

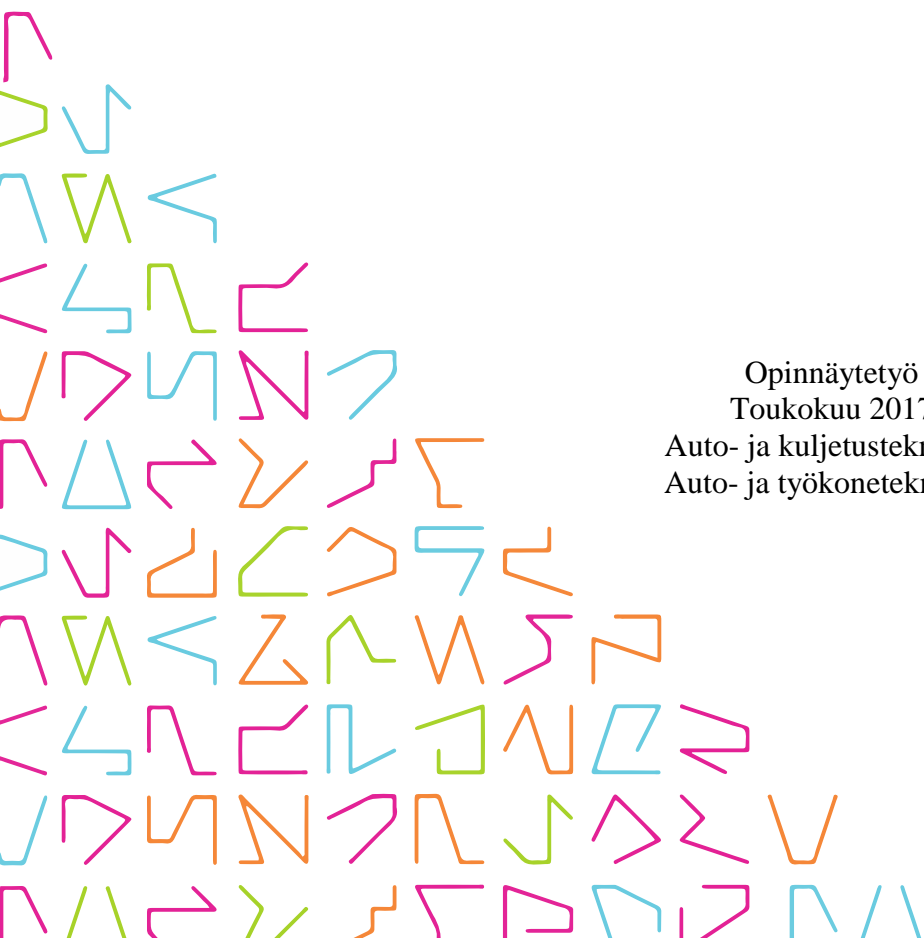


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

PORAKRUUNUN VAIHTAJAN SUUNNITTELU DD-LAITTEISIIN

Joni Jaakkola

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka

JONI JAAKKOLA:

Porakruunun vaihtajan suunnittelu DD-laitteisiin

Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2017

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda peränporauslaitteisiin porakruunun vaihtaja, joka mahdollistaa porakruunujen vaihdon ilman, että laitteen operaattori joutuu vaihdon yhteydessä poistumaan laitteen ohjaamosta. Työssä suunniteltiin peränporauslaitteen syöttölaitteisiin kiinnitettävä lisävaruste, joka on mahdollista kiinnittää ilman syöttölaitteen muokkaamista. Opinnäytetyö tehtiin Sandvik Mining and Construction Oy:lle, joka on osa Sandvik-konsernia. Sandvik Mining and Construction Oy valmistaa globaalisti erilaisia kaivos- ja louhintalaitteita. Sandvikin peränporauslaitteiden, eli DD-laitteiden, suunnittelu ja valmistus tehdään yhtiön Tampereen toimipisteellä.

Työn tavoitteena oli suunnitella helppokäyttöinen ja tehokas porakruunun vaihtaja, jonka asentaminen ei vaadi muutoksia laitteen nykyiseen rakenteeseen. Työssä toteutettiin porakruunun vaihtajan suunnittelu lähtien laitteen vaatimusten määrittämisestä ja edeten laitteen konseptoinnin kautta prototyyppien mallintamiseen ja mittapiirrosten tekemiseen. Opinnäytetyössä paneuduttiin teoreettisesti peränporauslaitteiden käyttötarkoituksiin ja tuotekehityksen eri vaiheisiin. Pääpaino työssä oli porakruunun vaihtajan rakenteen suunnittelussa niin, että se olisi helppo ja tehokas käyttää, sekä mahdollisimman yksinkertainen valmistaa. Lisäksi työssä paneuduttiin eri materiaalien tutkimiseen ja niiden hyödyntämiseen laitteen toiminnassa.

Tällä hetkellä porakruunun vaihtajan prototyypin osat ovat tilattuina ja prototyypin FAT-testien on tarkoitus alkaa toukokuun alussa. FAT-testien kautta pystytään siirtymään yhä lähemmäksi tuotantoa varten suunniteltua, lopullista tuotetta. Valmiin tuotteen on tarkoitus parantaa operaattorin turvallisuutta ja myös nopeuttaa porausoperaatiota ja näin parantaa koko laitteen tehokkuutta. Tuotteen tulee lisätä laitteen käytön kustannustehokkuutta ja turvallisuutta ja näin lisätä laitteen käyttöarvoa asiakkaan näkökulmasta katsottuna.

Asiasanat: peränporauslaite, porakruunu, tuotekehitys

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Automotive and Transport Engineering
Automobile and Industrial Vehicle Engineering

JONI JAAKKOLA:

Development of bit changer for DD-machines

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 6 pages
May 2017

The purpose of this thesis was to create a drill bit changer for development drills that makes possible to change drill bit in a way that machine operator doesn't have to exit cabin during the change. Objective was to design an accessory that is possible to attach to development drills feed without any modifications to feed. The thesis was made for Sandvik Mining and Construction Oy which manufactures globally different types of mining and quarry machines. Sandvik development drill's designing and manufacturing takes place in company's Tampere site.

Objective of this work was to design an easy-to-use and efficient bit changer which attachment doesn't require any modifications to machine's current configuration. Project implemented the design process of the bit changer starting from defining equipment's requirements and proceeding through equipment's concept designing to modelling prototypes and making dimensional drawings. The thesis delved theoretically into use of development drills and different stages of product designing. Main focus of the thesis was in bit changer's structural designing so that it is easy and efficient to use and as simple as possible to manufacture and assemble. The thesis also delved into research of different kind of materials and utilization of them in the product.

At this moment the bit changer concept's parts are ordered and prototype's FAT-testing is intended to start in May. Throughout FAT-testing it is possible to move closer to production version of the bit changer. The purpose of the finished product is to improve machine operator's safety and also to make drilling operation more efficient. The product must increase cost-efficiency and safety related to machine's use and this way add value to machine's user.

Key words: development drill, drill bit, product development

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Sandvik Mining and Construction Oy:n toimeksiannosta Tampereen toimipisteen maanalaisten tuotteiden tuotekehityksessä. Sandvik Mining and Constructionin osalta opinnäytetyön ohjaajana toimi DD-laitteiden suunnittelupäällikkö Jarno Kuittinen.

Projektin läpiviennissä tarvittiin monien eri tuotekehityksen osastojen tietotaitoa ja haluan tässä kiittää kaikkia projektissa mukana olleita, etenkin Jarno Kuittista, Johannes Väliavaaraa, Ilpo Niemistä, Juha Piipposta ja Matias Salosta. Heidän tuomansa perspektiivit ja laaja kokemus peränporauslaitteista ja niiden käytöstä sekä tuotekehitysprojektien läpiviennistä toimivat merkittävänä tukena ja tiedon lähteenä projektin eri vaiheissa. Matias Salosen toteuttama simulaattori toi merkittävää informaatiota konseptin toimivuudesta ja helpotti prototyypin siirtymistä. Erityisesti haluan kiittää Jarno Kuittista, joka toimi mentorina ja koordinaattorina työn aikana ohjaten minua oikeiden henkilöiden puheille kulloisenkin tilanteen mukaan ja toimien myös itse ensisijaisena tiedonlähteenä.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	SANDVIK AB	9
	2.1 Historia.....	9
	2.2 Liiketoiminta-alueet.....	9
	2.3 Sandvik Mining and Construction Oy	11
	2.4 Tampereen toimipiste	12
	2.5 Sandvikin maanalaiset poralaitteet	13
	2.6 DD-laitteet	14
	2.6.1 Laitteen rakenne	14
	2.6.2 Porausmenetelmä	15
	2.6.3 Käyttökohteet	18
3	TUOTEKEHITYS	21
	3.1 Tuotekehitysprojektin lähtökohdat	21
	3.2 Tuotekehitysprojektin vaiheet.....	22
4	PORAKRUUNUN VAIHTAJA DD-LAITTEISIIN	24
	4.1 Projektin syyt	24
	4.2 Projektin määrittely.....	25
	4.3 Projektin aikataulu	27
5	PUOMIN LIIKKEIDEN SIMULOINTI	28
	5.1 Puomin nivelet ja jatkeet.....	29
	5.2 Simulaatiot ja niiden tulokset	29
6	IDEOINTI	35
	6.1 Itsenäinen ideointi.....	35
	6.2 Tuplatiimi.....	37
7	PROTOTYYPPIEN SUUNNITTELU	39
	7.1 Reikälevykonsepti.....	39
	7.1.1 Materiaalien valinta.....	40
	7.1.2 Porakruunun vaihtajan rakenteet suunnittelu ja mallintaminen	41
	7.1.3 Porakruunun paikotussimulaatio	45
	7.2 Lipaskonsepti	46
	7.2.1 Lippaan muodon ja porakruunujen asennon suunnittelu	47
	7.2.2 Lippaan osien suunnittelu	50
8	PROJEKTIN JATKO	54

9 POHDINTA.....	55
LÄHTEET	57
LIITTEET	58
Liite 1. Projektin aikataulu	58
Liite 2. Puomien välinen pituussuuntainen kulma	59
Liite 3. Puomien välinen korkeussuuntainen kulma.....	60
Liite 4. Poratangon pään etäisyys syöttöpalkin alareunasta	61
Liite 5. Poratangon pään etäisyys syöttöpalkin kyljestä (1) ja päästä (2)	62
Liite 6. Tuotekehityksen toimintavaiheet (Tuotekehitys)	63

ERITYISSANASTO

Malmi	Mineraaliesiintymä, josta on taloudellisesti kannattavaa tuottaa metalleja
Niska	Porakoneen osa johon poratanko kiinnittyy
Peränporauslaite	Laite jolla porataan panostusreiät tunnelin perään
Porakruunu	Poralaitteen kalliota rikkova osa
Poratanko	Metallinen tanko, joka kiinnittää porakruunun porakoneeseen
Soija	Porauksen yhteydessä syntyvä kiven, pölyn ja veden sekoitus
Syöttölaite	Osakokonaisuus, joka liikuttaa poralaitetta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Sandvik Mining and Construction Oy:lle, joka valmistaa Tampereen toimipisteellään poralaitteita rakennustyömaille, louhoksille ja kaivoksille. Opinnäytetyön aiheena oli porakruunun vaihtajan suunnittelu maanalaisiin peränporaus- eli DD-laitteisiin. Opinnäytetyö koostuu kirjallisesta osuudesta sekä Sandvik Mining and Constructionille tehdystä projektista, jonka lopputuotteena syntyy toimiva porakruunun vaihtaja.

Sekä Sandvik että sen asiakkaat painottavat suuresti toimintansa turvallisuutta ja tehokkuutta. Työturvallisuudesta huolehtiminen on etenkin kaivoksissa erityisen tärkeää, sillä onnettomuuden sattuessa ei apua ole yhtä helposti saatavilla kuin oltaessa maanpinnalla. Lisäksi työturvallisuudesta huolehtimien vähentää poissaoloja ja tätä kautta tehostaa tuotantoa. Porakruunun vaihtaja on laitteeseen asennettavan lisävaruste, joka mahdollistaa porakruunun vaihdon ilman, että laitteen operaattori joutuu poistumaan laitteen ohjaamosta. Näin porakruunun vaihtaja parantaa laitteen operaattorin turvallisuutta, kun operaattori ei tarvitse poistua hytistä porakruunun vaihdon yhteydessä sekä tätä kautta myös tehostaa porausoperaatiota.

Porakruunun vaihtajan kehitysprojekti käsitti puomin liikkeiden simuloinnin, porakruunun vaihtajan innovoinnin, suunnittelun, 3D-mallintamisen, valmistuspiirrosten tekemisen sekä prototyypin valmistamisen ja testauksen. Projekti suoritettiin Tampereen toimipisteellä ja sen toteuttamiseen käytettiin Siemens NX 3D-suunnitteluohjelmistoa niin puomin liikkeiden simuloinnin kuin 3D-mallinnuksen yhteydessä. Projektin eri vaiheissa hyödynnettiin Tampereen toimipisteen tuotekehityksen eri osastojen tietotaitoa esimerkiksi simuloinnin ja testauksen yhteydessä.

Opinnäytetyön kirjallinen osuus koostuu edellä mainitun projektin etenemisen ja sen eri vaiheiden kuvaamisesta. Lisäksi sen teoriaosuuden tarkoituksena on selventää lukijalle projektin syitä ja projektissa tehtyjä ratkaisuja. Näin lukija saa paremman kuvan siitä, mitä projektilta haluttiin ja miksi projektissa päädyttiin juuri kyseisiin ratkaisuihin.

2 SANDVIK AB

Sandvik AB on globaali korkean teknologian teollisuuskonserni, jolla on toimintaa jokaisella mantereella, yli 150 maassa. Se työllisti maailmanlaajuisesti yli 43 000 työntekijää vuonna 2016, konsernin kokonaisliikevaihdon ollessa 82 miljardia kruunua samaisena vuonna. (Sandvik 2017b.)

2.1 Historia

Sandvikin perusti ruotsalainen Görän Fredrik Göransson vuonna 1862. Hän aloitti liiketoimintansa jo 1855 ostamalla rautaruukki Högbo Brukin koko tuotannon. Göransson sovelsi ensimmäisenä maailmassa Bessemeromenetelmää korkealaatuisen teräksen tuotantoon. Myöhemmin hän osti oikeudet menetelmään Sir Henry Bessemeriltä. Jo 1860-luvulla Sandvikilla oli tuotannossa porateräs kallion poraamiseen ja 1907 se aloitti reiällisen porateräksen tuotannon. Ajan myötä Sandvik laajensi toimintaansa teräksen tuottamisesta myös sen jatkojalostamiseen valmiiksi tuotteiksi, kuten sahoiksi ja poranteriksi, ja 1945 Sandvik toi markkinoille kallion poraukseen tarkoitetut kovametalliterät. (Sandvik Mining and Construction 2017b.)

Sandvik on laajentanut toimintaansa koko historiansa aikana erilaisilla yritysostoilla. Alkaen 1980-luvulta se on ostanut monia kaivosalan yrityksiä, kuten Toron ja EIMCO:n, ja näin lisännyt tietotaitoaan ja markkinaosuuttaan markkinoilla. Vuonna 1990 Sandvik osti 25 % osuuden Tamperelaisesta kallioporakoneita valmistavasta Tamrockista ja 1996 26 % osuuden tämän emoyhtiöstä Tampellasta. Vuotta myöhemmin Sandvik osti koko Tamrockin ja vuonna 1998 Tamrock ja Sandvik Rock Tools yhdistyivät muodostaen Sandvik Mining and Constructionin. (Sandvik Mining and Construction 2017b.)

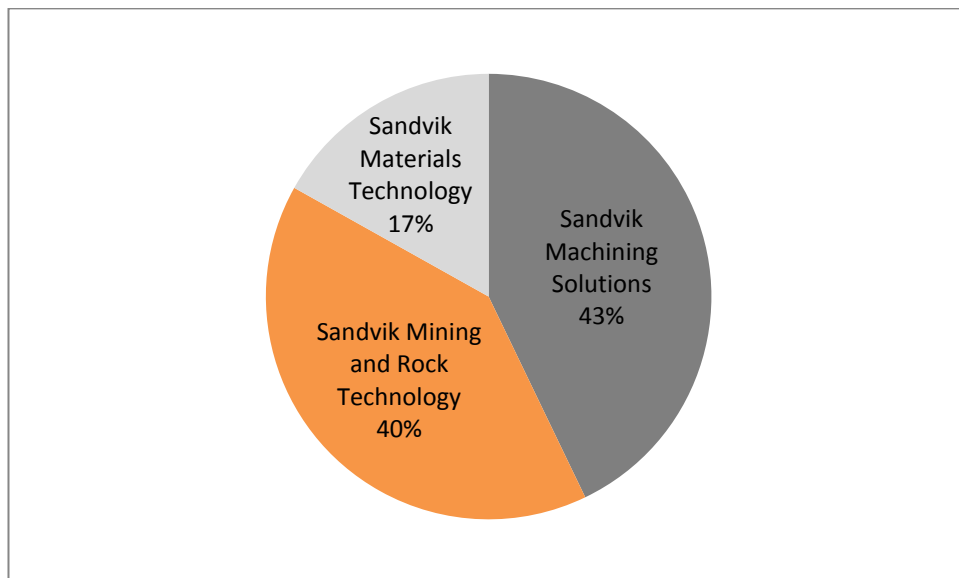
2.2 Liiketoiminta-alueet

Sandvik on jakanut toimintansa kolmeen liiketoiminta-alueeseen: Sandvik Machining Solutions, Sandvik Mining and Rock Technology sekä Sandvik Materials Technology.

(Sandvik 2017a). Näistä Sandvik Mining and Rock Technology on verrattain uusi, liike-toiminta-alue syntyi kun Sandvik Mining ja Sandvik Construction sulautettiin toisiinsa 2016 (Sandvik Mining 2016).

Sandvik Machining Solutions valmistaa ja kehittää erilaisia työkaluja ja menetelmiä kehittyneeseen metallin työstämiseen. Sandvik Mining and Rock Technology tuottaa erilaisia työkoneita ja -laitteita, palveluja ja teknisiä ratkaisuja kaivos- ja rakennusallalle. Sandvik Materials Technology tuottaa kehittyneitä teräksiä ja erikoisalumiineja eri teol-lisuuden aloille. Lisäksi Sandvikilla on kaksi niin sanottua ”non-strategic”-operaatiota, Sandvik Process Systems ja Sandvik Hyperion. Sandvikin tavoite on kuitenkin poistua näiltä liiketoiminta-alueilta. (Sandvik 2017a.)

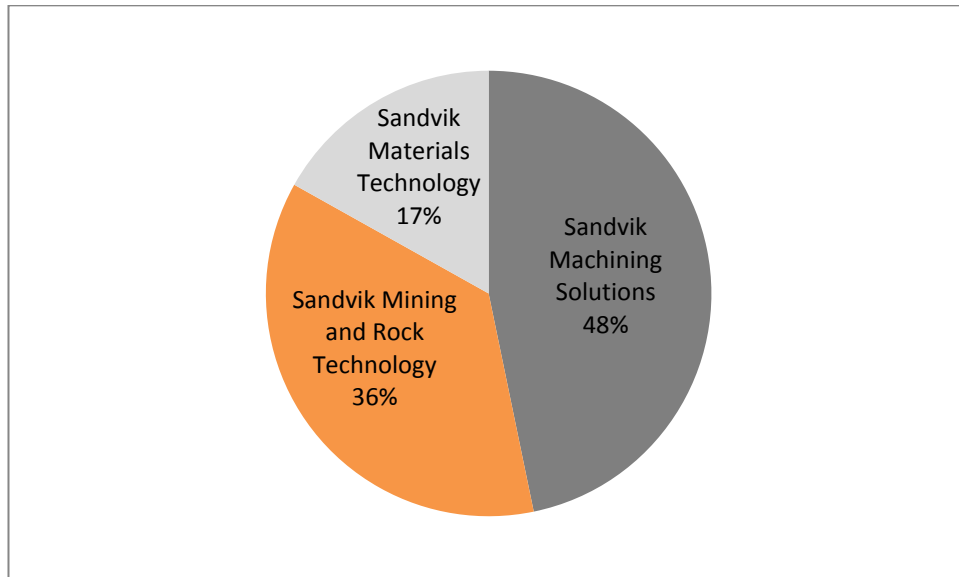
Vuonna 2016 eri liiketoiminta-alueiden liikevaihdot jakaantuivat seuraavasti: Sandvik Machining Solutions 33 000 MSEK, Sandvik Mining and Rock Technology 31 000 MSEK ja Sandvik Materials Technology 13 000 MSEK. Kuten kuviosta 1 on nähtävissä, ovat Machining Solutions ja Mining and Rock Technology liikevaihdoltaan lähes yhtä suuret, kun taas Materials Technology on huomattavasti näitä kahta pienempi. (Sandvik 2017a.)



