

# **Räjähdysaineen syötön ja porausreiän tukkimisen kehittäminen panostuslaitteessa**

Antti Romo

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Koneensuunnittelu

Tekijä(t) Romo, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu, 2016
	Sivumäärä 57	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Räjähdysaineen syötön ja porausreiän tukkimisen kehittämisen panostuslaitteessa</b>		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jorma Matilainen, Antti Henell		
Toimeksiantaja(t) Normet Group Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin iisalmelaiselle Normet Group Oy:lle, joka suunnittelee, valmistaa ja tarjoaa ratkaisuja maanalaisten kaivosten ja tunneleiden erilaisiin prosesseihin. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää räjähdysaineen syöttöä ja porausreiän tukkimista Normet Charmec -emulsiopanostuslaitteessa. Taustana oli Normet Group Oy:n vuonna 2014 laa- tima patenttihakemus. Normet Group Oy etsii IPR (Intellectual Property Rights) suojausta keksinnölleen.</p> <p>Uusi järjestelmä pyrittiin suunnittelemaan tehden mahdollisimman vähän muutoksia alku- peräiseen järjestelmään. Opinnäytetyössä noudatettiin Pahlin ja Beitzin kehittämää syste- maattisen tuotekehitysprosessin runkoa. Systemaattista tuotekehitysprosessia seurattiin aina detaljisuunnitteluvaiheen loppuun asti. Tuotantoa ei vielä käynnistetty, mutta doku- mentaatio kaikesta tehdystä työstä laadittiin Autodesk Inventor Professional –ohjelmistolla ja dokumentaatiosta osa siirrettiin Solvia PDM/PLM:ään, tuotetiedon ja tuotteen elinkaa- ren hallintajärjestelmään.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena todettiin muutaman ennen opinnäytetyön aloitusta esille tulleen idean toimimattomuus järjestelmässä, suunniteltiin kaksi- ja kolmiydinletkujärjestelmän vaatimat rakenteet sekä muutokset alkuperäiseen järjestelmään. Lisäksi suunniteltiin tes- taus porausreiän tukkimisesta käytännössä patenttihakemuksen ideaa mukailevalla tavalla ja suunniteltiin komponentit testausta varten.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaperustassa käydään läpi maanalaisen louhinnan keskeisimpiä työta- poja ja panostuslaitteella panostettavia räjähdysaineita, jotta työ, taustat ja sen tulokset ovat helpommin ymmärrettäviä. Teoriaperustassa esitellään myös systemaattisen tuoteke- hitysprosessin vaiheet sekä tuotekehitysprosessissa käytettäviä apumenetelmiä.</p>		
<p>Avainsanat (<a href="#">asiasanat</a>) Panostuslaite, tuotekehitys, moniytiminen panostusletku, systemaattinen tuotekehityspro- sessi</p>		
Muut tiedot		

Author(s) Romo, Antti	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 57	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Developing the feeding of explosive material and borehole plugging in a charging machine</b>		
Degree programme Degree Programme in Machine and Production Technology		
Supervisor(s) Matilainen, Jorma; Henell, Antti		
Assigned by Normet Group Oy		
Abstract <p>The bachelor's thesis was assigned by Normet Group Oy, in Iisalmi, Finland. Normet Group Oy designs, manufactures and offers solutions for different kind of processes in underground mining and tunneling. The aim of the bachelor's thesis was to develop the feeding of explosive material and borehole plugging in a Normet Charmec emulsion charging machine. The thesis was based on the invention made by Normet Group Oy in year 2014. Normet Group is seeking IPR (Intellectual Property Rights) protection for the invention.</p> <p>The new system was designed making as few modifications as possible in the old system. The bachelor's thesis followed Pahl &amp; Beitz' systematic design process to the end of the detail design phase. The production did not start yet, but everything that was made in the design process has been documented using Autodesk Inventor Professional 3D/CAD software. A part of the technical documentation was transferred to Sovelia PDM/PLM, a product data and product lifetime management system.</p> <p>The bachelor's thesis found that a couple of ideas for plugging, which were invented before the thesis, do not work in the system. In addition the structures for the double and triple channel hose system were designed and modifications were made in the original system. Moreover, borehole plugging test was designed according to the method in the patent application and components for testing were designed.</p> <p>Working methods in underground mining and explosive materials charged in a charging machine are presented in the theory so that the thesis, its background and the results are easier to understand. Also the phases of the systematic design process and auxiliary methods used in the design process are presented in theoretical part.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Charging machine, product development, multi channel charging hose, systematic design process		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat .....	4
1.1	Normet Group Oy .....	4
1.2	Panostusprosessi tänä päivänä .....	5
1.3	Opinnäytetyön aihe ja sen rajaaminen .....	8
1.4	Opinnäytetyön tavoitteet .....	9
2	Panostuslaitteella panostettavat räjähdysaineet ja maanalainen louhinta .....	11
2.1	Räjähdysaineet .....	11
2.1.1	Räjähdistapahtuma .....	11
2.1.2	Ammonium Nitrate/Fuel Oil .....	11
2.1.3	Bulkemulsioräjähdysaineet .....	12
2.1.4	Vesigeeliräjähdysaine .....	14
2.2	Maanalainen louhinta .....	14
2.2.1	Kaivoksen yleissuunnittelu ja yleisimmät louhintamenetelmät Suomessa.....	14
2.2.2	Peränajo eli tunnelinpäätylouhinta .....	19
2.2.3	Nousunajo.....	19
2.2.4	Pengerlouhinta .....	19
3	Tuotekehitys.....	20
3.1	Asiakastarpeen tunnistaminen tuotekehityksessä .....	20
3.2	Tuotekehitysprosessi.....	21
3.3	Tuotekehitysprosessin apumenetelmät.....	25
3.3.1	Tarvelauseet ja benchmarkaus.....	25
3.3.2	Systemisuunnittelun suuntaviivat .....	26
4	Kaksiytimisen panostusletkujärjestelmän suunnittelu .....	28
4.1	Suunnittelun lähtökohdat .....	28
4.2	Tehtävän selventäminen .....	29

4.3	Konseptisuunnittelu .....	30
4.3.1	Toimintorakenteen suunnittelu .....	30
4.3.2	Louhospanostusletkukelan rakenteiden konseptisuunnittelu .....	31
4.3.3	Letkuliitoksien konseptisuunnittelu .....	32
4.3.4	Panostusletkun suutinpään rakenteet .....	33
4.3.5	Konseptisuunnitteluvaiheen päätös .....	38
4.4	Systeemisuunnittelu .....	39
4.4.1	Louhospanostusletkukelan rakenteiden systeemisuunnittelu .....	39
4.4.2	Liitosten systeemisuunnittelu .....	44
4.5	Detaljisuunnittelu .....	46
4.5.1	Tuotedokumentaation laatiminen .....	46
4.5.2	Materiaalivalinnat.....	46
4.5.3	Testauksen suunnittelu .....	47
5	Tulokset .....	48
6	Pohdinta .....	49
	Lähteet.....	53
	Liitteet .....	56
	Liite 1. Tarvelauseet ja vaatimuslista .....	56
	Liite 2. Laskentapohja ketjukäytölle.....	57

## Kuviot

Kuvio 1.	Normet Charmec MC 605 DA -tyyppinen Anfo-panostuslaite.....	6
Kuvio 2.	110 mm:n ja 76 mm:n porausreikiin tarkoitetut noidanhatut.....	8
Kuvio 3.	Blastball ja sen venttiilit .....	10
Kuvio 4.	Välitasolouhinnan periaate .....	16
Kuvio 5.	Pilarilouhinnan periaate .....	17

Kuvio 6. Makasiinilouhinnan periaatekuva .....	18
Kuvio 7. Systemaattisen tuotekehitysprosessin rakenne .....	22
Kuvio 8 Kaksi- ja kolmiytimisen panostusjärjestelmän toimintorakenne .....	31
Kuvio 9 Sylinterikonsepti halkaistuna, ennen laukaisua .....	34
Kuvio 10. Sylinterikonsepti laukaisutilanteessa .....	35
Kuvio 11. Sylinterikonseptin putkikoon testaus.....	36
Kuvio 12. Suojakonsepti .....	37
Kuvio 13. Suojakonseptin alustava prototyyppi.....	38
Kuvio 14. Konsepti kahden kanavan johtamisesta tuen läpi, kanavat ja tuki halkaistuna .....	45

## **Taulukot**

Taulukko 1. Tulpattavan porausreiän panostustapahtuman rakenne.....	30
Taulukko 2. Tehonsiirron arvoanalyysi.....	40

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

## 1.1 Normet Group Oy

Normet Group Oy on lisalmessa, Pohjois-Savossa sijaitseva globaali metalli- ja koneenrakennusteollisuuden yritys, joka suunnittelee, valmistaa ja tarjoaa ratkaisuja maanalaisten kaivosten ja tunneleiden erilaisiin prosesseihin. Normet Group Oy:n tunnuslause on ”For tough jobs”, ja se kuvaa hyvin yrityksen visiota tehdä ja tarjota asiakkailleen ennen kaikkea luotettavia, kestäviä ja tuottavia ratkaisuja maanalaisiin kaivoksiin. Yrityksen ydinosaamista ovat erilaiset kaivoskoneet; yritysostojen myötä osaaminen on laajentunut myös maanalaisissa kaivoksissa käytettäviin kemikaaleihin. Yrityksen pääkonttori ja päätuotanto sijaitsevat lisalmessa. lisalmen tehtaan lisäksi yrityksellä on tuotantoa Santiagossa, Chilessä. Normet Group Oy:llä on 43 myynti- ja tukitoimipistettä 28 maassa ja yhteensä noin 900 työntekijää ympäri maailmaa. Verkostoa koordinoidaan Sveitsin Hünenbergissä sijaitsevasta Normet International Ltd:stä käsin. Vuonna 2015 Normet Group Oy:n liikevaihto oli noin 190 miljoonaa euroa. (Normet For Tough Jobs 2016, 2-3.)

Normet Group Oy tarjoaa asiakkailleen koneiden, laitteiden ja rakennuskemikaalien lisäksi muun muassa erilaisia laitteiden huoltopalveluita, käyttöpalveluita, käyttökoulutusta, konsultointia maanalaiseen rakentamiseen ja koneiden vuokrauspalveluja. Normet Group Oy on toimittanut yli 11 000 maanalaista konetta asiakkailleen ympäri maailmaa, joiden elinkaarta asiakkaalla tuetaan Life Time Care -palveluiden avulla. Tärkeimmät tuotteet prosessien mukaan ovat betoniruisutus ja -kuljetus, nosto- ja asennustyöt, räjähdysaineiden panostus, maanalainen logistiikka, rusnaus, rakennuskemikaalit sekä kalliolujitus. (Normet Group Oy 2015; Normet For Tough Jobs 2016, 2.)

Normet Group Oy noudattaa laatujärjestelmän ISO 9001 ja ympäristöjärjestelmän ISO 14001 vaatimuksia. Lisäksi Normet Group Oy:llä on OHSAS 18001-turvallisuustodistus. Normet Group Oy:n tavoitteena on parantaa maanalaisissa kaivoksissa työskentelevien ihmisten työturvallisuutta automatisoimalla ja mekanisoimalla vaarallisia

ja riskialttiita louhintaprosessin työvaiheita sekä pyrkiä parantamaan asiakkaan prosessien tuottavuutta ja louhintanopeutta kehittämällään teknologialla. (Normet Group Oy 2015.)

