

Sähköisen moottorisuojan avausmekanismin kehittäminen

Jaakko Maksimainen

Opinnäytetyö

Lokakuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Koneensuunnittelu

Tekijä(t) Maksimainen, Jaakko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Lokakuu 2018
	Sivumäärä 43	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi Sähköisen moottorisuojan avausmekanismin kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka, koneensuunnittelu		
Työn ohjaaja(t) Jorma Matilainen Olli Väänänen		
Toimeksiantaja(t) Tana Oy		
Tiivistelmä <p>Tana Oy suunnittelee ja myy jätteenkäsittelyyn tarkoitettuja raskaita työkoneita. Tuotteita ovat kaatopaikkajyrät, jätereپیجات sekä jäteseuulat. Tana tarjoaa myös älykkäitä digitaalisia palveluita jätteitä käsittelevien yritysten tuotannon seurantaan ja optimointiin.</p> <p>Kaatopaikkajyrien ja jätereپیجoiden moottorisuojien operoiminen haluttiin muuttaa sähkötoimiseksi. Suurten ja raskaiden suojien käsittely oli kovalla tuulella hankalaa ja vaarallista. Tämän lisäksi sähköisen järjestelmän tarjoamiksi eduiksi katsottiin parempi työergonomia ja tuotteiden parantunut laatuvaikutelma.</p> <p>Kehitystutkimuksen yhtenä tavoitteena oli varmistua koneturvallisuuden ja luotettavuuden toteutumisesta sähköisessä järjestelmässä. Riskikohteiden tunnistamisen ja minimoimisen piti tapahtua niin, että myös Tanan kansainväliset asiakkaat hyväksyvät rakenteen äärimmäisiin sääolosuhteisiin. Näihin tavoitteisiin pääseminen edellytti koneturvallisuus standardeihin ja riskianalyyysiin tutustumista.</p> <p>Kehitystyön tuloksena valittiin karamoottori, jolla moottorisuojien avaaminen ja sulkeminen hoidetaan. Sen nopeus ja voima onnistuttiin optimoimaan suorituskyvyn ja turvallisuuden suhteen. Karamoottorin asennus suunniteltiin sopimaan koneisiin mahdollisimman pienin muutoksin. Vanhat mekaaniset lukot ja tuulihaat voitiin jättää pois, jolloin nimikkeiden määrä tippui huomattavasti.</p> <p>Kehitystutkimuksen johtopäätöksenä todettiin, että koneturvallisuusstandardia SFS-EN ISO 12100:2010 ja riskin pienentämisen strategiaa hyödyntämällä pystyttiin kehittämään turvallinen ratkaisu toimeksiantajan ongelmaan. Rakenteelle tehdyn riskianalyyysin tuloksien mukaan onnettomuuden riski onnistuttiin pienentämään hyväksyttävälle tasolle.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Koneensuunnittelu, tuotekehitys, koneturvallisuus, riskianalyysi, ergonomia, karamoottori		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Maksimainen, Jaakko	Type of publication Bachelor's thesis	Date October 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 43	Permission for web publication: X
Title of publication Development of an Electrical Engine Cover Opening Mechanism		
Degree programme Degree Program in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Matilainen, Jorma Väänänen, Olli		
Assigned by Tana Oy		
Abstract <p>Tana Oy develops and sells heavy machinery for waste management. Their main products are landfill compactors, waste shredders and drum screens. Tana also provides smart digital services to monitor production and optimization in the recycling business.</p> <p>Tana wanted to change the engine covers in their landfill compactors and waste shredders to be operated electrically. Handling the big and heavy covers by hand has been difficult or even dangerous in windy conditions. Electrical system providing better working ergonomics and improved quality of the product were considered advantages.</p> <p>One of the key objectives for the engineering project was to ensure that the machine the safety and the reliability of the electrical system. Possible risk factors had to be recognized and minimized to satisfy the high demands of the international customers in their extreme weather conditions. Achieving these targets required studying machine safety standards and risk analyses.</p> <p>As a result of the engineering project work, the linear actuator was chosen to open and close the engine covers. The speed and force factors were optimized for excellent performance and safety. The assembly of the chosen linear actuator was designed to fit the machines with as few changes as possible. The old mechanical locks and wind clasps were left out which significantly reduced the number of items needed for the assembly.</p> <p>In conclusion, by utilizing machine safety standard SFS-EN ISO 12100:2010 and the strategy of risk reduction developing a safe solution to the assignor's problem was possible. The results of the risk analysis done to the system showed that the risk of an accident was reduced to an acceptable level.</p>		
Keywords/tags (subjects) Engineering design, product development, machine safety, risk analysis, ergonomics, linear actuator		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	4
1.1	Tehtävän esittely	4
1.2	Tana Oy.....	5
2	Tutkimusmenetelmät ja kehitystyön lähtökohdat	6
2.1	Tutkimusote.....	6
2.2	Opinnäytetyön tekijän lähtökohdat	6
2.3	Olemassa oleva aineisto	7
3	Tuotekehitysprosessit, koneturvallisuus ja ergonomia	7
3.1	Systemaattinen suunnittelutapa	8
3.2	Yleinen tuotekehitysprosessi	9
3.3	Stage-Gate porttimalli	11
3.4	Ketterät tuotekehitysprosessit.....	13
3.5	Koneturvallisuusstandardi.....	15
3.6	Ergonomiastandardit.....	16
4	Kehitystyön toteutus	17
4.1	Vaatimuslista	17
4.2	Avausmekanismin mitoittaminen	18
4.3	Konseptointi	21
4.4	Riskianalyysi.....	23
4.5	Komponenttien haku ja vertailu.....	23
4.6	Rakenteen viimeistely	26
5	Kehitystyön tulokset.....	27
5.1	Sähköinen avausmekanismi	27
5.2	Koneturvallisuuden toteutuminen.....	28

6 Pohdinta.....	29
Lähteet	31
Liitteet.....	34
Liite 1. VDI 2221 tuotekehitysprosessi	34
Liite 2. Skaalautuva Stage-Gate prosessikaavio	35
Liite 3. SFS-EN ISO 12100:2010 Riskin pienentämisen strategia.....	36
Liite 4. Vaatimuslista	37
Liite 5. Moottorisuojan avausgeometriat CAD-mallissa	38
Liite 6. Avausgeometrian laskelmat	39
Liite 7. Karamoottorien vertailu	40
Liite 8. Karamoottorin valinta taulukko	41
Liite 9. Avausmekanismin rakenne.....	42
Liite 10. Riskianalyysi	43

Kuviot

Kuvio 1 Tana Shark jäterepeijä (Tana Shark Waste Shredders).....	5
Kuvio 2 Yleinen tuotekehitysprosessi (Ulrich&Eppinger 2012).	10
Kuvio 3 Stage-Gate prosessi (Cooper 2008).....	12
Kuvio 4 Scrum-prosessi (Alon 2017).....	14
Kuvio 5 Avausvoima avauskulman suhteen.	19
Kuvio 6 Tuulen nopeuden vaikutus avausmomenttiin.	20
Kuvio 7 Kallistuskulman vaikutus avausmomenttiin.....	20
Kuvio 8 Yhdistetty avausvoima avauskulman suhteen.	21
Kuvio 9 Tyypillinen karamoottori (Linak).	24
Kuvio 10 Yleiset ruuvivaihtoehdot (OEM Automatic).	24

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Tehtävän esittely

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Tana Oy:n valmistamien kaatopaikkajyrien ja jätereppijöiden dieselmoottorien suojuksien avaamiseen sähköinen järjestelmä. Moottorisuojan avaamisen pitää olla turvallista ja vaivatonta, jotta moottorin huolto ja kunnossapito voidaan suorittaa kaikissa olosuhteissa. Tutkimuskysymyksiksi on valittu: Miten nykyinen avausmekanismi voidaan muuttaa sähkötoimiseksi, miten varmistetaan koneen toimintavarmuuden säilymisestä ja miten turvallisuusnäkökohdat otetaan huomioon kansainvälisillä markkinoilla?

Moottorisuojan rakenteena on teräskehikko, joka on katettu muotoilluilla muovi ja ohutlevyillä. Sen tehtäviin kuuluu moottorikomponenttien suojaaminen sään vaikutuksilta, moottorin liikkuvien osien koteloiminen sekä koneen ulkoasun ja merkin brändin luominen. Moottorisuoja on siis turvallisuuteen, kestävyteen ja markkinoitiin liittyviä toimintoja. Vaikka se ei suoraan vaikuta koneen suorituskykyyn tai ominaisuuksiin, niin epäsuoria vaikutustapoja on useita. Sähkötoimista moottorisuojaa käytetään monissa metsäkoneissa ja joidenkin työkonevalmistajien isoissa pyöräkuormaajissa. Sähkötoimisuus helpottaa raskaan osan käsittelyä ja lisää koneen laadun tuntua.

Koneen operaattori käyttää moottorisuojaa päivittäisten huoltokohteiden tarkastamisen yhteydessä. Silloin korostuvat toimintojen helppous ja nopeus. Harvemmin tapahtuva käyttötilanne on koneen huolto- tai korjaustilanne. Silloin moottorisuoja halutaan avata niin, että huollettaville komponenteille on esteetön pääsy.

Moottorisuoja on kaksiosainen ja se aukeaa saranoiden varassa vasemmalle ja oikealle noin 62 asteen kulmaan. Moottorisuoja on 2,5 m pitkä ja yhden puolikkaan massa on 115 kg. Nykyinen avausmekanismi on perinteinen manuaalinen ja se sisältää käsikäyttöisen kahvan, tuulihaan sekä turvalukon. Lisäksi jätereppijöissä se on yhdistetty turvakaiteeseen, joka liikkuu suojan mukana ja toimii samalla myös tuulihaana.

1.2 Tana Oy

Tana Oy:n tuotteita ovat kaatopaikkajyrät, jätereپیجات sekä jäteseuulat. Ensimmäinen kaatopaikkajyrä toimitettiin Saksaan vuonna 1971. Nykyään tuotteita myydään viiteen maanosaan ja yli 70 maahan. Yrityksen toimipaikka on Jyväskylässä, jossa ovat tuotekehityksen ja jälkimarkkinoinnin päätoiminnot. (Tana Oy:n historia.)

Yrityksen päätuotteet ovat jyrät ja repijät, joita valmistetaan noin 50 kappaletta vuodessa. Näiden koneiden kokoonpano tapahtuu Akaassa Toijala Worksin konepajalla. Niille on tyypillistä toimia ympäri vuoden kaikissa olosuhteissa. Tanan tuotteisiin ja koko brändiin halutaankin liittää mielikuva luotettavuudesta ja kestävyyydestä.

Kaatopaikkajyrää käytetään jätteen tiivistämiseen kaatopaikalla. Nykyisiä E-sarjan jyrä valmistetaan viittä eri mallia 26-52 tonnin kokoluokissa. Kaikissa on Cumminssin valmistama kuusisylinterinen dieselmoottori ja nykyaikainen ohjaamo. Kolmessa suurimmassa mallissa on kaksiosainen moottorisuoja ja kahdessa pienimmässä yksiosainen. (Tana E-series Brochure.)

Tana Shark jätereپیجاتä käytetään renkaiden, rakennusjätteen ja kotitalousjätteen murskaamiseen. Se voi olla omien telojen päällä kulkeva tai rekan puoliperävaunu rungolle asennettuna (ks. kuvio 1). Voimanlähteenä on Cummins dieselmoottori tai sähkömoottori. (Tana Shark Waste Shredders.)



Kuvio 1 Tana Shark jätereپیجات (Tana Shark Waste Shredders).

Perinteisen koneenrakennuksen lisäksi Tana tarjoaa asiakkailleen älykkäitä digitaalisia palveluita. Tana Smart Site -järjestelmä on vakiona kaikissa uusissa Tanan koneissa. Näiden koneiden toimintoja sekä tuottavuutta pystytään seuraamaan rea-

liajassa tai etänä. Asiakkaat pystyvät seuraamaan ja optimoimaan jätteenkäsittelyjärjestelmiään parhaan hyötysuhteen ja tuottavuuden saavuttamiseksi. (Tana Smart Site.)

Yksi jätehuollon maailmanlaajuinen megatrendi on kustannusten ja jätteiden taloudellisen merkityksen kansainvälinen kasvu (Heikkilä, Hietanen, Lauttamäki, Lehmann-Chadha & Verma 2006). Tämä antaa Tanan tuotteiden jatkuvalle kehittämiselle hyvät lähtökohdat.

2 Tutkimusmenetelmät ja kehitystyön lähtökohdat

2.1 Tutkimusote

Opinnäytetyö suoritetaan kehitystutkimuksena. Kehitystutkimus (eng. Engineering Research tai Research and Development) etsii ratkaisua käytännön ongelmaan. Kehitystutkimus on usein soveltavaa ja poikkitieteellistä. Tutkija etsii selitystä ilmiölle, mutta insinööri pyrkimään kehittämään siihen ratkaisun. (Nallaperumal 2013.)

Kehitystutkimuksessa hyödynnetään kvalitatiivisen sekä kvantitatiivisen tutkimuksen metodeita. Aineistoa analysoidaan molempia tutkimusmenetelmiä soveltaen. Komponentteja vertaillaan niiden mitattavien ominaisuuksien perusteella kvantitatiivisesti. Toisaalta erityisesti kokoonpanojen toimintaa sekä käytettävyyttä ja turvallisuutta arvioidaan kvalitatiivisesti. Laadullisia arviointimenetelmiä käytetään, mikäli tutkittavaa kohdetta ei voida mitata absoluuttisesti.

2.2 Opinnäytetyön tekijän lähtökohdat

Opinnäytetyön tekijä kokee aiheen mielekkääksi, sillä hänellä on ennestään kokemusta raskaiden työkoneiden parissa työskentelemisestä. Sähköisen mekanismin rakentamisessa pääsee soveltamaan mekaniikan ja sähkötekniikan opintoja ja se antaa hyvät lähtökohdat työelämän tuotekehitystehtävien suorittamiseen. Toimeksiantajalle kehitystyö tuo uutta tietoa mekatroniikan hyödyntämisestä tuotteissaan.