KUVIO 1. Liiketoiminta-alueiden liikevaihdot suhteessa toisiinsa vuonna 2016 (Sandvik 2017a)

Työntekijöitä liiketoiminta-alueilla oli vuonna 2016 seuraavasti: Sandvik Machining Solutions 18 000, Sandvik Mining and Rock Technology 14 000 ja Sandvik Materials

Technology 6 500. Työllistäjänä Machining Solutions on siis selvästi Mining and Rock Technologya suurempi ja kuten liikevaihdossa, myös työntekijöiden määrässä on Materials Technology muuta kahta selvästi pienempi, kuten kuvioista 2 on havaittavissa. (Sandvik 2017a.)



KUVIO 2. Liiketoiminta-alueiden työntekijöiden määrät suhteensa toisiinsa vuonna 2016 (Sandvik 2017a)

2.3 Sandvik Mining and Construction Oy

Sandvik Mining and Construction Oy syntyi, kun Sandvik osti vuonna 1997 Tamrockin ja fuusiossa syntyi Sandvik Mining and Construction. Sandvik Mining and Construction valmistaa tuotteita louhintaan, kallionporaukseen, murskaukseen, rikotukseen ja materiaalin käsittelyyn. (Sandvik Mining and Construction 2017b.)

Sandvik Mining and Constructionilla on toimipisteitä Suomessa Tampereella, Turussa, Lahdessa, Hollolassa ja Vantaalla. Näistä Tampereella, Turussa ja Lahdessa tapahtuu tuotteiden valmistusta. Tampereella valmistetaan avolouhinta-, tunnelinporaus-, kaivos- ja tuotantoporaus- sekä pultituslaitteita. Turussa valmistetaan kuljetus- ja lastauskoneita kaivoksiin ja Lahdessa hydraulisia iskuvasaroita ja leikkurimurskaimia. Hollolassa suunnitellaan massatavaran käsittelyyn liittyviä projekteja ja Vantaalla toimii myyntikonttori, jonka tuotevalikoimaan kuuluu muun muassa ruostumattomat putket, hitsauslisäaineet ja kovametallityökalut. (Sandvik Mining and Construction 2017c.)

2.4 Tampereen toimipiste

Tampereen tehdas ja sen yhteydessä oleva testikaivos rakennettiin 1972 silloisen Tamrock Oy:n toimesta. Yhteistyö Sandvikin kanssa alkoi jo 1989, ja Sandvik kasvatti osuuttaan Tamrockista jatkuvasti koko 90-luvun, kunnes osti sen 1997. Vuodesta 2006 on yhtiön nimenä toiminut Sandvik Mining and Construction Oy. Kuvassa 1 on Tampereen toimipiste ilmasta kuvattuna. (Sandvik Mining and Construction 2017d.)



KUVA 1. Tampereen toimipiste (Sandvik Mining and Construction 2017d)

Tampereen toimitaalla työskentelee noin 1000 työntekijää, joista noin puolet on toimihenkilöitä. Tehtaan tuotanto voidaan jakaa kahteen osaan: maanpäällisiin ja maanalaisiin laitteisiin. Tuotteiden kokoonpanon lisäksi toimipisteellä tapahtuu tuotekehitystä sekä tuotteiden myyntiä ja ylläpitoa. (Sandvik Mining and Construction 2017d.)

Tehtaan erikoisuus on sen viereen rakennettu testikaivos. Kaivos ei ole tuotannollinen vaan täysin testikäyttöön tarkoitettu. Siellä testataan sekä uusia laitteita ja niiden osia että koeporataan asiakkaille toimitettavat laitteet. Testikaivos mahdollistaa uusien laitteiden laajan testauksen jo hyvin varhaisessa suunnittelun vaiheessa sekä asiakkaille toimitettavien laitteiden testauksen ja näin laitteen täydellisen toimivuuden varmistamisen.

Tampereen toimipisteellä tuotettavien laitteiden käyttötarkoituksia on monenlaisia, mutta karkea rajausta voidaan tehdä seuraavasti: maanpäällisten poralaitteiden käyttösoveluksiin kuuluvat monenlaiset infrastruktuuri- ja siviilikohteiden rakentamiset, louhintakohteet sekä avolouhokset. Maanalaisten poralaitteiden käyttökohteita ovat kaivokset ja maanalainen infrastruktuuri.

2.5 Sandvikin maanalaiset poralaitteet

Sandvikin maanalaiset poralaitteet voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan kuuteen eri ryhmään: DD-, DL-, DS-, DB-, DT- ja DU-laitteisiin. Näiden ryhmien sisältä löytyy vielä eri kokoluokkia sekä toisistaan hieman eriäviä teknisiä toteutuksia, riippuen minikäläiseen ympäristöön laite kulloinkin tulee päätyämään. Yhteistä näille kaikille, lukuun ottamatta DU-laitteita, on päältä lyövä poraustekniikka.

DL-laitteiden tehtävä on kaivoksen tuotantoporaus. Ne ovat niin sanottuja pitkäikäisiä laitteita, joilla voidaan kerralla porata monen kymmenen metrin pituisia reikiä. Tämä on mahdollista jatkotangoilla, eli laitteessa on monia, yleensä 1,8 metriä pitkiä poratankoja, jotka liitetään porauksen yhteydessä toisiinsa. Laite poraa yhden tangon pituuden verran, jonka jälkeen irrottautuu tangosta, kiertää uuden tangon poralaitteeseen kiinni ja tämän jälkeen kiertää tangon toisen pään jo käytettyyn, reiässä olevaan tankoon kiinni ja jatkaa porausta. (Hakapää & Lappalainen 2011, 163–164.)

DS-laitteilla lujitetaan kaivoksen kallio. Jotta kaivoksessa olisi turvallista työskennellä, on tunnelit lujitettava niin, ettei niiden päällä oleva kallio pääse sortumaan. Tähän on olemassa monenlaisia menetelmiä, kuten vaijeripultitus, kattopultitus ja betonointi. (Hakapää & Lappalainen 2011, 219–232.)

DB-laitteet ovat kauko-ohjauksella varustettuja, secondary breaking -operaatioihin tarkoitettuja poralaitteita. Niiden tehtävänä on rikkoa louhintaa haittaavia lohkkareita alueilla, joilla työskentely on ihmisille vaarallista. Esimerkiksi block caving -metodissa voi liian suuri malmilohkkare tukkia valumakuilun. Tällöin alueella on niin suuri sortuma-vaara, että lohkkare pitää porata ja panostaa kauko-ohjauksen avulla. (Koivisto 2017.)

DT-laitteita käytetään sekä kaivoksissa että erilaisten maanalaisen infrastruktuurien rakentamiseen. Riippuen laitteen koosta ne on varustettu 1–3 porauspuomilla, sekä tarvittaessa koripuomilla. DT-laitteille on ominaista laaja peittoala ja tehokas porausoperaatio, joiden avulla päästään korkeaan tuottavuuteen. (Sandvik Mining 2017a.)

DU-laitteet eroavat muista maanalaisista poralaitteista poraustekniikassa. DU:ssa käytetään In The Hole (ITH)- eli uppoporausmenetelmää. ITH-menetelmässä porakoneen mäntä iskee suoraan porakruunun päähän eli porakone on porausreiän sisällä ja pyörittysmoottori on erillisenä komponenttina syöttölaitteen yläpäässä. Kyseisellä menetelmällä päästään tehokkaampaan pitkäreikäporaukseen kuin päältä iskevillä porakoneilla, sillä päältä iskevillä porakoneilla jokaisessa tankoliitoksessa häviää iskutehosta n. 6-10 %. (Hakapää & Lappalainen 2011, 139.)

2.6 DD-laitteet

Sandvikin DD-laitteet ovat kaivoksille suunniteltuja peränporauslaitteita. Useimmiten ne ovat sähköhydraulisia, jolloin dieselmoottoria käytetään vain perältä toiseen siirtymiseen, ja kahdella porauspuomilla varustettuja. Laitevalikoimassa on myös yksi- ja kolmepuomisia sekä dieselhydraulisia laitteita. Dieselkäyttövoimainen laite tulee kyseeseen kaivoksissa, joissa ei ole koko kaivoksen kattavaa sähköverkkoa.

Uutuutena DD-laitteiden tuotevalikoimaan saapui viime vuonna täyssähköinen DD422iE. Laitteen dieselmoottori on korvattu sähkömoottorilla ja akuilla, eli myös perältä toiseen siirtyminen suoritetaan sähköisesti. Näin saadaan muun muassa vähennettyä kaivoksessa syntyviä pakokaasupäästöjä, jolloin kaivoksen ilmanvaihto voidaan mitoittaa kevyemmäksi.

2.6.1 Laitteen rakenne

Laite voidaan jakaa karkeasti kolmeen osakokonaisuuteen: alusta (1), puomisto (2) ja porakoneet (3) (kuva 2).



KUVA 2. Sandvik DD421 (Sandvik Mining and Construction 2017a)

Alusta käsittää muun muassa ohjaamon, akselit ja sähkö- ja dieselmootorit. Puomisto tarkoittaa laitteen puomeja kokonaisuutena. Se on kiinnitetty laitteen etuosaan, ohjaamon eteen. Porakone on laitteen tärkein yksittäinen osa, sillä juuri porakone suorittaa reiän poraamisen kallioon. Porakoneet ovat syöttölaitteen päällä. (Hakapää & Lappalainen 2011, 162.) Itse porakoneen lisäksi porauksen kannalta olennaisia osia ovat poratanko ja porakruunu. Poratanko on kierteellä kiinni porakoneen niskassa, ja porakruunu taas on vastaavasti kierteellä kiinni poratangon toisessa päässä.

Laitteet ovat yleisesti ottaen sähköhydraulisia. Tämä tarkoittaa, että laite saa porauksen aikana käyttövoimansa kaivoksen sähköverkosta laitteen perässä olevan sähköjohtimen kautta. Laitteessa on sähkömootorit, jotka pyörittävät hydraulikkapumppuja. Hydraulikkapumput tuottavat käyttövoiman puomeille, poralaitteille sekä tunkeille, joiden varaan laite nostetaan ennen porausta jotta laite pysyy stabiilina koko perän porauksen ajan. Sähköhydraulisessa laitteessa dieselmoottoria käytetään vain laitteen siirron yhteydessä.

2.6.2 Porausmenetelmä

Kallionporausmenetelmät voidaan jakaa kahteen luokkaan: iskuporaukseen ja kiertoporaukseen, joista Sandvik käyttää maanalaisissa laitteissa iskuporausta. Iskuporaus voidaan vielä jakaa kolmeen eri luokkaan, jotka on esitetty kuvassa 3 vasemmalta oikealle

lukien: poraus putkitankokalustolla, uppoporaus (ITH) ja päältä iskeväporaus. (Hakapää & Lappalainen 2011, 139–140.) Sandvikin DD-laitteissa käytetään päältä iskevää porausta.



KUVA 3. Iskuporausmenetelmät (Hakapää & Lappalainen 2011)

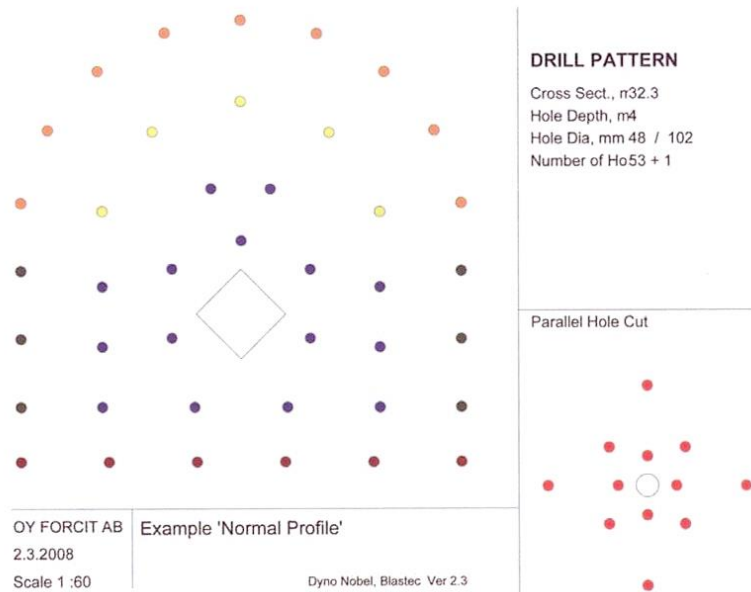
Päältä iskevässä porauksessa tarvitaan neljä elementtiä: isku, huuhtelu, syöttö ja pyörittäminen. Iskun tarkoitus on murskata kallio. Poralaitteessa on iskumäntä, jonka iskutaajuus vaihtelee yleensä 40–100 Hz välillä. Tämä edestakainen liike välitetään porakoneessa kiinni olevan poratangon kautta kallion pinnassa kiinni olevaan porakruunuun. Porakruunussa on kiinni kovametallipaloja, jotka kalliioon painautuessaan murskaavat sen hienoksi jauheeksi. Kun iskuvoimaa lisätään, syntyy kalliioon rakoilua, jonka seurauksena kalliosta irtoaa pala. (Hakapää & Lappalainen 2011, 137–145.)

Porakruunun kovametallipala ei saa kuitenkaan iskeä koko ajan samaan kohtaan, vaan kohdan pitää vaihdella, jotta porausteho saadaan optimoitua. Kuten iskuvoiman, myös pyörittävän liikkeen tuottaa porakone. Porakoneessa on pyörittysmoottori, joka vaihteiston välityksellä pyörittää porakoneen akselia ja tähän liitettyä poratankoa ja edelleen porakruunua. Pyörimisnopeus riippuu porakruunun halkaisijasta – kruunun halkaisijan kasvaessa myös kehänopeus kasvaa ja vastaavasti pyörimisnopeutta pitää tällöin alentaa, jotta kovametallipala siirtyy oikean matkan iskujen välillä. (Hakapää & Lappalainen 2011, 137–145.)

Jotta poraus olisi mahdollisimman tehokasta, pitää porakruunun olla jatkuvassa kosketuksessa kallioon. Tämä toteutetaan syöttölaitteella, joka painaa porakruunua kalliota vasten ja samalla siirtää porakruunua koko ajan eteenpäin. Syöttö on toteutettu asentamalla poralaite niin sanotun kelkan päälle. Kelkka taasen on asennettu syöttölaitteeseen, jota pitkin kelkka liikkuu. Syöttövoima ja -nopeus säädetään hydraulisesti kulloisenkin tilanteen mukaan. Liian pieni syöttövoima ei pidä porakruunua jatkuvassa kosketuksessa kallioon, ja näin tunkeutumisnopeus pienenee ja porauskalusto rasittuu. Liian suuri syöttövoima aiheuttaa pyörimisnopeuden heikkenemisen ja riski poralaitteen jumiutumisesta kasvaa. Tämä taas voi aiheuttaa syöttölaitteen asennon muuttumisen ja reiän suuntausvirheen. (Hakapää & Lappalainen 2011, 137–145.)

Huuhtelun tarkoitus on parantaa tunkeutumisnopeutta ja kasvattaa porakruunun käyttöikä. Porauksessa syntyvä porausjäte, eli soija, pitää huuhdella porausreiästä pois. Maanalaisessa louhinnassa tämä toteutetaan vedellä, koska vesi samalla sitoo itseensä porauksen yhteydessä syntyneen pölyn. Vesi tuodaan laitteelle kaivoksen omaa vesiputkiverkostoa pitkin ja viedään poralaitteen ja poratangon sisällä porakruunulle. Porakruunun päässä on huuhtelureikiä, joista vesi pääsee purkautumaan porausreiän perälle ja kuljettamaan syntyneen soijan ulos porausreiästä. Peruseriaatteena on, että mitä suurempi porausteho, sitä suurempi huuhtelun tarve. Riittämätön huuhtelu rajoittaa poraustehoa, suurentaa porauskaluston jumiutumisen riskiä ja lisää porakruunun kulumista. (Hakapää & Lappalainen 2011, 137–145.)

Peräporauksessa tunnelin perä porataan aina periaatteellisesti samalla kaavalla vaikka etenemissuunta ja perän pinnan muodot vaikuttavat aina yksittäisten reikien paikoitukseen ja suuntaukseen. Kuvassa 4 on Blastec-ohjelmistolla suunniteltu reikien paikoitus. (Hakapää & Lappalainen 2011, 173–176.)



KUVA 4. Peränporausreikien paikotuskaavio (Hakapää & Lappalainen 2011)

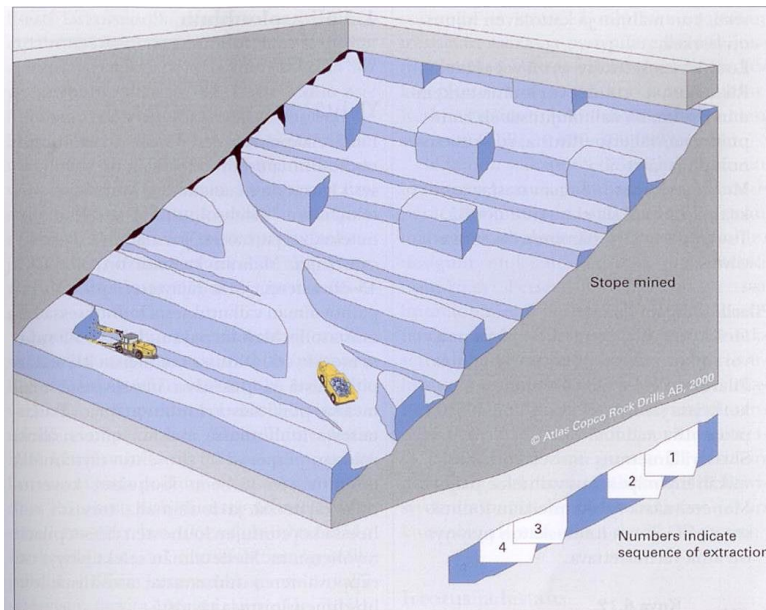
Oikeassa alanurkassa on perästä otettu suurennos avarrusreiästä ja sen ympärillä olevista rei'istä. Koska peränajossa ei kivimassalla ole muuta mahdollisuutta kuin purkautua taaksepäin, pitää keskelle perää tehdä avarrusreikä sekä ajastaa panokset niin, että kivimassa pääsee purkautumaan keskeltä ja näin laajentumaan taaksepäin. (Hakapää & Lappalainen 2011, 173–176.)

2.6.3 Käyttökohteet

DD-laitteita käytetään kaivoksilla yleisesti infrastruktuurin rakentamiseen sekä tietyn tyyppisissä louhoksissa tuotantoporaukseen. Kaivoksen infrastruktuurin rakentamiseen kuuluvat erilaiset valmistelevat työt, kuten ramppien ja kulkuväylien rakentaminen eri louhosten ja kaatokuilujen välille, sekä muiden, kaivosten kannalta oleellisten tilojen rakentaminen. Lisäksi DD-laitteilla suoritetaan tasojen ja välitasojen peränajot pitkäreikämenetelmää käyttävissä kohteissa. (Hakapää & Lappalainen 2011, 85–86; Koivisto 2017.)

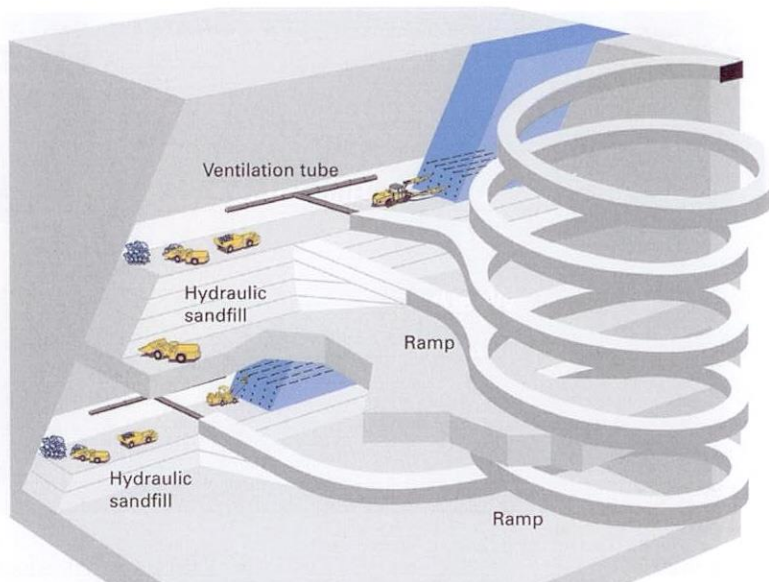
DD-laitteita käytetään tuotantoporaukseen pilarilouhinnassa ja lyhytreikätyttölouhinnassa. Pilarilouhinnassa malmi ja ympärillä oleva kallio ovat tarpeeksi lujia, jotta louhoksen katto voidaan kannatella malmipilareilla. Näin ei tarvita louhinnan aikaista

täyttöä. Menetelmä soveltuu hyvin vaakasuorien tai loivien ja ohuiden malmien louhintaan (kuva 5). Se on kustannuksiltaan alhainen, sillä valmistavat työt tehdään usein malmin sisällä. Haittapuolina on mahdollinen sivukivilaimennus, jos malmin muoto on repaleinen, sekä pilareihin jäävät malmitappiot. Malmitappioita voidaan pienentää varsinaisen louhinnan loputtua ryöstölouhinnalla. (Hakapää & Lappalainen 2011, 104–106; Koivisto 2017.)