## 1.2 Panostusprosessi tänä päivänä

Tänä päivänä maanalaisessa louhinnassa käytetään irto- eli bulk-räjähdysaineita. Bulk-räjähdysaineista puhuttaessa tarkoitetaan erilaisia Anfoja (Ammonium Nitrate/Fuel Oil), emulsioita ja vesigeelejä. Alakätisiin porausreikiin räjähdysaine voidaan panostaa jopa kaatamalla, mutta lähes vaakasuorista rei'istä yläkätisiin joudutaan panostamaan mekaanisesti panostuslaitteella. Tätä prosessia varten Normet Oy suunnittelee ja valmistaa Charmec- nimisiä panostuslaitteita (ks. kuvio 1). Panostuslaitteet jaetaan Anfo- ja emulsiopanostuslaitteisiin. Anfo-panostuslaitteessa räjähdysaineeseen sekoitetaan vettä tai polttoöljyä, jotta saavutetaan haluttu koostumus, minkä jälkeen räjähdysaine johdetaan paineilmaa hyväksi käyttäen letkua pitkin porausreikään. Emulsiopanostuslaitteessa valmistetaan kahdesta tai useammasta komponentista eli välivalmisteesta räjähdysaine. Irrallaan panostuspaikalle toimitettavat välivalmisteet sekoitetaan tai herkistetään keskenään ja pumpataan panostuslaitteen panostusletkua pitkin reikään. Anfo- ja emulsiopanostuslaitteita voidaan käyttää myös kappale-tavararäjähdysaineiden, kuten patruuna ja putkipanoksien panostamiseen. (Halonen & Vuolio 2012, 245; Mykkänen 2016; Panostus 2015.)

Räjähdysaineen sekoittamisen tai herkistämisen jälkeen työvaiheet eri tyyppin panostuslaitteissa ovat periaatteeltaan samanlaisia. Panostusletku, joka on muodoltaan pyöreä, työnnetään panostuslaitteen nostokorista mekaanisesti tai käsin porauslaitteella porattuun reikään, määrättyyn kohtaan tai pohjaan asti. Samalla viedään räjähdysnalli ja mahdollinen alkupanos panostusletkun mukana porausreikään. Panostusletkua vedetään reiän pohjasta pois päin panostusasteen määrittämää nopeutta, samalla kun räjähdysainetta pumpataan tai kuljetetaan pneumaattisesti. (Mykkänen 2016.)





Kuvio 1. Normet Charmec MC 605 DA -tyyppinen Anfo-panostuslaite (Normet Group Oy 2015.)

Räjähdysaineen valmistus linjan alkupäässä hankaloittaa pumppausta, koska varsinkin Anfo, johon on sekoitettu vettä, öljyä tai muita lisäaineita on jäykähköä ja tahmaista aiheuttaen tukoksia panostusletkussa. (Mykkänen 2016.)

Emulsioräjähdysaineen välivalmisteiden sekoittaminen linjaston alkupäässä tarkoittaa sitä, että kaasuuntuminen ja herkistyminen alkavat heti. Sekoitettut välivalmisteet herkistyvät valmiiksi räjähdysaineeksi 10-20 minuutissa. Jos tuleva seisokki tiedetään tai siihen pystytään etukäteen varautumaan, voidaan räjähdysaine pumpata pois letkusta. Letkua tyhjennettäessä räjähdysaine saatetaan joutua laskemaan joko maahan tai jätelavalle. Jos taas esimerkiksi yllättävä 30 minuutin seisokki tulee vikaantumisen seurauksena vaikkapa panostusletkua työnnettäessä reikään, aiheuttaa se ongelman heti panostusta jatkettaessa. Ongelma syntyy, kun runkolinjastoon jäänyt välivalmisteos on seisokin aikana herkistynyt ja paisunut räjähdysaineeksi. Herkistymisen aikana muuttunut tilavuus aiheuttaa tukoksia panostusletkuun. (Mykkänen 2016.)

Kokemuksen lisääntyessä on tullut esille idea, että olisiko mahdollista syöttää räjähdysaineen komponentit erillään yhdessä letkussa ja sekoittaa ne vasta suuttimen

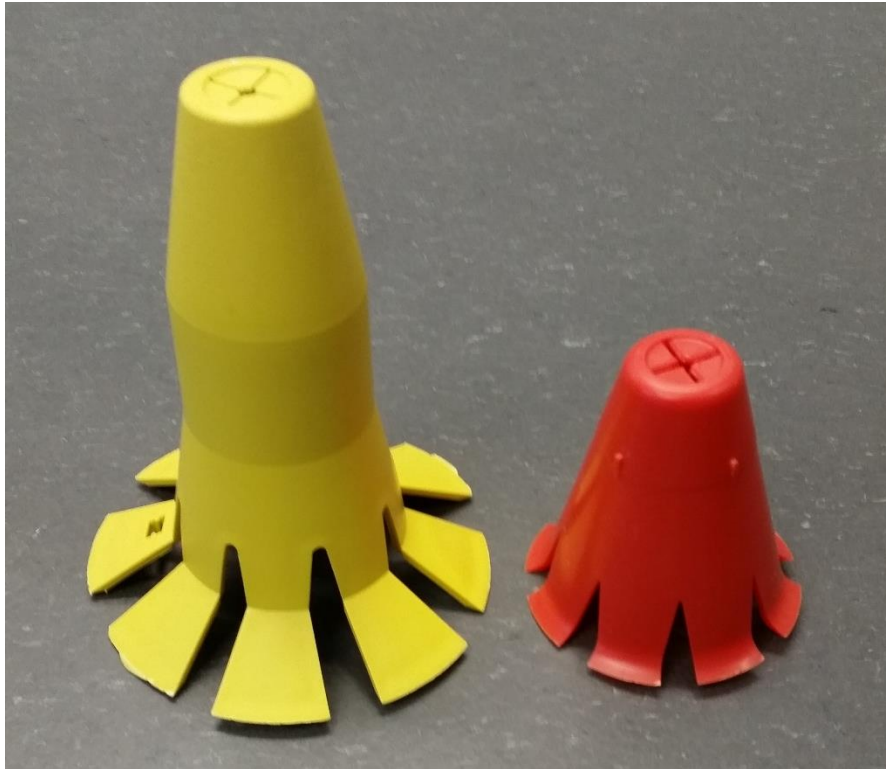
päässä. Tällöin komponentit olisivat helpommin pumpattavissa, emulsioräjähdeaineen kaasutussuhde olisi paremmin hallittavissa ja ehkäistäisiin ongelma, että joudutaan pumpaamaan herkistynyttä räjähdysainetta. (Mykkänen 2016.) Myös hukkaan heitetyn räjähdysaineen määrä saataisiin minimoitua. Hankintahinnan menetyksen lisäksi hukkaan heitetty räjähdysaine on ongelmajätettä ja tämän takia haasteellista sekä kallista hävittää.

Kuiviin ja pohjallisiin reikiin panostaminen on nopeaa, jos ongelmia ei esiinny. Käytännössä panostusvaiheessa on kuitenkin monia muuttujia, jotka aiheuttavat ongelmia ja joita pyrittiin opinnäytetyössä ratkaisemaan. Porausreiän kulkureitillä voi olla kallion sisäisiä onteloita eli lustoja, jotka vaikeuttavat panostusta ja jotka pitää tukkia jollain muulla tavalla kuin täyttämällä se kokonaan räjähdysaineella. Usein myös panostamisen yhteydessä panostaminen halutaan aloittaa tietyistä kohdista tai lopettaa se tiettyyn kohtaan, eli jollain menetelmällä olisi luotettavasti estettävä räjähdysaineen liikkuminen ei-toivottuun kohtaan ylä- tai alakätisissä rei'issä. On myös yleinen tilanne, että panostus suoritetaan niin sanottuun läpireikään. Tällöin pitää tukkia reiän pohja tai katto ennen "tyhjää tilaa", jotta reikä pystytään panostamaan. (Mykkänen 2016.)

Yläkätinen reikä voi olla myös niin sanottu vesireikä, eli reikään valuu jostain kohtaa kallion sisältä vettä. Vesi aiheuttaa sen, että edes yläkätisiin ja kosteisiin porausreikiin valmistetut ja suunnitellut räjähdysaineet eivät pysy reiässä. Vesireikään panostettu räjähdysaine voi valua kokonaisuudessaan alaspäin panostetulta paikaltaan tai tippua kokonaan pois reiästä. Tällaisten ongelmien ehkäisemiseksi olisi syytä kehittää menetelmä, jolla estettäisiin veden valuminen reikään tai panostetun räjähdysaineen valuminen tai putoaminen pois reiästä. (Mykkänen 2016.)

Edellä mainittuihin ongelmiin on keksitty ratkaisuja, mutta ne ovat olleet osaltaan puutteellisia. Porausreiän tukkimiseen käytetään yleisesti niin sanottuja noidanhattuja, jotka työnnetään kepillä tai vastaavalla haluttuun kohtaan (ks. kuvio 2). Hattu muistuttaa muodoltaan isoa sulkapalloa. Kartiomuodon ansiosta hattu ei luista takaisinpäin, joten hattu täytyy kerralla asettaa oikeaan paikkaan. Pitkissä rei'issä hatun työntäminen on ongelmallista, koska usean kymmenen metrin pituisia keppejä tai tankoja on harvoin saatavilla. Jos hattu asetetaan panostusprosessin loppuksi porausreikään, on panostusletku sitä ennen vedettävä pois porausreiästä. Vasta sen jälkeen

pystytään aloittamaan hatun asennus. Vaarana on, että panostettu räjähdysaine on joko valunut alaspäin tai tippunut kokonaan pois porausreiästä, ennen kuin hattua päästään asentamaan. (Mykkänen 2016.)



Kuvio 2. 110 mm:n ja 76 mm:n porausreikiin tarkoitetut noidanhatut

### 1.3 Opinnäytetyön aihe ja sen rajaaminen

Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella kaksiytimistä letkua varten järjestelmät panostuslaitteen rungon päälle ja kehittää panostusletkun suuttimen päähän rakenne, jolla saadaan Blastball vietyä ja laukaistua se luotettavasti ja vaivatta. Blastball on kuminen, porausreiän tulppaamiseen kehitetty pyöreä ilmatäytteinen pallo. Blastball esitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Kaksiytiminen järjestelmä kehitettiin siten, että paineilma ja räjähdysaine saadaan johdettua erillään letkun päähän. Jos ennen suutinta oleva järjestelmä pystytään suunnittelemaan ja osoittamaan toimivaksi, toista ydintä voidaan käyttää edelleen jonkin muun aineen johtamiseen. Ennalta arvioitiin, että muun aineen johtaminen ei aiheuta isoja muutoksia opinnäytetyössä suunniteltuun rakenteeseen.

Opinnäytetyö oli tuotekehitysprojekti ja kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Kvalitatiivinen tutkimusote sopii opinnäytetyön aiheeseen, koska ilmiöstä ei ole tietoa, tutkimusta eikä teoriaa sekä halutaan saada tulokseksi syvälinen näkemys ilmiöstä. Niin tässä opinnäytetyössä kuin yleisestikin kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkitaan yksittäistä tapausta ja pyritään ymmärtämään ilmiötä. Laadullisessa tutkimuksessa käsitellään aiheen havaintoyksikköä perusteellisemmin kuin kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimuksessa ja tutkimus on usein kuvailevaa. Kvalitatiivisen tutkimuksen tuloksia pyritään esittämään havainnoista tuloksiin kuvien ja tekstien avulla. (Kananen 2008, 24-25; 31-32.)

