Tampereen yliopisto

Ossi Laitinen

SUUNNITTELUOHJEISTUKSEN LUONTI LEUKAMURSKAINTUOTEPERHEEN SKAALAUTUVALLE OPTIOLLE

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastajat: Timo Lehtonen
ja Mikko Vanhatalo
Syyskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Ossi Laitinen: Suunnitteluohjeistuksen luonti leukamurskaintuoteperheen skaalautuvalle optiolle
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Syyskuu 2022

Erilaisiin käyttötarpeisiin ja -tilanteisiin mukautuminen eli skaalautuvuus on laajasti haluttu ominaisuus tuotteelle, palvelulle tai järjestelmälle. Skaalautuvuutta edellytetään myös tuotesarjoihin kuuluvilta tuotteilta, jotta tuotesarja on samanaikaisesti taloudellisesti kannattava ja täyttää asiakkaiden vaatimukset. Skaalautuvuudella saadaan vähennettyä tuotesarjan sisältämien kokojen määrää. Työssä luodaan ohjeistus uuden optiokoon suunnittelulle osaksi tuotesarjaa. Osa optiossa huomioitavista vaatimuksista ja tarvittavat koot periytyvät leukamurskaintuoteperheestä, jonka mallien osaksi aktiivisen asetuksen säädön -optiota tarjotaan.

Työn tutkimusongelma oli option skaalaaminen teknisesti toimivasti uusiin murskaintuoteperheen malleihin. Tutkimusongelma ratkaistiin konstruktiivista tutkimustapaa käyttäen. Tutkimusmenetelminä työssä käytettiin kirjallisuuskatsausta, simulointia, haastatteluja ja aikaisemman suunnittelutiedon tutkimista. Työn päätavoitteena oli suunnitteluohjeistuksen luominen työnantajayrityksen leukamurskainten optiolle. Toisena tavoitteena oli aikaisemman suunnittelutiedon kattava kerääminen ja option suunnitteluratkaisujen ymmärtäminen. Tutkimuksen aineistona käytettiin kirjallisuuskatsauksessa kirjallisuutta, patentteja ja standardeja ja aikaisemman tiedon tutkimisessa suunnittelutietokantoja ja dokumentteja.

Työn tuloksina saatiin kuusi osatulosta, joita käytettiin päätuloksen eli suunnitteluohjeistuksen lähtötietoina ja rakenteen suunnitteluun. Osatuloksia olivat tuotesarjan kehittämisen vaiheet, peruskehitelmän määrittely, option vaatimukset, koottu aiempi suunnittelutieto, skaalautuva apumalli ja patenttianalyysin tulokset. Työn päätulos on yleisohje option uuden koon suunnittelulle. Suunnitteluohjeistus perustuu tuotesarjan peruskehitelmän ominaisuuksien ja riippuvuussuhteiden skaalaamiseen uuteen kokoon. Ohjeistus ei käsittele option yksityiskohtaista suunnittelua, vaan opastaa option komponenttien mitoituksessa ja toiminnallisuuksissa huomioitavat asiat. Ohjeistus etenee komponenttien suositeltavassa mitoitusjärjestyksessä ja kertoo myös, miten option toimintaan negatiivisesti vaikuttavia hydraulisia ilmiöitä vältetään. Kriittistä ohjeistuksen onnistuneelle käytölle on suunnitteluprosessin seuraaminen ja lähtötietojen oikeellisuus.

Tehty tutkimus loi kuvan tuotesarjojen suunnittelun vaiheista, patenttien tutkimisen hyödyistä ja suunnittelutiedon uusiokäytöstä. Näiden aiheiden tuntemisen hyödyt on yleistettävissä laajemmin suunnittelussa ja tuotekehityksessä. Lisäksi työllä saatiin tietoa erilaisista hydraulisen kuormanpurun ratkaisuista ja kartoitettiin kilpailijoiden patentteja. Työ toimii hyvänä pohjana option uusien kokojen suunnittelulle. Ohjeistusta ja kerättyä aiempaa suunnittelutietoa hyödyntämällä option suunnittelu nopeutuu ja optiota voidaan edelleen kehittää.

Avainsanat: skaalautuvuus, tuotesarja, suunnittelutiedon uusiokäyttö, patentit, suunnitteluohjeistus, hydraulinen ylikuormanpurku

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Ossi Laitinen: Creation of design guidance for the option of jaw crusher product family
Master´s Thesis
Tampere University
Master´s Degree Programme in Mechanical Engineering
September 2022

Adaptability to different usage needs and situations, i.e. scalability, is a widely desired feature for a product, service or system. Scalability is also required for the products belonging to the product series, so that the product series is both economically viable and meets the customer's requirements. Scalability reduces the number of different sizes contained in the product series. At the work will create guidance for the design of a new option size as part of the product series. Some of the requirements to be taken into account in the option and the necessary sizes are inherited from the jaw crusher product family. The models of product family are those for which active setting control -option are offered.

The research problem of the thesis was to scale the option in technically functional way to new models of the crusher product family. The research problem was solved using a constructive research method. The research methods used in thesis were literature review, simulation, interviews and study of previous design information. The main goal of the work was to create design guidance for the employer company's option of jaw crushers. The second goal was comprehensive collection of previous design information and understanding of the design solutions of the option. Literature, patents and standards were used as material in the literature review, and the design databases and documents were used in the study of previous information.

As a result of the thesis, six sub-results were obtained, which were used as initial data in the main result, i.e. design guidance, and at the planning guidance´s structure. The sub-results were the stages of product series development, definition of the basic design, option requirements, compiled previous design information, scalable help model and results of patent analysis. The main result of the work is a general instruction for planning the new size of the option. The design guidance is based on scaling the features and dependencies of the series basic design to a new size. The instructions do not deal with the detailed design of the option but guide the issues to be considered in dimensioning and functionality of the option's components. The guidance proceeds in the recommended dimensioning order of the components and tell how to avoid hydraulic phenomena that negatively affect the function of the option. Critical to the successful use of the guidance is following the design process and the correctness of the initial data.

The conducted research created a picture of the stages of product series design, the benefits of patent research and the design by reuse. The benefits of knowing these topics can be generalized more widely in designing and product development. In addition, the work provided information on various solutions for hydraulic load reliefing and surveyed competitors' patents. Thesis serves as a good basis for designing the new sizes of the option. By utilizing the design guidance and the collected previous design information, the design of the option is accelerated, and the option can be further developed.

Keywords: scalability, product series, design by reuse, patents, design guidance, hydraulic overload relief

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

ALKUSANAT

Diplomityö on ollut mielenkiintoinen yli puolen vuoden projekti, jossa olen oppinut paljon itseni johtamisesta ja periksiantamattomuudesta. Ajoittain työn punainen lanka oli hukassa, mutta lopulta työ aina eteni, vaikka epätoivonkaan hetkiltä ei vältytty. Työ myös mahdollisti ammatillisen kehittymisen ja syvällisen murskainten toimintaan paneutumisen. Kokonaisuutena olen tyytyväinen työhöni ja projektin antiin.

Kiitos työnantajayritykselle Metso Outotecille aiheen tarjoamisesta ja tuesta työn tekemiseen koko projektin aikana. Erityisesti haluan kiittää Jukka Jokirantaa, Joni Tattaria ja Jari Jonkkaa kommenteista ja tiedoista, jotka edistivät työtäni. Kiitos myös diplomityön ohjaajalle Timo Lehtoselle hyvistä vinkeistä ja työni ohjaamisesta.

Kuuden vuoden opiskelujakso yliopistossa on ollut hienoa aikaa, jona olen kokenut paljon ja tutustunut upeisiin ihmisiin. Kiitos M Ö H I N Ä, PerinneSeura, Koneenrakentajakilta ja KN2020 unohtumattomista hetkistä ja yhteisöllisyydestä. Opintosuoritusten lisäksi mukaan tarttui paljon muutakin arvokasta. Kiitos myös perheelleni tähänastisen elämän varrella saaduista opeista ja kannustuksesta opinnoissa. Lopuksi isoin kiitos Elinalle kaikessa tukemisesta ja työni oikoluvusta.

Tampereella, 14.9.2022

Ossi Laitinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
   1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite 1
   1.2 Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus 2
   1.3 Tutkimuksen rakenne ja tutkimusmenetelmät 3
   1.4 Metso Outotec ja Nordberg C-sarjan leukamurskaimet 5
2. SUUNNITTELUUN VAIKUTTAVA TEORIA 7
   2.1 Skaalautuvuus tuotesarjoissa 7
   2.2 Suunnitelmien uusiokäyttö 13
   2.3 Patenttien käyttö 17
      2.3.1 Patenttien sisältö 18
      2.3.2 Patenttien hyödyntäminen 20
3. SUUNNITELTAVAN OPTION TOIMINTA 23
   3.1 Leukamurskaimen toiminta 23
   3.2 Aktiivisen asetuksen säädön toiminta ja vaatimukset 26
      3.2.1 Toiminnan kuvaus 27
      3.2.2 Vaatimukset option toiminnalle 29
   3.3 Ratkaisut aikaisemmissa malleissa 33
   3.4 Patenttianalyysi leukamurskainten kuormanpurusta 35
4. SKAALAUTUVA SUUNNITTELUOHJEISTUS 44
   4.1 Lähtötiedot option suunnitteluun 44
   4.2 Mitoitettavat komponentit 46
      4.2.1 Hydraulisylinterit 46
      4.2.2 Paineenrajoitusventtiilit 51
      4.2.3 Hydrauliletkut ja -kanavat 53
      4.2.4 Hydraulitankit ja koneikko 55
      4.2.5 Muut komponentit 56
   4.3 Huomioitavat ilmiöt 58
   4.4 Skaalautuvan apumallin käyttö 60
   4.5 Option johdoskehitelmän suunnitteluprosessi 62
5. TULOKSET JA POHDINTA 63
   5.1 Tulokset 63
   5.2 Tutkimuskysymyksiin vastaaminen 65
   5.3 Työn arviointi 66
   5.4 Jatkotutkimusmahdollisuudet 68
6. YHTEENVETO 69
LÄHTEET 71
LIITE A: OPTION VAATIMUSTAULUKKO 75
LIITE B: MOODYN KÄYRÄSTÖ 76

LIITE C: OPTION SUUNNITTELUPROSESSI 77

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ASC	engl. Active setting control, aktiivinen asetuksen säätö, Metso Outotecin leukamurskainten optio
CSS	engl. Closed-side-setting, suljetun puolen asetus, leukamurskaimesta mitattava asetus
EPO	engl. European patent office, Euroopan patenttivirasto
OSS	engl. Open-side-setting, avoimen puolen asetus, leukamurskaimesta mitattava asetus
PRH	patentti- ja rekisterihallitus, Suomen kansallisia patentteja käsittelevä viranomainen
WIPO	engl. World Intellectual Property Organization, Maailman henkisen omaisuuden järjestö, Yhdistyneiden kansakuntien tekijänoikeuksia valvova erityisjärjestö

A_s	männän pinta-ala
A_{varsi}	männänvarren pinta-ala
B_n	nesteen puristuskerroin
D	hydraulinen halkaisija
$D_{välilet.}$	väliletkun halkaisija
D_s	sylinterin männän halkaisija
D_v	männänvarren halkaisija
E	materiaalin kimmokerroin
F_a	varolaitteen teoreettinen avautumisvoima
F_n	kriittinen nurjahdusvoima
I	jäyhyysmomentti
L	pituus
L_n	redusoitu pituus
n	pumpun kierrosnopeus
P	teho
p	paine
p_s	paine sylinterin männänpuoleisessa kammiossa
Q	tilavuusvirta
Re	Reynoldsin luku
s	männän siirtymä epäkeskoakselin iskusta
s_{isku}	sylinterin iskunpituus
$t_{ylik.}$	ylikuorman vaikutusaika mäntään kierroksessa
u	nesteen kinemaattinen viskositeetti
v	virtausnopeus
w	liikenopeus
V_0	nesteen tilavuus ennen paineenmuutosta
v_k	virtausnopeuden keskiarvo
V_k	pumpun kierrostilavuus
$V_{öljy}$	öljyn tilavuus
x_m	männän siirtymä
γ	painehäviön kitkavastuskerroin
δ	painehäviön kertavastuskerroin
ρ	tiheys
σ	jännitys
η_v	volumetrinen hyötysuhde

1. JOHDANTO

Tässä luvussa esitellään työn tausta, tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rakenne. Luvussa myös kerrotaan käytettävistä tutkimusmenetelmistä ja työn rajauksesta. Lisäksi esitellään työn toimeksiantaja ja tuoteperhe, jonka suunnitteluun työ liittyy.

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite

Tarve option suunnitteluohjeistukselle on syntynyt Metso Outotecin kivenmurskaustoimialan suunnittelussa ja tuotekehityksessä, kun on havaittu, että suunnittelutieto aktiivisen asetuksen säädön toteutuksesta on hajanaista ja puutteellista. Aktiivinen asetuksen säätö on optio, joka on mahdollista valita tiettyihin leukamurskainmalleihin. Näiden murskainmallien optioiden suunnitteluratkaisuja ja ratkaisujen syitä ei ole dokumentoitu kattavasti. Suunnitteluratkaisuissa on myös eroja, koska eri mallien ratkaisut on suunniteltu yksittäinen optio kerrallaan usean vuoden aikana. Lisäksi mallien kehityksestä on kulunut aikaa yli kymmenen vuotta, joten ihmisten muistissa olevat tiedot eivät ole enää luotettavia. Työn ensimmäisenä tavoitteena on kerätä olemassa olevien ratkaisujen syyt, option toiminnan parametrit ja tiedot kattavasti.

Olemassa olevan tiedon keräämisen ja selventämisen lisäksi työllä pyritään helpottamaan option suunnittelua tuoteperheen kookkaampiin malleihin, joihin optiota ei vielä ole saatavilla. Option tarjoaminen tuoteperheen isompiin malleihin on tulevaisuudessa ajankohtaista asiakkaiden kysynnän vuoksi. Asiakaskysynnän kasvua selittävät kierrätyksen ja kaivostoiminnan lisääntymisen megatrendit, koska option käyttökohteita ovat haastavat murskaustilanteet. Haastavissa murskaustilanteissa murskattavan materiaalin joukossa esiintyy kovia murskautumattomia objekteja. Tällaisiä tilanteita ovat rakennusteollisuuden jätteiden kierrätys, kuonan ja valimojätteen murskaus ja kaivostoiminta. Työn päätavoitteena on suunnitteluohjeistuksen luominen aktiiviselle asetuksen säädölle suunnittelutyön nopeuttamiseksi ja myös aiempien mallien parantamiseksi. Työn toimeksiantajan optiota ja kilpailijoiden ratkaisuja tutkittaessa työssä pyritään muodostamaan käsitys parhaasta mahdollisesta ratkaisusta option toteuttamiseksi. Käsitys parhaasta ratkaisusta tukee työn päätavoitetta. Työn tavoitteet pyritään saavuttamaan vastaamalla seuraavassa kappaleessa esiteltäviin tutkimuskysymyksiin.

1.2 Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus

Työn tavoitteiden saavuttamiseksi määritellään tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset, joihin työssä etsitään ratkaisuja. Tutkimuksen onnistumisen kannalta on tärkeää rajata tutkimusta, jotta keskitytään oleellisimpiin asioihin ja työn laajuus ei kasva liian suureksi suhteessa käytettävään aikaan.

Tutkimusongelman määrittelemiseksi tulee ymmärtää, mitä suunniteltavalta optiolta vaaditaan ja mitkä ovat sen keskeiset toiminnot. Aktiivisen asetuksen säädön toimintaan tutustumisen jälkeen määriteltiin tutkimusongelmaksi option skaalaaminen uusiin malleihin teknisesti toimivasti. Tekninen toimivuus on asiakkaalle tärkeää, koska kyseessä on kallis prosessikone, jonka tulee olla toimintavarma prosessin jatkuvuuden ja tehokkuuden takaamiseksi. Teknisen toimivuuden lisäksi pyritään samalla kustannustehokkuuteen hyödyntämällä mahdollisimman paljon olemassa olevaa tietotaitoa ja komponentteja. Kustannustehokkuuden huomioimisella tuotetaan arvoa niin työn toimeksiantajalle kuin koko laitteen arvoketjulle. Kustannukset tarkoittavat tässä työssä koko laitteen elinkaaren kustannuksia.

Tutkimusongelman pohjalta määriteltiin seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Mitä suunnitteluohjeistuksen tulee sisältää, jotta skaalautuvuuden hyödyt saavutetaan?
2. Millaisia vaatimuksia optiolle on?
3. Mitä hyötyjä patentteja ja aikaisempia ratkaisuja tutkimalla voidaan saavuttaa suunnittelussa?

Päätutkimuskysymys on kysymys numero yksi, johon vastataan skaalautuvuuden teorian ja käytettävissä olevan aiemman suunnittelutiedon avulla. Alatutkimuskysymykset pyrkivät tuomaan lisää pohjaa suunnitteluohjeistuksen luomiselle ja siinä huomioitaville parametreille. Kysymyksiin vastataan kirjallisuutta, haastatteluita ja kilpailijakartoitusta hyväksikäyttäen.

Tutkimuksessa keskitytään aktiivisen asetuksen säädön mekaaniseen ja hydrauliseen toimintaan. Tutkimuksen ulkopuolelle rajautuu tällöin option suunnittelun vaatima automaatiosuunnittelu ja lujuusopillinen tarkastelu. Lisäksi tutkimuksessa kustannustehokkuutta käsitellään periaatteellisella tasolla ja siihen pyritään pääasiassa suunnittelemalla optio mahdollisimman kestäväksi ja samojen komponenttien käytöllä. Periaatteellisella tasolla pysyttäessä valmistuskustannuksia ei esimerkiksi vertailla tuotesarjan eri kokojen välillä.

1.3 Tutkimuksen rakenne ja tutkimusmenetelmät

Tämä diplomityö jakaantuu kuuteen päälukuun. Työ koostuu johdannosta, suunnitteluun vaikuttavasta teoriasta, suunniteltavan option toiminnan kuvauksesta, suunnitteluohjeistuksen luomisesta, tuloksista ja yhteenvedosta. Työn tarkoitus on esitellä suunnitteluohjeistuksen luominen option parametrien mitoituksen avulla. Tarvittavat pohjatiedot ohjeistuksen muodostamiseen esitetään teorianluvun kirjallisuuskatsauksessa ja option toiminnan kuvaus-luvussa.

Johdanto -luku päätetään yrityksen ja leukamurskaintuoteperheen esittelyllä. Osuuden tarkoitus on esitellä, millaisessa ympäristössä ja toimialalla suunnitteluohjeistuksessa käsiteltävä optio toimii. Tutkimusta kuvaavan johdannon jälkeen siirrytään kirjallisuustutkimukseen luvussa 2. Kirjallisuusosuudessa selvitetään mitkä tekijät vaikuttavat suunnitteluohjeistuksen taustallla. Luku 2 käsittelee kolmea aihetta: skaalautuvuus tuotesarjoissa, suunnitelmien uusiokäyttö ja patenttien hyödyntäminen.

Kirjallisuuskatsauksen jälkeen luvussa 3 käsitellään option toimintaa ja vaatimuksia. Luvun aluksi esitellään leukamurskaimen toimintaperiaatetta ja rakennetta. Toiminnan perusperiaatteen esittelyn jälkeen siirrytään kuvamaan option toimintaa osana murskainta. Optiosta käydään läpi eri käyttötilanteet ja -tarkoitukset, vaatimukset ja aikaisempien ratkaisujen erot. Option toiminnan kuvauksen lisäksi luvussa 3 tarkastellaan aiheeseen liittyviä patentteja ja kilpailijoiden ratkaisuja.

Kun pohjatiedot suunnitteluohjeistuksen muodostamiseksi on kerätty, luvussa 4 esitellään suunnitteluohjeistus option uudelle koolle. Luvussa käydään läpi option suunnitteluprosessi siinä mitoitettavien komponenttien kautta. Lisäksi luvussa käsitellään huomioitavia fysikaalisia ilmiöitä ja esitellään suunnittelun avuksi luotu apumalli. Luvun tarkoitus on muodostaa työn lukijalle tietämys, jonka avulla option suunnittelu uusiin konemalleihin onnistuu sujuvasti.

Luvussa 5 eli tuloksissa kootaan yhteen työssä saavutetut tulokset ja arvioidaan työn tavoitteiden täyttymistä. Oleellista luvussa on tutkimuskysymyksiin vastaaminen selkeästi. Luvussa myös pohditaan mahdollisia jatkokehitysmahdollisuuksia ja työn tuottamaa uutuusarvoa. Tuloksien jälkeen on työn viimeinen osuus yhteenveto.

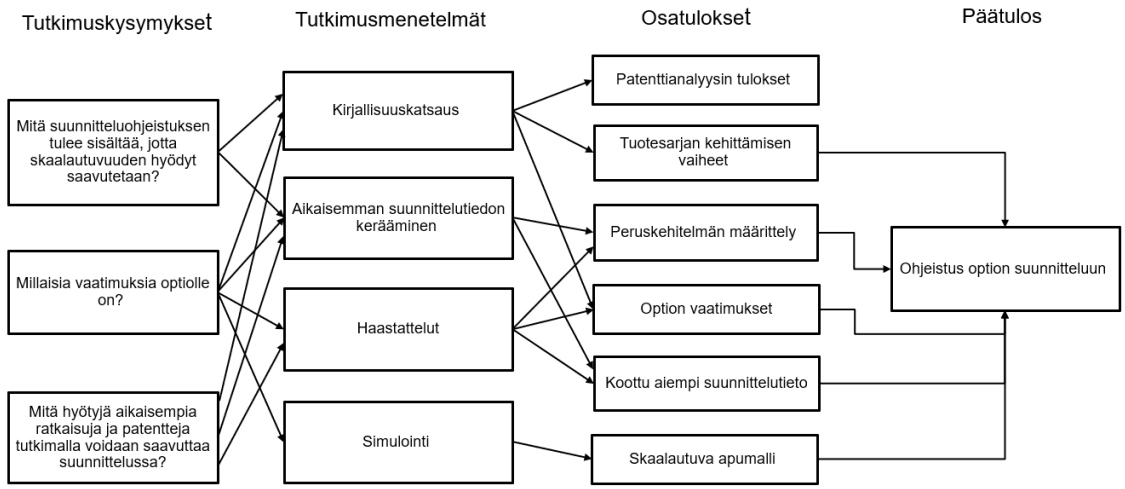
Työn tutkimusmenetelmiä ovat kirjallisuuskatsaus, simulointi, aikaisemman suunnittelutiedon keräys ja haastattelut. Ylätason tutkimustapana työssä on konstruktiivinen tutkimustapa, jossa oleellista on ratkaisun etsiminen ongelmaan tutkimuksen avulla. Konstruktiivinen tutkimusprosessi rakentuu vaiheista, jotka ovat tutkimusongelman määrittely, tiedon etsiminen, ratkaisun laatiminen, ratkaisun testaus ja ratkaisun teoriakytkentöjen osoittaminen. (Eskelinen & Karsikas, 2014; Ojasalo,

Moilanen & Ritalahti, 2015) Konstruktiivista tutkimusta toteutetaan valituilla tutkimusmenetelmillä ratkaisun eli suunnitteluohjeistuksen luomiseksi (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, 2015). Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään kolmea suunnitteluun liittyvää teoriaa, jotka on valittu tutkimuskysymysten pohjalta. Kirjallisuuskatsauksen aineistona ovat kirjat, artikkelit, patentit ja muut julkaisut. Lisäksi kirjallisuuskatsausta käytetään option turvallisuusvaatimusten selvittämiseen.

Haastatteluilla kerätään empiirisiä havaintoja ja taustatietoja suunniteltavasta optiosta. Haastatteluilla tutkimuksessa saadaan myös tietoa option aiempien toteutustapojen eroista ja muodostetaan osaltaan kuva parhaasta ratkaisusta option toteuttamiseen. Haastattelut toteutetaan puolistrukturoituina ja haastateltavat ovat työn toimeksiantajan työntekijöitä. Haastattelujen lisäksi aikasempaa suunnittelutietoa option toiminnasta ja kehityksestä on kerätty yhtiön sisäisistä tietokannoista ja epävirallisilla keskusteluilla asiakkaiden kanssa.

Tutkimusmenetelmänä simulointia käytetään CAD-apumallin rakentamiseen ja mitoitusparametrien selvittämiseen. Siemens NX-ohjelmalla tehdyllä CAD-apumallilla työssä tutkitaan optiota toimintaympäristössään. Skaalautuvalla apumallilla havainnoidaan option vaatimia tilavarauksia ja mitoitusparametrien toimivuutta tuoteperheen konemalleissa.

Konstruktiivisen tutkimusprosessin mukaisesti työssä pyritään löytämään ratkaisu määriteltyyn ongelmaan. Ongelmanratkaisua suoritetaan kuvassa 1 esiteltävän tutkimusrakenteen mukaisesti.



Kuva 1. *Työn tutkimusrakenne*

Työhön valituilla tutkimusmenelmillä etsitään vastauksia tutkimuskysymyksiin ja samalla saavutetaan kuusi osatulosta. Viiden osatuloksen avulla muodostetaan työn päätavoitteen mukainen ohjeistus option suunnitteluun.

1.4 Metso Outotec ja Nordberg C-sarjan leukamurskaimet

Metso Outotec Oy syntyi 1.7.2020 Metso Oyj:n Minerals-liiketoiminnan ja Outotec Oyj:n yhdistyessä. Yhdistymisen myötä muodostunut yritys on kestävää kehitystä edistävien teknologioiden sekä kokonaisvaltaisten ratkaisujen globaali tarjoaja mineraalienkäsittelyssä, kiviaineksen prosessoinnissa ja metallinjalostuksessa. Metso Outotec toimii yli 50 maassa työllistäen yli 15600 työntekijää ja on alansa johtavia teollisuusyrityksiä. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Suomessa ja sen liikevaihto oli vuonna 2021 noin 4,2 miljardia. Yhtiön organisaatio muodostuu seuraavasta viidestä liiketoiminta-alueesta:

1. Kivenmurskaus, sisältäen seulonta- ja murskauslaitteet kivimurskan tuotantoon ja käsittelyyn
2. Mineraalit, sisältäen kaivosteollisuuden laitteet ja ratkaisut mineraalinkäsittelyyn
3. Metallit, sisältäen ratkaisut metallinjalostukseen ja kemialliseen prosessointiin
4. Palvelut, joka tarjoaa varaosia ja kunnostus- ja huoltopalveluja asiakkaille
5. Kulutusosat, joka tarjoaa kulutusosia prosessilaitteisiin (Metso Outotec Oy, 2022).

Liiketoiminta-alueet vastaavat oman liiketoimintansa kaikista prosesseista, kuten tilauksista ja myynnistä. Palvelu- ja kulutusosaliiketoiminta-alueet ovat merkittävä osa koko yhtiön toimintaa, koska niiden osuus koko liikevaihdosta on noin puolet. Nämä liiketoiminta-alueet palvelevat kaikkia kivenmurskaus-, mineraali- ja kaivosalan asiakkaita.

Metso Outotecin Tampereen yksikkö on yksi yhtiön tärkeimmistä osaamiskeskuksista ja se työllistää noin 870 henkeä. Yksikkö on keskittynyt kiviainesalan seuloihin ja murskaimiin. Tampereen tehtaalla valmistetaan leuka- ja karamurskaimia sekä tela-alustaisia murskaus- ja seulalaitoksia. Tehtaan lisäksi Tampereella sijaitsee Euroopan logistiikkakeskus, suunnittelukonttori, tutkimuskeskus ja muita merkittäviä toimintoja. (Metso Outotec, 2022c)

Nordberg C-sarjan leukamurskaimet ovat Metso Outotecin leukamurskaintuoteperhe, jota käytetään tyypillisesti kovien materiaalien esimurskaukseen kiviainessovelluksissa ja kaivoksilla. Tuoteperheen valmistus on aloitettu jo yli 40 vuotta sitten ja tällä hetkellä mallisto kattaa yhdeksän eri mallia. Mallit eroavat toisistaan lähinnä kokoluokassa ja saatavissa optioissa, murskausperiaatteen ollessa sama. Kuvassa 2 on kiinteästi asennettu C-sarjan malli Norberg C130.

Kuva 2. *Nordberg C130-leukamurskain (Metso Outotec, 2022b)*

C-sarjan mallien nimeäminen perustuu murskaimen kita-aukon leveyteen. Joten sarjan pienimmässä murskaimessa C80:ssa leveys on noin 800 mm ja isoimmassa C200:ssa noin 2000 mm. C-sarjan leukamurskaimia käytetään niin kiinteinä laitoksina kuin osana tela- ja pyöräalustaisia liikuteltavia murskauslaitoksia. C-sarjan murskaimia on toimitettu jo yli 11 000 kappaletta ja mallisarjaa kehitellään edelleen. (Metso Outotec, 2022b)

2. SUUNNITTELUUN VAIKUTTAVA TEORIA

Tässä luvussa käsitellään suunnitteluun vaikuttavia teorioita kirjallisuuskatsauksen avulla. Kirjallisuuskatsauksella etsitään pohjatietoa tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Työssä huomioitavia teorioita ovat skaalautuvuus tuotesarjoissa, suunnitelmien uusiokäyttö (engl. Design reuse) ja patenttien käyttö suunnittelussa.

2.1 Skaalautuvuus tuotesarjoissa

Skaalautuvuus tarkoittaa jonkun ominaisuuden, laitteen, prosessin tai järjestelmän kykyä mukautua. Mukautuminen voi tapahtua samassa tai eri suhteessa kuin mukautumisen tarpeen aiheuttava ulkoinen muutos. Mukautuminen voi olla siis lineaarista, käänteistä tai eksponentiaalista vaaditun tilanteen ja muutoksen nopeuden mukaan. Objektin skaalautuvuus lisää sen käyttömahdollisuuksia eri tilanteissa.

Skaalautuvuuden termiä käytetään laajasti erilaisissa ympäristöissä, kuten ohjelmistoissa, liiketoiminnassa ja valmistusjärjestelmissä. Skaalautuvuudesta onkin tullut perustavanlaatuinen ominaisuusvaatimus niin laitteissa kuin järjestelmissä. Vaikka skaalautuvuus on odotettu ominaisuus, termin merkitys ja skaalautuvuuteen vaikuttavat tekijät ovat useimmille ammattilaisillekin epäselvät. Koska vaikuttavia tekijöitä ei tiedetä, ei myöskään osata välttää skaalautuvuutta huonontavia ratkaisuja. (Bondi, 2000) Usein termiä käytetäänkin sen vaatimuksia tarkemmin määrittelemättä.