KUVA 5. Vinon malmin louhintaa pilarilouhintamenetelmällä (Hakapää & Lappalainen 2011)

Lyhytreikätyöttölouhinta soveltuu kapeille ja korkeille malmioille. Siinä peränporauslaitteilla louhitaan malmin kerroksina, alhaalta ylöspäin edeten. Kun yksi kerros on saatu louhittua, täytetään se täyttöaineella ja uuden louhinta aloitetaan tämän päältä (kuva 6). (Hakapää & Lappalainen 2011, 114–115.)



KUVA 6. Lyhytreikätyttömenetelmän periaate (Hakapää & Lappalainen 2011)

Menetelmän etu on selektiivisyys, eli malmi on mahdollista louhia hyvin tarkkaan ilman sivukivilaimennusta ja malmirajojen tarkkaa tuntemista etukäteen. Haittapuolina on sen hitaus, kalleus sekä täyttöaineen korkea menekki. (Koivisto 2017.)

3 TUOTEKEHITYS

Tuotekehityksellä tarkoitetaan yritysten toimintaa, joka tähtää tuotteiden kehittämiseen ja parantamiseen. Nykyisin tuotekehitys pitää sisällään monia yrityksen eri toimintoja ja laajimmillaan saattaa rakentua yritysverkostosta, jossa monet eri alojen toimijat yhdessä osallistuvat tuotteen kehitykseen. Tuotekehitys on monimuotoinen prosessi, joka sisältää riippuvuuksia eri osastojen ja yritysten välillä, mutta sen ollessa projektiluontoista voidaan sitä kuvata kuten muitakin projekteja ja sen etenemiseen soveltaa erilaisia projektimalleja. (Hietikko 2015, 45–46.)

3.1 Tuotekehitysprojektin lähtökohdat

Tuotekehitysprojekteja voidaan luokitella esimerkiksi niiden lähtökohtien perusteella. 1900-luvun alussa monet projektit olivat niin sanottuja teknologian työntöprosesseja. Kehitetylle uudelle teknologiainnovaatiolle pyritään löytämään markkinat, jotta innovaatiota päästään kaupallistamaan. (Hietikko 2015, 45.) Nykyaikana vastaavaa teknologian työntöä voidaan havaita esimerkiksi mobiililaitteiden ominaisuuksissa ja niihin tehtävissä ohjelmistoissa.

1960-luvulla projektit muuttuivat pitkälti markkinavetoisiksi, eli markkinoilla, esimerkiksi teollisuudella, on tarve uudelle tuotteelle tai innovaatiolle ja alan yritykset pyrkivät vastamaan tähän tarpeeseen aloittamalla tarpeen täyttäviä tuotekehitysprojekteja (Hietikko 2015, 46). Tämän kaltaisissa projekteissa on yhteys asiakkaaseen elintärkeä, jotta saadaan selville markkinoiden todelliset tarpeet ja vältetään erilaisilta virheoletuksilta.

Näiden kahden lisäksi on räätälöintiprojekteja ja paranteluprojekteja. Räätälöintiprojektissa tehdään rajattu määrä tuotetta juuri tietylle asiakkaalle tämän toiveiden mukaan. (Hietikko 2015, 45.) Usein projektin pohjana saattaa olla jo olemassa oleva tuote, joka kuitenkin tarvitsee muutoksia, jotta se vastaisi paremmin asiakkaan tarpeita. Paranteluprojektit taas ovat ehkä yleisimpiä tuotekehitysprojekteja. Niissä olemassa olevaa tuotetta parannetaan pohjautuen testeihin ja asiakaspalautteisiin, ja näin pyritään täyttämään yhä paremmin markkinoiden tarpeet.

3.2 Tuotekehitysprojektin vaiheet

Tuotekehitysprojektit koostuvat erilaisista vaiheista, joista jokaisella on oma tarkoituksensa. Usein ei seuraavaa vaihetta voida aloittaa ilman, että edellinen on saatu valmiiksi. Riippuen projektin rakenteesta ja tarkoituksesta voi projekteissa esiintyä erilaisia vaiheita mutta karkea rajaus kolmeen eri vaiheeseen sopii kuitenkin lähes kaikkiin. Nämä vaiheet ovat tarvekuvaus, luovan työn vaihe ja detaljisuunnittelu. (Hietikko 2015, 45.)

Projektin vaiheiden tarkempaan määrittelyyn on useita eri malleja riippuen projektin luonteesta ja tarkoituksesta. Ulrich-Eppinger-mallin mukaan projekti etenee kuvion 3 mukaisesti.



KUVIO 3. Tuotekehitysprojektin vaiheet (Hietikko 2015)

Tuoteohjelman suunnittelun aikana määritetään projektin reunaehdot ja mahdollisesti tehdään esiselvitys, jonka perusteella päätetään lähdetäänkö projektia viemään eteenpäin. Kun päätös projektin toteuttamisesta on saatu, aloitetaan konseptisuunnittelu. Sen aikana selvitetään asiakastarpeet, suoritetaan kilpalevien tuotteiden arviointi ja näiden jälkeen aloitetaan innovointi, eli ideoidaan ratkaisuja asiakkaan tarpeisiin ja mahdollisiin ongelmiin. (Hietikko 2015, 47–48.)

Systemisuunnittelussa tarkastellaan tuotetta kokonaisuutena. Eri ratkaisuja pyritään yhdistämään kokonaiseksi tuotteeksi ja täyttämään markkinoiden tarpeet mahdollisimman hyvin. Tarvittaessa voidaan myös miettiä tuotteen modulaarisuutta. Detaljisuunnittelussa on valittu systemisuunnittelun tuloksista parhaimmat ja näitä lähdetään suunnittelemaan lopulliseen muotoonsa. Tässä vaiheessa määritetään pitkälti tuotteen hinta materiaalivalintojen ja valmistusteknillisten ratkaisujen kautta. Testausvaiheessa valmis tuote testataan. Riippuen projektin budjetista, tuotteen hinnasta sekä testien sisällöstä voidaan testaus suorittaa prototyypin, pienoismallin tai tietokonesimulaation avulla. (Hietikko 2015, 47–48.)

Viimeisenä vaiheena on tuotannon käynnistäminen. Kun tuote on todettu toimivaksi ja riittävän kustannustehokkaaksi, käynnistetään sen tuotanto. Usein tuotanto aloitetaan

niin sanotulla nolla-sarjalla, jonka avulla testataan tuotantoa ja mahdollisesti koulutetaan työntekijöitä. (Hietikko 2015, 47–48.)

Edellä kuvattu malli on niin sanottu peräkkäismalli, jossa uutta vaihetta ei voida aloittaa ennen kuin vanha on valmis. Toinen vaihtoehto on niin sanottu spiraalimalli, jossa vaiheita kierretään kehässä, ja jokaisen kierroksen myötä siirrytään lähemmäksi lopullista ratkaisua. (Hietikko 2015, 45.) Usein tuotekehitysprojekteissa on havaittavissa piirteitä molemmista malleista; eteneminen vaiheesta toiseen tapahtuu peräkkäismallin mukaan, mutta tarpeen tullen palataan edelliseen vaiheeseen uudelleenarviointia varten. Tuotekehitysprojektilla on siis monta mahdollista lopputulosta, joista parasta kohti edetään projektin eri vaiheiden edetessä. Tätä kuvaa hyvin Jokisen (2001) esittämä kaavio tuotekehityksen toimintavaiheista (liite 6) (Jokinen 2001, 16). Kuten kaaviosta on nähtävillä, läpi koko tuotekehitysprojektin tehdään valintoja eri vaihtoehtojen välillä. Luomalla monia vaihtoehtoisia toteutuksia tuotteen toimintaperiaatteelle, sen osille ja kokoonpanolle ja vertailemalla niitä keskenään saadaan aikaiseksi paras tuote niin toiminnan kuin valmistuksenkin kannalta.

4 PORAKRUUNUN VAIHTAJA DD-LAITTEISIIN

Porakruunun vaihtaja on laite, jolla on mahdollista vaihtaa porauslaitteen kulunut porakruunu uuteen ilman laitteen ohjaamosta poistumista. Erilaisia konsepteja ja tutkielmia on Sandvikilla toteutettu aiheesta ennenkin, mutta tuotantoversioita ei laitteesta ole vielä tehty.

4.1 Projektin tausta

Porakruunu (kuva 7) on porauksessa eniten kuluva osa. Kun porakruunun päässä olevat kovametallipalat kuluvat, pienenee poran tunkeutumisenopeus yhä enemmän ja enemmän ja lopulta saavuttaa pisteen, jolloin porakruunu on vaihdettava. Yleisesti porakruunun vaihtaminen tehdään käsin. Kruunu irrotetaan tangon päästä iskettämällä sitä perän seinämää vasten ilman pyöritystä. Näin tangon pään ja porakruunun välinen kierreliitos aukeaa. Tämän jälkeen koneen käyttäjän pitää poistua ohjaamosta, kävellä porauslaitteen eteen ja irrottaa vanha kruunu ja kiertää uusi tilalle.



KUVA 7. Erilaisia porakruunuja (Sandvik Mining and Construction 2017a)

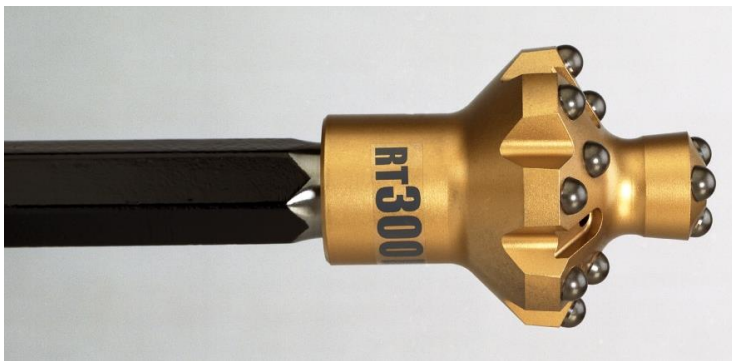
Porakruunun vaihtaminen käsin sisältää monia laitteen käyttäjän turvallisuutta vaarantavia tekijöitä. Laite on porauksen aikana tunnelin lujittamattomalla alueella, eli tunne-

lin kattoa ei ole vahvistettu pulteilla tai vaijereilla. Tämä synnyttää riskin laitteen operaattorin päälle putoavista lohkareista porakruunun vaihdon yhteydessä. Hyvin pienikin lohkare voi aiheuttaa vakavia vammoja pudotessaan monen metrin korkeudesta esimerkiksi laitteen käyttäjän päähän. Toinen turvallisuutta vaarantava tekijä porakruunun vaihdon yhteydessä on laitteesta pois ja takaisin laitteeseen siirtyminen. Aina poistuttaessa ja mentäessä laitteen ohjaamoon on olemassa riski putoamisesta sekä erilaisista nyrjähdyksistä ja vääntymistä, sillä tunnelin pohja ei ole tasaisen. Ohjaamosta poistuminen ja sinne meneminen aiheuttaakin yleisesti eniten tapaturmia kaivoksilla (Kuittinen 2017). Laitteen käyttäjän turvallisuutta saadaan parannettua huomattavasti, kun ohjaamosta poistumisien määrä perän porauksen aikana saadaan minimoitua.

Lisäksi porakruunun vaihtajalla on tarkoitus nopeuttaa itse peränporausoperaatiota. Kun laitteen käyttäjän ei tarvitse porakruunun vaihdon yhteydessä poistua ohjaamosta, vaan porakruunun vaihto pystytään toteuttamaan laitteella itsellään, voidaan pystyä säästämään osa perinteisessä porakruunun vaihdossa kävelyyn kuluva ajasta. Lisäksi on mahdollista, että porausta voidaan jatkaa toisella puomilla, vaikka toiseen vaihdettaisiinkin porakruunua. Laitteen käyttäjän suorittaessa porakruunun vaihdon ei tämä ole mahdollista, sillä turvallisuussyistä porauksen ollessa käynnissä ei laitteen etuosan läheisyydessä saa olla ihmisiä.

4.2 Projektin määrittely

Projektin vaatimukset selvitettiin heti projektin alettua. Käytettäväksi laitekalustoksi määräytyi Sandvik DD422i varustettuna SB60-puomeilla. Syöttölaitteiden pituusvalikoimaksi määritettiin 12'–18' ja tankojen halkaisijoiksi 32 mm ja 35 mm. Käytettävät porakruunut olisivat halkaisijaltaan 45 mm, 48 mm ja 51 mm sekä avarruskruunut halkaisijaltaan 102 mm ja 127 mm. Avarruskruunut eroavat normaaleista kruunuista suuremman halkaisijan lisäksi muodoltaan (kuva 8).



KUVA 8. Avarruskruunu (Sandvik Mining and Construction 2017a)

Asiakkaat operoivat laitteilla hyvinkin erikokoisissa tunneleissa, tunnelikoon riippuessa muun laitekaluston, esimerkiksi dumperin, koosta. Minimitunnelikoko, jossa Sandvik DD422i pystyy työskentelemään, on neljä metriä leveä ja neljä metriä korkea.

Porakruunun vaihto suoritetaan molempia puomeja käyttäen niin, että toinen puomi on niin sanottu porakruunun vaihtaja puomi ja toinen porakruunua vaihtava puomi. Eli porakruunuvaihtaja on sijoitettu toiseen puomiin ja toisessa puomissa on vaihdettava porakruunu. Minimitunnelikoko, jossa porakruunun vaihto tulee pystyä suorittamaan, määritettiin niin, että koneen molemmin puolin tulee olla metri vapaata tilaa. Tällöin tunnelin leveys on 4300 mm.

Porakruunun vaihtajan pitää pystyä varastoimaan vähintään kolme normaalia kruunua ja yksi avarruskruunu, ja kruunujen säilytys ja vaihto tulee suunnitella niin, etteivät kruunut tipu pois porakruunun vaihtajasta puomin asennosta riippumatta. Porakruunun vaihtaja ei saa häiritä näkyvyyttä porausoperaatioon ja sen pitää kestää pieniä iskuja, joita siihen voi kohdistua esimerkiksi kruununvaihdon yhteydessä. Kruununvaihdon pitää olla mahdollisimman helppo ja nopea. Porakruunun vaihtajan kiinnitys tulee tehdä joko puomiin tai syöttölaitteeseen. Lisäksi porakruunun vaihtajan pitää olla mahdollisimman kevyt, etenkin jos se kiinnitetään syöttölaitteeseen, sillä liian suuri paino rasittaisi syöttölaitetta.

Porakruunun vaihtajan lisäksi projektissa on tarkoitus tutkia porakruunun vaihtoa ilman laitteeseen asennettua poratangon pitoa. DD-laitteisiin on saatavilla poratangon pito, jota yleensä käytetään tilanteissa, joissa porattava reikä on niin pitkä, että tarvitaan jatkotankoja. Pito toimii niin, että syöttölaitteen etupäässä on laite, joka tangon vaihdon

yhteydessä ottaa jo poratusta tangosta kiinni ja uusi tanko on mahdollista kiertää jatkoksi vanhan perään.

Tangon pidon tarpeellisuus porakruunun vaihdon yhteydessä syntyy tavasta, jolla porakruunu irrotetaan poratangon päästä. Iskettäessä porakruunua kallion seinämää vasten porakruunun ja poratangon kierreliitoksen avaamiseksi, avautuvat samalla myös muut kierreliitokset poralaitteen ja porakruunun välillä, eli myös poratangon ja porakoneen niskan välinen liitos aukeaa. Kun porakruunua sitten irrotetaan poratangosta kiertämällä, voi liitos aueta joko porakruunun ja poratangon tai poratangon ja porakoneen niskan välistä. Jos liitos aukeaa poratangon ja porakoneen niskan välistä, poratanko tippuu. Tämä estetään pidolla, joka pitää poratangosta kiinni, kun se iskettämisen jälkeen kierretään takaisin kiinni porakoneen niskaan. Kun poratanko on kierretty takaisin porakoneen niskaan kiinni, aukeaa porakruunun vaihdon yhteydessä vain porakruunun ja poratangon välinen liitos.

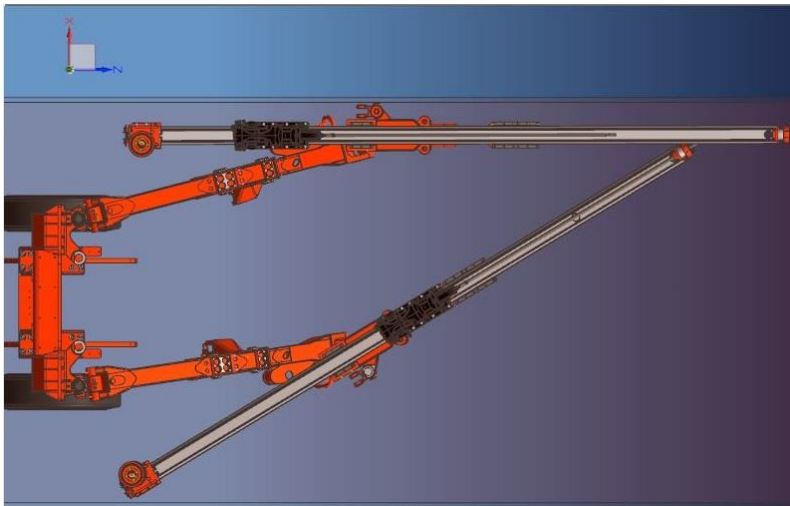
Poratangon pidon sijainti syöttölaitteen etuosassa voi mahdollisesti haitata näkyvyyttä porakruunulle ja hankaloittaa sen vaihtoa. Projektin aikana tutkittiin muita mahdollisuuksia tangon pidolle ja näin tehdä porakruunun vaihtajasta riippumaton laitteen muista varusteista ja varmistaa porakruunun vaihdon helppous. Porakruunun vaihtajan riippumattomuus laitteen muista varusteista helpottaa sen myyntiä, sillä asiakkaan ei tarvitsisi porakruunun vaihtajaa hankkiessaan hankkia myös poratangolle pitoa, mitä hän ei välttämättä tarvitsisi kuin ainoastaan porakruunun vaihdon yhteydessä.

4.3 Projektin aikataulu

Projektille määritettiin sen alettua alustava aikataulu. Aikataulun tekeminen helpottaa projektin keston määrittämistä, eri työvaiheiden havainnointia ja suunnittelua, projektin etenemisen seuranta sekä työmäärän hallintaa. Aikataulusta tehtiin Excel-pohjainen, johon merkittiin projektin vaiheet niihin kuuluvine työtunteineen, projektin suunniteltu eteneminen kalendaarisesti sekä suunnitellut seurantapalaverit (Liite 1). Aikataulua päivitettiin projektin edetessä vastaamaan sen hetkistä tilannetta, samoin kuin seurantapalaverien viikkokohtaisia ajankohtia siirrettiin vastamaan sovittuja kokousaikoja.

5 PUOMIN LIIKKEIDEN SIMULOINTI

Koska porakruunun vaihto suoritetaan kahdella puomilla rajoitetussa tilassa, oli olennaista tarkastella puomien liikkeitä tässä kyseisessä tilassa ja näin määrittää toisessa puomissa alue, johon toisella on mahdollista yltää. Tämän vaihtoalueen piti olla joko itse puomissa tai mahdollisimman lähellä puomia syöttölaitteessa, jotta syöttölaite ei taipuisi porakruunun vaihtajan painosta. Lisäksi selvitettiin vaihtavan puomin ja porakruunun vaihtaja puomin väliset kulmat vaihtotilanteessa, sillä kuten kuvasta 9 on nähtävillä, eivät puomit ole vaihdon aikana suorassa kulmassa toisiinsa nähden.