Tämänhetkinen, yksiytimisellä letkulla varustettu järjestelmä on pitkän kokemuksen ja tuotekehityksen tulos. Kaikki vanhan järjestelmän osat ovat toimivia, eikä säilytettävien osien toimintaperiaatetta tarvitse muuttaa.

#### 1.4 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä tämän hetkistä järjestelmää pohjana käyttäen uusi järjestelmä. Uusi järjestelmä tuli suunnitella niin, että reiän tulppaus pystytään suorittamaan panostusletkulla ja järjestelmän alkuperäinen käytettävyyssäilyy mahdollisista lisäosista huolimatta vähintään nykyisellä tasolla.

MTi Group Pty Ltd on australialainen yhtiö, jonka valikoimaan kuuluu Blastball-porausreiäntulppa (ks. kuvio 3). Blastball lanseerattiin markkinoille 2007. Blastball on kuminen pallo, joka täytetään paineilmalla siihen suunnitellulla, haponkestävästä teräksestä valmistetulla täyttöventtiilillä. Blastballissa itsessään on auton renkaan kaltainen venttiili. Täyttöventtiili on suunniteltu niin, että Blastball irtoaa venttiilistä silloin, kuin sen paine on riittävä. Blastballin maksimipaine on noin 0,5-0,8 bar. Blastballia valmistetaan kuutta eri kokoa ja niistä pienimmän käytön mahdollisuuksia opinnäytetyössä tutkittiin. (Inflation Coupling 2016; Blastball Plugs 2016; Blastball, 2016.)



Kuvio 3. Blastball ja sen venttiilit (MTi Group Pty Ltd N.d.)

Toimeksiantajan kannalta opinnäytetyön tärkein tavoite oli saada konkreettista hyötyä patenttihakemuksesta ja sen eteen tehdystä työstä. Opinnäytetyö oli jatkoa Normet Group Oy:n patenttihakemukselle, koska toimeksiantaja halusi, että tutkimusta ja tuotekehitystä aiheen suhteen jatketaan.

Suunnittelutyön ohessa oli tarkoitus rakentaa prototyyppi ja suorittaa sillä erilaisia testejä, joilla varmistetaan uuden järjestelmän toimivuus ja käytettävyys. Koko opinnäytetyön tavoite on täytetty, jos pystytään suunnittelemaan ja tekemään toimiva prototyyppi ja pohja uudelle järjestelmälle, jonka testausta ja kehittämistä Normet Group Oy voi jatkaa aina toimivaan ja hyvään myyntituotteeseen saakka. Onnistuessaan työ voi tuoda lisäarvoa Charmec-panostuslaitteille ja kilpailuetua muihin panostuslaittevalmistajiin verrattuna.

## 2 Panostuslaitteella panostettavat räjähdysaineet ja maanalainen louhinta

### 2.1 Räjähdysaineet

Räjähdysaineet ovat tavallisemmin kahden tai useamman komponentin seoksia, jotka sisältävät vähintään hapettimen sekä polttoainekomponentin. Yleisin raaka-aine on ammoniumnitraatti (AN) eri muodoissaan. Ammoniumnitraatin muotoja ovat kiteinen, jauhettu, prillattu eli rakeinen muoto tai liuos. (Blasters' Handbook 1998, 78, 86-87; Mykkänen 2016.)

#### 2.1.1 Räjähdystapahtuma

Räjähdystapahtumat jaetaan kolmeen eri luokkaan: mekaaniset räjähdykset, ydinräjähdykset ja kemialliset räjähdykset. Räjähdysaineiden räjähtäessä kyseessä on kemiallinen räjähdys, jossa tapahtuu runsaasti lämpöä sekä kaasuja synnyttäviä muutoksia. Räjähdyksessä räjähdysaineen polttoaine palaa hapen avulla korkeassa paineessa. Porausreiässä räjähdystapahtuman alussa synnyttämä paineaalto muuttaa edetessään räjähdysaineen lämpötilan, tiheyden ja paineen niin, että tapahtuma etenee hyvin nopeasti. Räjähdystapahtuman aloittamiseksi käytetään yleensä räjäytysnallia, jolla tehdään mekaaninen tai lämpöä tuottava vaikutus räjähdysaineeseen. Usein tarvitaan vielä alkupanos, joka räjäytetään nallilla ja joka saa itse räjähdysaineen räjähtämään. (Halonen & Vuolio 2012, 57.)

#### 2.1.2 Ammonium Nitrate/Fuel Oil

Ammonium Nitrate/Fuel Oil, josta käytetään yleisesti nimitystä Anfo, valmistetaan imeyttämällä prillattuun, eli rakeiseen tai kiteiseen ammoniumnitraattiin vettä, lisäaineita tai polttoöljyä. Anfo lisäaineistetaan, jotta räjähdysaineeseen saadaan haluttu koostumus. Yleisimmin käytettyä polttoöljyä on valmiissa räjähdysaineessa 5,5-6 prosenttia räjähdysaineen painosta. Liian vähäinen polttoöljyn määrä muodostaa hiilimonoksidia ja taas liiallinen polttoöljyn määrä aiheuttaa dityppioksidia eli ilokaasua räjähdyksessä. Kokemuksien mukaan polttoöljyn optimaalinen pitoisuus on 5,7 prosenttia. Ennen imeyttämistä polttoöljyyn sekoitetaan väriainetta, jotta valmis seos

pystytään silmämääräisesti varmistamaan tasalaatuisiksi. On syytä muistaa, että ammoniumnitraatti on jo itsessään valmista räjähdysainetta. (Blasters' Handbook 1998, 85-90; Halonen & Vuolio 2012, 22.)

Anfoja on nykyään kehitetty eri käyttötarkoituksiin. Suomalainen Oy Forcit Ab valmistaa ja myy neljää erilaista Anfoa. Normaalin Anfon lisäksi on Ahti-Anfo, joka kestää paremmin kosteutta, Pito-Anfo, joka pysyy paremmin yläkätisissä rei'issä ja Anfo 800, jonka ominaispaino ja räjähdysnopeus ovat hieman muita suurempia. (Anfo, Ahti-Anfo, Pito-Anfo & Anfo 800 Tuotetieto; Halonen & Vuolio 2012, 22, 62.)

Anfon etuina ovat alhainen hinta, helppo saatavuus ympäri maailman ja suuri panostusnopeus. Anfon panostus suoritetaan aina niin, että reiät täytetään kokonaan. Anfon panostus ei vaadi emulsiopanostuksen tavoin paljoa tekniikkaa, periaatteessa vain paineilma riittää Anfon panostukseen. Anfon käyttöä rajoittaa sen erittäin huono kosteuden kestävyys, koostumuksensa takia alhainen tiheys sekä usein epätäydellinen räjähdys. Lisäksi haasteita tuottaa Anfon varastointi suuremmissa määrin, koska se on ilman lisäaineitakin valmista räjähdysainetta sekä tunnelilouhinnassa reunareivät täytyy panostaa patruuna- tai putkipanoksin, koska räjähdysaineen määrää ei pystytä kunnolla säätämään. Anfon haittapuolena on myös eri valmistajien räjähdysaineiden rekisteröinnin ja raportoinnin puute. Anfon panostuksessa vaaka- ja yläkätisiin reikiin täytyy käyttää panostuslaitetta. (Halonen & Vuolio 2012, 22; Pinomäki & Vuento 2011, 15-18.)

Anfon kokeileminen räjähdysaineena aloitettiin Yhdysvalloissa 1954 ja Suomessa 1959. Vuonna 1965 Anfon osuus louhintaräjähdysaineiden käytöstä Suomessa oli 7 %, vuonna 2011 10 % ja vuoden 2036 ennuste on 21 %. (Halonen & Vuolio 2012, 22.)

### 2.1.3 Bulkemulsioräjähdysaineet

Sana "bulk" tarkoittaa irrallista ja sitä, että tällaiset räjähdysaineet valmistetaan paikan päällä erillään toimitetuista välivalmisteista. Emulsiot jaetaan rakenteensa mukaan emulsioräjähdysaineisiin tai vesigeeleihin. Emulsioksi nimitetään vesi-öljyssä rakennetta, jossa hapetinkomponentti (ammoniumnitraatti) on polttoainekomponentin (öljyn) ympäröimässä tilassa. (Blasters' Handbook 1998, 77).

Emulsiot ovat erittäin niukkaliukoisia veteen, öljyn tavoin käyttäytyviä ja koostumukseltaan vaseliinimaisia räjähdysaineita. Emulsioiden hyviä puolia ovat niiden korkea hyötysuhde, noin 97-100 prosenttia kemiallisesta energiasta vapautuu räjähdystapahtumassa, niillä on suuri räjähdysnopeus, 4000-5500 m/s, ja pieni kriittinen halkaisija. Kriittiseksi halkaisijaksi kutsutaan rajaa, jossa räjähdystapahtuma etenee porausreiässä. Bulkemulsioräjähdysaineita valmistetaan nykyään kahta eri päätyyppiä, jotka ovat SSE (Site Sensitized Emulsion) ja SME (Site Mixed Emulsion). SSE tyyppin emulsioräjähdysaineet herkistetään ja SME tyyppin emulsioräjähdysaineet sekoitetaan panostuspaikalla valmiiksi räjähdysaineiksi. (Halonen & Vuolio 2012, 23, 63.)

Suomalainen Oy Forcit Ab valmistaa ja myy kolmea erilaista Kemiitti – tuotetta, jotka ovat tyyppiltään bulkemulsioräjähdysaineita. Kemiittien koostumus on emulsioille tyyppillisen vaseliinimainen ja väritään kemiitit ovat valkoisia tai kellertäviä. Kemiitit valmistetaan panostuspaikalla välivalmisteista ja ne panostetaan reikiin mekaanisesti panostuslaitteella pumpaten. Raaka-aineina käytettävät välivalmisteet eivät itsessään ole räjähdysaineita. Heti panostuksen jälkeen kemiiteissä alkaa erilaisia kemiallisia reaktioita ja niiden seurauksena välivalmisteseos herkistyy täysin valmiiksi räjähdysaineeksi 10–20 minuuttia panostuksen jälkeen. (Halonen & Vuolio 2012, 63.)

Kemiitti 510 ja 610 ovat tyyppiltään SME-emulsioita, joita on lisäaineistettu ammoniumnitraatilla (10-30 %). Ne soveltuvat kallion avolouhintaan ja kestävät hyvin vettä. Kemiitti 510 ja 610 ovat nopeita panostaa ja niillä pystytään tekemään niin sanottu progressiivinen panostus, eli räjähdysaineen tiheys alenee pintaa kohti mentäessä. Kemiitti 510 räjähdysnopeus on 4500-5200 m/s ja Kemiitti 610:n 4700-5400 m/s. (Halonen & Vuolio 2012, 63; Tuotetieto Kemiitti 510; Tuotetieto Kemiitti 610.)

