supply Company of Eastern Mongolia Power CO LTD In State Grid, Beijing. CN202122531620U, 20.10.2021. 18.03.2022. 8 s.

Conrad, J. et al. 2008. 'What is design knowledge from the viewpoint of CPM/PDD?', in *Proceedings DESIGN 2008, the 10<sup>th</sup> International Design Conference*. 2008. pp. 745-752.

Cross, N. 2008. *Engineering design methods: strategies for product design*. 4<sup>th</sup> ed. Chichester: Wiley

DOGA n.d. OEM Finland Oy. Viitattu 1.11.2022. [DC-moottori kierukkavaihteella sarja 259 259.3710.2B.00 | OEM Finland Oy](#)

Elmoselhy, S. A. M. 2016. *Design for Profitability: Guidelines to Cost Effectively Manage the Development Process of Complex Products*. Boca Raton: CRC Press.

Engineering-abc.com. n.d. Viitattu. 3.11.2022. [www.tribology-abc.com](http://www.tribology-abc.com)

Espacenet. 2021. Patentti- ja rekisterihallitus. Viitattu 5.5.2022. [PRH - Patentit - Espacenet](#)

Espacenet patent search. n.d. European Patent Office. Viitattu 5.5.2022. [EPO - Espacenet: patent database with over 120 million documents](#)

Filippi, S. & Cristofolini, I. 2010, *The design guidelines collaborative framework a design for multi-X method for product development*. London: Springer.

Gausemeier, J. & Moehring, S. 2003. 'New guideline VDI 2206 – A flexible procedure model for the design of mechatronic systems', in *Proceedings of the International Conference on Engineering Design*, ICED. 2003 p.

Graessler, I. 2017. *A New V-Model for Interdisciplinary Product Engineering*. Ilmenau: Technische Universität Ilmenau. [A New V-Model for Interdisciplinary Product Engineering \(db-thuringen.de\)](#)

Koivukunnas, P. 2012. *Patentitiedon hyödyntäminen tuoteideoiden arvioinnissa ja valinnassa*. Helsinki, Uudenmaan ELY-keskus. Viitattu 8.4.2022. [isbn9789526048086.pdf \(aalto.fi\)](#)




- Koneita koskevat vaatimukset. n.d. Tukes. Viitattu 4.10.2022. [Koneita koskevat vaatimukset | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto \(Tukes\)](#)
- Kroll, E. et al. 2001. *Innovative conceptual design: theory and application of parameter analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Large Range. n.d. Rammer. Viitattu 7.4.2022. [Large Range - Rammer](#)
- Lehtonen, T. et al. 2011. 'A framework for developing viable design methodologies for industry', in *ICED 11 - 18<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design – Impacting Society Through Engineering Design*. 2011 pp. 405-416.
- Lieriöhammaspyörät. n.d. Mekanex. Viitattu 3.11.2022. [Lieriöhammaspyörät | Suunnittelijan Uutiset \(mekanex.se\)](#)
- Otto, K. N. & Wood, K. L. 2001. *Product design: techniques in reverse engineering and new product development*. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H. 2007. *Engineering Design A Systematic Approach*. 3<sup>rd</sup> ed. London: Springer London.
- Patenttiluokitus tietokantahakujen avuksi. 2021. Patentti- ja rekisterihallitus. Viitattu 6.5.2022. [PRH - Patentit - Patenttiluokitus](#)
- Patenttiopas. 2018. Helsinki: Patentti- ja rekisterihallitus. Viitattu 8.4.2022. [Patenttiopas \(ei saavutettava\) \(prh.fi\)](#)
- 9033E – Parts Manual. n.d. Sandvik. Viitattu 8.4.2022. Vaatii käyttöoikeuden. [9033E Parts Manual - Distributor Portal](#)
- Rakennustieto. 2011. Ratu 82–0379: *Purkutyö. Menekit ja menetelmät*. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry, Rakennustietosäätiö RTS.
- Sandvik Mining and Construction Oy. 2019. PowerPoint 14.2.2019. Sandvik Mining and Construction Oy.
- Suhner – Multi Spindle Drilling Heads. n.d. Suhner. Viitattu 1.11.2022. [Suhner Multi Spindle Drilling Heads for sale | IndustrySearch Australia](#)
- Tietoja Meistä. n.d. Sandvik. Viitattu 26.10.2022. [Asiantuntemuksen ja kekseliäisyyden \\* hyödyntämistä tuottavuuden parantamiseksi\\* — Sandvik Group \(home.sandvik\)](#)
- Ullman, D. G. 2010. *The mechanical design process*. 4<sup>th</sup> ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. 2012. *Product design and development*. 5<sup>th</sup> ed. New York, NY: McGraw-Hill Irwin.
- Weber, C. 2007. 'Looking at "DFX" and "Product Maturity" from the Perspective of a New Approach to Modelling Product and Product Development Processes', in *The Future of Product Development*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. pp. 85–104.
- Weber, C. 2014. 'Modelling Products and Product Development Based on Characteristics and Properties', in *An Anthology of Theories and Models of Design*. London: Springer London. pp. 327–352.