Skaalautuvuus voidaan jakaa erilaisiin tyyppeihin. Bondi (2000) määrittelee neljäksi päätyypiksi kuorman, laajuuden, rakenteellisuuden ja yhtäaikaisesti ajan sekä laajuuden suhteen skaalautuvuuden. Kuorman suhteen mukautuvalla järjestelmällä tai laitteella on kyky toimia sulavasti kasvavan kuormituksen alaisena. Kuormituksen ei tulisi aiheuttaa epätoivottua viivettä toiminnassa tai merkittävää epätehokkuutta resurssien käytössä. Laajuudellinen skaalautuvuus kuvaa järjestelmän kyvykkyyttä mukautua määrällisiin muutoksiin. Kävijä- tai käyttäjämäärän kasvu on esimerkki määrällisestä muutoksesta. Rakenteellisessa skaalautuvuudessa rakenteen rajoja, geometriaa tai mittoja mukautetaan tarpeen mukaan. Rakenteellinen mukautuminen havainnollistaa mm. geometristä säädettävyyttä käyttötilanteen mukaan. Skaalautuvuudessa samanaikaisesti ajan ja laajuuden suhteen määrälliseen mukautumiseen lisätään aikaulottuvuus. Tällöin käyttäjämäärän lisäksi objektin tulee mukautua käyttäjien erilaisiin käyttöaikoihin. Skaalautuvuuden tyypit ovat limittäisiä ja vaadittu mukautuminen voi vaatia samanaikaisesti usean tyyppistä mukautumista. (Bondi, 2000)

Yleisesti skaalautuvuudella saavutetaan merkittäviä hyötyjä. Kyky skaalautua lisää monikäyttöisyyttä ja laatua, nopeuttaa toimintojen ja prosessien vasteaikaa sekä säästää ajallisia, taloudellisia ja muita käytettäviä resursseja. (Spicer, Yip-Hoi & Koren, 2005; Grijota, Acero & Yagüe-Fabra, 2021)

Skaalautuvuuden hyödyt ovat ilmeiset, joten sen puute suurimmassa osassa tapauksia aiheuttaa ongelmia. Skaalautuvuus ei ole merkittävä vaatimus tilanteissa, joissa järjestelmä tai laite on määritelty vain yhteen ja aina samanlaiseen käyttötapaukseen. Tällöin skaalautuvuuden suunnitteluun ei ole tarpeen käyttää resursseja. Mukautumiskyvyn puute voi aiheuttaa huonoa suorituskykyä, turhaa uudelleensuunnittelua tai epätoivottua päällekkäisyyttä (Bondi, 2000). Huonoa suorituskykyä on muun muassa laitteen heikko säädettävyys, jolloin sitä pystytään käyttämään vain kapeasti rajatussa käyttökohteessa. Tässä tapauksessa käyttökohteen muuttuminen pakottaa käyttäjän hankkimaan uuden laitteen. Turhaa uudelleensuunnittelua ja päällekkäisyyksiä esiintyy esimerkiksi puutteellisesti suunnitelluissa tuotesarjoissa. Tällöin suunnitteluratkaisuja tai komponentteja voidaan joutua muokkaamaan tuotesarjan sisällä paljonkin. Tällainen uudelleensuunnittelu kuluttaa huomattavasti resursseja tai voi aiheuttaa ongelmia itse tuotteessa, jos ominaisuudet tai komponenttien toiminta tuotesarjan tuotteiden välillä eroavat merkittävästi.

Konesuunnittelussa ja tuotekehityksessä termiä skaalautuvuus ei juurikaan käytetä, mutta silti skaalautuvuutta tavoitellaan. Koneiden suunnittelussa ja kehityksessä skaalautuvuuden etuja haetaankin erilaisilla suunnitteluperiaatteilla ja -prosesseilla.

Tuotesarjoissa (engl. size-ranges) skaalautuvuuteen pyritään suunnittelemalla sarjan tuotteet mukautumaan vaadittuihin koon tai ominaisuuksien muutoksiin. Tuotesarjoilla tarkoitetaan sarjaa koneita, koneiden osakokonaisuuksia tai erillisiä osia, jotka ovat käytettävissä laajalla alueella mitattavaa parametria. Yhteistä tuotesarjaan kuuluvilla tuotteilla on Pahlin et al. (2013, s. 464) mukaan:

- sama toiminto
- sama ratkaisu
- valmistus useina kokoina ja
- valmistus mahdollisimman samalla tavalla.

Tuotesarjan suunnittelu voidaan aloittaa tyhjästä tai suunnittelun lähtökohtana voi olla olemassa oleva tuote. Kummassakin tilanteessa tuotesarjan suunnittelu lähtee liikkeelle peruskehitelmän eli ns. perusmallin suunnittelusta tai määrittelystä. Perusmalli tarkoittaa

tiettyä tulevan tuotesarjan rakennekokoa, jonka suunnittelun vaatimat lähtötiedot ovat selvillä. Tuotesarjan suunnittelu aloitetaan siis suunnittelemalla yksittäinen tuote, josta loput tuotesarjan jäsenet myöhemmin suunnitteluprosessissa johdetaan. (Mueller, 2011; Pahl et al., 2013 s. 465-466)

Tuotesarjan kehitysprosessissa on Pahlin et al. (2013 s. 493-494) mukaan kuusi vaihetta:

1. peruskehitelmän suunnittelu
2. teknis-fyysisten riippuvuuksien määrittely yhtäläisyyslakien avulla
3. tuotesarjan laajuuden ja kokoporrastuksen määrittely
4. kehitetyn tuotesarjan tarkastus ja muokkaaminen tarvittaessa
5. tuotesarjan johdoskehitelmien viimeistely ja
6. tarvittavien asiakirjojen tekeminen.

Ensimmäisessä vaiheessa suunniteltavan peruskehitelmän tulee täyttää suunnitteluvaatimukset ja suunnittelussa tulee huomioida erityisesti suunnittelupiirteet, joita sarjan tuotteissa skaalataan. Jos peruskehitelmää määritetään olemassa olevasta tuotteesta, sitä on tarkasteltava kriittisesti ja muokattava tarvittaessa. Yksittäisratkaisuksi suunniteltu tuote voi sisältää piirteitä, jotka tekevät tuotteesta vaikeasti skaalattavan tai vaativat päivitystä. Peruskehitelmän suunnittelun valmistumisen jälkeen määritellään tuotteen suunnittelupiirteiden ja vaadittujen ominaisuuksien väliset riippuvuudet eli yhtäläisyyslait. Peruskehitelmästä kehitetään yhtäläisyyslakien avulla loput mallit, joita kutsutaan johdoskehitelmiksi. (Pahl et al., 2013, s. 494)

Yhtäläisyys tarkoittaa ainakin yhteen fysikaaliseen suureeseen liittyvien suhteiden pysymistä vakiona peruskehitelmän ja johdoskehitelmien välillä. Yhteen mitattavaan suureeseen liittyviä perusyhtäläisyyksiä ovat esimerkiksi geometrinen, voimallinen, ajallinen ja sähköinen yhtäläisyys. Jos useampi perussuureiden suhteista on vakioita samanaikaisesti, kyseessä on erityinen yhtäläisyys ja siitä voidaan johtaa mallilaki. Erityisiä yhtäläisyyksiä ovat kinemaattinen, staattinen, dynaaminen ja terminen yhtäläisyys. Kinemaattista ja staattista yhtäläisyyttä vastaa Hooken eli suhteellisen kimmovoiman laki. Hooken lain mukaan rakenteen muodonmuutos on suoraan verrannollinen rakenteeseen vaikuttavaan voimaan, eli kahden perussuureen pituuden ja voiman välillä on vakiona pysyvä suhde. Dynaamisesta yhtäläisyydestä seuraa monia fysikaalisia peruslakeja, kuten Newtonin lait ja hitausvoiman pysyvyys sekä hitausvoiman ja kitkavoiman suhde. Termistä yhtäläisyyttä on esimerkiksi lämpömäärän johtuminen suhteessa materiaalin paksuuteen. Mallilakien tunnistamisen avulla

pystytään määräämään fysikaaliset riippuvuudet tuotesarjan uusille ko´oille ja aloittamaan tarvittavien kokojen suunnittelu. (Pahl et al., 2013, 466-467)

Taloudellisesti ja teknisesti toimivan tuotesarjan suunnittelu edellyttää sarjan osien täsmällistä ja tieteellistä määrittelyä (Malakov, Zaharinov & Tzenov, 2015). Ennen perusmallista periytyvien johdoskehitelmien tarkempaa suunnittelua on määritettävä tuotesarjan laajuus ja porrastus. Tuotesarjojen kokojen porrastamiseen on useita menetelmiä, niin matemaattiseen analyysia käyttäviä kuin aiempaan tietotaitoon perustuvia. Jos tuote tehdään osaksi isompaa kokoonpanoa tai tuoteperhettä, porrastaminen voi periytyä suoraan ylempien tasojen kokoluokista. (Pahl et al., 2013, s. 473-475)

Tuotesarjan laajuuden määrittely on Malakovin et al. (2015) mukaan haaste, jossa ongelmana on muodostaa kompromissi tuotteiden vaatimusten ja määrän välillä. Tuotesarjan koon määrittely on samanaikaisesti tekninen ja taloudellinen ongelma. Tuotteiden tulee tuottaa riittävästi arvoa sekä valmistajalle että käyttäjälle. Laajan tuotesarjan valmistuksessa on riskinä, että jonkun tuotekoon valmistus ei ole taloudellisesti kannattavaa. Kuitenkin tuotesarjan tulee sisältää riittävän monta mallia, jotta asiakkaat kokevat vaatimustensa täyttyvän eri tarpeissa. Ajan kuluessa tuotesarjat usein kehittyvät muuttuvien asiakasvaatimusten ja -segmenttien vaikutuksesta. Kehittyminen tarkoittaa useimmiten uusien kokojen lisäämistä sarjaan, mikä aiheuttaa sarjan laajuuden kasvua, jos vähemmän kysyttyjä kokoja ei poisteta tarjoomasta.

Tuotesarjan ei ole taloudellisesti kannattavaa olla liian laaja, joten sarjan kehittäjän on etsittävä optimaalista ratkaisua sarjan koolle. Tuotesarjan laajuus lisää sekä suoria että epäsuoria kustannuksia. (Ginsburg, Börjesson & Erixon, 2004) Artikkelissaan Mueller (2011) toteaa, että optimaaliset päätökset tuotesarjan ominaisuuksiin ja laajuuteen ovat mahdollisia, jos riittävän aikaisin on käytössä malli, jolla arvioida päätösten kustannusvaikutuksia. Tällöin suunnittelupäätöksiä tehdessä huomioidaan teknisen toimivuuden lisäksi mm. suunnittelupiirteiden valmistuskustannukset ja uudentyyppisen ratkaisun käyttöönottoon kuluvat resurssit.

Tuotesarjan laajuuden alustavan määrittelyn jälkeen siirrytään kokojen porrastamiseen tuotesarjan sisällä. Porrastaminen tapahtuu pienimmän ja suurimman tarvittavan koon väliin markkinoiden tarpeen mukaan tasaisesti vakiovälein tai epätasaisemmin. Tuotesarjan kokoporrastuksen edellytyksenä on riittävä tieto markkinoiden menekistä, valmistuskustannuksista ja toiminnallisuusvaatimuksista eri kokoportaille tai käyttöalueille (Pahl et al., 2013, s. 473). Kokojen porrastuksessa on kyseessä samantyyppinen teknis-taloudellisen kompromissin etsintä kuin laajuuden

määrittelyssäkin. Optimaalinen kokoporrastus syntyy kaikki osatekijät huomioimalla. Teknisesti ja asiakkaiden kaikkien mahdollisten vaatimusten täyttämiseksi optimaalisinta olisi tuotesarja pienillä tasaporrastuksilla, mutta kustannusten ja menekin huomioimisen myötä tuotesarjoista muodostuu usein suppeampia ja epätasaisesti porrastettuja. Kysynnän kasvu mahdollistaa tuotesarjan kokoporrastuksen muuttamisen hienojakoisemmaksi myöhemmin. Tuotesarjan porrastamisessa johdoskehitelmillä määrääviä ovat aiemmin peruskehitelmästä määritellyt riippuvuussuhteet. Porrastuksen määrittämiseen vaikuttaa myös tuotesarjan geometrinen yhtäläisyys tai sitä rajoittavat tekijät.

Tuotesarjan alle kuuluvat laitteet voivat olla keskenään geometrisesti yhtäläisiä tai puoliyhtäläisiä. Tämän mukaan sarjoja kutsutaan joko yhtäläisiksi tai puoliyhtäläisiksi. Geometrisesti yhtäläisessä tuotesarjassa tuotteen mitat muuttuvat samassa suhteessa koko sarjassa. Puoliyhtäläinen sarja eroaa yhtäläisestä siten, että sen eri suureiden väliset suhteet eivät pysy vakiona sarjan eri kokojen välillä. Tuotesarjojen puoliyhtäläisyyttä aiheuttaa tuotteiden monimutkaisuus ja hallitsevat vaatimukset. Hallitsevat vaatimukset voivat syntyä tehtävänasettelusta, taloudellisen valmistuksen vaatimuksista tai hallitsevista yhtäläisyyslaeista. (Mueller, 2011; Pahl et al., 2013, s. 481)

Hallitsevassa tehtävänasettelussa tuotteen ominaisuudet sisältävät ehtoja, jotka eivät ole yhteensopivia yhtäläisyyslakien kanssa. Hallitseva tehtävänasettelu on mm. tilarajoitus, joka estää tuotteen dimensioiden kasvattamisen tietyssä suunnassa jonkin rajan jälkeen. Hallitsevaa tehtävänasettelua on myös tyypillisesti tuotteen käytön ergonomiset vaatimukset, kuten käyttökorkeus tai ohjainlaitteiden sijoittelu. Ihmisen fysiologiset rajat pakottavat mitoittamaan laitteiden käyttölaitteet tietylle mitta-alueelle. (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2017)

Hallitsevat yhtäläisyyslait ovat fysikaalisia lakeja, joiden riippuvuudet eivät pysy voimassa koko tuotesarjan laajuudella. Tällainen yhtäläisyyslaki on esimerkiksi putken painehäviön riippuvuus virtausnopeudesta, jossa virtauksen muuttuessa laminaarista turbulentiksi painehäviön kasvu suhteessa nopeuden kasvuun lisääntyy merkittävästi. Hallitsevat yhtäläisyyslait voivat liittyä myös mm. termisiin tapahtumiin tai painovoimaan.

Taloudellisen valmistuksen hallitsevat vaatimukset aiheuttavat tuotesarjoihin geometristä puoliyhtäläisyyttä vaatimalla kustannusten huomiointia. Taloudellisen valmistuksen vaatimukset voivat liittyä niin taloudellisesti edullisen valmistettavuuden rajoitteisiin mitoituksessa kuin komponenttien valintaan. Hallitseva taloudellinen vaatimus voi olla mm. saman komponenttikoon käyttö tietyissä sarjan tuotteissa. (Pahl et al., 2013, s. 484) Tällöin esimerkiksi laitteen rungon kasvaessa pienemmällä

porrastuksella rungon kiinnityskomponenttien mitat kasvavat karkeammin, jotta samoja kiinnitysosia pystytään käyttämään useissa tuotesarjan tuotteissa. Jotta valmistus olisi taloudellisesti kannattavaa, valmistajat suosivat yleisesti standardisoituja osakokoja ja helposti saatavilla olevia kaupallisia komponentteja.

Tuotesarjaa kehittäessään suunnittelijan tulisi tunnistaa mahdolliset hallitsevat vaatimukset ja huomioida niiden vaikutukset tuotesarjan yhtäläisyydelle. Tuotesarjan sisältäessä paljon vaatimuksia on todennäköistä, että jotkut niistä ovat hallitsevia ja tuotesarja tulee täten suunnitella puoliyhtäläiseksi. Hallitsevat vaatimukset ovat toiminnan kannalta oleellisimpia, joten ne täyttämällä saavutetaan paras mahdollinen kokonaishyöty. Kaikkia vaatimuksia saadaan vain harvoin täytettyä optimaalisesti.

Suunnitteluvaatimusten täyttämisen arviointi on tärkeä vaihe tuotesarjan kehittämisessä ja se tehdään tuotesarjan tarkastamisen yhteydessä. Jos havaitaan, että vaatimusten mukaisuudessa on puutteita, tuotesarjaa on vielä mahdollista muokata. Pahlin et al. (2013, s. 494) mukaan tarkistus ja mahdolliset muokkaukset tulee tehdä ennen kuin johdoskehitelmät viimeistellään eli suunnitellaan valmiiksi. Näin vältetään turhaa uudelleensuunnittelua ja säästetään aikaa. Tuotesarjaa muokataan ja tarkastetaan tarpeen mukaan useasti, kunnes saavutetaan taso, johon ollaan tyytyväisiä. Tämän jälkeen suoritetaan tuotesarjojen kehittämisen kaksi viimeistä vaihetta eli viimeistellään johdoskehitelmät ja tehdään tarvittavat asiakirjat tuotesarjalle.

Huolellisesti kehitetyllä tuotesarjalla tuotetaan etua sekä tuotesarjan valmistajalle että käyttäjälle. Tuotesarjan valmistaja voi nopeuttaa suunnittelua tekemällä suunnittelutyön kerralla useille tuotteille. Suunnitelma saadaan tällöin mukautumaan erilaisiin tarpeisiin. (Grijota, Acero & Yagüe-Fabra, 2021) Onnistuneet tuotesarjat lisäävät tuotannon kannattavuutta ja nopeutta, koska tuotesarjojen tuotteita voidaan tuottaa tietyn kokoisina kustannustehokkaina erinä ja samoin menetelmin. Tuotesarjan ominaisuuksista seuraava toisteisuus koko valmistusprosessissa helpottaa halutun laatutason saavuttamista. Tuotesarjan käyttäjä hyötyy myös tuotesarjojen laadusta ja nopeammasta tuotannosta. Tuotesarjan yhteiset suunnittelupiirteet ja komponentit parantavat varaosien saatavuutta, mikä hyödyttää käyttäjää. Valmistajan kannattavuus mahdollistaa alemman myyntihinnan käyttäjälle. Käyttäjä saa tuotesarjasta hyötyä, vaikka hankkisikin vain yhden tuotesarjaan kuuluvan tuotteen. (Pahl et al., 2013, s. 465)

Tuotesarjojen valmistus ja suunnittelu sisältää luonnollisesti hyötyjen lisäksi haasteita. Tuotesarjan suunnittelussa tehdyt virheet aiheuttavat laajuudeltaan isompia ongelmia ja riskejä kuin yksittäisen tuotteen. Tuotesarjan kokojen porrastamisen ja vaatimusten aiheuttamien kompromissien vuoksi tuotteen ominaisuudet eivät ole aina vastaa

optimaalisesti käyttötarpeita. Modulaarisen tuotesuunnittelun yleistymisen seurauksena tuotesarjojen osat ovat usein moduuleita erilaisiin käyttötilanteisiin. Modulaarisuus lisää haasteita varsinkin toimivan peruskehitelmän määrittämiselle. Tuotesarjan suunnittelu aiheuttaa enemmän alkuinvestointeja kuin yksittäisten tuotteiden sen laajuuden ja useampien huomioitavien tekijöiden vuoksi. Teknis-taloudellisesti onnistuneen sarjan toteuttaminen onkin haaste koko suunnittelu- ja valmistusorganisaatiolle. (Malakov, Zaharinov & Tzenov, 2015)

Skaalautuvuudella ja tuotesarjojen suunnittelulla pyritään molemmilla vastaamaan käyttötarpeiden muutoksiin. Kyky skaalautua on tuotesarjalta haluttava ominaisuus, joka mahdollistaa uusien tuotteiden suunnittelun osaksi sarjaa. Mukautumiskyky vähentää myös tuotesarjassa tarvittavien kokoportaiden määrää yksittäisen tuotteen tapauksessa. Skaalautumisen mahdollistaminen tulee huomioida peruskehitelmän suunnitteluvaihtoehtoja vertaillessa. Peruskehitelmän kyky skaalautua mahdollistaa osaltaan onnistuneen tuotesarjan suunnittelun ja hyötyjen realisoitumisen.

2.2 Suunnitelmien uusiokäyttö

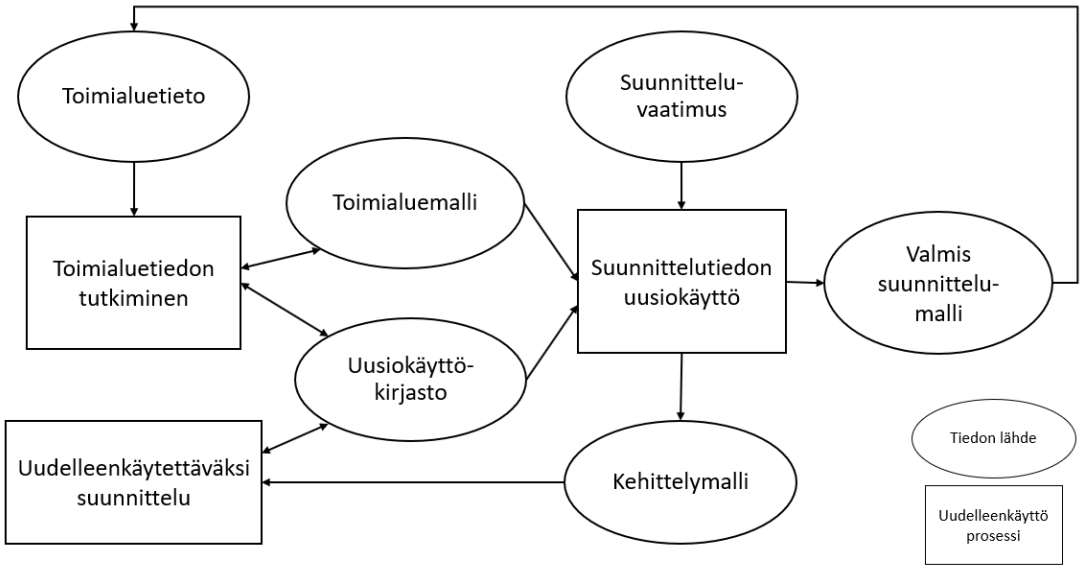
Englanninkielinen käsite *Design reuse* on merkitykseltään laaja. Termi voidaan jakaa kahteen määritelmään: suunnitteluun uusiokäytön avulla (engl. design by reuse) ja uudelleenkäytettäväksi suunnitteluun (engl. design for reuse). Kummassakin määritelmässä haetaan uutta taloudellista hyötyä menneisyydessä jo käytetyistä resursseista. Suunnitelmien uusiokäyttö ja tuotteiden uudelleenkäyttö on mahdollista vain, jos on resursseja, joita käyttää uudestaan. (Duffy, MacCallun & Duffy, 1995)

Suunnittelussa uusiokäytön avulla hyödynnetään olemassa olevia komponentteja, suunnittelupiirteitä, konsepteja ja suunnittelutietoa uuden laitteen suunnitteluun. Suunnittelutiedon uusiokäyttö mahdollistetaan varastoimalla aiempi suunnittelutieto ja pitämällä tiedot ajantasaisena. Termin toisessa määritelmässä, uudelleenkäytettäväksi suunnittelussa kiinnitetään huomiota tuotteen elinkaaren lopun käyttömahdollisuuksiin. Tällöin suunnitellaan tuote mahdollisimman hyvin uusiin käyttötilanteisiin mukautuvaksi tai muokattavaksi. (Duffy, MacCallun & Duffy, 1995; Pakkanen et al., 2016) Uudelleenkäytettäväksi suunnitteluun käytetään resursseja erityisesti, kun tuotteen elinkaaren lopun jäännösarvo on suuri tai tuotteen valmistamiseen kuluu paljon resursseja. Kiertotalousajattelun ja luonnonvarojen kierrättämisen lisääntymisen myötä uudelleenkäytettäväksi suunnittelu on yleistynyt valmistavassa teollisuudessa.

Suunnitelmien uusiokäyttö on monitasoinen prosessi, jossa etsitään menneisyydestä ratkaisuja uusiin suunnitteluongelmiin. Monitasoisuus johtuu suunnittelutiedon erilaisista

kerrostumista ja useista suunnitteluongelmaan vaikuttavista tekijöistä. Uusiokäytettävä resurssi voi olla mm. suunnittelupiirre, idea, valmis komponentti, toimintatapa tai suunnittelupäätös. Uusiokäytettävät tiedot löytyvät useasta eri lähteestä, jotka tulee tunnistaa ja tiedostaa. Suunnitelmien uusiokäytön prosessiin on olemassa erilaisia ohjeistuksia. Prosessi koostuu tiedon keruusta, arvioinnista ja uudelleenkäytön suunnittelusta. Tehokkaissa ohjeistuksissa annetaan työkaluja prosessin helpottamiseen, oleellisten tietojen löytämiseen ja arviointiin. (Ong, Xu & Nee, 2006)

Duffyn et al. (1995) artikkelissa esitellään malli, jossa prosessi koostuu kolmesta aliprosessista ja kuudesta tietoresurssista. Prosessimalli on esitelty kuvassa 3.



Kuva 3. *Suunnitelmien uusiokäytön prosessi (mukaillen Duffy, MacCallun & Duffy, 1995)*

Oleellista mallissa on tietotyyppien käytön määrittely, tietovirtojen reitit ja vaatimukset tiedon käsittelylle. Prosessin mukaan suunnittelun uusiokäytön tietolähteitä ovat suunnitteluvaatimukset, uusiokäyttökirjasto ja toimialuemalli. Toimialuetieto on tietoa, jota voidaan hankkia aikaisemmasta materiaalista. Se voi olla peräisin mm. katalogeista, suunnitteluohjelmistoista tai aiempien ratkaisujen suunnittelijoilta. Tietoja uusiokäyttämällä muodostetaan ensin kehittelymalli, jota vielä parannellaan tarvittaessa ottaen huomioon uusiokäytettäväksi suunnittelu. Kehittelymallista valmistuu lopulta täysin valmis suunnittelumalli. Prosessimallissa esitetään uudelleenkäytettäväksi suunnittelun ja toimialueen tutkimisen vuorovaikutukset suhteessa suunnittelun uusiokäyttöön. Mallista käy ilmi tiedon kierto valmiista tuotteesta uuden tuotteen suunnitteluun. (Duffy, MacCallun & Duffy, 1995)

Suurin arvo suunnitelmien uusiokäytöllä saavutetaan vaatimusten määrittelyn jälkeisessä konseptisuunnittelussa. Konseptisuunnittelussa suunnittelija tekee suurimman osan kuluihin vaikuttavista päätöksistä. Tällä suunnittelun tasolla suunnittelijalla on suurin vapaus päätöksissään. Konseptisuunnittelussa haasteena on usein puutteelliset tiedot päätösten perustana ja tähän suunnittelutiedon uusiokäyttö tarjoaa ratkaisun. Myöhemmin yksityiskohtaisessa suunnittelussa viallisten ratkaisujen korjaus on haastavampaa ja kalliimpaa. (Ong, Nee & Xu, 2008)

Kysyntä suunnitelmien uusiokäytölle syntyy valmistavassa teollisuudessa luontaisesti, sillä suurin osa suunnittelutyöstä on ylläpitävää suunnittelua. Tuotteita ylläpitävässä suunnittelussa muokataan ja parannetaan olemassa olevia tuotteita vastaamaan muuttuvia vaatimuksia ja tarpeita. Ylläpitävää suunnittelua on mm. uusiin turvallisuusstandardeihin vastaaminen ja laadulliset korjaukset aiemmissa tuotteissa. Ylläpitävän suunnittelun myötä säilötty ja luotu suunnittelutieto mahdollistaa myös suunnitelmien uusiokäytön uusien tuotteiden suunnittelussa. Uusiokäyttö vähentää näin turhaa työtä uusien tuotteiden suunnittelussa.

Myös teknologioiden käyttöiän aikainen kehitys tukee suunnitelmien uusiokäyttöä, koska tuotteita valmistetaan tyypillisesti useissa vaatimusluokissa erilaisille asiakassegmenteille. Huippuluokan tuotteiden ratkaisut siirtyvät ajan saatossa laajemman asiakassegmentin saatavilla oleviin tuotteisiin. Teknologiaratkaisut implementoidaan siis suunnittelun uusiokäytön avulla tuotetarjonnan huipulta alemmille vaatimustasoille. (Ong, Nee & Xu, 2008)

Suunnitelmien uusiokäyttö tekee suunnittelusta tehokkaampaa, halvempaa ja nopeampaa vähentämällä suunnitteluresurssien käyttöä ja epävarmuustekijöitä. Nämä vaikutukset osaltaan parantavat myös tuotteiden laatua. Aiemmin laadukkaiksi koetut ratkaisut ja osat voidaan ottaa käyttöön sellaisenaan. Näin vältytään laadullisilta haasteilta, joita uusien tuotteiden tuotannossa usein esiintyy. (Duffy, MacCallun & Duffy, 1995; Ong, Nee & Xu, 2008)

Suunnitelmien uusiokäyttö lisää myös tuotekehitystoiminnan tehokkuutta ja mahdollistaa muidenkin valmistavan teollisuuden yhtiön toimintojen parantamisen. Koska aiemmista tuotteista opitut ratkaisut ja tavat vähentävät uuden opettelua. (Pakkanen et al., 2016; Pakkanen, Juuti & Lehtonen, 2018) Tuotannossa suunnitelmien uusiokäyttö auttaa henkilöstöä oppimaan uuden tuotteen valmistuksen nopeammin, kun tuote sisältää jo tunnettuja ratkaisuja. Samojen osien uusiokäyttö vähentää myös hankinnan ja varastoinnin resurssien kulutusta. Pakkasen et al. (2016) mukaan suunnittelu on

valmistavassa teollisuudessa pullonkaula, joten suunnitelmien uusiokäytöllä saavutettavien hyötyjen ansiosta sujuvoitetaan koko yhtiön toimintaa.

Laajan vaikuttavuuden myötä suunnittelun uusiokäytön vaikutuksia voidaan mitata tuotannon mittareita seuraamalla. Tällaisia mittareita ovat markkinoille pääsyn aika, laatu ja kustannukset. (Ong, Nee & Xu, 2008) Nämä asiat ovat usein helpommin mitattavia ja antavat laajemman näkemyksen kuin vain suunnitteluun käytettävien resurssien seuraaminen. Lisäksi uusiokäytön hyödyntämisellä ehkäistään suunnittelussa tarpeetonta uudelleenkeksimistä ja vähennetään turhien kaksoiskappaleiden, epärelevanttien variaatioiden ja virheiden määrää (Duffy, MacCallun & Duffy, 1995). Nämä kaikki hyödyt mahdollistavat yritykselle tuotteeseen kohdistuvien kustannusten vähentämisen ja parantavat näin kannattavuutta.

Tuoteperheiden ja modulaaristen kokonaisuuksien suunnittelussa uusiokäytön hyödyt ovat myös merkittäviä. Tuoteperheet jo itsestään vähentävät tarvittavia suunnitteluelementtejä ja yhdessä suunnittelutiedon uusiokäytön kanssa mahdollistavat kustannustehokkaan suunnittelun. Tuoteperhesuunnittelussa vaikeudet johtuvat pääasiassa tiedon puutteesta ja epävarmuuksista suunnitteluvaiheessa. Tuoteperheen riskiä voidaankin laskea käyttämällä todistettuja ratkaisuja. (Ong, Xu & Nee, 2006) Modulaaristen tuoteperheiden suunnittelussa suunnitelmien uusiokäytöllä on rajoituksensa, koska modulaarisuuden hyötyjä ei välttämättä saavuteta vanhoilla ratkaisuilla. Tällöin suunnittelijan tulee tunnistaa kriittiset komponentit, jotka tulee suunnitella täysin alusta. (Pakkanen, Juuti & Lehtonen, 2018) Varsinkin tuotesarjan peruskehitelmää toteutettaessa suunnittelijan kannattaa uusiokäyttää mahdollisuuksien mukaan aiempia suunnitelmia.