2.3 Olemassa oleva aineisto

Aineiston perustana ovat nykyisen moottorisuojan ja avausmekanismin 3D-mallit sekä muut dokumentit. Aineisto on toimeksiantajan Vertex Flow PLM-järjestelmässä ja sitä käytetään Vertex G4 mallinnusohjelmalla. Opinnäytetyön tekijän käytettävissä ollut kokoonpanotiedosto oli luotu erityisesti opinnäytetyön tekemistä varten. Samalla tavalla voitaisiin toimia myös tavallisen kehitysprojektin kanssa. Myös kehitettävä konsepti mallinnetaan Vertex G4 ohjelmistolla hyödyntäen tätä kokoonpanotiedostoa. Kokoonpano on yhdistelmä jyrän sekä repijän rakennetta. Molemmat on asetettu kokoonpanossa omiksi ilmiasuikseen; ts. vain toinen näkyy vuorollaan. Kolmantena ilmiasuna on pelkkä moottorisuojan kokoonpano ilman lisävarusteita. Lisäksi käytettävissä on Tana Oy:n materiaalikirjasto ja opinnäytetyönohjaajaan sekä muiden työntekijöiden asiantuntemus.

Aineistona ollut PLM-järjestelmän kokoonpanotiedosto tarjosi geometria tiedot koneen rakenteesta. Mallista ja piirustuksista saatiin suojien massat, avautumiskulmat ja muita kriittisiä mittoja. Suojien liikeradoista piirrettiin luonnoksia paperille, jotta ne olisi helppo sisäistää. Kriittisiä tai mielenkiintoisia komponentteja olivat mm. sarnat ja nykyisen tuulihaan kiinnityspisteet suojissa sekä runkorakenteessa. Käytettävissä olevaa tilaa ja komponenttien sijainteja arvioitiin intuitiivisesti ja kvantitatiivisin mittauksin.

Lisäksi koneisiin tutustutaan vierailemalla kokoonpanotehtaalla Toijalassa. Siellä on mahdollista testata sekä kuvata nykyisiä mekanismeja ja saada parempi käsitys komponenttien kokoluokasta. Tämä on myös hyvä tilaisuus keskustella projektista toimeksiantajan kanssa.

3 Tuotekehitysprosessit, koneturvallisuus ja ergonomia

Opinnäytetyön tietoperusta mahdollistaa tutkimuskysymysten ymmärtämisen, liittyvien käsitteiden avaamisen sekä asetettuihin tavoitteisiin pääsyn. Tietoperusta pyrkii vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Aihealueiksi ovat valikoituneet tuotekehitysprosessit; erityisesti Stage-Gate-malli, koneturvallisuus, riskianalyysi ja komponenttien analysointimenetelmät.

Tunnetuimpia tuotekehitysprosesseja ovat systemaattinen suunnittelu, yleinen suunnitteluprosessi, Stage-Gate porttimalli ja ketterät tuotekehitysmenetelmät. Kaikki yleisimmät tekniikan alan tuotekehitysprosessit toimivat pääpiirteittäin samalla tavalla ja erot ovat lähinnä eri vaiheiden määrittelyssä sekä niiden sisältämissä aktiviteeteissa. Systemaattinen suunnittelu ja yleinen suunnitteluprosessi keskittyvät enemmän myös tuotekehitys menetelmiin prosessin eri vaiheissa. Myös eri prosessien kuvaus ja visuaalinen esitystapa määrittävät prosessin ymmärtämistä.

3.1 Systemaattinen suunnittelutapa

Systemaattinen suunnittelutapa, on saksalaisten Gerhard Pahlin ja Wolfgang Beitzin julkaisema oppikirja Konstruktionslehre 1977. Se esittää suunnitteluprosessin neljässä päävaiheessa: tehtävän selvittely, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Pahlin ja Beitzin malli on hyvin samankaltainen saksalaisen suunnitteluohjeen (VDI-Richtlinie) VDI 2221 (1973) kanssa, jonka suunnittelutoimikunnassa he olivatkin mukana. Heidän kirjoittamansa oppikirja perustuu siis saksalaiseen systemaattiseen suunnitteluprosessiin. Saksalainen tapa on hyvin käytännönläheinen ja se on kirjoitettu suunnitteluinsinöörin näkökulmasta. Lähestymistapa sisältää neljä vaihetta (Phase) ja seitsemän askelta (Stage). Lähestymistavan iteratiivista luonnetta on painotettu ja sen vaiheita ei tule ajatella kiinteinä. (Pahl&Beitz 1990.)

VDI 2221 (Systematic Approach to the Development and Design of Technical Systems and Products) on suunnitteluohje teknisten järjestelmien ja tuotteiden kehittämiseen (ks. liite 1). Koska sen tavoite on olla laajasti sovellettavissa, on sen rakenne määritetty karkeasti. VDI 2221 toimikunnassa oli mukana useiden teknisten alojen ammattilaisia, joiden kokemusten mukaisista parhaista työskentelytavoista tämä suunnitteluohje koottiin. Pahlin ja Beitzin oppikirja soveltaa tätä suunnitteluohjetta konetekniikkaan ja avaa siihen liittyviä taustoja sekä työvaiheita tarkemmin. Näin ollen se soveltuu käytettäväksi alan opiskelijoiden oppikirjaksi ja VDI 2221 -ohjeen soveltamisen tueksi yrityksiin. Muita liittyviä VDI standardeja ovat VDI 2222 (Methodic Development of Solution Principles) ja VDI 2223 (Systematic Embodiment Design of Technical Products). (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote 2007.)

Ensimmäinen vaihe, tehtäväkuvaus, ei sisällä pelkästään tietoja tuotteen ominaisuuksista ja suorituskyvystä, vaan myös aikatauluja sekä kustannustavoitteita. Suunnitteluihin pitää pystyä tunnistamaan kehitystyön vaatimukset ja määrittelemään ratkaisu. Tätä varten tarvitaan vaatimuslista, joka on ensimmäisen vaiheen konkreettinen tulos. (Pahl ym. 2007.)

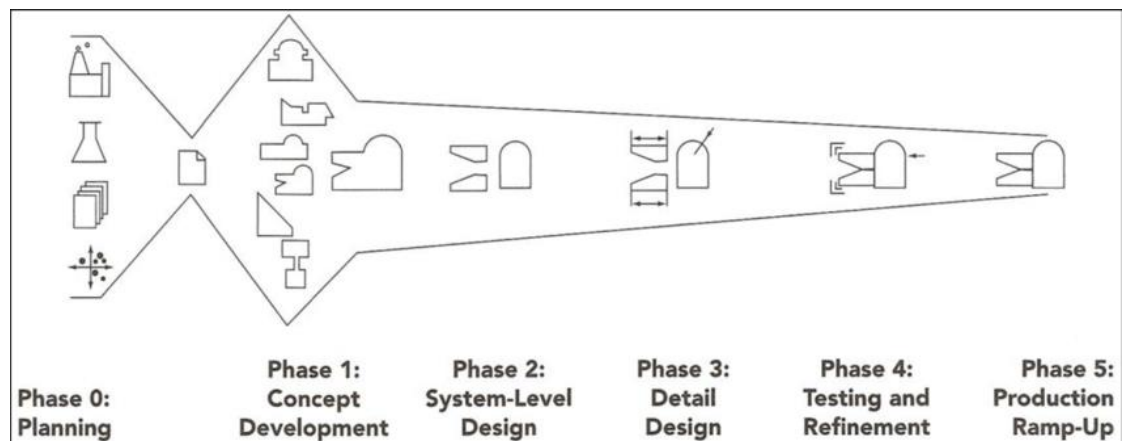
Toisessa vaiheessa kehitetään periaatteellinen ratkaisu, konsepti. Ongelmaan saattaa jo olla olemassa hyväksi todettu ratkaisu tai sitten sellainen pitää etsiä systemaattisesti. Osaongelmiin etsitään osaratkaisuja ja näitä yhdistetään toimiviksi malleiksi. Eri ratkaisuvaihtoehtoja vertaillaan ja paras valitaan jatkokehittettäväksi. Konseptin esitystapa voi olla kaavio, luonnos, fyysinen tai virtuaalinen malli. (Pahl ym. 2007.)

Kolmannessa vaiheessa valittua konseptia lähdetään kehittämään teknisten ja taloudellisten kriteereiden mukaisesti. Tässä vaiheessa otetaan huomioon mm. lopputuotteen toiminnallisuus, ergonomia, turvallisuus, valmistus, kunnossapito ja koko elinkaari. Tämä vaihe sisältää kaikkein eniten iterointia ja tuotekohtaisten vaatimusten täyttämistä. (Pahl ym. 2007.)

Viimeisessä vaiheessa tuotteen yksityiskohdat tarkistetaan ja viimeistellään. Valmistuksen vaatimat ohjeet ja piirustukset sekä CAD-mallit varustetaan lopullisilla toleransseilla ja muilla tiedoilla. Lisäksi tuotetaan muu tarvittava dokumentaatio myynnin, markkinoinnin ja jälkimarkkinoinnin tarpeisiin. (Pahl ym. 2007.)

3.2 Yleinen tuotekehitysprosessi

Amerikkalaiset Karl Ulrich ja Steven Eppinger julkaisivat oman oppikirjansa *Product Design and Development* 1995. Siinä kehitysprosessi on jaettu kuuteen vaiheeseen: suunnittelu, konseptikehitys, järjestelmätason suunnittelu, yksityiskohtainen suunnittelu, testaus ja parantelu sekä viimeisenä tuotannon ylösajo (ks. kuvio 2). (Ulrich&Eppinger 2012.)



Kuvio 2 Yleinen tuotekehitysprosessi (Ulrich&Eppinger 2012).

Suunnitteluvaiheeseen viitataan usein nollavaiheena, sillä se tapahtuu yleensä ennen projektin virallistamista. Silloin lyödään lukkoon projektin päätavoitteet ja suuntaviivat. Varsinaisen projektin ensimmäinen vaihe on konseptikehitys. Konsepti on muodon, toimintojen ja ominaisuuksien kuvaus ja sillä on yleensä useita määritelmiä.

Tässä vaiheessa voidaan luoda useita toisistaan poikkeaviakin konsepteja. Konsepteja arvioidaan ja vertaillaan ja yksi tai useampi konsepti pääsee jatkokehitykseen. (Ulrich&Eppinger 2012.)

Toinen vaihe on järjestelmätason suunnittelu. Siinä tuote jaetaan osajärjestelmiin ja pääkomponentteihin. Myös alustavat valmistus- ja kokoonpanomenetelmät valitaan. Tämän vaiheen jälkeen tuotteesta on yleensä olemassa malli ja sen osajärjestelmien ominaisuudet ovat tiedossa. Kolmannessa vaiheessa tehdään tuotteen yksityiskohmainen suunnittelu. Kaikki kokoonpanon osat tunnetaan ja tehdään valmista tai ostapäätökset. Tietokonemallit ja piirustukset valmistellaan, kun lopulliset materiaalit, muodot ja toleranssit on lyöty lukkoon. (Ulrich&Eppinger 2012.)

Testaus ja parantelu sisältää esisarjan versioiden tuottamisen ja arvioinnin. Alfa-prototyypeissä pyritään käyttämään samoja osia ja materiaaleja kuin lopullisessa tuotteessa, mutta valmistus ja kokoonpano voi olla ainutlaatuista. Tavoitteena on varmistaa tuotteen toimivuus ja vaatimusten täyttäminen. Beta-prototyyppien osat valmistetaan samoin kuin lopullisessa tuotteessa, mutta kokoonpano voi poiketa siitä. Nämä prototyypit voivat mennä asiakkaille koeajoon, jolloin selvitetään suorituskykyä ja luetettavuutta. (Ulrich&Eppinger 2012.)

Viimeinen vaihe on tuotannon ylösajo. Tuotannon henkilöstö ja koneet valmistellaan täyden tuotannon käynnistämiseen. Ensimmäisiä tuotteita seurataan vielä valikoiduilla asiakkailla mahdollisten vikojen varalta. Tuotannon ylösajo on yleensä asteittaista ja jossain vaiheessa tuote julkaistu (Launched). (Ulrich&Eppinger 2012.)

Ulrich ja Eppinger esittelevät kirjassaan tuotekehitysprosessin vaikutuksia yrityksen eri organisaatioihin kussakin prosessin vaiheessa. He esittelevät menetelmiä ja työkaluja joita voi käyttää konseptoinnissa ja tuotesuunnittelussa. Käytännön esimerkkejä käytetään laajasti ja tuotekehitystä esitellään eri näkökulmista. (Ulrich&Eppinger 2012.)

3.3 Stage-Gate porttimalli

Robert G. Cooperin luoma Stage-Gate malli on alkuperäinen porttimalli, jonka hän esitteli ensimmäisen kerran vuonna 1988. Cooper on markkinoinnin ja teknologiajohtamisen emeritus professori McMasterin yliopistossa Kanadassa. Hänen mallissaan suunnitteluprosessi on jaettu viiteen vaiheeseen (Stage) ja vaiheiden välille on lisätty toiminta, jota kutsutaan portiksi (Gate) (ks. kuvio 3). Portilla päätetään, jatkuuko prosessi seuraavaan vaiheeseen vai lopetetaanko se. Tällä tavoin estetään kannattamattomien projektien jatkuminen, jolloin säästyneet resurssit voidaan hyödyntää muualla. Cooperin lähestymistapa korostaa innovaatioprosessia ja tuotekehitysprojektien välistä kilpailua. (Cooper 2006.)

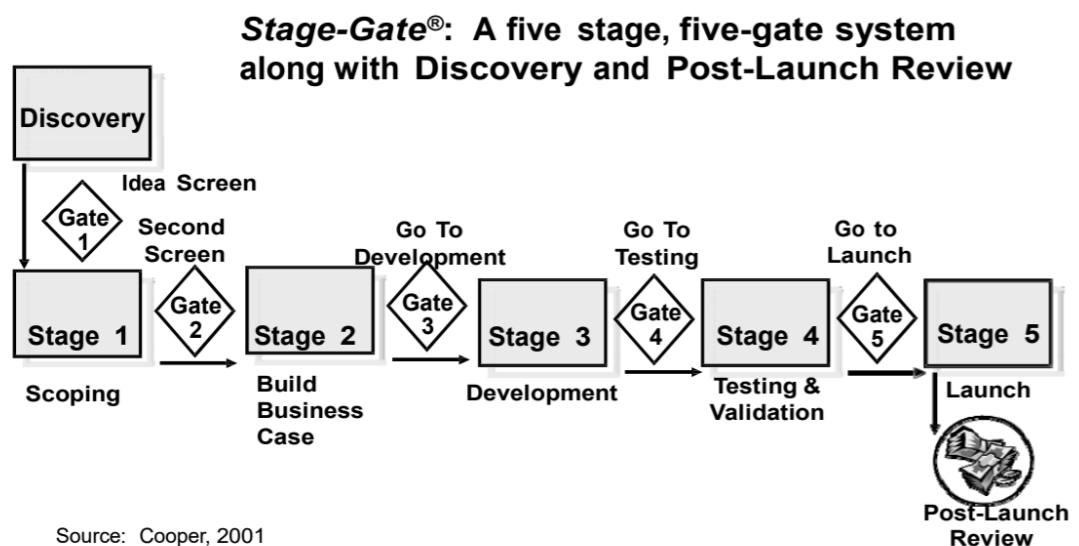
Jokaisella portilla tehdään päätös projektin jatkamisesta tai lopettamisesta (Go/Kill). Projekti arvioidaan ja tarvittaessa sitä verrataan muihin meneillään oleviin projekteihin. Jatettava projekti täyttää edellisessä vaiheessa sille määritetyt minimivaatimukset ja sillä on hyvät edellytykset jatkaa menestyksekkäästi. Projekti voidaan myös jäädyttää odottamaan jatkamista myöhemmin tai edellinen vaihe voidaan toistaa, mikäli se ei vielä täyttänyt kaikkia vaatimuksia. (Cooper 2008.)