## LIITE A: PATENTIT

- CN213053609U Multi-bolt screwing device
- CN101745883A Multi-bolt dismounting device
- CN210650424U Multi-bolt quick detaching and tightening device
- CN113864549A GIS flange plate multi-bolt synchronous fastening device
- CN211992766U Synchronous quick disassembling and assembling tool of multi-bolt connection mechanical system
- CN204935508U Portable electric tap wrench
- CN103286740A Manual nut distribution device
- CN103029086A Multi-nut fixed torque mounting device
- CN110788790A Multi-nut rapid dismounting and mounting device
- US5605079A Torsion spring tensioning tool
- JP2000237969A Nut tightening tool
- WO9940331A1 Screw tightening tool
- CN216067210U Multifunctional wrench (种多功能扳手)
- US2017157750A1 Skateboard multi-purpose tool
- US6651532B1 Drivable socket wrench
- US5927156A Wrench with side drive mechanism
- US2003172780A1 Multipurpose angular ratchet extension
- US4258594A Socket wrench with auxiliary drive
- US5345845A Right angle torque transmission tool
- US4154122A Hand-powered tool
- US2011208169A1 Single revolution snap action drive for surgical fasteners



## LIITE B: BENCHMARK-TUTKIMUS

<p><b>Valmistaja /malli</b></p>	<p>SOTECH Corporation 137P</p> 	<p>SUHNER POLYdrill</p> 	<p>DOGA 259-sarja</p> 
<p><b>Toiminta-periaate</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Neljä pyörivää karan pidikettä</li> <li>- Voima välittyy hammaspyörien avulla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Neljä pyörivää karan pidikettä</li> <li>- Voima välittyy hammaspyörien avulla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yksittäinen sähkömoottori</li> </ul>
<p><b>Säädettävyys</b></p>	<p>Kyllä, pyörivät karan pidikkeet</p>	<p>Kyllä, pyörivät karan pidikkeet</p>	<p>Ei, jokaiselle sidepultille oma moottori tai erillinen voimavälitys</p>
<p><b>Hyvä</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karojen paikkaa voi säädellä</li> <li>- Rakenne vaikuttaa järkevältä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karojen paikkaa voi säädellä</li> <li>- Rakenne vaikuttaa järkevältä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voidaan liittää osaksi säädettävää rakennetta</li> <li>- Sähkömoottorilla toteutettu kiristys tarkka</li> </ul>
<p><b>Huonoa</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liian pieni</li> <li>- Heiveröinen</li> <li>- Karojen säätäminen oikeille paikoilleen voi viedä aikaa</li> <li>- Vaaditaan suuri momentti, jotta saadaan kaikki 4 sidepulttia kerralla käännettyä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Karojen säätäminen oikeille paikoilleen voi viedä aikaa</li> <li>- Liian pieni</li> <li>- Vaaditaan suuri momentti, jotta saadaan kaikki 4 sidepulttia kerralla käännettyä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sähkömoottorien kiinnitys voi aiheuttaa ongelmia</li> <li>- Mahtuuko 4 sähkömoottoria kiristyslaitteeseen?</li> <li>- Johtohässäkkä</li> </ul>
<p><b>Lähteet</b></p>	<p><a href="#">Multispindle Heads   North Prairie, WI - SOTECH Corporation</a> <a href="#">technical-info-3-4-20.0mm-Collet-Capacity-2-3-and-4-spindle-drillheads.pdf (sotechcorp.com)</a></p>	<p><a href="#">Suhner Multi Spindle Drilling Heads for sale   IndustrySearch Australia</a></p>	<p><a href="#">DC-moottori kierukkavaihteella sarja 259 259.3710.2B.00   OEM Finland Oy</a></p>