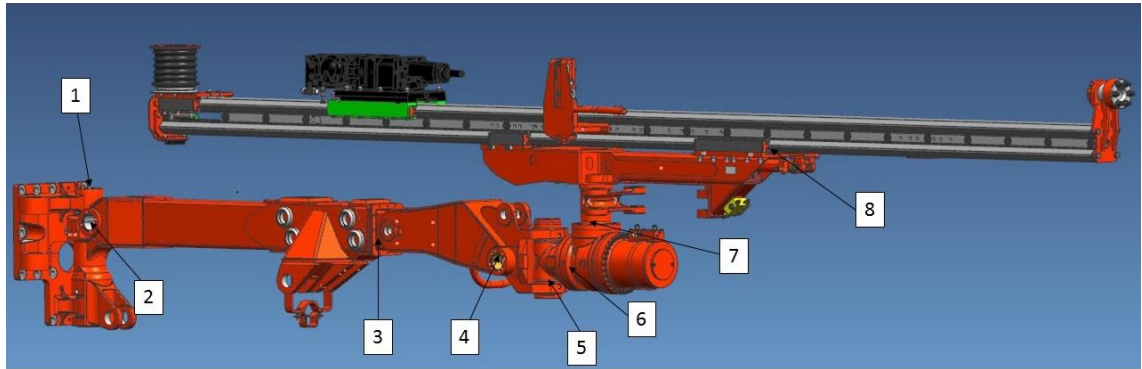


KUVA 9. Puomien asennot porakruunun vaihdon yhteydessä

Seuraavissa luvuissa esitetyissä taulukoissa havainnollistetaan etäisyyksien ja kulmien muutoksia eri puomien asennoissa. Taulukoissa puomin kulma tarkoittaa porakruunun vaihtaja puomin nostokulmaa, pituussuuntainen kulma tarkoittaa puomien välistä vaakatasoista kulmaa (liite 2), korkeussuuntainen kulma tarkoittaa puomien välistä pystykulmaa (liite 3). Etäisyys syöttöpalkin alareunasta tarkoittaa poratangon pään keskiön ja syöttöpalkin alapinnan välistä etäisyyttä (liite 4), etäisyys syöttöpalkin päästä tarkoittaa poratangon pään keskiön ja syöttöpalkin pään välistä etäisyyttä (liite 5) ja etäisyys syöttöpalkin kyljestä tarkoittaa poratangon pään keskiön etäisyyttä syöttöpalkin kyljen tasaisesta pinnasta (liite 5).

5.1 Puomin nivelet ja jatkeet

SB60-puomissa on monia niveliä ja jatkeita, joiden avulla laitteelle on saatu mahdollisimman suuri peittoala (kuva 10). Puomin monipuolinen liikuteltavuus mahdollistaa myös porakruunun vaihdon pienessäkin tilassa.

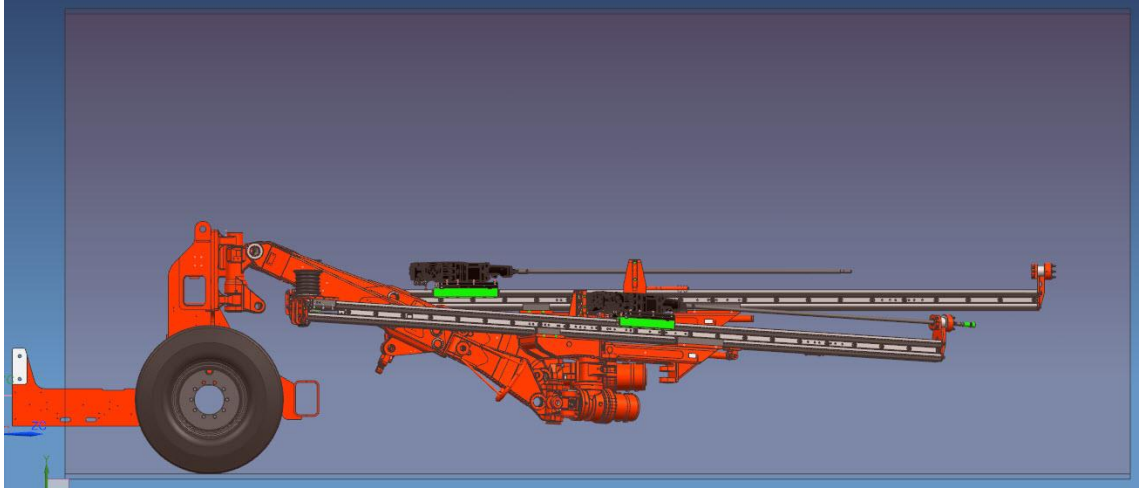


KUVA 10. SB60-puomin nivelet ja jatkeet

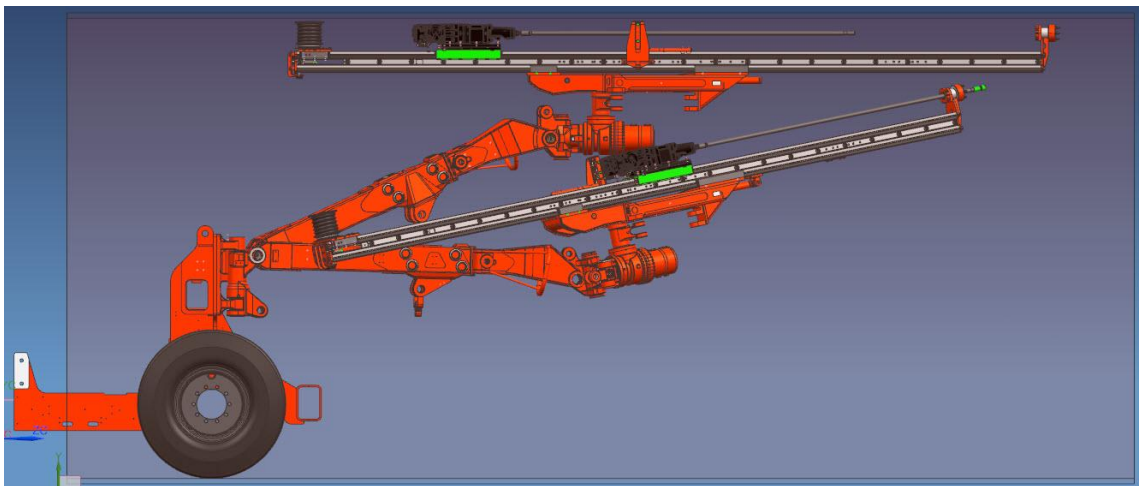
Kuvassa numero yksi on puomin swing- eli kääntönivel, numero kaksi on puomin nostonivel, numero kolme on puomin zoom eli lineaarisesti liikkuva jatke. Numero neljä on tilt-nivel, joka kallistaa puomin etuosaa pystysuorassa suunnassa, numero viisi on feed swing -nivel, joka kääntää rotaattoria ja syöttölaitetta vaakasuunnassa. Numero kuusi on rotation-nivel, joka kääntää syöttölaitetta vaakasuuntaisen akselin ympäri ja numero seitsemän on bolting-nivel, joka kääntää syöttölaitetta pystysuuntaisen akselin ympäri. Numero kahdeksan on syöttölaitteen siirto, joka siirtää syöttölaitetta lineaarisesti.

5.2 Simulaatiot ja niiden tulokset

Ensimmäisissä simulaatioissa tavoite oli tarkastella mahdollisuutta porakruunun vaihtoon samalla, kun porakruunun vaihtajapuomilla suoritetaan porausta. Tällöin porakruunun vaihtajapuomin syöttölaitteen oletettiin olevan suorassa laitteeseen nähden niin vaaka- kuin pystysuunnassa ja laitteen olevan paikoitettuna porausta varten, kun syöttölaitteen pää osui tunnelin peräseinämään puomien ollessa suorana eteenpäin. Kuvissa 11 ja 12 on simulaatioiden kaksi ääritilannetta, toisessa porakruunun vaihtajapuomi oli aivan tunnelin katossa kiinni ja toisessa puomi oli mahdollisimman alhaalla.



KUVA 11. Porakruunun vaihtajapuomi ala-asennossa



KUVA 12. Porakruunun vaihtajapuomi yläasennossa

Kuten kuvista on nähtävillä, ovat puomien keskinäiset kulmat näiden kahden tilanteen välillä toisistaan selkeästi poikkeavat, mikä hankaloittaa porakruunun vaihtoa. Suorite- tuissa simulaatioissa havaittiin, että pituussuuntainen kulma on mahdollista pitää lähes samana puomien keskinäisistä asemista riippumatta, mutta korkeussuuntaisessa kulmas- sa esiintyy huomattavaa vaihtelua (taulukko 1). Taulukoissa esitetyt etäisyydet ovat millimetreinä.

TAULUKKO 1. Simulaatioiden mittaustulokset

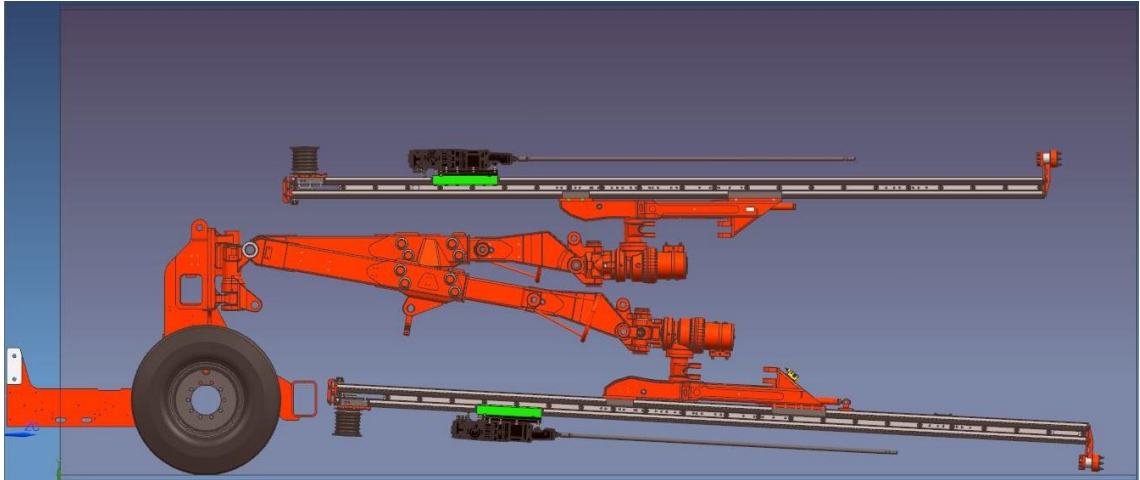
Puomi- kulma	Pituussuun- tainen kulma	Korkeus- suuntainen kulma	Etäisyys syöttö- palkin alareu- nasta	Etäisyys syöttöpalk- in päästä	Etäisyys syöttöpalkin kyljestä
0	33	8	117	831	48
5	33	9	164	793	45
10	33	10	158	743	44
15	33	10	162	661	46
24	32	10	155	589	47
-5	31	6	163	778	45
-10	31	3	113	731	42
-15	31	0	120	658	45
-20	31	-3	138	650	43
KA	32	6	142	718	45

Taulukosta 1 on havaittavissa, että puomien väliset kulmat pysyivät samankaltaisimmillaan puomikulman ollessa positiivinen. Koska porakruunun vaihto porauksen aikana osoittautui vaikeaksi toteuttaa niin puomien välisten kulmien eroavaisuuden kuin puomien paikotusmenetelmän takia, jatkettiin selvitystä vain positiivisilla puomin kulmilla. Seuraavissa simulaatioissa testattiin, toisiko porakruunun vaihtajapuomin syöttölaitteen etupään kääntäminen kohti tunnelin seinää porakruunun vaihtoaluetta yhtään lähemmäksi laitetta. Havaittu muutos oli kuitenkin niin pieni, ettei sillä katsottu olevan merkitystä.

Taulukosta 1 on havaittavissa, että porakruunun vaihtajapuomin ollessa vaakatasossa on poratangon pään keskiön etäisyys syöttöpalkin päästä suurimmillaan. Vaihtavan puomin asento on siis tällöin optimaalisimmillaan. Porakruunun vaihto olisi paras suorittaa vaihtavan puomin ollessa tässä asennossa ja vain porakruunun vaihtajapuomin asentoa vaihdettaisiin. Vaihtoalueeksi valittiin puomikulmat välillä -1 ja +7 astetta, tällöin saadaan pystysuuntaiseksi siirtymäksi 423 mm. Koska porakruunun vaihtajapuomi on vaihtoasennossa käännettynä tunnelin seinää kohti, ei syöttöpalkin pää ole kiinni tunnelin seinässä vaan puomin ollessa vaakasuorana on etäisyyttä 122 mm. Tämä väli on mahdollista käyttää porakruunun vaihdon yhteydessä hyväksi, jolloin vaihtoalueeksi saadaan 423 mm korkea ja 122 mm pitkä alue syöttöpalkin alla.

Simulaatioiden yhteydessä havaittiin kuitenkin, että laite on paikoitettu väärin tunnelin perän suhteen. Jotta kaikki perän reiät olisi mahdollista porata, tulee laite paikoittaa tietylle etäisyydelle tunnelin perästä. Jos laite on liian lähellä tunnelin perää, ei alareikien

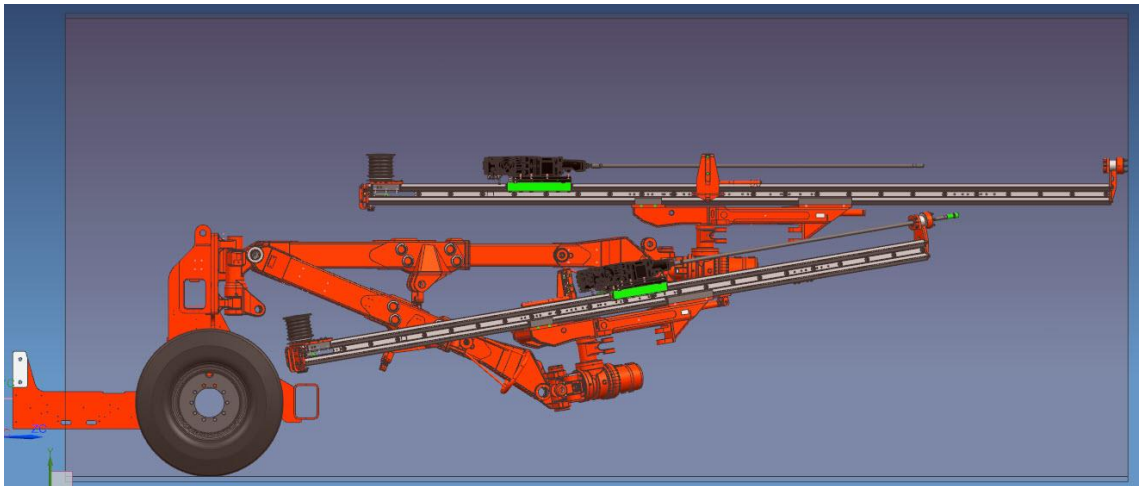
poraaminen onnistu ja puomien liikuttaminen on hankalaa. Kuvassa 13 on havainnollistettu laitteen paikoitus.



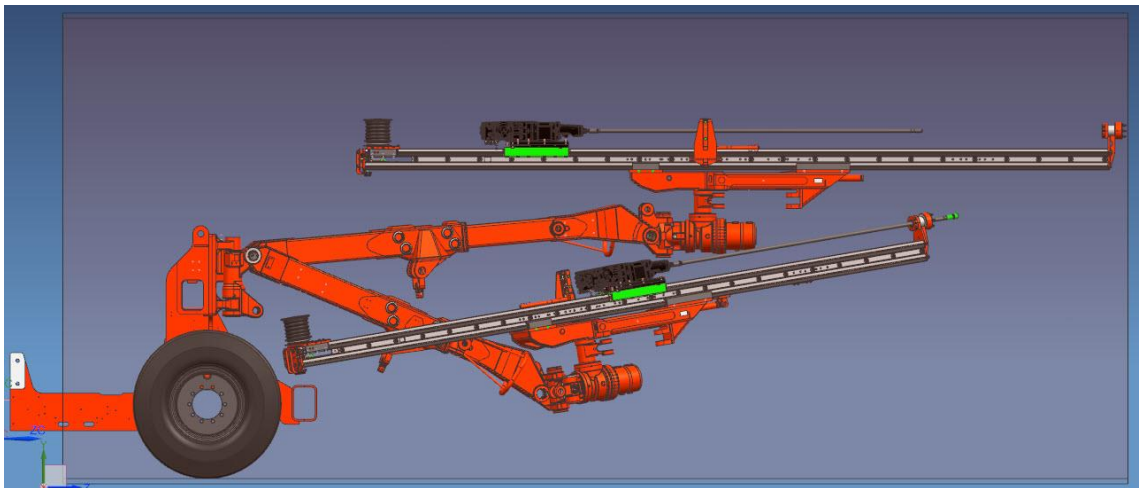
KUVA 13. Laitteen paikoitus tunnelin perän suhteen

Syöttölaitteen takaosan etäisyys koneen etuosasta on 100 mm ja syöttölaitteen etuosan etäisyys tunnelin perästä on 300 mm. Näin ollen syöttölaitteen etuosan ja tunnelin perän väliin jää 700 mm kun puomi on paikoitettu vaihtoasentoon vaakasuorana. Tämä lisäantunut vapaa tila mahdollistaa porakruunun vaihtoalueen tuomisen yhä lähemmäksi puomin kehtoa eli puomin osaa, johon syöttölaite on kiinnitetty.

Uusissa simulaatioissa käytettiin syöttölaitteen eteenpäin viemiseen syöttölaitteen siirron sijaan puomin zoomia, koska oikeassa tilanteessa zoomia käytetään ensisijaisesti. Tämä vaikutti käytettyihin nosto- ja kääntökulmiin, sillä syöttölaitteen siirtoa käytettäessä liikkuu syöttöpalkki tunnelin suuntaisesti, kun taas zoomia käytettäessä liikkuu syöttöpalkki puomin suuntaisesti eli useimmissa simulaatiotilanteissa eteen, sivulle ja ylöspäin. Kuvissa 14 ja 15 on esitetty uusien simulaatioiden kaksi ääriasentoa: porakruunun vaihtajapuomi vaakasuorassa ja 5 asteen nostokulmassa.



KUVA 14. Porakruunun vaihtajapuomi vaaka-asennossa



KUVA 15. Porakruunun vaihtajapuomi 5 asteen nostokulmassa

Johtuen zoomin vaikutuksesta syöttölaitteen paikkaan oli nostokulmien vaihtelua mahdollistaa kaventaa 0–5 asteeseen ilman, että porakruunun vaihtoalue pieneni. Lisäksi koneen uudelleen paikotus toi huomattavasti lisää pituussuuntaista aluetta. Alla on taulukko 2, jossa on esitettyinä simulaatioiden tulokset.

TAULUKKO 2. Simulaatioiden tulokset zoomin ollessa käytössä

Puomi- kulma	Zoom	Pituusuun- tainen kulma	Korkeus- suuntainen kulma	Etäisyys syöttöpalkin alareunasta	Etäisyys syöttöpalkin päästä	Etäisyys syöttöpalkin kyljestä
0	780	33	8	117	1514	64
2	780	33	8	250	1516	63
5	785	33	8	450	1513	63

Verrattaessa taulukkoa 2 taulukkoon 1 on huomattavissa lähes kaksinkertainen etäisyys syöttöpalkin päästä. Tämä tarkoittaa, että porakruunun vaihtoalue ja tätä kautta porakruunun vaihtajan kiinnityspiste, siirtyi lähemmäksi puomin kehtoa, jolloin etäisyys tukipisteeseen on lyhyempi ja syöttöpalkki altistuu vähemmälle rasitukselle. Taulukossa 3 on esitetty simulaatioiden tulokset, kun puomin zoom on sisässä. Tätä kautta saadaan selville porakruunun vaihtoalueen pituus.