Kemiitti 810 on puolestaan SSE-emulsio ja se on kehitetty maanalaisen kallion louhintaan. Kemiitti 810 kestää täydellisesti vettä ja se soveltuu peränajon koko profiilin panostamiseen sekä louhospanostukseen. Kemiitti 810:llä pystytään tekemään myös progressiivinen panostus. SSE- emulsion puolesta se on hieman erilainen kuin Kemiitti 510 ja 610. Kemiitti 810 herkistetään välivalmisteilla emulsiomatriisista räjähdysaineeksi panostuspaikalla. Kemiitti 810:n räjähdysnopeus on 3000-5000 m/s. (Halonen & Vuolio 2012, 63; Tuotetieto Kemiitti 810.)



Ensimmäinen emulsioräjähdeaineen patentti myönnettiin vuonna 1964. Siitä alkaen emulsioräjähdeaineiden kehitys on jatkunut ja käyttö lisääntynyt. Vuonna 2011 bul-kemulsioiden osuus louhintaräjähdeaineiden käytöstä Suomessa oli 76 % ja vuoden 2036 ennuste on 63 %. (Halonen & Vuolio 2012, 23.)

#### 2.1.4 Vesigeeliräjähdeaine

Vesigeeliräjähdeaineiksi kutsutaan öljy-vedessä rakenteisia emulsioita. Vesigeelit koostuvat hapettavista suoloista sekä liuenneista tai jatkuvaan nestefaasiin hajonneesta polttoainekomponentista. Hapettavina suoloina käytetään ammonium-, natrium- tai kalsiumnitraattia. Polttoaineina käytetään puolestaan yleensä alumiinia, kivihiiltä, sokeria, eteeniä, glykolia tai öljyä. (Blasters' Handbook 1998, 71.)

Vesigeeli sisältää hyytelöitymisaineita, joilla parannetaan pysyvyyttä porausreiässä. Vesigeelit soveltuvat parhaiten suureikä-räjäytyksiin. Vesigeelien käyttöä rajoittaa alhainen hyötysuhde, vain noin 72 prosenttia kemiallisesta energiasta vapautuu räjähdystapahtumassa sekä vesigeelien rajoitettu muunneltavuus eri olosuhteisiin. (Halonen & Vuolio 2012, 62; Vihanto 2007, 8.)

Vuonna 1965 ja 2007 vesigeelien osuus Suomessa käytetyistä louhintaräjähdeaineista oli 1 %. Emulsioräjähdeaineiden kehityksen myötä vesigeelien osuus on sittemmin pienentynyt niin pieneksi, ettei tilastoitaessa ole otettu vesigeelien osuutta huomioon. (Halonen & Vuolio 2012, 23.)

## 2.2 Maanalainen louhinta

### 2.2.1 Kaivoksen yleissuunnittelu ja yleisimmät louhintamenetelmät Suomessa

Ensimmäinen syy maanalaiselle louhinnalle on käyttää hyödyksi louhittua tilaa esimerkiksi varastointiin, väestönsuojaukseen tai liikennöintiin esimerkiksi autolla, junalla tai metrolla. Toinen syy maanalaiselle louhinnalle on louhia ja kerätä talteen arvokasta malmia tai muuta materiaalia kallioperästä. (Olofsson 1990, 131.)

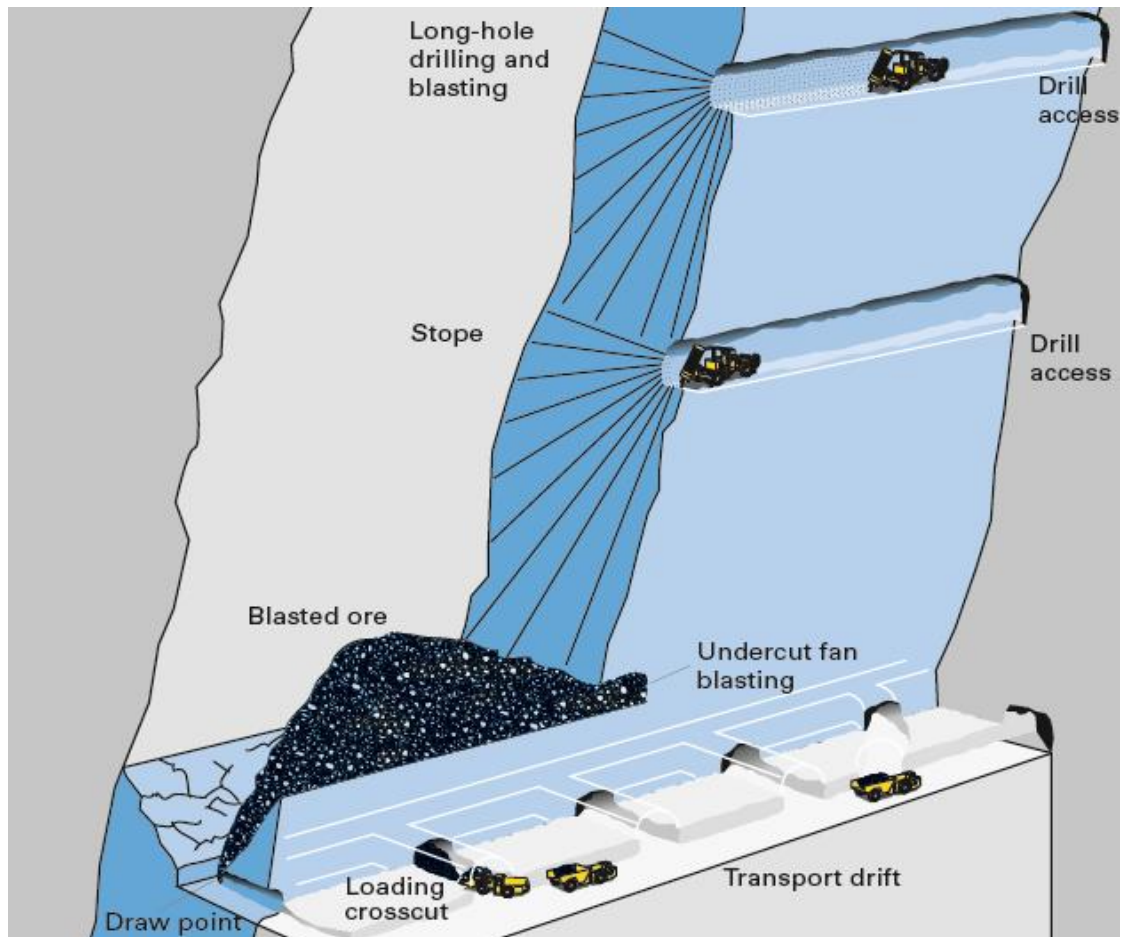
Maanalaisen kaivoksen suunnittelu alkaa yleissuunnittelusta. Kaivoksen yleissuunnittelun aikana suunnitellaan kaivoksen avaus, päätasoja yhdistävä tunneliverkosto, malmin nostomenetelmä, tuuletusreitit, vedenpoisto, kommunikaatio ja tiedonsiirto.

Työskentelypaikoista, tunneliverkostosta, poistumisreiteistä ja turvallisuuteen vaikuttavista työkohteista on laadittava selkeät karttapiirroksset, joita pidetään ajan tasalla ja jotka ovat kaivoksessa työskentelevän henkilöstön saatavilla. (Hakapää, Lappalainen & Paalumäki 2015, 89-90; Pinomäki & Vuento 2011, 42-43.)

Yleissuunnittelun aikana valitaan myös louhintamenetelmä, suunnitellaan aikataulu ja koneet sekä laitteet, joilla kaivos avataan ja joita tarvitaan tuotannon ylläpidossa. Kulkuteinä kaivokseen käytetään pystykuilua tai vinotunnelia, usein käytetään moolempia. Irrotettu malmi nostetaan maanpinnalle kuorma-autoilla tai dumppereilla ja murskataan maanpinnalle rakennetussa murskausasemassa. (Hakapää ym. 2015, 89-90; Halonen & Vuolio 2012, 219.)

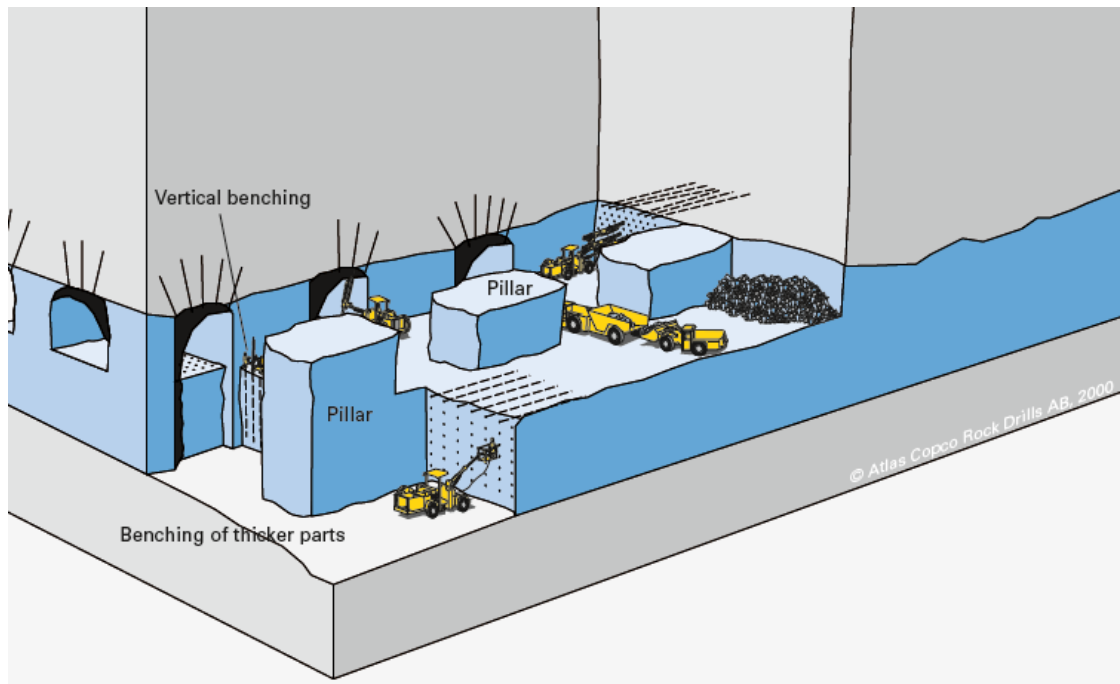
Kaivoksen louhintamenetelmän valintaan vaikuttaa malmiesiintymän muoto ja sivukiven, eli muun kallion ominaisuudet. Yleisimmät louhintamenetelmät Suomessa ovat välitasolouhinta, pilarilouhinta sekä makasiinilouhinta. (Hakapää ym. 2015, 115; Halonen & Vuolio 2012, 219.)

Välitasolouhinta (ks. kuvio 4) perustuu siihen, että ylemmiltä välitasoilta räjäytetään malmia, jota tippuu kuilua muistuttavaan tilaan, jonka pohjassa on pyöräkuormaajilla kulkureitit malmin lastausta ja jatkokuljetusta varten. Välitasolouhintaa käytetään malmiesiintymissä, joissa kaade eli malmiesiintymän kulma on 50 astetta suurempi ja malmin sekä sivukiven lujuusominaisuudet ovat hyvät. (Halonen & Vuolio 2012, 219.)