Porteilla tapahtuvien päätösten perustana olevat kriteerit on määritelty ajoissa ja ne ovat suunnitteluorganisaation tiedossa. Näin portille osataan valmistella sellaiset materiaalit ja tulokset, jotka vaaditaan perustellun go/kill päätöksen tekemiseen. Tämän päätöksen tekee portinvartija (Gatekeeper). Portinvartijan on hyvä olla ylempi toimihenkilö joka ei ole aktiivisesti mukana projektissa, jolloin hänellä on edellytykset

tehdä päätös tietoon perustuen. Hyväksytyin portin jälkeen tuotekehitystiimille annetaan seuraavan vaiheen aikataulu, kriteerit ja kriteereiden täyttämiseen vaadittavat resurssit. (Cooper 2008.)

Innovaatioprosessi voidaan jakaa vaiheisiin, jotka sisältävät välttämättömiä tai suositeltuja aktiviteetteja. Nämä aktiviteetit auttavat pääsemään menestyksekkäästi seuraavaan vaiheeseen. Jokainen vaihe vaatii enemmän resursseja kuin edellinen. Samalla kuitenkin projektiin liittyvät epävarmuudet vähentyvät ja tieto lisääntyy. Tällöin projektin riski pysyy hallittuna. (Cooper 2008.)

Exhibit 2: An Overview of a Typical *Stage-Gate*[®] System for Major New Product Developments



Kuvio 3 Stage-Gate prosessi (Cooper 2008).

Ennen ensimmäistä vaihetta on idean löytäminen (Discovery), joka voi tapahtua luonnostaan tai sitten se voi tulla organisoidun innovointiprosessin kautta. Ensimmäiseen vaiheeseen (Scoping) kuljetaan ensimmäisen portin kautta, jossa on päätetty selvittää tämän idean mahdollisuudet. Löydetylle idealle tehdään siis nopea esiselvitys tuotteistamisen mahdollisuuksista. Siinä selvitetään, että löytyykö markkinoilta vastaavaa tuotetta, konseptia tai esimerkiksi tutkimuksia. Toisessa vaiheessa (Business) selvitetään konseptin mahdollisuudet pärjätä taloudellisesti. Millaiset markkinat tuotteella on, mikä on vuosimyynti tai mikä on kilpailutilanne. Toista vaihetta seuraavasta portista pääsee läpi vain, mikäli tuotteella näyttää olevan taloudelliset mahdollisuudet pärjätä. (Edget.)

Kolmas vaihe on tuotekehitys (Development) ja mikäli tuotekehityksen tulos vastaa tavoitteita se päästetään portin läpi testausvaiheeseen (Testing). Hyväksytysti testaus vaiheen selvittänyt tuote jatkaa viimeiseen vaiheeseen (Launch). Viimeisessä vaiheessa tehdään mm. tuotannon ja markkinoinnin suunnittelu ja valmistelu ennen markkinoille ilmestymistä. (Edget.)

Stage-Gate prosessia voidaan tarvittaessa skaalata projektin tai yrityksen koon mukaan (ks. liite 2). Suurten yritysten merkittävät projektit on suositeltavaa viedä kaikkien porttien läpi. Pienemmälle yritykselle voi olla toimivampaa jättää ensimmäisen ja toisen sekä kolmannen ja neljännen vaiheen väliset portit pois prosessista. Tämä vähentää byrokratiaa pienessä organisaatiossa. Prosessia voi skaalata vieläkin pidemmälle, mikäli tehdään esimerkiksi muutos tai päivitys olemassa olevaan tuotteeseen. Silloin muutoksen vaikutukset ja kustannukset selvitetään ja yhden portin jälkeen tehdään tuotekehitys, testaus ja julkaisu (Decision to Execute). (Cooper 2008.)

Cooper korostaa, ettei Stage-Gate prosessia tule pitää lineaarisena tai vaiheittaisena. Projektin työvaiheita voidaan suorittaa useamman vaiheen aikana tai niitä voidaan suorittaa iteroiden. Jopa prosessin vaiheet saavat mennä päällekkäin. Näin on erityisesti tuotekehitys ja testausvaiheiden kanssa. Hyvin sovellettu Stage-Gate on oikein käytettynä tehokas työkalu erikokoisten yritysten tarpeisiin, kun sen vaiheet ja portit on suunniteltu järkevästi. (Cooper 2008.)

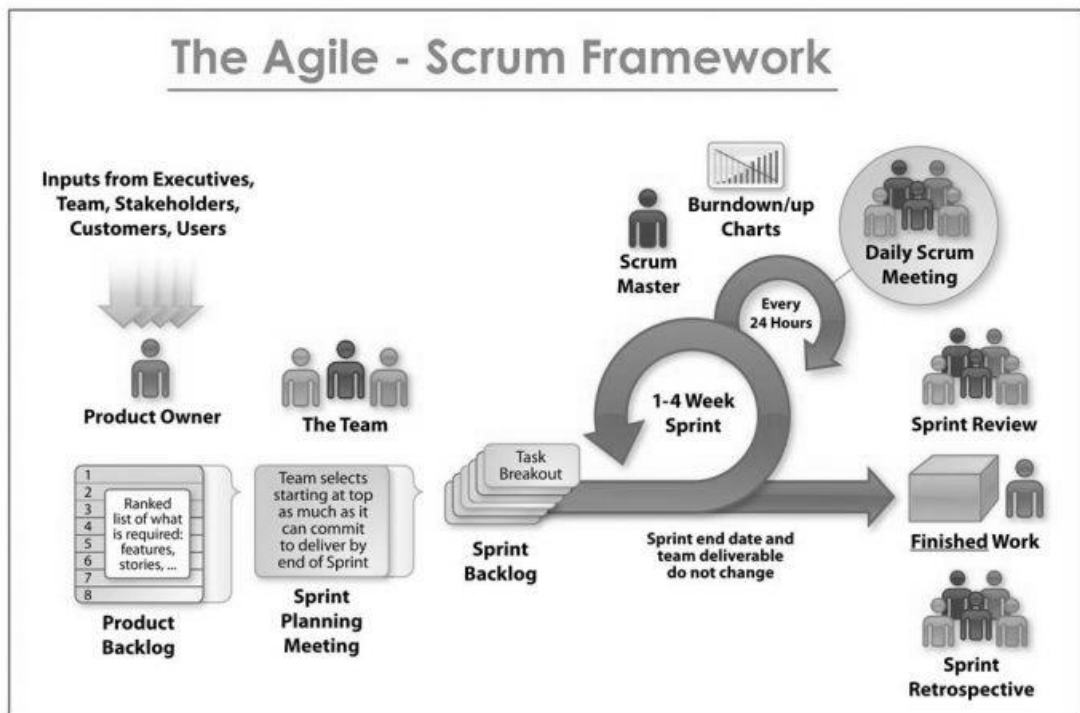
3.4 Ketterät tuotekehitysprosessit

Ketterä tuotekehitys (Agile Development) on erityisesti ohjelmoinnissa käytetty kehitysmenetelmä. Ketterä tuotekehitys on yleisnimitys, joka pitää sisällään useita erilaisia menetelmiä. Ketterien menetelmien katsotaan alkaneen Ketterän ohjelmointikehityksen julistuksesta (Agile Manifesto) vuonna 2001. Sen valmisteli ja julkisti 17 ohjelmistoalan ammattilaista ja ketterien tuotekehitysmenetelmien kehittäjää (Agile Manifesto 2001). He määrittelivät ketterälle kehitykselle neljä arvoa ja 12 periaatetta. Nämä arvot ja periaatteet ovat niitä, jotka olivat jo 90-luvulla nousseet esille modernissa ohjelmistokehityksessä. Nämä arvot ovat: yksilöt ja kanssakäyminen, toimiva ohjelmisto, asiakasyhteistyö ja muutokseen vastaaminen. (Isomäki, Jokela,

Kaisti, Käsälä, Könnölä, Lehtonen, Mäkilä, Rantala, Suomi, Tuomivaara, & Ylitolva 2014.)

Scrum on yksi tunnetuimpia ketterän kehityksen menetelmiä. Sen kehittivät 90-luvulla Ken Schwaber ja Jeff Sutherland. Heidän mukaansa Scrum on menetelmä, jonka avulla ihmiset voivat luovasti ja tuottavasti kehittää mahdollisimman korkean arvon tuotteita. Sitä ei tule pitää jäykkänä prosessina, vaan se tarjoaa puitteet useille eri tekniikoille. Scrum on myös kevyt ja helppo ymmärtää, mutta vaikea hallita täydellisesti. (Schwaber&Sutherland 2017.)

Scrumissa kehitysprojekti jaetaan 1-4 viikon mittaisiksi sprinteiksi, joiden aikana aina yksi projektin osa-alue tehdään valmiiksi. Sprintin alussa tiimi pitää suunnittelupalaverin, jossa sen jäsenet jakavat työtehtävät keskenään. Sprintin aikana pidetään päivittäin lyhyt palaveri, jossa käydään läpi edellisen päivän edistyminen ja sovitaan tulevan päivän töistä. Sprintin loppuksi pidetään kaksi tapaamista. Katselmointipalaverissa esitellään valmistunut tuote ja sen ominaisuudet. Lisäksi tiimi pitää retrospektiivin, jossa se käy läpi sprintin onnistumista sekä keinoja kehittää tiimin työskentelyä. Schwaber ja Sutherland (2017) ovat määritelleet jokaiselle sprintin tapahtumalle maksimi kestoajan. Scrum-prosessin kulku on esitelty kuviossa 4. (Isomäki ym. 2014.)



Kuvio 4 Scrum-prosessi (Alon 2017).

Scrum-tiimissä on kolme roolia. Tuotteen omistaja on vastuussa tuotteen ominaisuuksista ja päätöksenteosta. Omistaja voi olla asiakas tai esimerkiksi tuotepäällikkö, kuitenkin vain yksi henkilö. Scrum-mestari on kehitystiimin tuki. Hän johtaa sprintin aikaisia päiväpalavereita ja vastaa Scrumin sääntöjen noudattamisesta. Kaikki henkilöt jotka ovat rakentamassa tuotetta kuuluvat kehitystiimiin. Kehitystiimin jäsenet voivat olla eri alojen ammattilaisia. Projektin aikana he työskentelevät vertaisina saavuttaakseen sprintin tavoitteet. (Sininen meteoriitti b.)

Yleistä kaikille ketterille menetelmille on hyödyntää pienen ja joustavan tiimin mahdollisuuksia. Yksilöihin luotetaan ja yhteistyötä hyödynnetään ilman jäykkää organisaatiota. Kehitysjakso pidetään lyhyenä ja sen lopputulos mahdollisimman konkreettisena. Lyhyt kehitys ja testaus -sykli pitää laadun korkeana. (Sininen meteoriitti a.)

3.5 Koneturvallisuusstandardi

Standardissa SFS-EN ISO 12100:2010 määritellään koneturvallisuus standardiin liittyvät termit ja käydään läpi riskin arvioinnin ja pienentämisen strategia. Se opastaa riskin arviointiin, pienentämiseen ja iteroivaan suunnittelutapaan. Lisäksi standardi SFS-ISO/TR 14121:2013 antaa käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmien soveltamisesta. (SFS-EN ISO 12100:2010 & SFS-ISO/TR 14121:2013.)

Riskin pienentämisen strategia on esitetty liitteessä 3. Ensin määritetään koneen toimintojen raja-arvot, joiden sisällä toimitaan tavallisesti, sekä kohtuullisesti ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Tämän jälkeen tunnistetaan vaarat ja vaaratilanteet. Jokaisen vaaran osalta arvioidaan vaaran todennäköisyys ja sen vakavuus. Riskin suuruus koostuu näistä kahdesta osatekijästä. Tämän jälkeen riskejä lähdetään pienentämään tai jopa poistamaan. Mikäli riskiä ei pystytä vähentämään turvalliselle tasolle koneen suunnittelulla, niin voidaan käyttää suoja ja turvalaitteita sekä koneen käyttöä koskevia ohjeistuksia. Näitä kutsutaan riskin pienentämisen kolmeksi askeleeksi. (SFS-EN ISO 12100:2010.)

Standardi 14121:2013 esittelee työkaluja riskin suuruuden arviointiin. Kaikissa arviointityökaluissa käytetään vähintään kahta muuttujaa; vaaran todennäköisyyttä ja sen vakavuutta. Näitä voidaan myös jakaa vielä pienemmiksi tekijöiksi. Riskimatriisi

on yleensä kaksiulotteinen, mutta se voi olla jopa neliulotteinen. Jokaiselle vaaratilanteen muuttujalle määritetään arvo, joka voi olla numeerinen tai laadullinen termi. Matriisin solu jossa muuttujien arvot leikkaavat kertoo riskin suuruuden. Riskigraafi perustuu päätöspuuhun. Graafin jokainen solmukohta kuvaa yhtä riskin muuttujaa ja jokainen siitä lähtevä haara sen suuruutta. Päätöspuun läpi kuljettaessa sen viimeinen haara näyttää riskin suuruuden. Numeerisessa pisteytyksessä jokaiselle muuttujalle annetaan numeerinen arvo ja näiden arvojen tulo tai summa kertoo riskin suuruuden. (SFS- ISO/TR 14121:2013.)

3.6 Ergonomiastandardit

Ergonomian ja käytettävyyden standardit, on Suomen standardoimisliitto SFS ry:n julkaisu, joka käy läpi teeman keskeiset käsitteet ja pääperiaatteet. Lisäksi se luettelee aihealueittain siihen kuuluvat standardit. Opinnäytetyön aikana keskitytään Kone- ja laitesuunnittelun ergonomiset perusteet -otsikon alle koottujen julkaisujen hyödyntämiseen. (Ergonomian ja käytettävyyden standardit.)