# LIITE C: PÄÄKOKOONPANOPIIRUSTUS

2:15

Ind	Part name	Part ID	Description	Qty	Mass
32	NERA23_16_0_HH_8_2_IK			1	
31		M8x30		1	
30		M8x12		8	
29	MS-HEXAGON NUT DIN 934			4	
28		M4x2		4	
27	M4-NORDLOCK WASHER			4	0,000
26	M10x25 DIN 912			3	
25	LÄPVENTTIKUMIT_PEN			4	0,009
24	LÄPVENTTIKUMI_LED			1	0,030
23	LUUKILAAMERI POHJAKATTO_IK			8	0,014
22	KULMAVAHTEEN_KINNITYS			1	0,440
21	KINNITYSHOLKKI_20x28_8_2_IK			4	0,322
20	KATTO_PARTTI_HH_8_2_IK			1	0,444
19	HOLKKI_KULMAVAHIT			1	0,006
18	HHNA_T10_20			1	0,747
17	ALUSLEIY_NELIO_30x30			1	0,019
16	HNr_16HNr	655303	ISO 6177 M12x28 8.8 A3G	8	0,039
15	Flax socket screw	955272	ISO 4762 M6x20 8.8 A3G	4	0,007
14	Lock washer	951713	NORD-LOCK M6_LIMATTU	12	0,001
13	Lock washer	91037_8_2_IK	NORD-LOCK M10_LIMATTU	2	0,003
12	Lock washer	91012	NORD-LOCK M12_LIMATTU	8	0,003
11	Lock washer	91011	NORD-LOCK M8_LIMATTU	1	0,002
10	PAIKITUSLEIY_8P			1	0,250
9	OV_PIPORITUS_2_IK			1	13,2
8	OV_IP_HH_8_2_IK			3	13,2
7	KUOLAJ_HITSAUS			1	21,1
6	KRISTYSYVENHE_2_IK			1	0,024
5	HEIKKIPUTKEN_HITS_8_2_IK			1	6,40
4	JALKATSI_HH_8_2_IK			1	19,7
3	INDUKTIOVIRHEANTURIL_8P			2	0,031
2	EMERGENCY_STOP			1	
1	31_T10_22x2.8_2_IK			4	

**SANDVIK**  
Breakers Lahti

02.11.2022

112 kg

PKP-KLVA

K8\_IK A

Sandvik, Sandvik logo and the symbol of Sandvik are trademarks of Sandvik AB. All other trademarks are the property of their respective owners.

