

Kalle Ståhlberg

MAANALAISEN KALLIONPORAUSLAITTEEN HUOLTAMISEEN KÄYTETTÄVÄN TYÖKALUN TUOTEKEHITYS

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Professori Asko Ellman
Yliopisto-opettaja Ilari Laine
Huhtikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Kalle Ståhlberg: Maanalaisen kallionporauslaitteen huoltamiseen käytettävän työkalun tuotekehitys
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan DI-tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2020

Tuotteiden ja prosessien jatkuva kehittäminen on keskeinen kilpailukyvyyn tekijä liiketoiminnassa. Kehitysprosessien avulla pyritään vastaamaan tarpeeseen mahdollisimman tarkasti hyödyntämällä käyttäjärajapinnasta kerättävää tietoa tuotekehityksen ohjaamisessa. Lopputuotteen laatu voidaan määrittää sen perusteella, miten hyvin sille asetetut vaatimukset pystytään toteuttamaan ja miten hyvin tuote vastaa käyttäjien odotuksiin. Yrityksen kyky hankkia ja käsitellä kaikkea saatavilla olevaa tietoa on merkittävä innovatiivisen tuotekehityksen resurssi.

Diplomityön aikana tarkasteltavana kalustona on Sandvikin hydraulinen päättäiskevä pitkäreikäporauslaite, jota käytetään erityisesti suurten maanalaisten malmioiden louhinnassa. Kaivostunneli on haastava toimintaympäristö, joka asettaa erityiset vaatimukset laitteiden käyttöön ja huoltamiseen liittyen. Raskaan kaluston huoltamiseen tarvittavat apuvälineet on pystyttävä kuljettamaan laitteiden mukana ja niiden käyttämiseen liittyvät huoltotoimenpiteet ovat usein hyvin manuaalisia.

Porakoneen niskan vaurioituminen tuotantoporaamisen aikana on tilanne, jonka seurauksena poraus keskeytyy huoltotarpeen ajaksi. Laitteisiin on varustettu niskanvaihtotyökalu, jonka avulla vaurioitunut osa voidaan vaihtaa tuotantopaikalla. Työkaluun ja sen käyttöön liittyen on kuitenkin tullut esille merkittäviä kehitystarpeita. Tämän diplomityön tavoitteena on toimintatutkimuksen avulla perehtyä niskanvaihtotyökaluun kohdistuviin kehitystarpeisiin ja selvittää mahdollisuudet huoltoprosessin kehittämiseksi uuden työkalukonseptin käyttöönoton kautta. Tutkimuksen sisältö jakautuu kolmeen suurempaan tehtäväkokonaisuuteen, joita ovat tuotteeseen liittyvän tiedon hankinta ja laadun suunnittelu, uusien vaihtoehtoisten ratkaisumenetelmien muodostaminen sekä lopuksi tuotettujen konseptivarianttien arvioiminen ja lopullisen työkalukonseptin valinta.

Tutkimuksen aikana käytettiin apuna erilaisia tiedonhankinta- ja tiedonkäsittelymenetelmiä. Tuotetiedon ja tärkeimpien laaduntekijöiden kartoittamiseen käytettiin teemahaastatteluja sekä kyselytutkimuksia, joiden avulla kerättyä tietoa käsittelemällä muodostettiin suunnitelma tuotteen laadun toteuttamiseksi tärkeimpien teknisten vaatimusten kautta. Prosessiin liittyvien turvallisuuskäsitteiden huomioiminen tehtäväkohtaisen riskianalyysin avulla oli myös keskeinen tarkastelun kohde, sillä tehtäviin liittyvää turvallisuutta pyritään jatkuvasti kehittämään uusilla tai parannetuilla riskienhallintamenetelmillä.

Uusien vaihtoehtoisten ratkaisumenetelmien tuottaminen toteutettiin intuitiivisen ongelmanratkaisun keinoin, jonka avulla pystyttiin muodostamaan useita erilaisia malleja uudesta mahdollisesta työkalusta. Ratkaisussa pystyttiin hyödyntämään hyvin monenlaisia toimintaperiaatteita, joiden kautta ongelmaa pystyttiin lähestymään erilaisista näkökulmista. Tavoitteeksi asetettiin kolmen vaihtoehtoisen työkalukonseptin valinta jatkotarkasteluun, jossa onnistuttiin prosessin aikana hyvin. Jatkotarkastelussa valittuja konseptivariantteja arvioitiin analyttisesti vertaamalla niiden arviointikriteereihin perustuvia ominaisuuksia. Valintaprosessin avulla päädyttiin tulokseen, jossa tutkimuksen ongelma pystytään ratkaisemaan kahden työkalukonseptin käyttöönoton avulla. Konseptien kautta pystytään merkittävästi tuottamaan lisäarvoa huoltoprosessin toteuttamiseen ja parantamaan sen kokonaisturvallisuutta. Projektin tuloksien perusteella syntyi kolme keksintöilmoitusta sekä kaksi patenttihakemusta valituista konseptivarianteista.

Avainsanat: tuotekehitys, innovointi, tuotetieto, konseptikehitys, intuitiivinen ongelmanratkaisu, tehtäväkohtainen riskiarviointi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Kalle Ståhlberg: Product development of a maintenance tool for an underground rock drilling rig
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
April 2020

Continuous development of products and processes is a key factor of business competitive capability. The aim of effective development process is to meet the market requirements accurately by utilizing information retrieval from end user interface. Quality of the final product can be measured by how well it satisfies the set requirements and user expectations. Company's ability to gather and manage all available information is a significant resource for innovative product development.

During this thesis the examined equipment is Sandvik hydraulic top hammer longhole drill rig which is mainly used in underground mining operations. Underground mine is challenging environment with strict demands regarding machine operability and maintainability. Maintenance tasks for the heavy equipment are often manual and have to be accomplished with tools carried on the machinery.

The shank adapter of the drill is under heavy load during production drilling. If the shank gets damaged or breaks during drilling the machine operations are forced to be ceased for the duration of maintenance. The machines are equipped with shank changing tool that allows installation of a new shank to replace the damaged component. However, a major issue has been discovered considering qualities and usability of the tool. The aim of this thesis is to conduct an action research in order to examine the challenges considering the usability of the shank changing tool and study the possibility of improvement through deployment of a new tool concept. The content of this thesis is composed of three sections which are retrieval of product information and quality planning, development of alternative concept working structures and finally evaluation of chosen solution variants and selection of the final concept for the new tool design.

A variety of different information retrieval and management methods were used during the study. A set of semi-structured interviews and surveys were conducted in order to find the most important product qualities and quality elements after which a quality plan for the product was formed based on the gathered information. To evaluate the opportunity to improve the overall safety of the maintenance process a task-based risk assessment was also an important part of the study.

The development of tool concepts was achieved through method of intuitive problem solving. A number of alternative solutions were formed that utilized several different working methods. The goal was set to be able to select three different solution variants for further examination which was achieved during the process. During the extended examination the selected solution variants were analytically evaluated based on selection criteria. According to the results of the selection process two concept variants were chosen as a conclusion for the study. It was found that the shank changing process and the overall safety of its maintenance tasks can be greatly improved through deployment of the chosen tool concepts. The project resulted in three invention notifications and two patent applications.

Keywords: product development, innovation, product information, concept development, intuitive problem solving, task-based risk assessment

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

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty yhteistyössä Sandvik Mining and Rock Technologyn kanssa Tampereen tehdastoimipisteellä Myllypurossa. Työn aiheen tarjosi Underground-divisioon, jolla oli meneillään oleva tarve työn suorittamiselle. Projekti antoi todella hyvän mahdollisuuden soveltaa omia kykyjä sekä oppia uusia tuotekehitykseen ja ongelmanratkaisuun liittyviä taitoja. Työn puitteissa pääsi työskentelemään ammattitaitoisen ja vastaanottavan henkilöstön kanssa.

Projekti oli kokonaisuudessaan onnistunut ja hyvä kokemus. Haluan kiittää koko Sandvik Mining and Rock Technologyn henkilökuntaa ja erityisesti projektiin osallistuneita tahoja, jotka olivat osaamisellaan ja avullaan keskeisen tärkeässä roolissa työn onnistumisen kannalta. Lisäksi haluan kiittää työn ohjaajia Asko Ellmania ja Sami Järventaustaa, joiden ohjeistuksella projekti eteni sujuvasti ja onnistuneesti tavoitteeseen.

Lopuksi haluan vielä kiittää perhettä ja lähimmäisiä, jotka ovat olleet mukana opintojen edetessä ja antaneet oman tukensa matkan varrella. Suurin kiitos kuuluu sinulle Pinja.

Tampereella, 20.4.2020

Kalle Ståhlberg

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Kohdeyrityksen esittely	2
1.1.1 Sandvik Tampereen tehdas	3
2. TUTKIMUSKYSYMYKSET JA -MENETELMÄT	5
2.1 Tutkimuskysymykset	5
2.2 Työn rakenne ja tutkimusmenetelmät	6
3. TAUSTATIEDOT JA ONGELMAN ASETTELU	9
3.1 Päätäiskevä pitkäreikäporauslaite DL	10
3.1.1 Louhintamenetelmät pitkäreikäporauslaitteilla	14
3.2 Ongelman asettelu	16
4. TUTKIMUSPROJEKTIN TIEDONHANKINTA	20
4.1 Tuotetiedon muodostaminen	20
4.2 Käyttäjätarpeen tunnistaminen ja QFD-menetelmä	22
4.3 Tuoteominaisuuksien tunnistaminen	24
4.4 Tuoteominaisuuksien arvontuottorakenteen tunnistaminen	28
5. KONSEPTIKEHITYS	32
5.1 Konseptien kehittäminen osaratkaisumenetelmän avulla	33
5.2 Intuitiivinen ongelmanratkaisu	35
5.2.1 Tuplatiimimenetelmä	37
5.3 Konseptikehityksen lähtötiedot	39
5.3.1 Huoltoprosessiin liittyvien riskien tunnistaminen	41
5.4 Niskanvaihtotyökalun konseptien muodostaminen	46
6. KONSEPTIVARIANTTIEN ARVIOINTI	50
6.1 Konseptivarianttien kyky vaikuttaa tunnistettujen riskien hallintaan	52
6.2 Vaihtoehtoisten työkalukonseptien vertailu	55
7. TUTKIMUSPROJEKTIN YHTEENVETO	58
7.1 Prosessiin liittyvät muut kehitysmahdollisuudet	60
LÄHTEET	61
LIITE A: HUOLTOPROSESSIN VIRTAUSMALLI	
LIITE B: LAADUN VAATIMUKSET	
LIITE C: TUOTEOMINAISUUKSIEN ERITTELY	
LIITE D: LAADUN VAATIMUSTEN PAINOTUS	
LIITE E: LAATUTALO, HOQ	
LIITE F: SMRT RISKILUOKITUSMATRIISI	
LIITE G: OMAT RISKIARVIOINTITÄULUKKO	
LIITE H: TYÖKALUKONSEPTIT	

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1.1 Ilmakuva Sandvik Tampereen tehtaasta Myllypurossa.....</i>	<i>4</i>
<i>Kuva 2.1 Toimintatutkimuksen syklit ja työn eteneminen.</i>	<i>7</i>
<i>Kuva 3.1 Sandvik DL432 pitkäreikäporauslaite.</i>	<i>11</i>
<i>Kuva 3.2 Sandvik DL421 pitkäreikäporauslaite.</i>	<i>11</i>
<i>Kuva 3.3 Syöttölaitteen rakenne ja tärkeimmät toimilaitteet.</i>	<i>12</i>
<i>Kuva 3.4 Hydraulinen päättäisikevä porakone ja poratankoon liittyvät osat.</i>	<i>13</i>
<i>Kuva 3.5 Alatasolouhintamenetelmän eteneminen (Puhakka 1997, s. 111).</i>	<i>15</i>
<i>Kuva 3.6 Viuhkamaisia porausgeometrioita eri reikäluvuilla (Brunton et al. 2010).</i>	<i>16</i>
<i>Kuva 3.7. Sandvik DL432 poraamassa yläkätistä viuhkaa.</i>	<i>18</i>
<i>Kuva 3.8 Porakoneen huuhtelupesän tilalla käytettävä PE-moduuli.</i>	<i>18</i>
<i>Kuva 3.9. PE-moduulin ja niskan irrottaminen käytössä olevan työkalun avulla.</i>	<i>19</i>
<i>Kuva 4.1 QFD-systeemin vaiheet ja niiden tavoitteet (Zandin 2001, 97.3.6.).</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 4.2 Tuoteominaisuudet toteuttavat loppukäyttäjien ja muiden sidosryhmien määrittämät lopputuotteen laadun vaatimukset.</i>	<i>27</i>
<i>Kuva 5.1 Tuplatiimimenetelmää hyödyntävän ideapalaverin läpivienti.</i>	<i>38</i>
<i>Kuva 5.2 Tehtävään liittyvän riskin muodostuminen.</i>	<i>43</i>
<i>Kuva 5.3 Osaratkaisujen uimaratakaavio.</i>	<i>47</i>
<i>Kuva 6.1 Konseptivarianttien arviointi määritettyjen arviointikriteerien perusteella.</i>	<i>51</i>
<i>Kuva 6.2 Tapahatumaketjun etenemismalli ja turvaesteiden käyttö riskienhallintamenetelmänä.</i>	<i>53</i>

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 4.1 Tuoteominaisuuksien arvontuottorakenteen tunnistamiseen käytettävän laatutalon rakenne.</i>	<i>30</i>
<i>Taulukko 5.1 Konseptien muodostaminen osaratkaisumatriisin avulla.</i>	<i>34</i>
<i>Taulukko 5.2 Riskiluokitusmatriisi (Ahola 2017).</i>	<i>44</i>
<i>Taulukko 5.3 Toimintaperiaatteiden mukaan kategorioidut konseptivariantit.</i>	<i>47</i>
<i>Taulukko 6.1 Systemaattinen konseptivarianttien välinen vertailu.</i>	<i>56</i>
<i>Taulukko 7.1 Konseptivariantin D yhteenveto.</i>	<i>58</i>
<i>Taulukko 7.2 Konseptivariantin G yhteenveto.</i>	<i>59</i>
<i>Taulukko 7.3 Konseptivariantin H1 yhteenveto.</i>	<i>59</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CE	hallittu lämpölaajeneminen (engl. controlled expansion)
DL	hydraulinen päältäiskemä pitkäreikäporauslaite (engl. longhole drilling)
HOQ	tuoteominaisuuksien arvontuoton tarkasteluun käytettävä laatutalo (engl. house of quality)
ITH	pneumaattisia porakoneita käyttävä uppoporausmenetelmä (engl. in the hole)
OMAT	käytettävyyden ja huollettavuuden analysointi tehtäväkohtaisessa riskiarvioinnissa (engl. the operability and maintainability analysis technique)
PE	porakoneen moduuli, jonka avulla osa iskuenergiasta pystytään käyttämään poratangon irrottamisen apuna (engl. power extractor)
QFD	asiakkaiden tai käyttäjien vaatimusten integroiminen tuotekehitykseen (engl. quality function deployment)
SMRT	kaivos- ja pintatyökoneiden sekä urakointiteollisuuden laitteiden tuottamisesta vastaava Sandvikin liiketoiminta-alue (engl. Sandvik Mining and Rock Technology)
<i>f</i>	tuoteominaisuuden arvontuotto-ominaisuuden yhteispistemäärä
<i>P</i>	painotuskerroin
<i>R</i>	osaratkaisuvaihtoehto
<i>V</i>	tuoteominaisuuden vaikutuksen suuruus

1. JOHDANTO

Maanalaiset kallionporauslaitteet ovat suuria järjestelmäkokonaisuuksia, joiden suunnitteluun liittyy hyvin moniosa-alaista osaamista. Raskaiden työkoneiden rakenteen keskeisinä tekijöinä ovat erilaiset mekaaniset, hydrauliset ja pneumaattiset sekä elektroniset järjestelmät, jotka vastaavat systeemin käyttöön liittyvistä toiminnoista. Laitteiden käyttökohteita ovat pääasiassa maanalaiset kaivoskohteet, jotka ovat toimintaympäristöinä hyvin haastavia ja asettavat erityiset vaatimukset laitteiden rakenteelle sekä niiden toimintaperiaatteille. Ahtaissa kaivostunneleissa laitteiden on pystyttävä toimimaan niiden tuotannollisissa tehtävissä tehokkaasti sekä hyvin riippumattomasti esimerkiksi huoltamiseen liittyvistä tukitoimista.

Toimintaympäristö asettaa vaativat turvallisuuteen liittyvät näkökulmat prosessien tehtäviin liittyen. Laitesuunnittelun aikana käyttäjäturvallisuuden asettamat vaatimukset on pystyttävä täyttämään minkä lisäksi prosessien kokonaisturvallisuutta pyritään jatkuvasti kehittämään erilaisilla toimenpiteillä. Käytettävyyteen liittyen suunnittelun yhtenä vaativana näkökulmana toimii laitteiden huollettavuus. Kovan rasituksen alaisena olevat mekaaniset rakenteet on pystyttävä pitämään toimintakuntoisina, sillä niihin kohdistuvat ylittävät huoltotarpeet johtavat usein tuotantoporaamisen keskeytymiseen joko välittömistä syistä tai välillisesti esimerkiksi turvallisuusnäkökulmien vaikutuksesta.

Huoltotoimenpiteiden suorittamiseen kaivosolosuhteissa liittyy monia haasteita. Mekaaniseen kalustoon kohdistuvan huoltotarpeen aikana joudutaan usein käsittelemään hyvin painavia osia, joiden nostaminen ja siirtäminen ei ole mahdollista ilman tarkoitukseen suunniteltuja apuvälineitä. Huoltokohteisiin pääsy voi olla myös hankalaa, sillä laitteiden ulottuvuudet yltyvät tilanteesta riippuen korkealle tai pääsy voi olla estynyt esimerkiksi muista koneen rakenteista johtuen. Ahtaassa ympäristössä ei usein pystytä käyttämään henkilönnostimia tai muita nostureita vaan huoltotoimenpiteet on pystyttävä tekemään laitteen mukana kulkevilla apuvälineillä. Näin ollen apuvälineet voivat olla pääasiassa vain hyvin kevytrakenteisia työkaluja, joiden toimintaperiaatteet ovat suurilta osin manuaalisia.

Maanalaisille kallionporauslaitteille tehtävien huoltotoimenpiteiden asetelma voi vaihdella hyvin paljon poraustilanteesta riippuen. Käytetyt louhintamenetelmät ja malmion

sijainti vaikuttavat poraussuuntaan ja siten laitteen orientaatio voi olla joka huoltotilanteessa hieman erilainen. Jotta kaluston vikaantumisen seurauksena keskeytynyttä tuotantoporaamista pystytään jatkamaan suunnitelman mukaisesti, täytyy tarvittavat huoltotoimenpiteet toteuttaa paikoillaan liikuttamatta laitetta. Työkalujen toimintaperiaatteiden tulisi mahdollistaa huoltaminen asetelmasta riippumatta, jotta niiden käyttö soveltuisi kaikkiin laitteen normaalikäytön tilanteisiin.

1.1 Kohdeyrityksen esittely

Sandvik Group on vuonna 1862 perustettu maailmanlaajuisesti toimiva korkean teknologian teollisuuskonserni. Sen päätoimintoihin kuuluu kaivos- ja urakointiteollisuuden laitteiden toimittaminen, metallin työstöön käytettävien työkalujen ja järjestelmien tuottaminen sekä korkealaatuisten erikoisoseosmateriaalien ja ruostumattoman teräksen valmistaminen. Sandvik on teknologiayritys, jonka toiminnalle keskeistä on investoiminen korkeaan laatuun ja tuotekehitykseen. Tutkimukseen ja kehitykseen yritys investoi vuositasolla noin 3 – 4 prosenttia liikevaihdostaan ja sillä on yli 60 tutkimus- ja kehityskeskusta ympäri maailmaa. (Sandvik Group)

Sandvikin organisaatio on jaettu kolmeen liiketoiminta-alueeseen, jotka vastaavat omasta tuotannostaan, tuotekehityksestään sekä myynnistään.

- Sandvik Machining Solutions valmistaa metallin työstämiseen käytettäviä työkaluja ja työkalujärjestelmiä. Uudempana lisänä liiketoiminta-alueeseen on tullut materiaalia lisäävä valmistus, jonka yksi uusista merkittävistä innovaatioista on 3D-tulostettu timanttikomposiitti.
- Sandvik Mining and Rock Technology vastaa kiven louhintaan käytettävien kaivos- ja pintatyökoneiden sekä urakointiteollisuuden laitteiden tuottamisesta. Kaivosalalla keskeisenä tutkimuksen ja kehityksen kohteena on ollut erityisesti älykkäiden automaattoratkaisujen kehittäminen, joilla parannetaan merkittävästi turvallisuutta ja mahdollistetaan laitteiden kattava etäoperointi. Lisäksi vaihtoehtoiset energianlähteet ovat tuoneet markkinoille esimerkiksi kokonaan sähköllä toimivia työkoneita, joilla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä etenkin maan alla louhittaessa.
- Sandvik Materials Technology valmistaa korkealaatuisia materiaaleja vaativiin teollisuuden kohteisiin. Ruostumattomasta teräksestä valmistettavia tuotteita ovat muun muassa erilaiset aihiot, pyöröteräkset ja ainesputket, putkiston osat kuten putket ja laipat, sekä levy-, kela- ja nauhatyypiset tuotteet. Vaativampiin kohteisiin meneviä tuotteita ovat erilaiset CE-metalliseostuotteet (engl. controlled

expansion), joiden käyttökohteita ovat esimerkiksi elektroniikkatuotteet. CE-metalliseoksen keskeinen ominaisuus on hallittu lämpölaajeneminen. Liiketoimintaluokkaan kuuluu myös tuotteet teolliseen lämmitykseen ja lämpökäsittelyyn. (Sandvik Group)

Kokonaisuudessaan Sandvik Group työllistää noin 40 000 henkilöä ympäri maailmaa ja sillä on toimintaa yli 130 eri maassa. Vuonna 2019 konsernin liikevaihto oli hieman yli 103 miljardia Ruotsin kruunua. Liiketoimintaluokista suurimpia ovat Sandvik Mining and Rock Technology sekä Sandvik Machining Solutions, jotka tuottavat yhdessä noin 80 prosenttia konsernin liikevaihdosta. (Sandvik Mining and Rock Technology; Sandvik Annual Report 2019)

Suomessa Sandvikin tehdastoimintaa on Tampereella, Turussa sekä Lahdessa. Kiven louhinnassa käytettävien porauslaitteiden suunnittelu ja valmistus tehdään Tampereella. Turussa sijaitsevassa tehtaassa valmistetaan vastaavasti lastaukseen käytettäviä laitteita sekä dumppereita. Sandvik toimittaa myös kivimateriaalin prosessoimiseen käytettäviä murskaimia ja hydraulisia iskuvasaroita, joita valmistetaan Lahden tehdastoimipisteessä. Suomessa valmistetusta Sandvikin tuotannosta vientiin menee jopa yli 95 prosenttia. (Sinervä 2018)

1.1.1 Sandvik Tampereen tehdas

Tampereella sijaitseva Sandvikin tehdas valmistaa kiven louhintaan tarkoitettuja porauslaitteita ja niiden varaosia. Porauslaitteita suunnitellaan ja valmistetaan maanpäällisiin avolouhoksiin sekä maanalaisiin kaivoskohteisiin. Tehdas työllistää yli tuhat työntekijää erilaisiin suunnittelun, kokoonpanon, huollon sekä markkinoinnin tehtäviin. Tampereella kaivosteollisuus toimi aluksi Tampella-konsernin kaivosyhtiön nimellä Tamrock Oy. Toiminta alkoi, kun Tampella Oy alkoi suunnitella ja valmistaa varaosia suomen kaivosteollisuudessa käytettyihin paineilmaporakoneisiin. Liiketoiminnan kasvaessa paineilmaporakoneosasto irrotettiin itsenäiseksi divisioonaksi vuonna 1969, joka sai nimen Tampella-Tamrock. Kuvassa 1.1 esitetty nykyinen Sandvikin Tampereen tehdas sijaitsee Myllypurrossa, jonne rakennettiin ensimmäiset tehdasrakennukset pian Tamrockin perustamisen jälkeen vuosina 1971-1972. Tehdasaluetta on sittemmin laajennettu useasti 1990-luvulle asti. Vuonna 1997 Sandvik hankki koko Tamrockin osakekannan, ja Myllypuron tehdas siirtyi osaksi Sandvik-konsernia. Kauppaan kuuluivat myös Turun ja Lahden toimipisteet sekä tuotanto. (Seppänen 2014)



Kuva 1.1 Ilmakuva Sandvik Tampereen tehtaasta Myllypurossa.

Myllypuron tehtaan tuotanto vastaa jopa 60 prosenttia koko Sandvikin maanalaisten laitteiden tuotannosta. Se on toimittanut yli 20 000 poralaitetta ympäri maailmaa ja on hyvin merkittävä osa Sandvik-konsernin toimintaa. Tehdasalue tarjoaa erinomaiset testausmahdollisuudet, sillä siihen kuuluu mittava yli 40 metrin syvyyteen laskeutuva testikaivos. Kaivoksessa laitteita päästään testaamaan todellisessa käyttöympäristössä. Tampereen tehdas on poralaitteiden tuotekehityksen keskiössä, jonka toimintamahdollisuuksia parannetaan entisestään muun muassa 2019 valmistuvalla uudella innovaatiokeskuksella. (Sinervä 2018)

2. TUTKIMUSKYSYMYKSET JA -MENETELMÄT

Sandvikin hydrauliset päältäiskevät pitkäreikäporauslaitteet ovat tyypillisiä maanalaiseen kallionporaamiseen ja louhintaan suunniteltuja työkoneita. Laitteissa käytettävät porakoneet hyödyntävät iskuporausmenetelmää, jonka aikana energia siirtyy porakan- gen ja siihen liittyvien osien kautta kiveen. Menetelmästä johtuen porakankeen liittyvät osat ovat hyvin suuren mekaanisen kuormituksen alaisena koko tuotantoporaamisen ajan. Porakoneen niska toimii liitoskappaleena poran ja porakan- gen välissä. Sen vaurioituminen johtaa tilanteeseen, jossa laite täytyy pystyä huoltamaan ennen tuotantoporaamisen jatkamista. Niskan vaihtaminen tapahtuu irrottamalla porakoneen päässä oleva huuhtelupesä tai PE-moduuli (engl. power extractor), jonka takaa niska päästään vaihtamaan. Painavien PE-moduulien irrottamista varten on olemassa tarkoitukseen suunniteltu työkalu, joka kulkee laitteen mukana. Niskanvaihtotyökalun ominaisuuksiin ja käytettävyyteen liittyen on kuitenkin tullut esille kehitystarpeita.

Tämän diplomityön tavoitteena on toteuttaa toimintatutkimus, jonka aikana selvitetään porakoneen niskanvaihtoon liittyviä haasteita sekä tutkitaan mahdollisuutta prosessin kehittämiseksi uudenlaisen työkalukonseptin käyttöönoton kautta. Konseptikehityksen avulla pyritään tuottamaan parempi ratkaisu niskanvaihtotyökalusta, jotta huolto- prosessin toteuttamisesta tulisi helpompaa ja turvallisempaa haastavissa olosuhteissa. Vaihto- ehtoisia työkalukonsepteja voidaan kehitysprojektin aikana tuottaa useita, joiden ominai- suuksia ja toimintaperiaatteita vertailemalla pyritään löytämään parhaiten käyttötarkoi- tukseen soveltuva ratkaisu.

Käyttötarkoitukseen soveltuvan työkalun edellytyksenä on, että sen avulla pystytään vaihtamaan porakoneen niska kaikissa laitteen normaalikäyttöön kuuluvissa tilanteissa. Turvallisuusnäkökulmien tarkastelun avulla pyritään lisäksi selvittämään, kuinka hyvin uuden työkalukonseptin käyttöönotolla pystytään kehittämään prosessin kokonaisturval- lisuutta. Huolto- prosessin riskeihin liittyvässä arvioinnissa käytetään apuna Sandvikin määrittämää SMRT-turvallisuusstandardia (engl. Sandvik Mining and Rock Technology).

2.1 Tutkimuskysymykset

Toimintatutkimuksen tavoitteena hankkia ja käyttää tutkimustietoa käytännön ongelman ratkaisemiseen (Tiainen et al. 2015). Tarkasteltava ongelma voidaan kiteyttää tutkimus- kysymyksiksi seuraavalla tavalla:

- Voidaanko niskanvaihtoprosessiin liittyviä haasteita parantaa ottamalla käyttöön uudenlainen työkalu?
- Minkälaisella työkalulla prosessia voidaan kehittää helpommaksi ja turvallisemmaksi?
- Minkälaisella työkalulla pystytään vastaamaan kaikkien työkaluun liittyvien sidosryhmien odotuksiin ja tarpeeseen?

Kysymyksiin pyritään löytämään vastauksia tutkimuksen aikana käyttämällä erilaisia menetelmiä tiedonhankintaan ja mahdollisten uusien työkalukonseptien tuottamiseen.