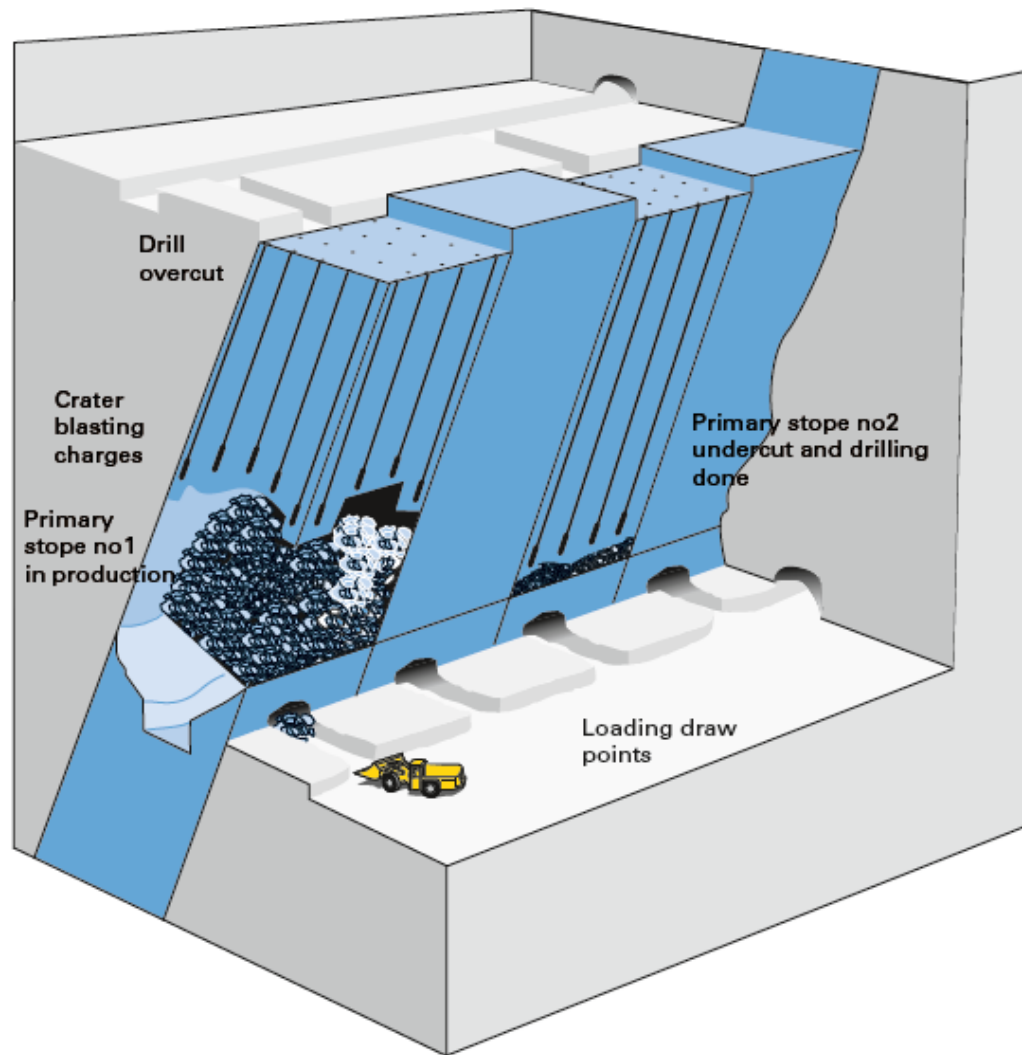
Kuvio 4. Välitasolouhinnan periaate (Atlas Copco 2007, 33.)

Pilarilouhinnassa (ks. kuvio 5) jätetään malmipilareita kantamaan tilaa, josta louhitetaan kattoperä- tai pengerlouhintamenetelmiä käyttäen malmin, joka usein tätä menetelmää käytettäessä on arvokasta. Pilarilouhintaa käytetään laattamaisissa esiintymissä, jos malmi ja kattokivi ovat kalliomekaanisesti lujia. Malmipilareihin jää yleensä yli 30 prosenttia malmista. Ne voidaan korvata betonipilareilla, jolloin muussa tapauksessa pilareihin jäävä malmi saadaan kerättyä talteen. (Hakapää ym. 2015, 89-90; Halonen & Vuolio 2012, 219-220.)



Kuvio 5. Pilarilouhinnan periaate (Atlas Copco 2007, 39.)

Makasiinilouhinnassa (ks. kuvio 6) esiintymä jaetaan pystysuuntaisiksi makasiineiksi. Louhinta etenee alhaalta ylöspäin niin sanottuna kattolouhintana eli nousunajona. Räjähdyksen jälkeen louhoksen pohjassa olevista lastausrei'istä lastataan sen verran louhosta pois, että räjäytetyn malmikasan ja katon välissä on noin 2-3 metriä tyhjää tilaa ennen seuraavaa räjäytystä, jotta räjäytettävä kallio mahtuu paisumaan vapaana olevaan tilaan. Kiviaineksen paisumisesta puhuttaessa tarkoitetaan kallionlohkareiden epäjärjestyksen takia syntyvää tilavuuden nousua räjäytyksen jälkeen. Kun irrotus on tehty kokonaan, tyhjenetään louhos lastausreikien kautta ja tyhjennyksen jälkeen täytetään rikastushiekalla tai raakulla eli jätekiviaineksella. Malmiesiintymän kaadon tulee olla vastaavaa luokkaa, mitä välitasolouhinnassa. (Halonen & Vuolio 2012, 220.)



Kuvio 6. Makasiinilouhinnan periaatekuva (Atlas Copco 2007, 34.)

Yleisimmät kallion räjäytystavat ovat peränajo, nousunajo ja pengerialouhinta. Loput räjäytysmenetelmät ovat näiden tärkeimpien menetelmien yhdistelmiä tai sovelluksia. Räjäytystavasta riippumatta työvaihejärjestys louhinnassa on seuraavanlainen: Ensimmäisenä työvaiheena on poraus, jonka jälkeen on panostus, räjäytys, tuuletus, kuormaus, louheen kuljetus ja vastaanotto sekä mahdollisesti rusnaus-, lujitus- ja injektointityöt. (Olofsson 1990, 132.)

Maanalaiset tunnelit jaetaan poikkipinta-alansa mukaan pieniin tunneleihin (2-15 neliometriä), keskisuuriin (15-100 neliometriä) ja suuriin tunneleihin (yli 100 neliometriä). Pienet ja keskisuuret tunnelit louhitaan peränajomenetelmää käyttäen, suuret ja

yli 10 metriä korkeat tunnelit louhitaan kattoperä-pengerlouhintamenetelmää käyttäen, joka on perän- ja nousunajon yhdistelmä. (Halonen & Vuolio 2012, 215-216.)

### 2.2.2 Peränajo eli tunnelinpäätylouhinta

Peränajossa eli tunnelinpäätylouhinnassa räjäytyksellä on vain yksi purkautumissuunta. Yksi purkautumissuunta rajoittaa irrotettavaa kuutiotilavuutta ja yhdellä räjäytyskerralla edettävää matkaa, eli katkoa. Peränajossa käytetään yleensä vaakasuoria reikiä, jotka panostetaan ja räjäytetään. Peränajon porauskaavion suunnittelussa tavoitteena on sijoittaa oikea reikämäärä oikeisiin paikkoihin. Reikäkoon valinta on olennainen asia, pienempi reikäkoko suurentaa reikien lukumäärää, mutta pienentää ominaispanostusta ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Ominaispanostus peränajossa on 3-10 kertaa suurempi kuin pengerlouhinnassa. (Blasters' Handbook 1998, 445-446; Halonen & Vuolio 2012, 226-235.)

### 2.2.3 Nousunajo

Peränajon jälkeen louhosta aletaan yleensä avaamaan ja ensimmäistä nousunajoa kutsutaan avausnousuksi. Avausnousu voidaan tehdä kahden tason väliin louhimalla joko katto tai pohja, eli louhimalla joko ylä- tai alakätinen nousu. Avausnousu voi olla myöskin niin sanottu sokkonousu, jossa nousua ei kohdenneta mihinkään tasoon. (Halonen & Vuolio 2012, 236-242.)

Avausnousu on suunniteltava ja tehtävä niin suureksi, että seuraavana tehtävän levitysvaiheen räjäyttämässä syntyvä irtonainen kiviaines mahtuu paisumaan avausnousussa tehtyyn tilaan. Levitysvaiheessa porataan reikiä ympäri avausnousun seinämää, joka muistuttaa muodoltaan viuhkaa. Tämän takia käytetään nimitystä levitysviuhka. Levitysvaiheen räjäyttämisen jälkeen varsinainen tuotantolouhinta voi alkaa. (Halonen & Vuolio 2012, 236-239.)

### 2.2.4 Pengerlouhinta

Pengerlouhinta on yleisin kallion räjäytystapa. Pengerlouhinnassa käytetään yleensä alakätisiä, hieman kallistettuja reikiä, jotka panostetaan ja räjäytetään. Purkautumissuuntia on useita ja siitä syystä irrotettu kuutiotilavuus on melko suuri. Käytännössä

lähes kaikki louhinta on pengerlouhintaa. (Halonen & Vuolio 2012, 219; Olofsson 1990, 62.)

### 3 Tuotekehitys

#### 3.1 Asiakstarpeen tunnistaminen tuotekehityksessä

Suurin osa tuotekehityksestä on itseasiassa jo olemassa olevan tuotteen tai koneen muuntelua tai muokkausta. Taipumus muutoksiin juontaa juurensa asiakkaan tarpeista ja halusta. Asiakas haluaa enemmän parannuksia vanhaan tuotteeseen, kuin kokonaan uuden tuotteen tai innovaation, koska he tuntevat vanhan tuotteen ja heillä on kokemusta sen käytöstä. Näin ollen olemassa olevien tuotteiden uudelleenjärjestely on siksi tärkeä osa tuotekehitystä. Uudelleenjärjestelyn avulla voidaan tehdä pienellä määrällä useita yhdistelmiä peruselementtejä tai komponentteja. (Cross 2008, 137; Hietikko 2008, 55-56.)

Kun määritellään eli spesifioidaan tuotetta, on tärkeää, että markkinoinnin ja suunnittelun intressit ovat yhdenmukaiset. Markkinoinnista vastaavat henkilöt pyrkivät keskittymään niin sanottuihin toivottuihin ominaisuuksiin ja näkemään tuotteen asiakkaan näkökulmasta. Tuotekehityksen ja suunnittelun suorittava taho miettii asiaa enemmän tuotteen suunnitteluteknisten ja fyysisten ominaisuuksien kannalta ottaen huomioon esimerkiksi kustannusteknisiä ja valmistuksellisia аспекteja. On huomioitava, että suunnittelun tekemät päätökset vaikuttavat tuotteen fyysiseen ulkonäköön ja muihin toivottuihin ominaisuuksiin, mikä taas vaikuttaa asiakkaaseen ja hänen ostopäätökseen. (Cross 2008, 121.)

Lisääntyneen kilpailun myötä markkinoilla on erittäin tärkeää, että tuotekehitystiimi ymmärtää ja tiedostaa asiakkaan tarpeet sekä mieltymykset ja on tarpeen tullen valmis tekemään kompromisseja omien tavoitteidensa suhteen, jotta asiakkaan tarve tulee paremmin täytetyksi. Henkilö, joka päättää tuotteen ostamisesta on tärkein tekijä määrittämään tuotteen kaupallisen menestyksen. Oli tuote kuinka hyvin suunniteltu tahansa, jos asiakkaan ääntä (The voice of the customer) ei ole kuunneltu, saattaa tuote osoittautua täydelliseksi epäonnistumiseksi. (Cross 2008, 121-122.) Tuote

on onnistunut vain silloin kun se tyydyttää asiakkaan tarpeen, lanseerataan markkinoille oikeaan aikaan ja se myydään oikeaan hintaan. (Beitz, Feldhusen, Grote & Pahl 2007, 134.)