# LIITE D: HAMMASPYÖRIEN LUJUUSLASKENTA

## Hampaan pintapaineen väsymiskestävyyden laskenta (ISO 6336-2)

	pinion	wheel
number of teeth $z \geq 12$	27	27
profile shift coeff. $x=V/m_n=0...0.5$	0.2	0.2
E-modulus	190	190
	GPa	GPa
module $m$	3	mm
pressure angle $\alpha$	20	deg.
face width $b$	30	mm
contact stress $\sigma_{H \text{ lim}}$ (Tabel 4.6)	550	MPa
factor $\sigma_{HP} / \sigma_{H \text{ lim}} = (Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R \cdot Z_W \cdot Z_X) / S_H$	0.92	
factor $\sigma_H / \sigma_{H0} = (K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha})^{1/2}$	1.59	
Solve Reset Print		
	pinion	gear
diameter $d=m \cdot z$	81	mm
diameter base circle $d_b=m \cdot z \cdot \cos(\alpha)$	76.1151022	mm
diameter roll circle $d_w$	82.1289009	mm
transmission ratio $i=z_2/z_1$ , gear down $i>1$	1	
center distance $a$	82.1	mm
geometry factor $Z_H$	2.36398960	
elasticity factor $Z_E$	182.291395	MPa <sup>1/2</sup>
contact ratio $\epsilon_\alpha$	1.54834550	
contact ratio factor $Z_\epsilon$	0.90400119	
permissible contact stress $\sigma_{HP}$	0.506	GPa
Roll pressure angle $\alpha_w$	22.1	deg.
Tangential force $F_t \text{ max}$	0.81081464	kN
Maximum drive torque $T_{\text{max},1}$	33.2956580	Nm
<b>correction factor <math>K_C \text{ tot}</math></b>		
$\sigma_{HP} / \sigma_{H \text{ lim}} = (Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R \cdot Z_W \cdot Z_X) / S_H$		
$Z_{NT} = 1.1...1.6$ life factor for contact stress for reference test conditions	1.23	
$Z_L = 0.9...1.1$ Lubricant factor.	1	
$Z_V = 0.9...1.1$ Velocity factor	1	
$Z_R = 0.8...1.1$ Roughness factor affecting surface durability	0.9	
$Z_W = 1.05...1.25$ Work-hardening factor	1	
$Z_X = 0.7...1.0$ Size-factor for pitting.	1	
$S_H = 1.2$ safety factor from pitting.	1.2	
Solve Reset $\sigma_{HP} / \sigma_{H \text{ lim}} = (Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R \cdot Z_W \cdot Z_X) / S_H$	0.92	
enter new value in the main program window manually !		

tooth Load factor	
$K_A$ application factor, to take into account loads additional to nominal loads from external sources, i.e. the driving and driven machine. $K_A=1$ for uniform load, $K_A=1.5$ for moderate shocks, up to $K_A=2$ and higher for heavy shocks/belasting.	1.5
$K_v$ dynamic factor, very accurate gearing, i.e. accurate alignment and adequately lubricated so that the accuracy is maintained, $K_v=1...1.1$	1.1
$K_{H\alpha}$ transverse load factor for contact stress and $K_{Fa}$ for tooth root stress account for the effect of non-uniform distribution of transverse load between several pairs of simultaneously contacting gear teeth. For accurate gearing $K_{H\alpha}=1$ , less quality grade $K_{H\alpha}=1.2$ .	1.1
$K_{H\beta}$ face load factor for contact stress. This factor takes into account the effects of the non uniform distribution of load over the gear face width on the surface stress ( $K_{H\beta}$ ) and on the tooth-root stress ( $K_{F\beta}$ ). For accurate gearing $K_{H\beta}=1.1...1.4$ .	1.4
Solve Reset $\sigma_H / \sigma_{H0} = (K_A \cdot K_v \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta})^{1/2}$	1.59