TAULUKKO 3. Simulaatioiden tulokset zoomin ollessa sisässä

Puomi- kulma	Pituussuun- tainen kulma	Korkeussuun- tainen kulma	Etäisyys syöttöpalkin alareunasta	Etäisyys syöttöpalkin päästä	Etäisyys syöttöpalkin kyljestä
0	33	8	117	711	65
2	33	8	223	713	64
5	33	8	381	712	64

Kun verrataan taulukoiden 2 ja 3 tuloksia, voidaan todeta, että zoomin ollessa käytössä on etäisyys syöttöpalkin päästä keskimäärin 1515 mm ja zoomin ollessa sisässä 712 mm. Porakruunun vaihtoalueen pituudeksi saadaan siis 803 mm. Porakruunun vaihtoalueen korkeudeksi saadaan 264 mm, kun verrataan etäisyyttä syöttöpalkin alareunasta zoomin ollessa sisällä ja puomikulmien ollessa nollan ja viiden asteen välillä. Näin ollen vaihtoalueen koko on pituudeltaan 803 mm ja korkeudeltaan 264 mm, sen sijaitessa välillä 1515 mm ja 712 mm syöttöpalkin päästä mitaten ja välillä 318 mm ja 117 mm syöttöpalkin alareunasta mitaten. Lisäksi tuloksista voidaan huomata, että poratanko on noin 33 asteen pituussuuntaisessa kulmassa ja 8 asteen korkeussuuntaisessa kulmassa syöttöpalkkiin nähden. Näin ollen myös porakruunujen pitää olla vaihdon aikana vastaavissa kulmissa porakruunun vaihtajassa.

6 IDEOINTI

Porakruunun vaihtajan teknisen toteutuksen suunnittelu aloitettiin simulaatioiden jälkeen. Teknisen toteutuksen suunnittelun pohjana käytettiin projektin määrittelyn yhteydessä laadittuja vaatimuksia vaihtajalle sekä simulaatioiden yhteydessä saatuja tietoja puomien välisistä kulmista ja etäisyyksistä. Ideoinnin aikataulu toteutettiin niin, että opinnäytetyön tekijällä oli aluksi viikko aikaa laatia omia ideoita ja ehdotuksia ja mahdollisesti jalostaa niitä eteenpäin. Tämän jälkeen järjestettiin ideointipalaveri, johon kutsuttiin yrityksen työntekijöitä tuomaan omia ideoitaan ja näkökulmiaan esille.

6.1 Itsenäinen ideointi

Ideoinnissa lähdettiin liikkeelle porakruunun vaihtajan oleellisimmista vaatimuksista. Porakruunun vaihdon mahdollistamiseksi pitää porakruunun pysyä vaihtajassa kiinni ja pyörimättä, jotta poratangon kiertäminen porakruunusta irti ja toiseen porakruunuun kiinni onnistuu. Käytetty porakruunu pitää pystyä tuomaan vaihtajaan ja uusi pitää pystyä ottamaan siitä pois. Lisäksi vanhat porakruunut tulee pystyä poistamaan vaihtajasta ja uudet asentaa siihen. Vaihto-operaation tulisi olla helppo, sillä porakruunun vaihtaja tulee simulaatioiden tulosten perusteella olemaan noin 5 metrin etäisyydellä laitteen käyttäjästä.

Käytännössä vaihtoehdot porakruunun pidolle olivat mekaaninen kiinnitys ja elastinen materiaali, joka muotoutuisi porakruunun ympärille ja omaisi hyvän kitkakertoimen. Mekaaninen kiinnitys osoittautui kuitenkin melko hankalaksi, sillä sekä kruunun pituus-suuntaisen liikkeen että pyörimisen estävän pidon samanaikainen toteuttaminen vaatisi puristusta. Porakruunun muodon hyödyntäminen pyörimisen eston suhteen tuntui haastavalta vaihto-operaation kannalta, sillä tällöin käyttäjän pitäisi pystyä tietämään porakruunun asento tarkasti. Mekaaninen kiinnitys jätettiin jatkossa pienemmälle huomiolle ja keskityttiin erilaisten muovien ja kumien hyödyntämisen tutkimiseen.

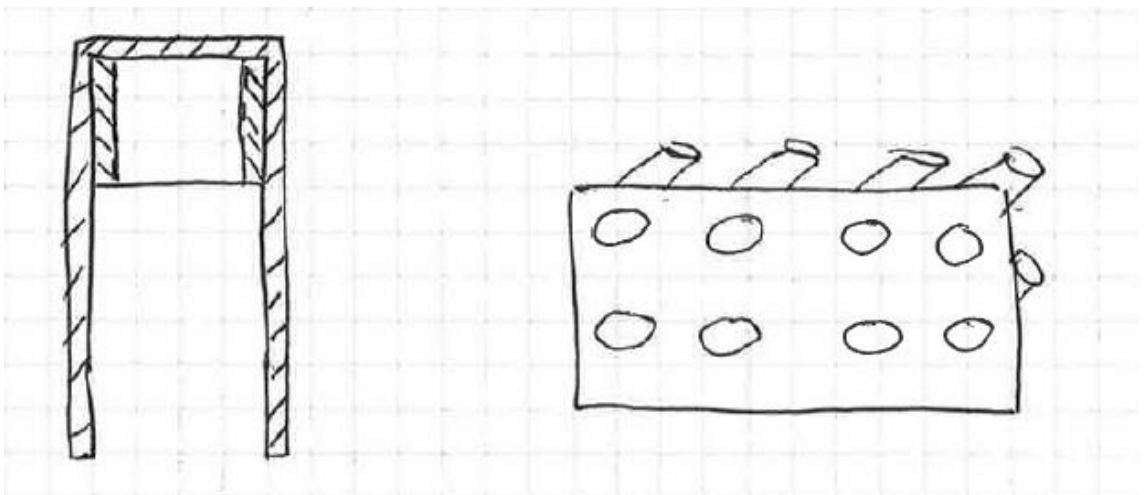
Muovien ja kumien hyödyntämisessä lähdettiin liikkeelle näkemyksestä, jossa kruunu työnnettäisiin elastisesta materiaalista valmistettuun putkeen. Putken sisähalkaisija olisi hieman porakruunun halkaisijaa pienempi, jolloin materiaali kiristyisi porakruunun ym-

pärille ja näin estäisi kruunua tippumasta. Kruunun muodosta (kuva 16) johtuen ei putkea voisi mitoittaa koko matkalle, sillä kruunun etupää on halkaisijaltaan suurempi kuin varsi.



KUVA 16. Porakruunu (Sandvik Mining and Construction 2017a)

Idea jatkojalostettiin siten, että kovasta muovista tai metallista valmistettaisiin porakruunulle perästä suljettu putki, jonka sisällä perässä kiinni olisi muovinen tai kuminen rengas, joka tiivistyisi vain porakruunun etupään osuudelle. Nämä putket sitten liitettäisiin reiälliseen levyyn (kuva 17). Näin kruunut olisi helppo tuoda ja viedä vaihtajasta. Lisäksi ratkaisu on tilaa säästävää, sillä saman kruunun voi tuoda porauksen päätyttyä samaan putkeen kuin mistä se on otettukin.



KUVA 17. Putkimallinen idea porakruununvaihtajasta

Idean ongelmaksi ilmeni kuitenkin nopeasti sen valmistettavuus sekä kesto. Koska porakruunun vaihtajan pitäisi olla mahdollisimman kompakti, tulisi putket sijoittaa toisiinsa kiinni. Porakruunujen ollessa noin 115 mm pitkiä, tulisi putken pituudeksi arviolta 120 mm, jolloin putkien liittäminen levyyn koko reunan pituudelta on käytännössä mahdotonta, sillä edellinen kiinnitetty putki estää yhden syrjän kiinnittämisen. Lisäksi simulaatioissa todetut puomien väliset kulmat aiheuttavat tarpeen tehdä kaksisuuntaiset viisteet putken päähän, ja tämä on valmistusteknillisesti melko hankalaa. Konseptin keston kannalta kriittiseksi elementiksi syntyy pitomuovin ja putken välinen kiinnitys. Liimaus melko suurella todennäköisyydellä tulisi nopeasti pettämään ja tällöin menetettäisiin kruunun pito muovirenkaan tippuessa putkesta.

6.2 Tuplatiimi

Jotta ideoiden määrä ja monipuolisuus olisi suuri, järjestettiin porakruunun vaihtajan ideoinnista palaveri. Tähän palaveriin oli kutsuttu Sandvikin maanalaisten laitteiden mekaniikkasuunnittelijoita, jotka tunsivat laitteet jo entuudestaan ja näin tarvitsivat vain lyhyen selonteon mihin tarkoitukseen laitetta oltiin suunnittelemassa. Ideoinnin apuna käytettiin tuplatiimi-käytäntöä.

Tuplatiimi-ideointimenetelmä on suomalaisen Innotiimi Oy:n kehittämä metodi. Menetelmä on suunniteltu 6–12 henkilölle ja kestää 2–3 h. Menetelmää johtaa aina yksi henkilö, joka on perehtynyt sekä käsiteltävään aiheeseen että tuplatiimimenetelmään. Menetelmä rakentuu pääasiassa parityöskentelyn pohjalle, joten osallistujien määrän olisi hyvä olla parillinen. Menetelmä sisältää kolme vaihetta; analyysi, ideoiden tuottaminen ja ratkaisu. Kukin vaihe koostuu seuraavista viidestä samanlaisesta vaiheesta: omat ajatukset, parien ajatukset, esittely, ristiin arviointi ja allekkain ryhmittely. (Jokinen 2001, 59.)

Analyysi-vaiheessa on tarkoitus miettiä käsiteltävää aihetta, sen tavoitteita ja ongelmia. Ideointi-vaiheessa kehitetään ratkaisuja aiheeseen, sen tavoitteiden saavuttamiseen ja ongelmien ratkaisemiseen. Ratkaisu-vaiheessa keksittyjen ideoiden pohjalta pyritään kehittämään ratkaisuja käsiteltävään aiheeseen. Jokainen näistä kolmesta vaiheesta sisältää viisi pienempää vaihetta, jotka toteutetaan aina samassa järjestyksessä. Ensin

työskennellään yksin ja pyritään tuottamaan mahdollisimman paljon ratkaisuja, ideoita ja huomioita annetun ajan puitteissa ja kirjoittamaan tai piirtämään ne paperille. Tämän jälkeen siirrytään työskentelemään pareittain, jolloin mietitään syntyneitä ideoita ja valitaan niistä parhaimmat. Valitut ideat viedään seinälle ja vuorollaan parit esittelevät valintansa. Tämän jälkeen suoritetaan ristiin arviointi, jossa jokainen pari käy merkkauksessa mielestään parhaimmat ideat. Kun merkkaukset on tehty, ryhmitellään ideat niin, että parhaimmat nostetaan seinällä ylimmäksi ja niiden alle tulevat samankaltaiset ideat, jotka ovat saaneet vähemmän ääniä. Näin saadaan selville parhaimmat ideat muiden joukosta. (Jokinen 2001, 62–63.)

Porakruunun vaihtajan ideoinnissa sovellettiin vain tuplatiimimenetelmän keskimmäistä vaihetta eli ideointia. Analyysivaihetta ja ratkaisuvaihetta ei käyty läpi. Menetelmä tuotti paljon uusia ideoita ja menetelmiä porakruunun vaihtoon ja vaihtajan rakenteeseen. Usein ryhmäideointi tuottaakin hyviä ideoita, sillä käsiteltävään aiheeseen saadaan erilaisia näkökulmia erilaisten kokemusten ja lähestymistapojen johdosta. Palaverissa syntyneet ideat säilytettiin ja niitä pohdittiin vielä jälkikäteen, ja niistä valittiin kaksi, joita lähdettiin kehittämään mahdolliseksi prototyypiksi.

7 PROTOTYYPPIEN SUUNNITTELU

Innovointitilaisuudessa kehitettyjen ideoiden ja ratkaisujen perusteella lähdettiin kehittämään kahta erilaista porakruunun vaihtajaa tarkoituksena suunnitelmien tarkentuessa kehittää näistä tarkat 3D-mallit ja mahdollisesti rakentaa prototyypit laitetestausta varten. Mietittäessä valittavia ratkaisuja ensisijaisina vaihtoehtoina pidettiin eniten ääniä saaneita sekä ideoita, joiden esiintyvyys oli ollut korkea. Näin valikoitui mahdollisiksi ratkaisuiksi niin sanottu reikälevykonsepti sekä lipaskonsepti.

Innovointitilaisuuden yhteydessä mietittiin myös poratangon pidon tarpeellisuutta. Esille nousi porakruunun vaihtajaan liitetty kumimaisesta materiaalista valmistettu hahlo, jota vasten tanko olisi mahdollista kiertää kiinni porakoneen niskaan. Periaate olisi pitkälti sama kuin edellä esitettyssä porakruunun vaihtajassa. Hahlon materiaali olisi elastista ja suuren kitkan omaavaa, jolloin painettaessa tankoa hahlossa materiaali puristuisi tankoa vasten ja estäisi sitä pyörimästä kierteytyksen aikana. Idea todettiin toimivaksi, ja sitä päätettiin jatkojalostaa ja lisätä porakruunun vaihtajan yhteyteen.

7.1 Reikälevykonsepti

Reikälevykonseptin toimintaperiaate oli sama kuin edellä kuvatun putkimallisen porakruunun vaihtajan, eli porakruunujen kiinnitys tapahtuu elastisella ja suurehkon kitkakerroimen omaavalla materiaalilla, joka puristuu kruunun ympärille. Toisin kuin putkimallissa, ei reikälevykonseptissa kuitenkaan olisi jokaiselle porakruunulle erillistä putkea, vaan porakruunun vaihtaja toteutettaisiin yhdestä isosta levystä, johon olisi työstetty porakruunuille reiät. Näin vältetään monimutkainen rakenne ja valmistustekniset ongelmat.

Konseptin kehittäminen aloitettiin tutkimalla erilaisia käyttöön soveltuvia materiaaleja. Innovointitilaisuudessa oli tullut esille polyuretaanin käyttäminen, mutta jotta paras mahdollinen ratkaisu löydettäisiin, käytiin läpi erilaisia kumi- ja muovivaihtoehtoja. Muovi on materiaalina erinomainen sen monipuolisuuden takia. Yhdistelemällä erilaisia muoveja ja muiden materiaalien ominaisuuksia, saadaan aikaiseksi monenlaiseen käyttöön sopivia materiaaleja. Prototyyppiin soveltuvilta muoveilta vaadittiin hyvää kulumi-

sen kestoja, elastisuutta sekä kohtuullisen suurta kitkakerrointa. Lisäksi muovin työstettävyyden piti olla hyvä, sillä tehtäessä yksittäisiä kappaleita, kuten prototyyppijä, pitää kappaleen muodot saada aikaiseksi lastuavien työstömenetelmien avulla muottivalun ollessa liian kallis menetelmä pienillä valmistusmäärillä.

7.1.1 Materiaalien valinta

Muovien valinnassa käytettiin apuna eri valmistajien ja toimittajien kotisivuja sekä alan kirjallisuutta, mutta materiaalien soveltuvuuden arvioimiseen tarvittavia tietoja oli tarjolla melko vähän. Ongelmia aiheutti etenkin juuri eri muovilaatujen suuri kirjo, sillä samasta muovimateriaalista saadaan ominaisuuksiltaan hyvinkin erilaisia yhdisteitä lisäämällä perusmateriaaliin erilaisia lisäaineita. Lopulta päädyttiin tutkimaan perusmuovimateriaaleja ja valitsemaan niistä parhaimmat.

Vuonna 1912 kehitetty PVC on vanhin kestumuovi, ja lisäaineiden käytöllä siitä saadaan monenlaisia muoveja erilaisiin käyttötarkoituksiin. PVC:tä käytetään muun muassa erilaisten letkujen materiaaleina sen sitkeyden ja jäykkyyden takia. (Järvinen 2008, 48–56.) Mietittäessä esimerkiksi puutarhaletkua ja sen ominaisuuksia, kitkaisuutta ja elastisuutta, soveltuu PVC materiaalina porakruunun vaihtajaan hyvin. PVC:n kulutuksenkestosta ei kuitenkaan tarkkaa informaatiota ollut saatavilla.

Termoelastit (TPE) ovat elastisia materiaaleja kuten kumitkin, mutta TPE:tä voidaan työstää samalla tavalla kuin kestumuoveja. Myös termoelasteille saadaan erilaisia ominaisuuksia lisäaineiden avulla. TPE-S, TPU ja TPV ovat kaikki luonteeltaan erittäin kitkaisia ja vastaavat haettuja ominaisuuksia hyvin. TPU:lla kulutuksen- ja repäisykestävyys ovat selkeästi paremmat kuin TPE-S:llä ja TPV:llä. (Järvinen 2008, 99–109.) Termoelastien valmistus toteutetaan kuitenkin useimmiten ruiskuvalamalla, joten aineen soveltuvuus prototyyppikäyttöön on kyseenalainen.

Polyuretaani on kertamuovi eli toisin kuin yllä esitetyt kestumuovit, sitä ei voi uusiokäyttää. Kuten edellisissä muoveissa myös polyuretaanista on monenlaisia muunnoksia riippuen käytetyistä lisäaineista. Tästä johtuen myös polyuretaanin käyttökohteet ovat laajat aina eristelevyistä kengänpohjiin. (Järvinen 2008, 121–122.)

Näistä kolmesta materiaalista PVC:tä ja polyuretaania on saatavilla puolivalmisteena, eli levyinä, putkina ja tankoina. Materiaalin saatavuus puolivalmisteena on oleellista prototyypin valmistuksen hinnan ja aikataulun kannalta; muottivalua varten pitäisi tarvittaville osille tehdä muotit, ja tämä tekee menetelmästä liian kalliin ja hitaan kun kyseessä on prototyypin valmistus. Näin ollen materiaalien esiselvitys rajasi vaihtoehdot muovien osalta PVC:hen ja polyuretaaniin.

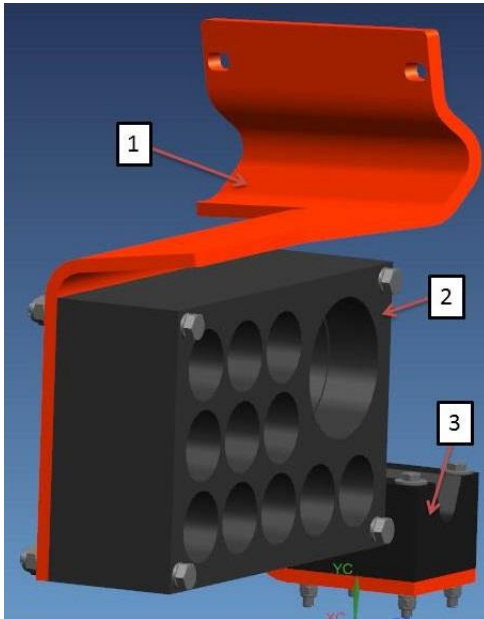
Erilaisien muovien ominaisuuksien lisäksi selvitettiin kumien soveltuvuutta tarkoitukseen. Kuten muoveja, myös kumeja on monia erilaisia ja niiden ominaisuudet erovavat huomattavasti toisistaan. Kumeista NR-, SBR- ja uretaanikumi kestävät hyvin kulutusta ja ovat kimmoisia (Ravelast). Näistä NR- ja SBR -kumit ovat laajalti käytetyt ja niitä oli saatavissa eri toimittajilta.

Materiaalien esiselvityksen valmistuttua otettiin yhteyttä materiaalien toimittajan edustajaan ja kysyttiin hänen mielipidettään parhaasta materiaalista ja mahdollisuutta eri materiaalien testaukseen koepalojen avulla. Koepalojen avulla saataisiin tuntumaa sekä materiaalin kestävydestä sekä sen puristavuudesta ja kitkasta, jotka yhdessä estäisivät porakruunua tippumasta ja pyörimästä porakruunun vaihtajassa.

7.1.2 Porakruunun vaihtajan rakenteet suunnittelu ja mallintaminen

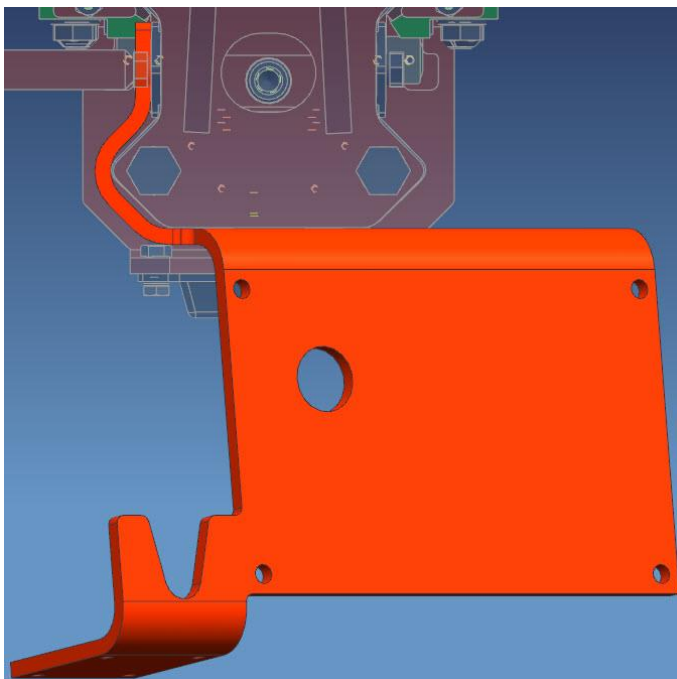
Kun materiaalien esiselvitys oli tehty ja saatavilla olevat levypaksuudet selvitetty, aloitettiin rakenteen suunnittelu. Koska porakruunun pitoon soveltuvien levyjen enimmäispaksuus oli 30 mm, täytyi porakruunujen teline suunnitella kahdesta peräkkäisestä palasta, joista toinen on pidon suorittava levy ja toinen kovemmasta ja paksummasta materiaalista valmistettu kruunujen heilumista estävä levy. Näiden palojen kiinnitys toisiinsa toteutettaisiin pulttiliitoksilla jokaisesta kulmasta. Näin saadaan aikaiseksi helposti ja nopeasti valmistettava rakenne sekä osien helppo vaihdettavuus ja tätä kautta testattavuuden paraneminen.