Standardit SFS-EN 614-1:2009 ja SFS-EN 614-2:2009 käsittelevät koneturvallisuuden ergonomisia suunnitteluperiaatteita. Osa 1 käsittelee ergonomiaan liittyvää terminologiaa ja yleiset periaatteet, kuten kehon mittojen ja asentojen huomioon ottamista suunnittelussa. Lisäksi standardi kertoo, miten ergonomiset periaatteet sisällytetään koneen suunnitteluprosessiin ja mitä tehtäviä siihen kuuluu. Osa 2 esittää suunnittelijan työtehtävien suunnittelun periaatteet ja suunnitteluprosessin kuvauksen. (SFS-EN 614-2:2009)

Tekninen raportti CEN/TR 614-3 Ergonomic principles for the design of the mobile machinery, käsittelee liikkuvien työkoneiden ergonomian suunnitteluun liittyviä erityispiirteitä. Se luettelee huomioon otettavia aiheita ja tarvittaessa viittaa toiseen standardiin, jota tulee seurata. Aihealueita ovat työskentelytilojen suunnittelu, merkinantolaitteet, näytöt ja ohjauslaitteet, näkyvyys sekä ympäristötekijät. (CEN/TR 614-3:2010.)

4 Kehitystyön toteutus

Opinnäytetyössä käytettäväksi tuotekehitysprosessiksi valittiin Stage-Gate, sillä sen rakenne sopii hyvin opinnäytetyön rakenteeseen (ks. liite 2). Aluksi toimeksiantajalla on idea koneen uudesta toiminnosta ja tehdään päätös aloittaa siitä opinnäytetyö. Ensimmäinen ja toinen vaihe kuvaavat opinnäytetyön ensimmäistä osaa. Opinnäytetyösuunnitelma toimii portille toimitettavana materiaalina. Kun opinnäytetyösuunnitelma on hyväksytty päästään siirtymään tuotekehitys ja testaus vaiheeseen. Opinnäytteen hyväksyminen taas kuvaa viimeistä porttia ennen tuotteistamista.

Tuotekehitystyössä käytettiin Pahlin ja Beitzin (2007) systemaattisen suunnittelun oppikirjaa, sillä Stage-Gate ei määrittele tuotekehityksessä käytettäviä menetelmiä. Systemaattinen suunnittelu antaa hyvät lähtökohdat järjestelmälliseen ongelmanratkaisuun ja tuotekehitystyöhön.

4.1 Vaatimuslista

Varsinainen tuotekehitysvaihe aloitettiin vaatimuslistan laatimisella (ks. liite 4). Kaikki vaatimukset merkittiin sen mukaan, onko se kiinteä, minimi vaatimus vai toivomus. Aluksi vaatimuslista jäseneltiin toimintojen mukaan; kuten käytettävyys, toiminta, turvallisuus, sähköjärjestelmä, rakenne jne. Konkreettinen ja ilmiselvä vaatimus on esimerkiksi 24 V sähköjärjestelmä. Mitattavissa olevia vaatimuksia ovat esimerkiksi avausmekanismin nopeus ja voima. Toisaalta suuri osa vaatimuksista on aluksi vielä kvalitatiivisia ja niitä on hankala mitata absoluuttisesti, esimerkiksi ”helppokäyttöinen”.

Tätä jäsentelyä ja vaatimuksia päivitettiin kehitystyön kuluessa. Termejä ja kuvauksia selvennettiin sekä vaatimuksia tarkennettiin. Helppokäyttöisyys saavutetaan kytkinten hyvällä sijoittelulla ja selkeillä merkinnöillä. Kytkinten hyvä sijoittelu tarkoittaa ergonomista sijoittelua, jolloin kytkimet ovat standardin mukaisella korkeudella käyttäjään nähden. Niiden käyttö on merkitty yksiselitteisesti ja ne toimivat luontevasti. Lopullinen vaatimuslista pyrkii olemaan yksiselitteinen ja helppolukuinen.

4.2 Avausmekanismin mitoittaminen

Suojan avaamiseen tarvittavaa momenttia ja voimaa laskettiin ensin käsin paperille. Suojan kokoonpanon painopiste tarkistettiin CAD-mallista. Kun se oli lähes suojan sivuprofiilin keskellä, voitiin hyvällä omallatunnolla olettaa suojan massan jakautuvan tasaisesti sen koko pituudelle. Kuitenkin hyvää suunnittelutapaa noudattaen niin, että pyöritys on turvallisella puolella.

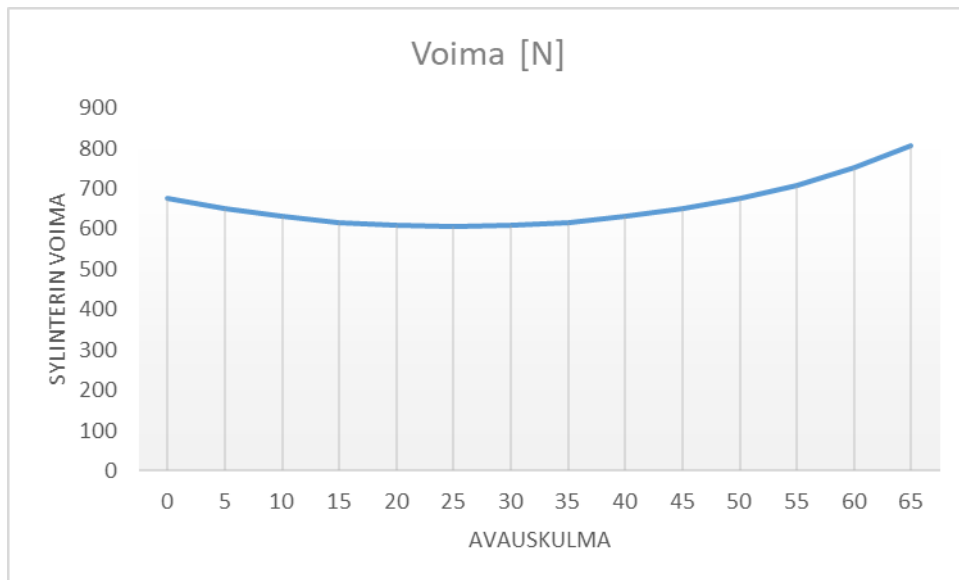
Moottorisuojan paikallaan pitämiseen tarvittava voima on staattinen voima ja sen liikkuttamiseen tarvittava on dynaaminen voima. Yleensä komponenteille määritetty staattinen voima on suurempi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että moottorisuoja pysyy määrättyssä asennossa vaikka kone olisi kallistuneena, mutta sitä ei välttämättä saa liikutettua, mikäli dynaaminen voima on ylitetty. Staattisen voiman ylittäminen voi johtaa mekanismin pettämiseen.

Alkuvaiheen arvion mukaan määrävänä tekijänä avaamiseen ja sulkemiseen tarvittavan voiman määrittelyssä on suojan ja avausmekanismin geometria (ks. liite 5). Mitä pienempi tila on käytettävissä, eli mitä jyrkempi kulma avausmekanismin ja suojan välissä on, sitä voimakkaampi tarvitaan avausmekanismista. Avaussynterinin kiinnitys pyritään sijoittamaan mahdollisimman kauas saranasta.

Laskuissa moottorisuojaa voidaan kuvata vivulla/vipuvarrella, jolla on massa. Optimaalisessa tilanteessa moottorisuojat ovat täydellisesti suorassa eli suojaan ei kohdistu momenttia, joka pyrkii sulkemaan tai avaamaan sen. Moottorisuojien saranoissa on säätöpultit, joilla ne voidaan säätää suoraan.

Nykyisen suojan avaamiseen vaadittava nimellinen voima on arvioitu olevan 30-50 N, kun avaamisen käytetään suojan päässä olevaan kahvaa. Tämä voima riippuu saranoiden kitkavoimasta, tuulesta ja suojan tasapainosta. Kun avauskahva sijaitsee 2,6 metrin päässä moottorisuojan saranasta, niin avausmomentiksi saadaan 130 Nm.

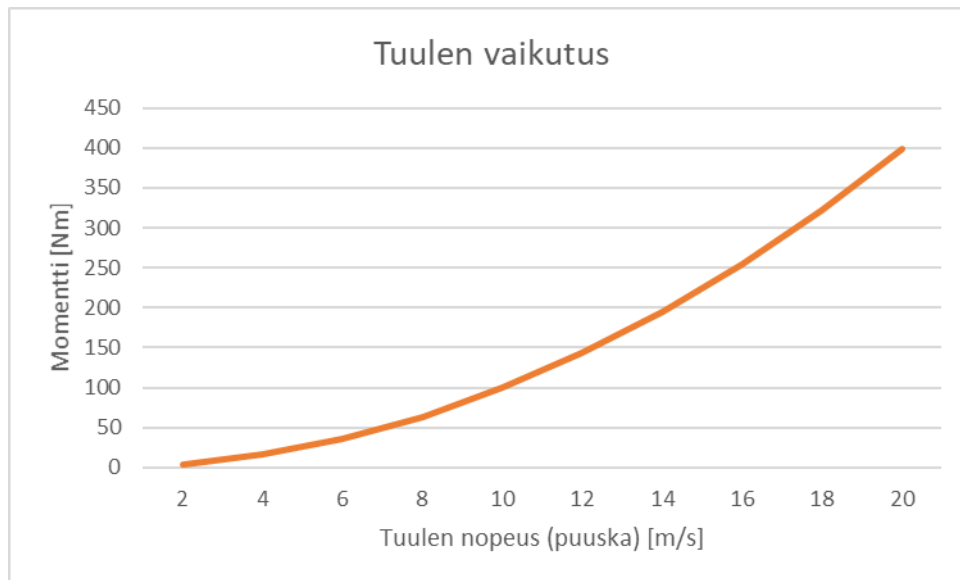
Laskelman mukaan moottorisuojan liikkuttamiseen tarvittava voima olisi 600-800 N (ks. kuvio 5). Tarvittava voima vaihtelee moottorisuojan avauskulman mukana. Pienimmillään avausvoima on, kun avausylinteri on kohtisuorassa saranaa vasten, koska tällöin momenttivarsi on pisimmällään (ks. liite 5). Tarkemmat laskennassa käytetyt geometriat ja kaavat on esitelty liitteessä 6.



Kuvio 5 Avausvoima avauskulman suhteen.

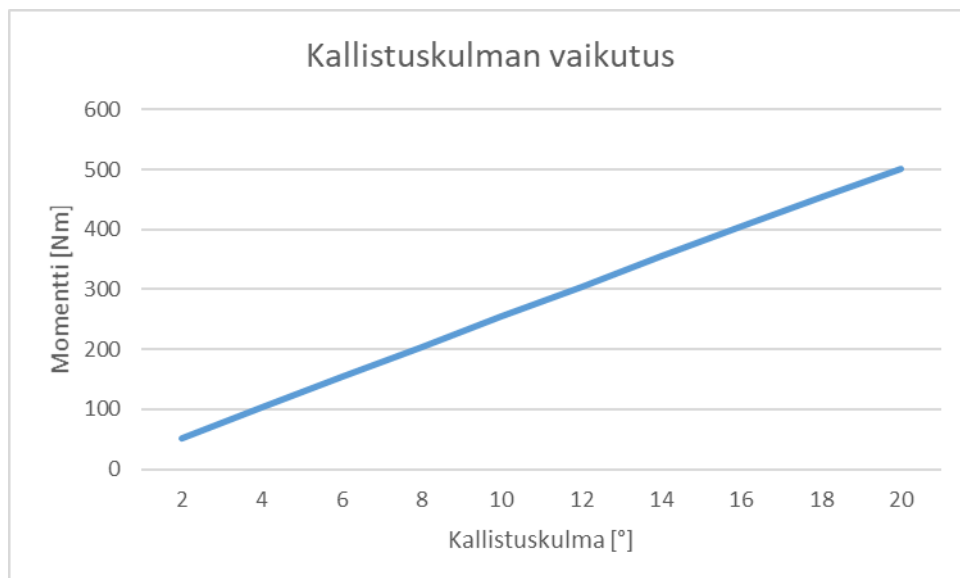
Mahdollisen tuulikuorman vaikutus otettiin myös huomioon. Puuskainen tuuli osuessaan kohtisuoraan moottorisuojaan voi aiheuttaa siihen suuren väännön. Tästä on toimeksiantajalla jo käytännön kokemusta. Ilmatieteenlaitoksen (2018) mukaan tuhoja aiheuttavat puuskat voivat olla 1,5-kertaisia 10 minuutin keskituulennopeuteen verrattuna. Kovan tuulen määritelmä on 14-20 m/s ja tätä kovempi tuuli luokitellaan myrskyksi. Kuitenkin jo tuulen nopeus 17-20 m/s esimerkiksi katkoo puiden oksia ja vaikeuttaa ulkona liikkumista (Ilmatieteenlaitos 2018).

Tuulen vaikutusta arvioitiin yksinkertaistetusti ilmanvastusvoiman kautta. Muotoker-toimen arvona käytettiin $C_v=0,5$, joka on levymäisen kappaleen arvo. Tuulen nopeus vaikuttaa laskentakaavan mukaan toiseen potenssiin, jolloin sen määrittely tulee kriittisimmäksi. Kuvioista 6 näkee, että tuulen nopeuden ollessa n. 11 m/s avausmo-mentti on jo tuplaantunut.



Kuvio 6 Tuulen nopeuden vaikutus avausmomenttiin.

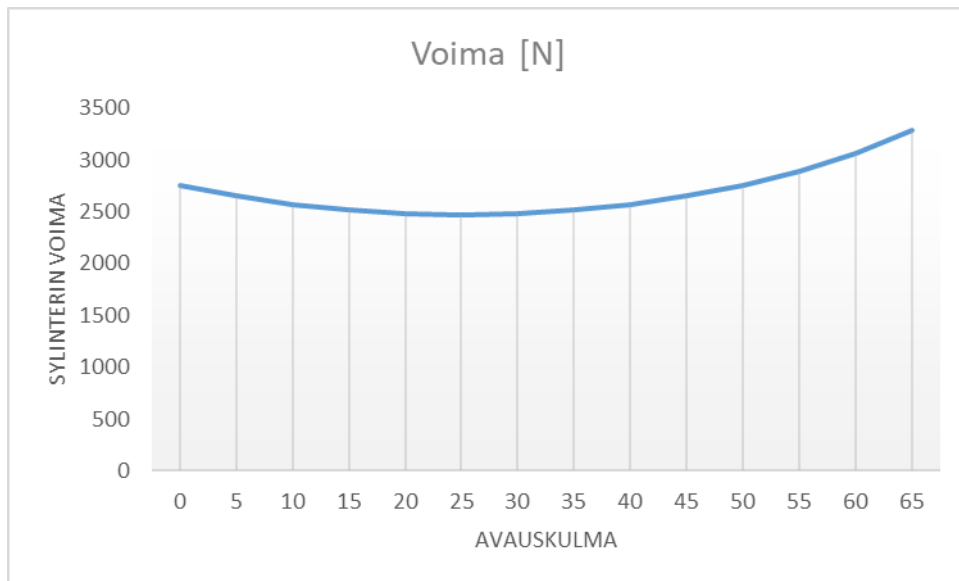
Moottorisuojan massa 115 kg vaikeuttaa sen avaamista, mikäli jyrä on pysäköity rinneeseen. Kallistuskulman sini kerrottuna maanvetovoiman aiheuttamalla vetovoimalla antaa moottorisuojaan kohdistuvan vääntävän voiman. Tästä saadaan avautumista vastustava momentti, kun se kerrotaan moottorisuojan painopisteen etäisyydellä saranasta. Kuviossa 7 on kuvattu koneen kallistuskulman vaikutusta avausmomenttiin.