### Hampaan tyven väsymisen laskenta (ISO 6336-3)

	pinion	gear
number of teeth $z \geq 12$	27	27
profile shift coeff. $x=V/m_n = 0...0.5$	0.2	0.2
module $m$	3	mm
pressure angle (ISO)	20	deg.
face width $b$	30	mm
permissible tooth-root stress test gear $\sigma_{F lim}$ (table)	550	MPa
factor $\sigma_{FP} / \sigma_{F lim} = (Y_{ST} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{\delta} \cdot Y_R \cdot Z_X) / S_F$	1.33	
load factor $\sigma_F / \sigma_{F0} = K_A \cdot K_v \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta}$	2.54	
Solve Reset		
diameter $d=m \cdot z$	81	mm
diameter roll circle $d_w$	82.128900€	mm
form factor $Y_{Fa}$	2.481	
stress correction factor $Y_{Sa}$	1.78573333	
center distance $a$	82.1	mm
contact ratio $\epsilon_{\alpha}$	1.54834550	
contact ratio factor $Y_{\epsilon}$	0.73438801	
permissible tooth-root stress $\sigma_{FP}$	731.5	MPa
roll pressure angle $\alpha_w$	22.1	deg.
<b>Max tangential force <math>F_t \max</math></b>	7.9662544€	<b>kN</b>
<b>Max torque pinion <math>T_{\max} = F_t \max \cdot d_w / 2</math></b>	327.129862	<b>Nm</b>

correction factor $K_S$ tot	
$\sigma_{FP} / \sigma_{F \text{ lim}} = (Y_{ST} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{\delta} \cdot Y_R \cdot Y_X) / S_F$	
$Y_{ST}$ stress correction factor, relative with reference gears	2
$Y_{NT}$ life factor for tooth-root stress for reference test cond.	1
$Y_{\delta}$ notch sensitivity factor relative to polished test piece.	1
$Y_R$ relative roughness factor.	1
$Y_X$ size factor	1
$S_F$ factor for safety from tooth breakage	1.5
Solve   Reset	$\sigma_{FP} / \sigma_{F \text{ lim}} = (Y_{ST} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{\delta} \cdot Y_R \cdot Y_X) / S_F$ 1.33
enter new value in the main program window manually !	

tooth Load factor	
$K_A$ application factor, to take into account loads additional to nominal loads from external sources, i.e. the driving and driven machine. $K_A=1$ for uniform load, $K_A=1.5$ for moderate shocks, up to $K_A=2$ and higher for heavy shocks.	1.5
$K_V$ dynamic factor, very accurate gearing, i.e. accurate alignment and adequately lubricated so that the accuracy is maintained, $K_V=1 \dots 1.1$	1.1
$K_{F\alpha}$ transverse load factor for contact stress and $K_{Fa}$ for tooth root stress account for the effect of non-uniform distribution of transverse load between several pairs of simultaneously contacting gear teeth. For accurate gearing $K_{H\alpha}=1$ , less quality grade $K_{H\alpha}=1.2$ .	1.1
$K_{F\beta}$ face load factor for contact stress. This factor takes into account the effects of the non uniform distribution of load over the gear face width on the surface stress ( $K_{H\beta}$ ) and on the tooth-root stress ( $K_{F\beta}$ ). For accurate gearing $K_{H\beta}=1.1 \dots 1.4$ .	1.4
Solve   Reset	$\sigma_F / \sigma_{F0} = K_A \cdot K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta}$ 2.54
enter new value in the main program window manually !	

→ Tuloksista voidaan todeta, että valittu hammaspyörä kestää 26 Nm vääntömomentin

# LIITE E: ANTURI- JA TOIMILAITELUETTELO

## **4 kpl DC-moottorihjain**

- Suunnanvaihto toiminto
- Virran mittaus mahdollisuus joko sisäisesti tai erillisellä shunttivastuksella

## **4kpl DC-moottori (Dunkermotoren GR 63x55)**

- Enkooderi (Dunkermotoren RE 30)
- Planeettavaihte (Dunkermotoren PL 52 HT)

## **2kpl Induktiivinen anturi (IES201 IEB3006-BPKG/V4A/K1/AS)**

- Tunnistaa ovien liike alueiden rajat

## **4 kpl (rele?)lähtöjä induktiolämmittimiä varten**

## **1kpl Askelmoottori (JVL NEMA 23 MIS234S)**

- Kulmavaihte (JVL HTTPW-030)