Porakruunun vaihtaja tulee koostumaan kolmesta osakokonaisuudesta; porakruunun vaihtajan teline (1), porakruunujen teline (2) sekä poratangon pito (3) (kuva 18). Kaikki liitoksen tullaan tekemään pulttiliitoksilla helpon kokoonpanon ja osien vaihdettavuuden takia.



KUVA 18. Porakruunun vaihtajan osakokonaisuudet

Porakruunun vaihtajan telinettä suunniteltaessa huomioitiin sen mahdollisimman helppo kiinnitys syöttölaitteen kylkeen sekä edullinen valmistus. Näistä syistä päädyttiin syöttölaitteen kyljen muotoa mukailevaan muotoiluun ja teline valmistettaisiin yhdestä teräslevystä taivuttamalla (kuva 19). Muotoon leikattua teräslevyä taivuttamalla päästään kohtuullisen alhaisiin valmistuskustannuksiin puhuttaessa alhaisista valmistusmääristä, tässä tapauksessa kyseessä olisi vain yhden kappaleen valmistaminen.

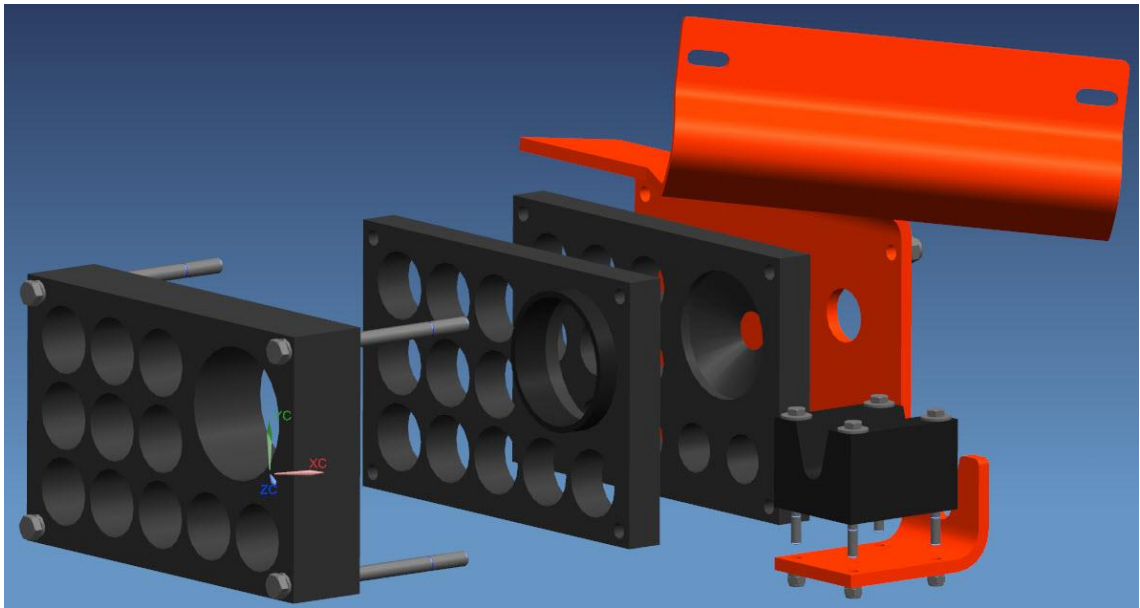


KUVA 19. Telineen muoto

Itse porakruunujen teline tulee sijaitsemaan syöttölaitteen alla, joten myös teline tulee taipumaan syöttölaitteen alle sekä syöttölaitteen alla alaspäin, jotta polyuretaanilevyjen kiinnitys samaiseen levyyn on mahdollista (kuva 19). Levyn muodolla on toteutettu myös puomisimulaatioissa todetut tarvittavat porakruunujen kulmat, joten porakruunulevyissä olevat reiät voivat olla kohtisuorassa levyjen pintaan nähden. Telineen sivussa on erillinen, pienempi teline poratangon pitoa varten ja telineessä hahlo poratankoa varten. Avarruskruunun pilottiosuutta varten tehtiin telineeseen reikä, jotta pilottiosuus pääsee työntymään telineestä läpi ja näin mahdollistaa avarruskruunun pidon ilman levyjen paksuuden lisäämistä.

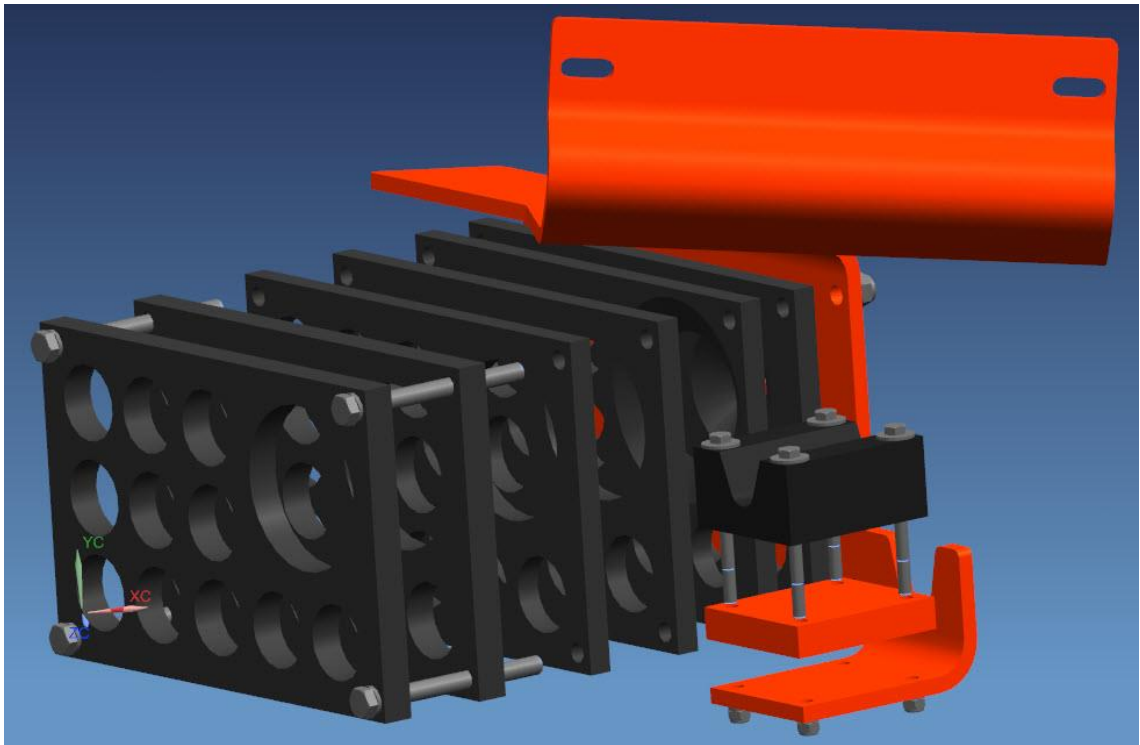
Porakruunujen telineen suunnittelussa pääpaino oli parhaan materiaalin löytämisessä, osat itsessään ovat yksinkertaisia. Kun materiaalien esiselvitys oli tehty, otettiin yhteyttä toimittajaan ja selvitettiin heidän tarjontansa ja varastotilanteensa kyseisistä materiaaleista. Lisäksi kysyttiin toimittajan mielipidettä parhaasta materiaalista sekä mahdollisuutta koepaloihin. Näin valikoitui materiaaliksi polyuretaani ja kovuusvaihtoehtoiksi Shore A 70 ja 90, joista saatiin myös koepalat. Koepaloilla suoritettujen testien perusteella päädyttiin ratkaisuun, jossa Shore A 70 -kovuksinen materiaali valittiin porakruunun pidon suorittavaksi levyksi ja Shore A 90 -kovuksinen etummaisiksi, porakruunujen heilumisen estäviksi levyiksi.

Alkuperäisenä ideana oli, että kruunuteline valmistettaisiin kahdesta erillisestä levystä. Toinen 30 mm paksu levy toteuttaisi porakruunun pidon ja toinen, 90 mm paksu levy tukisi kruunuja estäen niiden liiallisen heilumisen. Tämä rakenne todettiin kuitenkin toimimattomaksi tarkasteltaessa avarruskruunun mittoja. Avarruskruunun vaatima pitoisuus on 30 mm pidempi kuin normaalin kruunun. Rakenne muutettiin niin, että kruunuteline rakentuisi kolmesta levystä ja yhdestä putkesta niin, että kaksi ensimmäistä levyä olisivat polyuretaani Shore A 90:a ja paksuudeltaan 40 mm ja 30 mm, ja toisen levyn sisään asennettaisiin polyuretaani Shore A 70:sta valmistettu putki, joka toteuttaisi osaltaan avarruskruunun pitoa. Viimeinen kolmas levy olisi 30 mm paksua polyuretaani Shore A 70:ta, joka toteuttaisi sekä avarruskruunun että normaalien porakruunujen pidon (kuva 20).



KUVA 20. Räjätyskuva porakruunun vaihtajasta varustettuna Shore A 70 -putkella

Erillisestä Shore A 70 -putkesta päätettiin kuitenkin luopua, ja toinen levy valmistaa kokonaan Shore A 70:sta rakenteen yksinkertaistamiseksi. Rakenteen vakiinnuttua oltiin toimittajaan yhteydessä tiedustellen toimitusaikoja kyseisille materiaaleille ja levypak-suuksille. Toimittajalla ei kuitenkaan ollut juuri kyseisellä hetkellä varastossa haluttuja levypak-suuksia, vaan polyuretaani Shore A 70:ta löytyi 15 mm paksuna ja Shore A 90:ta löytyi 20 mm paksuna. Jotta prototyypin päästäisiin kokoonpanemaan ja testaa-maan mahdollisimman nopealla aikataululla, päätettiin levyt valmistaa kahdesta osasta, 40 mm Shore A 90 -levy siis rakentuisi kahdesta 20 mm paksusta levystä ja 30 mm:set Shore A 70 -levyt kahdesta 15 mm paksusta levystä. Kangen kiristimen materiaaliksi valittiin 50mm paksu kulutuskumi SBR/NR Shore A 60, sillä 50 mm paksua polyure-taania Shore A 70 -kovuudella oli huonosti saatavilla. Porakruunun vaihtajan prototyypin lopullinen rakenne päättyi kuvan 21 kaltaiseksi.



KUVA 21. Räjätyskuva lopullisesta porakruunun vaihtajan prototyypistä

Kun prototyypin malli oli vakiintunut, tehtiin kappaleista ja kokoonpanosta piirustukset sekä DXF-mallit. Nämä piirustukset ja mallit lähetettiin tilauksen yhteydessä toimittajalle, jotta toimittaja pystyi tekemään kappaleista tarjouksen alihankkijoilleen. Lisäksi kokoonpanopiirustusta tullaan käyttämään prototyyppiä kokoonpantaessa.

7.1.3 Porakruunun paikatussimulaatio

Kun reikälevykonseptin 3D-malli oli saatu valmiiksi, liitettiin malli simulaatio-ohjelmaan, jonka avulla tarkasteltiin porakruunun paikotusta porakruunun vaihtajassa oleviin reikiin. Sandvikin Tampereen toimipisteellä on tarkoitusta varten rakennettu projektorisimulaattori (kuva 22). Simulaattorissa on oikean koneen istuin ja ohjaimet, jolloin tuntuma on lähes todellisuutta vastaava.



KUVA 22. Simulaattori

Simulaatiossa havaittiin, että porakruunun asettaminen sille tarkoitettuun reikään on melko vaativaa, johtuen porakruunun pienestä koosta ja porakruunun vaihtajan etäisyydestä laitteen operaattorista, operaattori sijaitsee porakruunun vaihtajasta noin viiden metrin etäisyydellä. Simulaatiossa laitteen operaattorina oli kokenut poramestari, joka tunsi laitteen ja oli käyttänyt laitteita pitkään. Näin saatiin todenmukainen kuva porakruunun vaihtajan käytettävyydestä, eikä vääriä johtopäätelmiä syntynyt operaattorin virheiden johdosta. Todellisella tilanteella näkyvyys porakruunun vaihtajalle on todennäköisesti parempi kuin simulaattorissa, sillä simulaatiota häiritsi pikselien erottuvuus ja syvyysnäön puuttuminen, jotka hankaloittivat porakruunun asemointia.

7.2 Lipaskonsepti

Lipaskonseptin ideana oli, että porakruunut olisivat suljetussa lippaassa, ja vaihto tapahtuisi lippaan etuosassa joka olisi avoin. Tämän tyyppinen toimintaperiaate helpottaisi kruununvaihdon mahdollista automatisointia, sillä vaihdettavan porakruunun sijainti olisi aina sama. Lisäksi porakruunun vaihtajan painopiste siirtyisi lähemmäksi puomin kehtoa ja tukipistettä, sillä lippaan etuosa voisi sijaita lähimmässä mahdollisessa kohdassa, johon vaihtavalla puomilla yltää. Lipas jatkuisi tästä kohdasta taaksepäin eli lähemmäksi kehtoa, ja näin painopistekin siirtyisi lähemmäksi syöttölaitteen tukipistettä.

Toisin kuin reikälevykonseptissa, ei lipasmallissa käytettyjä kruunuja olisi mahdollista varastoida samoihin kohtiin kuin uusia kruunuja. Näin ollen käytetyille ja uusille kruunuille piti suunnitella erilliset säilytystilat. Käytettyjen kruunujen ei tarvitse olla järjes-

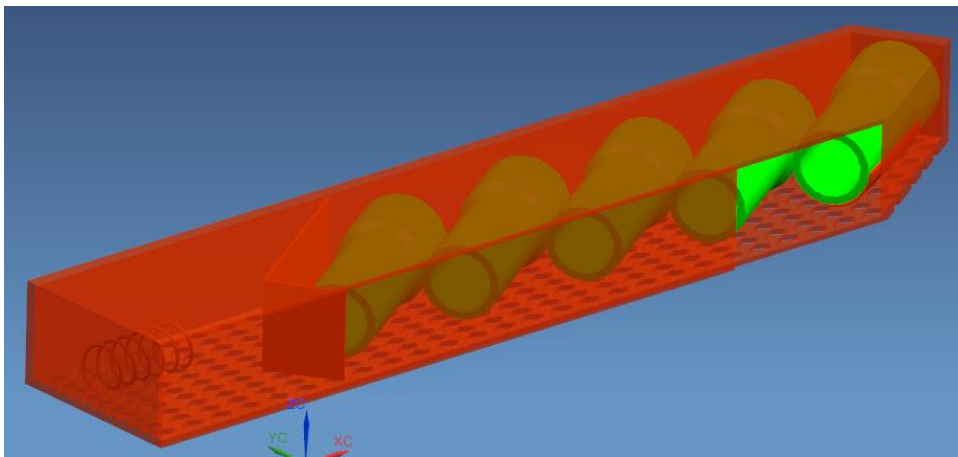
tyksessä kuten uusien kruunujen, joten käytettyjen kruunujen säilytystilat voisivat olla huomattavasti väljemmät. Väljyys käytettyjen kruunun varastoinnissa tarkoittaisi kuitenkin isompaa fyysistä kokoa, joten lähtökohtana suunnittelulle asetettiin, että myös käytetyt kruunut pyrittäisiin varastoimaan mahdollisimman kompaktisti.

Uusien kruunujen lippaan perustoimintaideana oli kruunujen sijoittaminen riviin tai jonoon. Lippaan sisällä olisi jousi sekä jouseen kiinnitetty työntölevy, joka siirtäisi aina uuden kruunun lippaan etuosaan edellisen käyttöönoton jälkeen. Suunnittelussa pitäisi ottaa huomioon porakruunujen muoto, sillä se voisi vaikuttaa porakruunujen liikkuvuuteen lippaassa sekä vaihdettavan porakruunun pitoon. Vaihdettavan porakruunun pitää pysyä paikoillaan sekä lineaari- että aksiaalisuunnassa, mutta kuitenkin kierteytyksen jälkeen se täytyy olla mahdollista vetää ulos lippaasta.

7.2.1 Lippaan muodon ja porakruunujen asennon suunnittelu

Lipasta suunniteltaessa fyysisten mittojen rajoituksena oli, että lipas ei saisi missään syöttölaitteen asennossa olla sen ulommainen osa. Tällä vältetään mahdolliset osumat tunnelin seinämään sekä varmistetaan porausgeometrian säilyvyys. Näin ollen lipas tul-taisiin sijoittamaan syöttölaitteen alle, kuten reikälevykonseptissakin. Lisäksi lippaan muodon pitää mahdollistaa vaakasuora porakruunun kulma, korkeussuuntainen kulma voidaan pitää vaakasuorana, sillä lippaan painopiste tulee lähemmäksi kehoa kuin reikälevykonseptin, jolloin porakruununvaihtopisteen eteenpäin siirtymisellä ei ole olennaista vaikutusta koko konseptin painopisteen sijaintiin syöttölaitteessa.

Annetun tilan hyötykäyttö on suurimmillaan, kun porakruunun ovat poikkisuunnassa syöttölaitteeseen nähden. Pitkittäissuuntainen porakruunujen sijoittaminen pidentäisi porakruunun vaihtajan ulkomittaa sekä vaikeuttaisi porakruunun asemointia vaihtoasentoon. Ensimmäisessä mallissa (kuva 23) päädyttiin ratkaisuun, jossa itse lipas olisi suorakulmainen ja porakruunut olisivat lippaan sisällä valmiiksi vaihtoasennossa.

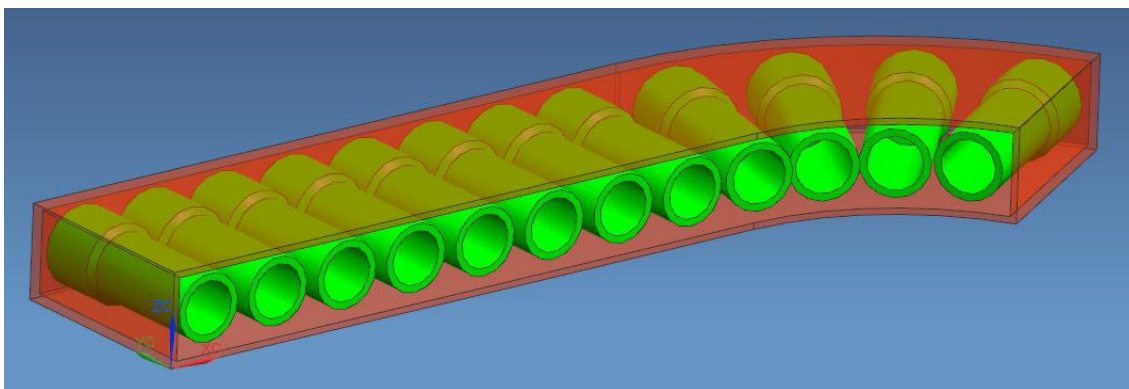


KUVA 23. Suorakulmion muotoinen lipas

Mallissa työntölevy on L-muotoinen, jotta porakruunut pysyisivät oikeassa asennossa lippaassa, sillä suora levy pyrkisi työntämään porakruunuja pitkittäiseen asentoon ja voisi näin aiheuttaa porakruunujen jumiutumisen. Lisäksi vaihdettavan kruunun takana on kitkapinta, jonka tarkoitus on estää kruunua pyörimästä kierteytyksen yhteydessä. Lisäksi vaihdettavaa porakruunua tukee pyöreä, porakruunua muotoileva levy, jotta vaihtoasento pysyisi oikeana lipaan liikkussa syöttölaitteen mukana. Lipaskotelon alaosa on rei'itetty, jotta lipaan sisään mahdollisesti pääsevä poraussoija ei jumiuta lipasta.