Kuvio 7 Kallistuskulman vaikutus avausmomenttiin.

Kun yhdistetään puuskaisen tuulen vaikutus ja kallistuneen koneen aiheuttama vääntö, saadaan kuvion 8 mukainen voimakuvaaja. Tällöin tuulen vaikutukseksi on arvioitu 200 Nm, kun tuulen nopeus on 14 m/s ja koneen kallistuksen vaikutus on

myös 200 Nm, kun koneen kallistuskulma on 8 astetta. Tässä tilanteessa avausvoimaksi saadaan 2465-3290 N riippuen avauskulmasta.



Kuvio 8 Yhdistetty avausvoima avauskulman suhteen.

Näissä laskuissa käytetyllä geometrialla avaussylinterin liikematkaksi tulee 225 mm. Mikäli moottorisuojan avaamiseen menisi 10-15 sekuntia, niin karamoottorin nopeuden tulisi olla 15-22,5 mm/s.

4.3 Konseptointi

Pahlin ja Beitzin (1990) mukaan rakenteiden konkretisoituminen johtaa periaatteelliseen ratkaisuun. Vaatimuslistasta tulee löytää olennaiset ongelmat, joihin etsitään ratkaisua. Ongelma jaetaan pienempiin rakenteisiin, joihin etsitään periaatteellisia ratkaisuja. Konsepti tai konseptit kootaan näistä osaratkaisuista. (Pahl ym. 2007.)

Koneturvallisuus otettiin alusta asti huomioon tekemällä riskiarviointia. Mahdollisia riskitekijöitä etsittiin ja niiden suuruutta arvioitiin standardin mukaisesti. Näin mahdollista riskeistä ja niiden vakavuudesta saatiin hyvä kuva jo konseptointi vaiheessa. Näihin löydettyihin riskeihin ideoitiin erilaisia ratkaisuja.

Puristumissuojauksen toteuttamiseen voidaan käyttää moottorin voiman rajoitusta tai erillistä turvalaitetta, joka havaitsee oven välissä olevan henkilön tai esineen. Moottorin voiman rajoitus on yksinkertaisempi ja edullisempi ratkaisu. Toisaalta se voi tehdä moottorisuojan operoimisesta rinteessä tai kovassa tuulessa mahdotonta.

Erillinen turvalaite on monimutkaisempi ratkaisu. Moottorisuojoissa voisi olla kytkin johon osuessaan välissä oleva este tai henkilö pysäyttäisi suojan liikkeen. Tällöin suojan normaali toiminta ei häiriinny, mutta turvakytkimen koko ja sijoittelu voi olla haastavaa. Vaihtoehtoisesti moottorisuojan sulkeutumisesta voidaan varoittaa esimerkiksi valolla tai äänellä.

Vaatimuslistan ja alustavien laskelmien tekemisen jälkeen karamoottorin käyttö näyttää parhaalta tavalta toteuttaa moottorisuojien avaaminen. Vaihtoehtoisesti sähköhydraulinen mekanismi vaatisi useita komponentteja sekä monimutkaisemman ohjauksen. Tämä ei ole tilankäytön ja kustannusten kannalta edullista.

Avausmekanismi jaettiin erilaisiin toimintoihin ja rakenteisiin. Toimintoja ovat avaus ja sulku sekä puristumissuojaus ja kauko-ohjaus. Nämä on määritelty jo vaatimuslistassa. Rakenteita taas ovat karamoottori, kiinnityskorvakkeiden osat ja sähköjärjestelmä.

Karamoottorin kiinnityskorvakkeina käytetään alustavasti nykyisiä tuulihaan korvakkeita. Niiden sijoittelu on jo optimoitu niin, että tuulihaka ei liikkeessaan osu moottorin komponentteihin. Lisäksi eturunkoon hitsattujen tuulihaan korvakkeiden korkeuden muuttaminen voi olla haastavaa. Korvakkeiden geometriaa voidaan muokata tilankäytön ja voiman tarpeen vaatimusten mukaisesti. Lopulliseksi konseptiksi valikoitui karamoottorikäyttö ja tuulihaan korvakkeiden soveltaminen kiinnitykseen.

Moottorisuojan avaamisen käyttökytkimien sijoittamista tutkittiin erikseen jyrän ja repijän tapauksissa. Jäterepijän vasemmalla puolella on sen ohjauspaneeli, joten se olisi luonnollinen paikka myös moottorisuojan käyttökytkimille. Toisaalta silloin oikeanpuoleinen moottorisuoja jää katveeseen ja se aiheuttaa mahdollisen turvallisuusriskin. Toinen mahdollinen sijainti voisi olla koneen päällä aivan moottorisuojien edessä, jolloin molemmille suojille olisi yhtä hyvä näkyväisyys. Moottorisuojien kytkimet voisivat olla myös eripuolilla konetta.

Jyrän huoltotasolle kulkeminen tapahtuu nousemalla ohjaamoon vieviä portaita ylös ja koneen kylkeä pitkin moottorin luokse. Tämä ei onnistu, jos moottorisuojat ovat auki. Koneen takaosassa ei ole tikkaita tai muuta reittiä huoltotasolle. Avauskytkimet olisi siis sijoitettava taakse aivan moottorisuojien väliin. Niiden väliin jää pieni n. 5

senttimetrin rako, johon käyttökytkimet mahtuisivat suojiin ollessa kiinni. Kytkimille pitää suunnitella tuki, joka kiinnitetään moottoriin.

Käyttökytkiminä voidaan hyödyntää samoja, joita käytetään repijän ohjauspaneelissa. Kytkimiä tarvitaan kaksi, molemmille moottorisuojiin omansa. Kytkimien ohjesymboleina voidaan käyttää toimintaa kuvaavia symboleita.

4.4 Riskianalyysi

Rakennetta arvioitiin standardissa SFS- ISO/TR 14121:2013 ohjeistetun riskimatriisin avulla. Tätä varten kehitettiin kuvitteellisia koneen käyttötilanteita. Tilanteet pyrkivät kuvamaan mahdollisimman hyvin tilanteita, jotka saattavat tulla eteen tutkitun rakenteen kanssa. Tämä työkalu helpottaa erityyppisten käyttötilanteiden vertailua. Riskianalyysi tehtiin erikseen jyrälle ja repijälle. Lisäksi moottorisuojan avauksen käyttökytkimien sijoittamista arvioitiin riskianalyysin kautta. Riskianalyysin tulokseen vaikutti erityisesti näkyvyys molempiin moottorisuojiin.

4.5 Komponenttien haku ja vertailu

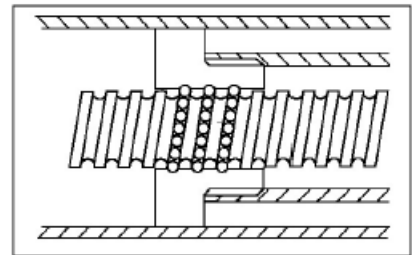
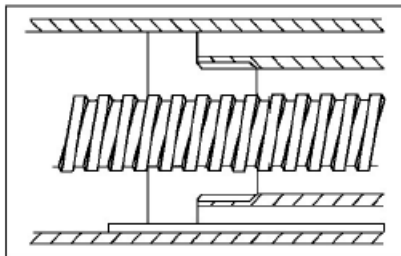
Karamoottoreita valmistetaan useaa eri tyyppiä. Nimeämiseen ja jaotteluun vaikuttavat käytettävä moottori ja sen asennus mekaaniseen vaihteeseen sekä mutterin ja karan rakenne. Lisäksi englannin kielinen termi Linear Actuator, lineaarinen toimilaitte, on paljon laajempi käsite ja se sisältää esimerkiksi hydraulisylinlerin ja lineaarimoottorin.

Karamoottori on sähkömekaaninen toimilaitte, joka muuttaa moottorin tuottaman pyörimisliikkeen lineaarisiksi. Tyypillinen karamoottori koostuu moottorista, vaihteesta ja mutterilla varustetusta karasta (ks. kuvio 9). Käyttökohteita ovat nostaminen, työntäminen ja säätäminen eri sovelluksissa. Niiden ohjaus voi olla manuaalinen tai automatisoitu. Asennus ja ohjaus on yksinkertaisempaa kuin esimerkiksi hydraulisilla tai pneumaattisilla järjestelmillä, sillä ne tarvitsevat enemmän komponentteja. Karamoottorit ovat kestäviä, tarkkoja ja voimakkaita. (Linak.)



Kuvio 9 Tyypillinen karamoottori (Linak).

Tyypillisimmät rakenteet ovat trapetsiruuvi ja kuularuuvi (ks. kuvio 10). Kuularuuvi on hyötysuhteeltaan parempi ja se kestää suurempia voimia, mutta on monimutkaisempi ja siten kalliimpi. Karamoottorin voiman ja liikenopeuden suhde vaihtelee kuormituksen mukaan. Kevyellä kuormituksella karamoottori liikkuu nopeammin ja kuorman kasvaessa se hidastuu. Nopeus ja voima riippuvat käytettävästä moottorista ja mekaanisesta välityssuhteesta. Tyypillisiä lisävarusteita karamoottoreille ovat rajakytkimet ja potentiometrit, kytkin tai jarru sekä kiinnitykseen ja pyörimisenestoon käytettävät komponentit. (Anaheim Automation.)



Kuvio 10 Yleiset ruuvivaihtoehdot (OEM Automatic).

Eri valmistajien valintaohjeet karamoottoreille ovat hyvin samankaltaisia. Tyypillinen karamoottorin valinnan kulku on selvittää vaadittu jännite, voima, nopeus, työliikkeen pituus, työkierron toistuvuus, ympäristöolosuhteet ja lisävarusteet. (Anaheim Automation.)

Karamoottoreiden toimittajia etsittiin internethaulla ja kotimaisten mekatroniikka komponenttitoimittajien kotisivuilta. Vertailuun valittiin 18 kpl karamoottoreita 3000-6000 N kokoluokasta. Mukana on kahdeksan mallia viideltä eri valmistajalta. Kaikki toimivat 24 voltin tasajännitteellä ja toimittajan tai valmistajan ilmoituksen

mukaan soveltuvat teolliseen käyttöön tai työkone sovelluksiin. Mukana on trapetsi- ja kuularuuvi käyttöisiä karamoottoreita. Käytännössä kaikkiin saa lisävarusteena rajakytkimet iskunpituuden rajoittamiseksi.

Karamoottoreille on ilmoitettu erilaisia IP-suojausluokituksia. Matalin karamoottorille ilmoitettu suojausluokka on IP54, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa pölysuojattua ja toinen numero roiskuvalta vedeltä suojattua laitetta (SFS-EN 60529:2000). Korkein ilmoitettu suojausluokka on IP69, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa pölytiivistä ja toinen numero korkeapaineiselta ja korkean lämpötilan vesisuihkulta suojattua laitetta (SFS-EN 60529/A2:2013). Standardin 60529:2010 mukaan IP luokituksen toisen numeron ollessa 7 tai 8, kyseinen laite kestää hetkellisen tai jatkuvan upotuksen veteen. Mikäli laite kestää vesisuihkun ja veteen upottamisen, se voidaan kaksiskoodata esimerkiksi IP66/IP68 (SFS-EN 60529/A2:2013).

Karamoottoreille tehtiin vertailutaulukko, jossa niitä arvioitiin voiman, nopeuden ja muiden ominaisuuksien perusteella (ks. liite 7). Jokaisessa arviointikohdassa komponentti sai joko hyväksytyyn tai hylätyn arvion. Jokaisessa arviointikohdassa hyväksytyjä karamoottoreita oli viisi, jotka otettiin mukaan tarkempaan analysointiin.

Karamoottoreiden teknisiin dokumentteihin kuuluu tyypillisesti kuvaaja, joka kertoo karan nopeuden kullakin kuormalla, sekä moottorin sähkövirran tarpeen kullakin kuormalla. Karan nopeuden tippuminen kuormituksen lisääntyessä riippuu käytettävästä välityssuhteesta ja sähkömoottorin ominaisuuksista. Yhden karamoottorin nopeus tippuu jopa 45 % kuormittamattomasta nopeudesta verrattuna nopeuteen maksimi kuormalla. Voimakkaimpien kuularuuvi-tyyppisen karamoottorin nopeuden tippuminen on vain noin 10 % kuormittamattomasta nopeudesta.

Hitaampia karamoottoreita arvostettiin enemmän, sillä hitaampi liike parantaa koneen turvallisuutta ja toisaalta korkeampi välityssuhde lisää karamoottorin voimaa. Suurempi nopeuden tippuminen antaa koneen käyttäjälle tietoa siitä, miten suuri vastus karamoottorilla kulloinkin on. Tämä ominaisuus voi estää tai vähentää puristuksen onnettomuuksia.

Jäljelle jääneille viidelle karamoottorille tehtiin uusi vertailu (ks. liite 8). Arviointitaulukkoon merkittiin komponenttien ominaisuuksien soveltuvuus kehitettävään raken-

teeseen. Lopputuloksena yksi karamoottori valittiin käytettäväksi lopullisessa rakenteessa. Muista sen erotti korkeampi IP-suojausluokka ja käyttäytyminen kasvavan kuormituksen alaisena.

Valitun karamoottorin tarkka malli valitaan valmistajan teknisten dokumenttien avulla. Ostaja voi varustella karamoottorin omiin tarpeisiinsa sopivaksi. Tyypin, välityksen ja moottorin lisäksi voidaan valita eri kiinnitys tapoja sekä lisävarusteita, kuten mikrokytkimet iskunpituuden portaattomaan säätämiseen.