### 3.2 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosessin avuksi on kehitetty monia menetelmiä. Jotkut menetelmät kuvaavat toimintojen suotuisaa järjestystä, jotkut taas pyrkivät määräämään toimintajärjestyksen. Systemaattisen tuotekehitysprosessin ensimmäinen työvaihe on **tehtävän selventäminen** (ks. kuvio 7), joka tarkoittaa tiivistettynä tiedon keräämistä tuotteelle asetettavista vaatimuksista ja rajoitteista. Ensimmäinen tehtävä tässä työvaiheessa on tehtävän kuvaus, joka sisältää selvityksiä tuotteesta sekä sen toiminnollisuudesta ja suorituskyvystä. Lisäksi kuvauksessa tulee olla selvityksiä projektin aikataulusta sekä kustannustavoitteista. Tuotteen tavoitteet täytyy olla selkeästi määritellyt ja tuotteelle on täytynyt tehdä markkinatutkimusta, jonka pohjalta voidaan uskoa, että tuotteelle tulisi olemaan kysyntää markkinoilla. Tehtävän selventämisen tärkein tuotos on vaatimuslista, jossa on kaikki kerätty tieto ja sitä kautta vaatimukset eli spesifikaatiot, eriteltynä ja selkeästi esitettynä. Kaikki tuotekehitysprosessin seuraavat vaiheet perustuvat vaatimuslistaan. (Beitz ym. 2007, 145-157.)

Ennen kuin voidaan jatkaa seuraavaan vaiheeseen, on muistettava erottaa alustavat spesifikaatiot lopullisista. Alustavat spesifikaatiot asetetaan heti asiakastarpeen selvittämisen jälkeen, mutta näiden suhteen voi kuitenkin tulla ongelmia. Spesifikaatioita voi olla mahdoton saavuttaa esimerkiksi teknologia- tai kustannusrajoitteiden vuoksi. Usein alustavien ja lopullisten spesifikaatioiden välillä joudutaan tekemään kompromisseja. (Hietikko 2008, 67-68.)

Kun tehtävä, spesifikaatiot ja rajoitteet ovat selvillä, alkaa **konseptisuunnittelu** (ks. kuvio 7), joka on toimintorakenteiden suunnittelua, toimivien ratkaisuperiaatteiden etsintää ja tuloksien yhdistämistä konseptivaihtoehtoiksi. Konseptisuunnittelun keskeinen ajatus on keskittyä periaatteen ratkaisuun. (Beitz ym. 2007, 159.)





Kuvio 7. Systemaattisen tuotekehitysprosessin rakenne (Beitz ym. 2007, 130, mukailtu)

Konseptisuunnitteluvaiheessa valitaan alustavia materiaaleja, tehdään karkea malli layoutista ja mietitään teknisiä mahdollisuuksia toteuttaa tuote. Tuotteen toimintojen rakenteet tulee pilkkoa niin pieniin osiin, että alitoiminnoista saadaan järkeviä ja yksinkertaisia paketteja. Tämän jälkeen etsitään alitoiminnoille ratkaisuperiaatteita ja yhdistellään ne konseptivaihtoehtoiksi. Konseptivaihtoehtoja arvioidaan niin teknologisesti kuin taloudellisestakin näkökulmasta. Konseptivaiheen tärkein tuotos on konsepti eli tuotekehitysprosessin periaatteellinen ratkaisu. (Mts. 145-157.)

Tehtävän selventämisen tuloksena syntyneen vaatimuslistan jälkeen konseptisuunnittelussa tulisi lähteä liikkeelle abstrahoinnista, jolla tunnistetaan tuotekehityksen olennaiset ongelmat. Abstrahoinnissa päädytään tehtävän ytimeen ja se suoritetaan jättämällä kaikki ominaisuudet, mitkä ovat ylimääräisiä tai lisäarvoa tuovia ja keskittymällä niihin ominaisuuksiin, mitkä ovat tärkeitä ja välttämättömiä. Jos ominaisuudet ovat hyvin jaoteltu abstrahoinnin aikana, koko toiminnallisuus ja olennaiset rajoitteet selkenevät haittaamatta tietyn ratkaisun valintaa millään tavalla. Abstrahoinnin jälkeen ryhdytään määrittämään sekä perustamaan järjestelmärakenteita ja tunnistetaan tuotteen päätoiminto. Päätoiminnon tunnistuksen jälkeen se pilkotaan alitoiminnoiksi, jotta kokonaisuudet saadaan muotoiltua yksinkertaisimmiksi ja niitä pystyttäisiin hallitsemaan paremmin. Alitoimintojen kirjoa kutsutaan toimintorakenteeksi ja ylimpänä tasona toimintorakenteessa on päätoiminto. (Mts. 160-161.)

Alitoimintojen ja toimintorakenteen suunnittelun jälkeen kehitetään, etsitään ja yhdistellään toimintoperiaatteita ja ratkaisuja alitoimintojen vaatimiin tehtäviin. Yhdellä alitoiminnoilla voi ja on hyvä olla useampi alustava toimintaperiaate. Loppujen lopuksi tehdään valinnat toimintorakenteiden ratkaisumahdollisuuksista ja kootaan

ne yhdistelmiksi. Yhdistelmistä voidaan valita parhaaksi yhdistelmäksi katsottu vaihtoehto jo konseptisuunnitteluvaiheessa. Vaihtoehtoisesti tämä valinta voidaan tehdä tuotekehitysprosessin seuraavassa vaiheessa. (Mts. 162-199.)

**Systemisuunnittelu** (ks. kuvio 7) on alustavien layoutien ja tuotteen muotojen kehittämistä konseptin pohjalta. Viimeistään systemisuunnittelun alussa valitaan paras konsepti, jota aletaan kehittämään. Vaiheen aikana suunnitellaan alustavia muotoja, mietitään valmistusmenetelmiä ja ratkaisuja erilaisille aputoiminnoille. Systemisuunnittelun aikana tarkistetaan tuotteen toiminnollisuus, kestävyys, valmistettavuus, kokoonpantavuus ja kustannukset. Systemisuunnittelun lopuksi tulee taas arvioida alustavaa ratkaisua niin teknologisesti kuin taloudellisestakin näkökulmasta. Lisäksi tarkistetaan, että valittu ratkaisu täyttää alussa asetetut tavoitteet. Systemisuunnitteluvaiheen aikana tehdään alustavat osaluettelot ja valmistussuunnitelmat, mukaan lukien työpiirustukset. (Mts. 227.)

Systemisuunnittelu on optimointia ja tuotekehitysprosessin aikana tehdyn työn tarkistamista sekä toistuvaa neuvottelua asioista ja pienien osakokonaisuuksien vahvistamista ja varmistamista. Perussäännöt systemisuunnittelulle ovat selkeys, yksinkertaisuus ja turvallisuus. Selkeys tarkoittaa lyhyesti sanottuna toiminnallisuuden, toimintaperiaatteen, layoutin, valmistettavuuden ja huollettavuuden selkeyttä. Yksinkertaisuus tarkoittaa helposti ymmärrettävää. Kaikkien selkeiden ominaisuuksien tulisi olla myös yksinkertaisia. Esimerkiksi toiminnallisuudesta puhuttaessa yksinkertaisuus tarkoittaa toiminnon suorittamista vähemmällä määrällä osia tai yksinkertaisemmalla periaatteella. Yksinkertaisuuden puolesta suunnittelija joutuu usein tekemään kompromisseja; toiminnon täyttäminen vaatii minimimäärän komponentteja ja kustannustehokkuuteen pyrkiminen puoltaa toiminnon täyttämiseksi suurempaa määrää osia kuin pienempää määrää kalliita tai paljon tuotantoaika vieviä osia. Yksinkertaisuutta onkin hyvä arvioida kokonaisvaltaisesti ja tapauskohtaisesti, koska se riippuu ongelmasta ja rajoitteista. (Mts. 233-308.)

Kolmas perussääntö on turvallisuus. Tuotteen turvallisuus jaetaan kolmeen tasoon: suoraan turvallisuuteen, epäsuoraan turvallisuuteen ja varoituksiin. Suora turvallisuus tarkoittaa järjestelmän tai tuotteen osien ja kokonaisuuden turvallisuutta. Epäsuora turvallisuus taas tarkoittaa järjestelmän suojaavia osia, laitteita ja systeemejä, jotka suunnitellaan ja lisätään kohteeseen, mikäli suora turvallisuus on riittämätön.

Varoitukset tarkoittavat erilaisia informaatioita, joilla viestitään käyttäjälle järjestelmän muutoksista. (Mts. 233-308.)

**Detaljisuunnittelun** (ks. kuvio 7) tavoitteena viimeisenä työvaiheena tuotekehitysprosessissa on optimoida ja suorittaa tuotteen suunnittelu loppuun. Detaljisuunnittelussa tehdään viimeiset suunnitelmat ja päätökset kokoonpanojen ja osien muodoista, materiaaleista ja mitoista. Lisäksi tehdään selvitykset tuotannon järjestelyistä, toimintatavoista ja kustannuksista. (Mts. 132-133.)

Detaljisuunnittelun tärkein tuotos on tuotedokumentaation laatiminen. Nykyään se tapahtuu 3D/CAD-ohjelmistoilla. Dokumentaatioon kuuluu valmistusdokumentit sisältäen osa- ja kokoonpanopiirustukset ja osaluettelot. Valmistusdokumenteista tulisi kiinnittää erityisesti huomiota yleisiin ja talon sisäisiin standardeihin ja niiden noudattamiseen, mittojen tarkkuuteen ja toleransseihin sekä standardi- ja osto-osien hankinnan helppouteen, ettei esimerkiksi vahingossa ole valittu harvinaisia tai pitkällä toimitusajalla olevia osia. On myös vielä syytä varmistaa ja tutkia, että standardiosat ja ostettavat osat on valittu oikein perusteiden ja, että ne ovat tarkoitukseen soveltuvimmat kaikki seikat huomioon ottaen teknisen dokumentaation tarkentuessa ja muuttuessa tuotekehitysprosessin mentyä eteenpäin. (Hietikko 2008, 123-126; Beitz ym. 2007, 436-437.)

Detaljisuunnitteluvaiheessa suunnittelutiimin on kiinnitettävä huomiota valmistettavuuteen ja tietää työkalut ja menetelmät, millä tuotteen osat valmistetaan. Aikaisemmissakin vaiheissa on suunnittelijoiden hyvä tietää minkälaisia työmenetelmiä tuotanto käyttää ja mihin se pystyy, mutta on syytä muistaa, että viimeisenä työvaiheena tuotekehitysprosessissa tuote on tarkoitus siirtää tämän jälkeen valmistukseen. Kun mahdolliset virheet on korjattu, kustannustehokkuus tarkistetaan ja optimoidaan sekä viimeistellään osaluettelot, valmistussuunnitelmat ja työpiirustukset. Tämän vaiheen tuloksena on ratkaisu alussa esitetylle ongelmalle ja dokumentaatio siitä. (Beitz ym. 2007, 437-438.)