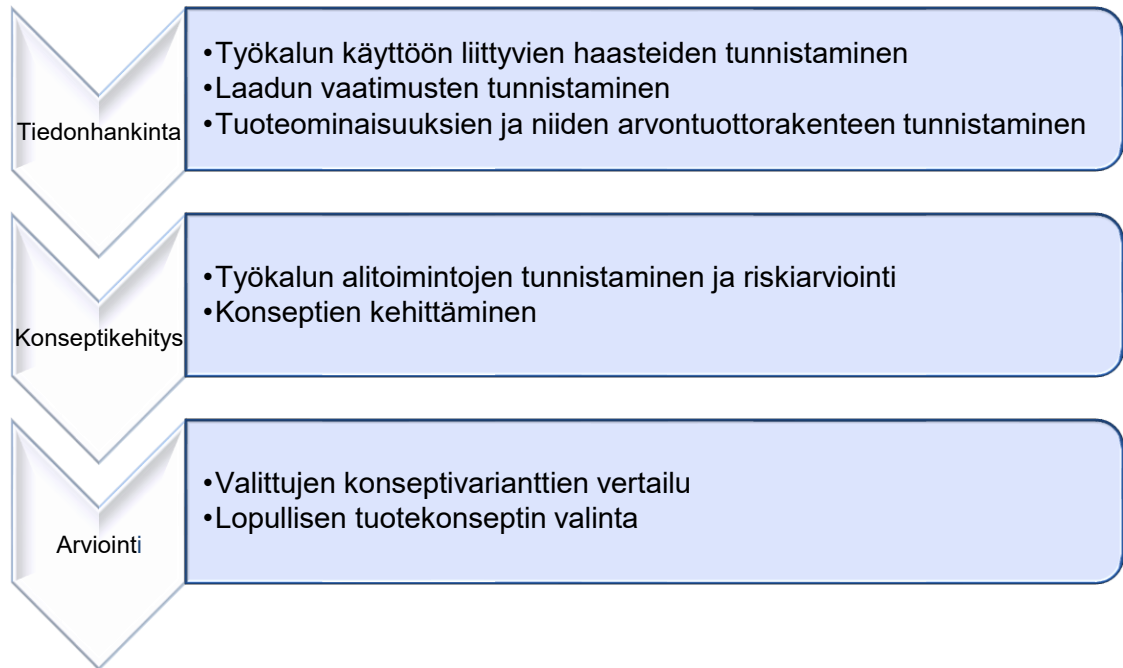
2.2 Työn rakenne ja tutkimusmenetelmät

Uuden konseptin kehittäminen on hyvin intensiiviseen tiedon hankintaan ja tuotetiedon muodostamiseen nojautuva prosessi. Ennen varsinaista työkalun suunnittelua täytyy olla selkeä käsitys tuotteelle halutuista ominaisuuksista ja sille asetetuista laatuodotuksista. Lisäksi täytyy ymmärtää tuotteen käyttöympäristön asettamat vaatimukset, eli minkälaisissa olosuhteissa tuotetta tullaan käyttämään ja miten sen tulisi suoriutua sille annetuista tehtävistä. Kehitystarpeen kohdistuessa käytössä olevaan työkaluun on oleellista selvittää keskeisimmät haasteet, jotka ovat tulleet ilmi sen käytön aikana. Kehitysprojektin tavoitteena on onnistua löytämään ratkaisu uudesta työkalusta, joka parhaalla mahdollisella tavalla tuottaa lisäarvoa sen loppukäyttäjälle.

Toimintatutkimuksen eteneminen tapahtuu syklisesti, jossa jokaisen vaiheen aikana on tavoitteena ratkaista jokin kehitysprojektiin liittyvä ongelma (Tiainen et al. 2015). Työn sisältö jakautuu kolmeen suurempaan tehtäväkokonaisuuteen, joita ovat tuotteeseen liittyvän tiedon hankinta, konseptikehitys sekä muodostettujen ratkaisuvaihtoehtojen vertailu ja lopullisen työkalukonseptin valinta. Tutkimuksen ja kehitysprojektin eteneminen on esitetty kuvassa 2.1. Kirjallisuudessa esitetyt suunnittelu- ja tuotekehitysprojektit vaihtelevat tehtävävirtauksen ja päätavoitteiden osalta hieman, mutta niiden sisältö ja arvovirta noudattavat pääasiassa samaa ohjenuoraa (Ahmad et al. 2018; Gagnon et al. 2012; Pahl et al. 2007, s. 160).

Tiedonhankintavaiheen tavoitteena on selvittää lopputuotteen laatuun vaikuttavat tekijät. Tuotteeseen liittyvän tiedon hankinta on konseptikehityksen tärkein vaihe, sillä koko muu prosessi nojaa sen aikana hankittuun ja muodostettuun suunnittelua ohjaavaan tuotetietoon. Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena on saada kokonaiskäsitys nykytilanteesta. Tarkoituksena on tutustua käytössä olevaan työkaluun ja miten niskanvaihtoprosessi etenee vian ilmetessä. Lisäksi selvitetään tärkeimmät syyt uuden työkalun kehittämisen

tarpeelle. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa käytetään hyväksi teemahaastatteluja, joiden avulla pyritään kartoittamaan käyttäjäkokemusten sisältämä tieto heti projektin alussa. Haastatteluilla pyritään tavoittamaan mahdollisimman lähellä niskanvaihtotehtävää työskentelevät toimihenkilöt, jotka pystyvät osoittamaan työkalun käyttöön liittyvät kriittiset ongelmakohdat. Vastaavalla menetelmällä selvitetään myös muiden sidosryhmien kuten laitesuunnittelun ja laitetuon näkemykset työkalun puutteista ja oleellisimmista kehitystarpeista.



Kuva 2.1 Toimintatutkimuksen syklit ja työn eteneminen.

Teemahaastatteluiden avulla tehdyn kartoituksen jälkeen tehtävänä on jäsentää kerätty tieto oleelliseksi suunnittelua ohjaavaksi tuotetiedoksi. Tuotetiedon muodostamisen tavoitteena on selvittää millaisilla ominaisuuksilla vaikutetaan lopputuotteen laadun muodostumiseen. Lisäksi halutaan selvittää tuoteominaisuuksien arvontuottorakenne. Arvontuottorakenteella tarkoitetaan vertailukelpoista tulosta siitä, mitkä ominaisuuksista tuottavat eniten arvoa lopputuotteessa. Arvontuottorakenteen tunnistamisessa käytetään apuna ohjattuja kyselytutkimuksia, jotka teetetään samoissa kohderyhmissä kuin teemahaastatteluiden tiedonhankinta. Kyselyiden tarkoituksena on selvittää, mitkä lopputuotteen laatuun vaikuttavista tekijöistä ovat kaikkein tärkeimpiä ja vaikuttavat näin ollen eniten lopputuotteen laadun muodostumiseen.

Tutkimuksen toinen vaihe on konseptikehitys, jonka aikana muodostetaan konkreettisia ratkaisuvaihtoehtoja uudesta työkalusta. Suunnittelua pyritään ohjaamaan tiedonhankin-

tavaiheen aikana kerätyn tuotetiedon avulla, mikä mahdollistaa tunnistettujen laaduntekijöiden johtamisen muodostettaviin konseptimalleihin. Innovatiivisen tuotekehityksen mahdollistamiseksi suunnittelu pyritään irrottamaan käytössä olevan tuotteen toimintaperiaatteista, jolloin on mahdollista löytää erilaisia tapoja kyseessä olevan ongelman ratkaisemiseksi. Konseptikehitys toteutetaan intuitiivisen ongelmanratkaisun keinoin, jonka apuna käytetään tuplatiimi-ideapalaveria ja osaratkaisumenetelmää. Tarkoituksena on tunnistaa työkalun käytön kannalta välttämättömät alitoiminnot, joiden toteuttamiseksi kehitetään osaratkaisuja yksilö- ja ryhmätyöskentelyn keinoin. Ideoinnin kautta voidaan muodostaa useita vaihtoehtoisia työkalukonsepteja, joista valitaan parhaat ratkaisut jatkotarkasteluun. Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa parhaiksi valittuja konseptivaihtoehtoja arvioidaan keskenään käyttäen hyväksi erilaisia vertailumenetelmiä. Suunnittelun arvioinnin tavoitteena on tarkastella, kuinka työkalukonseptit täyttävät niille asetetut laatuodotukset ja miten ne vastaavat käytössä olevaan työkaluun kohdistuneisiin kehitystarpeisiin.

Konseptien arviointiin vaikuttaa keskeisesti myös prosessiin liittyvät turvallisuusnäkökulmat. Niskanvaihtoprosessista pyritään tehtäväkohtaisen riskiarviointimenetelmän avulla tunnistamaan kriittisimmät tehtävät ja niihin liittyvät riskit, jotka määrittävät prosessin kokonaisturvallisuuden. Arvioinnissa käytetään apuna Sandvikin hyväksymää riskiluokitusmatriisia sekä OMAT-analysointimenetelmää (engl. the operability and maintainability analysis technique).

3. TAUSTATIEDOT JA ONGELMAN ASETTELU

Suomessa Sandvikin maanalaisten poralaitteiden tuotannosta vastaa Myllypuron tehdas Tampereella. Tehtaalla valmistetaan useita laitetyyppejä erilaisiin tehtäviin maanalaisessa louhinnassa. Tyypillisiä louhinnassa käytettäviä porauslaitteita ovat pitkäreikäporauslaitteet joita saa päättäiskevillä porakoneilla tai uppovasaroilla, sekä peränporauslaitteet eli kaivosjumbot joiden avulla louhitaan maanalaisia tunnelinperiä. Muita maanalaisessa kaivostoiminnassa käytettyjä porauslaitteita ovat esimerkiksi kaivostunnelin lujitukseen käytettävät pultituslaitteet sekä tunnelien louhinnassa käytettävät tunnelijumbot.

Porauslaitteiden käyttökohteita ovat erilaiset louhokset joita voi tyypillisesti olla kahdenlaisia. Maanpäällä louhittaessa puhutaan avolouhoksista joissa malmikiveä louhitaan maan pintakerroksesta käsin alaspäin. Jos malmiot sijaitsevat syvällä maanpinnan alapuolella, louhinta tehdään vastaavasti maanalaisissa kaivostunneleissa. Avolouhoksista poiketen kaivostoiminnan aloittaminen on hyvin pitkä prosessi. Jotta malmioiden louhiminen voidaan toteuttaa maanalla, täytyy niiden ympärille kehittää tunneliverkosto ja louhitun malmikiven prosessoimiseen ja kuljettamiseen tarkoitetut järjestelmät. Tunneliverkoston kehittämiseen kuuluu myös muun muassa ilmanvaihtojärjestelmien ja sähköverkkojen rakentaminen tuotantojärjestelmän tueksi. Koko tunneliverkoston kehittäminen on pitkä ja hyvin kallis prosessi. Kehittämisen vaatimat kustannukset vastaavat louhintamenetelmästä riippuen tyypillisesti 30 – 40 prosenttia koko kaivoksen arvioidusta tuottavuudesta. Louhintamenetelmissä joissa vaaditaan hyvin mittavan tunnelijärjestelmän kehittämistä, arvioidut kustannukset voivat kuitenkin nousta jopa 60 prosentin tasolle. (Puhakka 1997, s. 98 – 100) Ajallisen ja kustannuksellisen kannattavuuden parantamiseksi tuotantojärjestelmään louhittavat tunnelinperät tehdään mahdollisimman pieniksi, jotta kehittämisestä aiheutuvaa hukkakiven louhintaa voidaan vähentää. Tuottava kaivostoiminta pyritään aloittamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa joten tunneliverkoston kehittäminen jatkuu usein vielä malmion louhinnan alettua.

Koska tunneliverkoston kehittämiseen tarvittavaa hukkakiven louhintaa halutaan vähentää mahdollisimman paljon, maanalaisessa tuotannossa käytettävät laitteet täytyy suunnitella toimimaan hyvin ahtaassa toimintaympäristössä. Malmikiven louhimisen ja kuljettamisen lisäksi ahdas toimintaympäristö aiheuttaa haasteita erilaisille poraamisen tukitoimille kuten laitteiden huoltamiselle. Raskaiden työkonoiden huoltamista helpottavan kaluston kuten nostotyökalujen saatavuus ja käyttömahdollisuudet kaivoksessa ovat hy-

vin rajallisia ja usein huoltoon liittyvät toimenpiteet täytyy pystyä tekemään pienillä resursseilla. Huoltotarpeen vähentämiseksi hankalassa toimintaympäristössä suurin osa laiterikkoihin johtavista tilanteista pyritään välttämään raskaan kulutuksen alla olevien komponenttien ylläpitohuollon avulla. Mikäli tuotantoporausken aikana syntyy odottamattomia huoltotarpeita, täytyy ne pystyä toteuttamaan kaluston mukana kulkevien apuvälineiden avulla joiden toimintaperiaatteet mahdollistavat huollon toteuttamisen koneen ja tunnelin seinämien väliin jäävässä ahtaassa tilassa.

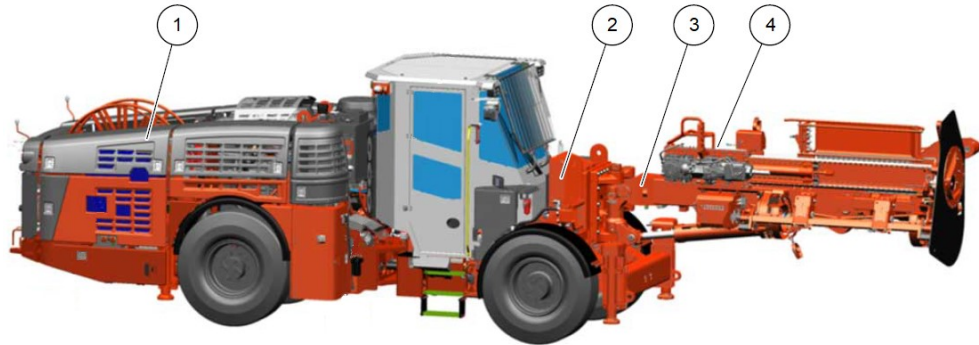
Tässä luvussa esitellään tarkastelun kohteena oleva Sandvikin hydraulinen päältäiskevä pitkäreikäporauslaite ja miten sitä käytetään maanalaisessa louhinnassa. Lisäksi tutustutaan diplomityön tutkimuksen ongelmana olevaan niskanvaihtoprosessiin ja siihen liittyviin haasteisiin.

3.1 Päältäiskevä pitkäreikäporauslaite DL

Hydrauliset päältäiskevät pitkäreikäporauslaitteet eli DL-laitteet (engl. longhole drilling) ovat yleisiä kaivostoiminnassa käytettyjä tuotantolaitteita, joita käytetään pääasiassa suurten maanalaisten malmioiden louhinnassa (Sandvik Mining and Rock Technology). Louhintamenetelmille joissa käytetään pitkäreikäporauslaitteita on tyypillistä, että niissä porataan useammalla kuin vain yhdellä poratangolla (Puhakka 1997, s. 60). Sandvikin hydrauliset päältäiskevät poralaitteet on suunniteltu poraamaan jopa yli 50 metriä pitkiä reikiä maan alla, missä tunnelin koko rajoittaa merkittävästi kaluston sallittua pituutta (Sandvik Mining and Rock Technology). Pitkäreikäporausmenetelmä mahdollistaa kuitenkin vielä huomattavasti pidempien reikien poraamisen. Uppovasaralla varustetut pitkäreikäporauslaitteet pystyvät poraamaan reikiä, joiden pituus voi olla jopa 200 – 300 metriä. Tuotantoporaaminen vaatii laitteistolta kuitenkin todella suurta tarkkuutta, jos louhinnassa käytettävät reiän pituudet kasvavat suuriksi (Puhakka 1997, s. 63 – 64, 107).

Sandvikin pitkäreikäporauslaitteet ovat rakenteeltaan modulaarisia. Niiden kantava rakenne koostuu etu- ja takarungosta, puomista sekä syöttölaitteesta. Laitteiden ominaisuuksia ja kapasiteettia voidaan myös hallita valitsemalla rakenteeseen eri toimilaittevariantteja. Suurin osa toimilaitteista kuten voimantuottoyksiköt, voimanvälitys, pumput, kompressorit sekä letkuketat sijaitsevat laitteen takarungossa. Laitteen ajovoimantuottoon käytetään joko dieselmoottoria tai uudemmissa vaihtoehtoisissa variaatioissa sähkömoottoria ja akkupakettia. Poraamiseen käytettävä energia saadaan kaivoksen sähköverkosta, jonka avulla ajetaan hydrauliseen voimantuottoon tarkoitettuja pumppuja. Kaivosverkkoa käytetään porausvoiman tuottoon myös täyssähköisissä porauslaitteissa, sillä niiden akkukapasiteetti on suunniteltu tukemaan ainoastaan ajovoimantuottoa ja

muita koneen käyttöön liittyviä toimintoja. Sandvikin hydraulisten päältäiskevien poralaitteiden rakenne on esitetty kuvissa 3.1 ja 3.2. Kuviin on numeroitu laitteiden kantavan moduulirakenteen osat seuraavalla tavalla: 1. takarunko; 2. eturunko; 3. puomi; 4. syöttölaite.



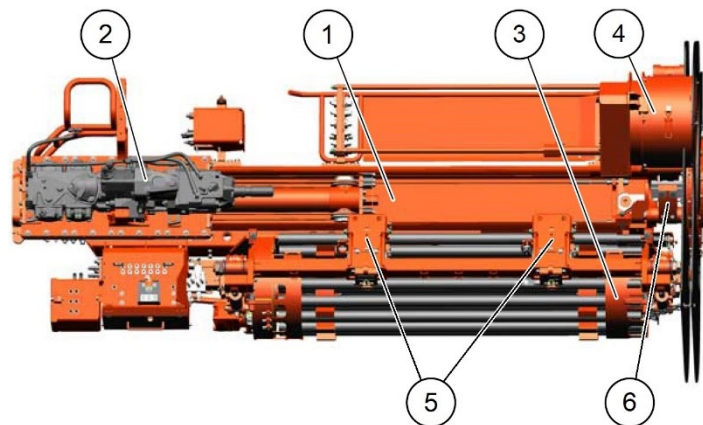
Kuva 3.1 Sandvik DL432 pitkäreikäporauslaite.

Laitteet ovat runko-ohjattuja ja niiden etu- ja takarunko kiinnittyvät toisiinsa runko-ohjausnivelessä. Eturunkoon ei ole sijoitettu venttiilipakettien lisäksi muita toimilaitteita, mutta siinä on asennusrajapinnat laitteen ohjaamolle ja syöttölaitetta kannattelevalle puomille. Laitteiden eturunkojen rakenteissa voi olla joitain eroja riippuen siitä, millaista puomityyppiä niissä käytetään. Pitkäreikäporauslaitteita on saatavilla kolmella eri puomityypillä. Ykköstyyppin puomi on klassinen lyhyt kääntönivel, jonka avulla syöttölaitetta voidaan kallistaa sekä pyörittää 360 astetta. Sen ulottuvuus on kuitenkin hyvin lyhyt verrattuna muihin puomityyppeihin. Kakkostyyppin puomi on hevosenkengän mallinen kuvassa 3.2 esitetty rakenne ja kolmostyyppi suora teleskooppipalkki, joka on esitetty kuvassa 3.1. (Maintenance Manual DL421-C; Maintenance Manual DL432i)



Kuva 3.2 Sandvik DL421 pitkäreikäporauslaite.

Puomin tehtävä on kannatella ja liikuttaa syöttölaitetta haluttuihin porausasentoihin. Syöttölaite on moduuli, johon on sijoitettu kaikki poraukseen tarkoitetut toimilaitteet. Sen kuvassa 3.3 esitetty rakenne koostuu kuvaan numerolla yksi merkatusta runkopalkista tai syöttöpalkista, sekä porauksen toimilaitteista joita ovat: 2. porakone; 3. kasetti; 4. kruununvaihtaja. Syöttölaitteen tärkein toimilaite on porakone. Se on asennettu porakelkkaan, joka liikkuu palkin suunnassa hydraulisen syöttövoiman avulla painaen poratankoa ja tangon päässä olevaa kruunua kallion seinämää vasten porauksen aikana. Syöttöpalkin kylkeen asennettu kasetti kuljettaa porauksessa käytettäviä poratankoja. Poratangot voidaan liittää yhdeksi pitkäksi poratankoketjuksi päittäisten kierreliitoksien avulla, jolloin pitkien reikien poraaminen on mahdollista usean kasettiin ladatun lyhyemmän tangon avulla. Tankojen liikuttaminen kasetin ja syöttöpalkin välillä toteutetaan kahden kaksitoimisen kouran avulla, jotka on merkattu kuvaan numerolla viisi. Kourien kaksi toimintoa ovat pitkä liike joka siirtää tankoa kasetin ja syöttöpalkin välillä, sekä lyhyt kääntö jonka avulla poratangot asetetaan paikoilleen. (Maintenance Manual DL421-C; Maintenance Manual DL432i)



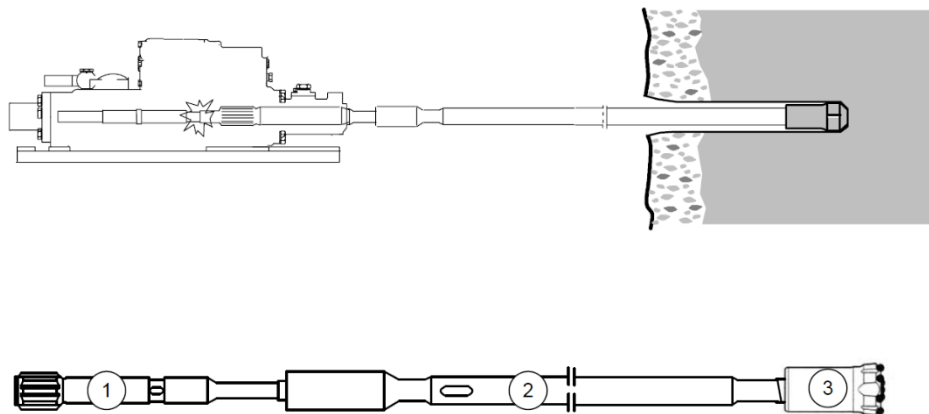
Kuva 3.3 Syöttölaitteen rakenne ja tärkeimmät toimilaitteet.

Poratankojen lisääminen ketjuun on automatisoitu toiminto. Kun yksi tanko on porattu kiveen, toiminto irrottaa porakoneen ja tangon kierreliitoksen ja ajaa porakelkan takaisin lähtöasentoon. Kasetissa olevat kourat ottavat seuraavan tangon ja siirtävät sen syöttöpalkkiin porakoneen ja poratun tangon väliin. Kun kierreliitokset porakoneen ja tankojen välillä on kiinnitetty, voidaan reikää porata syvemmäksi uuden tangon verran ja näin sykli alkaa alusta. Jotta kiveen porattu tanko pysyy paikoillaan porakoneen irrottamisen aikana, on syöttöpalkin päähän sijoitettu tangon lukitsemista varten yksittäinen pitokoura. Pito on merkattu kuvaan 3.3 numerolla kuusi.

Sandvikin pitkäreikäporauslaitteita on saatavilla kahdella erilaisella porausmenetelmällä. Uppoporauksessa käytettävät ITH-porauslaitteet (engl. in the hole) on varustettu

pneumaattisilla uppovasaroilla. Niiden poraussyvyys on hyvin pitkä verrattuna hydraulisiin päättäiskeviin porakoneisiin. Lisäksi uppovasaroissa on hyvä poraustarkkuus, sillä ITH-laitteissa pora sijaitsee porausreiässä. Uppovasaralla tehty poraus ei kuitenkaan ole kovin nopeaa ja laitteet soveltuvat paremmin pehmeämmän kiven poraamiseen. Hydrauliset päättäiskevät porakoneet soveltuvat paremmin kovan kiviaineksen poraamiseen, sillä ne pystyvät paremmin välittämään porakoneen iskuenergian haluttuun kohteeseen (Roinisto 1986, s. 161). Toisin kuin ITH-porauslaitteissa, päättäiskevissä porauslaitteissa porakone sijaitsee kuvan 3.3 mukaisesti tangon yläpäässä.

Hydrauliset porakoneet ilmestyivät markkinoille ensimmäisen kerran 1970-luvun alussa. Niiden avulla pystyttiin merkittävästi parantamaan porauksen tehokkuutta. Pneumaattisiin ITH-porakoneisiin verrattuna hydrauliset laitteet paransivat tehokkuuden lisäksi myös luotettavuutta, hyötysuhdetta sekä työympäristön olosuhteita. (Puhakka 1997, s. 39 – 42) Hydraulisesti toimivien päättäiskevien porakoneiden sisällä on liikkuva mäntä joka iskeytyy porakoneen niskaa vasten jopa 2000 – 4500 kertaa minuutissa (Heiniö 1999, s. 64) Niska on porakoneen päässä oleva lyhyt tanko joka kulkee huuhtelupesän kautta ulos porakoneesta ja kiinnittyy kierreliitoksella poratankoon. Hydraulimännän iskuenergia siirtyy porauksen aikana niskan kautta poratankoon ja sitä pitkin edelleen tangon päässä olevan kruunun kautta kiveen. Kuvassa 3.4 on esitetty malli hydraulisesta päättäiskevästä porakoneesta ja poratankon osista. Kuvaan on numeroitu poratankoon liittyvät osat seuraavalla tavalla: 1. niska; 2. poratanko; 3. kruunu.



Kuva 3.4 Hydraulinen päättäiskevä porakone ja poratankoon liittyvät osat.

Oikeanlaisen porakoneen ja porausmenetelmän valitseminen kohteeseen riippuu halutusta reikäkoosta sekä porattavan kiviaineksen kovuudesta. Päättäiskevä poraus on hyvä valinta tilanteisiin joissa reikäkoot ovat alle 150 millimetriä ja porattava kiviaines on

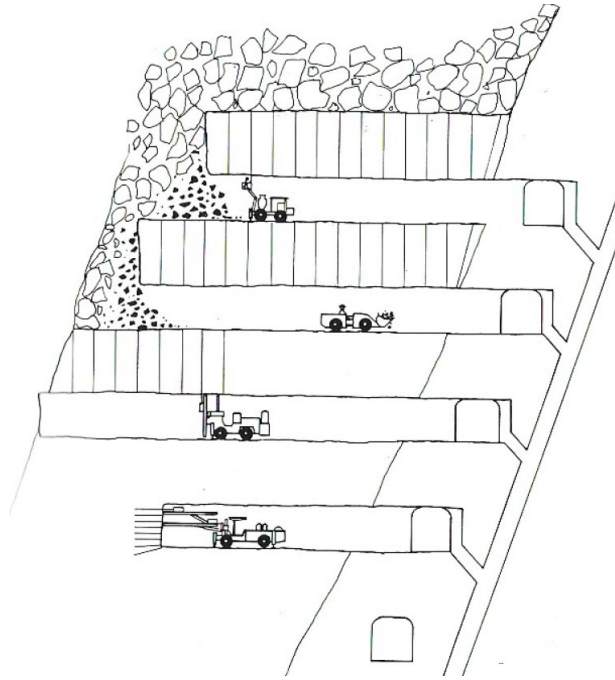
kovaa (Puhakka 1999, s. 141). Poraushalkaisijan muuttaminen ei välttämättä vaadi erikokoisen porakoneen vaihtamista laitteeseen, sillä tangon halkaisija voidaan sovittaa vaihtamalla porakoneen niska eri kokoiseksi. Suuremmilla poraushalkaisijoilla voidaan kuitenkin tarvita isompi porakonevariantti riittävän poraustehon takaamiseksi.

3.1.1 Louhintamenetelmät pitkäreikäporauslaitteilla

Pitkäreikäporauslaitteet ovat paljon käytettyjä tuotantolaitteita kaivostoiminnan erilaisissa louhintamenetelmissä. Louhinnan tavoitteena on irrottaa haluttu malmikivi tai mineraali kalliosta tyypillisesti räjäyttämällä. Räjäytystä varten malmioon porataan reikiä käytettävälle louhintamenetelmälle tyypillisen suunnitelman mukaisesti. Onnistuneen porausgeometrian ja räjäytyksen avulla malmio irtoaa ympäröivästä kalliosta rikkoutuneena malmikivenä, joka voidaan lastata ja kuljettaa ulos kaivoksesta jatkojalostusta varten (Puhakka 1997, s. 66, 76 – 77; Brunton et al. 2010). Tuotantoporaamisen aloittamista edeltää kaivoksen kehittämisvaihe, jonka aikana malmioon ja sen ympärille louhitaan tunneliverkosto sekä rakennetaan tarvittavat sähkö- ja ilmanvaihtojärjestelmät.

Kaivoksen suunnittelun lähtökohtana on louhittavan malmion koko ja sijainti. Suurteen maanalaisten malmioiden louhinnassa käytetään usein pitkäreikäporauslaitteita ja niitä hyödyntäviä louhintamenetelmiä, sillä menetelmät ovat tuotannolliselta kapasiteetiltaan hyvin tehokkaita. Pitkäreikäporauslaitteita hyödyntäviä menetelmiä ovat muun muassa pengerryslouhinta, alatasolouhinta ja suurten avonaisten maanalaisten louhosten sorruttaminen, joissa rikkoutunut malmikivi sortuu alaspäin lastaustasolle. (Puhakka 1997, s. 98 – 124; Brunton et al. 2010) Rikkoutunutta malmikiveä lastataan räjäytettävän malmion alle louhittujen tunnelinperien kautta, joista malmikivi viedään murskattavaksi ja kuljetettavaksi ulos kaivoksesta. Ominaista pitkäreikäporausta hyödyntäville massatuottaville louhintamenetelmille on, että malmikiveä porataan ja räjäytetään lastausalueena toimivan tunnelinperän yläpuolelta.