4.6 Rakenteen viimeistely

Valitusta karamoottorista tehtiin malli CAD-ohjelmaan, jolloin sitä pystyi sovittamaan moottorisuojaan. Karamoottori sidottiin omalle paikalleen ja sen liikettä ja tilan tarvetta verrattiin muihin moottoritilan komponentteihin. Tässä vaiheessa vielä optimoitiin sopivinta karamoottorin iskunpituutta.

Karamoottorin kiinnitykseen päätettiin käyttää vakiona olevaa päätä moottorisuojan puolella. Saranan puolelle sovitettiin lisävarusteista nivellaakeroitua kiinnityspäätä. Nivellaakeri estää karamoottorin rikkoutumisen, kun moottorisuoja ei ole täysin suorassa saranoilla. Nämä kiinnityspäät eivät suoraan käy nykyisen tuulihaan korvakkeisiin, vaan korvakkeita piti muokata. Moottorisuojassa olevat korvakkeet ovat sopivan mallisia, mutta niiden hahlon leveyttä ja kiinnitysreiän koko muutettiin puolen tuuman kiinnitystapille sopivaksi.

Koneen eturungossa oleva jäähdyttimen korvake oli myös muokattava. Siihen lisättiin yläpintaan hitsattava korvake. Karamoottorin asennusohjeissa erityisesti kielletään sen kiinnittäminen toispuoleisesti, ts. siihen ei saa kohdistua vääntöä. Koneen vasemman ja oikean puoleiset jäähdyttimen korvakkeet ovat erilaiset, mutta hitsattavana lisäosana voidaan käyttää samanlaista korvakkeen puolikasta. Ohutlevyosien muotoilussa hyödynnettiin DFM periaatetta, jolloin ne optimoitiin valmistusta ajatellen.

Käyttökyskimien ohjauspaneeli muokattiin rumpuseulassa käytettävästä paneelistä. Siihen lisättiin toinen kolmiasentoinen kytkin ja merkinnät muutettiin vastaamaan moottorisuojan toimintoja. Ohjauspaneeli sijoitettiin sille kuuluvalla paikalla kaato- paikkajyrän malliin.

Nämä muutokset lisättiin käytössä olevaan Vertex Flow PLM-järjestelmään, jolloin ne saivat heti osanumeroinnin ja kaikki niihin liittyvät tiedot löytyvät samasta järjestelmästä.

5 Kehitystyön tulokset

Tuotekehitystyössä onnistuttiin vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Moottorisuojien avaamiseen kehitettiin sähkömekaaninen järjestelmä, joka on mitoitettu toimimaan vaativissa olosuhteissa. Tuotteen turvallisuusnäkökohdat on otettu huomioon hyvää suunnittelutapaa noudattaen ja sille on laadittu standardin mukainen riskianalyysi.

5.1 Sähköinen avausmekanismi

Opinnäytetyössä löydettiin konsepti, jolla Tanan kaatopaikkajyrien ja jätereppijöiden moottorisuojat voidaan avata sähköisesti. Tätä konseptia kehitettiin edelleen ja vertailujen jälkeen löydettiin siihen soveltuva karamoottori. Karamoottorin tarkka malli valittiin valmistajan ohjeiden mukaisesti ja sen maahantuojalle tehtiin alustava tarjouskysely.

Karamoottorin lopullinen voimakkuus on 5340 N ja laskelmien mukaan se riittää varmistamaan häiriöttömän toiminnan kaikissa olosuhteissa. Karamoottorin maksimi iskunpituus on 300 mm ja se säädetään sopivaksi karamoottoriin kuuluvilla magneettisilla rajakytkimillä. Aika joka kuluu moottorisuojan avautumiseen tai sulkeutumiseen on nimellisesti n. 13 sekuntia. Rinteessä tai kovalla tuulella karamoottorin vauhti hidastuu, jolloin avautumiseen voi mennä n. 20 sekuntia. Tämä lisää koneenkäyttäjän tuntumaa moottorisuojan toimintaan ja näin lisää turvallisuutta erikoistapauksissa.

CAD-ohjelmalla sovitettiin tämän karamoottorin malli jyrään ja se todettiin toimivaksi (ks. liite 9). Karamoottorin liikevarat riittävät avaamaan ja sulkemaan moottorisuojat täysin. Kompaktin kokoisena se sopii turvallisesti paikalleen, eikä aiheuta törmäysriskiä esimerkiksi turboon tai pakokaasun jälkikäsitteilylaitteisiin. Jättereppijän huoltotasoihin kuuluvat turvakaiteet voidaan pitää muuten entiselleen, mutta niihin kuuluva tuulihaka jätetään pois. Lisäksi mallinnettiin moottorisuojien käyttökytkimet jyrän taaksaan.

Karamoottorista ja muista mallinnetuista osista tehtiin mittapiirustukset ja ne päivitettiin Tanan PLM-järjestelmään. Lisäksi näiden pohjalta tehtiin toimeksiantajan käyttöön oma dokumentaatio, josta löytyy toimivan prototyypin rakentamiseen vaadittavat hankinnat. Uuden avausmekanismin yksittäisten komponenttien määrä verrattuna nykyiseen on huomattavasti pienempi. Jyrän moottorisuojan kokoonpanosta voitiin jättää pois avausmekanismi, lukko ja tuulihaka. Tämä vaikuttaa suoraan hankinta- ja kokoonpanokuluihin.

Merkittävä osa sähköisen avausmekanismin kuluista tulee karamoottorin hankinnasta. Valitusta karamoottorista tehtiin alusta tarjouskysely komponenttitoimittajalle. Alustavan hinta-arvion mukaan karamoottorin hankintakustannukset olisivat noin 2,5-kertaiset verrattuna poistuvista osista tulevaan säästöön. Näin ollen moottorisuojan sähköistämistä ei voida perustella taloudellisilla seikoilla. Tarkemmat kustannuslaskelmat rajattiin kuitenkin jo alussa opinnäytetyön ulkopuolelle.

5.2 Koneturvallisuuden toteutuminen

Kehitetyn tuotteen turvallisuuden katsotaan olevan tavoitellulla tasolla. Lopulliselle tuotteelle tehtiin koneturvallisuus standardiin SFS-EN ISO 12100:2010 perustuva riskianalyysi. Lisäksi tuotekehityksessä käytettiin samassa standardissa esitettyä riskin pienentämisen strategiaa. Riskianalyysiä hyödynnettiin iteratiivisesti suunnittelutyön edetessä konseptille sekä lopulliselle avausmekanismille. Sen avulla riskejä onnistuttiin pienentämään kohtuulliselle tasolle ilman, että tuotteen suorituskyky tai sen taloudellinen kannattavuus kärsii liikaa. Standardissa SFS-EN ISO 12100:2010 mainitut riittävän riskin pienentämisen määritelmät on täytetty noudattamalla kolmea riskin pienentämisen askelta.

Liitteessä 10 esitetään riskianalyysin tulokset jyrälle ja repijälle. Sen tuloksena suositellaan, että myös repijän moottorisuojien ohjauspaneeli sijoitetaan keskelle konetta, jolloin näkyvyys molemmille moottorisuojille on parhaalla mahdollisella tasolla. Mikäli ohjauspaneeli on repijän vasemmalla puolella käyttöpaneelissa, niin oikea moottorisuoja jää katveeseen ja tämä näkyy riskianalyysissä mahdollisena hoitoa vaati-

vana loukkaantumisenä tai rakenteen rikkoutumisena. Vertailukohtana voidaan käyttää jyrän riskianalyysiä. Koneturvallisuuteen kuuluvat myös asianmukaiset ohjeet käyttäjän käsikirjassa ja ymmärrettävät symbolit käyttökytkinten yhteydessä.

6 Pohdinta

Teoriaosuuteen valitut aihealueet tukivat hyvin opinnäytetyön suorittamista. Kaikki esitellyt suunnitteluprosessit ovat toimivia, kun niiden käyttö on hyvin sisäistetty ja osataan valita oikea prosessi kuhunkin suunnitteluprojektiin. Suuressa suunnittelutimissä toimiva insinööri joutuu soveltamaan erilaisia taktiikoita, kuin yksin koko projektin läpi vievä. Suunnitteluprosesseihin tarkemmin tutustuesssa niiden suurimmat erot löytyivätkin kirjoittajien valitsemista näkökulmista aiheeseen.

Erytisesti koneturvallisuuden ja luotettavuuden määrittely kvantitatiivisesti oli haastavaa. Eri projektit ja henkilöt voivat saada erilaisia tuloksia, vaikka he seuraisivat samaa standardia. Tämä aiheuttaa haasteita varsinkin kansainvälisillä markkinoilla toimittaessa. Erilaiset toimintatavat ja säännösten tulkinnat eivät välttämättä ole yksiselitteisiä. Tarkempi tutustuminen koneturvallisuusstandardeihin oli kuitenkin hyödyllistä ja tulevaisuissa projekteissa niiden hyödyntäminen on varmasti sujuvampaa.

Karamoottorin etsimisessä käytettiin moderneja menetelmiä ja työkaluja. Internethakujen avulla voi löytää luotettavaa ja ajantasaista tietoa. Toisaalta hakupalvelujen tarjoamat tulokset voivat olla vääristyneitä mainostajien, mutta myös omien internetin käyttötapojen takia. Google ohjaa helposti aina samojen toimittajien sivuille joilla on vierailut esimerkiksi aiemman projektin parissa ja näin omat tiedonhakukanavat suppenevat huomaamatta.

Opinnäytetyön teon aikana maahantuojien välisissä karamoottorivalmistajien edustuksissa tapahtui muutoksia ja se aiheutti jonkin verran ylimääräistä työtä. Monesti maahantuojien sivuilla olevat tiedot ja dokumentit eivät riittäneet, vaan lisätietoja piti hakea suoraan valmistajilta.

Haasteita opinnäytetyön toteutukselle aiheuttti myös sen aloitusajankohta toukuussa, jolloin kesälomakausi häiritsi jonkin verran työn toteuttamista. Opinnäyte-

työn tekijän ennalta varatut lomamatkat pysäyttivät projektin joksikin aikaa lähes kokonaan. Myös toimeksiantajan kesälomat vaikeuttivat yhteydenpitoa. Tämä aiheutti muutoksia opinnäytetyön alkuperäiseen aikatauluun.

Kehitystutkimukselle annetut tavoitteet olivat konkreettisia ja tutkimuskysymykset monialaisia. Vaikka tavoitteet voi katsoa täytetyn, niin konsepti on kuitenkin realisoitunut vasta CAD-mallin muodossa. Varmempi selvyys tulosten oikeellisuudesta jää odottamaan ensimmäisen prototyypin rakentamista ja testaamista.

Jatkokehitys mahdollisuuksia on käytettävien komponenttien valinnassa. Esimerkiksi käyttökytkimille ja niiden kiinnityspaneeleille on lähes loputtomasti vaihtoehtoja. Yleensä valinta tehdään kuitenkin saatavuuden ja teknillistaloudellisten perustelujen mukaan. Karamoottoreita voitaisiin myös kilpailuttaa enemmän, jotta löydettäisiin kustannustehokkain vaihtoehto. Tämän opinnäytetyön pohjalta voidaan kuitenkin todeta, että nykyinen avausmekanismi voidaan kohtuullisin muutoksin muuttaa karamoottorikäyttöiseksi. Nykyisen tuulihaan ja suojan geometriat soveltuvat hyödynnettäviksi ja markkinoilta löytyy tehtävään sopivia karamoottoreita.

Lähteet

Agile Manifesto. 2001. Agile Manifeston kotisivut. Viitattu 23.7.2018.

<http://agilemanifesto.org/>

Alon, Edel. 2017. Scrum!. Blogikirjoitus scrumin perusteista. Viitattu 26.7.2018.

<http://edelalon.com/blog/2017/09/scrum/>

Anaheim Automation. N.d. Linear Actuator Guide. Artikkelin Anaheim Automationin kotisivuilla. Viitattu 30.7.2018.

<http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/linear-actuator-guide.php#sthash.dLxoWbWk.8CP8JD23.dpbs>

CEN/TR 614-3:2010. Safety of Machinery. Part 3: Ergonomic principles for the design of the mobile machinery. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.12.2010. Viitattu 30.5.2018. . <https://janet.finna.fi> SFS Online.

Cooper, R. 2006. The seven principles of the latest Stage-Gate® method add up to a streamlined, new-product idea-to-launch process. Artikkelin stage-gate.net sivustolla. Viitattu 23.5.2018.

https://www.stage-gate.net/downloads/working_papers/wp_23.pdf

Cooper, R. 2008. Perspective: The Stage-Gate® Idea-to-Launch Process – Update, What’s New and NexGen Systems. Journal of Product Innovation Management, 25, 3, 2313-232. Viitattu 23.5.2018.

https://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp_30.pdf

Cooper, R. 2011. Winning at new products: Creating value through innovation. Neljäs painos. New York: Basic Books.

Cooper, R. 2014. What’s Next After Stage-Gate?. Artikkelin bobcooper.ca sivustolla.

Viitattu 20.9.2018. <http://www.bobcooper.ca/images/files/articles/0/3-Whats-Next-After-Stage-Gate.pdf>

Edget, S. N.d. The Stage-Gate Model: An Overview. Artikkelin stage-gate.com sivustolla. Viitattu 25.7.2018. <https://www.stage-gate.com/wp-content/uploads/2018/06/wp10english.pdf>

<https://www.stage-gate.com/wp-content/uploads/2018/06/wp10english.pdf>

Ergonomian ja käytettävyyden standardit. N.d. Artikkelin Suomen Standardoimisliitto SFS ry:n sivuilla. Viitattu 28.5.2018.

https://www.sfs.fi/files/61/Ergonomia2017_web.pdf

Heikkilä, J., Hietanen, O., Lauttamäki, V., Lehmann-Chadha, M. & Verma, J. 2006.

Jätealan megatrendit ja haasteet Euroopassa. Tulevaisuuden tutkimuskeskus TUTU:n julkaisu. Viitattu 22.9.2018. [https://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/tutu-](https://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/tutu-julkaisut/Documents/Tutu_2006-5.pdf)

[julkaisut/Documents/Tutu_2006-5.pdf](https://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/tutu-julkaisut/Documents/Tutu_2006-5.pdf)

Ilmatieteenlaitos. 29.6.2018. Tuulet. Artikkelin tuulen ja myrskyjen voimakkuudesta.