Kyseisessä mallissa ongelmia tuottaa kuitenkin juuri porakruunujen asennon pysyminen sekä porakruunun vaihto. Koska porakruunut ovat vinosti suhteessa lippaaseen, jää porakruunujen väliin tyhjää tilaa, joka aiheuttaa mahdollisen jumiutumisen porakruunujen liikkussa suhteessa toisiinsa. Porakruunun vaihdon yhteydessä vaihdettavan kruunun poistuminen luo tyhjän tilan lipaan etuosaan ja vaarana on, että vaihdettua kruunua seuraava kruunu ei työnnykään lipaan etuosaan oikeassa asennossa, vaan ikään kuin kaatuu samansuuntaiseksi lipaan kanssa ja näin jumiuttaa mekanismin.

Suorakulmaisessa lippaassa ilmenneiden ongelmien vuoksi luovuttiin tästä mallista kokonaan ja siirryttiin suunnittelemaan muotoa, jossa porakruunut olisivat mahdollisimman kiinni toisissaan. Lipaan muodon tulee kuitenkin myös tällöin pystyä toteuttamaan haluttu pituussuuntainen kulma. Näin ollen päädyttiin J-muotoiseen lippaaseen (kuva 24), jonka suora osuus on syöttölaitteen alla ja käyrä osuus toteuttaa porakruunun asettamisen haluttuun kulmaan suhteessa syöttölaitteeseen.



KUVA 24. J-muotoinen lipas

J-mallinen lipas mahdollistaa tiiviimmän porakruunujen varastoinnin ja näin vähentää jumiutumiseriskiä. Ongelmakohtaksi syntyi kuitenkin lippaan käyräosuus, jossa porakruunujen etuosien väliin jäi tyhjä tila. Jousen työntäessä porakruunuja eteenpäin ottavat kruunut toisiinsa kiinni takaosasta, jolloin takaosa työntyy eteenpäin ja etuosa pysyy paikallaan. Tämä aiheuttaa virheasennon ja jumiutumisen. Tätä kautta tultiin johtopäätökseen, että lippaan pitää olla kaareva koko matkalta, jotta sekä porakruunun etu- että takaosa ovat toisissaan kiinni riippumatta missä kohtaa lipasta porakruunut ovat.

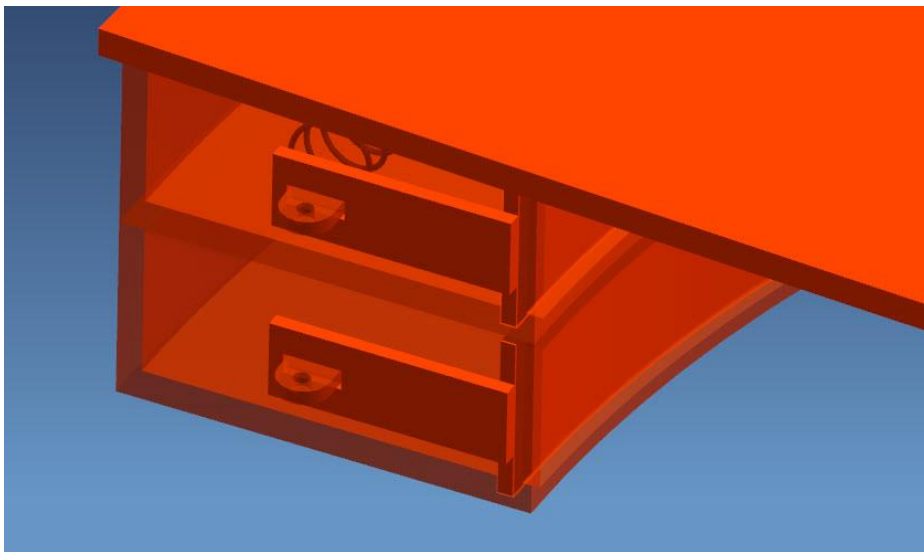
Laskettaessa lippaan sisä- ja ulkosädettä piti ensin selvittää kruunun etu- ja takaosan halkaisija sekä kulma, joka syntyy kruunujen keskilinjojen välille, kun sekä etu- että takaosa ovat kiinni toisissaan. Laskelmissa käytetään 45 mm porakruunun mittoja, sillä tämä on testikaivoksessa eniten käytetty porakruunukoko. Kruunun mitat selvitettiin mallikappaleen avulla. Puhuttaessa 45 mm porakruunusta, viittaa 45 mm porakruunulla tehtävän reiän kokoon eli porakruunun etuosan halkaisijaan. Porakruunun takaosan halkaisijaksi mitattiin 40 mm ja porakruunun pituudeksi 115 mm. Näin ollen saadaan suuntaa antava keskilinjojen välinen kulma kolmion trigonometrian avulla. Kulmaksi saatiin 2,5 astetta. Tämän jälkeen on mahdollista laskea lippaan sisä- ja ulkosäde ympyrän kaaren kaavasta johtamalla. Oletetaan että yhden porakruunun vaatima kaaren pituus on sama kuin porakruunun halkaisija. Toisin sanoen porakruunun etuosa vaatii 45 mm kaaren ja takaosa 40 mm kaaren. Näin saadaan lippaan ulkosäteeksi 1031 mm ja sisäsäteeksi 916 mm.

Telineen ulkosäteeksi seinämävahvuus mukaan lukien tulee noin 1040 mm. Liian suuri säde nousee ongelmaksi asetettaessa lippaan etuosaa 33 asteen kulmaan syöttölaitteeseen nähden, jolloin lipas ei taitu syöttölaitteen alle. Tästä johtuen lippaasta tulisi syöttölaitteen uloin osa, jolloin se ei enää olisi suojassa sen alla ja rajoittaisi syöttölaitteen

liikkeitä porauksen yhteydessä. Luodun 3D-mallin avulla tarkasteltiin pienempisäteisten lippaiden muotoa ja porakruunujen sijoittumista lippaan sisälle. Pienennettäessä lippaan sädettä havaittiin, että porakruunujen kulma ei huomattavasti muutu, vaikka lippaan sädettä pienennettäisiin hyvinkin paljon. 3D-malli osoitti, että vielä ulkosäteellä 656 mm kruunut ovat hyvässä järjestyksessä, niin ettei etu- eikä takaosan väliin jää liikaa tyhjää tilaa.

7.2.2 Lippaan osien suunnittelu

Lippaan kaaren säteeksi valittiin lopulta 656 mm, sillä kyseisellä mitalla porakruunut ovat hyvässä järjestyksessä lippaan sisällä ja lippaan fyysinen koko on riittävän pieni. Kun lippaan geometria oli selvillä, aloitettiin sen toiminnan yksityiskohtainen suunnittelu. Jotta lippaan mekanismi toimisi jatkuvasti, pitää etenkin käytettyjen kruunujen lipas pystyä puhdistamaan kertyneestä soijasta. Lisäksi lipaat pitää pystyä tyhjentämään ja täyttämään kruunuilla määrätyn väliajoin. Näiden kahden vaatimuksen täyttäminen on helpointa, kun lippaan etuseinä on irrotettava. Lavalukot olisivat yksinkertainen tapa kiinnittää etuseinä niin, että lippaiden täytön ja tyhjennyksen yhteydessä etuseinä olisi helppo ottaa irti ja kiinnittää. Lavalukkojen käytön kuitenkin esti porakruunujen tuloreikä lippaan etuosassa. Tästä johtuen päädyttiin ratkaisuun, jossa lippaan etuosaan jyrsitään urat, johon etuseinä liu'utetaan. Etuseinän lukitus tapahtuu rengassokalla (kuva 25). Näin saadaan lippaasta avoin rakenne, johon on helppo vaihtaa kruunut ja vaihdon yhteydessä myös tyhjentää rakenne kertyneestä soijasta.



KUVA 25. Lippaan etuseinämän lukitus

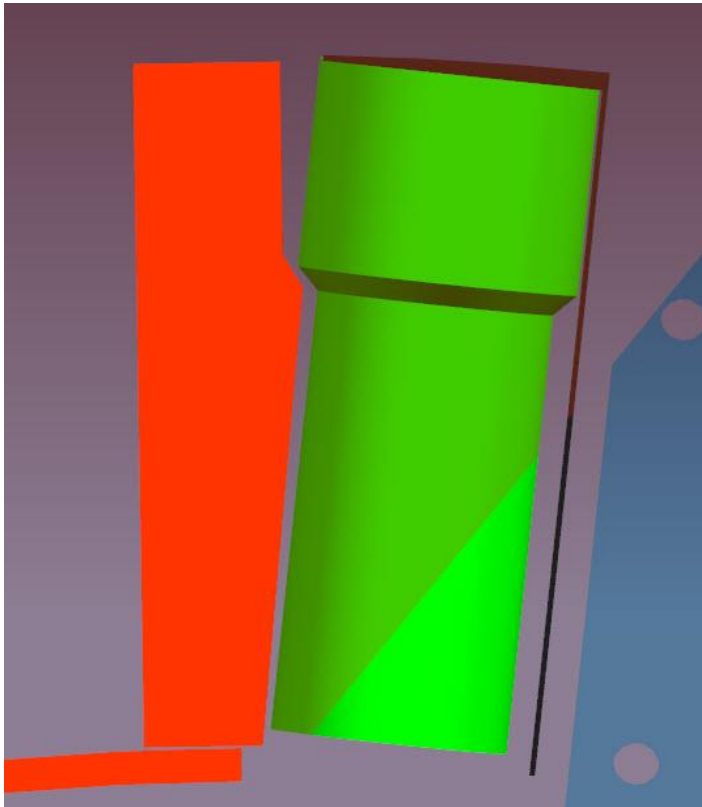
Uusien porakruunujen lipasta täyttäessä pitää jousiasetelma pystyä työntämään kasaan, jotta uusien kruunujen asettaminen lippaaseen on mahdollista. Alunperin jousen kasaan painaminen suunniteltiin tehtäväksi jousen suuntaisella tangolla, jonka avulla työntölevy vedettäisiin lipkaan takaseinämään kiinni. Lipkaan kaarevuudesta ja pituudesta johtuen tanko pitäisi kuitenkin olla kiinteällä asennuksella lippaassa kiinni. Lipkaan ollessa täynnä kruunuja on työntölevy aivan lipkaan perällä ja tanko ulkona lippaasta. Näin tanko on alttiina vaurioille, kuten vääntymiselle, jotka estävät mekanismin toimivuuden. Tästä johtuen päätettiin jousiasetelman puristaminen toteuttaa etuseinään ja työntölevyyn tehdyillä loveuksilla (kuva 26). Työntölevyn ollessa etuasennossa, ovat etuseinässä ja työntölevyissä olevat lovet kohdakkain. Loviin työnnetään levy, jonka avulla vedetään sekä etuseinä että työntölevy taka-asentoon, jolloin lipas on auki puhdistusta ja täyttöä varten.



KUVA 26. Etuseinän ja työntölevyn lovet

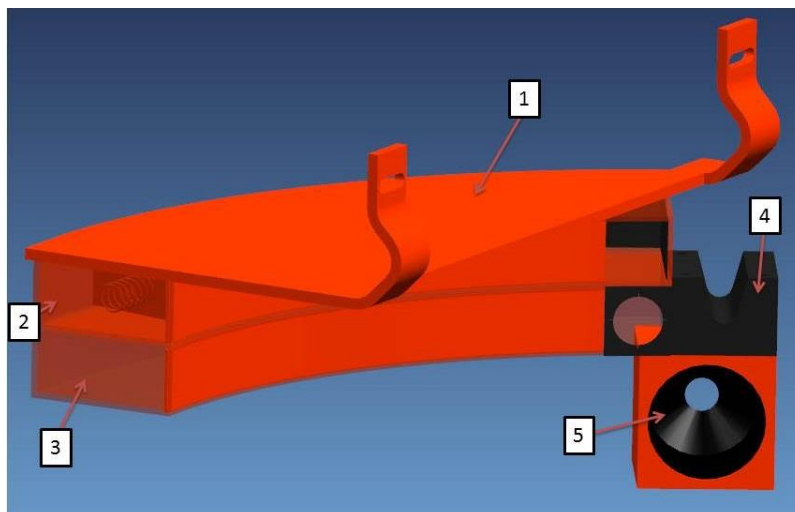
Jotta työntölevyyn olisi mahdollista tehdä kyseinen lovi, piti sen vahvuutta lisätä. Lisäksi työntölevy muotoiltiin porakruunun profiiliksi, jotta työntölevy olisi pora-

kruunun kanssa kontaktissa koko matkalta ja näin porakruunu pysyisi halutussa asennossa. Työntölevyn vahvuutta piti lisätä myös, jotta se työntäisi kruunun tarpeeksi pitkälle lovien kuitenkin ollessa samaan aikaan kohdakkain, jotta lipaan avaaminen on mahdollista (kuva 27).



KUVA 27. Työntölevy ja porakruunu

Kokonaisuutena lopullisesta lipaskonseptista syntyi kuvan 28 kaltainen. Kuvaan on numeroitu lipaan eri osakokonaisuudet numeroin välillä 1–5.



KUVA 28. Lipaskonsepti

Lipaskonseptin kiinnitys syöttölaitteeseen tapahtuu samantyyppisellä telineellä (1) kuin reikälevykonseptissa. Käyttämättömien porakruunujen lippaassa (2) näkyvien mustien muovilevyjen on tarkoitus estää porakruunujen tippuminen ja pyöriminen. Jousi painaa porakruunua sivuseinämän muovilevyä vasten, jolloin porakruunun ja muovilevyn välille syntyy kitka estää porakruunua tippumasta porauksen yhteydessä. Porakruunun vaihdon yhteydessä porakruunu painetaan peräseinän muovilevyä vasten ja niiden välille syntynyt kitka estää porakruunua pyörimästä kierteytyksen yhteydessä. Käytettyjen porakruunujen lippaan (3) reiän ympärillä näkyvä musta muovinen reikälevy estää porakruunuja tippumasta ja mahdollistaa porakruunun irrottamisen poratangosta. Muovilevy taipuu vain sisäänpäin, jolloin kun porakruunu työnnetään reiästä läpi, voidaan se tämän jälkeen vetää muovilevyn sisäpintaa vasten. Muovilevyn ja porakruunun välille syntyy kitka, joka estää porakruunua pyörimästä kierrettäessä porakruununa irti poratangosta. Konseptiin on lisätty reikälevykonseptissa jo esitelty kangen kiristin (4) sekä avarruskruunulle oma teline (5). Näiden rakenne on kuitenkin vasta viitteellinen ja tulee muuttumaan, mikäli myös lipaskonseptista päätetään tehdä prototyyppi.

8 PROJEKTIN JATKO

Opinnäytetyön valmistumisen aikataulusta johtuen ei työhön ollut mahdollista sisällyttää projektin loppuosan vaiheita, kuten FAT-testejä ja mahdollisia testeissä ilmeneviä parannusehdotuksia ja niiden toteuttamista. Tällä hetkellä projektin status on, että reikälevykonseptin prototyypin osat ovat tilauksessa ja FAT-testien pitäisi alkaa toukokuun alussa.

FAT-testien (Factory Acceptance Testing) tarkoituksena on tarkastella idean ja prototyypin toimivuutta. Testit tullaan suorittamaan Tampereen toimipisteen yhteydessä olevassa testikaivoksessa ja testikoneena toimii Sandvik DD422i. Testeissä tarkastellaan porakruunun vaihdon toimivuutta: onko näkyvyys porakruunun vaihtajalle tarpeeksi hyvä ja ovatko puomien liikkeet tarpeeksi tarkasti ohjattavissa, jotta poratanko on mahdollista paikoittaa porakruunun kanssa samaan linjaan. Lisäksi tarkastellaan porakruunun vaihtajan sijaintia syöttölaitteessa: onko se tarpeeksi suojaisassa paikassa, ettei joudu kontaktiin kallion seinämien kanssa, häiritseekö sijainti porausoperaatiota ja kertyykö reikiin sisälle soijaa joka estäisi prototyypin toiminnan. Myös levyjen materiaali on tarkasteltavana toimivuuden ja kestävyuden kannalta: onko materiaali tarpeeksi pitävää, jotta se estää porakruunun pyörimisen ja tippumisen, ja kestääkö materiaali tarpeeksi pitkään käytössä syntyvää hankausta ja repimistä.

FAT-testeistä saatujen tulosten perusteella prototyyppiä tullaan tarvittaessa kehittämään sekä päättämään, tullaanko myös lipaskonseptista tuottamaan prototyyppi. Jos tuote on toimiva ja tarkoituksen mukainen, tullaan prototyyppiä kehittämään enemmän valmiin tuotteen kaltaiseksi ja sitä todennäköisesti testataan vielä asiakkaalla SAT-testeissä (Site Acceptance Testing) ennen tuotteen kaupallistamista.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön ja itse projektin onnistunut läpivienti vaativat työn aikataulutuksen ja työn edistymisen tarkan seurannan. Aikataulutuksen ja työn seurannan tarkoitus oli määrittää jo etukäteen tarvittavat työtehtävät ja niihin kuluva aika, jotta projektia olisi helppo hallita. Työn seurannalla varmistettiin, että aikataulussa pysyttäisiin ja tarvittaessa voitaisiin resursseja ohjata uusiksi kulloisenkin tilanteen mukaan. Aikataulutus laadittiin projektin määrittämisen jälkeen ja pyrittiin rakentamaan niin, että lähes koko projekti, FAT-testit mukaan lukien, ehdittäisiin käymään läpi ennen opinnäytetyön palautusta. Eri vaiheiden työmäärät ja viikoittain käytettävissä olevien työtuntien määrä arvioitiin ja tämän perusteella tehtiin projektille viikkokohtainen aikataulu.

Projektin vaiheiden työmäärän arviointi oli kuitenkin alimitoitettu, lähinnä ohjelmien uusien ominaisuuksien sekä tarvittavan tiedon etsimisen määrä oli aliarvioitu. Tästä johtuen projektin aikataulua jouduttiin korjaamaan projektin edetessä ja näin FAT-testien ajankohta viivästyi niin, etteivät ne ehtineet opinnäytetyöhön. Työmäärän aliarvioimisen lisäksi projektia viivästyttivät kokemattomuus tuotekehitysprojekteista sekä tietyissä tilanteissa kommunikaation hitaus. Etenkin innovointi- ja mallinnusvaiheessa työn eteneminen menetteli usein niin, että yksi idea mallinnettiin lähes valmiiksi, jonka jälkeen vasta tarkasteltiin idean toteutettavuutta toiminnallisesti ja valmistuksellisesti. Tämä vei paljon aikaa verrattuna tapaan, jolla innovointi yleensä toteutetaan, eli karkeita luonnoksia piirretään käsin, jonka jälkeen niiden toimivuutta tarkastellaan, ja päätetään jatkaako kyseinen idea seuraavaan vaiheeseen vai ei.

Viivästyminen lukuun ottamatta projekti eteni hallitusti ja suunnitelmien mukaisesti. Puomien liikkeiden simulointi toi arvokasta tietoa heti projektin alkuun. Simuloinnin ansiosta tiedettiin puomien optimaalisimman kulmat ja näin pystyttiin luomaan skenaario miten porakruunun vaihto tulisi tapahtumaan. Luotu skenaario omalta osaltaan helpotti innovointia, mutta myös rajasi mahdollisia ratkaisuja.

Innovointi suoritettiin kahdessa osassa jotta opinnäytetyön tekijällä olisi parempi mahdollisuus tuoda omia ideoitaan esille. Itsenäisesti suoritettussa innovoinnissa tapahtui kuitenkin edellä mainittu virhe, jossa keksittyä ideaa pyrittiin jo heti aluksi viemään mahdollisimman pitkälle eteenpäin. Usein tehokkain tapa luoda innovaatioita on luon-

nostella mahdollisimman monta erilaista ideaa, joiden paremmuutta ei ideoinnin aikana mietitä. Ideoiden tarkastelu tapahtuu vasta myöhemmin ja parhaimpia ideoita aloitetaan kehittämään. Näin säästytään projektissa esiintyneiltä niin sanotuilta hukkatunneilta, kun kehitetään ideaa, joka ei erinäisistä syistä ole toteutuskelpoinen.