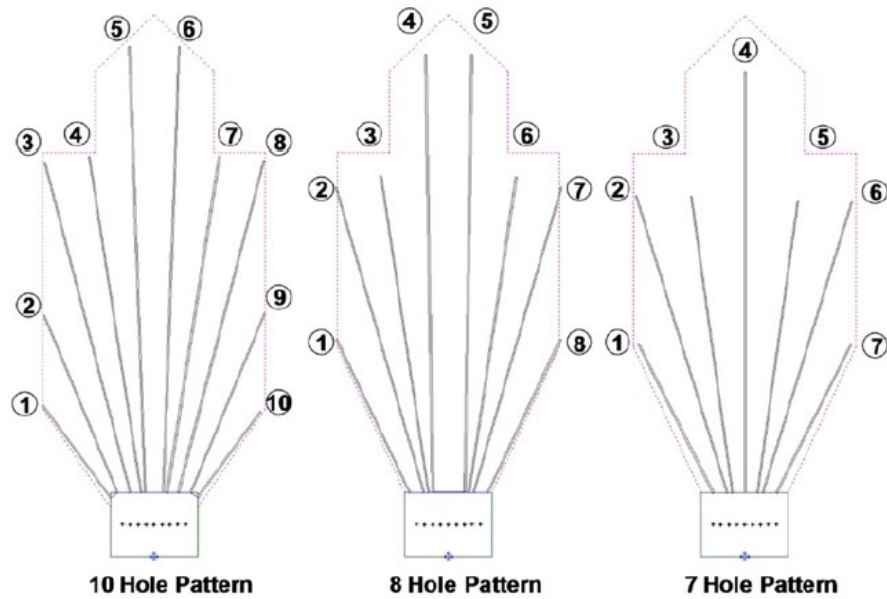
Alatasolouhinta on yksi pitkäreikäporausta hyödyntävistä louhintamenetelmistä. Menetelmää varten syviin pystysuoriin malmioihin louhitaan päällekkäisiä tunnelinperiä, jotka ovat halutusta porauspituudesta riippuen tyypillisesti 8 – 10 metrin etäisyydellä toisistaan (Puhakka 1997, s. 111 – 113). Päällekkäisten tunnelinperien väliin jäävä malmio louhitaan poraamalla panostettavia yhdensuuntaisia tai viuhkamaisia reikiä ylöspäin alemman tunnelinperän tasolta. Räjäytyksestä rikkoutuva malmikivi sortuu alatasolle, josta se lastataan ja kuljetetaan jatkojalostukseen. Yhden osion louhinnan jälkeen siirrytään alaspäin seuraavan tunnelinperän tasolle, josta jälleen porataan räjäytettävät reiät ylöspäin kohti edellisen räjäytyksen lastaustasoa. Näin koko malmio louhitaan osissa ylhäältä alaspäin. Alatasolouhinnan etenemistä on havainnollistettu kuvassa 3.5.



Kuva 3.5 Alatasolouhintamenetelmän eteneminen (Puhakka 1997, s. 111).

Suuremman mittakaavan alatasolouhoksissa joissa tuotannollista tehokkuutta halutaan kasvattaa, tunnelinperät voivat olla jopa 30 metrin etäisyydellä toisistaan korkeussuunnassa (Puhakka 1997, s. 115; Brunton et al. 2010). Pitkillä porauspituuksilla vähennetään hukkakiveen louhittavien tunnelinperien määrää, mikä parantaa kaivoksen tuottavuuden hyötysuhdetta. Pystysuoria malmioita voidaan myös louhia kokko syvyydessä räjäyttämällä pilarin muotoisia osioita tai suuria avonaisia louhoksia, joissa koko malmiota sorrutetaan. Tällaisissa suuremman mittakaavan avonaisessa louhinnassa tunnelinperien etäisyys toisistaan voi olla 10 – 60 metriä. (Puhakka 1997, s. 104 – 106) Tunnelinperien ollessa näin kaukana toisistaan, malmioon porataan reikiä sekä ylä- että aläkätiseen suuntaan.

Porattavien reikien pituutta kasvaessa tulee erityisen tärkeäksi porauksen tarkkuuden huomioiminen. Reiän pituuden kasvaessa 30 metriin ja siitä ylöspäin, normaali suuntauksen epätarkkuus voi aiheuttaa reiän pään sijaintiin jopa kolmen metrin vaihteluvälin (Puhakka 1997, s. 63 – 64, 107). Porauksen epätarkkuus voi aiheuttaa esimerkiksi malmikiven irtoamisen suurina lohkaraina, jotka täytyy edelleen rikottaa ennen kuljettamista. Suurten räjäytysgeometrioiden käyttö louhintamenetelmissä voi aiheuttaa lohkaraiden syntymisen kaltaista epätasaisuutta materiaalivirtaan, jonka hallitseminen vaatii porausparametrien ja geometrian tarkkaa suunnittelua (Brunton et al. 2010). Kuvassa 3.6 on esitetty tyypillisiä viuhkamaisia porausgeometrioita, joiden valinnalla eri louhintakoh-teissa voidaan vaikuttaa saatavan malmikiven materiaalivirran tasaisuuteen ja räjäytys-alueen tarkkuuteen.



Kuva 3.6 Viuhkamaisia porausgeometrioita eri reikäluvuilla (Brunton et al. 2010).

Kaivostoiminnassa hyödynnettävien louhintamenetelmien moninaisuudesta johtuen laitteilla tehtävän porauksen asetelma voi vaihdella hyvin paljon. Toisin kuin avolouhoksissa, maanalaisessa tuotantoporaamisessa poraussuunta voi teoreettisesti vaihdella 360 astetta. Odottamattomien huoltotarpeiden kannalta asetelma voi aiheuttaa haasteita, kun ahtaista huolto-olosuhteista ja laitteiston orientaatiosta riippumatta välttämättömät huoltotoimenpiteet on pystyttävä toteuttamaan tuotantoporaamisen jatkamiseksi.

3.2 Ongelman asettelu

Ahdas kaivosympäristö asettaa haastavat olosuhteet tuotantoporaamiseen liittyville tukitoimille. Yllättävä laiterikko voi keskeyttää poraamisen ja tarvittavat huoltotoimenpiteet tulisi pystyä suorittamaan paikoillaan liikuttamatta konetta, jotta poraamisen jatkaminen olisi mahdollista koneen toimintakunnon palaututtua. Raskaaseen kalustoon kohdistuvat huollon tarpeet aiheuttavat erityisen haastavia tilanteita, sillä tarvittavaa nostotyökälustoa ei välttämättä ole saatavilla. Myös erilaisten henkilönostimien tarve voi ilmetä, jos huoltokohteet sijaitsevat korkeissa paikoissa. Pitkäreikäporauslaitteilla tehtävistä erilaisista poraustilanteista johtuen laitteiston orientaatio voi vaihdella, mistä johtuen myös huoltokohteiden sijainti voi muuttua tilanteesta riippuen. Ahdas toimintaympäristö, apuvälineiden saatavuuden puute sekä vaikeapääsyiset huoltokohteet aiheuttavat haastavat lähtökohdat huoltoprosessin toteuttamiselle ja niihin kohdistuu usein vaativia turvallisuuteen liittyviä näkökulmia.

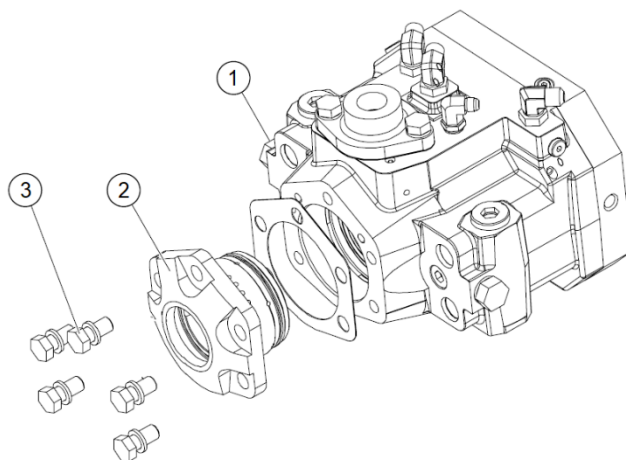
Yksi mahdollinen porauksen keskeytymiseen johtava tilanne on porakoneen niskan vaurioituminen. Niska on kovan dynaamisen rasituksen alaisena porauksen aikana, kun hydraulisen päättäiskevän porakoneen iskuenergia siirtyy sen kautta poratankoon. Osan vaurioituminen tai pahimmassa tapauksessa katkeaminen vaatii sen vaihtamista, jotta porausta pystytään jatkamaan. Yleensä niska pyritään vaihtamaan perushuollon yhteydessä, jolloin sen kuntoa pystytään ylläpitämään yllättävien poraustilanteiden keskeytymisen välttämiseksi. Odottamattomia vaurioitumistilanteita on kuitenkin hankala ennustaa. Niskan vaihtoväli voidaan määrittää porausmetreissä, mikä kuitenkin riippuu suurilta osin porattavan kiven kovuudesta ja poraamisen laadusta. Tästä syystä tarvittava huoltoväli tulisi määrittää kaivoskohtaisesti. Puomityypillä voi myös olla jonkin verran vaikutusta niskan vaurioitumisfrekvenssiin. Joustavat rakenteet voivat aiheuttaa porauksen suuntaukseen epätarkkuutta, minkä seurauksena niska voi vääntyä jolloin siihen kohdistuu taivutusmomenttia. Pitkiä reikiä porattaessa poratanko voi myös taipua syöttövoiman vaikutuksesta (Hungerford et al. 2012). Yhdistelmäjännityksen vaikutus niskan vaurioitumiseen voi olla jopa huomattavan suuri. Keskiarvoisesti voidaan määritellä, että niskan vaihtamisen tarve alle 1000 metrin porauksen jälkeen on välttävää lopputulos. Vastaavasti yli 3000 metrin porauksen jälkeen ollaan saavutettu hyvä vaihtoväli.

Niskan vaihtamiseen porauksen keskeydyttyä liittyy joitakin haasteita. Koska syöttölaitteen asento muuttuu poraussuunnasta riippuen, myös porakoneen ja siinä olevan niskan sijainti sekä suunta voi olla joka kerta hieman erilainen. Lisäksi porauksen ollessa kesken poratanko on kiinni niskan kierreltioksessa. Näin ollen poratanko täytyy irrottaa porakoneesta, jolloin se jää vapaasti irralleen. Poraustilanteissa joissa laitteella tehdään alakärsiä reikiä poratangon irralleen jääminen ei aiheuta erityistä tarvetta toimenpiteille, sillä se voi jäädä makaamaan porattuun reikään huollon ajaksi. Sen sijaan kuvan 3.7 mukaisissa tilanteissa joissa poraussuunta on ylöspäin, kuten alatasolouhinnan tapaisissa louhintamenetelmissä, irralleen jäävä poratanko täytyy saada kiinnitettyä johonkin rakenteeseen huoltamisen ajaksi. Irrallaan oleva poratanko pyrkii putoamaan reiän suunnassa alaspäin, mikä voi aiheuttaa merkittävän turvallisuusriskin niskan ollessa samassa linjassa porausreiän kanssa. Poratangon lukitsemista varten Sandvikin pitkäreikäporauslaitteille on ohjeistus, jonka mukaan tanko kiinnitetään kasetin sekä pidon kourilla paikoilleen. Pidon lisäksi poratankoa taivutetaan syöttölaitteen kierrolla, jolloin tanko puristuu porausreiän seinämiä vasten aiheuttaen kitkaliitoksen lukitsemisen varmistamiseksi. (Operator's Manual DL421-C)



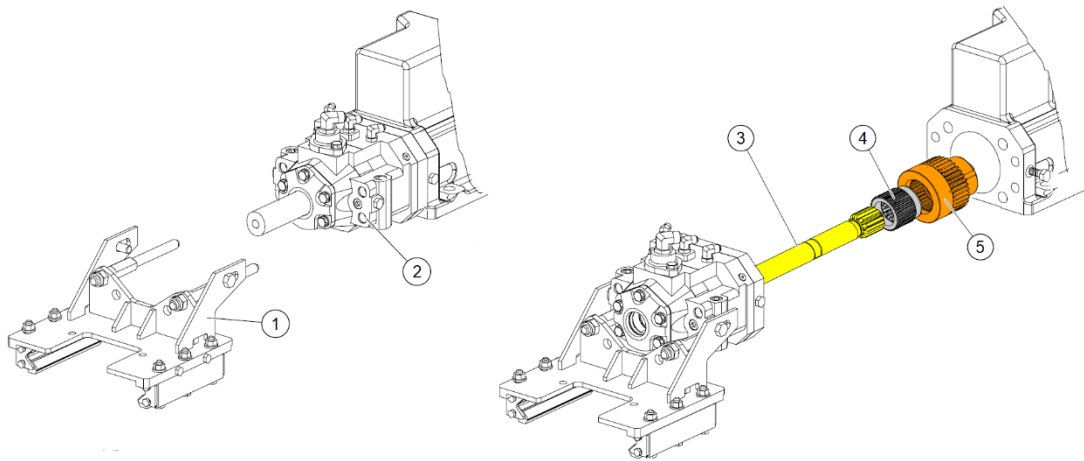
Kuva 3.7. Sandvik DL432 poraamassa yläkätistä viuhkaa.

Poratangon irrottamisen ja tarvittavan paikoilleenlukitsemisen jälkeen niskan irrottaminen tapahtuu Sandvikin porakoneissa irrottamalla huuhtelupesä, jonka läpi niska kulkee. Vaurioitunut niska vedetään irti huuhtelupesän takaa ja uusi asennetaan sen tilalle vastaavalla tavalla käänteisessä järjestyksessä. Huuhtelupesät voivat olla rakenteeltaan riittävän kevyitä jotta niiden kannattaminen voidaan tehdä käsin, mutta useissa porakoneissa käytetään huuhtelupesän tilalla PE-moduuleja, jotka ovat tavalliseen huuhtelupesään verrattuna huomattavasti painavampia. Kuvassa 3.8 esitettyä PE-moduulia tarvitaan tilanteissa, joissa poratanko jää jumiin porausreikään eikä sitä saada poistettua pelkän syöttövoiman avulla. Moduulin avulla osa porakoneen iskuenergiasta saadaan avuksi tangon irrottamista varten. (Hydraulic Rock Drill RD927L / RD927I – D Operation, maintenance and repair instructions) Kuvaan on numeroitu osat seuraavalla tavalla: 1. PE-moduuli; 2. etulaakerin kansi; 3. etulaakerin kannen kiinnityspultit.



Kuva 3.8 Porakoneen huuhtelupesän tilalla käytettävä PE-moduuli.

Painavien PE-moduulien irrottamista ja kannattelua varten Sandvikin pitkäreikäporauslaitteisiin on varustettu niskanvaihtoon tarkoitettu työkalu. Työkalu voidaan kiinnittää syöttölaitteen kiskoihin, joita pitkin porakelkka liikkuu normaalikäytön aikana. Työkalussa on kiinnitysrajapinta PE-moduulille, joka voidaan pultata kiinni syöttöpalkkiin asennettavaan niskanvaihtotyökaluun. Kun porakelkkaa ajetaan taaksepäin, PE-moduuli irtoa porakoneesta ja jää kuvassa 3.9 esitetyllä tavalla kiinni työkaluun. Vaurioitunut niska vaihdetaan uuteen samalla tavalla kuin tilanteissa, joissa käytetään tavallista huuhtelupesää. Kun uusi niska on asennettu paikoilleen, porakelkka ajetaan takaisin kiinni PE-moduuliin ja huoltamista varten tehdyt liitokset puretaan. Koko niskanvaihtoprosessin tehtävänkierros on esitetty liitteessä A. Kuvaan 2.9 on numeroitu osat seuraavalla tavalla: 1. niskanvaihtotyökalu; 2. PE-moduuli; 3. niska; 4. kytikin; 5. holkki.



Kuva 3.9. PE-moduulin ja niskan irrottaminen käytössä olevan työkalun avulla.

Niskanvaihtoprosessi on melko yksinkertainen toimenpide suorittaa perushuollon yhteydessä, mutta yllättävissä vaurioitumistilanteissa erityisesti PE-moduulin paino aiheuttaa haasteita huollon toteuttamiselle. Se on kuitenkin mahdollista tehdä tarkoitukseen suunnitellun työkalun avulla, joka auttaa PE-moduulin irrottamisessa ja kannattelussa. Työkalun käytettävyyteen liittyen on kuitenkin tullut ilmi kehitystarpeita. Se on esimerkiksi itsessään jo hyvin painava ja työkalun asentaminen on siten haastavaa erityisesti tilanteissa, joissa syöttöpalkin orientaatiosta johtuen asennusrajapinnat sijaitsevat korkealla. Myös työkalun asennusmenetelmä on hankala toteuttaa yksin niin, että asennustarkkuus on riittävä huoltoprosessin toteuttamiseksi.

4. TUTKIMUSPROJEKTIN TIEDONHANKINTA

Tiedonhankinta on tärkeä osa tuotekehitystä ja sen merkitys kasvaa jatkuvasti tuotteiden ja teknologian moniosa-alaisuuden kasvaessa (Akmal et al. 2014). Yritysten kyky käsitellä tietoa innovatiivisen tuotekehityksen resurssina on merkittävä kilpailukyvyyn tekijä modernissa liiketoiminnassa (Hodges & Liou 2010; Yang & El-Haik 2008, 7.1.; Yang & Hsu 2019). Tuotekehityksen innovointikyky riippuu merkittävällä tavalla sen kyvystä käyttää kaikkea saatavilla olevaa suunnittelutietoa ja tarkastella tilanteita erilaisista näkökulmista uudenlaisten ongelmanratkaisumallien kehittämiseksi (Xu et al. 2013; Faniel & Majchrzak 2007).

Uuden tuotteen konseptointi on pohjimmiltaan sen innovointiin ja suunnitteluun tarvittavan tiedon muodostamista (Rozenfeld & Eversheim 2002). Tuotteeseen liittyvää tietoa hankitaan tuotekehitysprosessin eri vaiheiden aikana ja sitä muokataan tiedonhallintamenetelmien avulla käyttötarpeen vaatimusten mukaiseksi (Shooter et al. 2000). Prosessin tai tuotteen kehittämisen tavoitteena on parantaa vanhaa olemassa olevaa tekniikkaa tai tuoda käyttöön menetelmiä, jolla voidaan tuottaa uudenlaista lisäarvoa sen käyttäjälle. Käyttäjätarpeen tunnistaminen ja sen systemaattinen johtaminen konseptikehitykseen mahdollistaa kysyntään vastaavien tuotteiden kehittämisen tehokkaiden prosessien kautta (Pahl et al. 2007, s. 126). Tiedon vääränlainen tulkinta ja sen välittymistä hankaloittavat tekijät ovat uuden tuotteen kehityksen aikana syntyvän hukkatyön pääasiallisia aiheuttajia (Cai & Freiheit 2011).

Tässä luvussa esitellään diplomityön tutkimuksen aikana tehtävää konseptikehitystä varten tarvittavien tiedonhankinnan ja laadun suunnittelun menetelmät. Tuotetiedon hankinnan tavoitteena on selvittää niskanvaihtotyökalun laatuun vaikuttavat tekijät ja keinot tunnistetun laadun toteuttamiselle. Lisäksi halutaan selvittää tuotteen laatuun vaikuttavien tuoteominaisuuksien arvontuottorakenne. Sen avulla pyritään selvittämään mitkä tuotteen ominaisuuksista vaikuttavat eniten lopullisen laadun muodostumiseen.

4.1 Tuotetiedon muodostaminen

Tutkimus ja samalla uuden työkalun kehitysprojekti aloitetaan tuotteeseen liittyvän tiedon hankinnalla (Pahl et al. 2007, s. 131). Jotta tuotekehityksen kautta syntyvällä uudella työkalukonseptilla voidaan tuottaa lisäarvoa loppukäyttäjälle, täytyy prosessin alussa muodostaa selkeä käsitys siitä miten laatu muodostuu käyttäjän näkökulmasta. Käyttäjät muodostavat tyypillisesti tuotteeseen ja sen ominaisuuksiin kohdistuvia odotuksia, joiden

toteutuminen lopullisessa työkalussa määrittää sen laadun (Yang & El-Haik 2008, 1.1.; Zandin 2001, 97.2.4.). Tuotetieto on tärkeä innovaatioprosessin resurssi ja sen kerääminen on tutkimuksen tiedonhankinnan ensisijainen päämäärä. Yksinkertaisimmillaan tieto voi olla kirjoitettua tai muussa muodossa tarkasteltavaa eksplisiittistä tietoa. Työkalun käyttöön ja käyttöympäristöön liittyy kuitenkin myös paljon käytännön osaamista ja kokemusperäistä kyvykkyyttä, joka on vaikeammin ilmaistavaa hiljaista tietoa. (Rozenfeld & Eversheim 2002)

Tutkimuksen tiedonhankinta aloitetaan perehtymällä käytössä olevaan työkaluun ja sen käyttöön liittyviin kehitystarpeisiin. Ongelman määrittäminen kuuluu keskeisesti toimintatutkimuksen ja kehitysprojektin ensimmäisiin tavoitteisiin (Ahmad et al. 2018; Gagnon et al. 2012; Tieinen et al. 2015). Tiedonhankintamenetelmien avulla pyritään vastaamaan siihen, minkälainen on käyttötarkoitukseen hyvä tuote ja minkälaisilla teknisillä ratkaisuilla se pystytään toteuttamaan (Zandin 2001, 97.3.7.). Monipuolisesti eri lähteistä kerätyn tiedon ja prosessitietämyksen yhdistäminen kehitettävään tuotteeseen mahdollistaa kokonaisvaltaisen tuotetiedon muodostamisen (Xu et al. 2013). Uuden työkalukonseptin kehittäminen tapahtuu suunnittelunäkökulmasta lähestyttävän tuotekehitysprosessin kautta, jossa arvovirtaa tarkastellaan ylhäältä alaspäin kohti valmistuvaa lopputuotetta (Akao 1990, s. 4). Kehitysprojektin alussa tehtävän tuotetiedon muodostamisen avulla lopputuotteen laaduntekijät voidaan selvittää, jolloin arvovirtaa voidaan tarkastella kohti tunnettua päämäärää. Näin ollen niskanvaihtotyökalun laadun muodostumiseen vaikuttavat tekijät voidaan suunnitella kehitettäviin tuotemalleihin, millä varmistetaan työkaluun kohdistuvien laatuodotusten toteutuminen.

Loppukäyttäjälähtöisessä tuotekehityksessä työkalun ominaisuuksilla pyritään vastaamaan käyttäjän asettamiin odotuksiin mahdollisimman tarkasti. Tuotteen laadun tarkastelussa täytyy kuitenkin ottaa myös huomioon, että käyttötarkoitukseen soveltuva tuote vastaa suunnittelun ja valmistuksen sille asettamiin vaatimuksiin (Akao 1990, s. 5; Pahl et al. 2007, s. 78.; Yang & Hsu 2019). Käyttöympäristön asettamista vaatimuksista keskeisimpänä suunnittelua ohjaavat myös turvallisuuden liittyvät näkökulmat. Lopullinen työkalumalli syntyy jonkin näköisenä ominaisuuksien ja käytettävien resurssien kompromissina, joilla se toteuttaa sille asetetut reunavaatimukset. Tuotetiedon sisältö voi olla hyvin moniulotteista, ja sen muodostamisessa käytetään apuna useita eri sidosryhmiä. Eri funktionaalisten toimijoiden sisällyttäminen prosessiin parantaa tuotekehityksen innovatiivista kapasiteettia tarjoamalla erilaisia näkökulmia ja lähestymistapoja ongelmanratkaisuun (Faniel & Majchrzak 2007).

Kaikkien kehitettävän tuotteen ympärillä toimivien sidosryhmien hyödyntäminen kehitysprojektin tiedonhankinnassa varmistaa sen, että valmis tuotetieto sisältää kaiken kriittisen informaation lopputuotteen laadun muodostumiseen ja turvallisuusvaatimusten toteutumiseen liittyen. Sen avulla pystytään vastaamaan siihen, millaisia odotuksia loppukäyttäjillä ja muilla sidosryhmillä on työkalun käytettävyyteen ja muihin laatuominaisuuksiin liittyen sekä millaisin keinoin näitä odotuksia voidaan toteuttaa konseptikehityksen aikana. Tiedonhankinnan aikana muodostettua tuotetietoa käytetään myös kehitettyjen konseptivarianttien yhtenä arviointiperusteena tutkimuksen loppuvaiheessa.

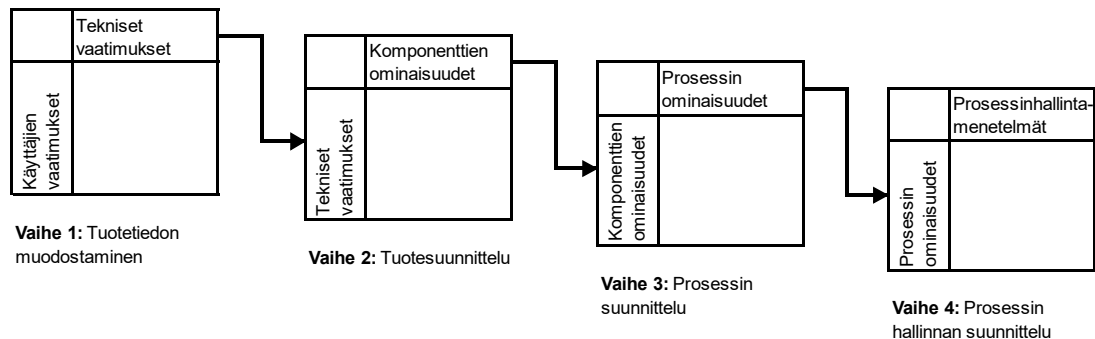
4.2 Käyttäjätarpeen tunnistaminen ja QFD-menetelmä

Nopeasti kehittyvän markkinakysynnän ja kilpailun takia yrityksien tarve tuottaa tarkasti asiakkaiden tarpeeseen kohdistuvia tuotteita tehokkaan tuotekehityksen kautta on johtanut kehitysprojektien hyödyntämien rinnakkaissuunnittelu- ja laatusuunnittelumenetelmien vakiintumiseen modernissa tuotekehityksessä (Akao 1990, s. 3, 27; Zandin 2001, 97.3.1.). Kyky kartoittaa ja johtaa asiakkaiden laatuodotukset tuotesuunnitteluun vähentää uusien tuotteiden suunnitteluun ja tuottamiseen tarvittavaa läpimenoaikaa (Hodges & Liou 2010). Samalla pystytään hallitsemaan lopputuotteiden laatuominaisuuksia niin, että ne vastaavat todelliseen kysyntään mahdollisimman tarkasti (Zandin 2001, 97.2.2.). Lopputuotteen laatu mitataan sen kyvyssä vastata asiakkaan määrittämiin vaatimuksiin ja näiden vaatimusten tunnistamisesta on muodostunut kasvavassa määrin yksi tuotekehityksen tärkeimmistä osa-alueista.

Niskanvaihtotyökalun kaltaisen tuotteen käyttäjätarpeen tunnistamisessa voidaan käyttää apuna erilaisia haastattelu- ja kyselytutkimuksia (Hodges & Liou 2010). Käyttäjätarpeen kartoituksen avulla pyritään selvittämään mielipiteitä tuotteen ominaisuuksista sekä tuotteen käyttöön liittyviä kokemuksia (Akao 1990, s. 4 – 6). Uuden työkalukonseptin kehittämisen aikana tätä tietoa pystytään hyödyntämään ilmenneiden puutteiden korjaamiseksi ja toisaalta positiivisia kokemuksia tuottaneiden ominaisuuksien vahvistamiseksi. Laadun johtaminen tuotekonsepteihin edellyttää kykyä esittää tiedonhankinnan sisältö parametrisesti tai jollain muulla tuotteesta osoitettavalla keinolla. Parametriset ominaisuudet voidaan mitata ja niihin voidaan vaikuttaa suunnittelun valinnoilla. Usein haastattelututkimuksien avulla saatu tieto ei ole luonteeltaan suoraan käyttökelpoista niin, että sen sisältö voitaisiin käsittää yksiselitteisenä tuotetietona. Tiedon hyödyntäminen edellyttää sen oikeanlaista jäsentämistä, jotta käyttäjäkertomuksen sisältö saadaan muutettua käyttökelpoiseksi tuotekehityksen resurssiksi (Hodges & Liou 2010). Se on kuitenkin onnistuttava tekemään niin, että käyttäjän sanoma pysyy muuttumattomana.

Tiedonkäsittelyn avulla käyttäjätarpeen sisältöä tarkennetaan ja siitä muodostetaan oleellisia suunnittelua ohjaavia sääntöjä (Akao 1990, s. 18).

Tuotekehityksen tiedonhankintaan ja laadunsuunnitteluun on käytössä työkaluja, joista yksi hyvin käytetty on QFD-menetelmä (engl. quality funktion deployment) (Pahl et al. 2007, s. 66; Shooter et al. 2000; Yang & Hsu 2019). Määritelmän mukaan menetelmän tavoite on onnistua välittämään asiakkaan tai käyttäjän tarve suunnitteluun sekä koko tuotantojärjestelmään niin, että valmistuva tuote täyttää sille määritetyt laatuodotukset (Zandin 2001, 97.3.). Menetelmä esiteltiin ensimmäisen kerran Japanissa 1960-luvulla, minkä jälkeen sen dokumentointi, kehittäminen ja hyödyntäminen tuotekehityksessä on kasvanut merkittävästi 1980-luvulta eteenpäin. Kokonaisvaltainen QFD-systeemi tarkastelee suunnittelu- ja teknologianäkökulman lisäksi myös luotettavuuteen ja valmistettavuuteen liittyviä näkökulmia. (Akao 1990, s. 5, 14, 27) Koko tuotantojärjestelmän kattava tarkastelu toteutuu neljässä eri vaiheessa, joissa asiakas- tai käyttäjäkyselytieto johdetaan erilaisiksi systeemiin kohdistuviksi teknisiksi vaatimuksiksi (Zandin 2001, 97.3.6.). Jokaisessa vaiheessa laadunsuunnittelu viedään prosessiketjussa eteenpäin tuotteen ominaisuuksien suunnittelusta valmistukseen ja sen kontrollointiin. Kokonaisvaltaisen QFD-systeemin eteneminen ja jokaisen vaiheen tavoitteet on esitetty kuvassa 4.1.



Kuva 4.1 QFD-systeemin vaiheet ja niiden tavoitteet (Zandin 2001, 97.3.6.).