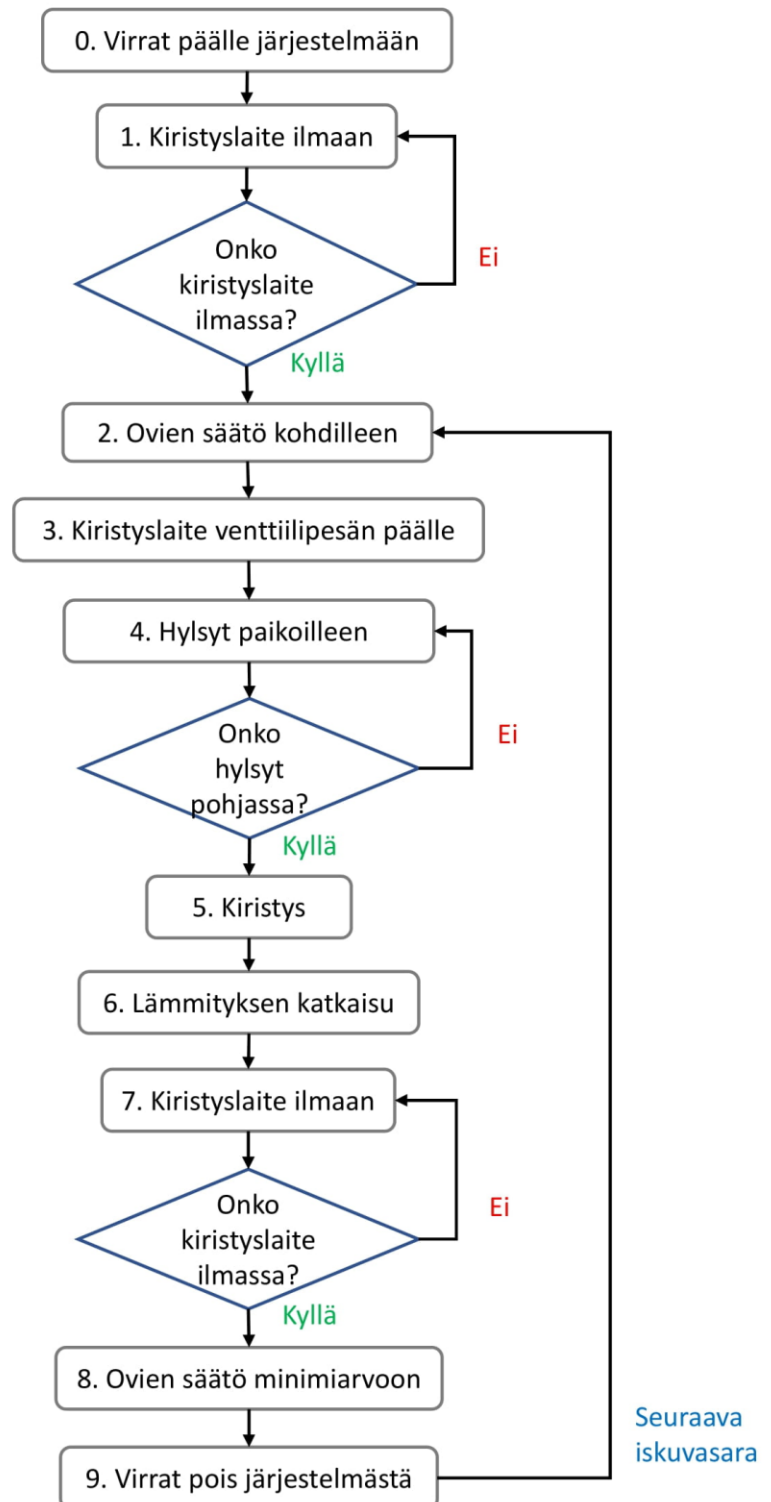
## **1 kpl Askelmoottorinhjain**

- Suunnanvaihto toiminto
- Paikoitustoiminto (ajetaan haluttu määrä askelia tiettyyn suuntaan)
- Esiasetetut nopeudet (eri ajonopeudet (kotiasemaan ajoon yms.))