Suunnitelmien uusiokäyttöön liittyy luonnollisesti myös mahdollisia haittoja. Isoimpina haasteina ovat tiedon oikeellisuus ja suuri määrä. Yrityksen tuottavat valtavasti suunnittelutietoa, jota uudelleenkäyttäjän tulee löytää tarpeellinen ja oikea tieto kohtuullisessa ajassa. Tämän mahdollistamiseksi tiedon tulee olla oikein varastoitua, ajantasaista ja saatavilla. Tiedon määrän käsittely vaatii erilaisia menetelmiä ja ohjelmistoja. Toimivilla välineillä suunnittelija kykenee löytämään tarvitsemansa tiedot, joilla muodostaa vastine tuotteen vaatimuksille. Vaatimuksien määrittely on Baxter et al. (2007) mukaan tuotesuunnittelun vaikein vaihe, joten sen onnistuminen vaikuttaa oleellisesti myös suunnitelmien uusiokäyttöön. Vaikka suunnitelmien uusiokäyttö nopeuttaa suunnitteluprosessia, sen on samalla havaittu vähentävän innovatiivisuutta ja aiheuttavan suunnitteluratkaisuihin kiintymistä. Vaarana on myös suunnittelupäätösten perusteluiden hämärtyminen, jos vain kopioidaan aiempia ratkaisuja. (Pakkanen *et al.*, 2016)

Yhtenä uusiokäytön tunnistettuna haasteena on liian epäkriittinen suhtautuminen vanhoihin suunnitteluratkaisuihin. Tiedon oikeellisuus tulee aina kyseenalaistaa, jotta mahdolliset virheet ja puutteet eivät pääse siirtymään uusiin tuotteisiin. (Baxter *et al.*, 2007; Pakkanen *et al.*, 2016) Suunnittelun uusiokäyttö ja vanhojen ratkaisujen tarkastelu voi aiheuttaakin virheiden löytämisen myötä odottamatonta resurssitarvetta suunnittelussa. Odottamaton resurssitarve voi olla niin suunnittelijan aikaa kuin korjauksiin vaadittavaa työtä koko valmistusketjussa.

2.3 Patenttien käyttö

Patentit ovat patenttiviranomaisen myöntämiä laillisia dokumentteja, jossa kuvataan keksitty keksintö. Patentin tarkoituksena on suojata teknisiä keksintöjä. Patenttia tulee hakea viranomaiselta ja tämän jälkeen viranomainen tekee päätöksen patentin hyväksymisestä. Patenttiviranomainen voi olla kansallinen tai monia valtioita käsittävä. Patenttiviranomaisen toimialueesta riippuu, mille alueelle viranomainen voi patentin myöntää. Suomessa kansallisia patentteja myöntää Patentti- ja rekisterihallitus (lyh. PRH) ja Euroopan patenttisopimuksen alueen kattavat patentit käsittelee Euroopan patenttivirasto (lyh. EPO). Patentissa kerrotaan tarkasti mm. mihin patentti liittyy, mikä sen kuvaamalle keksinnölle on tyypillistä ja kuka sen omistaa. Patentoitavan keksinnön on tarkoitus ratkaista jokin teknologinen ongelma. Keksintö voi liittyä niin fyysiseen laitteeseen, menetelmään tai prosessiin. (World Intellectual Property Organization (WIPO), 2004; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018)

Kun patentti on keksijälleen myönnetty, keksijällä tai hänen edustamallaan taholla on määräaikainen yksinoikeus keksinnön ammattimaiseen käyttöön. Ammattimaista käyttöä on mm. patentoidun tuotteen valmistaminen, myyminen ja hallussapito. (World Intellectual Property Organization, 2015; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018) Yksinoikeuden vastineeksi patentoijan tulee hyväksyä patenttinsa julkinen julkaisu. Tyypillisesti myönnetty patentti on voimassa 20 vuotta edellyttäen, että vuosittaiset patenttimaksut suoritetaan tuona aikana. Patentin voimassaolon rauettua sen sisältämä keksintö on vapaasti käytössä. Patentin omistajalla on päätäntävalta patenttinsa käyttäjistä ja hyödyntämisestä kaupalliseen tarkoitukseen patentin voimassaolon aikana. Patentilla voi myös käydä kauppaa. Sen voi myydä joko kokonaan tai kerätä maksuja patentin käyttöoikeudesta lisenssoimalla. (World Intellectual Property Organization (WIPO), 2004)

Patentointia tehdään ensisijaisesti omien keksintöjen suojaamiseksi kilpailijoiden jäljitelmiltä. Myönnetty patentti antaa oikeudellisen työkalun puolustaa yrityksen immateriaalista omaisuutta kilpailijoilta. Muita patentoinnin hyötyjä keksinnön

suojaamisen ja yksinoikeuden lisäksi ovat ajan saaminen tuotteen valmiiksi kehittämiseen ja kilpailijoiden samoille markkinoille pääsyn estäminen (World Intellectual Property Organization, 2015; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018). Kilpailija voi joutua kehittämään uuden tavan saman ongelman ratkaisuun ja tämä kuluttaa resursseja.

Patentoinnissa on aina huomioitava aiemmat teknologiaan liittyvät keksinnöt, vaikka niiden patentit olisivatkin jo rauenneet. Samaa keksintöä ei voi patentoida uudestaan ja patenttiviranomainen tutkii aina uutuusarvon patentin myöntämiskriteerinä. (Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018) Huomiointi auttaa myös patentoinnissa, kun kaikkea edellistä teknologiaa ei tarvitse selittää vaan voidaan viitata alan aiempiin patentteihin. Vaikka teknologian selittäisi yksityiskohtaisesti auki, kaikkiin patenttiin olennaisesti liittyviin dokumentteihin tulee silti viitata. (Campbell, 1983) Viittausten ja patenttien julkisuuden ansiosta patenteista muodostuu teknologian kehittymistä edistävä järjestelmä, joka tuo uuden tekniikan yhteiskunnan hyödynnettäväksi. Patenttien julkaisuarkistot ovatkin maailman kattavin ja tasalaatuisin teknillistieteellinen tiedon varasto (Loikkanen *et al.*, 2009). Patenttien julkisuus, kattavuus, standardisoitu esitystapa ja patenttivarastojen pitkäikäisyys mahdollistavat patenttien käytön teknologian mittareina. (Mogee, 1991)

Joistakin teknologia-alan keskeisistä patenteista muodostuu niin tärkeitä, että niitä kutsutaan peruspatenteiksi. Kirjallisuudesta peruspatentille ei ole mitään tarkkaa yhdenmukaista määritelmää, mutta niiden määrittelykriteerinä käytetään yleisesti viittausten suurta määrää. Viittausten lisäksi peruspatentin voi tunnistaa siitä, että niiden uutuusarvo on suuri ja ajan saatossa ne muuttavat alaa merkittävästi. Tällaisen patentin ratkaisut integroidaan nopeasti markkinoilla oleviin tuotteisiin. (Ernst, Leptien & Vitt, 2000)

2.3.1 Patenttien sisältö

Patenttijulkaisujen rakenne määrätään tarkasti, jotta patenttiin tutustuminen on rakenteen tuntevalle mahdollisimman nopeaa. Julkaisujen vaatimukset kuitenkin eroavat hieman eri patenttiviranomaisten välillä. Tyypillisesti julkaisun rakenne koostuu kansilehdestä, selitysosasta, patentin vaatimuksista, patenttiin liittyvistä kuvista, tiivistelmästä ja patentin lähteistä. Lisäksi patentin ymmärtämiseksi tarvittavat termit selitetään erillisessä osiossaan, jos on tarpeen. (World Intellectual Property Organization (WIPO), 2004; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018)

Kansilehdellä tulee suomalaisissa patenteissa olla patentin otsikko, julkaisunumero, etuoikeusnumero, patentin hakija ja patentin keksijät, hakemuksen tekemis- ja

hyväksymispäivä, patenttiluokat, kohdemaat ja patentin tiivistelmä. Kansilehdestä patenttiin tutustuja näkee nopeasti, mitä patentti koskee. (Koivukunnas *et al.*, 2012) Muissa maissa voimassa olevien patenttien kansilehdet näyttävät hieman erilaisilta, mutta tärkeimmät patenttia kuvaavat tiedot löytyvät aina.

Kansilehden jälkeen on patentin selitysosa, joka jakaantuu yleiseen osaan ja erityiseen osaan. Selitysosassa keksintö on kuvattava niin tarkasti, että alan ammattilainen osaa selitysosan sisäistettyään käyttää keksintöä. Selitysosassa kuvataan keksinnön käyttöala, tunnettu aiheeseen liittyvä tekniikka, keksinnölle ominaiset tunnusmerkit ja sen edut aiempaan tekniikkaan. Lisäksi selitetään ymmärrettävyyden lisäämiseksi keksinnön kuvat ja termit. (Koivukunnas *et al.*, 2012; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018) Yleinen osa ja erityinen osa eroavat toisistaan siten, että erityinen osa selittää keksinnön yksityiskohtaisesti. Täten patentin lukijan kannattaa ensin lukea yleinen osa, jossa kerrotaan keksinnön taustat ja toiminta suppeammin.

Yleinen osa aloitetaan tyypillisesti kertomalla keksinnön käyttöalasta ja taustasta. Tämän jälkeen esitetään tunnettu tekniikan taso. Tekniikan taso tarkoittaa tiedossa olevia ratkaisuja, joihin patentti liittyy. Suurin osa patenteista liittyy jo olemassa oleviin keksintöihin, joiden toimintaa uusi patentti parantaa. Vanhan keksinnön toimintatapa tulee kuvata, jotta patentin lukija ymmärtää, mitä etua uusi keksintö tuo. Patentin tavoite on ratkaista olemassa oleva ongelma tai puute. Selitysosassa myös kerrotaan patentilla ratkaistava ongelma ja patentin tarjoaman ratkaisun tunnusomaiset piirteet. Tekniikan tason selvityksen jälkeen yleisessä osassa kuvataan keksintöä ja lopuksi tiivistelmässä kootaan tärkeimmät asiat toiminnasta. Yleistä osaa tarkennetaan patentin erityisessä selityksessä kuvaamalla toiminta mahdollisimman tarkasti. (World Intellectual Property Organization, 2015; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018) Tämä tapahtuu mm. viittaamalla patentin kuviin ja komponentteihin tarkasti toimintaa selittäessä.

Selitysosan jälkeen patenttijulkaisussa kerrotaan patentin vaatimukset. Vaatimukset ovat patentin tärkein osa, koska niillä rajataan patentin suojan piiriin kuuluvat asiat. Vaatimukset määrittävät tarkasti, mitä keksinnössä varsinaisesti on patentoitu. Ne ovat lisäksi julkaisun ainut laillisesti pätevä osa. Selitysosassa on voitu kertoa paljon patentin yksinoikeuden ulkopuolisestakin laitteen toiminnasta. Patenttijulkaisun selitysosa ja kuvat ovat apuna vaatimuksen tulkinnassa, mutta vaatimukset tulee olla ymmärrettävissä vain ne lukemalla. (World Intellectual Property Organization (WIPO), 2004; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018)

Patentin vaatimuksia voi olla lukuisia ja ne ovat itsenäisiä tai epäitsenäisiä. Tyypillisesti ensimmäinen vaatimus on laaja itsenäinen päävaatimus, jonka jälkeen vaatimusten

laajuus pienenee numerojärjestyksessä. Itsenäisissä vaatimuksissa esitellään keksinnön tärkeimmät piirteet ja määritellään patenttisuojan laajuus. Itsenäisillä vaatimuksilla ei nimensä mukaisesti ole riippuvuuksia muihin vaatimuksiin. Epäitsenäinen vaatimus viittaa edelliseen itsenäiseen tai epäitsenäiseen vaatimukseen ja täydentää keksintöä esittelemällä lisäpiirteitä tai vaihtoehtoisia toteutustapoja. (Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018; Aho *et al.*, 2021)

Patenttia laatiessa tulee varmistaa, että patentin vaatimukset ovat yksiselitteiset ja eivät sisällä viittauksia olemassa oleviin kaupallisiin ratkaisuihin. Jotta vaatimukset eivät rajoita patenttia liikaa ja mahdollistavat laajan suojapiirin, vaatimuksissa käytetään yleisiä termejä mm. keksinnön sisältämistä komponenteista. Viranomainen ei välttämättä hyväksy patentin laatijan määrittelemiä vaatimuksia patentointivaiheessa. Vaatimuksia voidaan joko hylätä kokonaan tai muokata hyväksynnän saamiseksi. Varsinaisen hyväksytyn patentin suojapiiri voi näin olla suppeampi kuin hakemuksen. Hyväksytyt vaatimukset voivat myös erota eri maiden patenttiviranomaisten välillä. Näiden seikkojen tiedostaminen on tarpeellista varsinkin kilpailijoiden patentteja tutkiessa. (Koivukunnas *et al.*, 2012)

Patenttijulkaisun tiivistelmän sijainti vaihtelee patentin myöntämän viranomaisen mukaan. Yleisin paikka tiivistelmä on vaatimusten jälkeen. Tiivistelmä sisältää lyhyen yhteenvedon keksinnön selityksestä ja vaatimuksista. Sen tarkoituksena on antaa nopeasti tieto julkaisun olennaisesta sisällöstä. Tiivistelmän sisältöä ei voida käyttää patentin suojaamisessa. (World Intellectual Property Organization (WIPO), 2004; Patentti- ja rekisterihallitus (PRH), 2018)

Patenttijulkaisun lopussa on kaikki julkaisun oleelliset liitteet, kuten piirustukset. Piirustuksista tulee käydä ilmi kaikki keksinnön yksityiskohdat, jotka liittyvät keksinnön toimintaan. Piirustusten ei tarvitse olla mittakaavassa tai kuvata tarkasti keksinnön ympärillä olevia muita laitteita. Piirustukset eivät saa sisältää mittoja. Piirustuksissa keksinnön osat on numeroitu juoksevasti läpi kaikkien piirustusten ja osaan viitatessa käytetään julkaisussa aina samaa numeroa. (Aho *et al.*, 2021)

2.3.2 Patenttien hyödyntäminen

Patentteja hyödynnetään valmistavan teollisuuden tuotekehityksessä ja suunnittelussa omien keksintöjen suojaamisen lisäksi muilla tavoin. Patenttitiedosta on hyötyä kaikissa tuotekehittelyn vaiheissa, koska alan teknologiasta tietoisena oleminen auttaa omaa tuotekehitystä. Patenttijulkaisujen sisältämiä tietoja tulisi tarkastella jo ennen uuden tuotteen tai ominaisuuden kehittelyn aloittamista. Kun tiedossa on ongelma, joka suunnittelulla pyritään ratkaisemaan, tutkitaan olemassaoleva tekniikan tasoa. Tekniikan

tason tutkimisella voidaan löytää valmiita ratkaisuja ja ideoita omaan ongelmanratkaisuun. Muiden patenttien ratkaisuja voi myös soveltaa ja yhdistellä rikkomatta patenttioikeuksia, kun tutkitaan tarkasti, mitä on patentoitu. Tekniikan tason selvittämisellä vältytään tarpeettomalta työltä ja vähennetään riskiä, että oma ratkaisu rikkoisi olemassa olevan patentin suojapiiriä. Jo olemassa olevan keksinnön uudelleen keksiminen on resurssien hukkaamista. (Koivukunnas *et al.*, 2012)

Jos olemassaolevien ratkaisujen tutkimisen ja oman idean alustavan arvioimisen jälkeen suunnittelua päätetään jatkaa, patentteja hyödynnetään oman idean jalostamiseen ja patenttirikkeiden välttämiseen. Suunnittelun edetessä ja idean kehittyessä kannattaa säännöllisesti ajatella ratkaisuaan kriittisesti olemassa olevan patenttitiedon pohjalta.

Kaikkia syntyviä keksintöjä ei välttämättä patentoida, mutta uudet ratkaisut voivat olla silti arvokkaita yritykselle. Jos oma keksintö ratkaisee saman ongelman eri tavalla kuin kilpailijan myönnetty patentti, keksintö ei riko patenttia. Patentoitavuus on kuitenkin kyseenalaista, jos keksinnön piirteitä löytyy useista aiemmista patenttijulkaisuista. Tällöin on tutkittava, onko näiden eri patenttien piirteiden yhdistäminen liian ilmeistä eli onko keksinnöllä uutuusarvoa. Lopullisesti tämän päätöksen tekee patenttiviranomainen patenttia haettaessa. (Koivukunnas *et al.*, 2012) Keksinnön patentoinnin kannalta onkin tärkeää tunnistaa mahdollinen uutuus. Uutuusarvon tunnistamisessa auttaa tietämys teknologia-alueesta ja kilpailijoista. Keksinnön alustavan uutuuden tutkimisen voi tehdä itse tai teettää sen patentteihin erikoistuneella ammattilaisella. Usein yrityksissä on joko oma patenttiosasto tai ulkopuolelta palkattava konsultti, jotka ovat erikoistuneet immateriaalisiin oikeuksiin. Keksinnön alustava uutuus selvitetään ennen patentointiprosessin aloittamista etsimällä patentteja ja patenttien piirteitä, jotka estäisivät keksinnön patentoinnin.

Yhtiöiden tekemästä patenttikartoituksesta ja -analyysista on hyötyä tuotekehityksessä ja suunnittelussa. Patenttikartoituksessa pyritään etsimään tietyn tekniikan alueen kaikki patentit. Kartoituksella kerättyä tietoa käytetään tuotekehityksen suuntaamiseen, liiketoiminnan suunnitteluun ja kilpailijoiden seurantaan. (Campbell, 1983; Ernst, 1997) Kilpailijoiden patenteista saa sellaista tietoa, jota on muuten vaikea hankkia. Kartoituksella kerättyjä tietoja voidaan käyttää myös kilpailijoita vastaan, jos löydetään omien patenttien suojapiiriä loukkaavia julkaisuja. Kilpailijan patentin voi onnistua kumoamaan väitteellä. Väite on patenttia vastaan tehty oikeudellinen haaste, joka on perusteltava. Kartoituksessa kerätty materiaali toimii työkaluna tähän. (Koivukunnas *et al.*, 2012)

Patenttianalyysi eroaa kartoituksesta rajoitetummalla patenttien kohdejoukolla. Analyysissa tutkitaan tiettyä yksittäistä patenttia tai patenttijoukkoa verrattuna omaan keksintöön. Patenttianalyysilla löydetään omaan keksintöön liittyviä ongelmia, kuten patenttien loukkauksia tai uutuusarvon kumoavia piirteitä. (Koivukunnas *et al.*, 2012) Patentteja analysoidaan erityisesti tuotekehityksen yhteydessä yrityksen kilpailukyvyn ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi markkinoilla.

Analyysia käytetään myös ennustamiseen. Uudet patentit kertovat teknologian tulevasta kehityksestä, koska patentointiprosessi on melko hidasta ja kallista. Patentointiprosessia aloittaessa ollaankin optimistisia keksinnön tuomasta teknologisesta ja taloudellista edusta (Daim et al., 2006 s. 983). Teknologia-alan merkittäviä tulevia trendejä pystytään havainnoimaan kategorisoimalla alan uusia patentteja. Patenttimääriä voidaan käyttää teknologian kehityksen aktiivisuusmittarina, mutta ne eivät kerro suoraan patenttien tärkeydestä. (Mogee, 1991) Patenttianalyysia käyttävät toimijat hyötyvät analyysin tuloksista monella tapaa, niin yksittäisen keksinnön mahdollisuuksien parantamisessa kuin teknologian ja markkinoiden ennustamisessa.

3. SUUNNITELTAVAN OPTION TOIMINTA

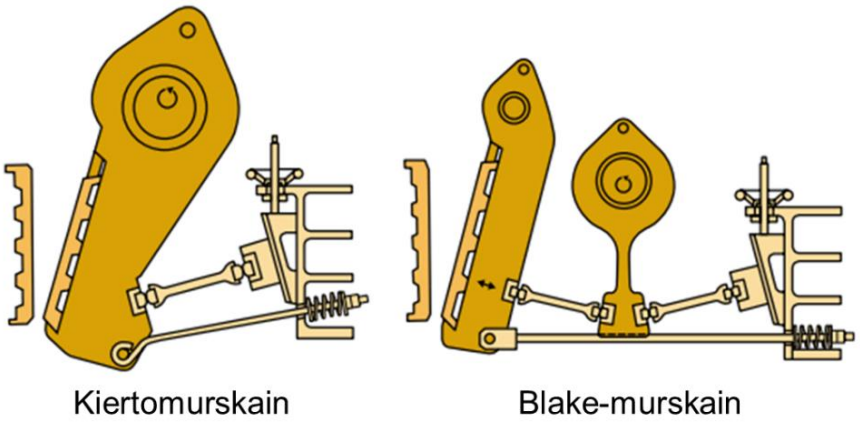
Tässä luvussa kuvataan leukamurskaimen ja aktiivisen asetuksen säädön toimintaa. Aluksi esitellään leukamurskaimen pääkomponentit ja toimintaperiaate. Tämän jälkeen kuvataan aktiivisen asetuksen säädön toimintaa ja vaatimukset toiminnalle. Luvussa myös esitellään option ratkaisuja nykyisistä malleista sekä niiden eroja. Patentteihin liittyen käydään läpi Metso Outotecin optioon liittyvät tärkeimmät omat patentit. Luvun lopuksi esitellään patenttianalyysin tuloksia leukamurskainten hydraulisesta kuormanpurusta.

3.1 Leukamurskaimen toiminta

Leukamurskaimia käytetään murskausprosesseissa pääsääntöisesti esimurskaimena. Esimurskaimella murskataan suurta ja käsittelemätöntä syötettä, joka on tuotettu tyypillisesti kalliosta räjäyttämällä, kaivoksessa tai rakennusten purkamisessa. Esimurskaimella syöte pienennetään sellaiseen kokoon, että sitä pystytään käsittelemään ja siirtämään murskausprosessin myöhemmissä vaiheissa. (Gupta & Yan, 2006 s. 99-102; Viilo, 2014 luku 3, s. 3-4) Tyypillisesti esimurskaimessa murskattu kiviaines siirretään seuraavaan vaiheen seulalle tai murskaimelle hihnasyöttimellä. Esimurskaimessa ei siis tuoteta prosessin lopputuotetta, vaan valmistellaan kiviaines seuraaville vaiheille.

Leukamurskaimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, jotka ovat Metso Outotecin C-sarjan kaltainen kiertomurskain ja Blake-murskain. Merkittävimmät erot murskaintyyppien välillä ovat työnninlaattojen määrä ja epäkeskoakselin sijoittaminen. Kiertotyyppisessä leukamurskaimessa työnninlaattoja on yksi ja epäkeskoakseli on sijoitettu liikkuvan leuan yläpäähän. Blake-tyyppisessä murskaimessa työnninlaattoja on kaksi peräkkäin ja epäkeskoakseli vaikuttaa suoraan niihin. Liikkuvan leuan yläpäässä on tällöin vain suora akseli. (Gupta & Yan, 2006 s. 100) Blake-tyyppinen murskain on patentoitu vuonna 1858 ja se on nimetty keksijänsä Whitney Blaken mukaan (E.W. Blake, 1858). Kiertomurskain on keksintönä hieman uudempi, sen patentoi George Dalton vuonna 1882 (Dalton, 1882). Metso Outotec ja sen edeltäjäyhtiöt ovat valmistaneet historiansa aikana kumpaakin murskaintyyppiä, mutta yhtiö keskittyi kiertomurskainten kehitykseen jo 1955, kun Blake-tyyppisten murskainten valmistus lopetettiin.

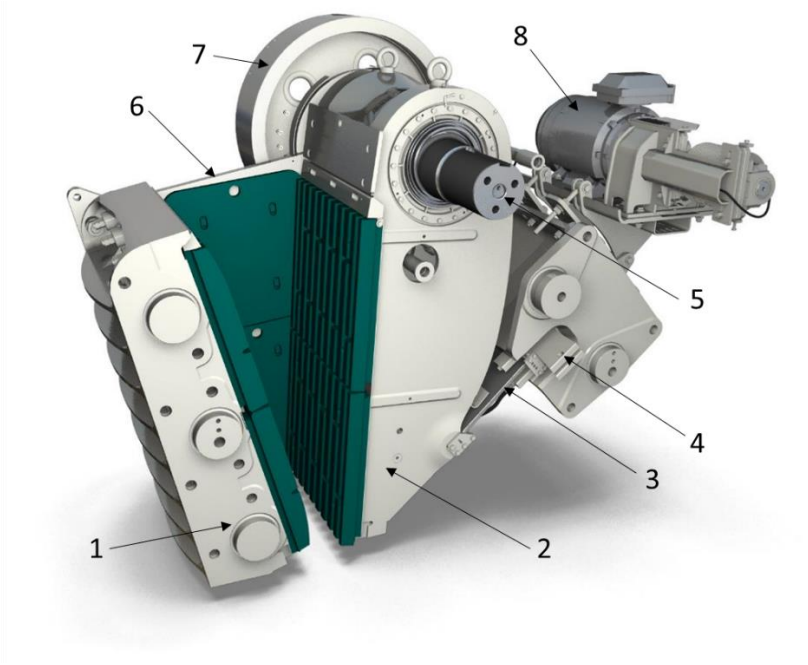
Kuvassa 4 on Blake- ja kiertomurskaimen yksinkertaistetut rakennekuvat. Kiertomurskaimet ovat nykyään leukamurskainten hallitseva tyyppi niiden yksinkertaisemman rakenteen, kevyemmän painon ja isomman kapasiteetin ansiosta. (Viilo, 2014 luku 3, s. 1)



Kuva 4. *Leukamurskaintyypit: kiertomurskain ja Blake*-murskain *(mukaillen Michaud, 2014)*

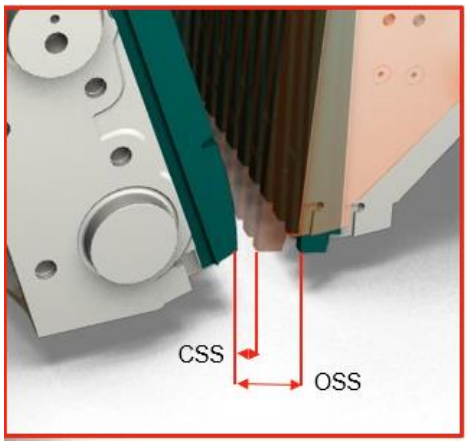
Leukamurskaimen toiminta perustuu kiven puristamiseen kahden tasomaisen elementin eli leuan väliin. Leuat ovat vastakkain niin, että toinen leuka on kiinteästi kiinni murskaimen rungossa ja toinen leuka liikkuu epäkeskoakselin mukana tehden edestakaista liikettä. Leuat on aseteltu siten, että niiden väliin jää halutun kokoinen rako sekä astekulma. Kivi pienenee murskaimen kidassa, koska leukojen etäisyys toisiinsa nähden pienenee kidassa ylhäältä alaspäin. Kidan geometria ja liikkuvan leuan aiheuttama puristava voima pakottaa kitaan syötettävän materiaalin pienenemään. Murskattavaa materiaalia puristava voima on niin suuri, että materiaalin murtolujuus ylitetään ja se murtuu pienemmiksi kappaleiksi. (Viilo, 2014 luku 3, s. 1; Terva, 2017)

Kiertomurskaimen liikkuvan leuan liike saadaan aikaan sen yläpään kiinnityksellä epäkeskoakseliin. Epäkeskoakselin kummassakin päässä sijaitsevat vauhtipyörät, joista toista pyöritetään hihnojen avulla joko sähkö- tai hydraulimoottorilla. Alapäästä liikkuva leuka on tuettu työnninlaatalla ja jousitangolla tai hydraulisylinterillä murskaimen takapään runkoon. Kiertotyyppisen C-sarjan leukamurskaimen pääkomponentit on esitelty alla kuvassa 5.



Kuva 5. *Kiertomurskaimen pääkomponentit (mukaillen Metso Outotec, 2021).*

Leukamurskaimen tuottaman kivimurskan kokoa ja rakennetta määrittävät murskaimen asetus ja isku. Asetus eli leukojen alapäiden välinen etäisyys ilmoitetaan tavallisesti suljetun puolen asetuksena (engl. closed-side-setting, lyh. CSS). Suljetun puolen asetus on leukojen minimietäisyys ja avoimen puolen asetus (engl. open-side setting, lyh. OSS) leukojen maksimietäisyys leuan liikkeen aikana. Murskaimen isku on matka, jonka leuka liikkuu edestakaisin epäkeskoakselin kierroksen aikana ja se voidaan laskea avoimen ja suljetun puolen asetuksen erotuksena. (Viilo, 2014 luku 3, s. 14; Terva, 2017) C-sarjassa murskainten nimellisiskut ovat 24 millimetristä 50 millimetriin iskun suurentuessa koneen koon kasvaessa. Asetusmittoja ja iskua havainnollistetaan kuvassa 6.



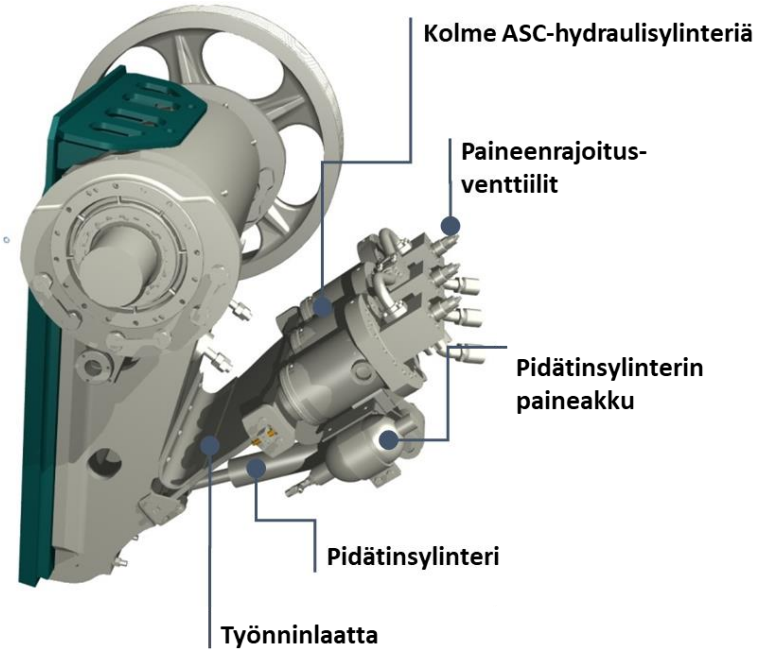
Kuva 6*. Asetus ja isku (mukaillen Metso Outotec, 2021)*

Murskaimen asetus vaikuttaa murskaimen vaatimaan tehoon. Murskaimen tehoraja määrää minimiasetuksen, koska tehon tarve kasvaa mitä pienemmäksi murskaimeen

syötettävä aines murskataan. Tämä johtuu kiven murtolujuuden kasvusta raekoon pienentyessä. (Fladvad & Onnela, 2020) Yleinen tapa asetuksen säätöön on kiilasäätö, missä asetusta säädetään toisiinsa nähden lomittain liikkuvilla kiiloilla. Kiiloja mekaanisesti tai hydraulisesti säätämällä liikkuva leuka siirtyy suhteessa kiinteään leukaan. Metso Outotecin C-tuoteperheessä mekaaninen kiilasäätö on vakio-ominaisuus ja hydraulisen kiilasäädön tai aktiivisen asetuksen säädön voi valita optiona murskaimeen.