Niskanvaihtotyökalun konseptikehityksessä laadunsuunnittelu rajoittuu QFD-menetelmän ensimmäiseen vaiheeseen. Sen aikana kerätään työkalun käyttöön liittyviä kokemuksia ja muodostetaan käsitys tuotteen laadun muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä. Käyttäjäkokemusten perusteella muodostetaan uuteen työkalukonseptiin kohdistuvia vaatimuksia, joiden avulla varmistetaan että työkalulle haluttu laatu välittyy konseptikehityksen kautta lopputuotteeseen. Käyttäjien asettamat vaatimukset työkalun toiminnasta ja käytettävyydestä asettavat tekniset vaatimukset työkalusta mitattaville ominai-

suuksille. Konseptikehityksen tiedonhankinnan aikana käytettävän QFD-menetelmän tavoitteena on muuttaa käyttäjätarpeen kartoituksen avulla saatu tieto suunnittelua ohjauviksi teknisiksi vaatimuksiksi.

QFD-menetelmä esittelee erilaisia tiedonkäsittelyn apuna käytettäviä työkaluja, joista yksi hyvin käytetty on niin sanottu laatutalo tai HOQ (engl. house of quality). Laatutalo on tuoteominaisuuksien arvioimiseen käytettävä matriisi, jonka avulla pyritään selvittämään ominaisuuksien vaikutusta tuotteelle määritettyjen laaduntekijöiden toteutumiseen. Matriisin käyttäminen on keinona selvittää mitä tuotteelta halutaan, ja millaisilla teknisillä keinoilla ne voidaan toteuttaa (Akao 1990, s. 27 – 28; Zandin 2001, 97.3.7.). Menetelmä on hyvin käyttökelpoinen tiedonkäsittelyn työkaluna, jolla luonteeltaan abstrakteja laaduntekijöitä pystytään osoittamaan toteuttamiskelpoisiin tuoteominaisuuksiin.

Niskanvaihtotyökalun tuotekehitykseen liittyvän tiedonhankinnan aikana käytetään hyväksi QFD-lähestymistavan esittelemiä tiedonkäsittelymenetelmiä. Tiedonhankinnan ja sen käsittelyn avulla toteutetaan työkaluun kohdistuva laadun suunnittelu. Laadun suunnittelun avulla määritetään ominaisuudet, joiden avulla tuotteelle asetetut laadun vaatimukset toteutetaan.

4.3 Tuoteominaisuuksien tunnistaminen

Kehitysprojektin lähtökohtana on ollut niskanvaihtotyökalusta saatu palaute, jonka perusteella työkalun käytettävyyteen kohdistuu selkeitä kehitystarpeita. Palautteet ja muut helposti saatavilla olevat lähteet käsittelevät pääasiassa tuotteeseen liittyviä suurimpia kehitystarpeita ja ominaisuuksia, jotka aiheuttavat negatiivisen vasteen käyttäjässä. Jos tuotekehityksen aikana keskitytään ainoastaan korjaamaan havaittuja vikoja, ei prosessia voida kehittää uusien lähestymistapojen mahdollistamalla innovaatioilla. Kokonaisvaltaisen tuotteeseen liittyvän tiedon kartoittamisen avulla pyritään selvittämään myös ominaisuudet tai toiminnot, jotka on havaittu hyväksi tuotteen käytön aikana. Niiden avulla voidaan saada hieman käsitystä siitä, millaisia elementtejä konseptoitavaan työkaluun halutaan tuoda lisää. (Akao 1990, s. 4) Tiedonhankinnan aikana on tärkeää huomioida, että palautteet ja muut kokemukset liittyvät käytössä olevaan työkaluun ja sen toimintaperiaatteisiin. Niiden perusteella voi olla vaikea saada kattavaa tietoa tilanteisiin, joissa huoltoprosessia haluttaisiin lähestyä täysin erilaisesta näkökulmasta esimerkiksi muuttamalla työkalun toimintaperiaatteita.

QFD-menetelmän mukaisen laadun suunnittelun toteuttamiseksi täytyy selvittää työkalun käyttöön liittyvät vaatimukset sekä tuoteominaisuudet, jotka vaikuttavat näiden vaatimuk-

sien toteutumiseen. Tutkimuksen tiedonhankinnan ensisijaisiin tavoitteisiin kuului ongelman määrittäminen. Niskanvaihtotyökalun osalta halutaan selvittää mitkä ovat merkittävimmät huoltoprosessiin kohdistuvat haasteet, jotta tieto ei rajoittuisi ainoastaan käytettävään työkaluun ja sen toimintoihin. Tiedonhankinnassa käytetään apuna vapaamuotoista teemahaastattelua, jonka avulla pyritään saamaan mahdollisimman paljon tietoa huoltoprosessista ja siinä käytettävästä työkalusta (Tiainen 2014, s. 5 – 6). Haastattelu toteutetaan kolmessa eri kohderyhmässä, joiden henkilöt työskentelevät erilaisissa funktioissa tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. Ensimmäisen kohderyhmän haastateltavat toimivat laitesuunnittelun tehtävissä. Toinen kohderyhmä koostui tuotespesialisteista, jotka toimivat muun muassa laitteeseen liittyvän kouluttamisen parissa. Kolmannen kohderyhmän henkilöt tavoitettiin laitetuen toimihenkilötehtävistä Etelä-Amerikassa sekä Afrikassa sijaitsevista kaivostoiminnan kohteista. Haastatteluissa kohderyhmien jäseniltä kysyttiin seuraavat avoimet kysymykset:

- Millaisia kokemuksia sinulla on niskan vaihdosta ja siinä käytettävästä työkalusta?
- Mitkä ovat niskanvaihtoprosessin suurimmat haasteet?
- Millaisia ominaisuuksia niskanvaihtotyökalulla tulisi olla?
- Miten prosessia voitaisiin kehittää?

Avoimella teemahaastattelulla saatava tieto halutaan pitää mahdollisimman rajoittamattomana. Näin pyritään mahdollistamaan, että myös sellainen tieto voidaan saada tuotekehitysprojektin käyttöön jota ei osata suoranaisesti kysyä. Kohderyhmien henkilöiden toimiessa erilaisissa tehtävissä myös niiden väliset näkemykset ja lähestymistapa teemaan voi olla toisistaan poikkeavaa. Menetelmän tavoitteena on saada kattavampaa kokonaisvaltaista tietoa koko tuotteen elinkaaren ajalta, sekä tuoda esille mahdolliset näkemuserot ryhmien välillä.

Koska haastatteluiden sisältöä ei haluta rajoittaa, niiden avulla hankittu tieto on hyvin vapaamuotoista. Mielipiteisiin ja kokemuksiin perustuva tieto on usein luonteeltaan sellaista, ettei sitä pystytä sellaisenaan käyttämään tuotekehitysprojektin resurssina (Akao 1990, s. 6). Jotta tietoa pystytään hyödyntämään, täytyy sen olla jollain tavalla mitattavassa tai tuoterakenteesta osoitettavassa muodossa. Tiedon käsittely on hyvin tärkeä tehtävä tuotetiedon muodostamisessa, sillä sen avulla haastattelujen avulla kerätty tieto pyritään muokkaamaan analysoitavaan muotoon. Tiedon muokkaamisessa on kuitenkin onnistuttava niin, että kartoituksen avulla hankittu ydintieto säilyy muuttumattomana.

Haastattelutiedon käsittely toteutetaan muodostamalla lista laadun vaatimuksista, jossa tuotteen laatua määrittävät tekijät pyritään erittelemään mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Liitteenä B on esitetty lopullinen lista laadun vaatimuksista. Vaatimukset on allokoitu kolmessa tasossa, joissa aina seuraavalle tasolle siirryttäessä vaatimuksen sisältöä on tarkennettu pienempiin osatekijöihin. Esimerkiksi työkalun käytettävyyden ensimmäisen tason laadun vaatimus on määritetty haastatteluiden perusteella niin, että työkalua täytyy olla helppo käsitellä. Käsiteltävyyden helppoutta on kuitenkin vaikea tarkastella tai mitata, ja sen suunnittelu lopputuotteeseen on hankalaa ilman tarkempaa määrittystä. Listan toiselle tasolle siirryttäessä käsiteltävyyden helppous on eritelty kolmeen pienempään osatekijään, joita ovat liikuttamisen helppous, asentamisen helppous sekä käyttämisen helppous huoltoprosessin aikana. Toisen tason laadun vaatimukset on vielä eritelty kolmannelle tasolle jolloin ne on viimein määritelty riittävän yksityiskohtaisesti, jotta vaatimusten toteutumista on helppo tarkastella. Liikuttamisen helppouden kolmannen tason laadun vaatimuksia ovat muun muassa *”työkalua on helppo nostaa ja kannatella”* sekä *”työkalu mahtuu pieneen tilaan”*. Näin ollen teemahaastatteluiden avulla kerätty tieto on pystytty johtamaan yksityiskohtaisiksi laatua toteuttaviksi vaatimuksiksi.

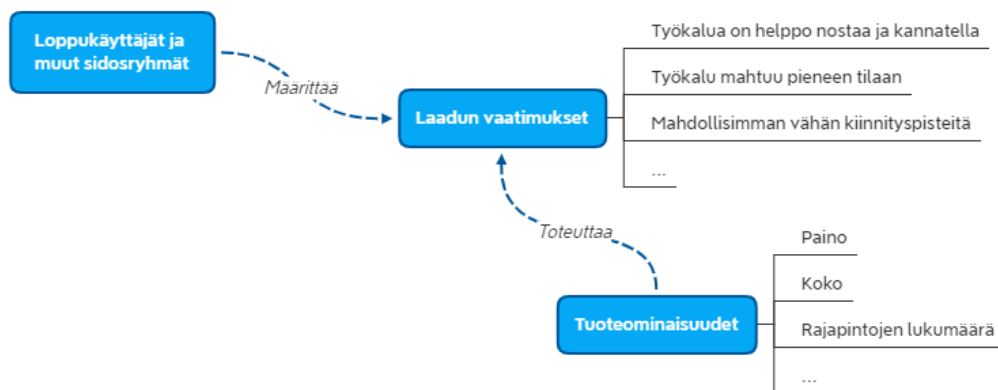
Laadun vaatimukset ovat työkalun rakenteeseen tai käytettävyyteen liittyviä ehtoja, joiden toteutuminen määrittää tuotteen lopullisen laadun. Vaatimukset eivät kuitenkaan ole suoraan tuotteeseen suunniteltavia elementtejä, vaan ne ovat seurausta niskanvaihtotyökalusta mitattavien parametrinen tuoteominaisuuksien ilmenemisestä ja laadusta (Shooter et al. 2000). Tarkastellaan esimerkiksi edellä tunnistettuja laadun vaatimuksia. Jotta työkalu olisi helposti nostettavissa ja kannateltavissa, täytyy sen olla kohtalaisen kevyt. Lisäksi nostamisen helppouteen voi vaikuttaa työkalun koko tai esimerkiksi käytettävissä olevat kädensijat. Vastaavasti toinen tunnistetuista laadun vaatimuksista määrittää, että työkalun on mahduttava pieneen tilaan. Tämä oletettavasti toteutuu mikäli työkalun koko ei ylitä suurinta sallittua tilavarausta, joka tuotteelle voidaan määrittää. Näin kyseisille laadun vaatimuksille on onnistuttu tunnistamaan niitä toteuttavat tuoteominaisuudet, joita olivat työkalun paino ja koko. Nostamisen helppouteen vaikuttavat kädensijat jätetään laatua toteuttavien tuoteominaisuuksien ulkopuolelle, sillä ne voidaan ottaa muilla tavoin huomioon lopullisessa yksityiskohtaisessa suunnittelussa esimerkiksi lisäämällä kantokahva.

Vastaavalla tavalla etsitään muut tuoteominaisuudet, jotka toteuttavat kaikkia tunnistettuja laadun vaatimuksia. Liitteenä C on esitetty lista, johon on lueteltu kaikki eritelty kolmannen tason laadun vaatimukset. Jokaisen vaatimuksen kohdalle on listattu tuoteominaisuuksia, jotka vaikuttavat kyseisen vaatimuksen toteutumiseen. Tuoteominaisuuksia tunnistettaessa on huomattava, että yhden vaatimuksen toteutumiseen voi vaikuttaa

useampi kuin yksi ominaisuus. Lopulta niskanvaihdossa käytettävän työkalun arvon muodostumiseen ja laadun vaatimuksien toteutumiseen vaikuttavat tuoteominaisuudet on saatu tunnistettua, ja ne ovat:

- työkalun paino
- työkalun koko
- työkalun kiinnittämiseen tarvittavien rajapintojen lukumäärä
- työkalun kiinnitysmekanismin helppous
- työkalun asennustoleranssit
- työskentelyyn varattu tila
- työvaiheiden lukumäärä
- työkalun valmistukseen käytettävät materiaalit
- työkalun valmistusmenetelmät.

Kuvassa 4.2 on havainnollistettu tuotteen laadun muodostumiseen vaikuttavien tekijöiden välinen suhde. Lopullinen laatu syntyy loppukäyttäjien ja muiden sidosryhmien määrittämien laadun vaatimuksien toteutumisesta. Näitä vaatimuksia toteutetaan tunnistettujen tuoteominaisuuksien tai teknisten vaatimusten avulla.



Kuva 4.2 Tuoteominaisuudet toteuttavat loppukäyttäjien ja muiden sidosryhmien määrittämät lopputuotteen laadun vaatimukset.

Tutkimuksen tiedonhankinnan avulla on nyt pystytty tunnistamaan työkalun laatuun vaikuttavat tekijät ja tekniset keinot niiden toteuttamiselle. Tuoteominaisuuksia eriteltiin kaikkiaan yhdeksän kappaletta. Konseptisuunnittelun aikana kaikkia ominaisuuksia on kuitenkin hyvin vaikea kyetä optimoimaan yhtäaikaaisesti. On siis hyvin tärkeä pystyä tunnistamaan, millä tuoteominaisuuksilla pystytään tuottamaan parhaiten niitä laatuodotuksia, jotka ovat työkalun käytettävyyden kannalta kaikista tärkeimpiä.

4.4 Tuoteominaisuuksien arvontuottorakenteen tunnistaminen

Niskanvaihtotyökalulle määritetyn tehtävän mukaan sen avulla on pystyttävä vaihtamaan porakoneen niska kaivosympäristössä ilman muita apuvälineitä. Tiedonhankinnan aikana on voitu huomata, että tuotteen laatu määrittyy vahvasti työkalun käytettävyyteen liittyvien ominaisuuksien perusteella. Hyvä työkalukonsepti tulisi siis mahdollisesti olemaan rakenteeltaan hyvin yksinkertainen ja kevyt. Tuotekonsepteja kehitettäessä useimmat tuoteominaisuudet voidaan ottaa jollain tavalla huomioon, mutta niiden kaikkien optimoiminen yhtäaikaaisesti on todella haastavaa. Monesti tuoteominaisuudet voivat olla jopa keskenään poissulkevia, jolloin joidenkin ominaisuuksien suhteen joudutaan tekemään valintoja (Chang & Lin 2013). Niskanvaihtotyökalun laadun suunnittelun seuraavana tavoitteena on määrittää keinot ja tuoteominaisuudet, joiden avulla lopputuotteen laatu halutaan toteuttaa.

Odotus tuotteen laadun tekijän toteutumisesta asettaa vaatimukset siihen vaikuttavien tuoteominaisuuksien arvoille. Parametrisille tuoteominaisuuksille voidaan määrittää raja-arvot joiden puitteissa laatuodotus tulee toteutumaan. Nämä tuoteominaisuuksien tavoitearvot voidaan saada analyttisesti tarkastelemalla esimerkiksi mikä on suurin sallittu massan arvo, jolla työkalu tulee olemaan helposti nostettavissa. Toisaalta arvot voivat olla myös peräisin käyttäjien tai muiden sidosryhmien palautteesta, jolloin tieto on jollain tapaa kokemusperäistä. (Shooter et al. 2000) Parametriset raja-arvot ilmoittavat millä välillä $[T_{min}, T_{max}]$ tuoteominaisuuden arvo on laadun vaatimuksen toteutumisen kannalta hyväksyttävä. Usein, kuten esimerkiksi tuotteen painon tapauksessa, ainoastaan maksimiarvo on todellisuudessa oleellinen. Mikäli tuoteominaisuuden arvolle voidaan ilmoittaa jokin tietty tavoitearvo T_H , tuotekonseptin kyky toteuttaa tarkasteltavaa laatua voidaan ilmoittaa erotuksena $\|T_H - T_T\|$, missä T_T on konseptissa toteutuva tuoteominaisuuden arvo (Hodges & Liou 2010). Konseptikehityksen aikana muodostettavat vaihtoehtoiset tuotemallit toteuttavat erilaisia variaatioita tunnistetuista tuoteominaisuuksista. Koska tuoteominaisuudet toteuttavat laadun vaatimuksia, konsepteilla tulee olemaan toisiinsa verrattuna erilainen kyky tuottaa haluttua laatua. Jokaisen tuotekonseptin kykyä vastata käyttäjien määrittämiin laadun vaatimuksiin voidaan tarkastella parametrisesti kuinka kaukana niiden raja-arvolliset tuoteominaisuudet ovat maksimiarvosta T_{max} , tai kuinka hyvin ne vastaavat tavoitearvoja, jolloin erotus $\|T_H - T_T\|$ on pieni (Hodges & Liou 2010). Tuotekonseptien kykyä vastata laadun vaatimuksiin parametrisillä tuoteominaisuuksilla voidaan käyttää yhtenä vaihtoehtoisten konseptien välisen arviointikriteerinä.

Konseptivaihtoehtojen välinen vertailu tuoteominaisuuksien parametristen arvojen perusteella ei ole kuitenkaan täysin yksiselitteinen tapa löytää parasta ratkaisua tarkastel-

tavaan tilanteeseen. Kahta vaihtoehtoista tuotekonseptia verrattaessa tulee harvoin vastaan tilannetta, jossa toinen vaihtoehtoista on parempi kaikilla osa-alueilla. Tuoteominaisuuksia tarkastellessa tulee muistaa, että niiden vaikutukset voivat näkyä useiden eri laadun vaatimuksien toteutumisessa. Oleelliseksi kysymykseksi nousee se, kumpi konseptista toteuttaa paremmin ne tuoteominaisuudet, joilla tuotetaan kaikista eniten arvoa lopullisessa tuotteessa. Näin ollen on siis tärkeä pystyä tunnistamaan tuoteominaisuuksien välinen arvontuottorakenne. Tällä tarkoitetaan käytännössä sitä, että pystytään asettamaan tuoteominaisuudet järjestykseen arvontuotto-ominaisuuksien perusteella. Tärkeimpiä tuoteominaisuuksia painottamalla pystytään siten tuottamaan eniten arvoa lopputuotteeseen. Vastaavasti vähemmän tärkeiden ominaisuuksien optimoimisessa voidaan oletettavasti joustaa ilman että lopullisen tuotteen laatu tulee heikkenemään merkittävästi.







Tuoteominaisuuksien arvontuottorakenteen selvittämiseksi laatua määrittävien vaatimuksien välistä tärkeyttä lopputuotteessa arvioidaan kyselytutkimuksen avulla. Kysely teetetään samoissa teemahaastatteluiden kohderyhmissä, joita hyödynnettiin laadun vaatimuksien ja tuoteominaisuuksien tunnistamisessa. Tutkimuksen järjestelyihin liittyvistä syistä haastattelut ja kyselyt teetettiin kohderyhmissä pääsääntöisesti peräkkäin. Teemahaastatteluiden toteutuksesta poiketen kyselyiden sisältö on kuitenkin tällä kertaa hyvin rajoitettu. Menetelmän avulla halutaan varmistaa, että kerättävä tieto on vertailukelpoista ja vastaa tarkasti tiedonhankinnan tarpeeseen. Kyselytutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä laadun vaatimukset ovat kaikista tärkeimpiä tuotteen käytettävyyden ja valmistettavuuden kannalta. Vaatimuksia arvioidaan asteikolla yhdestä viiteen, missä yksi tarkoittaa että vaatimuksella on vain vähän merkitystä ja viisi, että vaatimus on erittäin tärkeä lopputuotteen laadun kannalta. Kohderyhmissä teetetty kyselylomake on esitetty liitteenä D. Jokaisessa kohderyhmässä täytettävä kyselylomake vastaa funktionaalisen ryhmän sisällä muodostettua yhteistä mielipidettä vaatimuksien tärkeydestä. Ryhmät ovat kuitenkin kyselyssä toisistaan riippumattomia, joten tutkimuksen lopputuloksena saadaan kolme eri vastauslomaketta, jotka kuvaavat kunkin ryhmän omaa näkemystä tärkeimmistä laadun vaatimuksista sekä arvon muodostumisesta lopputuotteessa.




Koska kyselyt ovat toisistaan riippumattomia, on hyvin odotettavaa että kohderyhmiltä kerätty tieto laadun vaatimusten merkityksestä eivät vastaa toisiaan kaikilta osin. Vaatimusten arvostamisen avulla ryhmät ilmaisevat, miten ne käsittävät laadun kyseisessä tuotteessa ja millaisia laatuodotuksia niillä on kehitettävää konseptia kohtaan. Samaan aikaan voidaan kuitenkin todeta, että kohdat joissa ryhmät ovat painottaneet vaatimuksia samanlaisilla arvoilla, antavat hyvin luotettavaa tietoa vaatimuksen merkityksestä loppu-

tuotteessa. Jos useampi ryhmä on arvostanut jonkin vaatimuksen tärkeäksi tai hyvin tärkeäksi, tulee se ehdottomasti saada välitettyä suunnittelun kautta tuotteeseen. Samalla periaatteella jos jokin vaatimus on useamman ryhmän mielestä vähemmän tärkeää, voidaan sen toteutumisessa joustaa ja olla hyvin varmoja, ettei se tule merkittävällä tavalla vaikuttamaan tuotteen lopulliseen laatuun.

Laadun vaatimuksien arvostaminen johtaa suoraan niitä toteuttavien tuoteominaisuuksien painottamiseen. Painotuksen suuruus ilmoittaa, kuinka hyvin parametrinen tuoteominaisuuden tulisi noudattaa sille määritettyä tavoitetta. Tärkeimpien laadun vaatimusten toteutumisen varmistamiseksi on luontevaa, että niitä toteuttavat ominaisuudet saavat suuren painotuksen. Johtuen kuitenkin siitä, että tuoteominaisuudet vaikuttavat monien eri laaduntekijöiden toteutumiseen ja että niiden vaikutukset eivät ole saman arvoisia, eniten arvoa tuottavien tuoteominaisuuksien tunnistaminen voi olla hyvin hankalaa ilman yksityiskohtaisempaa tarkastelua.

Tuoteominaisuuksien arvontuottorakenteen tunnistamisessa käytetään apuna laatutaloa, joka on tyypillinen QFD-menetelmän ensimmäisessä vaiheessa käytetty työkalu. Sen käyttäminen helpottaa eri tuoteominaisuuksien tuottaman arvon tunnistamista ja selkeyttää kokonaiskuvaa siitä, miten ominaisuudet vaikuttavat eri laadun vaatimusten toteutumiseen (Zandin 2001, 97.3.7.). Laatutalon käyttämistä varten muodostetaan taulukon 4.1 mukainen matriisi, jonka rivit edustavat tunnistettuja laadun vaatimuksia ja sarakkeet niitä toteuttavia tuoteominaisuuksia.

		<i>Tuoteominaisuus₁</i>	<i>Tuoteominaisuus₂</i>	<i>Tuoteominaisuus_k</i>
<i>Laadun vaatimus₁</i>	P_1	V_{11} 	V_{21} 	V_{k1}
<i>Laadun vaatimus₂</i>	P_1	V_{12}	V_{22} 	V_{k2}
<i>Laadun vaatimus_n</i>	P_n	V_{1n} 	V_{2n} 	V_{kn} 
	Yht.	f_1	f_2	f_k

-  Pieni vaikutus
-  Keskisuuri vaikutus
-  Suuri vaikutus

Taulukko 4.1 Tuoteominaisuuksien arvontuottorakenteen tunnistamiseen käytettävän laatutalon rakenne.

Matriisiin merkataan tuoteominaisuuksien vaikutus eri laadun vaatimusten toteutumiseen. Vaikutuksen suuruutta V kuvataan joko pienenä, keskisuurena tai suurena, jonka mukaan se saa pistearvon yksi, kolme tai yhdeksän. Lisäksi laadun vaatimusten kohdalle

merkitään painotuskerroin P , joka kuvaa kyselytutkimuksien avulla saatua tietoa vaatimuksen tärkeydestä lopputuotteessa. Painotuskertoimet saavat arvot pisteytyksen mukaisesti väliltä yhdestä viiteen. Kun matriisiin on täytetty kaikki tuoteominaisuuksien vaikutukset ja kyselyiden perusteella saadut painotukset, ominaisuuksien vaikutuksille voidaan laskea yhteispistemäärät f kaavan 1 mukaisesti. Pistemäärä kuvastaa sitä, kuinka paljon kukin tuoteominaisuus vaikuttaa tuotteen kokonaislaadun muodostumiseen. Tarkastelun tavoitteena on määrittää suurimman yhteispistemäärän saavat tuoteominaisuudet, eli ne ominaisuudet, jotka vaikuttavat kaikista eniten lopputuotteen laadun muodostumiseen.

$$\sum_{i=1}^n f_k = P_i * V_{ki} \quad (1)$$

Liitteenä E on esitetty tiedonhankinnan tulosten perusteella muodostettu laatutalo, johon on merkattu tuoteominaisuuksien vaikutukset tunnistettujen laadun vaatimusten toteutumiseen. Tuoteominaisuuksien pisteytyksien tulosten perusteella valitaan kolme tärkeintä tuoteominaisuutta työkalun laadun toteuttamiseksi, ja ne ovat työkalun kiinnitysmekanismien helppous, kokonaispaino sekä työkalun koko.

5. KONSEPTIKEHITYS

Tiedonhankintavaiheen jälkeen tutkimusprojektissa siirrytään konseptikehitysvaiheeseen. Kehityksen tavoitteena on tuottaa konkreettisia vaihtoehtoja huoltamiseen liittyvän ongelman ratkaisemiseksi, jotka perustuvat tiedonhankinnan avulla saatuun tietoon tuotteeseen kohdistuvista vaatimuksista. Työkalun käyttökelpoisuus edellyttää, että sen avulla pystytään toteuttamaan niskanvaihto sille ominaisessa käyttöympäristössä. Jotta niskanvaihto on mahdollista, tulee työkalun avulla pystyä suorittamaan kaikki huoltoon vaaditut toimenpiteet.

Käytössä olevat systeemit tarjoavat monesti lähtökohdat tuotekehitykselle, jossa niiden ominaisuuksia hyödynnetään uuden tuotteen kehittämisessä. Lähestymistapa voi kuitenkin olla myös haitallinen innovatiivisen tuotekehityksen ja uusien ratkaisumallien mahdollistamiselle, kun vanhoista toimintamalleista halutaan päästä eroon. (Pahl et al. 2007, s. 82; French 1999, s. 209 – 210) Uusien ideoiden syntymisen mahdollisuutta voidaan parantaa lisäämällä tarkasteltavan ongelman abstraktiota (French 1999, s. 201 – 203, 211). Muuttamalla käsiteltävän ongelman sisältöä avoimemmaksi lisätään merkittävästi suunnittelun vapausasteita ja mahdollistetaan kokonaan uudenlaisten lähestymistapojen tarkastelu ongelman ratkaisemiseksi..

Tuoteinnovaatio esittelee uudenlaisen ratkaisun tunnettuun ongelmaan. Se voi olla kokonaan uudenlainen lähestymistapa tai vanhojen teknisten ominaisuuksien ja toiminnallisuuden erilainen järjestely, jolla pystytään toteuttamaan parempi ratkaisu. (Akmal et al. 2014; Pahl et al. 2007, s. 64) Konseptikehityksen tavoitteena on päästä mahdollisimman lähelle optimaalista ratkaisua tuotteesta, mikä toteuttaa kaikki tärkeimmät laadun vaatimukset sekä mahdollisimman hyvin myös muita vaihtoehtoisia arvoa lisääviä vaatimuksia. Kuten aikaisemmin todettiin, optimaalinen tuoteratkaisu ottaa myös huomioon kaikki suunnittelun ja valmistuksen asettamat vaatimukset. Näitä vaatimuksia voivat olla esimerkiksi rajoitukset valmistuksen aiheuttamissa kustannuksissa.

Tässä luvussa esitetään tiedonhankintavaiheen jälkeisen konseptikehityksen etenemisprosessi, menetelmät ja lopputulokset. Tavoitteena on tuottaa vaihtoehtoisia ratkaisumalleja uudelle niskanvaihtotyökalulle, joissa hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan erilaisia toimintaperiaatteita. Kehitetystä konseptista pyritään tutkimusvaiheen aikana valitsemaan kolme parasta vaihtoehtoa jatkotarkasteluun.

5.1 Konseptien kehittäminen osaratkaisumenetelmän avulla

Niskanvaihtotyökalun konseptikehityksen aikana tavoitteena on tuottaa mahdollisimman paljon erilaisia ratkaisumenetelmiä huoltamiseen liittyvään ongelmaan. Mitä enemmän ja mitä erilaisempia ideoita työkalusta ja sen toimintamenetelmistä pystytään tuottamaan, sitä todennäköisempää on että konseptikehityksen tuloksena huoltoprosessia onnistutaan kehittämään uudella tavalla työkaluinnovaatiolla. Uusien lähestymistapojen tuottaminen ja ideoiden syntymiseen vaikuttaminen edesauttavalla tavalla voi olla hankalaa sillä ideat syntyvät usein intuitiivisen ongelmanratkaisun kautta (Pahl et al. 2007, s. 82 – 83). Jotta ideoiden syntymiselle voidaan antaa hyvät edellytykset, erilaisten konseptivaihtoehtojen tuottaminen on tehtävä ilman analyttistä seulontaa jolla karsitaan potentiaalisia ratkaisumenetelmiä johtuen niiden epätäydellisyydestä ideointivaiheessa (French 1999, s.210). Kaikenlaisten ideoiden tuottaminen on tärkeää prosessin kannalta, sillä konseptien sisältö kehittyy ajatusvirran edetessä kun ideat synnyttävät uusia ideoita. Ratkaisumenetelmät voivat syntyä jonkun muun esittämän ajatuksen pohjalta tai useamman idean yhdistelmänä.