Innovoinnin tuloksena saatuja ideoita pohdittiin ja niistä parhaimmat valittiin jatkokehitystä varten. Jatkokehitys tapahtui Siemens NX 3D -suunnitteluohjelmistolla, jolla mallinnettiin ideoista 3D-mallit, jotta niiden tarkastelu olisi helpompaa. Mallintamisen kanssa samaan aikaan tutustuttiin erilaisiin vaihtoehtoisii materiaaleja, joita porakruunun pidossa olisi mahdollista käyttää, sekä oltiin yhteydessä toimittajaan koepalojen ja varastotilanteen kartoituksen takia. Varastotilanteen kartoituksen myötä päätettiin prototyyppi valmistaa varastossa olevista PUR-levyistä jotta toimitusaika olisi mahdollisimman lyhyt. Prototyyppi siis koostuu kuudesta levystä, suunnitellun kolmen sijaan. Porakruunun vaihtajan toimintaa ei muutoksen pitäisi kuitenkaan häiritä, sillä reikien muodot pysyivät samanlaisina.

Tällä hetkellä projekti etenee kohti prototyypin kokoonpanoa, osat ovat tilauksessa ja FAT-testien on määrä alkaa toukokuun alussa. Vasta FAT-testien jälkeen on mahdollista varmuudella tietää, toimiiko porakruunun vaihtaja, ja kuinka kestäviä sen eri osat ovat. FAT-testien tulosten perusteella pystytään pitkälti tulkitsemaan, onko konsepti toimiva vai vaatiiko se muutoksia. Toimiessaan tuote tulisi parantamaan laitteiden käytöturvallisuutta huomattavasti ja näin tukee sekä Sandvikin Safety First -visiota että asiakkaiden turvallisuuslähtöistä toimintatapaa. Lisäksi porakruunun vaihtaja tulisi tehostamaan porausoperaatiota suoraan lisäämällä peränporauksen porausaikaa, kun operaattori ei tarvitse poistua laitteen ohjaamosta porakruunun vaihdon yhteydessä, sekä välillisesti vähentämällä työtapaturmia ja näistä aiheutuvia poissaolotunteja.

LÄHTEET

Hakapää A. & Lappalainen P. (toim.) 2011. Kaivos- ja louhintatekniikka. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy

Hietikko E. 2015. Tuotekehitystoiminta. Helsinki: BoD – Books on Demand

Jokinen T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Hakapaino Oy

Järvinen P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy

Koivisto J. Laitetarjonnan yleiskoulutus. 6.3.2017. Luento. Tampere

Kuittinen J. suunnittelupäällikkö. 2017. Haastattelu 14.3.2017. Haastattelija Jaakkola J. Tampere

Ravelast. 2017. Kumilaatujen ominaisuudet. Luettu 27.3.2017
<http://www.ravelast.com/media/esitykset/kumityyppien-ominaisuudet.pdf>

Sandvik. 2017a. Business areas. Luettu 13.3.2017.
<http://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/business-areas/>

Sandvik. 2017b. Our Company. Luettu 13.3.2017
<http://www.home.sandvik/en/about-us/our-company/>

Sandvik Mining. 2016. Sandvik forms new business area – Sandvik Mining and Rock Technology. Luettu 13.3.2017
<http://mining.sandvik.com/en/news-media/sandvik-forms-new-business-area-%E2%80%93-sandvik-mining-and-rock-technology>

Sandvik Mining. 2017a. Tunneling jumbos. Luettu 14.3.2017
<http://mining.sandvik.com/en/products/equipment/underground-drilling-and-bolting/tunneling-jumbos>

Sandvik Mining. 2017b. Underground Drilling and Bolting. Luettu 14.3.2017
<http://mining.sandvik.com/en/products/equipment/underground-drilling-and-bolting>

Sandvik Mining and Construction. 2017a. Sandvik MediaBase. Luettu 22.3.2017
<http://mediabase.sandvik.com/>

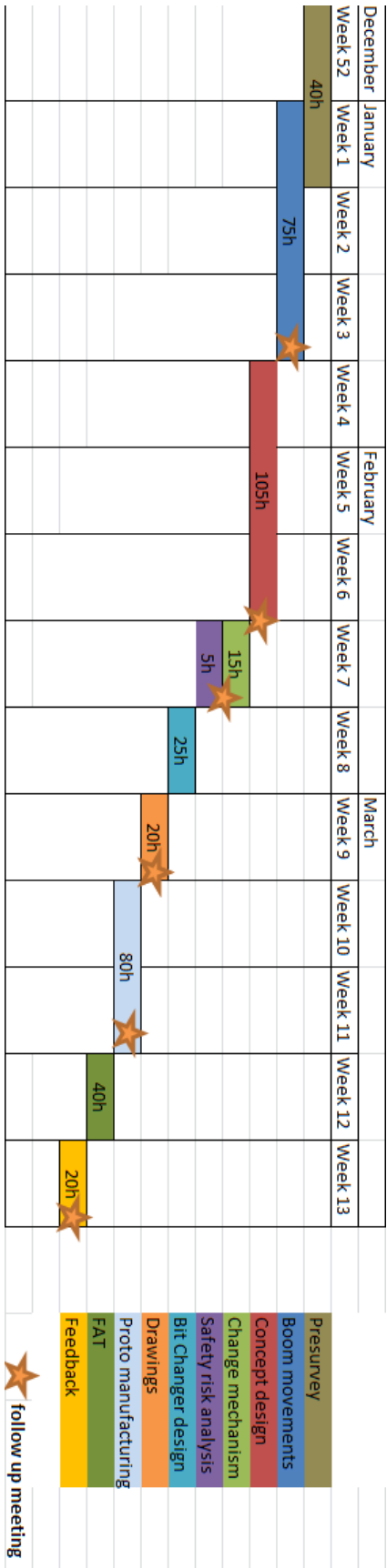
Sandvik Mining and Construction. 2017b. Sandvikin historia. Luettu 13.3.2017
<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/>

Sandvik Mining and Construction. 2017c. Tuotetehtaat Suomessa. Luettu 14.3.2017.
<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/>

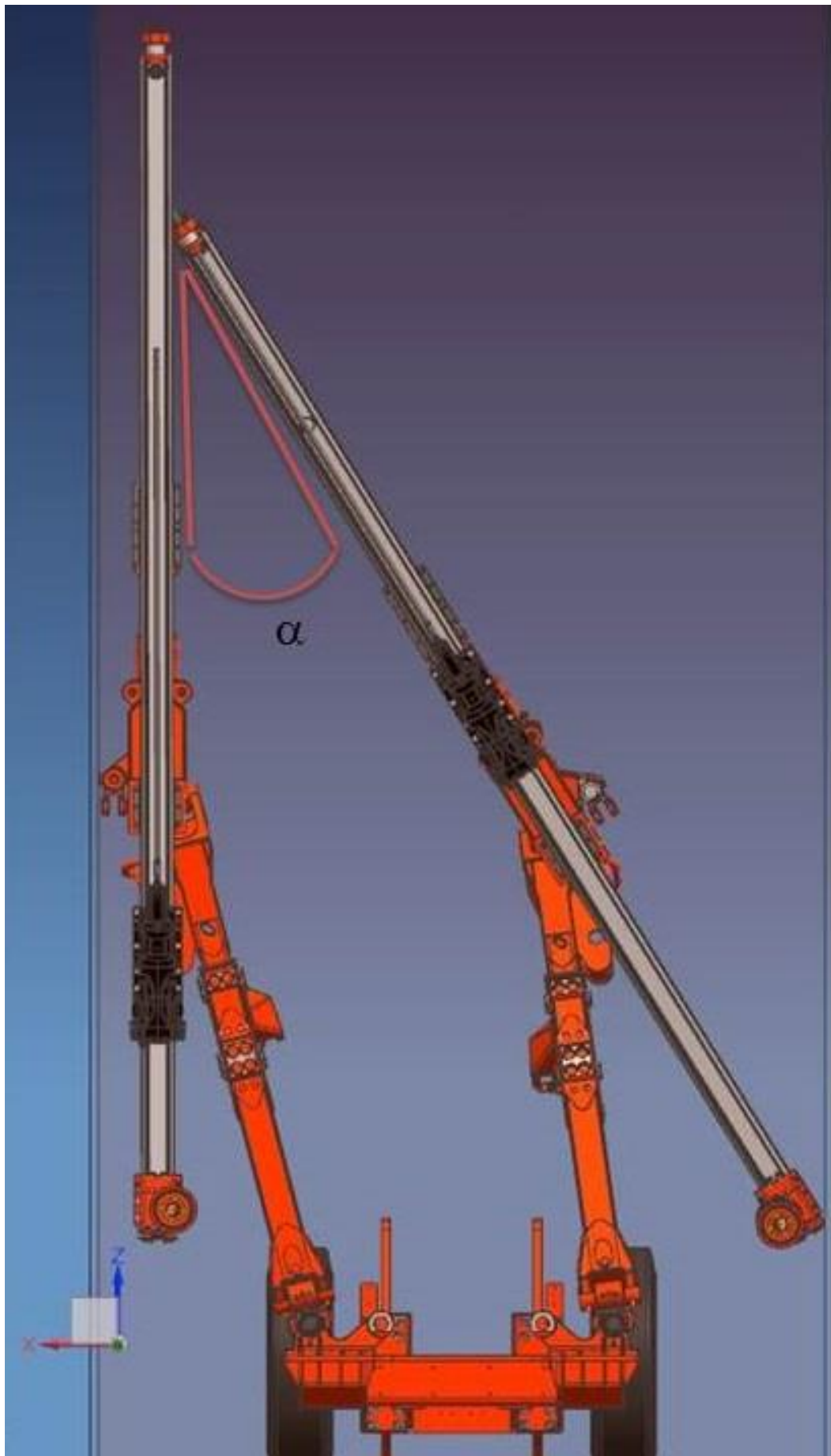
Sandvik Mining and Construction. 2017d. Welcome to Sandvik Tampere Site. Luettu 14.3.2017. Sandvikin sisäinen tietokanta.

LIITTEET

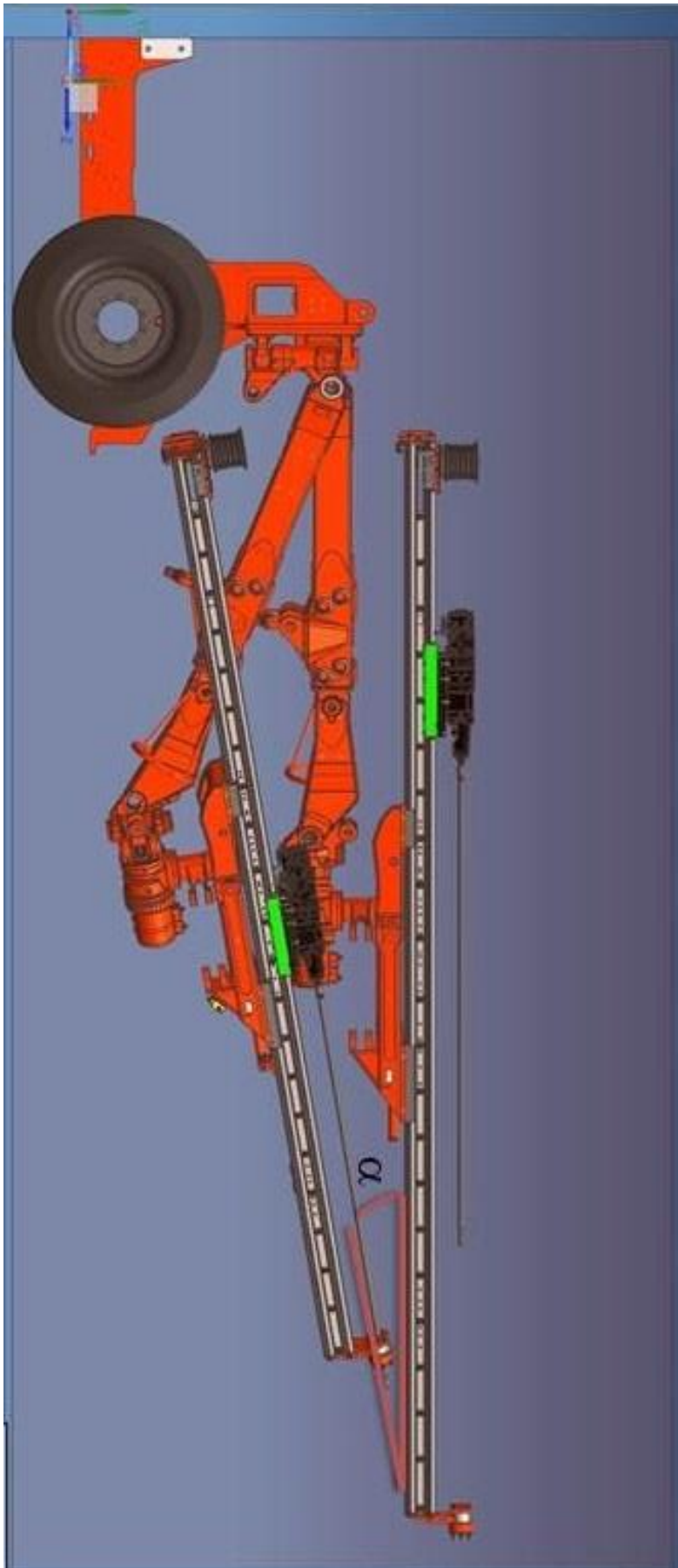
Liite 1. Projektin alustava aikataulu



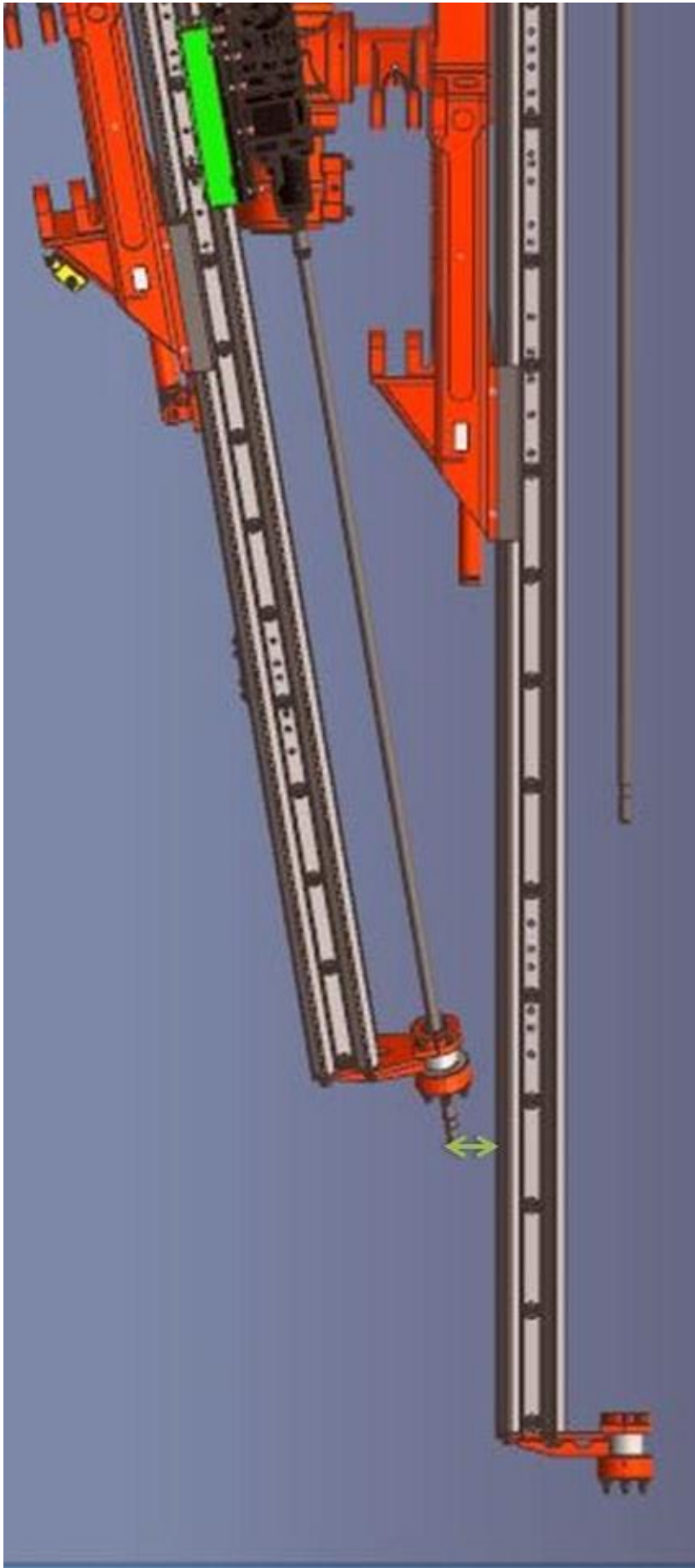
Liite 2. Puomien välinen pituussuuntainen kulma



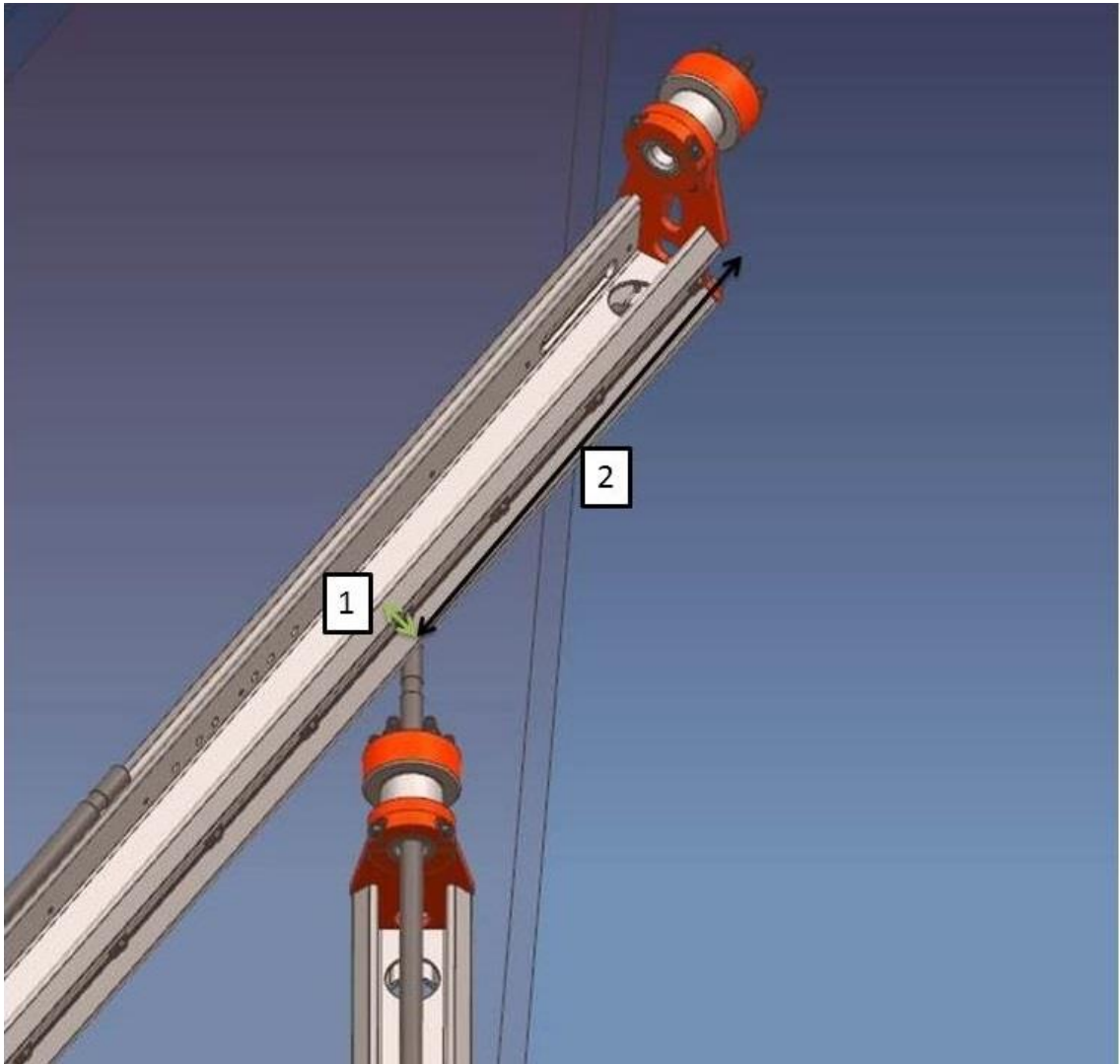
Liite 3. Puomien välinen korkeussuuntainen kulma



Liite 4. Poratangon pään etäisyys syöttöpalkin alareunasta



Liite 5. Poratangon pään etäisyys syöttöpalkin kyljestä (1) ja päästä (2)



Liite 6. Tuotekehityksen toimintavaiheet (Jokinen 2001)