3.2 Aktiivisen asetuksen säädön toiminta ja vaatimukset

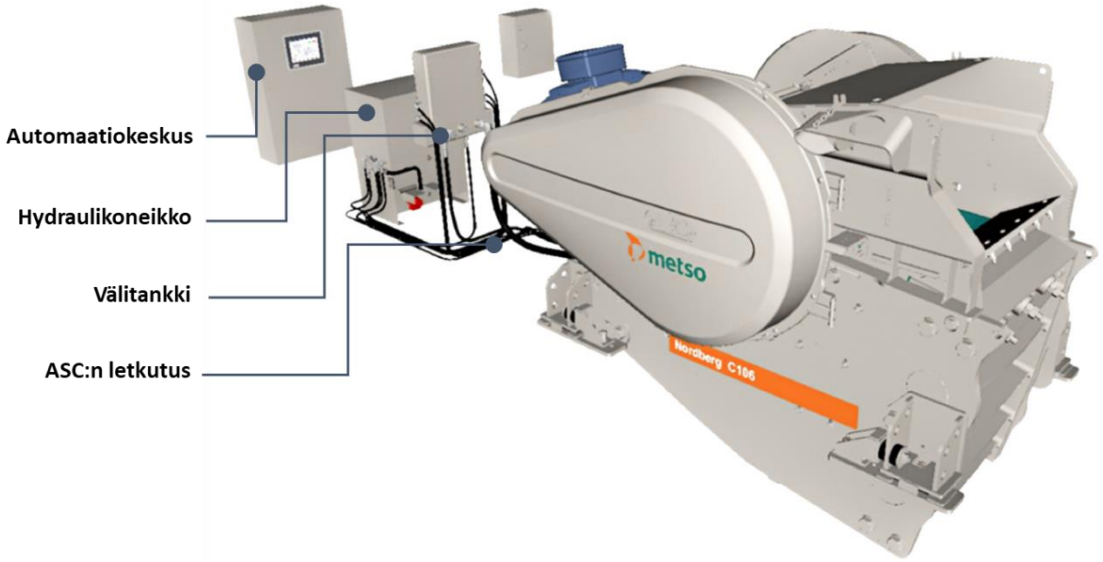
Aktiivinen asetuksen säätö (engl. active setting control) on Metso Outotecin C-sarjan tiettyihin leukamurskaimiin tarjoama optio, jonka toiminta perustuu hydrauliikan kykyyn vastaanottaa voimaa. Tällä hetkellä optio on saatavilla C96-, C106-, C116- ja C120-malleihin. Option toiminnan kannalta pääkomponentit ovat kolme hydraulisylinteriä, paineenrajoitusventtiilit, pidätinsylinteri, venttiililohkot ja hydraulikoneikko. Aktiivisen asetuksen säädön (lyh. ASC) rakennetta on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. *ASC:n komponentit (Metso Outotec, 2022a).*

Kuvan 7 mukaiset hydraulisylinterit sijaitsevat kiilasäädön tilalla murskaimen takapään rungossa. Sylintereiden männänvarret ovat työnninlaattaa ja pidätinsatulaa vasten. Liikkuvan leuan murskausvoima välittyy tällöin työnninlaatan kautta sylintereille. ASC-sylintereiden männän puoleisessa painelinjassa on murskainmallista riippuen yksi tai kolme paineenrajoitusventtiiliä. Työnninlaatan liikkuvan leuan ja murskaimen takapäädyn välissä paikallaan pitää pidätinsylinteri paineakkuineen. Option toiminta

tarvitsee yllä esiteltyjen osien lisäksi hydrauliletkuja, välitankin, automaatiojärjestelmän ja hydraulikoneikon. Nämä ja leukamurskainkokonaisuus ovat näkyvillä kuvassa 8.



Kuva 8. *ASC osana C-sarjan leukamurskainta (mukaillen Metso Outotec, 2022a).*

Yllä olevassa kuvassa optio on kiinteässä murskaimessa. Jos aktiivinen asetuksen säätö on liikkuvassa murskainlaitoksessa, se on liitetty osaksi laitoksen hydrauli- ja automaatiojärjestelmää.

3.2.1 Toiminnan kuvaus

Murskaimen asetusta säädetään liikuttamalla ASC-sylintereitä, jolloin liikkuvan leuan asento muuttuu suhteessa kiinteään leukaan. Aktiivisella asetuksen säädöllä varustetun murskaimen asetusta säädetään automaatioyksikön kautta. Asetuksen säätämisen lisäksi optio toimii hydraulisena varolaitteena estäen murskaimen vaurioitumisen tilanteissa, joissa murskaimen kitaan joutuu murskautumattomia objekteja. (Metso Outotec, 2021)

Hydraulisylintereihin liitetyt paineenrajoitusventtiilit määrittävät painerajallaan avautumisvoiman, jolloin varolaite laukeaa eli hydrauliöljy purkautuu ulos sylinteristä. Öljyn purkautumisen seurauksena sylintereiden männät liikkuvat sisäänpäin, leuan asetus kasvaa ja murskautumaton syöte pääsee etenemään murskaimen kidasta. Aktiivinen asetuksen säätö säästää leukamurskaimen kulutusosia ja mahdollistaa murskaimen keskeytymättömän toiminnan. Optiolla varustettuja leukamurskaimia käytetäänkin haastavissa murskaustilanteissa, kuten kuonan, valimojätteen ja rakennusjätteen murskauksessa ja kaivosteollisuudessa. (Metso Outotec, 2022b)

Aktiivisella asetuksen säädöllä varustetuissa C-sarjan leukamurskaimissa on kolme hydraulisylinteriä rinnakkain takapäädyn sisässä. Sylinterit on varustettu toisesta päästä paineenrajoitusventtiileillä ja sylintereiden hydraulilinjat on kytketty toisiinsa. Koska sylinterit ovat samassa hydraulilinjassa, paine niiden välillä pyrkii tasoittumaan. Sylinteriin vaikuttava teoreettinen avautumisvoima, joka avaa paineenrajoitusventtiilin tietyllä paineella voidaan laskea kaavalla 1. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 201)

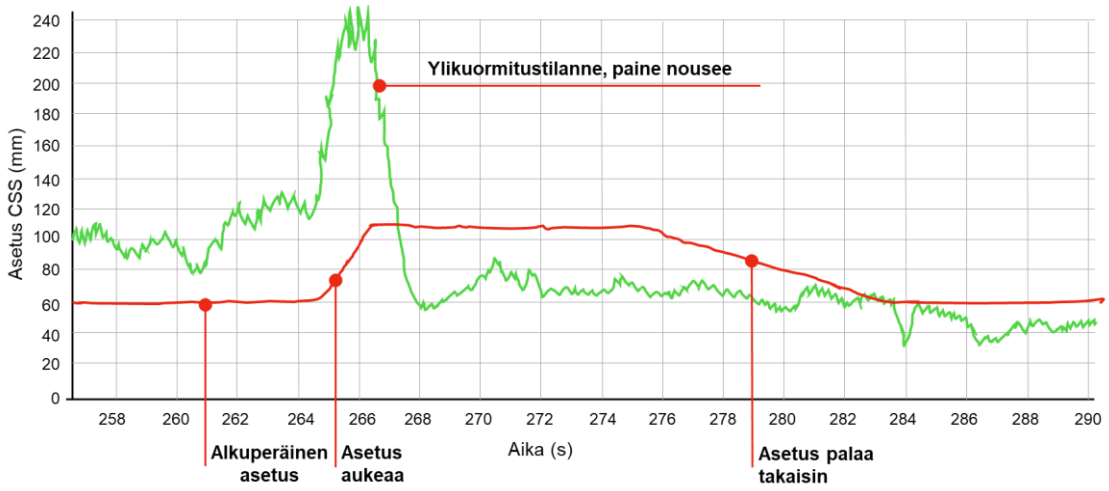
$$F = p_1 A_1 - p_2 A_2 \quad (1)$$

Kaavassa A_1 on männän pinta-ala, A_2 männänvarren puoleinen pinta-ala, p_1 männänpuoleinen paine sylinterissä ja p_2 männänvarren puoleinen paine. Murskauksen työiskujen aikana männänvarren puoleinen kammio on paineistamaton, joten sen puoli voidaan jättää huomiotta laskuissa. Paineenrajoitusventtiilin avaavaan voimaan suuruuteen vaikuttaa siis vain männän pinta-ala ja venttiiliin asetettu paineraja, joka asettaa järjestelmän paineen maksimiarvon.

Murskautumattoman syötteen aiheuttaessa painerajalla määritellyn avautumisvoiman paineenrajoitusventtiilit avautuvat, männät liikkuvat sylintereissä ja hydrauliöljy virtaa sylintereistä paineenrajoitusventtiilin läpi välitankkiin. Toinen tärkeä ASC-sylintereissä huomioitava tekijä on sylintereiden isku. Hydraulisylintereiden iskunpituus määrittää, kuinka paljon liikkuva leuka voi aueta. Isku tulee määrittää niin suureksi, että sillä saadaan aikaiseksi haluttu asetuksen säätöalue ja riittävä mutta turvallinen avautuminen optiota varolaitteena käytettäessä.

Murskain aktiivisella asetuksen säädöllä on aina varustettu automaatiojärjestelmällä ja tarvittavilla antureilla. Aktiivisen asetuksen säädön kannalta oleellisin anturi on asetusanturi. Murskaimen asetusta mitataan ultraäänianturilla, joka on sijoitettu työnninlaatan sylintereiden puoleiseen levyyn. Paineenrajoitusventtiilien avautuessa ja asetuksen kasvaessa anturi rekisteröi asetuksen kasvun. Anturi on liitetty automaatiojärjestelmään, joka palauttaa asetuksen takaisin alkuperäiseksi murskautumattoman aineen poistuttua kidasta. Automaatiojärjestelmä ohjaa hydrauliventtiileitä ja asetus palautuu takaisin, kun ASC-sylintereiden männän puoleinen kammio paineistetaan. Tällöin männänvarsi liikkuu ulospäin, kunnes asetusanturi ilmoittaa asetuksen olevan oikea. Jos asetuksen palautus ei onnistu riittävän nopeasti automaatiojärjestelmä keskeyttää palautuksen ja avaa asetuksen uudelleen. Tässä tilanteessa murskaimen kidassa on edelleen murskautumatonta ainesta, ja tietyn ajan päästä asetuksen palautusta takaisin alkuperäiseksi yritetään uudelleen. (Metso Outotec, 2021) Jos murskaimen kitaan joutuu yksittäinen murskautumaton objekti, joka

saadaan poistumaan yhdellä varolaitteen avaamisella, hydraulinen varolaite toimii alla olevan kuvan 9 havainnollistamalla tavalla.



Kuva 9. *Aktiivisen asetuksen säädön aukeaminen (mukaillen Metso Outotec, 2022a).*

Kuvassa pystyakselilla on murskaimen suljetun puolen asetus ja vaaka-akselilla aika. Kaikki option paineenrajoitusventtiilit on säädetty tiettyyn samaan arvoon. Hydraulisylintereissä vaikuttavaa painetta kuvassa kuvaa vihreä viiva ja asetusta punainen viiva. Kuvan tilanteessa murskaimen kitaan joutuu ajanhetkellä 264 s murskautumatonta ainesta ja paine alkaa nousta. Paineen noustua paineenrajoitusventtiileihin asetettuun arvoon venttiilit aukeavat, hydraulineste poistuu männän puolelta ja mäntä liikkuu sisäänpäin. Kuvassa venttiilien toiminta näkyy asetuksen kasvuna, jota seuraa paineen lasku. Täysin auennut liikkuva leuka pysyy auki automaation määräämän ajan, minkä jälkeen asetus palautetaan takaisin alkuperäiseksi. Yllä kuvatun option varolaitekäyttötapauksen aikana leukamurskain toimii muuten normaalisti eli murskaimen kierrosluku tai isku ei muutu, vaikka asetusta kasvatetaan.

3.2.2 Vaatimukset option toiminnalle

Aktiiviselle asetuksen säädölle on vaatimuksia ja rajoituksia, jotka syntyvät useista eri lähteistä. Tässä alaluvussa käsitellään koneturvallisuuden ja option toiminnallisuuden asettamia vaatimuksia. Lisäksi optioon kohdistuu vaatimuksia esimerkiksi komponenttien valmistustekniikan ja kustannusten suhteen.

Koneturvallisuudesta on olemassa kansainvälisiä vaatimuksia, joita koneenvalmistajien tulee noudattaa laitteissaan. Koneiden turvallisuudesta määrätään turvallisuusstandardeissa, jotka ovat maa- ja aluekohtaisia. Euroopan unionin alueella standardit perustuvat unionin konedirektiiviin 2006/42/EY. Suomessa tämä direktiivi on saatettu voimaan vuonna 2009 valtioneuvoston koneasetuksella (*Koneasetus,*

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, 2009). Konedirektiivissä määritetään, millaista turvallisuussuunnittelua koneen valmistajan tulee tehdä. Turvallisuussuunnittelun vaatimuksissa on eroa riippuen koneen tyypistä ja käyttötarkoituksesta. Turvallisuussuunnittelussa kootaan kaikki mahdolliset riskit tuotteen elinkaaren aikana. Riskien kartoituksen jälkeen koneen valmistuksessa ja suunnittelussa pyritään poistamaan tai minimoimaan havaitut riskit. (METSTA, 2020)

Konedirektiivissä esitellään lähinnä yleisiä turvallisuusperiaatteita, ja turvallisuusstandardit kertovat tarkemmin, miten koneen turvallisuusvaatimukset täytetään. Koneturvallisuuden standardit onkin yhdenmukaistettu direktiivin kanssa, joten jos täytetään standardit niin täytetään myös lain vaatimukset. Aktiivisen asetuksen säädön turvallisuussuunnittelun lähtökohta on yleinen koneenturvallisuusstandardi SFS-EN ISO 12100, joka on alan kattostandardi eli A-tyypin standardi (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2010b). Tässä standardissa määritellään koneiden turvallisen suunnittelun periaatteet, riskien havainnoinnin tarkastelu ja niiden vähentäminen. Kattostandardi ei ota yksityiskohtaisesti kantaa, miten koneiden suunnittelu tulisi toteuttaa, vaan sitä varten on omat standardinsa. Koska työssä suunniteltava optio on monimutkainen osakokonaisuus isossa prosessilaitteessa, sille asetetaan turvallisuusvaatimuksia useissa standardeissa.

Option toiminta perustuu hydrauliikan kykyyn vastaanottaa voimaa. Joten standardi *SFS-EN ISO 4413 Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä ja sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset* on tärkein standardi option turvallisuusvaatimuksia selvitettäessä. Lisäksi optiossa huomioitavia turvallisuustekijöitä ja ohjeita riskien välttämiseen löytyy standardeista, jotka koskevat käytännön riskien arviointia ja mineraalien mekaaniseen prosessointiin tarkoitettuja laitteita. (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2010c, 2020)

Hydraulisen tehonsiirron standardissa määritetään hydraulijärjestelmiä koskevat perusvaatimukset sekä hydraulikomponentteja koskevat erityisvaatimukset. Perusvaatimuksia ovat komponenttien ja putkistojen valinta turvallisesti ja tarkoittamattomien paineiden, mekaanisen liikkeen, mahdollisten vuotojen sekä hydraulijärjestelmästä aiheutuvan melun ja lämpötilan huomiointi suunnittelussa. Koko suunniteltavalle hydraulijärjestelmälle on määriteltävä seuraavat käyttö- ja toimintavaatimukset:

- käyttöpainealue
- käyttölämpötila-alue
- hydraulinesteen tyyppi

- tilavuusvirta-alue
- nostamista koskevat vaatimukset
- hätätilat ja energialähteistä erottaminen
- suojaava pinnoite tai maalaus (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2010a)

Aktiivisessa asetuksen säädössä hydraulikomponentteja ovat hydraulisylinterit, -venttiilit, -letkut, -tankki ja -koneikko. Näiden suunnittelussa ja valinnassa määritettävät parametrit ja tekijät käsitellään yksityiskohtaisesti standardissa SFS-EN ISO 4413.

Hydraulisylinterit tulee mitoittaa suurimpien odotettavissa olevien kuormien ja paineiden mukaan ottaen huomioon sylinterin asennustapa. Hydraulisylintereiden kestävyyteen tulee kiinnittää huomiota nurjahdus-, isku- ja tärinäkestävyyden osalta. Hydraulisylinterin suunnittelussa isoin vaatimusten lähde on kuitenkin käyttötapaukset. Standardin SFS-EN ISO 4413 mukaan hydraulisylinterin turvallinen toiminta vaatii, että suunnittelussa huomioidaan käyttötapauksien asettamat toiminnalliset parametrit. Tällaisia ovat aktiivisen asetuksen säädön hydraulisylinterien tapauksessa iskunpituus, männän halkaisija, päätyvaimennuksen ja pysäytyksen tarve.

Hydraulijärjestelmässä käytettävien venttiilien valinnassa ja suunnittelussa tulee standardin ISO 4413 mukaan huomioida järjestelmän vaatimat tilavuusvirrat, avautumisnopeudet ja käyttötapaukset. Venttiilien käyttötarkoitus määrää sen säädettävyysvaatimukset. Koska venttiilit ovat järjestelmissä liitoksina sekä toimintaa ohjaavina komponentteina, niiden vuototiiveys ja huollettavuus täytyy huomioida. Option oleellisin venttiili on varolaitteena toimivat paineenrajoitusventtiilit. Paineenrajoitusventtiilien lisäksi option hydraulijärjestelmässä on paljon muitakin venttiilityyppejä, kuten vasta-, suunta- ja virtausventtiilejä.

Hydraulijärjestelmän letkuilta ja putkilta vaaditaan kestävyyden ohella standardin SFS-EN ISO 4413 mukaisesti arvioidun virtausnopeuden, lämpötilan ja painehäviöiden suunnittelua niin, että ne pysyvät järjestelmän sallituissa rajoissa kaikissa olosuhteissa ja käyttötilanteissa. Tämä vaatimus vaikuttaa erityisesti hydraulikanavien kokoon. Turvallisuuden lisäämiseksi putkien ja letkujen liitokset tulee minimoida. Hydrauliletkuja tulee käyttää vain, jos ne ovat perusteltuja koneen liikkuvuuden tai tärinän vuoksi. Leukamurskain on tärisevä kone, joten laitteessa käytetään letkuja. Standardin SFS-ISO EN1009 mukaan mekaanisen mineraalien käsittelyn prosessilaitteiden letkutuksessa tulee huomioida erityisen tarkasti korkeapaineisten öljypurskeiden välttäminen ja letkujen kiinnitys. Korkeapaineisten letkujen kiinnitys tulee toteuttaa niin, että niiden irtoaminen liitoksista ei aiheuta piiskanomaista liikettä. (Suomen standardisoimisliitto

SFS, 2020) Käyttäjän turvallisuuden kannalta kriittisiin letkuihin suositellaan lisäämään piiskasuojat, repeytymisventtiilit tai muunlainen turvamekanismi.

Aktiivisessa asetuksen säädössä on kaksi hydrauliöljysäiliötä, toinen välitankissa ja toinen hydraulikoneikossa. Hydraulitankkeihin liittyviä turvallisuusvaatimuksia ovat sopiva tilavuus kaikkiin käyttötapauksiin, riittävät lähtövirtaukset ja riittävä tila ilmanerottumiselle ja laajenemiselle. (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2010a) Option suunnittelussa tulee erityisesti huomioida välitankin riittävä tilavuus käyttötilanteessa, jossa optio toimii varolaitteena ja ASC-sylinterit painuvat kokonaan sisään. Tällöin välitankkiin virtaa nopeasti paljon öljyä, jonka tulee hetkellisesti mahtua säiliöön.

Turvallisuusvaatimusten lisäksi suunniteltavalla optiolla on toiminnallisia vaatimuksia, jotka tulee optiota suunnitellessa huomioida. Tärkeimpiä toiminnallisia vaatimuksia ovat varolaitekäyttötilanteessa leuan riittävän nopea avautuminen, sylinterien kyky vastaanottaa riittävästi voimaa työnninlaatalta, paineenrajoitusventtiilien avautumisen tehon tarve, hydraulisen jouston minimointi ja kaikkien paineenrajoitusventtiilien avautuminen samanaikaisesti (Jokiranta ja Tattari, 2022; Jonkka, 2022). Murskaimen asetusta säädettäessä option toiminnalta vaaditaan eritoten tarkkaa säädettävyyttä ja hydraulikomponenttien luotettavaa toimintaa automaatiojärjestelmän ohjaamana. Kun optio on stabiilissa tilassa, eli leukamurskaimen murskaama syöte ei avaa asetusta, oleellinen vaatimus on asetuksen pitäminen määrättynä. Asetus elää murskausvoiman vaikutuksesta hieman koko ajan, joten automaation tulee tarkkailla sitä ja reagoida säädöllä muutoksiin.

Toiminnallisten vaatimusten täyttämiseksi suunnittelussa tulee tarkastaa haluttujen vaatimusten toteutuminen. Tämä tapahtuu hyödyntämällä leukamurskainten lähtötietoja ja käyttötestien tuloksia, kuten kierroslukua, iskua ja murskausvoimaa. Lähtötietojen, aikaisempien testitulosten ja option suunnitteluparametrien avulla voidaan laskea mm. paineenrajoitusventtiilin avautumiseen vaadittava teho ja liikkuvan leuan avautumisen nopeus.

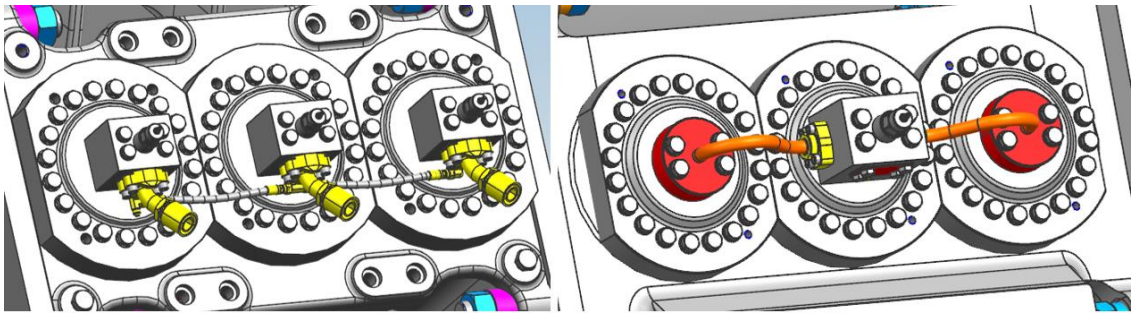
Kaikkien vaatimusten, sekä turvallisuuden että toiminnallisuuden, osalta tulisi täyttyä koko laitteen eliniän ajan. Suunnittelussa tulee huomioida yksittäisen komponentin vikaantuminen ja osien kuluminen. Leukamurskainten C-sarjan koneet ovat kovalla rasituksella ja jatkuvassa prosessikäytössä, jolloin kulumista tapahtuu. Erityisesti leukojen kulutusosien kuluminen vaikuttaa option toimintaan. Optiota suunnitellessa tuleekin varmistaa esimerkiksi sylintereiden iskunpituuden riittävyys kuluneella leualla (Jokiranta & Tattari, 2022).

3.3 Ratkaisut aikaisemmissa malleissa

Aktiivisen asetuksen säädön ratkaisut eroavat osittain olemassa olevien mallien välillä, vaikka toimintaperiaate asetuksen säädössä ja varolaitteena toimimisessa on sama. Tällä hetkellä optio on saatavilla C-sarjan C96-, C106-, C116- ja C120-malleihin. Näissä murskainmalleissa työnninlaattavoimaa on vastaanottamassa kolme ASC-sylinteriä ja suurin osa option komponenteista ovat samoja, kuten paineenrajoitusventtiilit, hydraulikoneikko, välitankkikokoonpano ja iso osa letkuista ja muista venttiileistä. Jonkan haastattelun (2022) mukaan kolmen sylinterin ratkaisuun päädyttiin, koska sillä saadaan samalla sylintereille riittävästi pinta-alaa ja hyvä tuki koko liikkuvan leuan leveydelle. Optiota kehittäessä tutkittiin vaihtoehtoisia yhden tai kahden sylinterin ratkaisuja, mutta nämä todettiin kiikkeriksi. Kolmella sylinterillä saadaan parhaalla tavalla huomioitua heiluria vääntävä momentti, joka syntyy, kun murskausvoima ei jakaudu tasaisesti kammiossa.

Nykyisten mallien option toteutuksessa on eroja, koska malleja ei ole suunniteltu samaan aikaan. Optio on suunniteltu malli kerrallaan ja suunnitteluratkaisuja ei ole yhdenmukaistettu. Uusimmat suunnitteluratkaisut löytyvät C120-mallista, johon optio on julkaistu viimeisimpänä. C120:n aktiivisen asetuksen säädön suunnittelussa on pyritty mahdollisimman stabiiliin ja tehokkaaseen toimintaan. (Jonkka, 2022) Mallien välillä merkittävimpiä eroja ovat ASC-sylintereiden koko ja paineenrajoitusventtiilien määrä. ASC-sylintereiden halkaisijan kokoero mallien välillä selittyy murskausvoiman nousulla murskaimen kokoa kasvattaessa. Jotta liikkuvan leuan työnninlaattaan aiheuttama voima voidaan vastaanottaa siten, että paineenrajoitusventtiilin painerajaa ei tarvitse kasvattaa liian isoksi, sylintereiden kokoa tulee skaalata suuremmaksi. ASC-sylintereiden männän halkaisija siis kasvaa murskainmallin koon mukana.

Paineenrajoitusventtiilien määrässä on nykyisissä malleissa kahta variaatiota. C96:ssa ja C120:ssa paineenrajoitusventtiileitä on kolme kappaletta eli oma jokaiselle ASC-sylinterille. C106:ssa ja C116:ssa paineenrajoitusventtiileitä on yksi. Kummassakin variaatiossa paineenrajoitusventtiilit sijaitsevat hydraulilohkossa tai -lohkoissa sylinterin männänpuoleisen kammion päässä ja painelinjat on yhdistetty toisiinsa. Sylinterien välisten linjojen avulla paine tasaantuu samaksi kaikissa sylintereissä. Kuvassa 10 näkyvät kaksi eri ratkaisua paineenrajoitusventtiileille optiossa.



Kuva 10. *Kolmen ja yhden paineenrajoitusventtiilin variaatiot*

Yhden venttiilin ratkaisuun on päädytty yksinkertaisuuden takia, vaikka siinä on myös ongelmia. Yhtä venttiiliä käytettäessä sylintereiden mäntien työntyessä sisään kaikki hydraulineste poistuu tankkilinjaan yhden reitin kautta. Tämä vaatii isoa tilavuusvirtakapasiteettia lohkolta ja paineventtiililtä. Suuri tilavuusvirta yhdellä venttiilillä aiheuttaa myös ison tehontarpeen venttiilin aukeamiseen, koska teho on tilavuusvirran ja venttiilin puolien välisen paine-eron tulo. Täten tilavuusvirran purkautuessa yhden venttiilin läpi murskaimelta vaaditaan kolme kertaa enemmän tehoa kuin kolmen venttiilin tapauksessa. (Jonkka, 2022) Kolmen sylinterin yhteensä tuottaman tilavuusvirran kokoluokka painerajoitusventtiilien auetessa on 500-1500 litraa minuutissa riippuen sylinterien koosta ja nesteen purkautumisen nopeudesta. Tämä tilavuusvirta jakaantuu venttiiliratkaisusta riippuen siis yhdelle tai kolmelle paineenrajoitusventtiilille.

Yhden paineenrajoitusventtiilin käyttämiseen liittyy myös suurempi riski venttiilin vikaantumiseen. Kolmen venttiilin etuna tässä tapauksessa on, että paine pääsee purkautumaan kahden muun paineenrajoitusventtiilin kautta, vaikka yksi venttiili ei toimisi. Kolmen paineenrajoitusventtiilin malleissa eli C96:ssa ja C120:ssa option luotettavuus lisääntyy, vaikka komponenttien määrä kokonaisuudessa kasvaakin. Kolmen paineenrajoitusventtiilin etu on lisäksi paineen pienemmät maksimiarvot, koska paine ei nouse niin suureksi helpomman avautumisen ansiosta. Tämä vähentää koko murskaimeen kohdistuvaa rasitusta. (Jonkka, 2022)

Viimeisimpänä aktiivisen asetuksen säätö on kehitetty vuonna 2012 option tarjooman isoimpaan C120-malliin. Tässä mallissa on muihin malleihin verrattuna ratkaisuja, joilla on pyritty kehittämään optiolla varustettua murskainta mahdollisimman stabiiliksi. Stabiilisuutta C120-mallissa tavoitellaan vähentämällä option ASC-sylintereiden hydraulista joustoa esipaineistuksella ja heilurin aiheuttamaa sivuttaista vääntöä sylintereiden välisten välikanavien mitoittamisella. (Jonkka, 2022) Nämä kaksi option ratkaisua on patentoitu (Jonkka, 2016, 2017).

Kaikissa option malleissa murskaavan iskun eli työiskun aikana männän puoleinen kammio paineistuu kuormituksen kohdistuessa männänvarsiin. Työiskun aikana

männänvarren puoli on paineistamaton. C120-mallin patentoidussa ratkaisussa männänvarren puoleinen kammio paineistetaan työiskujen välissä. Sylinterin kammioiden paineistuessa vuorotellen paine-ero sylinterin puolien välillä on pienempi ja männän liike vähenee, jolloin koko murskain on stabiilimpi. (Jonkka, 2017)

Esipaineistuksen lisääminen aktiiviseen asetuksen säätöön on toteutettu C120:ssa vain muutamalla hydraulikomponentilla letkukokoonpanon pysyessä muuten samana verrattuna toiseen kolmen paineenrajoitusventtiilin malliin. Sylinterin esipaineistus vähentää hydraulisesta joustosta aiheutuvaa männän liikettä sylinterissä. Stabiilimman toiminnan lisäksi tämä ehkäisee komponenttien, kuten tiivisteiden kulumista ja parantaa murskaimen hyötysuhdetta (Jonkka, 2022). Muissa option murskainmalleissa esipaineistusta ei ole käytössä ja männänvarren puoleinen kammio on aina paineistamaton murskaussyklin aikana.

Heilurin eli liikkuvan leuan sivuttaissuuntainen vääntyminen aiheutuu syötteen epätasaisesta murskautumisesta kidassa. Epäedullista vääntävää momenttia syntyy jatkuvasti, kun murskattava aines ei ole murskaimen keskilinjalla. Murskaimen elinkaaren aikana väännön oli havaittu aiheuttavan komponenttien kulumista aktiivisella asetuksen säädöllä varustetuissa koneissa. Optio ei tue liikkuvaa leukaa yhtä tukevasti kuin kiilasäätö hydraulisen jouston takia. Option patentoidussa ratkaisussa vääntöä vähennetään mitoittamalla ASC-sylinterien väliset painetta tasaavat linjat siten, että syntyy riittävä painehäviö vastustamaan väännöstä aiheutuvia nopeita painepiikkejä. Linjojen halkaisija mitoitetaan tietyllä suhteella verrattuna ASC-sylinterin halkaisijaan. (Jonkka, 2016, 2022) Sylinterin väliset välikanavat ovat kuitenkin halkaisijaltaan niin suuria, että ne eivät estä paineen hitaampaa tasaantumista sylintereiden välillä tai asetuksen säätämistä. C120:n optiossa välikanavat ovat keksinnön myötä pienemmät kuin muissa option malleissa.