Tunnetun ja käytössä olevan tekniikan tarkastelu on yksi keskeinen tapa löytää ratkaisuja ja kehittää uusia tuotekonsepteja. Suuri osa tuotekehitysprojekteista tuottaa ratkaisuja, jotka ovat erilaisia muunnoksia vanhoista tuotteista. Uusi konsepti voi olla mukautettu versio vanhasta tuotteesta jolloin sen toiminnallinen periaate pysyy samana vaikka tuotteen muu rakenne on muutettu sopeutumaan muuttuneisiin reunaehtoihin. Toinen käytössä olevaan tekniikkaan pohjautuva konsepti voi olla varioitu versio tuotteesta, jossa sen rakenteellisia elementtejä järjestellään uudelleen sopeutumaan muuttuneeseen tilanteeseen. Tällaisia varioituvia konsepteja ovat tyypillisesti erilaiset modulaariset rakenteet. (Pahl et al. 2007, s. 64) Nojautuminen vanhaan käytössä olevaan tekniikkaan asettaa kuitenkin myös olennaisen haasteen konseptikehityksen edellytykselle tuottaa innovatiivisia ratkaisuja. Tuotteilla jotka lähestyvät ongelmaa täysin uudelta näkökulmasta pystytään usein tuottamaan merkittävää uutuusarvoa käyttökohteisiin. Uutuusarvon saavuttamiseksi vanhoista toimintamalleista tulisi pystyä pääsemään eroon mahdollisimman tehokkaasti, mikä voi olla merkittävä haaste etenkin jos vanhojen konseptien parissa on toimittu pitkään.

Uudenlaisen lähestymistavan käyttöönoton mahdollisuutta voidaan arvioida tarkastelemalla käytössä olevan tuotteen toimintaperiaatteita (Pahl et al. 2007, s. 74). Niiden muuttaminen voi olla yksi tapa tuottaa uutuusarvoa prosessiin konseptikehityksen kautta. Vaihtoehtoisten toimintaperiaatteiden kehittämistä auttaa niiden erittelemisen tuotteesta irrallisiksi alitoiminnoiksi, joihin etsitään ratkaisuja toisistaan riippumattomasti niin sano-

tun osaratkaisumenetelmän (French 1999, s. 18; Pahl et al. 2007, s. 170 – 177). Osaratkaisumenetelmässä tuotteen toiminnan kannalta välttämättömät alitoiminnot tunnustetaan ja niiden toteuttamiseksi etsitään mahdollisuuksien mukaan useita erilaisia tapoja. Tuotekonsepteja saadaan muodostettua lopulta yhdistelemällä alitoimintoihin kehitettyjä osaratkaisuja erilaisina variaatioina (Pahl et al. 2007 184 – 186). Erilaisten osaratkaisujen ja niiden hyödyntämien toimintaperiaatteiden valitseminen tuottaa konsepteille erilaisia ominaisuuksia. Näin ollen jokaisen tuotekonseptin lopullista laatua voidaan hallita tekemällä erilaisia osaratkaisuvaihtoehtoja. Esimerkki osaratkaisumatriisin rakenteesta on esitetty taulukossa 5.1, jossa osaratkaisuvaihtoehtoja on kuvattu merkinnällä R .

Osaratkaisut		Alitoiminnot					
		1	2	3	...	k	
1	$Toiminto_1$	R_{11}	R_{21}	R_{31}		R_{k1}	
2	$Toiminto_2$	R_{12}	R_{22}	R_{32}		R_{k2}	
3	$Toiminto_3$	R_{13}	R_{23}	R_{33}		R_{k3}	
⋮		⋮	⋮	⋮		⋮	
η	$Toiminto_\eta$	$R_{1\eta}$	$R_{2\eta}$	$R_{3\eta}$		$R_{k\eta}$	

————→ Konsepti 1

-----→ Konsepti 2

Taulukko 5.1 Konseptien muodostaminen osaratkaisumatriisin avulla.

Osaratkaisumatriisin tapainen toimintaperiaatteita yhdistelevä konseptinkehitys perustuu alitoimintojen kehittämiseen toisistaan riippumattomasti, mikä vähentää merkittävästi intuitiiviseen ongelmanratkaisuun haittaavalla tavalla vaikuttavia systeemikonaisuuden asettamia rajoituksia. Menetelmä ei näin ollen ota huomioon toimintaperiaatteiden yhteensopivuutta, mikä voi toisaalta muodostua ongelmaksi konseptien toteuttamiskelpoisuuden kannalta. Osaratkaisuiden puutteellinen yhteensopivuus voi johtaa muun muassa geometriseen ristiriitaan, jossa osia ei saada kunnolla sovitettua yhteen. Systemin kautta välittyvän energian tai signaalin kulku voi olla häiriöaltis tai täysin estynyt. (Pahl et al. 2007, s. 103 – 104) Jos osaratkaisut tarvitsevat toimiakseen tiettyjä energiamuotoja, niidenkin osalta yhteensopivuustarkastelu voi rajoittaa lopullisten yhdistelmävaihtoehtojen määrää.

Jos oletetaan, että osaratkaisuja voidaan yhdistellä mielivaltaisesti keskenään, mahdollisten konseptien määrä kasvaa nopeasti huomattavan suureksi. Kaikkien eri tapausten

käsittely ei ole prosessin tehokkuuden kannalta järkevää, varsinkaan jos monien vaihtoehtojen toteuttamismahdollisuudet ovat lähtökohtaisesti heikkoja. Konseptivaihtoehdot, joiden osaratkaisuvariaatioiden yhteensopivuus on puutteellinen, tulisi rajata tarkastelun ulkopuolelle aikaisimmassa mahdollisessa vaiheessa. (Pahl et al. 2007, s. 106, 188)

5.2 Intuitiivinen ongelmanratkaisu

Luova ongelmanratkaisukyky on menestyksen kannalta hyvin tärkeä ominaisuus yrityksille ja tuotekehityksen parissa toimiville henkilöille (Eubanks et al. 2010). Sen avulla pystytään toteuttamaan tuotteiden ja prosessien jatkuvaa kehitystä ja vastaamaan nopeasti muuttuviin tilanteisiin tuotteisiin kohdistuvien vaatimusten osalta (Mohaghegh & Größler 2020). Systemaattinen ongelmanratkaisu mahdollistaa uusien ideoiden tuottamisen suunnitelmallisesti prosessin kautta, jossa hyödynnetään erilaisia työkaluja innovoinnin tukena (Pahl et al. 2007, s. 77). Innovointiprosessia voidaan lähestyä pääsääntöisesti intuitiivisesta tai analyyttisestä näkökulmasta (Mohaghegh & Größler 2020). Analyyttinen lähestyminen perustuu datan käsittelyyn ja tulosten tarkasteluun mahdollisten ratkaisuvaihtoehtojen löytämiseksi (Sen & Baykal 2019). Vastaavasti intuitiiviset menetelmät tuottavat ideoita yksilöllisen luovuuden avulla. Ideat syntyvät alitajuntaisesti ongelman hahmottamisen ja ratkaisumenetelmien vaiheittaisen kehittymisen kautta. (Eubanks et al. 2010) Tutkimusprojekti on kokonaisuudessaan yhdistelmä intuitiivista ja analyyttistä ongelmanratkaisua. Vaihtoehtoisia tuotekonsepteja kehitetään intuitiivisesti ideoinnin kautta, mutta niiden arvioinnissa käytetään apuna analyyttistä lähestymistapaa.

Uuden niskanvaihtotyökalun konseptikehitystä lähdetään toteuttamaan systemaattisen ongelmanratkaisun keinoin, jossa käytetään apuna osaratkaisumenetelmää. Osaratkaisujen kautta muodostettavien tuotekonseptien kehittäminen nojautuu hyvin paljon intuitiiviseen ongelmanratkaisuun ja kykyyn tuottaa uusia sekä erilaisia ratkaisumenettelyjä työkalusta tunnistettaviin alitoimintoihin. Intuitiivisen tuotekehityksen toteuttamista varten käytössä on erilaisia menetelmiä, joista yksinkertaisimpia ja kaikista käytetyimpiä ovat erilaiset ideapalaverin tapaiset ryhmätyöskentelyn muodot (Pahl et al. 2007, s. 82 – 83). Niiden tarkoituksena on löytää mahdollisimman kattavasti kaikki saatavilla olevat ajatukset ongelmien ratkaisemiseksi, sekä kehittää ideoita ryhmätyöskentelyn tarjoamien uusien näkökulmien avulla.

Ideapalaverin toteuttamiselle on olemassa useita erilaisia läpivientimalleja, joissa ideoiden muodostumista ja kehittymistä prosessin aikana pyritään vahvistamaan erilaisin keinoin. Yksi hyvä esimerkki ideoiden kehittymistä vahvistavasta ryhmätyöskentelymallista on 635-menetelmä. Sen aikana kuusihenkisen ryhmän jokainen jäsen kehittää kolme ratkaisumallia käsiteltävään ongelmaan. Ideat kirjataan tai mallinnetaan papereille, joita

sitten vaihdetaan ryhmän jäsenien kesken. Ideoiden vaihtamisen jälkeen seuraava henkilö kehittää paperille tuotettuja ideoita eteenpäin omien ajatustensa mukaisesti. Pape-reita vaihdetaan kaiken kaikkiaan viisi kertaa, jolloin jokainen alkuperäinen kolmen ratkaisumallin paperi on kiertänyt ja jalostunut jokaisen ryhmän jäsenen kautta. (Pahl et al. 2007, 85 – 86)

Kaikille uusia ideoita tuottaville ryhmätyöskentelyn malleille tärkeitä ominaisuuksia niiden onnistumisen kannalta ovat kritiikkivapaa toimintaympäristö sekä ideoiden dokumentoi-minen kirjaamalla tai hahmottelemalla. Näin toimimalla varmistetaan, että kaikki ideat voidaan tuoda esille niiden epätäydellisyydestä huolimatta ja että niiden jatkokehittämi-nen on mahdollista prosessin aikana ja sen jälkeen. Intuiivisen konseptikehityksen ai-kana ideoita pyritään tuottamaan nopeatempoisesti, jolloin uudenlaisia lähestymistapoja voidaan löytää mahdollisimman paljon keskittymättä liikaa niiden yksittäisiin epäkohtiin. Konsepti-ideoiden määrällinen tuottaminen parantaa uusien lähestymistapojen ja inno-vaatioiden muodostumisen todennäköisyyttä ja on siksi prosessin kannalta hyvin tär-keää. Lopulta palaamalla konseptien analyttiseen tarkasteluun, vaihtoehtoisten kon-septien määrää pystytään vähentämään valitsemalla niiden joukosta parhaat ratkaisu-vaihtoehdot erilaisten arviointiperusteiden, kuten tiedonhankinnan tulosten perusteella.

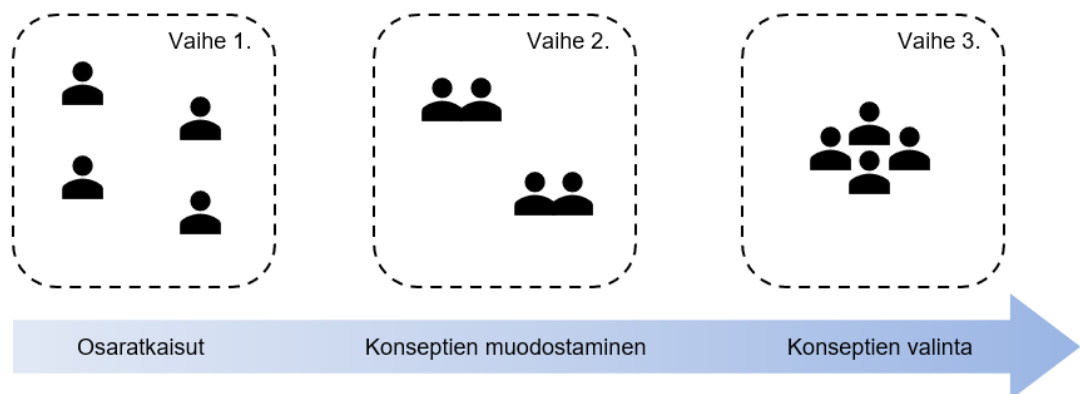
Konseptikehityksen aikana pyritään tuottamaan ideoita työkaluista, joilla pystytään vas-taamaan käytössä olevasta tuotteesta esille tulleisiin kehitystarpeisiin. Systemaattisen ongelmanratkaisun kautta näitä haasteita pystytään selvittämään pääsääntöisesti kah-della tavalla. Uusi työkalukonsepti voi olla paranneltu versio vanhasta tuotteesta, missä kehitystarpeita aiheuttavien ominaisuuksien vaikutusta on pystytty pienentämään. Toi-nen tapa lähestyä ongelmaa on etsiä ilmenneisiin haasteisiin johtavat syyt ja muuttaa työkalun toimintaperiaatteita niin, että alkuperäisten ongelmien ilmenemiseen voidaan vaikuttaa. (Mohaghegh & Größler 2020) Ideapalaverin aikana erilaisia ratkaisuvaihtoeh-toja voidaan etsiä tarkastelemalla molempia lähestymistapoja. Lisäksi uusia ideoita voi-daan hakea tarkastelemalla niin sanottua ideaaliratkaisua. Ideaaliratkaisu voi olla abst-rakti käsitys tuotteesta, joka toteuttaa kaikki sille asetetut vaatimukset ja suurimman osan muista arvoa lisäävistä ominaisuuksista (Pahl et al. 2007, s. 78). Tarkastelun perusteella täydellinen malli työkalusta olisi täysin painoton eikä sen avulla tehtävässä huoltopro-sessissa tarvittaisi manuaalisia työvaiheita. Täysin ideaalin ratkaisun toteuttaminen käy-tännössä on lähes varmasti mahdotonta, mutta sen tarkastelun kautta on mahdollista löytää joitain uudenlaisia toimintaperiaatteita, joiden avulla joitakin ideaaliratkaisun omi-naisuuksista pystytään jollain tasolla saavuttamaan. Ideaaliratkaisun kaltaisten tarkaste-lujen päätarkoituksena on tukea uusien ideoiden syntymistä, mikä on ideapalaverien ai-kana tehtävän intuiivisen ongelmanratkaisun päätavoite.

5.2.1 Tuplatiimimenetelmä

Niskanvaihtotyökalun konseptikehitystä tehdään ryhmätyöskentelyn avulla, jonka läpivientimalliksi valitaan niin sanottu tuplatiimimenetelmä. Menetelmä on ollut käytössä aikaisemmissa Sandvikin Tampereen yksikön toteuttamissa kehitysprojekteissa ja on siten tuttu monille ideapalaveriin osallistuville henkilöille. Menetelmän valinta soveltuu hyvin niskanvaihtotyökalun kehityksen lähtöasetelmiin. Työkalun käyttöön liittyvät haasteet on hyvin tunnistettuja, ja monilla kaluston parissa toimivilla henkilöillä saattaa olla jo valmiita ajatuksia mahdollisista ratkaisumenettelyistä. Tuplatiimimenetelmän avulla ideapalaveriin osallistuvat henkilöt pääsevät tuomaan esille yksilöllisiä ideoitaan työkalun mahdollisista toimintaperiaatteista ja kehittämään niitä ryhmätyöskentelyn kautta. Ideapalaverin tavoitteena on systemaattisen ongelmanratkaisun keinoin tuottaa osaratkaisuja niskanvaihtotyökalusta tunnistettaviin alitoimintoihin, sekä muodostaa vaihtoehtoisia työkalukonsepteja erilaisina osaratkaisujen variaatioina. Lisäksi ideapalaverin aikana muodostuvien konseptivaihtoehtojen toimintaperiaatteita ja toteuttamiskelpoisuutta pyritään arvioimaan, minkä perusteella ratkaisujen joukosta valitaan kolme parasta konseptia jatkokehitykseen. Tuplatiimimenetelmää hyödyntävän ideapalaverin läpivienti on esitetty kuvassa 5.1. Menetelmän toteutuksessa noudatetaan Sandvikin sisäistä ohjeistusta ja materiaalia tuplatiimin läpiviennistä.

Niskanvaihtotyökalun kehittämistä varten toteutettiin ideapalaveri, johon osallistui kymmenen laitteiden suunnittelun ja käyttämisen parissa työskentelevää henkilöä. Tuplatiimiin osallistuvan ryhmän optimikoko on tyypillisesti 8 – 12 henkilöä, jolloin ryhmä on riittävän suuri ideapalaverin kaikkien vaiheiden toteuttamiseen. Riittävän suuri osallistujamäärä vaikuttaa myös siihen, kuinka hyvin palaverin aikana pystytään tuottamaan ideoita uutta konseptia varten. Toisaalta liian suuri ryhmäkoko voi aiheuttaa vaikeuksia palaverin läpiviennin tehokkuudelle. Jos erilaisia ideoita aletaan tuottamaan hyvin paljon, niiden kaikkien perusteelliseen läpikäymiseen kuluu paljon aikaa ja palaverin läpivienti olisi syytä jakaa useampaan tilaisuuteen. Monessa osassa toteutettavan ideapalaverin haasteeksi syntyy konseptivaihtoehtojen välisen vertailun epäjohtonmukaisuus ja ideoiden kehitysvirran katkeaminen. Niskanvaihtotyökalun kaltaisen tuotteen kehittämisessä koettiin onnistuvan parhaiten yhden tehokkaan ideapalaverin aikana, jonka tavoitteeksi asetettiin kolmen vaihtoehtoisen ratkaisun valitseminen jatkotarkasteluun. Mikäli ideoiden jatkokehitykselle olisi vielä tarvetta, voitaisiin niitä varten järjestää ylimääräisiä tapauksia. Jatkotarkasteluun etenevien konseptien valinnat pyritään kuitenkin tekemään ensimmäisen palaverin aikana, jotta valintoihin vaikuttavat arviointikriteerit pysyvät prosessin läpi samoina.

Tuplatiimin läpivienti toteutetaan kolmessa vaiheessa. Tilaisuuden alussa ideointiin osallistuvalla ryhmällä esitellään konseptikehityksen tavoite. Käytössä olevaan niskanvaihtotyökaluun ja sen periaatteisiin ei syvennyttä kovin tarkasti, jotta ideoinnin lähtökohdaksi ei asetu vanha käytössä oleva toimintatapa. Sen sijaan esittelyn aikana käydään kuitenkin läpi mitä tehtävää varten työkalua ollaan kehittämässä ja minkälaisia välttämättömiä toimintoja sen avulla olisi pystyttävä suorittamaan. Ryhmälle esitellään työkalusta tunnistettavat alitoiminnot, joiden toteuttamiseksi etsitään erilaisia osaratkaisuja. Osaratkaisujen kehittämistä ja työkalukonseptien muodostumista ei haluta rajoittaa lähtötietojen perusteella, mutta niiden avulla halutaan varmistaa että kaikki ideoitavat konseptit soveltuvat tuotekehityksen tarpeeseen. Konseptikehityksen lähtötietoihin on myös sisällytetty tiedonhankintavaiheen aikana tunnistetut eniten arvoa tuottavat tuoteominaisuudet, jotta tietoa lopputuotteen laadun muodostumisesta voidaan käyttää hyväksi konseptien kehittämisessä ja niihin liittyviä valintoja tehdessä.



Kuva 5.1 Tuplatiimimenetelmää hyödyntävän ideapalaverin läpivienti.

Ideapalaverin tavoitteiden ja lähtötietojen esittelyn jälkeen aloitetaan konseptikehityksen ensimmäinen yksilötyöskentelyvaihe. Sen aikana ryhmän jokainen jäsen pyrkii nopeasti kehittämään mahdollisimman paljon erilaisia ratkaisumenetelmiä kaikkiin työkalun alitoimintoihin. Alitoimintojen osaratkaisuja ideoidaan täysin toisistaan riippumattomasti ja ilman järjestelmän asettamia rajoituksia. Palaverin ensimmäisen vaiheen tavoitteena on, että jokaisella ryhmän jäsenellä on sen päätteeksi listattuna erilaisia ideoita, joilla kukin alitoiminto voidaan toteuttaa. Ideoita ei tarvitse kehittää kovin pitkälle, vaan ne voidaan kuvata lyhyesti sanoin tai piirustuksin.

Osaratkaisujen yksilöllisen ideoinnin jälkeen siirrytään tuplatiimimenetelmän toiseen vaiheeseen. Sen aikana ideapalaverin kymmenhenkinen ryhmä jakautuu kolmeen pienryhmään, joissa osaratkaisuisista muodostetaan toiminnallisia konsepteja. Osaratkaisujen

ideoinnin tapaan vaihtoehtoisia konsepteja pyritään tuottamaan useita, joissa hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan erilaisia toimintaperiaatteita. Kaikkien ideoiden tulisi kuitenkin olla jossain määrin toteutettavissa, ja niiden tulisi soveltua niskanvaihtotyökalulle määritettyyn tehtävään. Muodostetut konseptit hahmotellaan paperille, jotta ne voidaan esitellä palaverin seuraavassa vaiheessa.

Tuplatiimin toisen vaiheen jälkeen koossa on erinäinen määrä vaihtoehtoisia konseptiideoita uudelle niskanvaihtotyökalulle. Pienryhmien tuottamat ajatukset tuodaan palaverin kolmannessa vaiheessa koko ryhmän tarkasteltavaksi, jossa niiden pääasialliset ratkaisut ja toimintaperiaatteet esitellään muille pienryhmille. Palaverin kolmannen ryhmätyövaiheen tavoitteena on valita kolme parasta konseptivaihtoehtoa. Valinta tehdään äänestämällä niin, että jokaisella ryhmän jäsenellä on kolme ääntä annettavanaan. Äänet merkataan konseptipapereihin, minkä jälkeen kolme eniten ääniä saanutta konseptia valitaan tuplatiimi-ideapalaverin tuloksena jatkotarkasteluun.

5.3 Konseptikehityksen lähtötiedot

Uuden työkalukonseptin kehittämisen tavoitteet perustuvat tiedonhankintamenetelmien avulla hankittuun suunnittelutietoon (Pahl et al. 2007, s. 64). Niskanvaihtotyökaluun liittyen tiedonhankinnan avulla selvitettiin muun muassa tuotteen käytettävyyteen liittyvät odotukset ja tärkeimmät ominaisuudet, joiden avulla pystytään parhaiten toteuttamaan haluttua laatua lopullisessa työkalussa. Tietoa voidaan käsitellä tuotekehityksen resursina, mutta sen hyödyntäminen edellyttää kykyä johtaa suunnittelutiedon sisältöä konseptisuunnittelun kautta uusiin tuotemalleihin (Xu et al. 2013). Innovatiivisen tuotekehityksen vahvistamiseksi konseptikehitykseen pyritään luomaan lähtöasetelma, joka mahdollistaa uusien toimintaperiaatteiden käyttöönoton. Mahdollisuudet erilaisten lähestymistapojen tarkastelulle syntyvät tuotteeseen liittyvän abstraktion ja suunnittelun vapausasteiden kautta (French 1999, s. 201 – 203). Vapausasteet ovat tuotteen rakentamiseen ja toiminnallisuuksiin liittyviä valintoja, joiden lopputulosta ei ole määritelty vaan ne tarjoavat vaihtoehtoja konseptien toteuttamiselle. Abstraktio lisää tuotekehityksen innovaatiokapasiteettia tarjoamalla vaihtoehtoja, kun tuote on määritetty mahdollisimman avoimesti. Tuotetieto parantaa prosessin kykyä tuottaa innovaatioita myös yksilöiden kautta, sillä mahdollisimman kattavasti kaiken suunniteltavaan tuotteeseen liittyvän tiedon tuominen prosessin käyttöön parantaa yksilöiden kykyä tuottaa uusia ideoita (Faniel & Majchrzak 2007; Xu et al. 2013).

Jo ennen tiedonhankinnan alkamista työkalusta oli tunnistettu joitain kriittisiä kehityskohteita, jotka toimivat perusteena tuotekehitysprojektin tarpeelle. Tuotteen käytöstä saadun palautteen perusteella oli selvää, että käytössä oleva työkalu on liian painava yhden

henkilön käsiteltäväksi. Lisäksi sen käytettävyyteen liittyi lukuisia haasteita, joiden vaikutuksesta niskan vaihtaminen oli hyvin vaikeaa ja aikaa vievää. Monet työkalun käyttöön liittyvistä ongelmista johtivat siihen, että huoltoprosessin toteuttaminen vaati usein tilannekohtaista soveltamista haasteiden selvittämiseksi. Konseptikehityksen tiedonhankinnan aikana tunnistettiin työkalun tärkeimmät tuoteominaisuudet, joiden painottamisella suunnittelun valinnoissa olisi suurin vaikutus lopputuotteen laadun muodostumisessa. Kolme tärkeintä tuoteominaisuutta tarkastelun perusteella olivat työkalun asennusmekanismin helppous, kokonaispaino sekä työkalun koko. Tärkeiden tuoteominaisuuksien huomioiminen konseptien ideoinnissa parantaa niiden kykyä vastata käyttäjien tuotteelle asettamiin odotuksiin, mikä määrittää lopputuotteen todellisen laadun. Tuoteominaisuuksien toteutumista voitiin tarkastella niiden parametrusten viitekehitysten perusteella. Konseptikehityksen aikana tuotteiden määritykset ovat kuitenkin vielä hyvin avoimia ja niistä mitattava tieto rajallista. Ominaisuuksien tarkastelua tulisi siitä johtuen pystyä tekemään myös ei-numeerisin menetelmin. (Akmal et al. 2014; Pahl et al. 2007, s. 111) Tuoteominaisuuksien asettamat konseptikehityksen lähtötiedot voidaan kuvata sanallisesti esimerkiksi seuraavalla tavalla:

- Työkalun asentamisen täytyy onnistua helposti kohtuullisen lyhyessä ajassa.
- Työkalun tulee olla painoltaan yhdelle henkilölle määritetyn nostorajan alapuolella.
- Työkalun tulee mahtua sen porauslaitteen rungossa olevan kuljetusalustan tilavaraukseen.

Tuoteominaisuuksien lisäksi työkalun konseptikehityksen yksi oleellisista lähtötiedoista on tuotteen käytettävyyden kannalta välttämättömien alitoimintojen tunnistaminen. Ideapalaverin ensimmäisen vaiheen tavoitteena on kehittää osaratkaisuja tunnistettaviin alitoimintoihin, joiden pohjalta konsepteja lähdetään lopulta muodostamaan. Alitoiminnot pyritään tunnistamaan säilyttäen mahdollisimman laaja abstraktio toimintojen toteuttamiseen liittyen. Tietynlaisten toimintatapojen tai ratkaisujen lukitseminen määrityksien kautta poistaa valinnan mahdollisuuden tuotekehityksestä ja johtaa siten innovaation mahdollisuuden menettämiseen (French 1999, s. 201). Alitoimintojen määrän tulisi olla myös mahdollisimman pieni. Ainoastaan prosessin kannalta välttämättömät toiminnot halutaan määrittää, niin että niiden toteuttaminen tuottaa pienimmät mahdolliset edellytykset huoltoprosessin toteuttamiselle. Välttämättömien alitoimintojen toteutuminen on vaatimus, joka varmistaa että konseptit läpäisevät toiminnallisten edellytyksien arviointiperusteet ja ovat siten mahdollisia vaihtoehtoja työkalun toteutusmalleiksi (Pahl et al. 2007, 146 – 147; Yang & El-Haik 2008, 18.1.1.).

Porakoneen huoltamisen ainoana tavoitteena tarkasteltavassa tilanteessa on vaihtaa vaurioitunut niska uuteen. Prosessiin liittyvät määräykset ja sitä kautta työkalulle määritettävät alitoiminnot toteuttavat siis pienimmät mahdolliset edellytykset niskan vaihtamiselle. Hydraulisen päättäiskevän porakoneen niskan asennus tehdään huuhtelupesän takakautta, joten sen irrottaminen on huoltamisen kannalta välttämätöntä. Työkalun käyttäminen tulee kyseeseen erityisesti tilanteissa, joissa huuhtelupesän tilalla käytetään painavampaa PE-moduulia. Moduulin paino ylittää selvästi käsillä tehtävän suurimman sallitun nostorajan, joten niskanvaihtotyökalun täytyy toimia kannattelun apuvälineenä. Jotta moduulia voidaan kannatella työkalun avulla, täytyy niiden välissä olla jonkinlainen kiinnitysrajapinta. Edellä mainittujen kolmen ehdon toteutuminen mahdollistavat porakoneen niskan vaihtamisen työkalun avulla, joten niiden perusteella määritetään työkalun välttämättömät alitoiminnot. Näin ollen siis, jotta työkalukonsepti olisi käyttökelpoinen tarkasteltavaan huoltotilanteeseen, tulee:

- työkalun ja PE-moduulin välissä olla tarvittava kiinnitysrajapinta,
- PE-moduuli pystyä irrottamaan porakoneesta ja asentamaan se takaisin niskanvaihdon jälkeen,
- irrotettua PE-moduulia pystyä hallitsemaan jollain tavalla niskanvaihdon aikana.

Alitoimintojen määräyksillä ei rajata pois erilaisien toteuttamisperiaatteiden mahdollisuutta. Niiden kaikkien toteuttaminen on kuitenkin edellytys sille, että konsepti täyttää toimintaedellytykset tarkasteltavassa huoltotilanteessa. Työkalumalleja voidaan kehittää vapaasti myös määritettyjen alitoimintojen ulkopuolella. Niissä esiintyvien toimintojen määrää ei ole rajoitettu pelkästään kolmeen edellä mainittuun. Konseptikehityksen tavoitteena on kuitenkin ensisijaisesti ideoida työkalumalleja, jotka sisältävät välttämättömät alitoiminnot ja toteuttavat tärkeimpien tuoteominaisuuksien parametriset viitekehykset.