Viitattu 31.8.2018. <https://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>

Isomäki, M., Jokela, T., Kaisti, M., Käsälä, M., Könnölä, K., Lehtonen, T., Mäkilä, T., Rantala, V., Suomi, S., Tuomivaara, S. & Ylitolva, M. 2014. Sulautettujen järjestelmien ketterä käsikirja. Käsikirja Turun yliopiston verkkosivuilla. Viitattu 23.7.2018.

<http://trc.utu.fi/embedded/kasikirja/#pdf>

Linak. N.d. Sähkökäyttöinen lineaarinen karamoottori. Artikkelin Linak Oy:n kotisivuilla. Viitattu 30.7.2018. <http://www.linak.fi/yleista/?id3=4951>

Nallaperumal. K. 2013. Engineering Research Methodology: A computer Science and Engineering and Information and Communication Technologies Perspective. Viitattu 26.6.2018

https://www.researchgate.net/profile/Krishnan_Nallaperumal/publication/259183120_Engineering_Research_Methodology_A_Computer_Science_and_Engineering_and_Information_and_Communication_Technologies_Perspective/links/00b4952a3424d5b41a000000/Engineering-Research-Methodology-A-Computer-Science-and-Engineering-and-Information-and-Communication-Technologies-Perspective.pdf

OEM Automatic. N.d. Linear-Mech LMR03 tuote-esite. Viitattu 30.7.2018.

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Toinen painos. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. 2007. Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition. London: Springer.

Schwaber, K., Sutherland, J. 2017. The Scrum Guide. The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. Viitattu 23.7.2018.

<https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf>

SFS-EN 60529:2000. Sähkölaitteiden koteloitiluokat (IP-koodi). Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 6.11.2000. Viitattu 10.9.2018.

<https://janet.finna.fi> SFS Online.

SFS-EN 60529/A2:2013. Sähkölaitteiden koteloitiluokat (IP-koodi). Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 18.11.2013. Viitattu 10.9.2018.

<https://janet.finna.fi> SFS Online.

SFS-EN 614-1:2009. Koneturvallisuus. Ergonomiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: Terminologia ja yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Vahvistettu 20.4.2009. Viitattu 10.9.2018. <https://janet.finna.fi> SFS Online.

SFS-EN 614-2:2009. Koneturvallisuus. Ergonomiset suunnitteluperiaatteet. Osa 2: Työtehtävien ja koneen suunnittelun väliset vuorovaikutukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 30.3.2009. Viitattu 10.9.2018.

<https://janet.finna.fi> SFS Online.

SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Vahvistettu 13.12.2010. Viitattu 14.6.2018. <https://janet.finna.fi> SFS Online.

SFS-ISO/TR 14121:2013. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmästä. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Vahvistettu 21.1.2013. Viitattu 2.8.2018. <https://janet.finna.fi> SFS Online.

Sininen Meteoriitti. N.d. Ketteryys haltuun: Ketterän kehityksen yleiset periaatteet. Artikkelin Sininen Meteoriitti Oy:n kotisivuilla. Viitattu 24.7.2018.

<https://www.meteoriitti.com/2013/06/06/ketteryys-haltuun-ketteran-kehityksen-yleiset-periaatteet/>

Sininen Meteoriitti. N.d. Ketteryys haltuun: Scrum pähkinänkuoressa. Artikkelin Sininen Meteoriitti Oy:n kotisivuilla. Viitattu 24.7.2018.

<https://www.meteoriitti.com/2013/06/06/ketteryys-haltuun-scrum-pahkinankuoressa/>

Tana E-series Brochure. N.d. E-sarjan jyrkien esite Tana Oy:n kotisivuilla. Viitattu 23.9.2018. <https://www.tana.fi/landfill-operations/getfile.php?file=363>

Tana Oy:n historia. N.d. Tietopaketti Tana Oy:n kotisivuilla. Viitattu 25.6.2018. <https://www.tana.fi/about-us/history>

Tana Shark Waste Shredders. N.d. Tana Shark repijöiden esite Tana Oy:n kotisivuilla. Viitattu 23.9.2018. <https://www.tana.fi/recycling-processes/getfile.php?file=1973>

Tana Smart Site. N.d. Smart Site -järjestelmän esittely Tana Oy:n kotisivuilla. Viitattu 22.9.2018. <https://www.tana.fi/smartsite>

Ulrich, K. & Eppinger, S. 2012. Product design and development. Viides painos. New York, NY: MacGraw-Hill cop.

Liitteet

Liite 1. VDI 2221 tuotekehitysprosessi

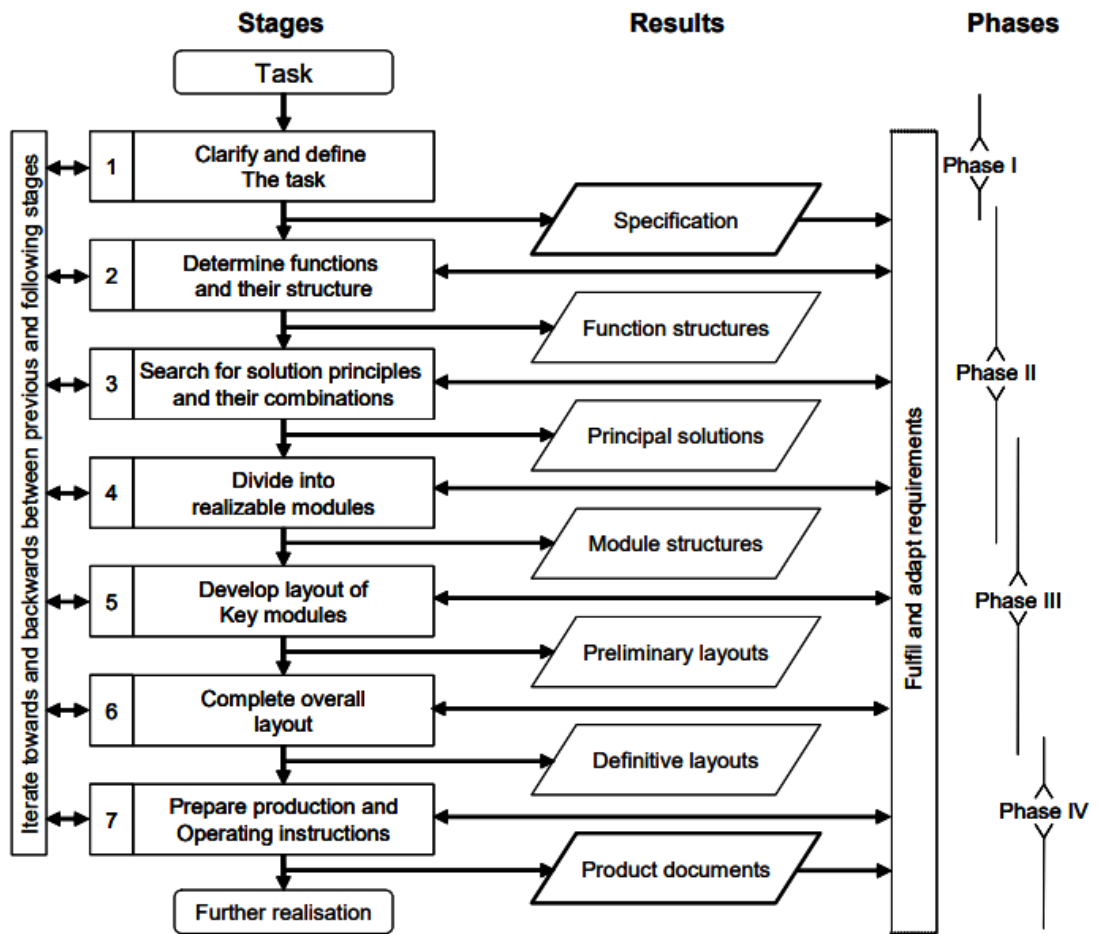
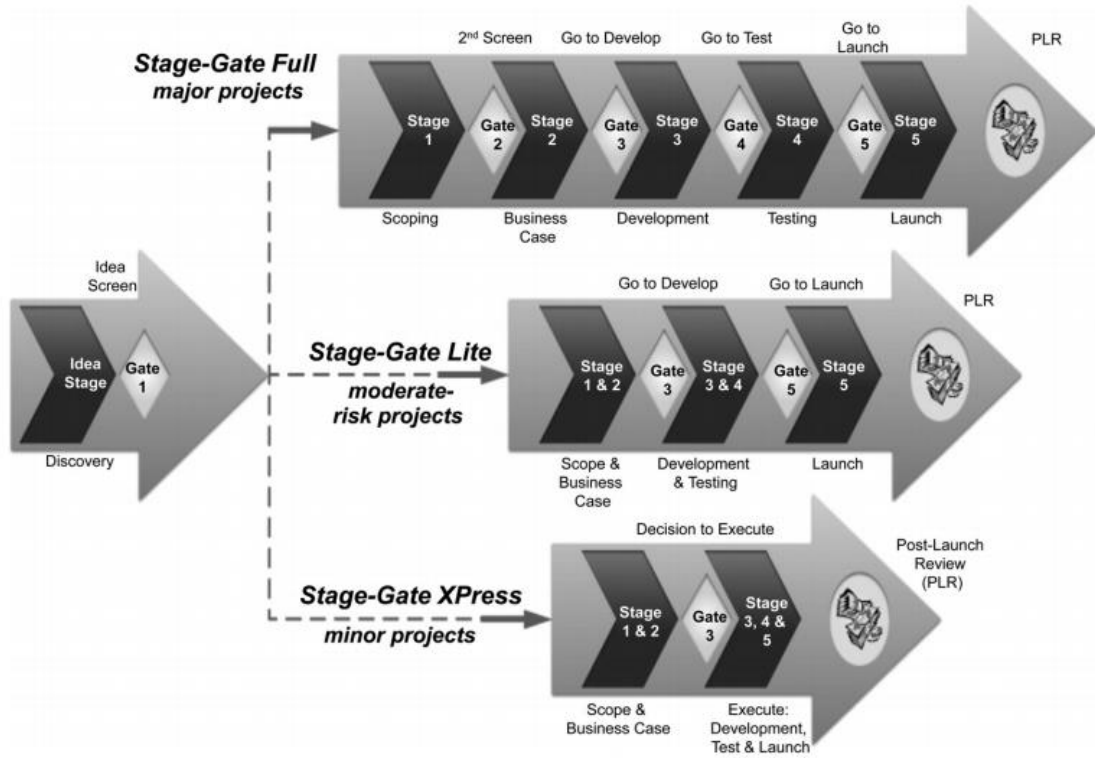
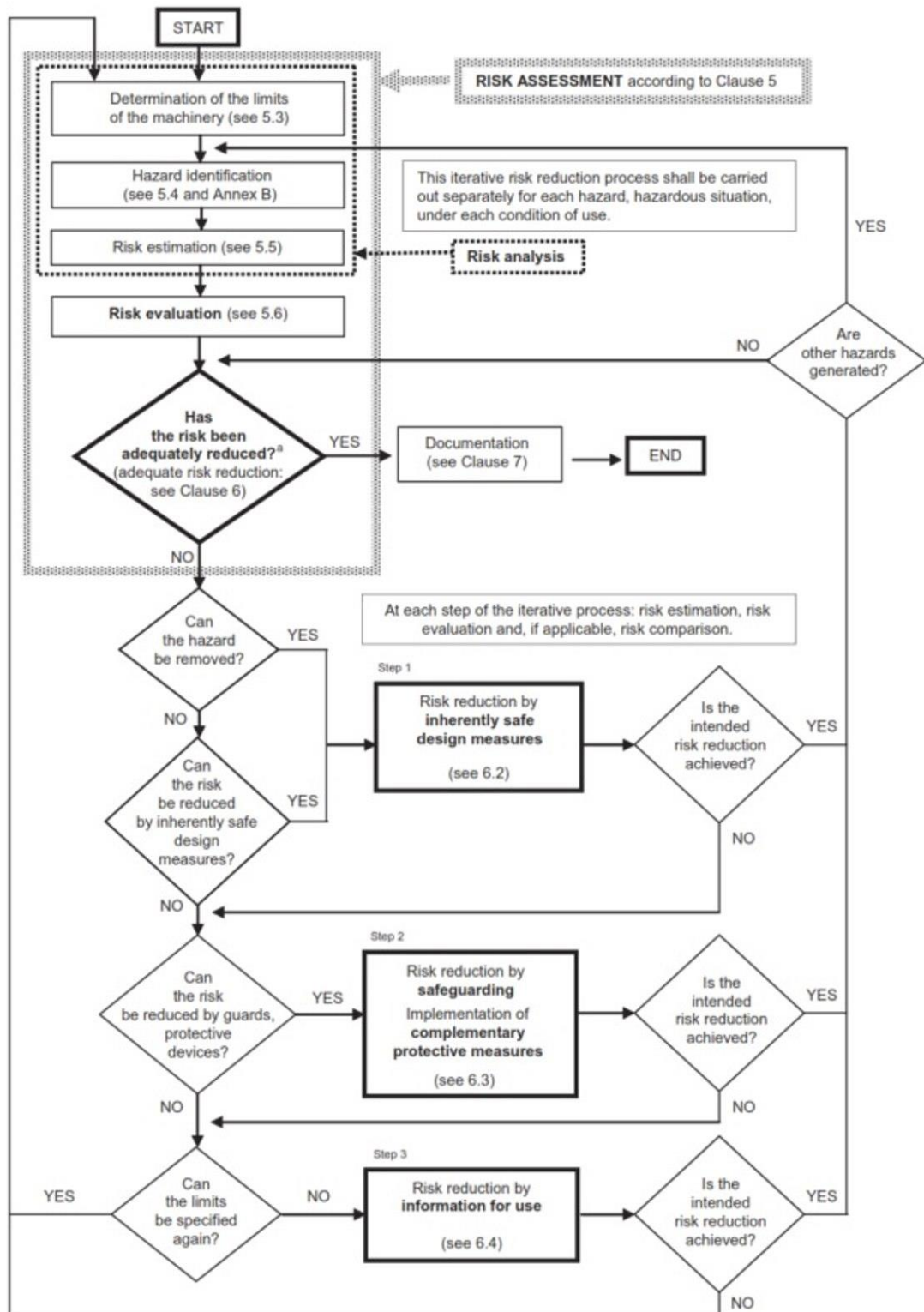