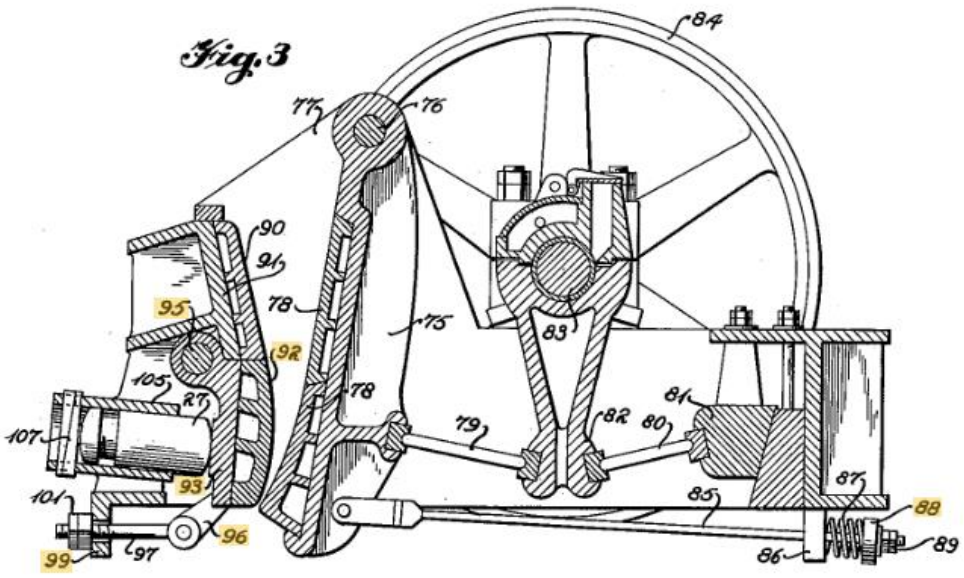
3.4 Patenttianalyysi leukamurskainten kuormanpurusta

Kivisyötteen murskaukseen tarkoitettu leukamurskainten valmistus on kilpailtu ala, jossa globaalisti löytyy mittava määrä valmistajia. Työn työnantajayritys Metso Outotec on murskainalalla yksi suurimmista toimijoista ja sen brändin alaiset murskaimet edustavat murskainten kallista ja laadukasta huippuluokkaa. Murskainvalmistajat seuraavat toistensa tuotekehittelyä ja näinpä kehitetyt toiminnallisuudet leviävät muiden valmistajien malleihin ajan kuluessa. Patentoimalla pyritään estämään omien keksintöjen kopioiminen ja saavuttamaan kilpailuetua markkinoilla.

Leukamurskainten hydraulinen kuormanpurku on leukamurskainten ominaisuus, joka on saatavilla lähes kaikilla huippusegmentin murskainten valmistajilla. Hydraulinen kuormanpurku on varolaite murskautumattomien kappaleiden aiheuttamien vahinkojen ehkäisyyn. Aiemmin tässä luvussa esitelty aktiivinen asetuksen säätö on Metso Outotecin tarjoama optio kuormanpurkuun ja asetuksen säätöön.

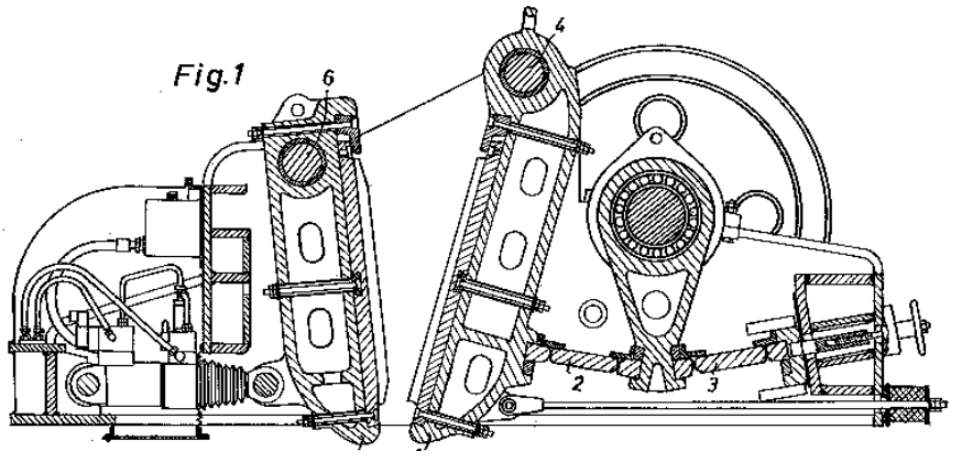
Patenttianalyysi tarkoittaa tietyn rajatun patenttijoukon patenttien etsimistä ja tutkimista. Analyysillä pyritään löytämään kaikki aiheeseen liittyvät patentit, niin rauenneet kuin voimassaolevat. Tässä kappaleessa esitellään patenttianalyysillä löydettyjä tärkeimpiä patentteja leukamurskainten hydraulisesta kuormanpurusta ja huomioita patentoiduista ratkaisuista. Patentteja analysoimalla verrataan option toimintaa kilpailijoiden ratkaisuihin ja muodostetaan kuva kilpailijatilanteesta.

Hydraulinen kuormanpurku leukamurskaimissa on melko vanha keksintö, joten vanhentuneita patentteja on löydettävissä useita. Ennen hydraulista kuormanpurkua murskautumattomiin objekteihin syötteessä varauduttiin mekaanisilla varolaitteilla, kuten jousilla. Esimerkiksi jo vuonna 1926 on patentoitu *Safety device for crushers* -keksintö, joka ehkäisee murskautumattoman syötteen vahinkoja (Haas & Bernhard, 1926). Vanhin löydetty hydraulisen kuormanpurun patentti on hyväksytty Yhdysvalloissa Blake-tyyppiseen leukamurskaimeen vuonna 1952 nimellä *Jaw crusher with hydraulic release and reset device* (Taylor, 1952). Kyseisessä leukamurskaimessa on kaksi jousikuormitteista hydraulisylinteriä, joita liikuttamalla kuvan 11 mukainen kiinteä leuka aukeaa ja murskautumaton syöte pääsee läpi kidasta. Keksintö palauttaa murskaimen asetuksen myös takaisin alkuperäiseksi asetuksen aukeamisen jälkeen.



Kuva 11. *Blake-murskain kuormanpurulla (Taylor, 1952).*

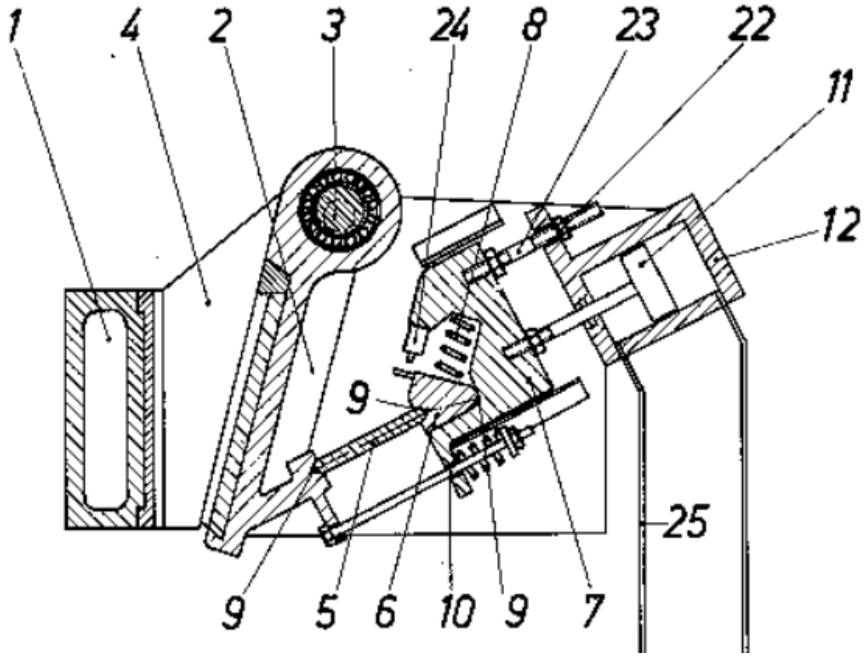
Euroopassa samantyyppisen kiinteän leuan avaamiseen perustuva ratkaisu on patentoitu vuonna 1967 Saksassa. Tässä patentissa kiinteään leukaan on liitetty monimutkaisempi hydraulinen järjestelmä ja kolme hydraulisylinteriä rinnakkain. Järjestelmän hydraulisylinterit eivät ole jousikuormitteisia, vaan hydrauliöljy purkaantuu tankkiin asetuksen auetessa. (Steyer *et al.*, 1967) Kyseisen keksinnön perustoiminta on jo hyvin samantapainen kuin ASC-option. Kuvassa 12 tämän patentin poikkileikkauskuva.



Kuva 12. *Bachenbecker -patentin poikkileikkaus (Steyer et al., 1967).*

Vuonna 1967 on patentoitu myös Blake-leukamurskaimen hydraulinen kuormanpurku, jossa hydraulisylinteri on sijoitettu murskaimen takapäähän vaikuttamaan liikkuvaan leukaan epäkeskoakselin ja kahden työnninlaatan kautta. (Brand & Oestreich, 1967)

Kiertotyyppisen leukamurskaimen hydrauliseen kuormanpurkuun liittyvä ensimmäinen patentti on vuodelta 1968. Tässä patentissa esitellään murskaimen kuormanpurku, jossa yksi hydraulinen sylinteri on sijoitettu murskaimen takapäähän siten, että liikkuvan leuan kuorma kohdistuu siihen työnninlaatan kautta. (Weiss, 1968) Kuvassa 13 siirtyvä osakokonaisuus on esitetty numerolla 7 ja hydraulisylinteri 12.



Kuva 13. *Hydraulinen ylikuormitussuoja kiertomurskaimelle (Weiss, 1968).*

Tekniikan ja varsinkin automaation kehittymisen ansiosta hydraulisen kuormanpurun toiminnallisuudet ja valvonta ovat kehittyneet. Perusperiaate hydraulisylinteristä vastaanottamassa murskausvoimaa on kuitenkin pysynyt samana. Paineen ja leukojen välisen asetuksen mittauksen avulla kuorman purun ja asetuksen paluun ohjausta on automatisoitu.

Moni analyysillä löydetty patentti käsittelee paineen tai painerajan säätöä leukamurskaimen varolaitteessa. Menetelmän havaitun paineen ja asetetun paineenrajan välisen eron automaattisesti käynnistämästä varolaitteen toiminnasta on patentoitunut mm. Kawasaki Heavy Industries vuonna 1988. (Hagiwara *et al.*, 1988) Metso Outotecin omistamista patenteista painerajan säätämistä käsittelee vuoden 2018 patentti *A method for operating a crusher, a crushing system and a crushing plant*. Patentoitu menetelmä määrittelee, miten paineraja tulee valita, mitata ja säätää. Menetelmä ei rajoitu vain leukamurskaimiin, vaan pätee myös muissa murskaintyypeissä. (Holopainen, 2018)

Merkittävä uusi lisäys hydrauliseen kuormanpurkuun näkyy 1990- ja 2000-luvun vaihteen patenteissa. Tuolloin kiertomurskainten pidätinjousen sijasta siirryttiin käyttämään pidätinsylinteriä, joka liitettiin osaksi hydraulisen kuormanpurun hydraulijärjestelmää. Analyysissä löydetyissä patenteissa tämä ratkaisu esiintyi ensimmäisen kerran vuoden 1997 patentissa, jossa kahden murskausvoimaa vastaanottavan sylinterin lisäksi järjestelmässä on myös pidätinsylinteri ja sen paineakku. (Falbo & Carlesso, 1997)

Leukamurskaimen hydraulisen kuormanpurun laajan tarjooman myötä voimassa olevia patentteja löytyy useita. Vanhimmat voimassa olevat patentit ovat 2000-luvun alusta johtuen patenteille tyypillisestä 20 tai 25 vuoden voimassaoloajasta. Selkeinten patenttien keksinnöt eroavat toisistaan hydraulisylintereiden määrän ja sijoittelun perusteella. Lisäksi hydrauliikan ja automaation toiminnassa on eroja valmistajien välillä. Kaikkia erilaisia ratkaisuja kuormanpurkuun ei ole patentoitu tai niiden patentteja ei ole analyysissä löydetty patenttien suuren määrän vuoksi. Metso Outotecin kilpailijoita, joilta hydraulinen kuormanpurku tai varolaite löytyy valikoimasta, analyysin perusteella ovat:

- Sandvik Mining & Construction
- Telsmith Crushing
- McLanahan Corporation
- Terex Corporation
- Kleemann
- Komatsu
- Kolberg Pioneer

Näiden yhtiöiden lisäksi on valmistajia, jotka ostavat leukamurskaimia muilta mm. omiin tela-alustaisiin murskainlaitoksiinsa liitettäväksi ja myyvät murskaussovelluksiaan omalla tuotemerkillä. Monet pienemmät valmistajat myös valmistavat murskaimia edelleen omalla tuotemerkillään, vaikka ovat siirtyneet osaksi isompia yhtiöitä. Esimerkiksi Telsmith ja Kolberg Pioneer tuotemerkit kuuluvat Astec Corporation -yhtiöön ja McCloskey International -tuotemerkki on osa Metso Outotec:ä.

Kilpailijoiden ratkaisuista markkinoilla tyypillisin on samantapainen kuin C-sarjan ASC-optio, jossa hydraulinen kuormanpurku koostuu murskaimen kiinteästi kiinnitetystä sylinteristä tai sylintereistä. Tässä ratkaisutyypissä nivelöidyn työnninlaatan voima siirtyy suoraan männänvarsiin ja asetuksen muutos tapahtuu sylinterin liikkeellä. Analyysilla havaituista ratkaisuista samantyyppisiä ovat Sandvik:n, Terex:n, Telsmith:n tiettyjen mallien ja McLanahan:n hydraulinen kuormanpurku.

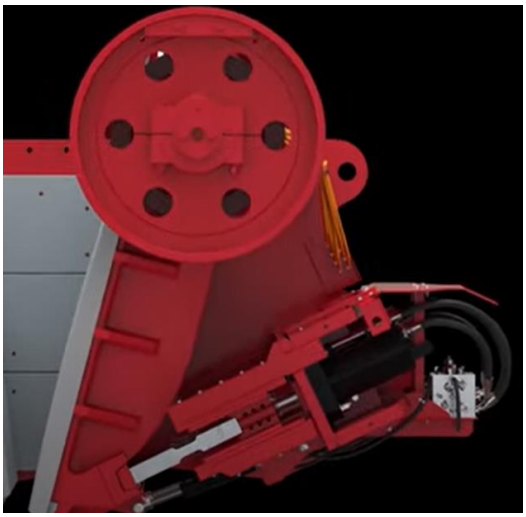
Sandvikin leukamurskainten kuormanpurku koostuu yhdestä isosta sylinteristä takapäässä, paineakusta, pidätinjousesta ja hydraulijärjestelmästä. Sandvikin järjestelmäkokonaisuuden patentti on hyväksytty vuonna 2013 ja oleellista siinä on järjestelmän rakenne ja paineakun käyttö paineen ylläpitämiseksi männänpuoleisessa kammiossa murskaussyklin aikana. Paineakku vähentää kavitaation riskiä.

Järjestelmässä on suoraanohjattu paineenrajoitusventtiili, joka toimii varolaitteena ylikuormatilanteessa. (Sjöberg, Burhoff & Wood, 2013)

Terex:n patentoimassa keksinnössä kaksi sylinteriä on kiinnitetty leukamurskaimen sivulevyn aukkoihin ja nämä sylinterit ottavat kuorman vastaan työnninlaatan kummastakin päästä. Sylintereiden painelinjat on yhdistetty toisiinsa ja niiden painetta säätää yksi paineenrajoitusventtiili. (Boast, 2008) Myös Telsmithin patentoimassa ratkaisussa kuormaa vastaanottaa kaksi hydraulisylinteriä, mutta ne on sijoitettu ASC-option tapaan rinnakkain murskaimen takapäähän samaan painelinjaan. Lisäksi hydraulijärjestelmästä löytyy pidätinsylinteri paineakulla. Kummallakin hydraulisylinterillä on oma paineenrajoitusventtiili. Ylikuormatilanteessa hydrauliöljy siirtyy männän puoleisesta kammiosta ensin männänvarren puolelle ja ylimääräinen öljy erillisen paineenrajoitusventtiilin kautta tankkilinjaan. (Quella, Jaworski & Haven, 2002) Kuvassa 14 näkyy Telsmith:n leukamurskain takapään kahdella sylinterillä.

Kuva 14. *Telsmith:n murskain kuormanpurulla (Manuquip Aggregate processing solutions, 2022)*

McLanahanin valmistamissa leukamurskainten hydraulisessa kuormanpurussa on rinnakkain kolme hydraulisylinteriä mallisarjasta riippuen tukemassa joko kiinteää tai liikkuvaa leukaa. Liikkuvan leuan kuormaa vastaanottava ratkaisu on todella samanlainen kuin aktiivinen asetuksen säätö C-sarjassa sisältäen myös pidätinsylinterin. McLahanin hydraulisesta kuormanpurusta ei patenttianalyysissä löytynyt voimassaolevia patentteja. Kuva 15 havainnollistaa McLanahin ratkaisua.

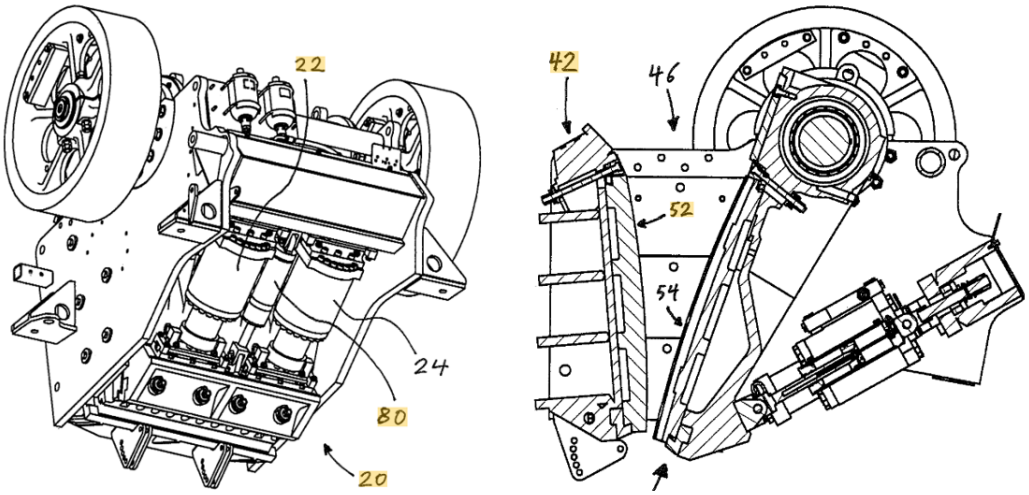


Kuva 15. *McLanahanin hydraulinen kuormanpurku (McLanahan, 2022)*

Toinen kilpailijoiden patenteissa esiintyvä ratkaisu kuormanpurulle on konstruktio, jossa murskausvoimaa liikkuvalta leualta vastaanottava työnninlaatta on korvattu nivelöidyllä hydraulisylinterillä. Tällä ratkaisulla valmistettuja kiertomurskaimia valmistaa Kohlberg Pioneer ja Telsmith, jotka kuuluvat saman emoyhtiön alle. Telsmith:iltä löytyy siis kaksi erilaista hydraulista kuormanpurkua leukamurskaimille. Alla kuvassa 16 Telsmithin Hydra-Jaw tuotesarjan malli H3450, jossa on yksi iso hydraulisylinteri.

Kuva 16. *Telsmith H3450 (Manuquip Aggregate processing solutions, 2022)*

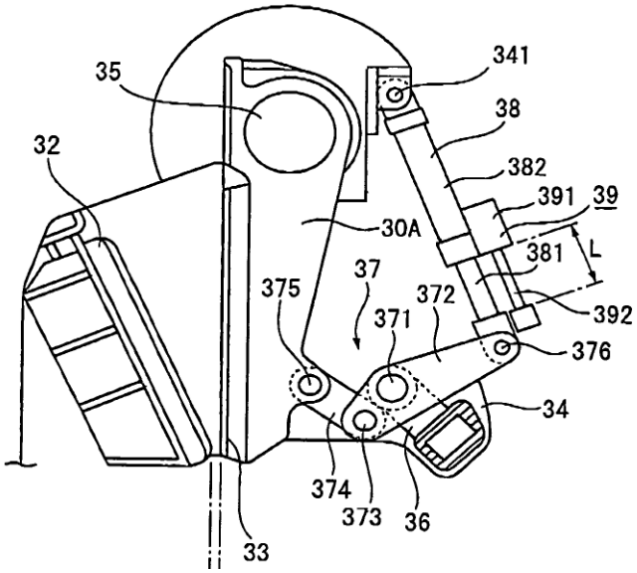
Kolberg Pioneer:n patentoimassa kuormanpurussa on kaksi sylinteriä omilla paineenrajoitusventtiileillä ja pidätinsylinteri. Kyseinen patentti on uusin hyväksytty patenttianalyysillä löydetty patentti. Kolberg Pioneer:in ratkaisun rakenne näkyy kuvassa 17.



Kuva 17. *Kolberg Pioneer:n kuormanpurun patentti (Rust & Engel, 2021)*

Diplomityön työnantajayrityksessä tehdyssä tiedonkeruussa ja haastattelussa ilmeni, että aktiivista asetuksen säätöä kehittäessä Kolberg:n tyyppinen ratkaisu oli eräs vaihtoehto. Option varhaisissa prototyypeissä olikin kolme hydraulisylinteriä nivelöitynä työnninlaatan tilalla. (Jonkka, 2022)

Kahden yleisimmän hydraulisen kuormanpurun rakenteen lisäksi analyysilla löytyi erikoisempia ratkaisuja. Esimerkiksi Komatsun leukamurskaimissa asetusta säädetään ja kuormaa puretaan ylikuormitustilanteessa kahdella pystysuuntaisella hydraulisylinterillä, jotka nivelöityvät kuvan 18 osan numero 372 kautta vastaanottamaan liikkuvan leuan voiman. (Yamazaki *et al.*, 2011)



Kuva 18. *Komatsu-leukamurskaimen rakenne (Yamazaki et al., 2011)*

Patenttianalyysillä löydettiin niin rauenneita kuin edelleen voimassa olevia patentteja. Näistä esiteltiin merkittävimpiä painottaen kilpailijoiden ratkaisujen erilaisia piirteitä.

Patentteja pitkältä ajanjaksolta tutkimalla havaitaan teknologian kehitys ja pystytään arvioimaan kilpailijoiden tuotteiden suunnittelupäätöksiä. Kilpailijoiden suunnitteluratkaisujen ymmärtäminen auttaa jatkossa aktiivisen asetuksen säädön kehittämisessä ja kilpailuun vastaamisessa.

4. SKAALAUTUVA SUUNNITTELUOHJEISTUS

Työn luvut tähän asti ovat toimineet pohjana option suunnitteluohjeistuksen luomiselle. Tässä luvussa muodostetaan suunnitteluohjeistus skaalautuvalle optiolle leukamurskaimiin. Option koot eri murskainmalleille muodostavat tuotesarjan, joten kyseessä on suunnitteluohjeistus tuotesarjan johdoskehitelmälle. Ohjeistuksessa aktiivisen asetuksen säädön optiota ei kohdenneta millekään tietylle mallille, vaan pyritään luomaan yleisohje, jolla option implementointi mahdollistetaan, mihin tahansa kiertotyyppiseen leukamurskainmalliin. Option komponenttien mitoittamisessa käytetään kuitenkin esimerkkinä suuruusluokaltaan oikeita arvoja. Ohjeistuksessa käsitellään tarvittavat option lähtötiedot, periaatteet komponenttien mitoittamiseen ja huomioitavat ilmiöt. Ohjeistuksen tavoitteena on täyttää kaikki aiemmin määritellyt suunnitteluvaatimukset. Luvussa esitellään myös simuloinnin tuloksena tehty option apumalli ja sen käyttö suunnittelun apuna. Luvun lopuksi esitellään aktiivisen asetuksen säädön suunnitteluprosessi uudelle murskaintuotesarjan koolle tiivistettynä.

4.1 Lähtötiedot option suunnitteluun

Aktiivisen asetuksen säädön suunnitteluun tarvitaan lähtötietoja suunnittelun kohteena olevasta murskainmallista, option vaatimuksista ja tuotesarjan peruskehitelmästä. Olemassa olevan suunnittelutiedon uusiokäyttö helpottaa lähtötietojen keräämistä merkittävästi. Jos option suunnittelun lisäksi kohteena olevaan murskainmalliin ei tehdä muita merkittäviä muutoksia, niin mallikohtaiset tiedot saadaan suoraan olemassa olevasta mallista. Murskainmallista kerättäviä lähtötietoja ovat mitat ja toiminnan parametrien arvot.

Murskaimen oleellisimpia mittoja ASC-option kannalta ovat sivulevyjen välinen etäisyys ja takapään rungon mitat. Takapään rungon mitat ovat rajoittavia mittoja ASC-sylintereiden koolle, koska sylinterit upotetaan rungon sisään. Lähtötietoina tarvittavia toiminnan parametrejä ovat murskausvoiman suuruus haastavilla kivilajeilla, leukojen alkuperäinen asetusalue ja rakenteellisesti mahdollinen maksimiasetus. Murskaamisesta työnninlaatalle kohdistuva maksimivoima tulee selvittää, jotta voidaan mitoittaa paineenrajoitusventtiili ja hydraulisylinterit. Voima voidaan selvittää joko kokeellisesti tai simuloimalla. Murskausvoiman arvo on suurimmillaan, kun syötettä murskataan pienellä asetuksella. Leukojen alkuperäinen asetusalue saadaan selville mallin tiedoista ja toimii option asetuksen lähtökohtana. ASC-optiolla varustetun murskaimen tulee kyetä samaan minimiasetukseen kuin ilman sitä. Rakenteellisesti

mahdollinen murskaimen maksimiasetus selvitetään tutkimalla murskaimen CAD-mallia. Murskaimen käyttökelpoista maksimiasetusta rajoittaa liikkuvan leuan ja takapään rungon välinen tila ja työnninlaatan geometria. Option vaatimuksissa määritellään, kuinka paljon asetuksen halutaan aukeavan optiota varolaitteena käytettäessä. ASC-option tarjoaman maksimiaukeaman tulee olla suurempi kuin ilman optiota.

Option vaatimukset on kerätty aiemmin luvussa 3.2.2. tutkimukselle määrätyin rajoituksin. Vaatimusten määrittely on suunnitteluprosessissa kriittinen vaihe. Vaatimukset toimivat lähtötietona konseptisuunnittelulle ja sitä kautta yksityiskohtaisemmalle suunnittelulle, jota tätä suunnitteluohjeistusta hyödyntämällä tehdään. Peruskehitelmän yleiset vaatimukset johtuvat sellaisenaan uusille malleille. Option vaatimukset ovat standardeihin pohjautuvia turvallisuusvaatimuksia ja toiminnallisia vaatimuksia. Vaatimukset on koottu liitteen A taulukkoon jaoteltuna turvallisiin ja toiminnallisiin.

Tuotesarjan johdoskehitelmän suunnittelun lähtökohtana on tuotesarjan peruskehitelmä. Tuotesarjan uudet suunniteltavat mallit johdetaan peruskehitelmästä tässä tapauksessa skaalaamalla option kokoa ja toimintaa kohteena olevan murskainmallin mukaan. Tuotesarjan peruskehitelmänä on C120-mallin aktiivisessa asetuksen säädössä käytössä oleva ratkaisu. Optio kolmella paineenrajoitusventtiilillä ja patentoiduilla ominaisuuksilla määriteltiin tutkimuksen perusteella parhaaksi ratkaisuksi olemassa olevissa malleissa. Voimassa olevat patentit hydraulisen jouston ja vääntymän vähentämiseksi kannattaa hyödyntää uusissa option kokoluokissa. Peruskehitelmän ratkaisu mahdollistaa option stabiilin, energiatehokkaan ja luotettavan toiminnan.

Peruskehitelmästä lähtötiedoiksi saadaan mallissa esiintyvät tärkeimmät fysikaaliset riippuvuussuhteet, joita ovat

- hydraulisen voiman riippuvuus pinta-alasta ja pinta-alaan kohdistuvasta paineesta
- tilavuusvirran riippuvuus ajasta ja liikkuvan nesteen tilavuudesta
- varoventtiilin avautumisen tehontarpeen riippuvuus tilavuusvirrasta ja paine-erosta
- putken painehäviön riippuvuus pinta-alasta ja virtausnopeudesta
- hydraulisen jouston riippuvuus nesteen tilavuudesta, puristuskertoimesta ja paine-erosta.

Riippuvuussuhteiden tunteminen mahdollistaa eri suureiden muutosten vaikutuksien ymmärtämisen. Riippuvuuksiin liittyvien kaavojen avulla mitoitetaan option komponentit täyttämään niille asetetut vaatimukset.

4.2 Mitoitettavat komponentit

Option suunnittelussa keskeistä on mitoittaa komponentit kaikissa käyttötilanteissa toimivaksi kokonaisuudeksi. Tässä luvussa ohjeistetaan option pääkomponenttien mitoitus ja kerrotaan huomioitavista ilmiöistä. Mitoitettavat komponentit ja huomioitavat ilmiöt ovat hydraulisia. Mitoitettavia osia ovat murskausvoimaa vastaanottavat hydraulisylinterit, paineenrajoitusventtiilit, kanavat, letkut ja tankit. Ohjeistus käyttää komponenttien mitoittamisessa laskennallisia menetelmiä ja simulointia. Mitoitus perustuu iterointikierroksiin, joten ohjeistuksessa selitetään toistettavan kierroksen kulku ja millaista lopputulosta mitoittamisella tavoitellaan.

4.2.1 Hydraulisylinterit

Murskaimen takapäähän työnninlaatan voimaa vastaanottamaan sijoitettavat kaksitoimiset hydraulisylinterit mitoitetaan työnninlaattaan kohdistuvien voimien, takapään mittojen ja työnninlaatan nurjahdusvoiman perusteella. Hydraulisylinterit tulee mitoittaa niihin kohdistuvan maksimivoiman mukaan. Maksimivoima sylintereille kohdistuu optiota varolaitteena käytettäessä. Hydraulisylintereille tulee mitoittaa:

- männän halkaisija
- sylinterin kannen leveys
- sylinterin iskupituus
- männänvarren pituus
- männänvarren halkaisija

Muut hydraulisylinterin mitat, kuten sylinterin seinämäpaksuus, seuraavat näistä päämitoista ja eivät ole option toiminnan kannalta määräämiä.