Tuotantomäärästä ja tuotteen tyypistä riippuen suunnittelutiimin tulisi myös huolehtia, että tarvittavat dokumentit tuotannon ja kokoonpanon suorittamiseksi on tehty

ja toimitettu tuotannon suorittavalle taholle, logistiset asiat on suunniteltu ja dokumentoitu sekä laadunvalvontaan ja siitä huolehtimiseen on otettu kantaa. (Mts. 436-437.)

Suunnittelutyön tultua päätökseen tehdään tuotteen lopulliset ja kattavimmat testaukset. Tuotannon laadusta ja määrästä riippuen voidaan tehdä protosarjoja, joilla valmennetaan tuotanto valmistamaan uutta tuotetta. Kun tuote on todettu näiden toimenpiteiden jälkeen hyväksi ja toimivaksi, voidaan tuote lanseerata markkinoille. (Mts. 436-437.)

### 3.3 Tuotekehitysprosessin apumenetelmät

#### 3.3.1 Tarvelauseet ja benchmarkaus

Spesifikaatioiden määrittämiseen apuna käytetään usein niin sanottuja tarvelauseita, jotka on muodostettu asiakastarpeista. Asiakastarpeita voidaan selvittää esimerkiksi olemalla tuotteen käyttäjä, haastatteleamalla tuotteen käyttäjiä tai tarkkailemalla tuotteen käyttöä ja käyttäjiä. Käyttäjä voisi sanoa haastattelussa esimerkiksi: ”Käytettävyys tulee olla yhtä hyvä kuin vanhassa järjestelmässä ” tai ”Pudotan tämän osan X usein”. Nämä voidaan muuttaa tarvelauseiksi: ”Käytettävyys optimoidaan” tai ”Osa X toimii, vaikka se putoaa usein” ja muodostaa spesifikaatioita, esimerkiksi: ”Tuotteen täytyy olla helppokäyttöinen ja luotettava” tai ”Osa X suunnitellaan kestämään iskuja”. Tarvelause itse projektissa voi olla konkreettisempi, esimerkiksi: ”Kestää yhtäjaksoista käyttöä 2 tuntia”. On tyypillistä, että yhden tarvelauseen kuvaamiseen tarvitaan useampi spesifikaatio, jotta tarvelauseen välittämä informaatio saadaan muutettua tuotteen vaatimuksiksi. Spesifikaatio muodostetaan aina mitattavissa olevasta suureesta ja siihen liittyvästä arvosta, joka voi olla numero, vaihteluväli tai tosi–epätosi-arvo. (Hietikko 2008, 56-60, 65.)

Benchmarkaus tarkoittaa omien tuotteiden vertaamista kilpailijoiden tuotteisiin. Benchmarkaus on hyvä keino asettaa spesifikaatioille suurearvoja tutkimalla miten kilpailevat tuotteet toteuttavat asiakkaiden tarpeet. Sen avulla voidaan asettaa omalle tuotteelle spesifikaatiot, esimerkiksi siten, että määrätään kullekin spesifikaatiolle minimiarvo, johon on päästävä ja tavoitearvo, johon tuotekehityksessä pyritään. (Hietikko 2008, 66-67.)

### 3.3.2 Systemisuunnittelun suuntaviivat

Systemisuunnitteluvaiheessa käytetään usein lähtökohtaista suunnittelua, DXF:ää (Design For X) suunnittelun apumenetelmänä ja suuntaviivana. Lähtökohtainen suunnittelu tukee suunnittelijaa, niin, että sen avulla on helpompi ottaa huomioon asioita ja tietyn lähtökohdan avulla on helpompaa määrätä ja hahmottaa vaatimukset sekä rajoitukset suunnittelussa. Käytetyimpiä lähtökohtaisen suunnittelun menetelmiä on kokoonpantavuutta korostava DFA (Design For Assembly) ja tuotteen valmistusta tukeva DFM (Design For Manufacturing). Usein nämä kaksi suunnittelutapaa yhdistetään ja puhutaan DFMA – menetelmästä (Design For Manufacturing and Assembly). (Beitz ym. 2007, 308; Hietikko 2008, 153.)

DFA-menetelmää käyttäessään suunnittelija noudattaa sovittuja periaatteita, joita ovat yksinkertaisuus, pelkistäminen ja standardisointi. Nämä periaatteet ovat hieman abstrakteja, mutta niiden pilkkominen pienempiin kokonaisuuksiin havainnollistaa periaatteita. Yleisesti ottaen DFA:n mukaisesta tuotteesta on yhdistelty kokonaisuuksia niin, että alikokoonpanojen hierarkia on selkeä ja ymmärrettävä. Tuote tehdään mahdollisimman vähällä kokoonpantavilla osilla ja niiden yhdistämiseen menee mahdollisimman vähän aikaa ja se on helppo suorittaa. Kokoonpanovaiheessa ei tehdä valmistuksellisia työvaiheita, käytetyt osat on standardisoituja, luoksepäästävyys käsin ja työkaluin sekä asennusten turvallisuus on huomioitu ja osat on suunniteltu siten, ettei niitä voi asentaa esimerkiksi väärinpäin. Lisäksi yksi helpoimmista keinoista, mikä ei aina ole itsestäänselvyys, on numeroida kokoonpanon osat asennusjärjestykseen, mikä helpottaa asennustyötä huomattavan paljon. (Beitz ym. 2007, 375-385; Hietikko 2008, 155-156.)

DFM-menetelmän avulla pyritään minimoimaan tuotantokustannukset ja tuotantoajat. DFM-menetelmää noudattaessa suunnittelutiimin täytyy tietää, miten tuotteet valmistetaan. Mikäli valmistusmenetelmiä on useita, on vertailu tehtävä kokonaisuutta ajatellen ja käyttää hyväksi kunkin valmistusmenetelmän tuntevan ihmisen ammattitaitoa. (Anderson 2016.; Beitz ym. 2007, 355-363; Hietikko 2008, 157.) Seuraavana on lueteltuina tuotteen osien suunnittelun kannalta keskeisimpiä DFM-periaatteita. (Beitz ym. 2007, 355-363.)

- Osien suunnittelu niin, että ne pystytään tekemään standardikoneilla ja – työkaluilla
- Peilikuvaosien välttäminen
- Symmetristen osien suosiminen
- Materiaalin valinta tuotteen elinkaari huomioiden
- Yksinkertaiset muodot
- Tasaiset ainevahvuudet
- Terävien kulmien välttäminen
- Liaksi pyöristettyjen reunojen välttäminen
- Liian tarkkojen toleranssiasteiden välttäminen
- Standardiosien suosiminen

Mainitaan vielä opinnäytetyön kannalta tärkeimpien työvaiheiden keskeisimpiä DFM-periaatteita. Koneistuksia mietittäessä koneistusmitat ja pinnanlaadut pyritään sovittamaan vaadittuun toimintoon. Liiallinen koneistus pyritään välttämään korvaamalla muotoja esimerkiksi erillisillä, hitsattavilla osilla. Muita tärkeitä asioita ovat suurien koneistettavien pintojen pilkkominen pienempiin vastinpintoihin ja koneistus mahdollisimman vähin työkaluvaihdoin ja työkappaleen asennon vaihdoin. (Beitz ym. 2007, 369; Hietikko 2008, 158.)

Taivutuksen kannalta huomioon otettavia asioita on taivutussäteiden ja liian pienien laippakorkeuksien välttäminen sekä reikien ja aukkojen minimietäisyyksien huomiointi taivutuskohdista tai reikien tekeminen taivutuskohtien yli, mikäli minimietäisyyttä ei saavuteta. Lisäksi täytyy välttää suljettuja ja/tai monimutkaisia muotoja sekä niin sanottujen helpotusten ja loveuksien huomioon ottaminen ja suunnittelu taivutusviivojen kohdatessa. (Beitz ym. 2007, 368; Matilainen, Parviainen, Havas, Hietelä & Hultin 2011, 248,249,258,259.)

Hitsauksen kannalta tärkeimpiä asioita on terävien nurkkien yli menevien hitsaus- saumojen välttäminen, risteävien hitsaussaumojen välttäminen, luoksepäästävyden huomioiminen ja tarpeettoman suurien hitsisaumojen välttäminen. Muotojen suunnittelu niin, että kappale on helppo asettaa paikoilleen ennen hitsausta ja/tai paikoitusnastojen käyttö, mikäli mahdollista. Hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset on hyvä ottaa huomioon jättämällä riittävästi työvaroja hitsauksen jälkeen suoritettaville työvaiheille. (Beitz ym. 2007, 372.)

## 4 Kaksiytimisen panostusletkujärjestelmän suunnittelu

Opinnäytetyön tuotekehitysprosessin suunnittelu alkoi Normet Charmec -emulsiopanostuslaitteisiin ja niiden nykyisiin ominaisuuksiin tutustumalla. Keskustelin panostuslaitteen suunnittelijoiden kanssa nykyisestä järjestelmästä ja pyrin selvittämään kaikki asiat ennen suunnittelun aloittamista. Prosessi on melko erityislaatuinen ja järjestelmää suunnittelevat insinöörit ovat hyvin pitkälle asiakkaiden palautteen varassa kehittäessään järjestelmää ja konetta. Tästä syystä tuotekehitysprojektin suunnittelu suuntautui niin, että myös laitteiston rakentamisen suunnittelu prototyyppien testausta varten olisi välttämätöntä, koska ennakkotietoa idean toimivuudesta panostusletkun yhteydessä ei ollut.

### 4.1 Suunnittelun lähtökohdat

Yksiytimisessä emulsiopanostusletkujärjestelmässä räjähdysaineen välivalmisteet herkistetään ennen letkua räjähdysaineeksi, joka pumpataan letkua pitkin suuttimen päähän, jossa tapahtuu vielä yksi sekoitus ennen kuin räjähdysaine suihkutetaan porausreiän seinämiin.

Panostuslaitteessa letkun syöttö tapahtuu joko manuaalisesti käsin tai koneellisesti, jolloin korin välittömässä läheisyydessä on letkunsyöttölaite, joka työntää letkua porausreiässä eteenpäin. Koneellisessa letkunkäsittelyssä letkun ulosveto tapahtuu letkunsyöttölaiteella panostusasteen määräämää nopeutta. Louhospanostusletkukelan akseliin on tasakiilaliitoksella yhdistetty hydraulimoottori mekanismeineen ja vaihteineen, joka pyörittää letkukelaa letkunsyöttölaiteen määräämää nopeutta. Louhospanostusletkukela sijaitsee koneen rungon päällä. Kelalla oleva yksiytiminen letku on pyörivällä liittimellä yhdistetty pumpulta tulevaan järjestelmään. Materiaaliltaan letku on muovia ja yhdistämistä metalliputkeen varten on suunniteltu liitin, jonka koko riippuu letkun ulkohalkaisijasta.

Louhospanostusletkukelan lisäksi panostuslaitteessa on peräpanostusletkukela. Opinnäytetyö käsittelee louhospanostusletkukelaa, joten peräpanostusletkukelaa ei huomioida uuden järjestelmän suunnittelussa millään tavalla. Panostuskelasta tai kelasta myöhemmin puhuttaessa tarkoitetaan louhospanostusletkukelaa.

Kaksiydinjärjestelmää oli aloitettu kehittämään pari vuotta sitten, mutta sen tuotekehitys jäi taka-alalle kiireellisempien ja tärkeämpien projektien takia. Projektia varten oli kuitenkin hankittu kaksiytimellistä letkua ja mietitty mitä uusia osia uusi järjestelmä vaatisi.