Figure 4. Guideline VDI 2221

Liite 2. Skaalautuva Stage-Gate prosessikaavio



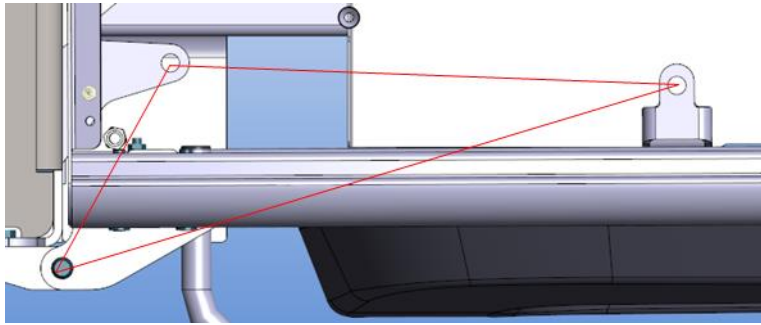
Liite 3. SFS-EN ISO 12100:2010 Riskin pienentämisen strategia



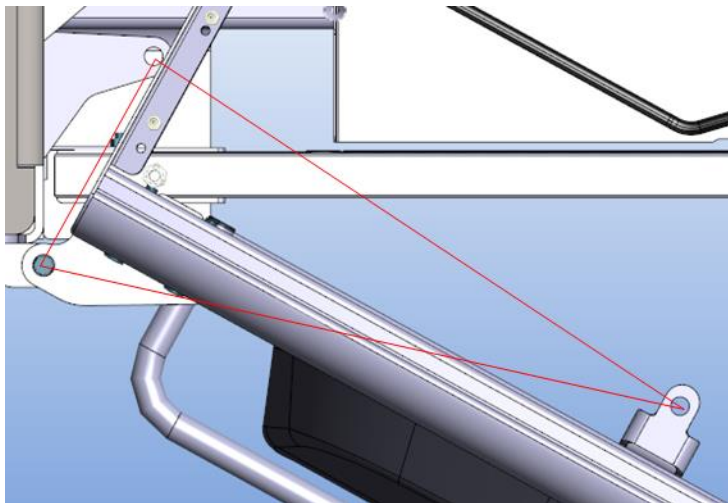
Liite 4. Vaatimuslista

Vaatimuslista		Sivu:	1	
		Tekijä:	Jaakko Maksimainen	
		Päiväys:	24.9.2018	
Yritys: Tana				
Projekti: Moottorisuojan sähköinen avausmekanismi				
Pvm.	Kuvaus	Kiinteä vaatimus	Minimi vaatimus	Toivomus
	Rakenne			
2.9.2018	Kestää tuulikuorman		>14 m/s	
3.6.2018	Mitoitettu oven massan mukaan		116 kg	
5.9.2018	Avautumisvoima		>4000 N	
23.8.2018	Avautumiskulma	n. 65 °		
26.6.2018	Hyödynnetään olemassa olevia rakenteita			X
	Käytettävyys			
26.6.2018	Helppokäyttöinen	X		
26.6.2018	kytkimet sijoitettu luontevasti	X		
26.6.2018	käyttövirheet on minimoitu	X		
26.6.2018	kytkinten käyttö on intuitiivista	X		
23.8.2018	kytkimet on merkitty selkeästi	x		
	Suojien toiminta			
26.6.2018	avautuvat tasaisesti ja varmasti	X		
26.6.2018	sulkeutuvat tiiviisti	X		
3.7.2018	Liikenopeudet ovat hallittavia	X		
	Mekaaninen turvallisuus			
26.6.2018	suojat pysähtyvät jos jotain välissä			X
26.6.2018	suojakaiteiden toiminta ennallaan			X
26.6.2018	vastaa koneturvallisuusstandardia	X		
	Sähköt			
26.6.2018	24V järjestelmä	X		
26.6.2018	sähköturvallisuus standardin mukainen	X		
22.9.2018	Suojausluokka IP65 / IP69		X	
3.6.2018	Kestää moottoritilan lämmöt	<80°C		
26.6.2018	Hyödynnetään olemassa olevia komponentteja			X

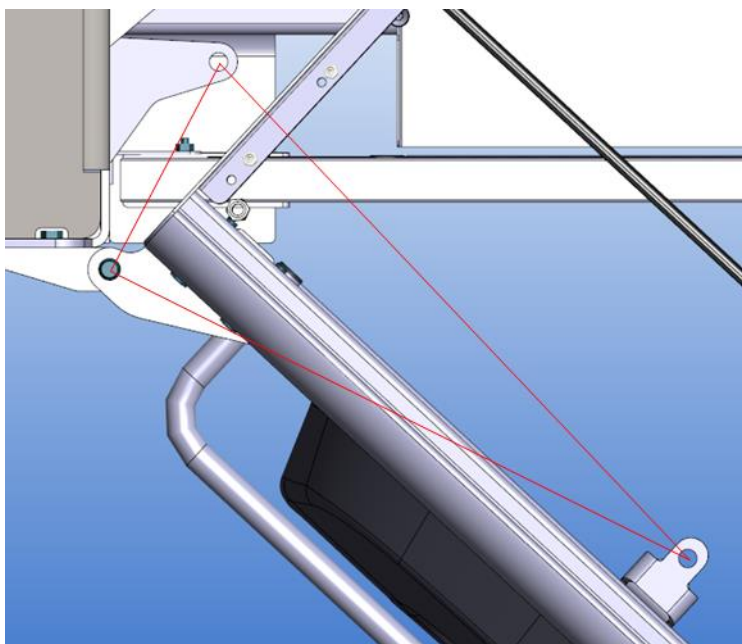
Liite 5. Moottorisuojan avausgeometriat CAD-mallissa



Moottorisuoja kiinni.

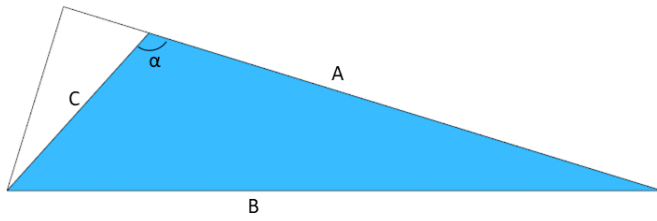


Avaussylinteri kohtisuorassa saranaan nähden – pienin avausvoima.

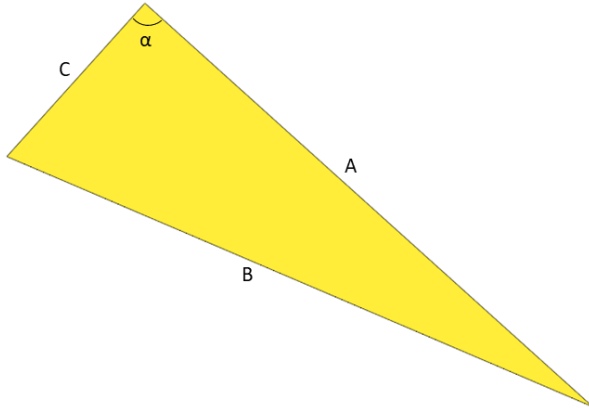


Moottorisuoja täysin auki.

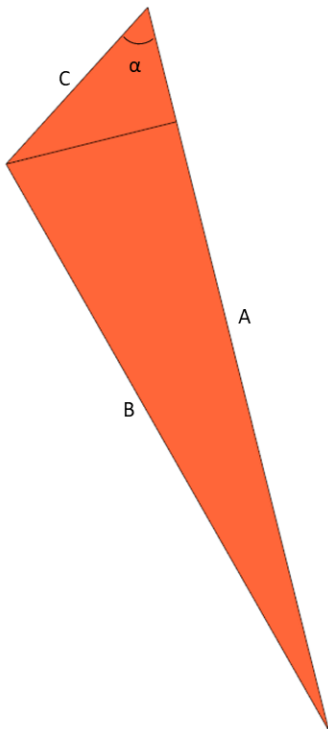
Liite 6. Avausgeometrian laskelmat



Suoja kiinni – kuolokohta: $T[\text{Nmm}]/(C[\text{mm}] * \text{SIN}(180-\alpha[\text{deg}]))$



Kuolokohta/ avaus sylinteri kohtisuorassa saranaan: $T[\text{Nmm}]/C[\text{mm}]$



Kuolokohta – auki: $T[\text{Nmm}]/(C[\text{mm}] * \text{SIN}(\alpha[\text{deg}]))$

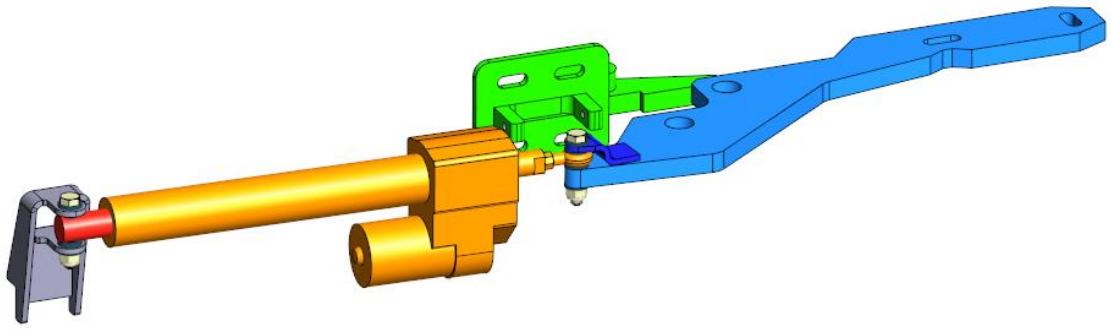
Liite 7. Karamoottorien vertailu

Vertailutaulukko: Karamoottorit							
Tekijä: Jaakko Maksimainen							
Pvm. 14.9.2018							
Valinta kriteerit: (+) hyväksyty (-) hylätty							
Komponentti nro.	Voima					Lopputullos	
	Iskunpituus						
	Nopeus						
	Suojausluokka						
	Iskun säätö						
	Kommentti						
1	-	+	-	+	+		-
2	+	+	+	+	+		+
3	+	+	-	+	+		-
4	-	+	?	+	+		-
5	+	+	?	+	+		-
6	-	+	?	+	+		-
7	+	+	?	+	+		-
8	+	+	?	+	?		-
9	+	+	?	+	+		-
10	+	+	+	+	+		+
11	+	+	+	+	+		+
12	+	+	-	+	+		-
13	+	+	-	+	+		-
14	+	+	-	+	+		-
15	+	+	+	+	+		+
16	+	+	+	+	+		+
17	-	+	+	+	-		-
18	+	+	-	+	+		-

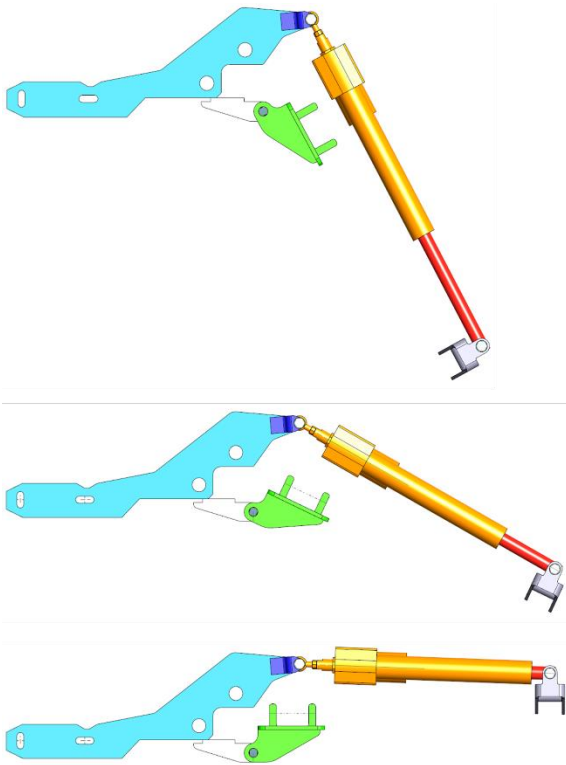
Liite 8. Karamoottorin valinta taulukko

Vertailutaulukko: Karamoottorin valinta							
Tekijä: Jaakko Maksimainen							
Pvm. 19.9.2018							
Valinta kriteerit: (+/++/+++) hyväksyty (-) hylätty							
Komponentti nro.	Voima						Lopputulokset
	Nopeus						
	Turvallisuus						
	Suojausluokka						
	Hinta-arvio						
Kommentti							
2	+++	+++	++	+++	++	IP69	+
10	+	+	+	+	++	IP54	-
11	+++	++	+	++	++	IP65	-
15	++	++	+	++	+	IP65	-
16	+++	+	+	+	+	IP54	-

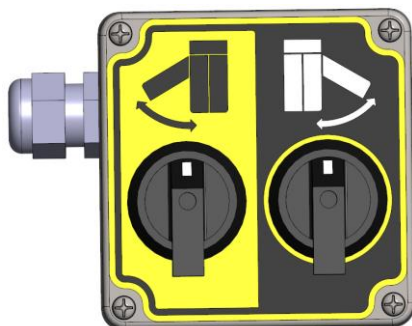
Liite 9. Avausmekanismin rakenne



Vasemmanpuoleinen rakenne.



Avausmekanismin liikeradat.



Moottorisuojan ohjauspaneeli; käyttökytkimet ja symbolit.

Liite 10. Riskianalyysi

Jyrä; käyttökytkimet koneen takaosassa	Todennäköisyys	Vakavuus	Suuruus
Puristuminen:			
Suojia suljetaan kun joku on välissä, suojat pysäytetään ajoissa	2	2	4
Vakava puristuminen, ts. koneen käyttäjä ei huomaa että joku on välissä	1	4	4
Suoja osuu johonkin vain vähän, ei vahinkoja	3	1	3
Repijä; käyttökytkimet koneen pääohjauspaneelissa	Todennäköisyys	Vakavuus	Suuruus
Puristuminen; vasen puoli			
Suojia suljetaan kun joku on välissä, suojat pysäytetään ajoissa	2	2	4
Vakava puristuminen, ts. koneen käyttäjä ei huomaa että joku on välissä	1	4	4
Suoja osuu johonkin vain vähän, ei vahinkoja	3	1	3
Puristuminen; oikea puoli			
Suojia suljetaan kun joku on välissä, suojat pysäytetään ajoissa	4	2	8
Vakava puristuminen, ts. koneen käyttäjä ei huomaa että joku on välissä	3	4	12
Suoja osuu johonkin vain vähän, ei vahinkoja	5	1	5

0-5 Low risk 6-10 Moderate risk 11-15 High risk 16-25 Unacceptable	Minor injury, insignificant property or equipment damage	Non-reportable injury, minor loss of process or slight property damage	Reportable injury, moderate loss of process, limited property damage	Major injury, single fatality, critical process loss, critical property damage	Multiple fatalities, catastrophic business loss
	1	2	3	4	5
5 Near certain	5	10	15	20	25
4 Probable	4	8	12	16	20
3 Possible	3	6	9	12	15
2 Unlikely	2	4	6	8	10
1 Remote	1	2	3	4	5