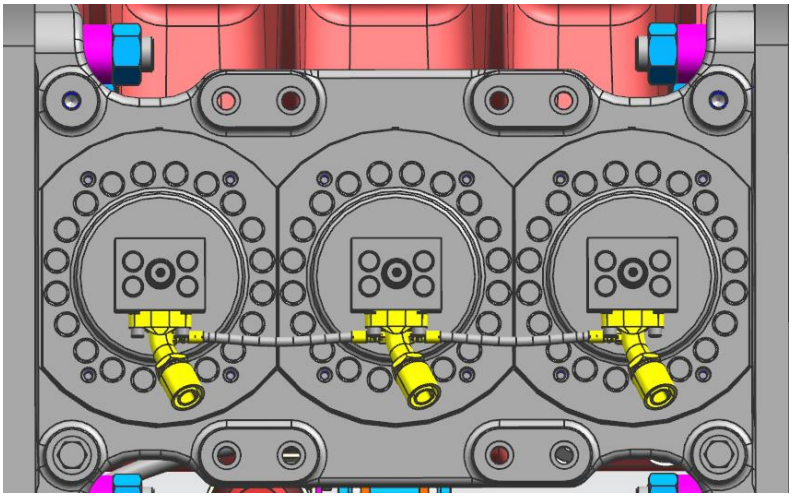
Mitoittamisessa lähdetään liikkeelle varolaitteen avautumisvoiman määrittelyllä. Työnninlaatta on mitoitettu nurjahtamaan ennen muiden murskaimen osien hajoamista. Työnninlaatta on siis mekaaninen varolaite leukamurskaimissa, joissa hydraulista varolaitetta ei ole. Hydraulisylinterit tulee mitoittaa painumaan sisään ennen laatan nurjahdusta. Täten varolaitteen avautumisvoiman tulee olla suurempi kuin työnninlaatan maksimivoima normaaleissa murskaustilanteissa, mutta pienempi kuin laatan nurjahduksen aiheuttavan voiman.

Teoreettinen avautumisvoima olettaa voiman siirtymisen olevan häviötöntä. Häviöt ovat voiman arvoon nähden pieniä, joten ne voidaan jättää huomiotta tässä tapauksessa. Avautumisvoimien kokoluokka option aiemmissa malleissa on 3-7 MN, avautumisvoiman noustessa murskaimen koon mukana. Halutun avautumisvoiman määrityksen jälkeen voidaan kaavasta 2 ratkaista voimaa vastaava männän halkaisija tietyllä paineella.

$$F_a = 3 * p_s * \pi * (\frac{D_s}{2})^2 \quad (2)$$

Kaavassa F_a on teoreettinen avautumisvoima, p_s paine sylinterien männän puoleisessa kammiossa ja D_s männän halkaisija. (Kauranne, Kajaste ja Vilenius, 2013, s. 201)

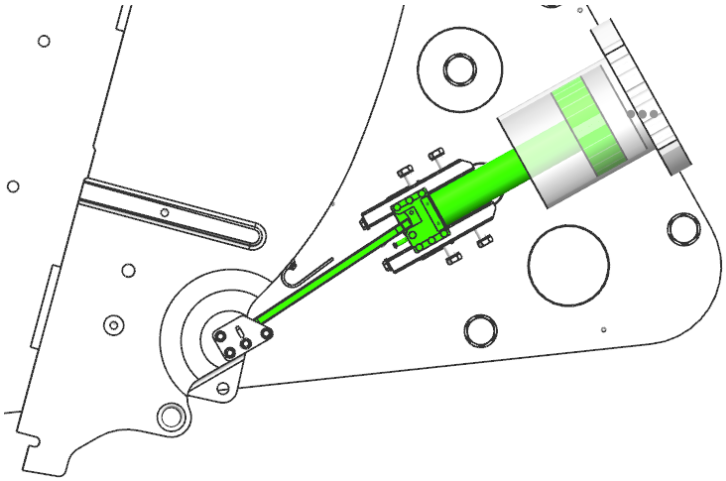
Peruskehitelmän ratkaisun mukaisesti ja hydraulisen korkeapainealueen välttämiseksi sylintereiden tulee olla pinta-alaltaan mahdollisimman suuria. Mitoittamalla hydraulisylinterit kookkaiksi saadaan laskettua tarvittavaa avautumispainerajaa. Sylinterin männän halkaisijaa rajoittaa kuitenkin sylinterikannen kiinnityksen pulttien vaatima tila ja murskaimen leveys. Sylinterit murskaimen takapäätyyn kiinnittävien pulttiliitosten tulee kestää työnninlaatan maksimivoima, koska voima kohdistuu sylinterien kautta suoraan kiinnitykseen. Kuvassa 19 näkyy option sylinterien kannet ja pulttiliitokset C120:n murskainmallissa. Kannet on suunniteltava leveydeltään mahdollisimman suuriksi, jotta pulteille ja siten sylinterille saadaan tilaa.



Kuva 19. *Option hydraulisylinterien kiinnitys pulttiliitoksin*

Kun suurin sopiva sylinterin halkaisija on selvitetty, kaavalla 2 lasketaan mikä varolaitteen avautumispaineen tulee vähintään olla, jotta haluttu avautumisvoima saavutetaan. Tätä painerajan arvoa käytetään myöhemmin paineenrajoitusventtiilin mitoittamiseen.

Seuraavaksi mitoitetaan sylinteriltä vaadittava iskunpituus ja männän varrenpituus toiminnallisiin vaatimuksiin pääsemiseksi. Näihin parametreihin vaikuttavat murskaimen asetusalue, haluttu asetuksen avautuminen ylikuormatilanteessa, työnninlaatan pituus, työnninlaatan satulan paksuus ja takapään rungon mitat. Voimaa johtavaa rakennetta selvennetään kuvassa 20. Kuvassa työnninlaatta, työnninlaatan satula, mäntä ja männänvarsi on korostettu vihreällä. Hydraulisylintereitä liikuttamalla säädetään liikkuvan ja kiinteän leuan välistä asetusta.



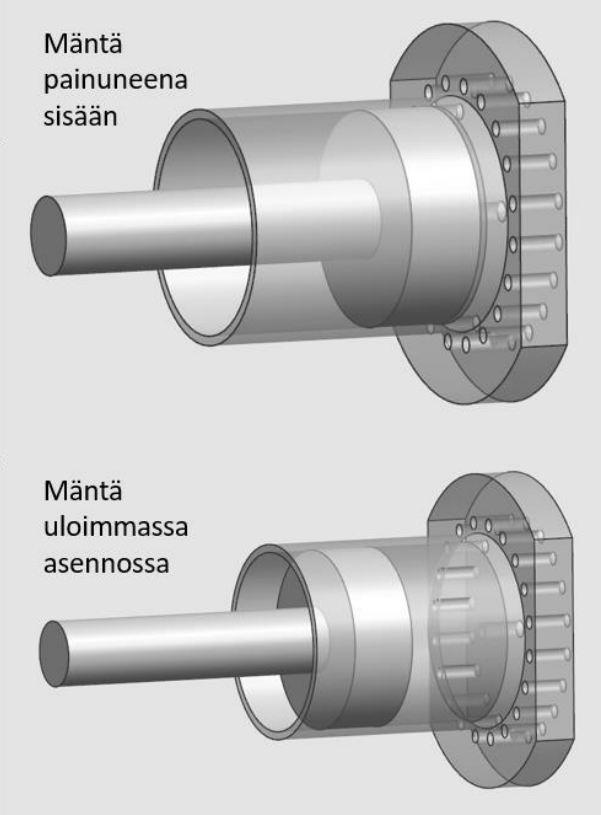
Kuva 20. *Option murskausvoimaa vastaanottava rakenne*

Murskaimelta haluttu minimiasetus määrää, kuinka pitkälle sylinterin männänvarren tulee liikkua ulos sylinteristä. Minimiasetus saavutetaan joko pidentämällä hydraulisylinterin iskua tai männänvartta.

Hydraulisylinterin tarvittavan iskun lähtötieto on murskainmallin alkuperäinen asetusalue, jota laajennetaan yläpäästä varolaitteena toimimista varten. Hydraulisylinterillä täytyy olla varaa painua sisään ylikuormatilanteessa isoimmasta käytettävästä asetuksesta. Koska hydraulisylinteriä käytetään pysäyttimenä, männän ja männänpuoleisen kammion päädyn väliin tulee mitoittaa ylimääräistä tilaa. Tila estää männän ja päädyn mekaanisen törmäämisen sylinterin painuessa sisään. C-sarjan käyttöohjeen mukaan riittävä väli on 10 mm (Metso Outotec, 2021). Iskun pituuden mitoittamisessa on huomioitava myös määritellyn minimiasetuksen saavuttaminen kuluneillakin leuan kulutusosilla. Kulumisen huomiointi ja päätyyn jätettävä tila kasvattavat tarvittavaa iskun pituutta.

Murskaimen asetusalueen laajuus C-sarjassa ilman optiota on 100-200 millimetriä. Iskun pituutta ei saada kuitenkaan suoraan tästä. Asetuksen mittauspisteiden muodostaman janan ja sylinterin ollessa kulmassa toisiinsa nähden sylinterin iskun on oltava suurempi kuin minimi- ja maksimiasetuksen eron. Sopivan iskun pituuden voi määrittää joko

matemaattisesti tai apumallilla simuloimalla. Kuvassa 21 sylinterin apumalli on eri positioissa. Ylemmässä tilanteessa sylinteri on painunut sisään ylikuorman takia ja alemmassa mäntä on murskaimen minimiasetusta vastaavassa positiossa.



Kuva 21. *Sylinterin apumalli kahdessa eri positiossa*

Option toimintaan sopivan iskunpituuden mitoituksen ohessa männänvarren mitta valitaan sellaiseksi, että kiinnitetty sylinteri yltää säätämään asetuksen kumpaankin ääripäähän. Näiden kahden mitan samanaikainen optimointi onnistuu parhaiten apumallin avulla.

Männänvarren toinen määriteltävä mitta on halkaisija. Halkaisija mitoitetaan männänvarren nurjahduskestävyyden mukaan. (Kauranne, Kajaste ja Vilenius, 2013, s. 205) Nurjahduskestävyystarkastelulla varmistetaan sylinterin kestävyys sylinteriin kohdistuvan puristavan voiman alaisena. (Salmi ja Pajunen, 2010, s. 272-273) Kestävyyttä tarkastelleen sylinterin herkimmässä nurjahdustilanteessa eli sylinterin maksimimitassa, joten iskun ja männänvarren pituus tulee olla mitoitettu. Ensin tarkastetaan, että voiman aiheuttama jännitys männänvarressa ei aiheuta pysyviä muodonmuutoksia. Voiman oletetaan jakautuvan tasaisesti jokaiselle sylinterille. Männänvarsiin kohdistuva jännitys on suurimmillaan ennen kuin hydraulinen varolaite aukeaa, joten jännitys σ yhdelle männänvarrelle lasketaan kaavan 3 mukaisesti.

$$\sigma = \frac{F_a}{3 * A_{varsi}} \quad (3)$$

Kaavassa F_a on valittu teoreettinen avautumisvoima ja A_{varsi} männänvarren pinta-ala. (Mäkelä et al., 2008, s. 139) Jännityksen laskemiseksi männänvarren halkaisijalle tulee mitoittaa alkuarvo, josta mitoitus aloitetaan. Alkuarvo saadaan esimerkiksi aiemmista option malleista tai valmistajien katalogeista. Jännityksen tulee olla alle sylinterin materiaalin myötörajan. Jos näin on, siirrytään selvittämään sylinterin nurjahtamiseen vaadittavaa voimaa. Nurjahdusvoiman tulee olla selvästi alle avautumisvoiman sylinterille kohdistavan voiman. Nurjahdusvoima lasketaan Eulerin nurjahduskaavalla 4 (Kauranne, Kajaste ja Vilenius, 2013, s. 205):

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{{L_n}^2}, \quad (4)$$

jossa E on materiaalin kimmokerroin, I tässä tapauksessa varren jäyhyysmomentti ja L_n on redusoitu pituus. Sylinteri on sauvamainen kappale ja sen redusoitu pituus riippuu sauvan päiden kiinnityksestä. Optiossa hydraulisylinteri on kiinnitetty kiinteästi toisesta päästä ja männänvarren puoleisesta päätä ei ole nivelöity, joten redusoituna pituutena käytetään Eulerin neljännen tapauksen mukaista arvoa. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 205) Männänvarren halkaisija vaikuttaa nurjahdusvoiman arvoon kaavassa esiintyvän jäyhyysmomentin kautta. Jäyhyysmomentti kuvaa kappaleen kykyä vastustaa taipumaa ja lasketaan sylinterimäiselle kappaleelle kaavalla 5, kun tiedetään varren halkaisija D_v (Mäkelä et al., 2008, s. 145).

$$I = \frac{\pi {D_v}^4}{64} \quad (5)$$

Kun tarvittavat arvot nurjahdusvoiman tarkastelulle ovat saatavilla, lasketaan nurjahdusvoima ja verrataan sitä avautumisvoiman arvoon yhdelle sylinterille. Jos todetaan, ettei nurjahdusvaaraa ole, niin valittua männänvarren halkaisijaa voidaan käyttää sylinterissä. Tarvittaessa halkaisijaa kasvatetaan ja nurjahdustarkastelu toistetaan, kunnes löydetään kestävä varren koko. Kestävyyden takaamiseksi mitoittamisessa käytetään tyypillisesti varmuuskertoimia. Hydraulisylintereissä varmuuskerroin on tavallisesti 3-5. Varren halkaisijaa ei tule kuitenkaan ylimitoittaa materiaalin säästämiseksi ja varren sisään päin suuntautuvan liikkeen vaivattomasti toteuttamiseksi.

Sylinterien pääpiirteiden mitoittamisen jälkeen mitoitetaan sylinterien loput mitat ja etsitään mahdollisilta valmistajilta sopivia hydraulisylintereitä. Kaikki valitut mitat eivät välttämättä toteudu, vaan joudutaan valitsemaan paras mahdollinen sylinteri. Tärkein

parametri sylinterin valinnalle on männän halkaisija. Valitun sylinterimallin tiedoilla tulee vielä tarkistaa aiemmin mitoitetut parametrit ja tehdä tarvittaessa muutoksia.

4.2.2 Paineenrajoitusventtiilit

Toinen aktiivisen asetuksen säädön mitoitettava komponentti on paineenrajoitusventtiili. Kuormaa vastaanottavien sylintereiden männänpuoleisten kammioiden painetta rajoittaa peruskehitelmässä kolme paineenrajoitusventtiiliä. Suoraanohjatut patruunatyyppiset venttiilit on sijoitettu hydraulilohkoihin sylintereiden kannen päälle. Paineenrajoitusventtiilien tarkoitus on määrittää hydraulijärjestelmän painetason maksimi. Paineenrajoitusventtiileiden mitoitettavia parametrejä ovat paineraja, tilavuusvirta venttiilin läpi ja teho venttiilin yli sen auetessa. Sylintereiden paineenrajoitusventtiilit tulee hieman ylimitoittaa, jotta hydraulijärjestelmä toimii luotettavasti vaativissa ja vaihtelevissa murskaustilanteissa. Murskausvoiman aiheuttamat paineiskut eivät saa avata venttiiliä liian helposti.

Venttiilin avaamisen tarvittava paineraja mitoitetaan aiemmin määritellyn avautumisvoiman ja valitun hydraulisylinterin männän halkaisijan kautta. Vaadittu paineraja saadaan ratkaisemalla edellä esitellystä kaavasta 2 paineen arvo. Venttiilin painerajan tulee olla vähintään tämä, jotta saavutetaan haluttu avautumisvoima. Option aiemmissa malleissa hydraulisen varolaitteen paineraja on 250-350 baaria. Optioon valittavien venttiilien säädettävän painerajan tulee yltää mitoitettuun painerajaan. Painerajan säädössä on oltava lisäksi säätövaraa kumpaankin suuntaan, jotta tarvittaessa varolaitteen toiminnan herkkyyttä voidaan muuttaa.

Paineenrajoitusventtiilin tehtävä on mahdollistaa sylinterin nopea liike sisäänpäin varolaitteen aktivoituessa. Männän liike saa aikaan tilavuusvirran venttiilin läpi tankkilinjaan. Venttiilin läpivirtauskapasiteetin tulee olla riittävä tilavuusvirtaan nähden, jotta venttiili ei kurista sylinterin nopeutta. Sopivan venttiilin valitsemiseksi tilavuusvirran suuruus on selvitettävä. Tilavuusvirran aiheuttaa männän siirtymä liikkuvan leuan iskun aikana. Tilavuusvirran laskemisen lähtöarvoja ovat siirtymän arvon lisäksi männän pinta-ala, murskaimen epäkeskoakselin kierrosluku ja iskuun kuluva aika kierroksessa. Männän pinta-ala saadaan aiemmin mitoitetusta sylinteristä ja murskaimen kierrosluku murskainmallin tuotetiedoista. Epäkeskoakselin kierrosluku on C-sarjan leukamurskaimissa 200-350 RPM. Kierrosluku pienenee murskaimen koon kasvaessa. Kierrosluvusta voidaan laskea yhden kierroksen aika ja selvittää ylikuormaiskuun kuluva aika kierroksesta. Männän siirtymän arvo yhden ylikuormaiskun aikana on vaikein tilavuusvirran lähtötiedoista. Sen arvoa approksimoidaan aiempien option mallien tietojen perusteella ja tarkempi määritys voidaan tehdä kokeellisesti uuden option

prototyypin testauksessa. Siirtymän pituus saadaan mittaamalla sylinterin liikenopeus ylikuorman alla ja jakamalla tämä liikkeen aikana tapahtuneilla iskujen määrällä.

Lähtötietojen keräämisen ja arvioinnin jälkeen yhdelle paineenrajoitusventtiilille kohdistuva tilavuusvirta lasketaan kaavoilla 6 ja 7.

$$t_{ylik.} = \frac{t}{4} \tag{6}$$

$$Q = \frac{s * A_s}{t_{ylik.}} \tag{7}$$

Kaavoissa t on murskaimen kierrosluvusta saatava yhden kierroksen aika, $t_{ylik.}$ ylikuorman vaikutusaika mäntään, Q tilavuusvirta, s männän siirtymä yhdestä epäkeskoakselin iskusta ja A_s männän pinta-ala. Kierrosajan jakaminen neljällä ylikuormaiskun vaikutusajan saamiseksi perustuu aiempaan tietoon. Venttiilien tilavuusvirran läpäisykapasiteetti ilmoitetaan tyypillisesti yksikössä litraa minuutissa. Hydraulisen varolaitteen käyttötapauksessa vaadittava venttiilin läpäisykyky on suuruusluokaltaan satoja litroja minuutissa. Tilavuusvirran selvittämisen jälkeen kyetään valitsemaan läpäisyltään optioon sopiva paineenrajoitusventtiili.

Kolmas paineenrajoitusventtiiliin liittyvä suure on teho, vaikka se ei vaikuta suoraan venttiilin valintaan. Tehon tarve venttiilin yli vaikuttaa kuitenkin murskaimen ja option toimintaan, joten se on selvitettävä. Tilavuusvirran siirtäminen sylinterin kammiosta venttiilin läpi letkuihin vaatii tehoa. Tarvittavan tehon määrittää tilavuusvirran suuruus ja paine-ero venttiilin eri puolien välillä. Teho venttiilin yli lasketaan käyttäen määriteltyjä painerajaa ja tilavuusvirtaa Q yhdelle venttiilille kaavalla 8. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 78)

$$P = Q * \Delta p \tag{8}$$

Koska paineenrajoitusventtiilin toisella puolella ei ole painetta ennen venttiilin avautumista, paine-eron Δp paikalle voidaan sijoittaa valitun painerajan arvo. Tehon tarve voi olla optiossa käytettävillä paineilla ja tilavuusvirroilla todella suuri. Jos kolmen paineenrajoitusventtiilin sijasta käytetään vain yhtä venttiiliä kokonaistilavuusvirran pysyessä samana, tehon tarve kolminkertaistuu. Peruskehitelmän kolmen erillisen paineenrajoitusventtiilin ratkaisulla pienennetään murskaimelta vaadittavaa tehoa ylikuormatilanteessa merkittävästi verrattuna yhden venttiilin rakenteeseen.

Aktiivisen asetuksen säädön varolaitteeseen paineenrajoitusventtiili valitaan mitoitettujen arvojen ja määriteltyjen vaatimusten perusteella. Venttiiliin liittyviä vaatimuksia ovat luotettava toiminta, säädettävyys, vuototiiveys ja nopea avautuminen. Nopea avautuminen on erityisen merkittävä vaatimus, koska kyseessä on varolaite,

jonka tarkoitus on estää murskautumattoman syötteen vahingot kammiossa. Peruskehitelmässä on päädytty nopeaan suoraanohjattavaan venttiilimalliin, jonka avautumisnopeus on 2 ms.

4.2.3 Hydrauliletkut ja -kanavat

Option hydraulijärjestelmä sisältää paljon hydrauliletkuja sylintereiden, välitankin ja hydraulikoneikon välillä. Letkut ja muut hydraulikanavat on mitoitettava vastaamaan niihin kohdistuvia paineita ja tilavuusvirtoja. Hydraulikanavien tärkein mitta on sisähalkaisija, joka vaikuttaa virtausnopeuteen kanavassa. Jotta kanavassa kulkeva tilavuusvirta pysyy vakiona, hydraulinesteen virtausnopeus kasvaa sisähalkaisijan pienetessä. Virtausnopeuden kasvu lisää kanavan painehäviöitä. Yleinen tavoite hydraulikanavien mitoittamisessa on välttää tarpeettomia painehäviöitä ja virtauksen kuristamista. Tavoitteeseen päästään mitoittamalla kanavat riittävän suuriksi. Hydrauliletkujen ja -putkien halkaisijat on standardisoitu, joten sisähalkaisijaa vastaavaa ulkohalkaisijaa ei ole tarpeen mitoittaa. Sopiva letku tai putki voidaan valita suoraan valmistajien valikoimista, kun tiedetään painetaso ja sisähalkaisija.

Sisähalkaisijan mitoittamiseksi tulee selvittää kanavan painehäviöt. Hydraulikanavissa aiheutuvat painehäviöt syntyvät kertavastus- ja kitkavastushäviöistä. Kertavastuskertoimet ovat kanavien muutoksille kokeellisesti määritettyjä painehäviön kertoimia, joita käytetään kertavastushäviöiden laskemiseen. Hydraulijärjestelmän kertavastuksia ovat esimerkiksi kanavan supistuma, laajenema ja kulma. Hydraulisen komponentin kertavastushäviö lasketaan kaavalla 9.

$$\Delta p = \delta * \frac{\rho * {v_k}^2}{2} \tag{9}$$

Kertavastuksesta aiheutuvan painehäviön Δp arvoon vaikuttavat kaavan mukaisesti kertavastuskerroin δ, hydrauliöljyn tiheys ρ ja virtausnopeuden keskiarvon v_k neliö. Jos komponentissa on useita kertavastuksia, kertavastushäviö saadaan summaamalla kertoimet yhteen ja sijoittamalla summa kaavaan. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 65)

Kanavan kitkavastushäviön laskemiseksi tulee selvittää virtauksen Reynoldsin luku Re ja sen avulla kitkavastuskerroin γ. Virtauksen Reynoldsin luku selvitetään kaavalla 10.

$$Re = \frac{v * D}{u} \tag{10}$$

Reynoldsin luku on dimensioton suhdeluku virtausmekaniikassa ja sen arvoon vaikuttaa virtausnopeus v, hydraulinen halkaisija D ja nesteen kinemaattinen viskositeetti u. Reynoldin luku määrittelee, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. (Kauranne,

Kajaste & Vilenius, 2013, s. 64) Jos Reynoldsin luku on alle 2300, virtaus on laminaarista. Tämän jälkeen virtaus alkaa muuttua turbulentiksi, mutta tarkkaa rajaa turbulentille virtaukselle on vaikea ennustaa. Jos Reynoldsin luku on yli 4000, virtaus voidaan katsoa suurimmaksi osaksi turbulentiksi. Virtauksen pyörteiden määrä kasvaa mitä turbulenttisempaa virtaus on. Pyörteet taas lisäävät kitkavastushäviöstä johtuvaa painehäviötä. Turbulenttivirtauksen kitkavastuskertoimen laskemiselle ei ole yksiselitteistä kaavaa. Turbulentin virtauksen kitkavastuskerroin saadaan yhtälöistä, jossa funktioina on sisäpinnan karheus ja Reynoldsin luku. Yhtälöistä on johdettu käyttökelpoisia käyrästöjä turbulenttiselle kitkavirtauskertoimelle, kuten Moodyn käyrästö (liite B). Hydrauliletkujen pinnankarheus k on 0,02-0,03 mm ja putkien 0,01-0,10 mm. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 59)

Laminaariselle virtaukselle kitkavastuskerroin γ saadaan laskettua suoraan kaavalla 11. Laminaarisessa virtauksessa kanavan painehäviö ei riipu seinän karheudesta.

$$\gamma = \frac{64}{Re} \tag{11}$$

Kitkavastushäviön laskeminen tapahtuu kitkavastuskertoimen selvittämisen jälkeen sekä laminaariselle että turbulentille virtaukselle alla olevalla kaavalla 12.

$$\Delta p = \gamma * \frac{L*\rho*v^2}{2*D} \tag{12}$$

Kumpaankin painehäviön muotoon vaikuttaa siis kanavan sisähalkaisija. Lisäksi kanavan pituus L vaikuttaa kitkavastushäviöön. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 58) Hydraulisen kanavan kokonaispainehäviö on kitkavastus- ja kertavastushäviöiden summa. Kanavien mitoittaminen on iteratiivista ja tähtää komponentin toiminnalle hyväksyttävään painehäviöön kanavan mittoja muuttamalla. Mitoitus tulee tehdä perustuen käyttötilanteeseen, jossa tilavuusvirta kanavan läpi on suurin. Häviöitä tapahtuu kuitenkin aina ja tämä tulee tiedostaa paineella toimivia toimilaitteita mitoittaessa.

Erikoistapaus painekanavien mitoittamisessa on hydraulisylinterien välistä painetta tasoittavat letkut, joiden mitoittamisella tavoitellaan painehäviötä heilurin vääntymän vähentämiseksi. Peruskehitelmän patentoidun keksinnön mukaan näiden letkujen sisähalkaisija mitoitetaan hydraulisylinterin männän halkaisijan mukaan. Männän halkaisijan D_s ja letkun sisähalkaisijan $D_{välil.}$ suhde tulee olla seuraavan kaavan numero 13 mukainen.

$$\frac{D_s}{D_{välil.}} > 45 \tag{13}$$

Patentin mukaan väliletkussa tulee muodostua ainakin 50 baarin painehäviö, jotta keksinnön hyödyt saavutetaan. (Jonkka, 2016) Painehäviön suuruuteen vaikuttaa letkuissa myös pituus, mutta pitkien letkujen valinta ei ole tarkoituksenmukaista painehäviön kasvattamiseksi. Väliletkujen mitoittaminen on suoraviivaista, koska aiemmin on päätetty optiolle sopiva hydraulisylinterin koko. Letkun sisähalkaisijan suurin hyväksyttävä mitta saadaan suoraan kaavasta 13, minkä jälkeen valitaan väliletkuksi saatavilla oleva letku, jonka sisähalkaisija on tätä pienempi. Lopuksi tarkistetaan valitussa letkussa syntyvä painehäviö riittäväksi.

4.2.4 Hydraulitankit ja koneikko

Option hydraulijärjestelmä sisältää kaksi hydraulinestesäiliötä, välitankin ja koneikon säiliön. Tankkien mitoittamisessa tärkein parametri on tilavuus, jonka tulee olla riittävä kaikkiin käyttötilanteisiin. Välitankki on säiliö, jonka tehtävänä on vastaanottaa nopeasti sylintereiltä ylikuormatilanteessa purkautuva öljy. Välitankista öljy siirtyy painovoimaisesti koneikon yhteydessä olevaan tankkiin tai takaisin sylintereille. Siirtyvän öljyn hetkellisesti tankilta vaatima maksimitila saadaan laskettua olettamalla tilanne, jossa murskainta on käytetty minimiasetuksella ja hydraulinen varolaite on lauennut. Tällöin hydraulisylinterit ovat liikkuneet koko niille määritetyn iskunpituuden s_{isku} sisään. Kun tiedetään lisäksi sylinterien halkaisijat D_S, lasketaan öljyn tilavuus, joka sylintereistä poistuu välitankkiin kaavalla 14.

$$V_{\ddot{o}ljy} = 3 * D_S * s_{isku} \tag{14}$$

Öljyn tilavuuden lisäksi välitankkiin on jätettävä tilaa komponenteille ja ilmalle. Välitankilta vaadittava koko kasvaa mitä suurempi halkaisijaisia ja iskuisia sylintereitä optiossa käytetään. Välitankin koko tuleekin skaalata murskainmallikohtaisesti tai käyttää jossain tuotesarjan malleissa suurempaa tankkia, jotta samaa välitankkia voidaan käyttää useammassa option koossa

Yleisiä hydraulisäiliöiden mitoituksessa huomioitavia tekijöitä ovat järjestelmän kokonaistilavuus, pumppujen säiliöstä ottama tilavuusvirta, nesteen lämpölaajeneminen, ilman erottuminen ja järjestelmän jäähdytystarve. Nämä mainitaan myös hydrauliikkaan liittyvissä turvallisuusstandardeissa. Järjestelmän sopivan hydrauliöljymäärän mitoitukseen käytetään tavallisesti lähtökohtana pumpun tuottamaan tilavuusvirtaa. Leukamurskaimen tapaisille paikalleen asennettaville kiinteille laitteille sopiva öljymäärä on 2-5 kertaa koneikon pumpun minuuttituotto. Tällä öljymäärällä saavutetaan tavallisissa olosuhteissa riittävä jäähtyminen ja ilman erottuminen. Kun tarvittava kokonaisöljyn tilavuus on selvillä, voidaan mitoittaa säiliö. Kaiken järjestelmän öljyn tulee mahtua säiliöön ja lisäksi säiliön korkeuden tulee olla 10-15 prosenttia korkeampi kuin

nesteen maksimipinnankorkeus. Säiliön kannen ja nestepinnan välisellä tilalla mahdollistetaan öljyn lämpölaajeneminen ja vaahdottuminen. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 415-416)

Option asetuksen säätöön tarvittava hydraulinen voima tuotetaan koneikon hydraulipumpulla. Hydraulisena varolaitteena käyttöä ei tarvitse huomioida pumppua mitoittaessa, koska sylintereitä liikuttava voima on tällöin lähtöisin murskaimen mekaanisesta voimasta. Pumppu ja sitä pyörittävä sähkömoottori on kiinnitetty optiossa koneikon kanteen. Pumpun koko mitoitetaan siltä vaadittavan tilavuusvirran mukaan. Tuotettavan tilavuusvirran määrää option kolmelta isolta hydraulisylinteriltä vaadittava liikenopeus asetusta pienemmälle säädettäessä. Asetusta suuremmaksi säädettäessä tilavuusvirta kohdistuu pienemmälle pinta-alalle männänvarren vuoksi, jolloin tiettyyn nopeuteen vaadittava tilavuusvirta on pienempi. Sylinterien liikenopeus ulospäin on aiemmissa option malleissa 2-4 mm/s eli asetuksen säädössä liikkeet ovat hitaita. Valitun liikenopeuden w toteuttamiseksi vaadittava tilavuusvirta Q selvitetään kaavalla 15.

$$Q = 3 * \pi * {D_s}^2 * w \tag{15}$$

Kaavassa oleva sylinterien halkaisija D_s on mitoitettu ja valittu aiemmin. Tämäkin mitoitettava parametri siis skaalautuu sylinterin koon mukaan.

Vakiotilavuuksisen pumpun tuottama tilavuusvirta q_p lasketaan kaavalla 16, jossa n on pumpun kierrosnopeus, V_k pumpun kierrostilavuus ja η_v volumetrinen hyötysuhde.

$$q_p = n * V_k * \eta_v \tag{16}$$

Pumppu voi olla vaihtoehtoisesti myös säätötilavuuspumppu. Säätötilavuuspumpulla kierrostilavuus voi olla murskatessa vain järjestelmän painetta ylläpitävä ja kierrostilavuutta kasvatetaan asetusta säädettäessä. Mitoitetun tilavuusvirran tarpeen perusteella valitaan option koneikolle sopiva pumpun ja moottorin yhdistelmä. Sylinterien koon kasvaminen option suuremmissa ko´oissa hidastaa sylintereiden liikenopeutta, jos option pumppuna käytetään samaa vakiotilavuuspumppua kuin pienemmissä malleissa. Pumpun koon skaalaamista kannattaa arvioida peruskehitelmästä isompia malleja suunnitellessa.