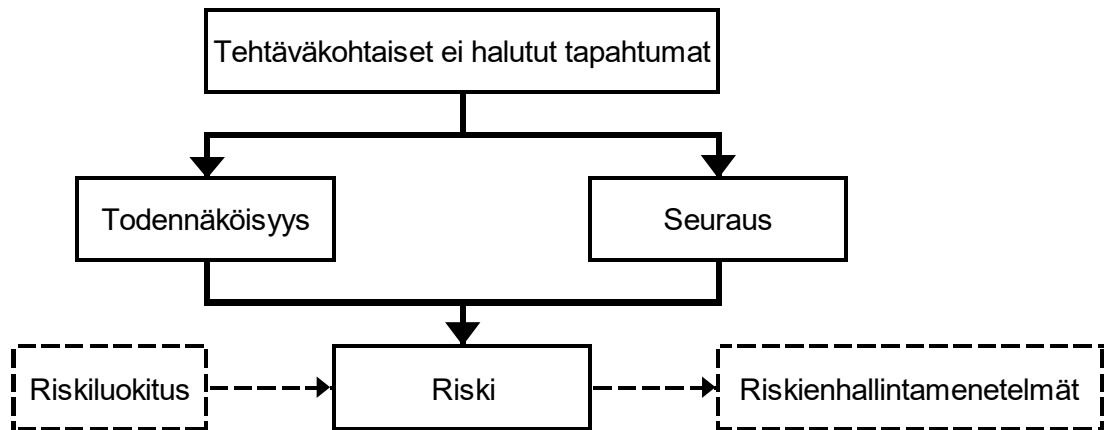
5.3.1 Huoltoprosessiin liittyvien riskien tunnistaminen

Työkalun konseptikehitykseen liittyy keskeisesti myös huoltoprosessiin kohdistuvat turvallisuuskulmat. Tuoteominaisuuksien ja välttämättömien alitoimintojen toteutuminen eivät yksin riitä tuottamaan prosessin käyttöön soveltuvaa työkalua. Sen täytyy myös täyttää riskien hallintaan liittyvät vaatimukset joiden avulla varmistetaan, että huoltaminen ja työkalun käyttäminen on turvallista kaikissa tarkasteltavissa tilanteissa (Yang & El-Haik 2008, 18.1.1.). Jotta tuote täyttää sille asetetut turvallisuusvaatimukset, sen käytöstä aiheutuvat riskit täytyy olla hyväksyttävällä tasolla kaikissa normaalikäytön tilanteissa, sekä normaalikäytöstä poikkeavissa tilanteissa joiden tapahtuminen on hyvällä

todennäköisyydellä ennustettavissa (Wester & Burgess-Limerick 2015). Työkalukonseptien käytön turvallisuutta arvioitaessa on tärkeää huomioida, että niiden mahdollinen käyttö ei rajoitu ainoastaan suunniteltuihin toimenpiteisiin. Mikäli konseptien käyttöön liittyy selkeä mahdollisuus esimerkiksi virheelliseen asennukseen, ei haluttujen tapahtumien todennäköisyys voi kasvaa jopa merkittäväällä tavalla. Kaikilta väärinkäytön mahdollisuuksilta ei voida välttyä mutta jos niiden tapahtumisen todennäköisyys on huomattava, niiden aiheuttamat riskit eivät myöskään saa ylittää hyväksyttävän riskiluokituksen rajaa. Kaivosteollisuuden laitteisiin liittyvät ei halutut tapahtumat on pystytty kokemuseräisen tiedon perusteella jakamaan kahdeksaan eri kategoriaan. Laitteiden käyttöön tai prosesseihin kohdistuvat riskit liittyvät tyypillisesti johonkin seuraavista tekijöistä:

- tilanteiden aiheuttamat pääsyn esteet ja työskenteleminen korkeilla paikoilla,
- renkaat ja vanteet,
- altistuminen vahingolliselle energialle,
- tuli,
- koneen operointi ja hallintalaitteet,
- terveydelle haitalliset tekijät,
- manuaaliset tehtävät,
- ahtaat ja rajoittuneet työskentelytilat. (Wester & Burgess-Limerick 2015)

Turvallisuuden hallinnan lähtökohtana on pystyä tunnistamaan prosessiin liittyvät kriittiset tehtävät joihin liittyy merkittäviä riskitekijöitä. Riskianalyysien tarkoituksena on tunnistamisen lisäksi selvittää riskien luonne ja arvioida niiden vaikutusta (SFS-EN ISO 31000:2018, s. 17). Nykyään laaja-alaisesti riskianalyysissä käytetty työkalu on niin sanottu kvantitatiivinen arviointimenetelmä (Chen et al. 2017). Sen tavoitteena on tunnistaa prosessiin liittyvät ei halutut tapahtumat ja arvioida niiden riskiluokitusta tarkastelemalla tapahtumien todennäköisyyttä sekä riskin aiheuttaman seurauksen vakavuutta (Chen et al. 2017; Wester & Burgess-Limerick 2015). Yksittäiseen tehtävään liittyvä todellinen riski muodostuu ei halutun tapahtuman todennäköisyyden ja siitä aiheutuvan seurauksen vakavuuden yhteisvaikutuksen tuloksena kuvan 5.2 mukaisesti.



Kuva 5.2 Tehtävään liittyvän riskin muodostuminen.

Niskanvaihtoprosessi on kokonaisuus, jonka turvallisuusnäkökulmia tarkastellaan tehtäväkohtaisen kvantitatiivisen arviointimenetelmän mukaisesti. OMAT-analysointimenetelmän avulla voidaan tarkastella koneen käyttämiseen ja niskanvaihdon kaltaisiin huoltoprosesseihin kohdistuvia riskitekijöitä ja niiden vaikutusta kokonaisturvallisuuteen. Menetelmän käyttöönoton perusteena on havainto, jonka mukaan prosesseihin liittyvien tehtävien sisältö vaikuttaa merkittäväällä tavalla käyttäjän tai esimerkiksi huoltoon osallistuvan henkilön toimintatapoihin. (Wester & Burgess-Limerick 2015) Tarkasteltavan tehtävän sisältöön, jossa porakoneen niska halutaan vaihtaa työkalun avulla, voidaan vaikuttaa suuresti tuotteen suunnittelun kautta. OMAT-menetelmän avulla tehtävän tarkastelun tavoitteena on tunnistaa tehtäväkohtaiset ei halutut tapahtumat ja arvioida niistä aiheutuvaa riskiä. Tarkastelun avulla pyritään löytämään keinoja riskien välttämiseksi tai niiden vaikutusten pienentämiseksi. Löydettyjen riskinhallintakeinojen hyödyntäminen konseptikehityksessä mahdollistaa kriittisiin tehtäviin liittyvien toimintaperiaatteiden kehittämisen niin, että merkittävimpien riskitekijöiden todennäköisyyttä tai seurausta pienentämällä koko prosessin turvallisuus paranee.

Kvantitatiivisen turvallisuusnäkökulmien tarkastelun ensimmäinen vaihe on tarkasteltavan tilanteen rajaus (Chen et al. 2017; Wester & Burgess-Limerick 2015). Niskanvaihtotyökalun käyttöön liittyvän huoltoprosessin tehtävänvirtausmalli on kuvattu kokonaisuudessaan liitteessä A. Turvallisuusnäkökulmia käsittelevien lähtötietojen hankkimiseksi tarkastelu tehdään käytössä olevan työkalun avulla tehtävästä huoltoprosessista. Koska kehitysprojektin tarkoitus on tuottaa uusi työkalukonsepti, huoltoprosessin tarkastelu rajataan tarkemmin käsittelemään ainoastaan vaiheet, joiden aikana työkalua käytetään.

Systeemin rajauksen jälkeen tehtäväkohtaisen riskin määrittämiseksi muodostetaan riskiluokitusmatriisi (Chen et al. 2017). Matriisi muodostetaan niin, että sen rivit edustavat ei halutun tapahtuman todennäköisyyttä, joka on tyypillisesti määritetty viidessä eri taajuuskategoriassa. Tapahtuman todennäköisyyden tai taajuuden ilmoittamiselle voi olla erilaisia tapoja. Se voidaan kuvata esimerkiksi prosentuaalisena todennäköisyytenä tai tapahtumana käyttötuntia kohti. Matriisin sarakkeet edustavat riskin toista tekijää, eli seurauksen vakavuutta. Niskanvaihtoprosessin riskiarvioinnissa seurauksen vakavuus on tapahtumataajuuden tavoin määritetty viidessä kategoriassa. Systemistä riippuen riskin seurauks voi vaihdella, ja se voidaan määrittää esimerkiksi henkilöihin, kalustoon tai ympäristöön kohdistuvana vahinkona. Esimerkki riskiluokitusmatriisin rakenteesta on esitetty taulukossa 5.2. Riskiluokitusmatriisin keskeinen sisältö on hyväksytyyn riskin rajaus. Tarkasteltavaan systeemiin ja sen yksittäisiin tehtäviin liittyy aina riski. Hyväksytty riski tarkastelee millä todennäköisyyden ja vaikutuksen yhdistelmällä voidaan katsoa, että tehtävään kohdistuva riski on hyväksyttävällä tasolla. Niskanvaihtoprosessin tehtäväkohtaisen riskiluokituksen arvioinnissa käytetty matriisi on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä F. Matriisin riskiluokitusten kategoriointi on tehty SMRT-riskiluokitusparametrien mukaisesti.

Tapahtuman todennäköisyys		Seurauksen vakavuus				
		1	2	3	4	5
		Harmiton	Pieni vaikutus	Keskivaikea	Vakava	Katastrofaalinen
A	Lähes varma	A1	A2	A3	A4	A5
B	Todennäköinen	B1	B2	B3	B4	B5
C	Mahdollinen	C1	C2	C3	C4	C5
D	Epätodennäköinen	D1	D2	D3	D4	D5
E	Harvinainen	E1	E2	E3	E4	E5

Taulukko 5.2 Riskiluokitusmatriisi (Ahola 2017).

Huolto- ja kunnossapito- ja huoltoprosessin OMAT-menetelmän mukaista tehtäväkohtaista riskiarviointia varten muodostetaan riskiarviointitaulukko. Taulukon sisältö koostuu systeemin rajauksen mukaisesti niskanvaihtoprosessin aikana tehtävistä toimenpiteistä, joissa käytetään huoltoon tarkoitettua työkalua. Suoritettavat tehtävät listataan taulukkoon virtausmallin mukaisessa järjestyksessä. OMAT-menetelmän mukaisesti tehdyssä turvallisuusanalyysissä käytetty riskiarviointitaulukko on esitetty liitteessä G. Taulukkoon listattuja tehtäviä tarkastellaan eritellen ei haluttuja tapahtumia, joiden toteutuminen tehtävien suorittamisen aikana on mahdollista. Tunnistettavien ei haluttujen tapahtumien suhteen tehdään rajaus, jonka mukaan niiden toteutumisen tulisi liittyä jollain tavalla työkalun käyttöön.

Muussa tapauksessa riskejä voidaan kyllä tunnistaa, mutta niiden hallintaan ei voida työkalun konseptisuunnittelun tuloksilla vaikuttaa. Kun prosessin tehtäväkohtaiset ei halutut tapahtumat on tunnistettu, niiden aiheuttamaa riskiä arvioidaan riskiluokitusmatriisin määritelmien perusteella. Tapahtumille osoitetaan niitä vastaavat todennäköisyyden sekä aiheutuvan seurauksen kategoriat, joiden perusteella riskiluokitus määrittyy matriisin osoittamalla tavalla.

Niskanvaihtoprosessista tehdyn riskiarvioinnin perusteella pystyttiin havaitsemaan, että työkalun käyttöön liittyy pääasiassa kaksi merkittävämpää riskitekijää. Erityisesti työkalun asentamisen ja irrottamisen aikana työkalu pitää sen toimintaperiaatteesta johtuen päästä viemään syöttölaitteen palkissa oleviin asennusrajapintoihin. Syöttölaitteen asennosta riippuen asennusrajapinta voi sijaita korkealla, mistä johtuen tehtävään liittyy korkealta putoamisen riski. Toinen tunnistettu riskitekijä on osittain ollut tiedossa jo projektin alusta lähtien, ja se liittyy poratangon putoamiseen. Tilanteissa, joissa niska vaurioituu yläkätisen porauksen aikana, irtonainen tanko joudutaan lukitsemaan paikoilleen minkä tarkoituksena on estää sen putoaminen porausreiästä. Poratangon lukitsemismekanismien pettäminen aiheuttaa riskin erityisesti tilanteisiin, joissa niskanvaihdon aikana joudutaan työskentelemään syöttöpalkin välittömässä läheisyydessä. Muita prosessista tunnistettuja riskejä olivat muun muassa työkalun tai muiden koneen osien putoaminen ja käsien tai jalkojen jääminen putoavien osien alle.

Kun tehtäväkohtaisen turvallisuustarkastelun avulla on saatu selville prosessin kriittiset tehtävät ja niihin liittyvät riskit, voidaan ottaa tarkasteluun menettelyt joiden avulla niiden ilmenemistä tai vaikutusta voidaan mahdollisesti pienentää. Työkalun asentaminen syöttöpalkkiin aiheuttaa esimerkiksi korkealta putoamisen riskin. Sama tilanne toistuu tehtävän aikana, jossa työkalun asennus pitää purkaa huolto prosessin päätteeksi. Korkealla työskenteleminen on vaikea toteuttaa turvallisilla menetelmillä kaivoksen ahtaassa toimintaympäristössä, missä henkilön nostimen tapaisten apuvälineiden käyttö ei välttämättä ole mahdollista. Yksi tapa välttää työskentelemistä korkealla on sijoittaa tarvittavat asennusrajapinnat niin, että tehtävät voidaan suorittaa maan tasolla. Poralaitteen puomiston ja syöttöpalkin asento voi kuitenkin vaihdella riippuen siitä, mihin suuntaan laitteella porataan. Näin ollen niskanvaihtotyökalun asennuksen sijainti vaihtelee syöttölaitteen orientaation mukaisesti eikä rajapintojen sijoittelulla voida saavuttaa haluttua lopputulosta. Toimivia ratkaisuja voivat paremminkin olla menetelmät, joilla vaikutetaan työkalun asennettavuuteen. Jos työkalun asettaminen paikoilleen onnistuu helposti esimerkiksi yhdellä kädellä, riski putoamiselle vähenee huomattavasti. Lähestymistavan tuottama vaikutus on riippumaton syöttöpalkin orientaatiosta ja on siten hyvä ratkaisu tarkastelta-

vaan tilanteeseen. Ideaalinen tilanne olisi, että työkalun asentamisen tarpeesta pystyttäisiin luopumaan. Tällöin tehtäviin liittyvä putoamisriski pystyttäisiin poistamaan kokonaan. Ideaalisen tilanteen saavuttaminen vaatisi toimintaperiaatteiden muuttamista hyvin perusteellisella tavalla, mikä voi vaatia muutoksien tekemistä laaja-alaisemmin konejärjestelmään.

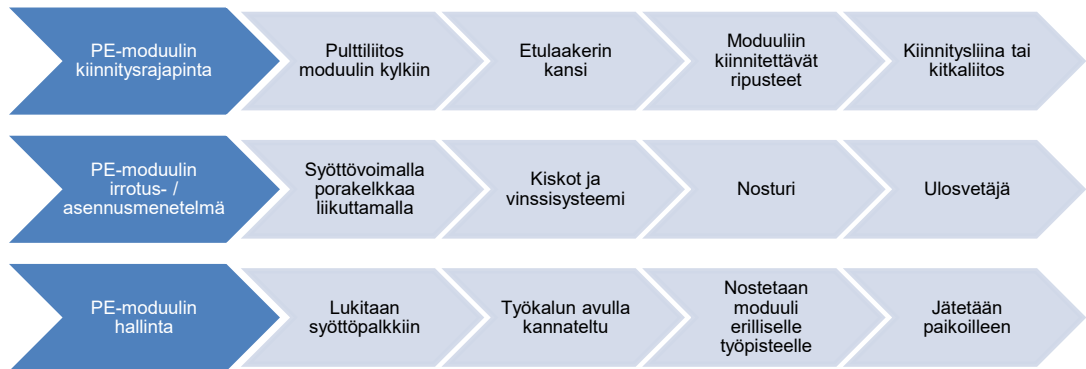
Toinen merkittävä riski, jonka hallitsemiseksi pyritään löytämään keinoja on poratangon putoaminen porausreiästä niskanvaihdon aikana. Riskiin johtavaan asetelmaan ei pystytä kovinkaan hyvin vaikuttamaan, joten ainoa käytettävissä oleva keino on pienentää tilanteesta aiheutuvan riskin vaikutusta. Poratangon putoamista voidaan estää esimerkiksi mekaanisilla rakenteilla. Syöttölaitteen kasetissa olevia kouria käytetään nykyisen ohjeistuksen mukaisesti tangon lukitsemisessa, ja ne toimivat myös mekaanisena esteenä kun ne siirretään suurella liikkeellä syöttöpalkin keskiöön. Lisäksi riskiä vahingon sattumiselle pienentää merkittävästi jos työskentelyä syöttöpalkin välittömässä läheisyydessä pystytään vähentämään. Muihin esille tulleisiin tilanteisiin liittyen, joissa putoavat osat voivat aiheuttaa pientä vahinkoa, tulisi myös tarkastella mahdollisuuksia riskien pienentämiseksi. Esimerkiksi itse työkalun osalta riskin vaikutusta pienentää merkittävästi, jos tuotteen painoa pystytään vähentämään nykyisestä.

Tunnistettuja riskejä ja niiden hallintaan eriteltyjä keinoja pyritään käyttämään hyväksi konseptikehityksen aikana, jotta uuden tuotekonseptin kautta pystyttäisiin kehittämään prosessin turvallisuuteen liittyviä näkökulmia. Lisäksi OMAT-tarkastelun tuloksia käytetään hyväksi konseptien arvioinnissa. Niskanvaihtoprosessin turvallisuusnäkökulmien tarkastelun tuloksiin liittyen on tärkeä huomioida, että ne perustuvat nykyisen käytössä olevan työkalun toimintaperiaatteisiin. Mikäli tuotekonsepteissa ideoidut toimintaperiaatteet poikkeavat suuresti nykytilanteesta, niistä johtuvat riskitekijät saattavat olla yhtäläillä hyvin erilaisia.

5.4 Niskanvaihtotyökalun konseptien muodostaminen

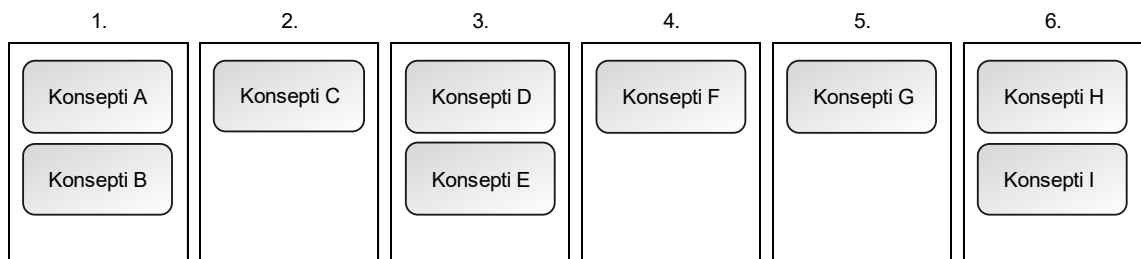
Ideapalaverin aikana tehdyn konseptikehityksen tavoite on työkalun toteuttamiseen liittyvien ideoiden määrällinen tuottaminen hyvin nopeatempoisen intuitioon perustuvan ongelmanratkaisun kautta. Ideoinnilla pyritään löytämään erilaisia lähestymistapoja ja uusia mahdollisia toimintaperiaatteita huolto-prosessin toteuttamiseksi. Uuden työkalumallin kehittämisen aikana vaihtoehtoisten konseptien määrää pyritään lopulta karsimaan, jolloin tarkastelu tarkentuu muutamaan vaihtoehtoiseen ratkaisumenetelmään. Prosessin aikana tehtävät valinnat perustuvat myös hyvin vahvasti intuitiiviseen konseptivaihtoehtoja vertailevaan tarkasteluun.

Konseptien muodostamisen ensimmäinen tavoite on alitoimintojen toteuttamiseen soveltuvien osaratkaisuiden kehittäminen. Lähtötietojen perusteella määritetyt välttämättömät alitoiminnot kuuluvat työkalun perusvaatimuksiin, ja niiden toteuttaminen on edellytys työkalun käytettävyydelle tarkasteltavassa tilanteessa. Kuvassa 5.3 alitoiminnot on esitetty uimaratakaaviossa, mihin on kuvattu sanallisesti erilaisia esille tulleita menetelmiä joilla toiminnot voitaisiin toteuttaa.



Kuva 5.3 Osaratkaisujen uimaratakaavio.

Osaratkaisujen pohjalta kehitettiin tuplatiimi-ideapalaverin toisen vaiheen aikana toiminnallisia konsepteja. Erilaisia ratkaisuehdotuksia saatiin palaverin aikana kehitettyä hyvin paljon. Osa esitetyistä ideoista oli kuitenkin vain osittaisia ratkaisuja tarkasteltavaan ongelmaan ja jotkin ideoista muodostuivat keskenään hyvin samankaltaisiksi, joten niistä koottiin yksi kollektiivinen ratkaisuehdotus. Kaikkiaan erilaisia konseptivariantteja otettiin arvioitavaksi yhdeksän kappaletta, jotka on esitetty tarkemmin liitteessä H. Tässä kappaleessa konsepteja kuvataan aakkosittain variantteina A – I. Konseptivarianttien tarkastelun aikana esiteltävien ideoiden sisältö oli pääasiassa vielä hyvin suurpiirteistä. Ehdotusten välisiä hyötyjä ja haittoja oli vaikea arvioida saatavilla olevan tiedon perusteella. Tarkastelun selkeyttämiseksi variantit jaoteltiin niiden toimintaperiaatteiden mukaan taulukon 5.3 mukaisesti. Jaottelun avulla konseptien karsintaa pystyttiin lähestymään toimintaperiaatteita tarkastelevasta näkökulmasta.



Taulukko 5.3 Toimintaperiaatteiden mukaan kategorioidut konseptivariantit.

Konseptikehityksen aikana saavutettiin prosessille asetettu tavoite erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen määrällisestä tuottamisesta. Lisäksi tuotettujen mallien joukossa pystyttiin hyödyntämään hyvin erilaisia lähestymistapoja ongelman ratkaisemiseksi. Vaihtoehtoisten työkalukonseptien ideoinnin jälkeen siirryttiin prosessin kolmanteen vaiheeseen, jonka tavoitteena oli supistaa tarkasteltavaa otosta valitsemalla konseptivarianteista parhaat ratkaisut jotka halutaan viedä eteenpäin mahdolliseen jatkokehitykseen. Valintaperusteet olivat konseptien kehitysvaiheessa vielä hyvin intuitiivisia, mutta niiden aikana otettiin huomioon erityisesti tärkeimmät turvallisuuteen vaikuttavat näkökulmat ja konseptien tuoteominaisuuksiin liittyvä potentiaali. Tuplatiimimenetelmän mukaisesti konseptien valinta tehtiin äänestämällä ratkaisuvaihtoehtojen kesken. Äänestyksen perusteella kolme parasta vaihtoehtoa uuden niskanvaihtotyökalun konseptiksi olivat:

- toimintaperiaatteen kolme mukaisesti toimiva konseptivariantti D,
- toimintaperiaatteen viisi mukaisesti toimiva konseptivariantti G ja
- toimintaperiaatteen kuusi mukaisesti toimiva konseptivariantti HI, jossa on yhdistetty näkökulmat molemmista ratkaisuvaihtoehdoista H sekä I.

Kyseiset konseptivariantit valittiin uuden niskanvaihtotyökalun jatkokehitykseen, jonka ensimmäinen tarkastelu tehtiin vielä ideapalaverin lopuksi. Valitut ratkaisumallit otettiin pienryhmissä uuteen tarkasteluun, jonka aikana niiden rakennetta vietiin hieman yksityiskohtaisemmalle tasolle. Lisäksi konsepteista pyrittiin yhteenvedon omaisesti tunnistamaan niiden tarjoamia etuja huoltoprosessin toteuttamiselle sekä mahdollisesti niiden toteutukseen liittyviä haasteita, joita tulisi jatkokehityksen aikana pystyä ratkaisemaan.

Toimintaperiaatteen kolme mukaisesti valittu konsepti D mahdollistaa porakoneen PE-moduulin irrottamisen ja niskan vaihtamisen ilman välttämättömiä syöttöpalkkiin tulevia liitosrajapintoja. Työkalun asentaminen vaatii hieman enemmän toimenpiteitä, mutta sen rakenne voidaan tehdä huomattavan kevyeksi. Syöttöpalkista mahdollisesti riippumattoman asennuksen lisäksi myös PE-moduulin irrottaminen voidaan tehdä ilman koneen operointia. Jatkotarkastelun aikana useat pienryhmät kiinnittivät erityistä huomiota työkalun toimintamekaniikkaan ja sen toteuttamismahdollisuuksiin. Toimintoihin liittyen voi tulla eteen joitain haasteita, sillä toteutukseen liittyy työkalun osien välistä dynaamista liikettä. Lisäksi työkalun asennuksen riippumattomuus syöttölaitteesta voi aiheuttaa kokonpanon tuentaan liittyviä haasteita.

Toimintaperiaatteen viisi mukaisesti valittu konsepti G esitteli hyvin innovatiivisen lähestymistavan niskanvaihtoprosessiin. Konseptissa pystyttiin käyttämään hyväksi monia ideaaliratkaisun näkökulmia ja sen avulla pystytään vastaamaan moniin työkalun käytet-

tävytyteen liittyviin keskeisiin haasteisiin. Ratkaisumenetelmän avulla pystyttäisiin luopumaan kokonaan erillisesti asennettavasta työkalusta, jonka tehtävät olisi monilta osin sisällytetty laitteen operatiivisiin toimintoihin. Näin ollen konseptin käyttöönotto vaatisi suurempia muutostöitä syöttölaitteen muihin rakenteisiin eikä työkalun käyttöönottoa voitaisi odottaa lyhimmällä mahdollisella aikajänteellä. Jatkotarkastelun aikana huomioitiin erityisesti myös ratkaisun sisältämä potentiaali tunnistettujen riskien hallinnassa. Asennustarpeen poistumisen myötä myös korkealla paikalla työskentelyä ei tulisi tarvitsemaan, minkä lisäksi menetelmän avulla pystyttäisiin merkittävästi pienentämään putoavan poratangon aiheuttamaa vaaraa huoltoa toteuttavalle henkilölle.

Toimintaperiaatteen kuusi mukaan valittu konsepti HI on yhdistelmä varianttien H ja I ratkaisuista, jossa molempien mallien lähestymistapa huoltoprosessin toteuttamiseksi on pystytty sisällyttämään yhteen työkaluun. Toimintaperiaatteen mukaan työkalun asentamista pystyttäisiin helpottamaan todella paljon. Lisäksi työkalu olisi itsessään hyvin yksinkertainen ja kevyt. Se olisi helppo kuljettaa koneen mukana ja asentaa paikoilleen yhdellä kädellä hyvin lyhyessä ajassa. Ratkaisu ei vaatisi muutoksia laitteen rakenteisiin ja se voitaisiin toteuttaa nopeasti, jolloin työkalu voitaisiin varustaa käytössä oleviin laitteisiin hyvin joustavasti.

Konseptikehityksen aikana pystyttiin tavoitteen mukaisesti valitsemaan kolme vaihtoehtoista varianttia uuden niskanvaihtotyökalun ratkaisumalliksi. Tutkimusprojektin seuraavana tavoitteena on arvioida valittuja vaihtoehtoja analyttisin keinoin ja tehdä valinta, minkä konseptin mukaisesti uutta niskanvaihtotyökalua lähdetään toteuttamaan.

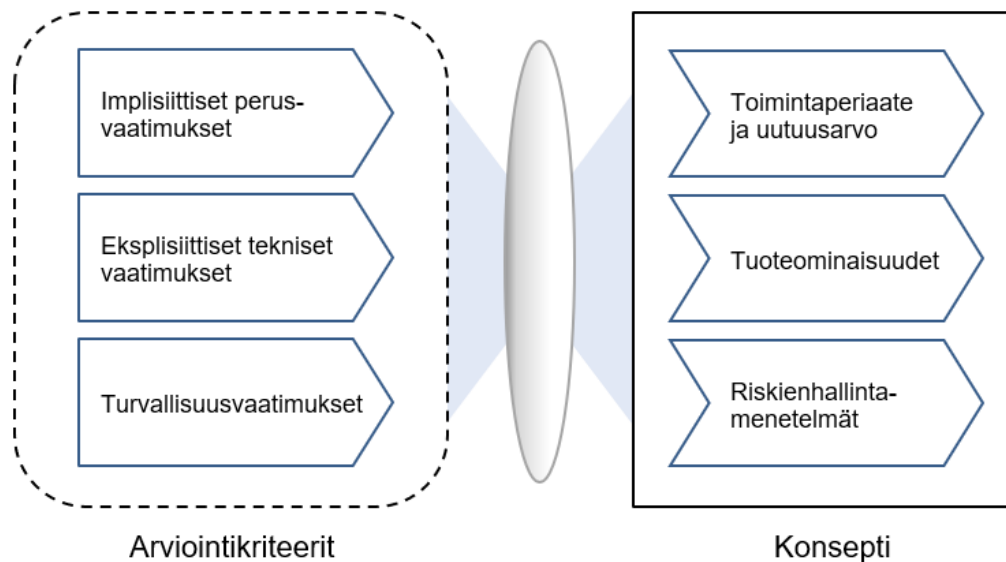
6. KONSEPTIVARIANTTIEN ARVIOINTI

Suunnittelun arvioinnin tavoitteena on varmistaa, että tuotekehityksen aikana saavutetuilla tuloksilla vastataan asiakkaiden ja muiden sidosryhmien tuotteelle asettamiin odotuksiin laadun ja toiminnallisuuden suhteen. Arviointikriteerit tulee määrittää suunniteltavan tuotteen toimintaympäristön ja käyttötarkoituksen mukaisesti niin, että niiden avulla voidaan mitata tarkasti haluttuja ominaisuuksia ja saadaan johdonmukaisesti tuotettua vertailukelpoisia tuloksia eri konseptivarianttien välille. (Yang & El-Haik 2008, 18.1.1.)