## **1 kpl Hätä-seis nappula**

## **Ohjauslogiikka + käyttöliittymä**

## LIITE F: VUOKAAVIO JA TOIMINTAKUVAUS



## 0. Virrat päälle Järjestelmään

**Käyttäjät:** Kytkee järjestelmän aktiiviseksi.

### 1. Kiristyslaite ilmaan

**Käyttäjät:** Työntekijä nostaa kiristyslaitteen nosturilla ilmaan, jotta sen teleskooppikarojen hylsy tippuvat maksimiulottuvuuteen.

#### ✓ Onko kiristyslaite ilmassa?

**Käyttöliittymä:** Käyttöliittymän olisi hyvä varmistaa työntekijältä, että kiristyslaite on ilmassa. Muuten seuraavien vaiheiden tekeminen voi vaurioittaa kiristyslaitetta. Mikäli kiristyslaite ei ole ilmassa, palataan kohtaan 1.

**Käyttäjät:** Työntekijä kuittaa käyttöliittymään, onko kiristyslaite ilmassa vai ei. Mikäli ei ole, palataan kohtaan 1.

**Järjestelmä:** Mikäli työntekijä kuittaa kiristyslaitteen olevan ilmassa, katsotaan tunnistaako yksi vai molemmat induktiiviset anturit hihnassa kiinni olevan metallilevyn. Mikäli vain yksi anturi tunnistaa, tunnistava anturi määrää kumpaan suuntaan hihnaa lähdetään ajamaan. (Jos vain vasemmanpuoleinen anturi tunnistaa → ajetaan ovia ulospäin, kunnes myös oikeanpuoleinen anturi tunnistaa. Jos vain oikeanpuoleinen anturi tunnistaa → ajetaan ovia sisäänpäin, kunnes myös vasemman puoleinen anturi tunnistaa) Tämän jälkeen tai jo alunperin molemmat anturit tunnistavat metallilevyn. Lopuksi ovia ajetaan sisäänpäin, kunnes oikeanpuoleinen anturi lakkaa tunnistamasta. Näin on löydetty referenssipiste (ovet kiinni).

### 2. Ovien säätö kohdilleen

**Käyttäjät:** Työntekijä valitsee käyttöliittymästä kokoonpantavan iskuvasaramallin, jonka mukaan ovet säädetään oikeille kohdilleen.

**Järjestelmä:** Askelmoottoria ajetaan valitulle vasaramallille määritetty askelmäärä eteenpäin kohti vasaramallikohtaista hylsyjen säätöä.

### 3. Kiristyslaite venttiilipesän päälle

**Käyttäjät:** Ovien säädön valmistuttua työntekijä laskee kiristyslaitteen venttiilipesän päälle siten, että hylsy ovat sidepulttien päällä.

### 4. Hylsy paikoilleen

**Käyttäjät:** Käyttäjät valitsee käyttöliittymästä hylsyjen paikoilleen ajo-ohjelman.

**Järjestelmä:** Hylsyjä pyöritetään myötöpäivään hitaalla nopeudella, kunnes havaitaan momenttia (virran nousu). Liike pysäytetään ja ajetaan tietty astemäärä taaksepäin (selvitetään kokeellisesti protovaiheessa). Näin pyritään varmistamaan, että hylsy pääsevät tippumaan pohjaan asti sidepultin kannalle. Toimenpide on itsenäinen jokaisen hylsyn kohdalla.



✓ **Onko hylsyt pohjassa?**

**Käyttöliittymä:** Käyttöliittymä kysyy käyttäjältä, onko hylsyt pohjassa. Tällä varmistetaan kiristuksen onnistuminen. Mikäli hylsyt eivät ole pohjassa, palataan kohtaan 4.