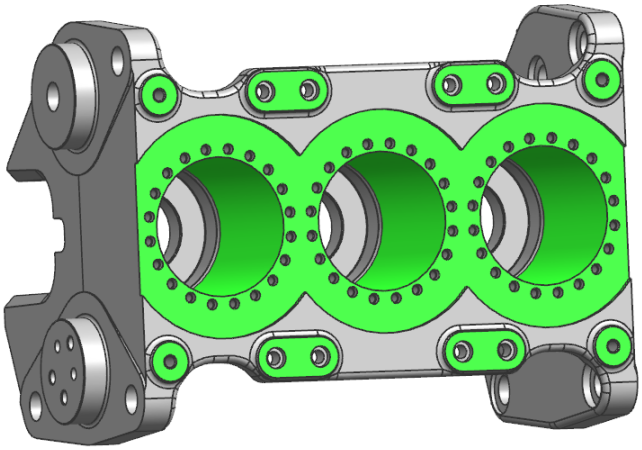
4.2.5 Muut komponentit

Option komponentteja edellä käsiteltyjen lisäksi ovat muut venttiilit, hydraulilohkot, suodatin, pidätinsylinteri osineen, takapään runko ja option ohjauksen automaatiokomponentit. Näiden valitsemisessa voidaan suurimmilta osin hyödyntää samoja komponentteja kuin peruskehitelmässä tai optiottomassa mallissa. Komponenttien sopivuus uuteen option kokoon on kuitenkin aina tarkistettava.

Option hydraulijärjestelmään tarvittavia venttiilityyppejä ovat suunta-, vasta-, vastusvasta-, vastus-, paineenrajoitus- ja virransäätöventtiilit. Sylintereiden paineenrajoitusventtiilien lisäksi järjestelmässä on useampi paineenrajoitusventtiili, jotka rajoittavat järjestelmän painetta painelinjoissa. Peruskehitelmän mukaan painelinjojen maksimipaine on 250 baaria, jonka jälkeen paineenrajoitusventtiili aukeaa ja öljy kiertää pumpulta suoraan tankkiin. Yleisesti venttiilit valikoidaan toimiviksi järjestelmän tilavuusvirrassa ja painealueella. Venttiilien koon tulee vastata hydraulilinjojen kokoja, jotta niissä ei synny tarpeettomia painehäviöitä.

Option hydraulijärjestelmän osana olevaa pidätinsylinteriä ja sen paineakkua ei tarvitse mitoittaa, koska pidätinsylinteriä käytetään myös hydraulisen asetuksen säädön optiossa. Aktiivisessa asetuksen säädössä pidätinsylinterin toiminta ja sylinteriin vaikuttavat voimat eivät eroa hydraulisesta asetuksen säädöstä, joten sylinterinä ja paineakkuna voidaan käyttää samoja komponentteja. Pidätinsylinterin vaatima tilavuusvirta ja paine tulee kuitenkin huomioida järjestelmässä.

Optiolla varustetun murskaimen takarunko eroaa vakiorungosta, koska siinä on kiilasäädön sijasta paikat kolmelle hydraulisylinterille. Rungon suunnittelussa on erityisesti huomioitava hydraulisylintereiden asennusreiät ja kiinnitys. Sylinterinvarren puoleiselle kammiolle menevä hydraulilinja kulkee rungon läpi sylinterille, joten asennusreiän sisäpinta on osa hydraulilinjaa. Sylintereiden vuoksi tavallinen moottoripeti ei ole sopiva optiolliseen malliin. Optio vaatiikin oman moottoripetinsä ja runkoon tulee suunnitella paikat sen kiinnitykselle huomioiden sylinterit. Kuvassa 22 on peruskehitelmän takarunko.



Kuva 22. *Peruskehitelmän takarunko*

Option toiminnan kannalta erityisesti huomioitavat pinnat on korostettu kuvaan vihreällä. Vuototiiveyden saavuttamiseksi sylintereiden asennusreikien ja kiinnityspintojen

toleranssien on oltava tarkkoja. Kuvassa on vihreällä myös moottoripedin kiinnityskohdat.

4.3 Huomioitavat ilmiöt

Huomioitavia hydraulisia ilmiöitä optiossa ovat kokonaispainehäviöt, paineiskut, hydraulinen jousto ja kavitointi. Kaikki nämä ilmiöt heikentävät hydraulijärjestelmän toimintaa, joten niiden vaikutus pyritään minimoimaan suunnittelun ratkaisuilla. Osien mittoja muuttaessa on pohdittava, lisääkö muutos ilmiöiden vaikutusta ja tarvittaessa tarkastettava vaikutuksen suuruus.

Kokonaispainehäviö eri käyttötilanteissa muodostuu kaikista yhteen liitettyjen hydraulikomponenttien häviöiden summasta. Option tapauksessa kokonaispainehäviö tulee laskea esimerkiksi asetuksen säädölle. Tässä tapauksessa kokonaispainehäviöön lasketaan kaikki komponenttien aiheuttamat painehäviöt hydraulipumpulta hydraulisylintereille. Kokonaispainehäviö huomioidaan toimilaitteille tuotettavassa painetasossa. Painehäviöitä ei saada täysin poistettua ja niiden vähennyksessä tähdätään sallittavaan tasoon. Esimerkiksi prosessiteollisuuden standardisointiyhdistys PSK suosittaa jatkuvassa käytössä hyväksyttäväksi kokonaispainehäviöksi 3-5 % järjestelmän syöttöpaineesta. (PSK Standardisointiyhdistys ry, 2006)

Virtausnopeuden muutokset aiheuttavat järjestelmään paineen muutoksia. Paineen muutokset esiintyvät järjestelmässä jatkuvana tasaisena värähtelynä ja epäsäännöllisinä paineiskuina eli nopeina paineennousuina. Yleisimmin paineiskut aiheutuvat venttiilien sulkeutumisesta ja avautumisesta. Toimilaitteissa, kuten sylintereissä paineiskuja aiheutuu liikkeen nopeasta pysäyttämisestä. Suuret paineiskut voivat vaurioittaa komponentteja. Paineiskun suuruus riippuu virtausnopeudesta ennen virtauksen törmäystä, paineaallon kulkunopeudesta ja venttiilien liikenopeudesta. Paineiskujen vaikutusta voidaan ehkäistä Kauranne et al. (2013, s. 103) mukaan:

- hidastamalla virtauksen suuntaan vaikuttavien venttiilien liikkeitä
- pienentämällä virtausnopeutta
- pienentämällä toimilaitteen liikemäärää
- lisäämällä nestetilavuutta
- vaimentamalla painehuippuja paineakuilla tai paineenrajoitusventtiileillä

Optiossa paineiskujen vaikutusta ehkäistään sylinterien välikanavien painehäviöllä, sylinterien päätyvaimennuksella ja nopeatoimisilla paineenrajoitusventtiileillä.

Järjestelmään kohdistuva kuorma aiheuttaa hydraulinesteen kokoonpuristumista, mikä havaitaan toimilaitteiden siirtyminä. Näitä siirtymiä kutsutaan hydrauliseksi joustoksi. Hydraulinen jousto aiheuttaa järjestelmän toimintaan epätarkkuutta ja värähtelyjä. Hydraulisen jouston suuruus riippuu nesteen tilavuudesta ennen paineen muutosta V_0, nesteen puristuskertoimesta B_n ja paineenmuutoksesta Δp. Hydraulisesta joustosta seuraava tilavuuden muutos selvitetään kaavalla 17.

$$\Delta V = \frac{V_0 * \Delta p}{B_n} \tag{17}$$

Hydraulijärjestelmissä käytettyjen öljyjen puristuskerroin on tyypillisesti 1500-2000 MPa ja sen arvo riippuu lämpötilasta ja paineesta. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 88) Kaavasta nähdään, että hydraulista joustoa lisäävät suuret nestetilavuudet ja korkeat paineet. Aktiivisessa asetuksen säädössä hydraulista joustoa esiintyy erityisesti työnninlaatan voimaa vastaanottavissa sylintereissä. Jousto saavuttaa maksiminsa valituilla hydraulisylintereillä juuri ennen paineenrajoitusventtiilin avautumista. Männän siirtymä hydraulisen jouston seurauksena selvitetään laskemalla ensin tilavuuden muutos edellisellä kaavalla 17. Suurin tilavuuden muutos kuorman alla tapahtuu, jos sylinterin varsi on työntynyt täysin ulos. Männän siirtymän suuruus Δx_m saadaan sijoittamalla tilavuuden muutos kaavaan 18.

$$\Delta x_m = \frac{4 * \Delta V}{\pi * {D_s}^2} \tag{18}$$

Jos sylinteriä ei ole esipaineistettu, paine-erona Δp laskelmissa voidaan käyttää valittua painerajaa, koska männänpuoleinen kammio on paineistamaton ennen kuorman vaikutusta. Peruskehitelmän patentoitu sylintereiden kammioiden paineistus vähentää hydraulista joustoa pienentämällä paine-eroa kuormittamattoman ja kuormitetun tilanteen välillä.

Hydraulisen jouston vaikutus on huomioitava option skaalaamisessa isompiin malleihin. Hydraulinen jousto kasvaa sylintereiden tilavuuden kasvaessa ja heikentää murskaimen stabiilia toimintaa. Hydraulisen jouston lisäksi toimilaitteisiin kohdistuva kuorma aiheuttaa mekaanisia muodonmuutoksia järjestelmän rakenneosissa, kuten letkuissa ja sylintereissä. Mekaaniset muodonmuutokset lisäävät nestettä ympäröivää tilavuutta ja kasvattavat näin siirtymiä.

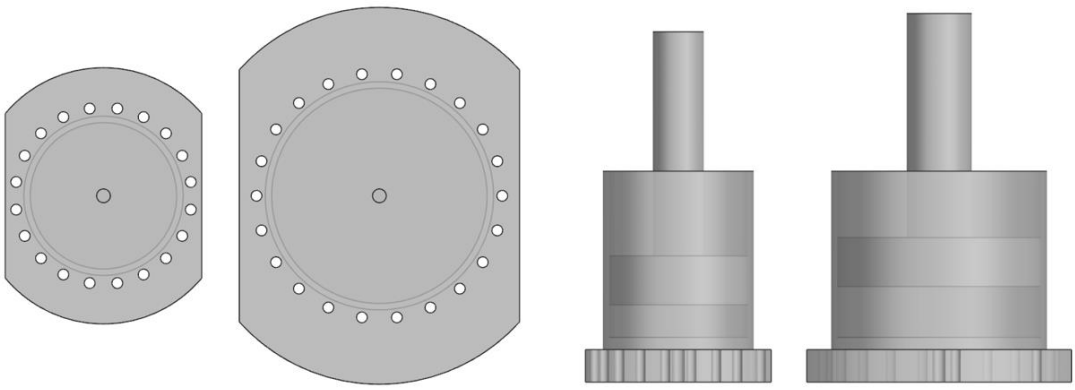
Kavitaatio on ilmiö, joka esiintyessään aiheuttaa merkittävää haittaa hydraulijärjestelmille. Kavitaatiossa nesteessä vallitseva paine laskee alle vallitsevan ilmanpaineen ja nesteessä oleva ilma erottuu kupliksi. Jos paine laskee edelleen nesteen höyrystymispaineeseen muodostuu myös höyrykuplia. Kun paine jälleen nousee, kuplat romahtavat nopeasti. Tällöin ilma liukenee ja höyry tiivistyy takaisin

nesteeseen. Kuplien romahtamisesta seuraa voimakkaita paikallisia paineenmuutoksia, jotka aiheuttavat hydraulijärjestelmän pinnoissa eroosiokulumista. Jos kavitaatio on jatkuvaa toimilaitteiden ominaisuudet heikkenevät ja toimilaite voi kulua nopeasti käyttökelvottomaksi. (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 106)

Yleisimmin kavitaatio ilmenee moottorien ja pumppujen sisäisissä kanavissa, pumpun imukanavissa ja venttiilien kuristuksissa. Kavitaatio voidaan usein havaita lisääntyneenä äänenä, joka syntyy paineiskuista. Kavitaation riskiä vältetään suunnittelemalla komponentit ja virtaus sellaisiksi, että painehäviöt eivät laske painetasoa liian alas. Kriittinen höyrystymispaine esimerkiksi 65-asteiselle tyypillisille hydrauliöljylle on noin yhden baarin alle normaalin ilmanpaineen. Erityisesti pumpun imuputkien painehäviöt on aina tarkistettava ja ilman pääseminen imuputkeen estettävä. Hydraulijärjestelmän kohonnut lämpötila lisää osaltaan kavitaation riskiä, joten myös jäähdytyksen mitoittamisella saadaan pienennettyä riskiä.

4.4 Skaalautuvan apumallin käyttö

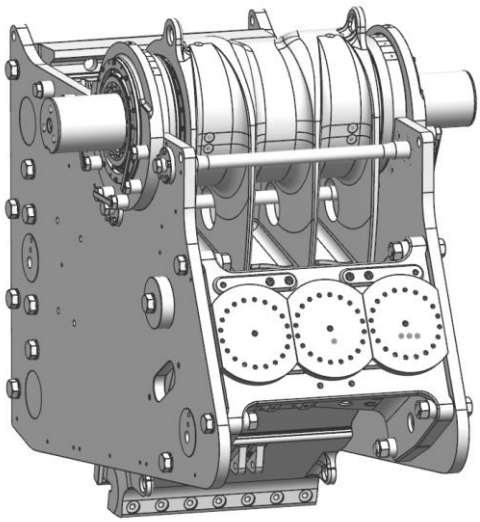
Tuotesarjan tulevien johdoskehitelmien suunnittelun helpottamiseksi osana työtä toteutettiin 3D-apumalli kuormaa vastaanottavasta sylinteristä. 3D-malli on hyödyllinen tilavarauksien tutkimisessa ja sylinterin mitoittamisessa. Apumalli on rakennettu aiempaa suunnittelutietoa käyttäen määritellyn peruskehitelmän pohjalta. Mitat apumallissa noudattavat samoja mittasuhteita kuin peruskehitelmän sylinteri. Mallin geometria skaalautuu sylinterin kannen leveyden ja männän halkaisijan mukaan. Leveys ja halkaisija syötetään mallin parametreiksi ja muut mitat määräytyvät peruskehitelmästä saatujen suhteiden mukaan. Skaalautuva apumalli kahdessa eri koossa on kuvassa 23.



Kuva 23. *Apumalli 340 mm ja 500 mm männän halkaisijalla*

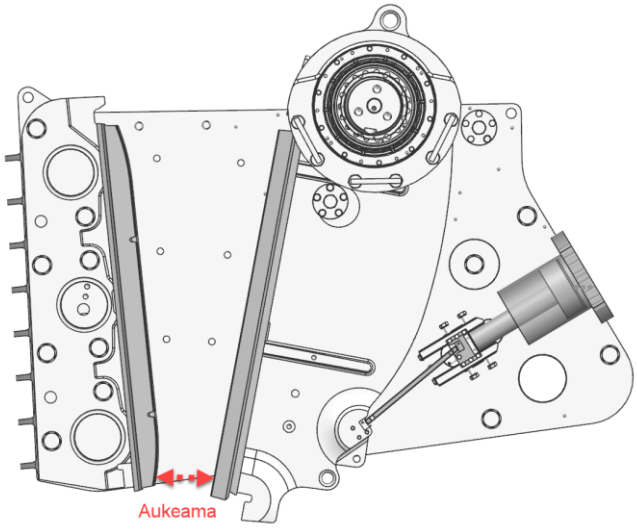
Optiossa pyritään käyttämään mahdollisimman isoja sylintereitä. Männän kokoa ja kannen leveyttä muuttamalla saadaan optimoitua sylinterit murskainmallin takarunkoon.

Kuvassa 24 on mitoitettu apumallilla sopiva sylinterikoko C-sarjan leukamurskaimeen, johon optiota ei ole vielä saatavilla.



Kuva 24. *Apumallit leukamurskaimen takapäässä*

Suurimman mahdollisen männän koon mitoittamisen lisäksi apumallilla voidaan määrittää tarvittava sylinterin iskunpituus ja männänvarren pituus johdoskehitelmissä. Iskunpituuden mitoituksen periaatteet on esitelty aiemmin tässä luvussa. Apumallin mittoja muuttamalla tutkitaan, miten erilaiset iskunpituudet vaikuttavat liikkuvan leuan asentoon. Apumallia on käytetty varolaitteen aukeaman mittaamiseen kuvassa 25.



Kuva 25. *Apumallin käyttö varolaitteen aukeaman määrittelyyn*

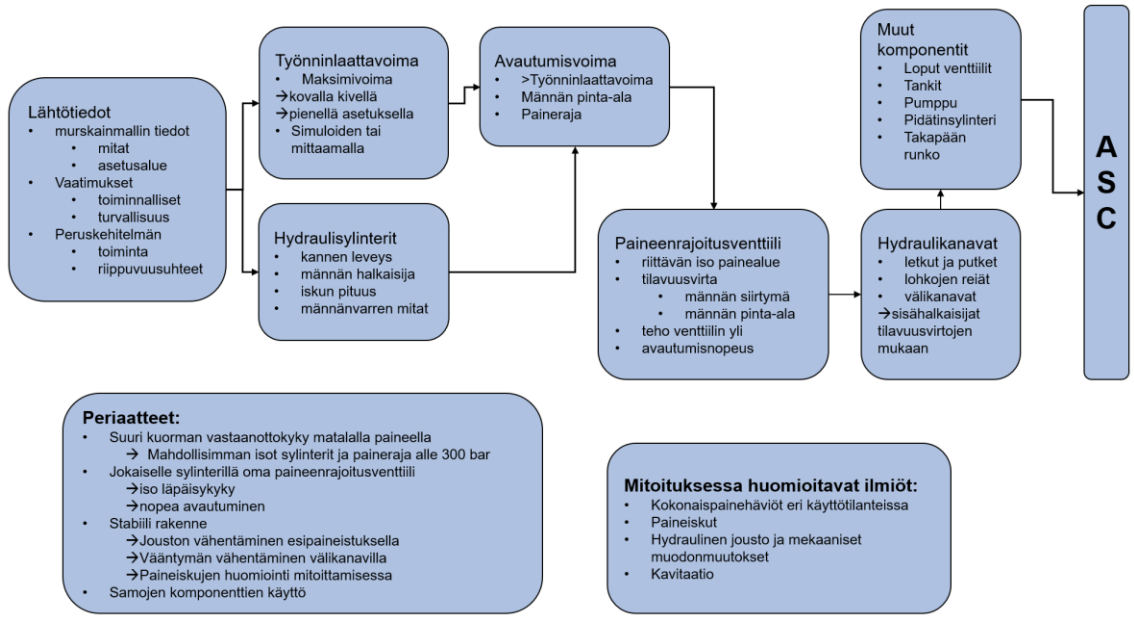
Skaalautuva apumalli mahdollistaa option tilavarauksien tutkimisen olemassa olevissa murskainmalleissa ennen yksityiskohtaisempaa suunnittelua. Apumallilla option simulointi helpottaa ja nopeuttaa suunnittelupäätösten tekemistä. Apumallilla

saavutettavissa hyödyissä yhdistyvät skaalautuvuuden ja suunnittelutiedon uudelleenkäytön hyödyt.

4.5 Option johdoskehitelmän suunnitteluprosessi

Aktiivisen asetuksen säädön option suunnitteluprosessissa mitoitettavat ja huomioitavat asiat on esitelty aikaisemmin tässä luvussa. Suunnitteluprosessi käynnistyy lähtötietojen keräämisellä. Lähtötietoja ovat suunnittelun kohteena olevan leukamurskainmallin tiedot, option toiminnan vaatimukset ja peruskehitelmä riippuvuussuhteineen. Lähtötietojen ja prosessin aikana saatavien tietojen avulla edetään option komponentti kerrallaan ja mitoitetaan komponenttien tarvittavat suureet.

Suunnitteluprosessin kulku ja eri vaiheissa huomioitavat komponenttien parametrit on koottu kuvan 26 kaavioon.



Kuva 26. *Option suunnitteluprosessi uudelle leukamurskainmallille*

Kaavioon on myös kerätty option suunnittelun tärkeimmät periaatteet ja huomioitavat hydrauliset ilmiöt. Kaavion prosessia seuraamalla varmistetaan sujuva johdoskehitelmän kehitys option tuotesarjaan. Liitteenä C on kaavio suurempana. Mitoittamisen jälkeen johdoskehitelmän suunnittelussa mallinnetaan ja valitaan tarvittavat osat. Lopuksi tuotetaan tarvittavat dokumentit uudesta kehitelmästä, kuten hydraulikaavio, piirustukset ja käyttöohjeet.

5. TULOKSET JA POHDINTA

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksella saavutetut tulokset kootusti, pohditaan tulosten vaikutusta ja vastataan työn tutkimuskysymyksiin. Tulosten ja kysymysten käsittelyn jälkeen arvioidaan työn onnistumista ja uutusarvoa. Työtä arvioidaan tavoitteiden täyttymisen ja tutkimuksen ansioiden kannalta. Lopuksi käydään läpi tutkimuksen aikana ilmenneet jatkotutkimusmahdollisuudet.

5.1 Tulokset

Työn päätulos on suunnitteluohjeistus option suunnitteluun. Tulos saavutettiin osatuloksien avulla. Työn osatuloksia ovat option vaatimukset, skaalautuva apumalli, peruskehitelmän ja sen riippuvuussuhteiden määrittely, kerätty aiempi suunnittelutieto ja tuotesarjan kehityksen vaiheet. Osaa näistä tuloksista hyödynnettiin ohjeistuksen rakenteen suunnitteluun ja osaa ohjeistuksen lähtötietoina. Päätulokseen vaikuttavien osatulosten lisäksi työssä saatiin patenttianalyysillä kerätty tieto. Tärkeimmät asiat pää- ja osatuloksista on tiivistetty seuraavasti.

Option vaatimukset

Option vaatimuksista määriteltiin option turvallisuuteen ja toiminnallisuuteen liittyvät vaatimukset. Niiden kaikkien tulee täyttyä optiossa. Turvallisuusvaatimukset saatiin kerättyä standardeista. Turvallisuusvaatimukset koskevat niin koko hydraulijärjestelmää kuin tarkemmin komponentteja ja ovat suurilta osin mitoitusvaatimuksia. Toiminnalliset vaatimukset määrittävät option komponenttien toimintaa ja mahdollistavat laajemmin murskaimelta halutun toiminnan. Vaatimuksia hyödynnetään ohjeistuksen lähtötietoina.

Skaalautuva apumalli

Hydraulisylinterin mukautuva 3D-apumalli on käyttökelpoinen tapa selvittää option mittojen muutosten vaikutuksia. Apumallin toiminta perustuu peruskehitelmän geometrisiin mittasuhteisiin. Muokattavia parametrejä apumallissa ovat männänhalkaisija, kannen leveys ja iskun pituus. Apumallin käyttö helpottaa uuden optiokoon suunnittelua.

Aiempi suunnittelutieto

Optioon liittyvä suunnittelutietoa kerättiin valmistettuihin murskaimiin liittyvistä dokumenteista, suunnittelutietovarastoista, patenteista ja haastatteluista. Aiemman suunnittelutiedon tutkimisella muodostettiin käsitys option kehityksestä, toiminnasta ja

suunnittelupäätöksien syistä. Aiempaan suunnittelutietoon on suhtauduttava kriittisesti ja sen oikeellisuus tulee aina tarkistaa.

Peruskehitelmän määrittely

Peruskehitelmäksi työssä määriteltiin C120-murskainmallin aktiivisen asetuksen säädön optio. Peruskehitelmä on paras nykyinen ratkaisu optiolle, mutta sitä voidaan edelleen jatkokehittää. Peruskehitelmästä tulee selvittää toiminnan fysikaaliset riippuvuussuhteet, koska tuotesarjan muut koot ovat peruskehitelmän johdannaisia. Määritettyä peruskehitelmää riippuvuussuhteineen käytettiin ohjeistuksen lähtötietona.

Tuotesarjan kehittämisen vaiheet

Onnistuneen tuotesarjan kehittämisen vaiheet määriteltiin kirjallisuuden avulla. Tuotesarjan suunnittelu koostuu kuudesta vaiheesta. Peruskehitelmän ja sen riippuvuuksien kautta edetään lopulliseen tuotesarjaan, joka koostuu peruskehitelmästä ja tarvittavasta määrästä johdoskehitelmiä. Kokoporrastus tuotesarjaan periytyy option tapauksessa suoraan murskainmallien ko´oista. Vaiheet ohjaavat option tuotesarjan kehittämistä laajemmin ja auttavat ohjeistuksen käyttötarkoituksen ymmärtämisessä.

Patenttianalyysin tulokset

Patenttianalyysin tavoite on löytää kaikki rajattuun aiheeseen liittyvät patentit. Patenttianalyysi toteutettiin leukamurskainten hydraulisesta kuormanpurusta ja sillä löydettiin niin voimassaolevia kuin vanhentuneita patentteja. Analyysin tuloksia erilaisista kuormanpurun variaatioista voi hyödyntää tulevaisuudessa. Patenttien julkisuus mahdollistaa kilpailijoiden ratkaisujen tutkimisen ja teknologian kehityksen seurannan.

Option skaalautuva suunnitteluohjeistus

Tavoitteen mukaisesti päätulos on suunnitteluohjeistus leukamurskainten skaalautuvalle optiolle. Optio on osa erikokoisten mallien muodostamaa tuotesarjaa, joten ohjeistus on yleisohje johdoskehitelmän luomiselle. Suunnitteluohjeistus ei ota kantaa yksityiskohtaiseen suunnitteluun, vaan ohjeistaa option komponenttien mittojen ja toiminnallisuuksien päämäärät, jotka johdoskehitelmän tulee täyttää. Option suunnitteluperiaatteiksi ohjeistuksessa todetaan:

- Suuri kuorman vastaanottokyky matalalla paineella
- Oma paineenrajoitusventtiili jokaiselle sylinterille
- Stabiili rakenne
- Samojen komponenttien käyttö.

Ohjeistuksessa käsitellään lisäksi huomioitavia hydraulisia ilmiöitä. Suunnitteluohjeistus on käyttökelpoinen sekä uusien mallien kehittämiseen että aikaisempien yhdenmukaistamiseen. Ohjeistuksen tehokkaalle käytölle on kriittistä lähtötietojen oikeellisuus ja suunnitteluprosessin seuraaminen.

5.2 Tutkimuskysymyksiin vastaaminen

Työssä tehdyn aikaisemman tiedon keräämisen, simuloinnin ja kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan vastata luvussa 1.2 esiteltyihin tutkimuskysymyksiin. Ratkaistava tutkimusongelma oli option skaalaaminen teknisesti toimivasti uusiin malleihin. Tutkimusongelman pohjalta määritettiin kolme tutkimuskysymystä.

1. Mitä suunnitteluohjeistuksen tulee sisältää, jotta skaalautuvuuden hyödyt saavutetaan?

Skaalautuvuuden hyödyiksi määriteltiin monikäyttöisyyden lisääntyminen, resurssien säästö, toimintojen lyhyempi vasteaika ja laadun parantaminen. Suunnitteluohjeistuksen käsitellessä tuotesarjan osan suunnittelua, lähtötietoina tulee olla peruskehitelmän riippuvuussuhteet ja toiminta. Lähtötietojen kautta peruskehitelmän piirteet voidaan skaalata tuotesarjan uuteen kokoon. Suunnitteluohjeistuksen tulee sisältää ohjeet kaikkien toimintaan vaikuttavien komponenttien ja ilmiöiden mitoittamiseen. Ohjeistamalla komponenttien mitoitus siten, että ne toimivat kaikissa käyttötilanteissa mahdollistetaan skaalautuvuuden hyötyjen saavuttaminen. Resursseja säästetään ohjeistamalla suunnittelijaa käyttämään samoja komponentteja tilanteissa, joissa se on mahdollista. Lisäksi option suunnittelijan tulee ymmärtää, miksi asiat suunnitellaan ohjeistuksen tavalla. Suunnittelupäätösten ymmärtämiseksi ohjeissa on esitettävä perustelut.

2. Millaisia vaatimuksia optiolle on?

Optiolla on turvallisuuteen ja toiminnallisuuteen liittyviä vaatimuksia. Turvallisuusvaatimukset ovat peräisin standardeista. Ne ohjeistavat, miten optio ja sen komponentit tulee suunnitella turvallisuuden varmistamiseksi. Toiminnalliset vaatimukset määrittävät, miten option tulee toimia, jotta option murskaimelle tuomat ominaisuudet toteutuvat. Option toiminnalliset vaatimukset ovat kytköksissä murskainmallin toiminnan vaatimuksiin. Toiminnallisen vaatimuksen täyttäminen ei saa vaarantaa turvallisuusvaatimuksien toteutumista, joten vaatimuksia tulee käsitellä kokonaisuutena.

3. Mitä hyötyjä patentteja ja aikaisempia ratkaisuja tutkimalla voidaan saavuttaa suunnittelussa?

Aikaisempaa suunnittelutietoa ja patentteja tutkimalla saavutetaan suunnittelussa monia hyötyjä. Suunnittelutietoa uusiokäyttämällä saadaan suunnittelusta nopeampaa ja kustannustehokkaampaa. Aikaisemman suunnittelutiedon tutkiminen parantaa myös laatua ja vähentää epävarmuustekijöitä. Suurin hyöty aikaisemmalla suunnittelutiedolla saavutetaan konseptisuunnittelun yhteydessä. Jotta aikaisempien ratkaisujen tutkimisen hyödyt saavutetaan, ratkaisujen toimivuus on tarkastettava. Patentteja tutkimalla saadaan tietoa kilpailijoiden keksinnöistä ja nykyisen tekniikan tasosta. Tietoisuus teknologian tasosta helpottaa omaa tuotekehitystä. Patentteja ajoissa tarkastelemalla vältytään turhalta työltä, jos oma keksintö rikkoisi olemassaolevan patentin suojapiiriä.

5.3 Työn arviointi

Diplomityön tärkeimpänä tavoitteena oli helpottaa ja nopeuttaa option suunnittelua luomalla suunnitteluohjeistus. Suunnitteluohjeistuksen pääkäyttökohde on option uusien mallien mitoittamisessa, mutta sillä tavoiteltiin myös mahdollisuutta olemassaolevien mallien parantamiseen. Ohjeistuksen tuli myös olla yleisohje option suunnitteluun, jotta se sopisi ohjeeksi koko leukamurskaintuoteperheelle. Option muodostaman tuotesarjan kustannustehokkuuteen pyrittiin ohjeistamalla käyttämään samoja komponentteja mahdollisimman paljon eri kokojen välillä. Toisena merkittävänä tavoitteena työssä oli aikaisemman suunnittelutiedon ja suunnitteluratkaisujen syiden kerääminen.