Konseptivarianttien arvioinnissa käytettävät kriteerit voidaan jakaa pääsääntöisesti kahdenlaiseen eri kategoriaan niiden asettamien vaatimusten luonteen perusteella. Implisiittiset vaatimukset muodostavat arviointikriteerien perusosan. Näiden perusvaatimusten määrittäminen ei vaadi ulkoista tekijää vaan edellytys vaatimusten toteutumisesta on itsestään selvä ja usein ehdoton. Toinen arviointiperuste muodostuu niin sanottujen teknisten vaatimusten kautta, jotka ovat luonteeltaan eksplisiittisiä. Niiden toteuttamiseen liittyvät vaatimukset ovat esimerkiksi asiakas- tai käyttäjäperusteisia ja johtuvat siten vahvasti mieltymyksistä ja laadun kokemuksesta. Tuotteeseen kohdistuvien vaatimusten kartoittamisen ja niistä johdettavien arviointikriteerien muodostamisen yhteydessä on hyvin tärkeää pystyä tunnistamaan ero vaatimusten implisiittisessä tai eksplisiittisessä tulkinnassa. Konseptikehityksen ja arvioinnin aikana on pystyttävä tunnistamaan ovatko vaatimukset välttämättömyksiä vai tuotteeseen kohdistuvia toiveita. (Pahl et al. 2007, s. 146 – 151)

Uuden niskanvaihtotyökalun konseptivarianttien arviointi perustuu niiden rakenteellisia ja toiminnallisia ominaisuuksia tarkasteleviin perusvaatimuksiin sekä teknisiin vaatimuksiin. Työkalun tapauksessa implisiittiset perusvaatimukset koostuvat välttämättömien alitoimintojen toteuttamisesta, sillä ne toimivat edellytyksenä työkalun käytettävyydelle huolto-prosessin apuvälineenä. Alitoimintojen toteuttaminen määrittää tavan jolla huolto-prosessia lähestytään. Näin ollen implisiittisiä arviointikriteerejä voidaan tarkastella konseptien toimintaperiaatteiden kautta. Lisäksi halutaan arvioida mahdollista uutuusarvoa, joka voidaan saavuttaa innovatiivisten toimintaperiaatteiden käyttöönoton avulla. Tuotekehitysprojektin tiedonhankintavaiheen aikana kartoitettiin käyttäjien ja muiden sidosryhmien näkemykset tuotteen laadun muodostumisesta, minkä perusteella työkalusta tunnistettiin tärkeimmät tuoteominaisuudet ja niiden tavoitteet. Työkalun tuoteominaisuuksien haluttujen arvojen viitekehukset muodostavat arviointikriteerien eksplisiittisesti määrittävät tekniset vaatimukset. Ne muodostuvat mielipiteiden ja kokemusten perusteella joten niitä voidaan kuvailla työkaluun kohdistuvina toiveina siinä missä perusvaatimukset

ovat sisällöltään ehdottomia. Vaikka teknisten vaatimusten toteutuminen ei ole työkalun toiminnan edellytys, pystytään niillä vaikuttamaan suuresti työkalun- ja sitä kautta koko prosessin laatuun. Kuvassa 6.1 on havainnollistettu analyttiset arviointikriteerit ja niiden tarkastelu konseptivarianteissa toteutuvien ominaisuuksien kautta.



Kuva 6.1 Konseptivarianttien arviointi määritettyjen arviointikriteerien perusteella.

Perusvaatimusten ja teknisten vaatimusten lisäksi kolmannen arviointikriteerin muodostavat turvallisuusvaatimukset. Niille voidaan määrittää eräänlainen perusvaatimustaso, joka on hyväksytyjen riskiarvojen mukaan arvioitu vähimmäisvaatimus. Turvallisuusvaatimukset ovat luonteeltaan perusvaatimusten tapaan implisiittisiä ja niiden toteuttaminen on edellytys työkalun käyttöönoton mahdollisuudelle. Turvallisuuteen liittyvät näkökulmat ovat jatkuvasti tarkkailun alaisena ja prosesseja pyritään aina kehittämään käyttäjäturvallisuuden parantamiseksi. Näin ollen turvallisuusvaatimukseen liittyvä sisältö ei rajoitu tuotteelle määrittyvään perusvaatimustasoon, vaan uusia riskienhallintamenetelmiä pyritään kartoittamaan ja käyttöönottamaan jos niiden avulla voidaan saavuttaa kehitystä tuotteissa ja prosesseissa.

Niskanvaihtotyökalun tuotekehityksen tapauksessa tuotteesta on jo olemassa käytössä oleva versio, joka on osaltaan täyttänyt siihen kohdistuvat turvallisuusnäkökulmien asetamat vaatimukset. Sama edellytys koskee validoitavia konseptivariantteja mutta niiden arvioinnissa halutaan erityisesti keskittyä siihen, miten hyvin niiden käyttöönotolla voitaisiin parantaa prosessin kokonaisturvallisuutta nykytilanteeseen verrattuna. Turvallisuusvaatimusten arvioiminen perustuu konseptien riskienhallintamenetelmiin, joiden avulla voidaan kehittää prosessia turvallisemmaksi erityisesti merkittävimpien tunnistettujen riskitekijöiden osalta.

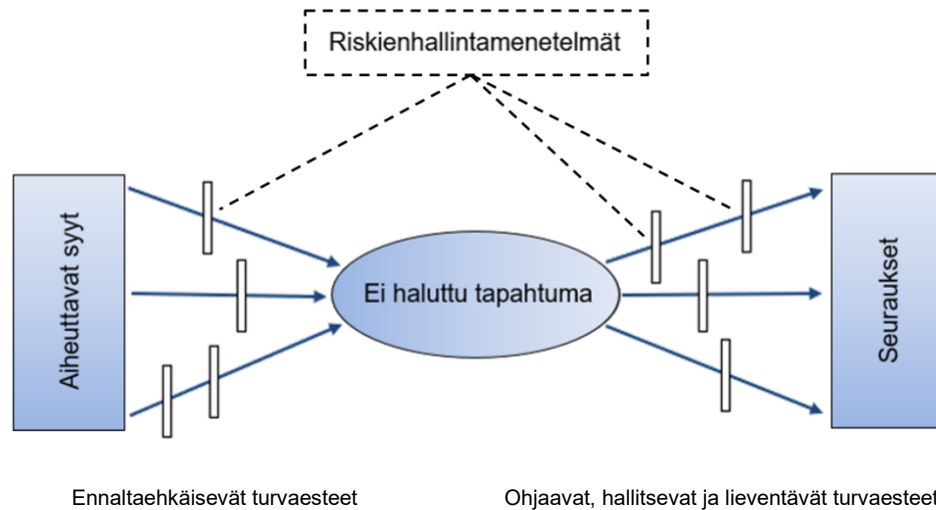
6.1 Konseptivarianttien kyky vaikuttaa tunnistettujen riskien hallintaan

Prosessin turvallisuuskulmiin liittyvä tarkastelu perustuu erilaisiin malleihin riskien ja ei haluttujen tapahtumien etenemisestä. Niiden avulla pyritään selvittämään miten mahdollisiin tapaturmiin johtavat tilanteet syntyvät ja miten ne johtavat tehtäväkohtaisessa riskiarvioinnissa tunnistettuihin tilanteisiin. Tapahtumien etenemismallit voidaan pääsääntöisesti luokitella kolmeen pääkategoriaan. Ensimmäinen kategoria on yksinkertainen lineaarinen malli, jossa suora tapahtumaketju johtaa riskin toteutumiseen ja mahdollisen tapaturman syntymiseen. Kategoriaan lukeutuvien tapahtumien etenemistä voidaan kuvailla domino efektinä, jossa yksittäiset tekijät vaikuttavat ketjussa seurausten syntymiseen. Tilanteet ovat kuitenkin harvoin näin yksiselitteisiä ja usein tapahtumien syntymiseen ja etenemiseen vaikuttavia tekijöitä on useampia. Toisen kategorian etenemismalleissa seuraukset syntyvät useamman lineaarisen mallin yhteisvaikutuksena. Ensimmäisen ja toisen kategorian malleissa tapahtumat etenevät johdonmukaisen syy-seuraus suhteen mukaisesti. Kolmannen kategorian malli poikkeaa kyseisestä johdonmukaisuudesta. Sen mukaan ei halutut tapahtumat ja niiden seuraukset syntyvät satunnaisesti toteutuvien tekijöiden yhteisvaikutuksena. (Chen et al. 2017)

Ei haluttujen tapahtumaketjujen etenemismallien avulla pystytään tarkastelemaan tilanteita kokonaisvaltaisesti ja paikantamaan erilaisia mahdollisuuksia riskien syntymiseen johtavien syiden välttämiseksi tai niistä aiheutuvien seurausten vaikutuksen pienentämiseksi. Riskienhallintamenetelmiä kuvataan eräänlaisina turvaesteinä ja ne toimivat tapahtumaketjun eri vaiheissa estäen sen etenemistä tai vaikuttaen niiden lopullisiin seurauksiin kokonaisturvallisuutta parantavalla tavalla. Turvaesteiden luokitus perustuu niiden tapaan toimia ei haluttujen tapahtumaketjujen aikana ja ne voivat olla fyysisiä tai esimerkiksi toimintatapoihin liittyviä asioita. Ennaltaehkäisevät turvaesteet toimivat esteenä tilanteen aiheuttavien tekijöiden ja siihen johtavan tapahtuman välissä. Ohjaavat ja hallitsevat turvaesteet toimivat ei halutun tapahtuman jälkeen pienentäen esimerkiksi sen kestoaikaa. Lieventävät turvaesteet vaikuttavat vastaavasti tapahtuman jälkeen pienentäen siitä aiheutuvien seurausten vaikutusta. (Chen et al. 2017)

Kuvassa 6.2 on esitetty eräänlainen malli tapahtumaketjun etenemisestä. Mallissa tapahtuman aiheuttavat tekijät ja seuraukset on esitetty joukkona erilaisia mahdollisuuksia ja niiden välissä on ei haluttu tapahtuma, jonka seurauksena esimerkiksi mahdollinen tapaturma voi syntyä. Tapahtumaketjun ja turvaesteiden mallintamisen avulla pystytään tarkastelemaan riskienhallintamenetelmien vaikutusta tapahtuman etenemiseen ja myös

paikantamaan mahdollisia aukkoja, joiden kautta tapahtumat voivat edetä ja missä turvallisuutta parantavia toimenpiteitä voidaan vielä ottaa käyttöön prosessin turvallisuuden parantamiseksi.



Kuva 6.2 Tapahtumaketjun etenemismalli ja turvaesteiden käyttö riskienhallintamenetelmänä.

Niskanvaihtotyökalun konseptivarianttien arvioimisessa pyritään tarkastelemaan niiden kykyä parantaa prosessin turvallisuutta erilaisten turvaesteiden kautta. Varianttien toimintaperiaatteet vaikuttavat erilaisten riskienhallintamenetelmien käyttöönoton mahdollisuuksiin ja siten niillä voi olla erilaiset edellytykset prosessin kokonaisturvallisuuden kehittämiseen. Tehtäväkohtaisen riskiarvioinnin avulla tunnistettiin prosessin kriittisimmät tehtävät ja niihin liittyvät ei halutut tapahtumat. Tarkastelun perusteella määritettiin, että suurimmat riskit liittyvät korkealta paikalta putoamiseen työkalun asennuksen ja purun yhteydessä sekä poratangon putoamiseen porausreiästä, kun niskaa vaihdetaan syöttöpalkin välittömässä läheisyydessä. Molemmat tapahtumat voidaan tarkastella kuvassa 6.2 esitetyn tapahtumaketjun etenemismallin avulla.

Korkealta putoaminen on tilanne, jonka tapahtuman jälkeiset ohjaavat-, hallitsevat- tai lieventävät turvaesteet on vaikea toteuttaa työkalussa. Putoamisen seurauksien lieventäminen on mahdollista esimerkiksi turvavaljaiden avulla mutta niiden käyttöönotto ei liity suoranaisesti työkalun toteuttamiseen eikä sillä ole siten painoarvoa konseptivarianttien arvioinnin kannalta. Sen sijaan riskinhallinta voidaan toteuttaa ennaltaehkäisevällä menetelmällä välttämällä korkealla paikalla työskentelemisen tarvetta tai tekemällä se mahdollisimman helpoksi. Konseptin G käyttöönotto mahdollistaa huolto prosessin lähestymisen ilman erillisesti asennettavaa työkalua minkä myötä korkealla paikalla työskenteilyn tarve voidaan parhaassa tapauksessa poistaa kokonaan prosessin aikana toteutet-

tavista tehtävistä. Vastaavasti konsepti HI on rakenteeltaan riittävän kevyt yhdellä kädellä hallittavaksi. Lisäksi sen asentaminen ja purkaminen on hyvin helppo ja nopea toimenpide, minkä myötä tehtävä on mahdollista toteuttaa pienellä vaivalla. Konseptivariantin HI käyttöönotto ei poista tarvetta korkealla työskentelylle, mutta tehtävän suorittamisen helppous pienentää riskin todennäköisyyttä merkittävästi. Muista vaihtoehtoisista varianteista poiketen konsepti D vaatii enemmän kokoonpanotyötä eikä sen asennusta voida suorittaa erityisen nopeasti. Vaikka konseptin rakenne on kevyt ja sen käsittely onnistuu yhdellä kädellä, vaatii kokoonpanotyö hyvin todennäköisesti kaksi vapaata kättä. Näin ollen riskinhallintamenetelmien avulla saavutettava prosessin turvallisuuden kehittäminen korkealta putoamiseen liittyvissä tilanteissa on haastavaa konseptin D käyttöönotolla.

Poratangon putoaminen yläkätisiä reikiä porattaessa muodostaa toisen merkittävän riskitekijän erityisesti tehtävien aikana, joissa joudutaan työskentelemään syöttöpalkin välittömässä läheisyydessä. Tarvetta vaaralliselle alueelle pääsyyn tulisi vähentää mahdollisimman paljon esimerkiksi sijoittamalla huoltokohteet mahdollisuuksien mukaan sen ulkopuolelle (EN 292-2:1991, s. 10, 19). Turvallinen etäisyys putoavan poratangon aiheuttamasta vaarasta voidaan määrittää olevan 1,5 metriä (SFS-EN ISO 13857:2019, s. 12). Huoltotoimenpiteiden toteuttaminen vastaavalta etäisyydeltä on kuitenkin hyvin haastavaa. Tehtäviä joiden aikana joudutaan työskentelemään syöttöpalkin läheisyydessä ovat esimerkiksi työkalun asennus ja purku, PE-moduulin liitosten purkaminen ja takaisin asentaminen sekä itse niskan vaihtaminen. Vaikka tarvetta vaaralliselle alueelle pääsyyn ei voitaisi täysin poistaa, voidaan prosessin turvallisuutta parantaa pienentämällä aikaa, joka joudutaan olemaan kyseisen riskin vaikutuspiirissä.

Poratangon lukitseminen huoltoprosessin ajaksi toteutettiin Sandvikin ohjeistuksen mukaan kasetin sekä pidon kourien avulla sekä taivuttamalla poratanko syöttöpalkin kierolla porausreiän seinämiä vasten. Lukitsemismenetelmällä saavutettu riskinhallintajärjestelmä on moniosainen ja poratangon putoamiseen johtava tilanne vaatisi kolmanteen kategoriaan kuuluvan tapahtumaketjun etenemismallin mukaisesti usean osajärjestelmän sattumanvaraisen toimintahäiriön samanaikaisesti. Riskin toteutuminen on siis hyvin epätodennäköistä, mutta sen seuraukset voivat samaan aikaan olla hyvin vakavia. Poratangon putoamisen aiheuttamaa riskiä voidaan pyrkiä hallitsemaan konseptivarianttien avulla hyödyntämällä pääasiassa tapahtuman jälkeisiä turvaesteitä, sillä työkalu itsessään ei kuulu osaksi poratangon lukitsemisjärjestelmää.

Konseptivariantin G hyödyntämä toimintaperiaate vähentää syöttöpalkin läheisyydessä tehtävien toimenpiteiden määrää hyvin merkittävästi. Lisäksi menetelmän avulla poratangon ja huoltoa toteuttavan henkilön väliin muodostuu luonnostaan mekaaninen este,

joka toimii hallitsevana turvaesteena pysäyttäen ei halutun tapahtuman etenemisen. Konseptivariantin HI asennus tapahtuu riskin suhteen epäsuotuisalla alueella, mutta sen asentamisen helppous pienentää riskin vaikutusta huomattavan paljon. Työkalu toimisi osittain myös itsessään mekaanisena esteenä, joka toimii myös hallitsevana turvaesteena riskin etenemisen pysäyttämiseksi. Myös konseptin D asennus tapahtuu riskin suhteen epäsuotuisalla alueella mutta siihen kuluva aika on huomattavasti pidempi. Variantin toimintaperiaate ei mahdollista hallitsevan turvaesteen käyttöönottoa ilman ylimääräistä varustusta. Niinpä sen avulla ei pystytä toteuttamaan merkittäviä riskienhallintamenetelmiä poratangon putoamisen aiheuttaman riskin pienentämiseksi.

Putoavista osista aiheutuvia pienempiä riskitekijöitä voidaan hallita ennaltaehkäisevillä sekä lieventävillä turvaesteillä. Työkalun putoamista voidaan ennaltaehkäistä tekemällä siitä helposti kannateltava esimerkiksi tarkoitukseen suunnitelluilla kädensijoilla. Koneen osien ja muiden komponenttien putoamisesta aiheutuvaa riskiä voidaan myös tehokkaasti hallita vähentämällä käsin tehtävien toimenpiteiden määrää (EN 1005-2:2003+A1:2008). Konseptivariantin G tapauksessa työkalun putoamista ei luonnollisesti voi tapahtua, sillä sitä ei käsitellä huoltoprosessin aikana erillisenä kappaleena eikä sitä täydy asentaa. Konseptivariantit HI sekä D ovat molemmat helposti kannateltavia muotonsa ansiosta. Lisäksi ne ovat rakenteeltaan hyvin kevyitä ja niiden putoamisesta aiheutuva vahinko jäisi näin ollen myös huomattavan pieneksi. Osien keveys toimii tarkastelun näkökulmasta lieventävänä turvaesteena.

6.2 Vaihtoehtoisten työkalukonseptien vertailu

Konseptivarianttien vertailun tavoitteena on määrittää eri ratkaisuvaihtoehtojen yksilölliset vahvuudet vertaamalla niiden ominaisuuksia toisiinsa sekä arvioimalla kuinka paljon ne tuottavat lisäarvoa käytössä olevaan työkaluun verrattuna. Tuotekehityksen tulosten arvioinnissa käytetään tyypillisesti erilaisia valinta- ja validointimenetelmiä. Valintaprosessien tarkoituksena on karsia vaihtoehtoisten ratkaisujen määrää erilaisten valintakriteerien avulla ja määrittää konseptit jotka halutaan viedä jatkokehitykseen. Jatkokehityksen tuloksena valmiita ratkaisuvaihtoehtoja voidaan arvioida validointimenetelmien avulla, joista yksi hyvin tyypillisesti käytetty on hinta – hyöty -analyysi. (Pahl et al. 2007, s. 110) Konseptivariantteihin liittyvä validointi perustuu hyvin paljon yksityiskohtaisempaan tarkasteluun karsiviin valintaprosesseihin verrattuna ja se toteutetaan pääsääntöisesti konseptien kehitysprosessin loppuvaiheessa, jolloin niiden rakenteen ja ominaisuuksien yksityiskohtaiset parametrit on pystytty määrittämään. Niskanvaihtotyökalun kehitysprojektin aikana tuotettujen ratkaisuvaihtoehtojen karsinta toteutettiin ideapalaverin aikana intuitiivisin arviointimenetelmin äänestämällä konseptivariantit D, G sekä HI

jatkotarkasteluun. Valittujen ratkaisuvaihtoehtojen välillä tehdään vielä analyttinen vertailu käyttämällä hyväksi valintaprosessille tyypillistä lähestymistapaa.

Konseptivarianttien vertailu perustuu määritettyihin arviointikriteereihin, joita olivat implisiittiset perusvaatimukset, eksplisiittiset tekniset vaatimukset sekä turvallisuuteen liittyvät näkökulmat. Lisäksi tarkasteluun halutaan lisätä varianttien kokonaisvaltainen kyky vastata niille asetettuihin laatuodotuksiin sekä työkalun ja sen toimintaperiaatteen käyttöönotettavuus. Vertailussa pyritään arvioimaan kuinka hyvin konseptien ominaisuudet vastaavat arviointikriteerien asettamiin vaatimuksiin ja miten ne sijoittuvat vertailussa toisiinsa nähden. Taulukossa 6.1 on esitetty systemaattisessa valintaprosessissa käytetty arviointitaulukko, johon on listattu valitut konseptivariantit sekä niiden vertailussa käytettävät arviointikriteerit. Jokaisen konseptivariantin kohdalla kutakin kriteeriä on arvioitu sen mukaan täytyykö niiden asettamat vaatimukset vai liittykö niihin erityisiä haasteita.

Konseptivariantit	Perusvaatimukset täyttävät toimintaperiaatteet ja mahdollinen uutuusarvo					
	Tuoteominaisuudet täyttävät työkalulle asetettujen teknisten vaatimusten viitearvot					
	Työkalun kyky kehittää turvallisuusnäkökulmiin liittyviä haasteita					
	Työkaluun kohdistuvien laatuodotusten täytyminen					
	Työkalun ja toimintaperiaatteen käyttöönotettavuus					
	Ratkaisuun liittyvät huomiot					
D	+	+	--	?	?	Prosessi ei välttämättä kehity merkittäväällä tavalla
G	++	++	++	++	--	Teknisesti paras ratkaisu, jonka käyttöönottoon liittyy haasteita
HI	+	+	+	+	++	Hyvä ratkaisu, jonka toteuttaminen onnistuu pienellä vaivalla

(+ / ++) Ratkaisu vastaa valintakriteeriin hyvin / erittäin hyvin.

(- / --) Valintakriteerin täyttämiseen liittyy haasteita / suuria haasteita.

(?) Ratkaisun sisältämä tieto on puutteellinen arvioinnin toteuttamiseksi.

Taulukko 6.1 Systemaattinen konseptivarianttien välinen vertailu.

Arvioinnin perusteella huomataan, että kaikki variantit toteuttavat implisiittisesti määritetyt työkalun perusvaatimukset. Konseptivariantti G sijoittuu kriteerin kohdalla vertailussa parhaiten, sillä sen innovatiivisen toimintaperiaatteen avulla pystytään tuottamaan merkittävää uutuusarvoa prosessiin. Työkalun teknisiin vaatimuksiin lukeutuvien tuoteominaisuuksien osalta konseptivariantit G ja HI sijoittuvat hyvin. Tärkeimmiksi tuoteominaisuuksiksi määritettiin työkalun paino, koko sekä kiinnitysmekanismin helppous. Variantti G on toimintaperiaatteensa myötä käytännössä painoton, eikä sitä tarvitse asentaa tai kuljettaa erillisessä alustassa. Variantti HI vastaavasti toteuttaa kaikki määritetyt tuoteominaisuudet hyvin, vaikka se ei samalla tavalla mukaile ideaaliratkaisun periaatteita. Konseptivariantti D toteuttaa pääsääntöisesti tuoteominaisuuksiin kohdistuvat vaatimukset.

set. Sen kiinnitysmekanismi on kuitenkin huomattavasti työläämpi kuin muiden varianttien. Vaihtoehtoisten ratkaisujen kykyä parantaa prosessin turvallisuutta tarkasteltiin kappaleessa 6.1. Sen aikana tunnistettiin, että erityisesti konseptivariantin D käyttöönotolla riskienhallintamenetelmien käyttöönotossa esiintyi huomattavia haasteita.

Työkaluun kohdistuvien laatuodotusten osalta konseptivariantti G tuottaa muihin vaihtoehtoihin ratkaisuihin verrattuna enemmän arvoa helpottamalla huolto prosessin toteuttamista hyvin merkittävällä tavalla. Myös konseptivariantti HI tuottaa huomattavaa lisäarvoa huolto prosessiin ja sen avulla pystytään vastaamaan pääosin kaikkiin käyttäjien ja muiden sidosryhmien asettamiin vaatimuksiin ja toiveisiin. Konseptivariantti D ei pärjää vertailussa yhtä hyvin muihin vaihtoehtoihin verrattuna ja sen käyttöönotto saattaa esitellä prosessiin uuden työkalun, joka ei lopulta paranna tehtävän kokonaiskuvaa merkittävästi. Käyttöönotettavuuden osalta variantti HI on toteutettavissa hyvin nopealla aikajänteellä ja se voidaan varustaa käytössä oleviin laitteisiin hyvin saumattomasti. Vastavasti variantti G vaatii huomattavia muutoksia koneen rakenteisiin ja sen käyttöönotto rajoittuisi todennäköisesti vain uusiin laitteisiin. Variantin D käyttöönotettavuus voi riippua esimerkiksi eri porakonetyypeistä. Näin ollen siihen liittyy hieman epävarmuutta eikä kriteerin toteutumiseen pystytä vastaamaan yksiselitteisesti.

7. TUTKIMUSPROJEKTIN YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää vaativissa kaivosolosuhteissa tehtävään niskanvaihtoprosessiin liittyviä haasteita sekä tarkastella mahdollisuutta prosessin kehittämiseksi tuottamalla uusi työkalukonsepti huoltamiseen käytettävästä työkalusta. Tarkasteltavana kalustona tutkimuksen aikana oli Sandvikin hydraulinen päältäiskevä pitkäreikäporauslaite. Laitteelle tyypillisistä louhintamenetelmistä johtavat tilanteet määrittivät olosuhteet, joissa työkalun avulla tehtävä huoltoprosessi on pystyttävä toteuttamaan. Tutkimusprojektin läpivienti toteutettiin tyypillisen tuotekehitysmallin mukaisesti kolmen suuremman tehtäväkokonaisuuden kautta. Projekti aloitettiin tuotteeseen liittyvän tiedon hankinnalla, jonka aikana selvitettiin loppukäyttäjien ja muiden tärkeiden sidosryhmien näkemys tuotteen laadun muodostumisesta. Tiedonhankinnan keskeisimpänä tavoitteena oli selvittää työkalun tärkeimmät tuoteominaisuudet ja miten ne vaikuttavat lopputuotteen laadun muodostumiseen. Tuotetiedon hankinnan jälkeen muodostettiin konkreettisia konseptivaihtoehtoja uudesta niskanvaihtotyökalusta ja vertailtiin niiden käyttönotolla saavutettavaa lisäarvoa huoltoprosessissa.

Konseptikehityksen tavoitteena oli tuottaa kolme vaihtoehtoista konseptivarianttia, joista uusi niskanvaihtotyökalu voidaan valita jatkotarkastelun kautta. Tavoitteessa onnistuttiin hyvin ja työkalusta koottiin toimintaperiaatteiltaan kolme hyvin erilaista vaihtoehtoa. Konseptivariantteja vertailtiin projektin loppuvaiheessa käyttäen hyväksi valintaprosessille tyypillistä lähestymistapaa. Arvioinnissa tarkasteltiin muun muassa varianttien toimintaperiaatteita, tuoteominaisuuksien viitekehysten toteutumista sekä työkalujen käyttönotolla saavutettavia parannuksia huoltoprosessin turvallisuudessa. Taulukoissa 7.1, 7.2 ja 7.3 on esitetty ratkaisuvaihtoehdoille tehtyjen tarkastelujen yhteenveto.

Konseptivariantti D	Toimintaperiaate	+ Toteuttaa kaikki vaaditut alitoiminnot. + Huoltoprosessin on hyvin riippumaton laitteen muista rakenteista. - Työkalun asentaminen vaatii huomattavasti kokoonpanotyötä.
	Tuoteominaisuudet	+ Työkalu on rakenteeltaan kevyt ja sen kuljetusmitat ovat pienet. + Asennusmekanismi on työn kestosta huolimatta yksinkertainen.
	Huoltoprosessin turvallisuuden parantaminen	- Konseptilla ei pystytä vaikuttamaan prosessin turvallisuuskäsitelmiin.
	Muuta huomioitavaa	Työkalun toiminta on hyvin dynaaminen ja kaikkia sen käyttöön liittyviä asioita on vaikea arvioida vielä hyvin avoimesti määritetystä konseptista.
	Merkittävimmät hyödyt	Laitteen operointi huoltoprosessin aikana voidaan minimoida.
	Suurimmat haasteet	Turvallisuuskäsitelmiin vaikuttaminen. Huoltoprosessin kehittäminen työkalun käyttönotolla.

Taulukko 7.1 Konseptivariantin D yhteenveto.

Konseptivariantti G	Toimintaperiaate	+ Toteuttaa kaikki vaaditut alitoiminnot. + Hyvin innovatiivinen lähestyminen prosessiin.
	Tuoteominaisuudet	+ Konsepti mukailee todella hyvin ideaaliratkaisun ominaisuuksia.
	Huoltoprosessin turvallisuuden parantaminen	+ Prosessin turvallisuutta pystytään parantamaan merkittäväällä tavalla.
	Muuta huomioitavaa	Konseptin käyttöönoton myötä käytössä oleviin laitteisiin ei pystytä tuottamaan ratkaisua.
	Merkittävimmät hyödyt	Teknisesti paras ratkaisu, joka tuo merkittävää lisäarvoa prosessiin.
	Suurimmat haasteet	Konseptin käyttöönotto vaatii muutoksia laitteen rakenteissa ja se voidaan toteuttaa uusissa laitteissa pitkällä aikajänteellä.

Taulukko 7.3 Konseptivariantin G yhteenveto.