**Käyttäjä:** Käyttäjä kuittaa käyttöliittymän, ovatko hylsyt pohjassa vai eivät.

## 5. Kiristys

**Käyttäjä:** Käyttäjä valitsee käyttöliittymästä kiristuksen aloitus ohjelman.

**Järjestelmä:** Sidepulttien lämmitys kytketään päälle. Kiristys toteutetaan sykleissä, jotta DC-moottorit eivät ylikuumene. Moottoreita ajetaan 5 sekunnin ajan 26 Nm momentilla myötäpäivään. Jos kiristimen astekulma ei muutu, pidetään 5 sekunnin tauko, jonka jälkeen ajetaan taas 5 sekunnin ajan 26 Nm momentilla. Kiristys etenee näin, kunnes iskuvasaramalli kohtainen astekulma on saavutettu.

## 6. Lämmityksen katkaisu

**Järjestelmä:** Kun iskuvasara kohtainen astekulma saavutetaan, sidepultin lämmitys katkaistaan. Saman iskuvasaran sidepulttien välisessä kiristysajassa voi olla eroja, joten induktio lämmittimet sammutetaan sidepulttikohtaisesti yksitellen. Jos sidepulttien lämmitin ilmoittaa ylikuumenemisesta tai astekulmaa ei saavuteta ennalta määrätyn ajan kuluessa, sammutetaan myös lämmitys ja prosessi keskeytetään (indikointi käyttäjälle).

**Käyttöliittymä:** Käyttöliittymä ilmoittaa kiristysten valmistumisesta, lämmityksen katkaisusta tai prosessin keskeytymisestä.

## 7. Kiristyslaite ilmaan

**Käyttäjä:** Työntekijä nostaa kiristyslaitteen nosturilla ilmaan ja vie pois venttiilipesän päältä.

✓ **Onko kiristyslaite ilmassa?**

**Käyttöliittymä:** Käyttöliittymän olisi hyvä varmistaa työntekijältä, että kiristyslaite on ilmassa. Muuten seuraavien vaiheiden tekeminen voi vaurioittaa kiristyslaitetta. Mikäli kiristyslaite ei ole ilmassa, palataan kohtaan 7.

**Käyttäjä:** Työntekijä kuittaa käyttöliittymään, onko kiristyslaite ilmassa vai ei. Mikäli ei ole, palataan kohtaan 7.

## 8. Ovien säätö minimiarvoon

**Käyttäjä:** Työntekijä valitsee käyttöliittymästä ovien säädön referenssiin ajon (ovet kiinni), jotta ne olisivat mahdollisimman hyvin suojattuna, kun kiristyslaite lasketaan maahan.

**Järjestelmä:** Katsotaan tunnistaako yksi vai molemmat induktiiviset anturit hinnassa kiinni olevan metallilevyn. Mikäli vain yksi anturi tunnistaa, tunnistava anturi määrää kumpaan suuntaan hihnaa lähdetään ajamaan. (Jos vain vasemmanpuoleinen anturi tunnistaa → ajetaan ovia ulospäin, kunnes myös oikeanpuoleinen anturi tunnistaa. Jos vain oikeanpuoleinen anturi tunnistaa →

ajetaan ovia sisäänpäin, kunnes myös vasemman puoleinen anturi tunnistaa) Tämän jälkeen tai jo alunperin molemmat anturit tunnistavat metallilevyn. Lopuksi ovia ajataan sisäänpäin, kunnes oikeanpuoleinen anturi lakkaa tunnistamasta. Näin on löydetty referenssipiste (ovet kiinni).

#### **9. Virrat pois järjestelmästä**

**Käyttäjä:** Kytkee virrat pois päältä. Mikäli seuraava iskuvasara on jo heti valmis astekulmaan kääntöä varten, virrat jätetään päälle ja palataan kohtaan 2.