Työssä tehdyn skaalautuvan option suunnitteluohjeistuksen myötä päätavoite saavutettiin. Aikaisempi suunnittelutieto toimi lähtötietona suunnitteluohjeistuksen luomiselle ja peruskehitelmän määrittämiselle, joten tiedon keräämisen tavoite saavutettiin päätavoitteen ohessa. Suunnitteluohjeistus sisältää kaikkien option tärkeimpien komponenttien mitoittamisen ja perustelee suunnittelupäätöksiin vaikuttavat syyt. Tarvittavat pohjatiedot ohjeistuksen käyttöön on määritetty ohjeistuksessa, joten ohjeistusta käyttämällä option suunnittelun aloitus on nopeaa. Ohjeistuksen rakenne on johdonmukainen, mutta ohjeistusta voisi vielä parantaa määrittelemällä tarkemmin, miten ja milloin suunnitteluprosessissa tulee tarkistaa aiemmin mitoitettujen parametrien oikeellisuus. Tälläinen lisäys on kuitenkin hankala toteuttaa, koska option komponenttien välillä on paljon riippuvuuksia.

Työn tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuuskatsausta, aikaisemman suunnittelutiedon keräämistä, haastatteluja ja simulointia. Menetelmät sopivat hyvin käytettäväksi osana konstruktiivista tutkimustapaa, jolla pyrittiin löytämään ratkaisu

määriteltyyn tutkimusongelmaan. Aikaisemman tiedon keräämisellä ja haastatteluilla saatiin määriteltyä ongelma ja kerättyä käytännöllistä tietoa. Kirjallisuuskatsauksella etsittiin teoreettista tietoa option suunnitteluun vaikuttavista asioista. Ratkaisun muodostamiseen käytettiin kerätyn tiedon lisäksi simulointia. Tutkimusmenetelmien käyttö oli työssä tarkoituksenmukaista ja tavoitteita tukevaa. Menetelmillä saavuttiin kuusi osatulosta, joista viittä hyödyntämällä päätulos muodostettiin.

Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa eniten kerättyjen tietojen oikeellisuus ja käytetyn kirjallisuuden laajuus. Tietojen oikeellisuus saavutettiin tarkistamalla tiedot mahdollisuuksien mukaan useammasta lähteestä. Aikaisempaa suunnittelutietoa on lisäksi kyseenalaistettu ja mitoittamisessa käytettyjä laskuja tarkistuslaskettu. Työhön käytettyjä lähteitä on kerätty laajasti ja arvioitu kriittisesti. Kaikkia aiheeseen liittyviä näkökulmia ei kuitenkaan ole saatu huomioitua työn rajoitetun laajuuden vuoksi. Ohjeistuksen luomiseen käytettyä kirjallisuuspohjaa voidaan pitää kuitenkin riittävänä. Ohjeistuksen käytettävyydestä ja hyödyllisyydestä ei ole vielä tietoa, koska option suunnittelua uusiin malleihin ei ole vielä aloitettu. Suunnitteluohjeistuksen käytöstä saatavien havaintojen myötä ohjeistusta voidaan tulevaisuudessa päivittää. Työn päätulos on huonosti yleistettävissä muihin tapauksiin sen spesifin käyttötarkoituksen takia. Kuitenkin osatuloksista tuotesarjan kehittämisen vaiheet, patenttien hyödyntämisen tavat ja skaalautuvan apumallin hyödyt ovat yleistettävissä moniin tilanteisiin.

Työllä on uutuusarvoa, koska vastaavia julkisia skaalautuvien tuotesarjojen suunnitteluohjeistuksia ei ole juurikaan julkaistu. Oletettavasti vastaavanlaisia tuotesarjan suunnittelua käsitteleviä ohjeistuksia on olemassa, mutta ne ovat vain yhtiöiden sisäisessä käytössä. Työnantajayritykselle oli tehty jo aikaisemmin option mitoittamista osittain käsittelevä diplomityö, mutta työssä ei luotu varsinaista mitoitusohjeistusta option suunnitteluun tai esitelty suunnitteluprosessin kulkua. (Siiskonen, 2015) Tässä työssä ohjeistetaan koko suunnitteluprosessi ja mitoituksessa huomioitavat tekijät oleellisimmille komponenteille, joten työllä on uutuusarvoa verrattuna aikasempaan työhön.

Tutkimusta voidaan pitää varsinkin yrityksen näkökulmasta onnistuneena, koska tavoitteisiin päästiin. Akateemisesti työ olisi voinut olla onnistuneempi, jos kirjallisuuskatsaus olisi ollut laajempi. Laajempi ja syvempi kirjallisuuskatsaus olisi tuskin kuitenkaan tuonut lisäarvoa suunnitteluohjeistukseen. Jos tutkimus toistettaisiin, tutkimuksen rakenteen suunnitteluun ja käytettävien teorioiden valintaan kannattaisi panostaa aikaisemmin. Näin tutkimuksen eteneminen olisi johdonmukaisempaa ja tehokkampaa. Tutkimuksessa erityisen hyvin onnistui kokonaiskuvan muodostaminen

leukamurskainten hydraulisesta kuormanpurusta. Tehty patenttianalyysi ja hydraulisen kuormanpurun ratkaisujen vertailu toi työlle lisäarvoa, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa murskainten kehityksessä.

5.4 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Tutkimuksen aikana esiin nousi kehitysideoita ja -mahdollisuuksia option toimintaan. Option toiminnassa on kehitettävää erityisesti tiedonkeruussa ja varolaitteen toiminnan säädettävyydessä. Leukamurskaimen toiminnasta ei tällä hetkellä kerätä muuta rasitustietoa kuin kulutettua sähkötehoa. Optiollisten mallien murskausvoimia voitaisiin kuitenkin mitata lisäämällä paineanturit kuormaa vastaanottaviin sylintereihin. Paineantureiden keräämällä tiedolla kyettäisiin seuraamaan murskaimen kuormitusta sen elinkaaren aikana ja ennakoimaan kulumisesta aiheutuvia vikoja. Paineantureiden mittausdatan perusteella olisi myös mahdollista säätää avautumispaineen rajaa tarpeen mukaan. Mitatusta paineesta analysoitua tietoa, kuten keskipainetta murskauksen aikana, voisi näyttää murskaimen automaatioyksikön näytössä. Painetiedon tutkiminen auttaisi kehittämään myös murskainmalleja ilman aktiivista asetuksen säätöä.

Hydraulisen varolaitteen herkkyyttä ohjaa optiossa tällä hetkellä suoraanohjattu paineenrajoitusventtiili, jota säädetään mekaanisesti. Muita venttiilivaihtoehtoja tutkimalla voitaisiin parantaa varolaitteen säädettävyyttä ja toimintaa. Työn aikana esiin tulleita vaihtoehtoja ovat nopea esiohjattu paineenrajoitusventtiili, digitaalihydraulinen paineenrajoitusventtiili tai rinnakkain toimivat esiohjattu ja suoraanohjattu venttiili. Venttiilityypin valinnan lisäksi painerajan säätöä automaation kautta kannattaisi tutkia. Tässä kehitysmahdollisuudessa voisi yhdistää paineantureista saatavan tiedon ja venttiilien säädön.

Optioon kohdistuvien kehitysideoiden lisäksi tutkimuksessa huomattiin patenttien hyödyntämisen mahdollisuudet muissakin tapauksissa. Kilpailijoiden patenttien hausta voisi tehdä säännöllistä ja muodostaa löydettyjen patenttien käsittelyyn asiantuntijaryhmän. Ryhmä kävisi löydökset läpi ja vertaisi työnantajayrityksen omiin tuotteisiin. Näin sekä havaittaisiin mahdollisia patenttirikkomuksia kuin löydettäisiin kilpailijoiden uusia ratkaisuja. Muita option ulkopuolisia jatkokehitysmahdollisuuksia yrityksen toimintaan ovat laajempi isojen suunnitteluprosessien vakiointi ja mukautuvien apumallien käyttö. Näiden toimintatapojen käyttöönotto vaatii resursseja, mutta ne nopeuttaisivat suunnittelua ja tuotekehitystä jatkossa.

6. YHTEENVETO

Diplomityön päätavoitteena oli luoda suunnitteluohjeistus työnantajayrityksen leukamurskaintuoteperheen optiolle. Ohjeistuksen tarkoitus on helpottaa option suunnittelua uusiin malleihin tulevaisuudessa. Option toimintaa pyritään kehittämään myös malleissa, joissa se on jo saatavilla. Tuoteperheen murskainmallit ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia ja eroavat toisistaan lähinnä mallien koon ja murskainten toimintaparametrien suuruuden osalta. Lisäksi työtä tehdessä kerättiin aikaisempi suunnittelutieto kattavasti ja etsittiin syyt erilaisille suunnitteluratkaisuille, toisen tavoitteen mukaisesti. Työn tavoitteiden pohjalta määritettiin tutkimusongelma, joka oli option teknisesti toimiva skaalaaminen uusiin malleihin. Ongelmanratkaisua tukemaan muodostettiin tutkimuskysymykset ja valittiin menetelmät tutkimuksen toteuttamiseksi.

Työ aloitettiin teoriaosuudella, jolla selvitettiin skaalautuvien tuotesarjojen suunnittelua, aikaisemman suunnittelutiedon uusiokäyttöä ja patenttien hyödyntämistä. Kirjallisuuteen tutustumalla saatiin selville suunnittelutiedon uusiokäytön ja patenttien tutkimisen hyödyt ja tuotesarjan suunnittelussa huomioitavat asiat. Lisäksi määriteltiin yleisesti, mitä skaalautuvuus merkitsee ja miksi se on toivottava ominaisuus.

Ohjeistuksen ymmärtämisen mahdollistamiseksi työssä esiteltiin option toimintaperiaate ja sen eroja olemassaolevissa malleissa. Option erilaisten suunnitteluratkaisujen tutkimisen kautta määriteltiin tuotesarjan peruskehitelmä ja sen tärkeimmät fysikaaliset riippuvuussuhteet. Tuotesarjan peruskehitelmä toimii option suunnitteluprosessin lähtötietona, jonka avulla optio skaalataan toimivasti erikokoiselle murskaimelle.

Toimiakseen halutulla tavalla ja turvallisesti option tulee täyttää sille määritellyt vaatimukset. Option turvallisuuteen ja toiminnallisuuteen liittyvät vaatimukset määriteltiin työssä turvallisuusstandardien, aikasemman tiedon ja haastatteluiden avulla. Vaatimusten selvittäminen tehtiin työssä ennen suunnitteluohjeistuksen luomista, koska ne toimivat suunnittelun lähtötietoina. Vaatimukset käsittelivät niin option yksittäisten komponenttien mitoitusta kuin koko option toimintaa.

Varsinainen muodostettu suunnitteluohjeistus on yleisohje johdoskehitelmän luomiselle. Ohjeistuksessa edetään option komponenttien osalta suositeltavassa mitoitusjärjestyksessä. Kyseessä on kuitenkin iteratiivinen suunnitteluprosessi, jossa suunnittelupäätösten vaikutus aiemmin mitoitettuihin komponentteihin tulee aina tarkistaa. Ohjeistuksen alussa esiteltiin tarvittavat lähtötiedot eli option vaatimukset,

suunnittelun kohteena olevasta murskainmallista saatavat tiedot ja määritelty tuotesarjan peruskehitelmä. Tämän jälkeen ohjeistuksessa kerrotaan komponenttien suunnittelussa huomioitavat parametrit ja niihin vaikuttavat ilmiöt. Ohjeistuksessa kerrotaan myös luodun apumallin käyttömahdollisuuksissa option suunnitteluun ja esitellään option suunnitteluprosessin tiivistävä kaavio.

Tehdyn tutkimuksen tuloksena saatiin kuusi osatulosta ja niistä viiden avulla muodostettiin työn päätulos, skaalautuvan option suunnitteluohjeistus. Kolmeen työssä määriteltyyn tutkimuskysymykseen vastattiin aikaisemman kerätyn tiedon, simuloinnin ja kirjallisuusselvityksen avulla. Päätutkimuskysymyksen vastauksena todettiin, että skaalautuvan tuotesarjan suunnitteluohjeistuksen tulee sisältää tarvittavat tiedot peruskehitelmästä ja ohjeet toimintaan vaikuttavien komponenttien ja ilmiöiden mitoitukseen. Lisäksi suunnittelijalle on tuotava tietoon tuotesarjan kehittämisen vaiheet, ja mitoitusohjeiden tulee kattaa kaikki suunniteltavan tuotteen käyttötilanteet, jotta skaalautuvuuden hyödyt on mahdollista saavuttaa. Työn lopuksi arvioitiin tuloksia ja esiteltiin työn aikana esiin nousseet jatkokehitysmahdollisuudet.

LÄHTEET

Aho, H. et al. (2021). Patenttikäsikirja. Helsinki: Patentti- ja rekisterihallitus.

Baxter, D. et al. (2007). An engineering design knowledge reuse methodology using process modelling, Research in engineering design, 18(1), pp. 37–48. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/s00163-007-0028-8.

Boast, I. (2008). Jaw Crusher With A Hydraulic Cylinder Overload Arrangement. Pat. US7341213.

Bondi, A.B. (2000). Characteristics of scalability and their impact on performance, in Proceedings Second International Workshop on Software and Performance WOSP 2000. Saatavissa: https://doi.org/10.1145/350391.350432.

Brand, H. & Oestreich, K. (1967). Ueberlastsicherung Fuer Backenbrecher. Pat. DE1237882B.

Campbell, R.S. (1983). Patent trends as a technological forecasting tool, World patent information, 5(3), pp. 137–143.

Daim, T.U. et al. (2006). Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis, Technological forecasting & social change, 73(8), pp. 981–1012.

Dalton, G. (1882). Machinery for crushing ore. Pat. US252080.

Duffy, S.M., MacCallun, K.J. & Duffy, A.H.B. (1995). A design reuse model.

Ernst, H. (1997). The Use of Patent Data for Technological Forecasting: The Diffusion of CNC-Technology in the Machine Tool Industry, Small Business Economics, 9(4). Saatavissa: https://doi.org/10.1023/A:1007921808138.

Ernst, H., Leptien, C. & Vitt, J. (2000). Inventors are not alike: the distribution of patenting output among industrial R&D personnel, IEEE transactions on engineering management, 47(2), pp. 184–199.

Eskelinen, H. & Karsikas, S. (2014). Tutkimusmetodiikan perusteet. 1. p., Tutkimusmetodiikan perusteet. 1. p. Tampere: Tammertekniikka.

E.W. Blake (1858). Machine for crushing stone. Pat. US20542A.

Falbo, D. & Carlesso, F. (1997). Crushing Machine With Jaws, Particularly Adapted To The Recycling Of Materials. Pat. US5660337.

Fladvad, M. & Onnela, T. (2020). Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates, Minerals engineering, 151, p. 106338.

Ginsburg, A., Börjesson, F. & Erixon, G. (2004). Size ranges in modular products - financial approach.

Grijota, C.G., Acero, R. & Yagüe-Fabra, J.A. (2021). Product development methodology “scalability”, in Procedia CIRP. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.125.

Gupta, A. & Yan, D. (2006). Mineral Processing Design and Operation.

Haas, J. & Bernhard, R. (1926). Safety device for crushers. Pat. US1603765A.

Hagiwara, T. et al. (1988). Method For Crushing Massive Furnace Slag Using A Swingable Type Crushing Apparatus. Pat. US4749132.

Holopainen, P. (2018). A method for operating a crusher, a crushing system and a crushing plant. Pat. EP3003565B1.

Jokiranta, J. & Tattari, J. (2022). Engineer Manager ja Chief engineer, Keskustelu 9.5.2022

Jonkka, J. (2016). Reducing of one-sided twisting of a pitman in a mineral material processing plant. Pat. EP3007827A1.

Jonkka, J. (2017). Method and apparatus for reducing give in a crusher. Pat. EP2888049B1.

Jonkka, J. (2022). Diplomi-insinööri, Development engineer, Metso Outotec, Haastattelu 23.2.2022.

Kauranne, Heikki., Kajaste, J. & Vilenius, M. (2013). Hydraulitekniikka . 2. uud. p., Hydraulitekniikka. 2. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro.

Koivukunnas, P. et al. (2012). Patenttitiedon hyödyntäminen tuoteideoiden arvioinnissa ja valinnassa. Helsinki: Uudenmaan ELY-keskus (copyright) (Aalto-yliopiston julkaisusarja Crossover). Saatavissa: http://lib.tkk.fi/CROSSOVER/2012/isbn9789526048086.pdf.

Koneasetus, Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008 (2009).

Loikkanen, T. et al. (2009). Acquisition, Utilisation and the impact of patent and market information on innovation activities, in VTT Tiedotteita - Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, pp. 1–68.

Mäkelä, M. et al. (2008). Tekniikan kaavasto : matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä . 6. p., Tekniikan kaavasto : matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. 6. p. Tampere: Tammertekniikka.

Malakov, I., Zaharinov, V. & Tzenov, V. (2015). Size Ranges Optimization, Energy Procedia, 100(C), pp. 791–800.

Manuquip Aggregate processing solutions (2022). Telsmith Stationary Jaw Crushers. Saatavissa: https://manuquipinc.com/en/produit/telsmith-stationary-jaw-crushers/ (viitattu 27.6.2022).

McLanahan (2022). How A Jaw Crusher Works. Saatavissa: https://www.mclanahan.com/resource-library/how-it-works-jaw-crusher (viitattu 20.6.2022).

Metso Outotec (2021). Nordberg C-series Instruction manual.

Metso Outotec (2022a). Active setting control -sales presentation.

Metso Outotec (2022b). Nordberg C-series -verkkosivut. Saatavissa: https://www.mogroup.com/portfolio/nordberg-c-series/ (viitattu 9.3.2022).

Metso Outotec (2022c). Paikallistietoa Tampere Lokomonkatu -verkkosivut.

Metso Outotec Oy (2022). Vuosikertomus 2021. Saatavissa: https://www.mogroup.com/fi/yritys/sijoittajat/vuosikertomus/

METSTA, M. standardisointiyhdistys (2020). Koneenrakentajan tärkeimmät standardit. Helsinki.

Michaud, D. (2014). Difference Between Single & Double Toggle Jaw Crusher. Saatavissa: https://www.911metallurgist.com/blog/difference-between-single-double-toggle-jaw-crusher (viitattu 30.5.2022).

Mogee, M.E. (1991). Using Patent Data for Technology Analysis and Planning, Research-Technology Management, 34(4). Saatavissa: https://doi.org/10.1080/08956308.1991.11670755.

Mueller, D. (2011). A cost calculation model for the optimal design of size ranges, Journal of engineering design, 22(7), pp. 467–485.

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. (2015). Kehittämistyön menetelmät : uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3.-4. painos., Kehittämistyön menetelmät : uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3.-4. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Ong, S.K., Nee, A.Y.C. (Andrew Y.C. and Xu, Q.L. (2008). Design reuse in product development modeling, analysis and optimization. Singapore; World Scientific Publishing (Series on manufacturing systems and technology; vol. 4).

Ong, S.K., Xu, Q.L. & Nee, A.Y.C. (2006). Design Reuse Methodology for Product Family Design, CIRP annals, 55(1), pp. 161–164.

Pahl, G. et al. (2013). Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition, Engineering Design. Third Edition. London: Springer London, Limited.

Pakkanen, J. et al. (2016). Achieving Benefits with Design Reuse in Manufacturing Industry, Procedia CIRP, 50, pp. 8–13.

Pakkanen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2018). Identifying and addressing challenges in the engineering design of modular systems – case studies in the manufacturing industry.

Patentti- ja rekisterihallitus (PRH) (2018). Patenttiopas. Helsinki.

PSK Standardisointiyhdistys ry (2006). PSK 6706 Teollisuushydraulijärjestelmän suunnittelu ja hankinta. Järjestelmän komponentit.

Quella, P., Jaworski, B. & Haven, M. (2002). Jaw Crusher Toggle Beam Hydraulic Relief And Clearing. Pat. US6375105.

Rust, J. & Engel, G. (2021). Apparatus and method for a tramp iron relief system. Pat. US10940481B2.

Salmi, T. & Pajunen, S. (2010). Lujuusoppi , Lujuusoppi. Tampere: Pressus.

Siiskonen, H.M. (2015). Leukamurskaimen työnninlaatan anturointi ja hydraulikäyttöisen varolaitteen mitoitus.

Sjöberg, P., Burhoff, K. & Wood, A. (2013). Hydraulic System For Controlling A Jaw Crusher. Pat. EP2662142.

Spicer, P., Yip-Hoi, D. & Koren, Y. (2005). Scalable reconfigurable equipment design principles, International Journal of Production Research, 43(22). Saatavissa: https://doi.org/10.1080/00268970500183042.

Steyer, J. et al. (1967). Backenbrecher. Pat. DE1237414.

Suomen standardisoimisliitto SFS (2010a). SFS-EN ISO 4413 Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä ja niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset. Helsinki.

Suomen standardisoimisliitto SFS (2010b). SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki.

Suomen standardisoimisliitto SFS (2010c). SFS-EN ISO 14121-2 Koneturvallisuus riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Helsinki.

Suomen standardisoimisliitto SFS (2017). SFS-EN ISO 7250-1 Basic human body measurements for technological design. Part 1: Body measurement definitions and landmarks.

Suomen standardisoimisliitto SFS (2020). SFS-EN 1009-1 Machines for mechanical processing of minerals and similar solid materials. Safety Part 1: Common requirements for machinery and processing plants. Helsinki.

Taylor, S.W.J. (1952). Jaw crusher with hydraulic release and reset device. Pat. US2588180A.

Terva, J. (2017). The effect of compression and sliding movement on the wear resistance of steels and crushing work in mineral crushing, [Preprint]. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto (Publication / Tampere University of Technology, 1458.).

Viilo, K. (2014). Crushing and screening handbook. Sixth. Metso Minerals.

Weiss, H. (1968). Overload protection for crusher. Pat. DE1962E023076.

World Intellectual Property Organization (2015). WIPO patent drafting manual. Geneva, Switzerland: World Intellectual Property Organization (IP assets management series).

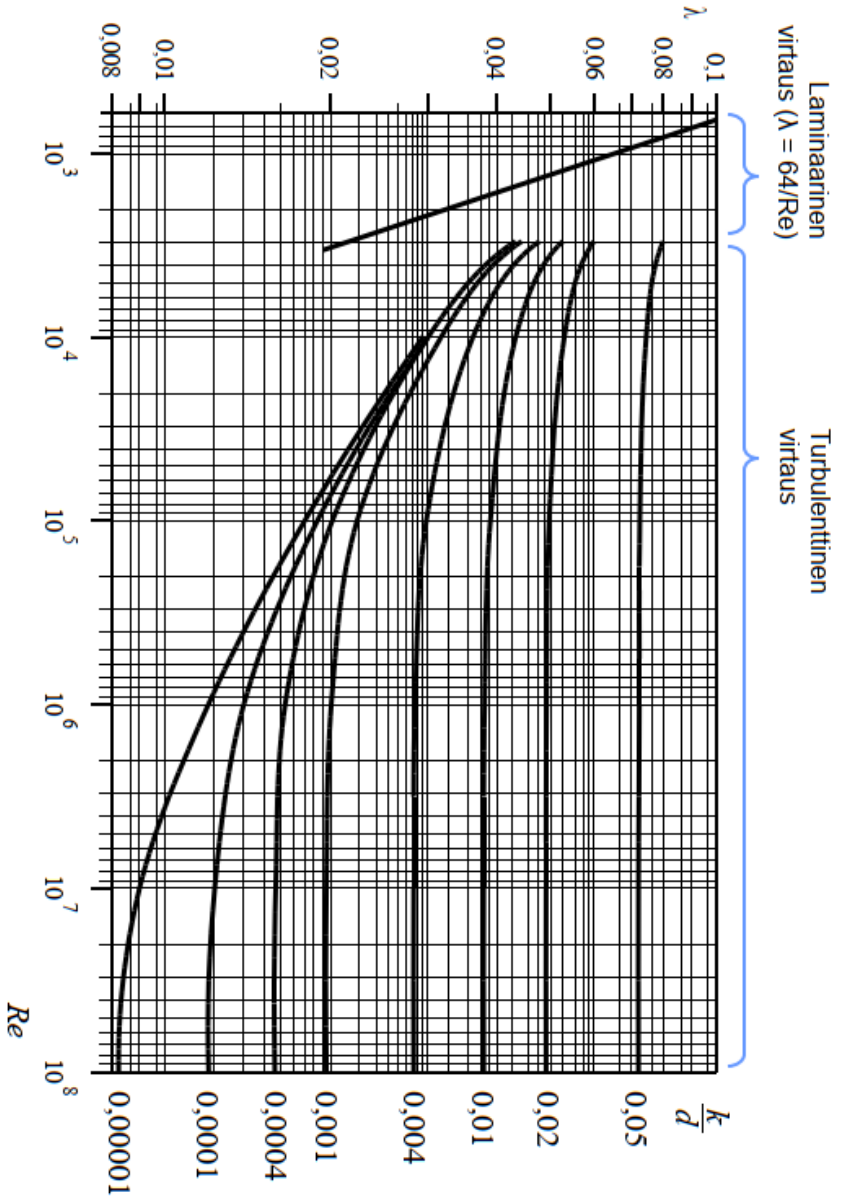
World Intellectual Property Organization (WIPO) (2004). WIPO Intellectual Property Handbook: Policy, Law and Use. 489pp edn. Geneve, Switzerland.

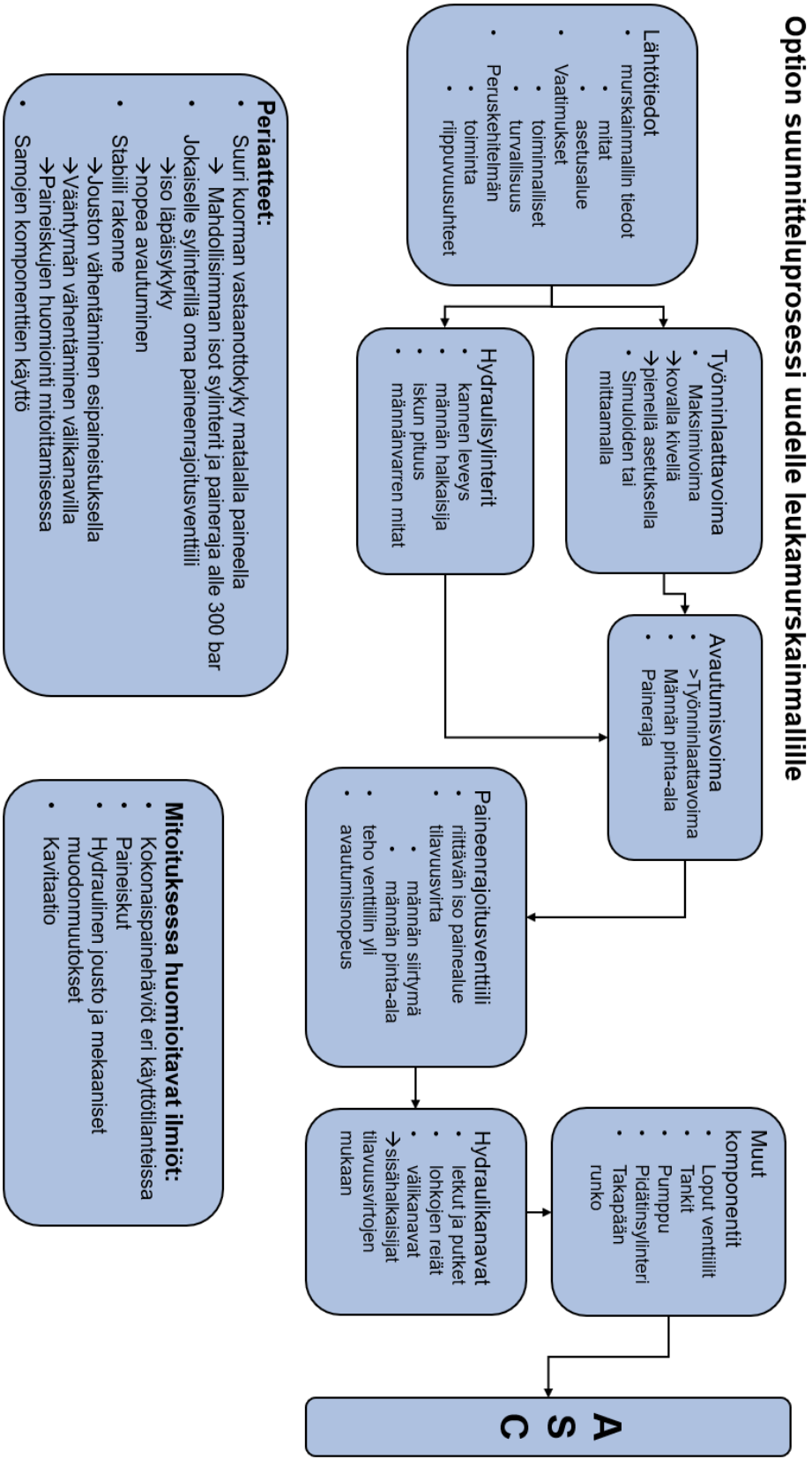
Yamazaki, K. et al. (2011). Self-Propelled Crusher And Management System For Self-Propelled Crusher. Pat. US7942355.

LIITE A: OPTION VAATIMUSTAULUKKO

	Turvallisuusvaatimukset	Toiminnalliset vaatimukset
Yleiset	– kestoiän huomiointi – komponettien turvallinen valinta – melun ja lämpötilan tuoton huomiointi – tarkoituksettomien liikkeiden esto – hätäpysäytys	– stabiili rakenne – energiatehokkuus – asetuksen nopea avautuminen varolaitekäytössä – aukeaman suuruus varolaitteena – kulumisen huomiointi toiminnassa – pyrkimys samojen komponenttien käyttöön – toimintavarmuus elinkaaren aikana
Hydraulijärjestelmä	– painealue – lämpötila-alue – tilavuusvirta-alue – hydraulinesteen tyyppi – nostojen huomiointi – hätätilanteet – suojaava pinnoite	– kavitaation estäminen – hydraulisen jouston huomiointi – tarpeettomien painehäviöiden minimointi – korkeapainealueen välttäminen – luotettava ja säädettävä toiminta
Hydraulisylinterit	– nurjahdus- – tärinä- – iskukestävyys – mitoitus maksimikuormalla – sylinterin asennustapa – päätyvaimennuksen ja pysäytyksen tarve	käyttötapauksiin soveltuvat mitat ja liikkeet: – männän halkaisija – iskun pituus – männänvarren pituus – asetuksen säädön nopeus
Paineenrajoitusventtiilit	mitoitus järjestelmän vaatimusten mukaan: – säätö – tilavuusvirta – avautumisnopeus – käyttötarkoitus	– teho venttiilin yli ei saa nousta liian suureksi – samanaikainen avautuminen – huollettavuus – vuototiiveys
Letkut ja kanavat	– painehäviöt – lämpötilat – liitosten määrän minimimointi – painelinjojen ulkoinen suojaus – piiskaliikkeen esto	– letkujen pituus – tärinän vaimentaminen letkuilla
Tankki ja koneikko	– riittävä tilavuus – nesteen pintakorkeus – lähtövirtaukset – tila ilmanerottumiselle ja laajenemiselle – rakenteellinen kestävyys	– tankin tilavuus optiota varolaitteena käytettäessä – koneikon tankin tilavuus koko nestemäärän mukaan

LIITE B: MOODYN KÄYRÄSTÖ



Moodyn käyrästö putkivirtaukselle (Kauranne, Kajaste & Vilenius, 2013, s. 61)

LIITE C: OPTION SUUNNITTELUPROSESSI