Konseptivariantti HI	Toimintaperiaate	+ Toteuttaa kaikki vaaditut alitoiminnot. + Vastaa osittain käytössä olevaa työkalua mutta toimii paremmin.
	Tuoteominaisuudet	+ Todella kevyt ja helppo asentaa. + Ei vie juurikaan tilaa eikä raskasta kuljetusalustaa tarvita.
	Huoltoprosessin turvallisuuden parantaminen	+ Prosessin turvallisuutta pystytään parantamaan hyvin.
	Muuta huomioitavaa	Konsepti on hyvä ratkaisu toteutettuna kohtuullisen pienellä vaivalla.
	Merkittävimmät hyödyt	Työkalu on todella helppo toteuttaa ja se voidaan varustaa käytössä oleviin laitteisiin.
	Suurimmat haasteet	Saman työkalun yhteensopivuus erilaisten porakonevarianttien kanssa

Taulukko 7.2 Konseptivariantin HI yhteenveto.

Ratkaisuvaihtoehtojen arvioinnin perusteella voidaan todeta, että konseptivariantin D toteutukseen liittyy keskeisiä haasteita. Sen avulla ei pystytä juurikaan parantamaan prosessin turvallisuutta eikä sen käyttöönotto välttämättä tuota merkittävää lisäarvoa käytössä olevaan työkaluun verrattuna. Tehtyjen arviointien ja konseptien välisen vertailun tulosten perusteella variantti D päätettiin rajata pois työkalun mahdollisista ratkaisuista. Jäljellä olevat vaihtoehdot G ja HI ovat arviointien perusteella merkittävän suuria parannuksia käytössä olevaan työkaluun verrattuna kaikilla osa-alueilla. Niiden avulla pystytään parantamaan prosessin turvallisuutta ja tuottamaan loppukäyttäjien asettamien odotusten mukaista lisäarvoa huoltoprosessin toteuttamiseen.

Konseptivariantti G on vertailun perusteella teknisesti paras ratkaisu tuotekehityksen ongelmaan. Sen avulla prosessia pystytään kehittämään innovatiivisella lähestymistavalla joka mukailee työkalun ideaalisen ratkaisun periaatteita. Menetelmän toteutukseen liittyy kuitenkin haasteita sen käyttöönotettavuuden suhteen. Ratkaisun toteutus vaatii mittavaa suunnittelutyötä ja se voidaan ottaa käyttöön vain uusissa laitteissa. Vastaavasti

konseptivariantti HI on käyttöönotettavuudeltaan huomattavasti paremmassa asemassa ja se voidaan varustaa myös käytössä oleviin laitteisiin. Vaihtoehto tarjoaa hyvän ratkaisun joka on samaan aikaan helposti toteutettavissa. Koska vaihtoehtojen merkittävin eroavaisuus liittyy niiden käyttöönotettavuuteen, voidaan paras lopputulos saavuttaa valitsemalla molemmat ratkaisut jatkokehitykseen ja käyttöönottoon. Konseptivariantin HI kautta pystytään tuottamaan ratkaisu nopeasti ja sen avulla voidaan korvata vanhat käytössä olevat työkalut niillä varustetuissa laitteissa. Uusissa laitteissa voidaan pidemmällä aikajänteellä ottaa käyttöön konseptivariantin G mukainen ratkaisu, jonka avulla huolto-prosessi voidaan uudistaa lähes täysin.

7.1 Prosessiin liittyvät muut kehitysmahdollisuudet

Haastavissa olosuhteissa rajallisilla apuvälineillä tehtävien huoltotoimenpiteiden välttämiseksi porakoneen niskan kuntoa pyritään ylläpitämään vaihtamalla osa laitehuollon yhteydessä. Niskan käyttöikä voidaan seurata porausmetrien perusteella, mikä kuitenkin on hyvin kaivoskohtaisesti määritettävä referenssi. Tarvittava huoltoväli riippuu porattavan kiven laadun lisäksi myös hyvin paljon porauksen suuntauksen epätarkkuudesta. Porakoneen toimintakunnon ylläpitäminen tarkan huoltosuunnitelman avulla on keskeinen tapa välttää yllättävien huoltotarpeiden ilmeneminen tuotantoporaamisen aikana. Niskan kuntoa tarkkailevien menetelmien kehittämisen avulla vikaantumistilanteita voidaan pyrkiä ennakoimaan paremmin, jotta hankalilta huoltotoimenpiteiltä voitaisiin välttyä (Goyal & Pabla 2015).

Niskanvaihtotyökalun avulla suoritettavan huolto-prosessin aikana PE-moduulin irrottamisen välttämättömyys muodostaa valtaosan tehtävään liittyvistä haasteista. Saman prosessin toteuttaminen kevyellä huuhtelupesällä varustetuissa porakoneissa on huomattavan yksinkertainen toimenpide verrattuna painavan PE-moduulin käsittelyyn. Huomattavia etuja huoltamisen toteuttamisessa voidaan saavuttaa muuttamalla prosessin edellyttämiä toimenpiteitä liittyen PE-moduulin irrottamiseen. Porakoneen niskan asentaminen etukautta irrottamalla moduulin etulaakerin kansi on esimerkiksi yksi tapa suorittaa osan vaihto ilman että koko moduulia tarvitsisi irrottaa porakoneesta. Ratkaisun toteuttaminen vaatisi kuitenkin suuria toimenpiteitä porakoneen suunnittelun osalta.

LÄHTEET

- Ahmad, S., Wong, K.Y., Tseng, M.L. & Wong, W.P., 2018, Sustainable product design and development: a review of tools, applications and research prospects, *Resources, Conservation & Recycling*, 132: 49 – 61.
- Ahola, J. 2017. Risk Matrix for Product Safety Risk Assessment: Guidelines for Risk Matrix Parameters Used in Engineering Risk Assessments, Sandvik, vol. 1.0.
- Akao, Y., 1990, Quality function deployment: integrating customer requirements into product design, New York: Productivity Press.
- Akmal. S., Shih, L.H. & Batres, R., 2014, Ontology-based similarity for product information retrieval, *Computers in Industry*, 65(1): 91 – 107.
- Brunton, D.I., Fraser, S.J., Hodgkinson, J.H. & Stewart, P.C., 2010, Parameters influencing full scale sublevel caving material recovery at the Ridgeway gold mine, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science*, 47(4): 647 – 656.
- Cai, T. & Freiheit, T., 2011, Lean principles in product development process, IIE Annual Conference, Proceedings, 1 – 6.
- Chang, CP. & Lin, YH., 2013, Combining quality function deployment and TRIZ to solve the drainer problem. In: Juang, J., Huang, YC., 2013, *Intelligent technologies and engineering systems*, 1st edition, New York: Springer. pp. 829 – 835.
- Chen, L., Li, X., Cui, T., Ma, J., Liu, H. & Zhang, Z., 2017, Combining accident modeling and quantitative risk assessment in safety management, *Advances in Mechanical Engineering*, 9(10): 1 – 10.
- EN 292-2:1991, Safety of machinery – Basic concepts, general principles for design – Part 2: Technical principles and specifications, Brussels, European Committee for Standardization.
- EN 1005-2:2003+A1:2008, Safety of machinery – Human physical performance – Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery, Brussels, European committee for standardization.
- Eubanks, D.L., Murphy, S.T. & Mumford, M.D., 2010, Intuition as an influence on creative problem-solving: the effects of intuition, positive affect, and training, *Creative Research Journal*, 22(2): 170 – 184.
- Faniel, I.M. & Majchrzak, A., 2007, Innovating by accessing knowledge across departments, *Decision Support Systems*, 43(4): 1684–1691.
- French, M.J., 1999, *Conceptual design for engineers*, 3rd edition, London: Springer.
- Gagnon, B., Leduc, R. & Savard, L., 2012, From a conventional to a sustainable engineering design process: different shades of sustainability, *Journal of Engineering Design*, 23(1): 49–74.
- Goyal, D. & Pabla, B.S., 2015, Condition based maintenance of machine tools – A review, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 10: 24 – 35.

- Heiniö, M., 1999, Rock Excavation Handbook for civil engineering, Sandvik Tamrock Corp.
- Hodges, P. & Liou, S.Y., 2010, Knowledge-based competitive strategy using direct customer experience for automobile product development, *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 5(1): 33 – 46.
- Hungerford, F., Ren, T. & Aziz, N., 2012, Directional control in longhole drilling, 12 th Coal Operators' Conference, University of Wollongong & The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 268 – 276.
- Hydraulic Rock Drill RD927L / RD927I – D Operation, maintenance and repair instructions, 2019, Original instructions, Sandvik.
- Maintenance Manual DL421-C, 2019, Original instructions, Sandvik.
- Maintenance Manual DL432i, 2019, Original instructions, Sandvik.
- Mohaghegh, M. & Größler, A., 2020, The dynamics of operational problem-solving: a dual-process approach, *Systemic Practice and Action Research*, 33: 27 – 54.
- Operator's Manual DL421-C, 2019, Shank change procedure, Original instructions, Sandvik.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.H., 2007, *Engineering design: a systematic approach*, 3rd edition, London: Springer.
- Puhakka, T., 1997, *Underground drilling and loading handbook*, Tamrock Corp.
- Roinisto, J., 1986, *Rock engineering in Finland*, Maanalaisten tilojenrakentamisyhdistys r.y., Rakentajain Kustannus Oy, Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Rozenfeld, H. & Eversheim, W., 2002, An Architecture for shared management of explicit knowledge applied to product development processes, *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 51(1): 413 – 416.
- Sandvik Annual Report 2019, viitattu 30.3.2020, saatavissa: <https://www.annualreport.sandvik/en/2019/>.
- Sandvik Group, viitattu 30.3.2020, saatavissa: <https://www.home.sandvik/en/about-us/>.
- Sandvik Mining and Rock Technology, viitattu 30.3.2020, saatavissa: <https://www.rock-technology.sandvik/fi/>.
- Şen, N. & Baykal, Y., 2019, Development of car wishbone using sheet metal tearing process via the theory of inventive problem-solving (TRIZ) method, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(10): 1 – 10.
- Seppänen, J., 2014, Kolmenkulma työpaikka-alueen Asemakaava 8183: Kaava-alueen rakentamisen vaiheet, Tampereen kaupunki, viitattu 30.11.2019, saatavissa: https://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8183/hyvaksytyt/rakentamisen_vaiheet.pdf.
- SFS-EN ISO 13857:2019, Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeelle, Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 31000:2018, Riskienhallinta. Ohjeet, Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Shooter, S.B., Keirouz, W.T., Szykman, S. & Fenves, S.J., 2000, A model for the flow of design information in product development, *Engineering with Computers*, 16(3): 178 – 194.

Sinervä, I., 2018, Sandvik poraa ja testaa yhä syvemmillä – Tampereen testikaivosta vastaavaa ei ole muilla laitevalmistajilla, *Kauppalehti*, viitattu 30.11.2019, saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/sandvik-poraa-ja-testaa-yha-syvemmillä-tampereen-testikaivosta-vastaavaa-ei-ole-muilla-laitevalmistajilla/137a46a2-d79e-3b6e-9e3d-411d05cc1444>.

Tiainen, T., 2014, Haastattelu tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa, *Informaatiotieteiden yksikkö, Tampereen yliopisto*.

Tiainen, T., Aittoniemi, J., Haukijärvi, I. & Yli-Karhu, T., 2015, Toimintatutkimus tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa, *Informaatiotieteiden yksikkö, Tampereen yliopisto*.

Wester, J. & Burgess-Limerick, R., 2015, Using a task-based risk assessment process (EDEEP) to improve equipment design safety: a case study of an exploration drill rig, *Mining Technology*, 124(2): 69 – 72.

Xu, J., Houssin, R., Bernard, A. & Caillaud, E., 2013, Systemic modeling of knowledge for information in design, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(1): 1 – 12.

Yang, CL. & Hsu, HK., 2019, Optimized new product development process, *International Journal of Organizational Innovation*, 12(2).

Yang, K. & El-Haik, B., 2008, *Design for six sigma: A roadmap for product development*, 2nd edition, New York: McGraw-Hill.

Zandin, K.B., 2001, *Maynard's Industrial Engineering Handbook*, 5th edition, New York: McGraw-Hill.

Haastattelut

Aldea, Pablo, Field Service Technician; Bruce, Theophilus, Technical and Training Manager & Yakohene, Israel, Product Support, Sandvik Mining and Rock Technology, Tampere, Haastattelu ja kyselytutkimus 21.11.2019 ja 27.11.2019.

Anttila, Sami, Principal Control Systems Engineer; Hinkka, Jari, Product Specialist; Järventausta, Sami, Engineering Manager; Jussila, Matti, Senior Automation Test Engineer; Lipponen, Teppo, Senior Test Engineer; Mäkinen, Tapio, Chief Engineer; Pulkkinen, Henry, Product Engineer; Sillanpää, Vesa, Design Engineer & Tutti, Johannes, Design Engineer, Sandvik Mining and Rock Technology, Tampere, Ideapalaveri 11.03.2020.

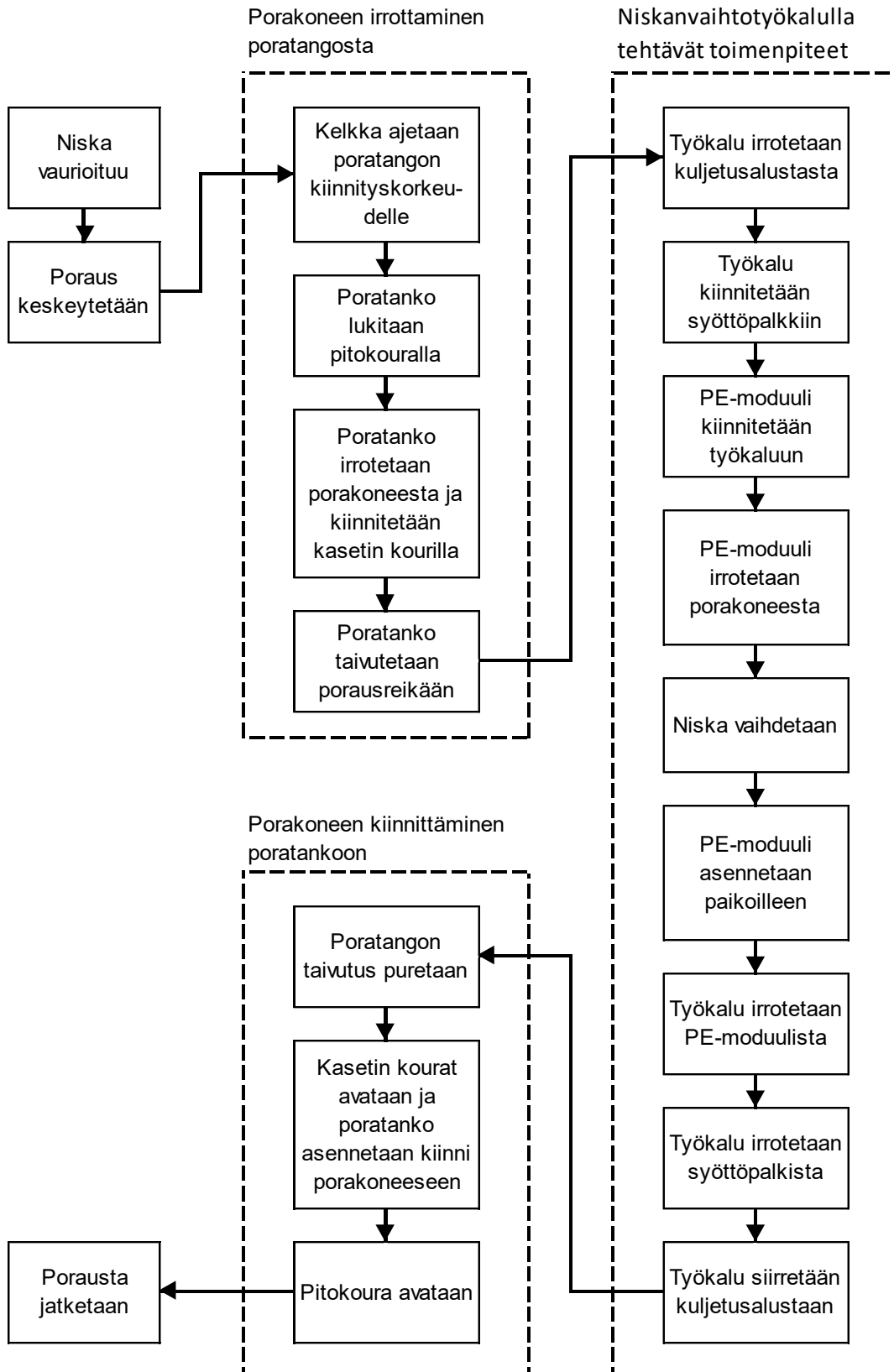
Hinkka, Jari, Product Specialist, Sandvik Mining and Rock Technology, Tampere, Haastattelu 13.11.2019.

Hinkka, Jari, Product Specialist; Iyer, Shweta, Product Specialist; Lautamäki, Matti, Product Specialist & Tokarev, Sergei, Product Specialist, Sandvik Mining and Rock Technology, Tampere, Haastattelu ja kyselytutkimus 05.12.2019.

Järventausta, Sami, Engineering Manager; Mäkinen, Tapio, Chief Engineer; Pulkkinen, Henry, Product Engineer & Tutti, Johannes, Design Engineer, Sandvik Mining and Rock Technology, Tampere, Haastattelu ja kyselytutkimus 20.11.2019.

Pulkkinen, Henry, Product Engineer, Sandvik Mining and Rock Technology, Tampere, Haastattelu 14.11.2019.

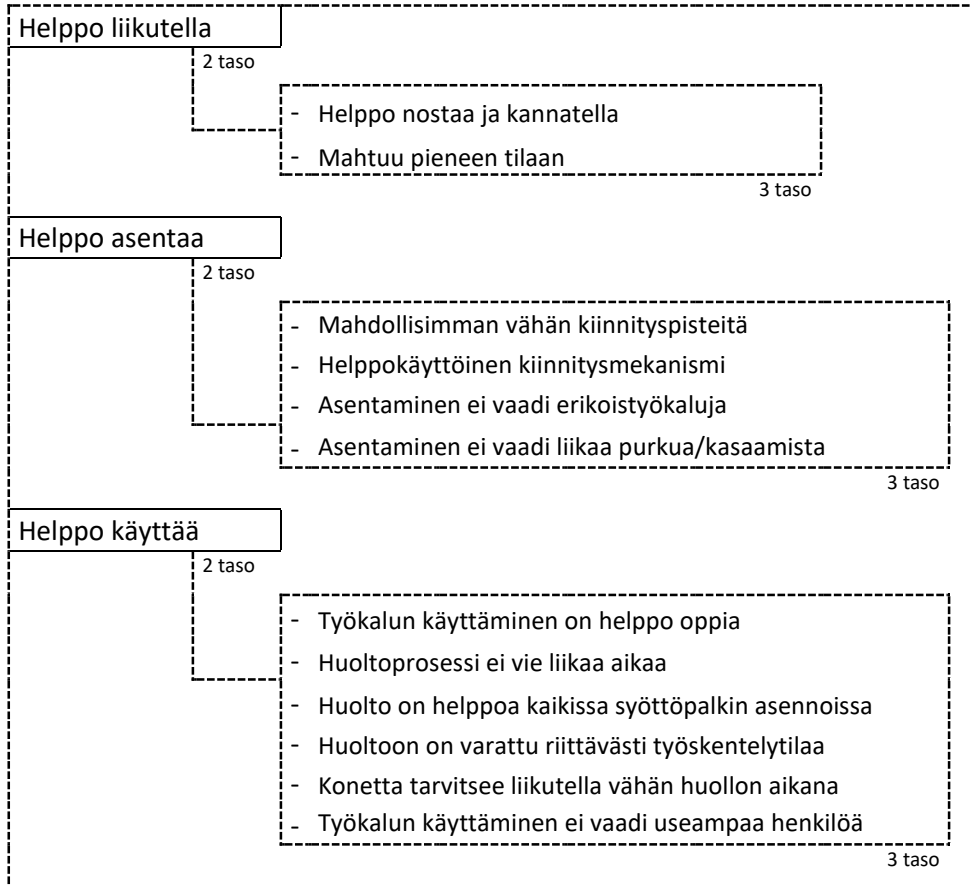
LIITE A: HUOLTOPROSESSIN VIRTAUSMALLI



LIITE B: LAADUN VAATIMUKSET

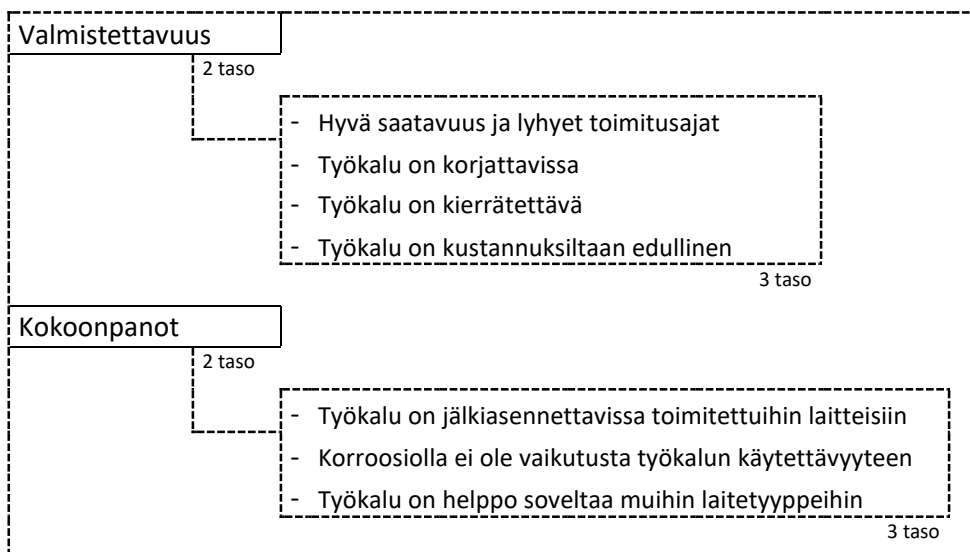
Helppo käsitellä

1 taso



Suunnittelu

1 taso



LIITE C: TUOTEOMINAISUUKSIEN ERITTELY

Laadun vaatimukset (3 taso)	—————>	Tuoteominaisuudet
Työkalua on helppo nostaa ja kannatella		Paino, Koko
Työkalu mahtuu pieneen tilaan		Koko
Mahdollisimman vähän kiinnityspisteitä		Paino, Koko, Rajapintojen lkm.
Helppokäyttöinen kiinnitysmekanismi		Paino, Koko, Rajapintojen lkm., Toleranssit, Työskentelytila, Kiinnitysmekanismi
Asentaminen ei vaadi erikoistyökaluja		Työskentelytila, Kiinnitysmekanismi
Asentaminen ei vaadi liikaa purkua tai kasamista		Koko, Toleranssit, Rajapintojen lkm., Kiinnitysmekanismi
Työkalun käyttäminen on helppo oppia		Työvaiheiden lkm., Työskentelytila, Kiinnitysmekanismi
Huoltoprosessi ei vie liikaa aikaa		Työvaiheiden lkm., Työskentelytila, Kiinnitysmekanismi
Huolto on helppoa kaikissa syöttöpalkin asennoissa		Paino, Koko, Työskentelytila, Kiinnitysmekanismi
Huoltoon on varattu riittävästi työskentelytilaa		Työskentelytila
Konetta tarvitsee operoida vähän huollon aikana		Kiinnitysmekanismi, Työvaiheiden lkm., Työskentelytila
Työkalun käyttäminen ei vaadi useampaa henkilöä		Paino, Koko, Rajapintojen lkm., Kiinnitysmekanismi
Hyvä saatavuus ja lyhyet toimitusajat		Materiaalit, Valmistusmenetelmät
Työkalu on korjattavissa		Materiaalit, Valmistusmenetelmät
Työkalu on kierrätettävä		Materiaalit, Valmistusmenetelmät
Työkalu on kustannuksiltaan edullinen		Rajapintojen lkm, Toleranssit, Materiaalit, Valmistusmenetelmät
Työkalu on jälkiasennettavissa toimitettuihin laitteisiin		Koko, Rajapintojen lkm., Kiinnitysmekanismi
Korroosio ei vaikuta työkalun käytettävyyteen		Toleranssit, Kiinnitysmekanismi
Työkalu voidaan helposti soveltaa muihin laitetyppeihin		Koko, Rajapintojen lkm., Kiinnitysmekanismi

LIITE D: LAADUN VAATIMUSTEN PAINOTUS

Niskanvaihtotyökalun laadun vaatimusten arvostaminen

Arvioidaan laadun vaatimusten merkitystä. 1 = vain vähän merkitystä, 5 = paljon merkitystä.

vähän merkitystä

paljon merkitystä

		1	2	3	4	5
Työkalun käytettävyys	1. Työkalu on helppo nostaa ja kannatella					
	2. Työkalu mahtuu pieneen tilaan					
	3. Mahdollisimman vähän kiinnityspisteitä					
	4. Helppokäyttöinen kiinnitysmekanismi					
	5. Asentaminen ei vaadi erikoistyökaluja					
	6. Asentaminen ei vaadi liikaa purkua tai kasaamista					
	7. Työkalun käyttäminen on helppo oppia					
	8. Huoltoprosessi ei vie liikaa aikaa					
	9. Huolto on helppoa kaikissa syöttöpalkin asennoissa					
	10. Huoltoon on varattu riittävästi työskentelytilaa					
	11. Konetta tarvitsee operoida vähän huollon aikana					
	12. Työkalun käyttäminen ei vaadi useampaa henkilöä					
Työkalun valmistus ja kokoonpanot	13. Hyvä saatavuus ja lyhyet toimitusajat					
	14. Työkalu on korjattavissa					
	15. Työkalu on kierrätettävä					
	16. Työkalu on kustannuksiltaan edullinen					
	17. Työkalu on jälkiasennettavissa toimitettuihin laitteisiin					
	18. Korroosiolla ei ole vaikutusta työkalun käytettävyyteen					
	19. Työkalu on helppo soveltaa muihin laitetyppeihin					

LIITE E: LAATUTALO, HOQ

Laadun vaatimukset	Tuoteominaisuudet								
	Paino	Koko	Rajapintojen lkm.	Kiinnitysmekanismi	Toleranssit	Materiaalit	Valmistusmenetelmät	Työskentelytila	Työvaiheiden lkm.
Työkalua on helppo nostaa ja kannatella	◎	○							
Työkalu mahtuu pieneen tilaan		◎							
Mahdollisimman vähän kiinnityspisteitä	△	○	◎						
Helppokäyttöinen kiinnitysmekanismi	○	△	○	◎	◎			○	
Asentaminen ei vaadi erikoistyökaluja				○				○	
Asentaminen ei vaadi liikaa purkua tai kasaamista		△	△	◎	○				
Työkalun käyttäminen on helppo oppia				○				○	△
Huoltoprosessi ei vie liikaa aikaa				○				△	◎
Huolto on helppoa kaikissa syöttöpalkin asennoissa	○	△		○				○	
Huoltoon on varattu riittävästi työskentelytilaa								◎	
Konetta tarvitsee operoida vähän huollon aikana				△				△	△
Työkalun käyttäminen ei vaadi useampaa henkilöä	○	○	○	△					
Hyvä saatavuus ja lyhyet toimitusajat						○	◎		
Työkalu on korjattavissa						○	○		
Työkalu on kierrätettävä						◎	○		
Työkalu on kustannuksiltaan edullinen			△		○	◎	◎		
Työkalu on jälkiasennettavissa toimitettuihin laitteisiin		○	△	△					
Korroosio ei vaikuta työkalun käytettävyyteen				○	○				
Työkalu voidaan helposti soveltaa muihin laitetyppeihin		△	○	○					
Yht.									

△ pieni vaikutus

○ keski-suuri vaikutus

◎ suuri vaikutus

LIITE F: SMRT RISKILUOKITUSMATRIISI

Tapahtuman todennäköisyys		Seurauksen vakavuus				
		1	2	3	4	5
		Harmiton	Pieni vaikutus	Keskivaikea	Vakava	Katastrofaalinen
A	Lähes varma	A1	A2	A3	A4	A5
B	Todennäköinen	B1	B2	B3	B4	B5
C	Mahdollinen	C1	C2	C3	C4	C5
D	Epätodennäköinen	D1	D2	D3	D4	D5
E	Harvinainen	E1	E2	E3	E4	E5

	Ei hyväksytty. Riskiä pienentäviä toimia täytyy tehdä.
	Jos kohtuullisia riskiä pienentäviä toimenpiteitä on olemassa, ne täytyy tehdä.
	Jos kohtuullisia riskiä pienentäviä toimenpiteitä on olemassa, ne on syytä tehdä.
	Tarkkaillaan ja toimitaan tarvittaessa.

Seurauksen vakavuus	1	Harmiton tapaturma
	2	Ensiavun tarve
	3	Keskivaikea tapaturma
	4	Pitkäaikainen vamma
	5	Vakava vammautuminen tai kuolema

Tapahtuman todennäköisyys	A	Tapahtuu usein konekohtaisesti
	B	Tapahtuu todennäköisesti joitakin kertoja konekohtaisesti
	C	Tapahtuu joskus koneen elinkaaren aikana
	D	Tapahtuma mahdollinen yhden koneen elinkaaren aikana
	E	Tapahtuma mahdollinen usean laitteen otoksessa niiden elinkaaren aikana

LIITE G: OMAT RISKIARVIOINTITAULUKKO

Tehtävä	Ei haluttu tapahtuma	Riski			Riskienhallintamenetelmät
		todennäköisyys	seuraus	luokitus	
Työkalun irrottaminen kuljetusalustasta					
Työkalun kiinnittäminen syöttöpalkkiin					
PE-moduulin kiinnittäminen työkaluun					
PE-moduulin irrottaminen porakoneesta					
Vaurioituneen niskan vaihtaminen					
PE-moduulin asentaminen takaisin porakoneeseen					
Työkalun irrottaminen PE-moduulista					
Työkalun irrottaminen syöttöpalkista					
Työkalun siirtäminen takaisin kuljetusalustaan					