## 4.2 Tehtävän selventäminen

Tehtävän selventäminen alkoi tarvelauseiden määrittämisellä ja alustavan vaatimuslistan laadinnalla. Jo heti alusta alkaen oli selvää, mitä ominaisuuksia ja toimintoja haluttiin nykyiseen järjestelmään. Tarvelauseet muodostettiin asettumalla käyttäjän asemaan, ottaen huomioon panostuslaitesuunnittelijoiden kanssa käytyjen keskustelujen myötä ilmi tulleet tarpeet. Tämän jälkeen muokattiin tarpeet vaatimuksiksi. Vaatimuslistalta nousivat uuden järjestelmän ominaisuuksista käytettävyys ja luotettavuus kaikkein selvimmin esille.

Ajatuksena oli kehittää järjestelmää niin, että nykyisen järjestelmän säilytettäviin osiin tehtäisiin mahdollisimman vähän muutoksia. Toinen ajatus muutosten vähyyden lisäksi oli, että Normet Oy:n käyttämään Sovelian PDM/PLM:ään, tuotetiedon ja tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmään, tehtäisiin määrällisesti vähän uusia nimikkeitä.

Normet Oy on joustava yhteistyökumppani asiakkailleen, tarjoten myös jälkimarkkinointipalveluja. Uutta järjestelmää suunniteltaessa otettiin huomioon sellainen vaihtoehto, että Normet voisi myydä jälkiasennuspakettina tätä järjestelmää asiakkailleen, joille on myyty jo aiemmin Normet Charmec -emulsiopanostuslaite. Tämän ajatuksen myötä järjestelmän kokoonpantavuus, asennettavuus, valmistettavuus ja huollettavuus nousivat enemmän esille.

Toimeksiantaja antoi tiedot nykyisestä järjestelmästä 3D-mallien, osaluetteloiden ja piirustusten muodossa, jonka jälkeen täydennettiin alustava vaatimuslista lopulliseksi (ks. liite 1). Tärkein tieto aikaisemmasta tuotekehitysprojektista oli kaksiydinpanostusletkun poikkileikkauksen mitat ja järjestelmään tehdyn pyörivän liittimen nimikkeen valmistaja ja malli.



## 4.3 Konseptisuunnittelu

### 4.3.1 Toimintorakenteen suunnittelu

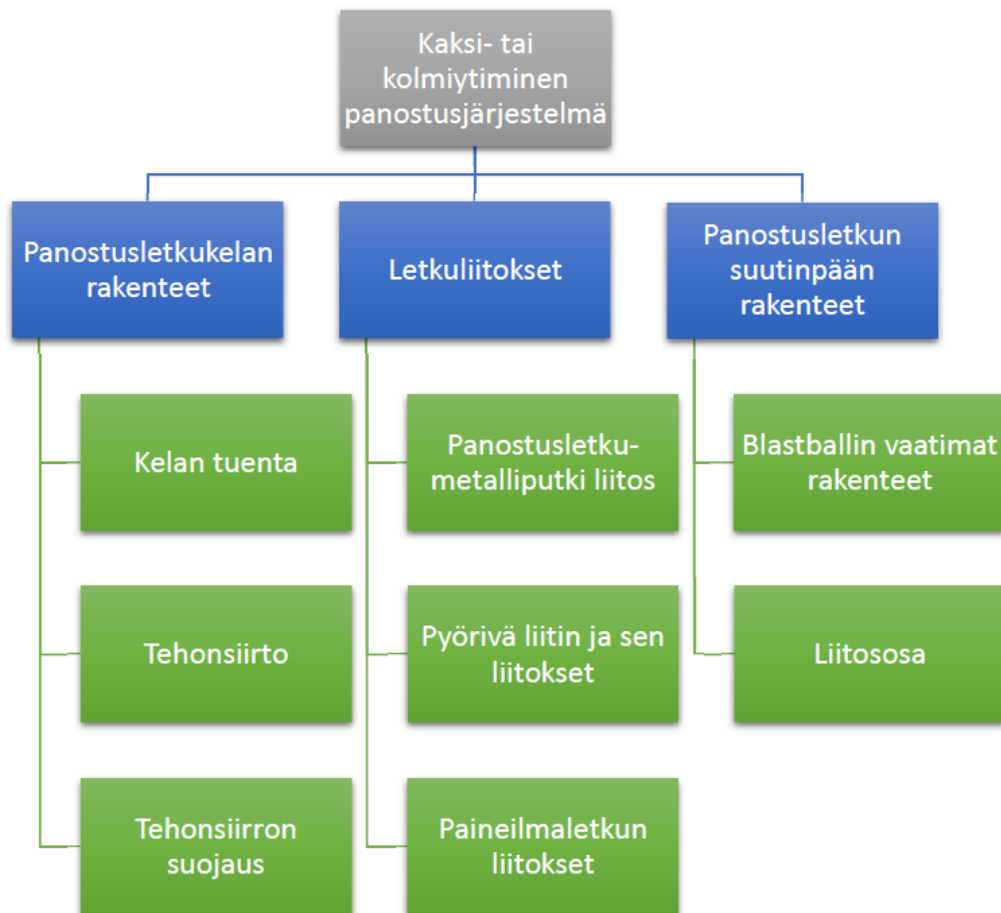
Konseptisuunnitteluvaiheessa abstrahoitii koko opinnäytetyön aihe kahdeksi ongelmaksi. Ensimmäinen ongelma oli se, että miten saadaan vietyä paineilman letkun päähän ja johdettua se luotettavasti Blastball-palloon. Toinen ongelma oli se, että miten Blastball kiinnitetään panostussuuttimeen niin, että kun siihen pumpataan paineilmaa, se oikenee ja irrottautuu suuttimen lähellä olevasta venttiilistään luotettavasti.

Toimintorakenteen hahmottamiseksi laadittiin taulukko (ks. taulukko 1), johon kerättiin laukaisutapahtumaa ajatellen tärkein informaatio, jota tarvitaan onnistuneeseen Blastballin asettamiseen.

Taulukko 1. Tulpattavan porausreiän panostustapahtuman rakenne

LÄHTÖTIEDOT	
Pääjärjestelmä	Pääkanavassa räjähdysaine ja lisäkanavassa paineilma
Operaattori määrittää räjähdysaineen sekä paineilman syötön	Ohjauspaneelissa hallintalaitteet ja informaatio mm. pumppauksesta, sen nopeudesta, letkun suuttimen sijainnista, paineilman paineesta nähtävillä
Räjähdysainetta ja paineilmaa ei johdeta samaan aikaan	TAI - toiminto, JA -toiminto estettävä
VAATIMUKSET	
ALUSTAVA RATKAISU	
Paineilmajärjestelmän paineen seuranta	Informaatio paineilmajärjestelmän paineesta
Paineilmajärjestelmän paineen seuranta	Vikaantumisen paikantamiseksi paineen mittaus esim. panostusletkusta ja ennen pyörivää liitintä olevasta järjestelmästä
Tieto Blastballin täytön aloittamisesta	Paineilmajärjestelmän paineen hetkellisen alenemisen havaitseminen
Tieto häiriöstä täytön aikana panostusreiässä	Informaatio paineilmajärjestelmän paineesta
Tieto paineilman syötön häiriöstä ennen panostusletkua	Informaatio paineilmajärjestelmän paineesta ennen panostusletkua
Tieto Blastballin laukaisusta -> lupa vetää letku pois panostusreiästä	Järjestelmäpaineen palautumisen havaitseminen

Tärkein ja ainut signaali porausreiässä tapahtuvasta prosessista saadaan paineilma-järjestelmän paineesta. Konseptisuunnitteluvaiheen alussa päätettiin jakaa osakokoonaisuudet kolmeen päätasoon, joista kaikkia täytyy kehittää samaa tahtia. Järjestelmästä laadittiin hierarkiakaavio, jossa on eriteltyinä toimintorakenteet ja alitoiminnot (ks. kuvio 8).



Kuvio 8 Kaksi- ja kolmiytimisen panostusjärjestelmän toimintorakenne

#### 4.3.2 Louhospanostusletkukelan rakenteiden konseptisuunnittelu

Koska letkukelaan piti saada johdettua toinen kanava paineilmaa varten, täytyi hydraulimoottori siirtää kelan akselilta pois. Kelan akselin pyörittämiseen täytyi siis suunnitella tehonsiirto toisella tapaa. Hydraulimoottorin ja kelan välityssuhde oli tarkoitus pitää samana ja käyttää hyödyksi mahdollisimman paljon vanhoja tai Sovelia

PDM/PLM:ään tehtyjä osia. Tehonsiirron toteuttamistavan konseptisuunnittelussa vaihtoehtoja oli kolme, hammashihna-, ketju- ja hammaspyöräkäyttö. Tehonsiirron suojaus on tärkeä osa koneen suoraa turvallisuutta ja sen toteutusta mietittiin tehonsiirron vaihtoehtoja arvioitaessa.

#### 4.3.3 Letkuliitoksien konseptisuunnittelu

Letkuliitokset käsittävät kaksidydinletku-metalliputkiliitoksen, paineilman johtamista varten tarvittavan pyörivän liittimen, sen vaatimat liitokset sekä paineilmaletkun liitokset.

Konseptisuunnitteluvaiheessa päätettiin, että letkukelan alkuperäinen pyörivä liitin räjähdysaineen syöttöä varten säilytetään ennallaan. Pyörivän liittimen putki hitsattiin ennen muhviin ja muhviin kiinnitettiin letkukara ja siihen edelleen yksitytiminen letku. Tämä letkukara ei soveltunut enää uuteen järjestelmään, koska kyseisestä kohdasta piti saada johdettua paineilma kaksidydinletkun pienempään kanavaan. Tämän takia liitos piti suunnitella alusta alkaen. Kaksidydinletku-metalliputkiliitos suunniteltiin alustavasti tehtäväksi neljästä osasta. Alkuperäisessä järjestelmässä oleva muhvi oli tarkoitus säilyttää ja siihen kiinnittää niin sanottu urosliitin, johon hitsataan metallinen putki paineilman syöttöä varten. Kaksidydinletkuun suunniteltiin tehtävän ulkokierteet ja siihen kierrettävän liittimen naarasosa. Liitos suunniteltiin kiristettävän holkilla, joka täytyy asettaa letkuun ennen naarasosan asennusta.

Pyörivästä liittimestä oli tehty nimike ja sen tyyppi oli määritelty aikaisemmassa, kesken jääneessä tuotekehitysprojektissa Sovelian PDM/PLM-järjestelmään, joten konseptisuunnitteluvaiheessa tehtiin 3D-malli liittimestä ja mietittiin alustavasti kiinnitystä akselin päähän ja paineilman tuontia pyörivään liittimeen.

Letkuliitoksia suunniteltaessa täytyi varmistaa, etteivät ne muuta räjähdysaineen pumpattavuutta tai käyttäytymistä suuttimen päässä. Letkuliitoksien suunnittelussa täytyi myös ottaa huomioon, että panostusletkun niillä kohdilla, jotka kulkevat letkunsyöttölaitteen läpi mekaanista letkunsyöttöä käytettäessä, ei saa olla ulokkeita tai mitään, mikä muuttaisi letkun käsittelyä.

Paineilmakompressorilta täytyi johtaa paineilma pyörivälle liittimelle ja tuen päästä kaksidydinletku-metalliputkiliitokselle. Paineilmaletkun koko määräytyi kaksidydinletkun pienen kanavan mukaan.

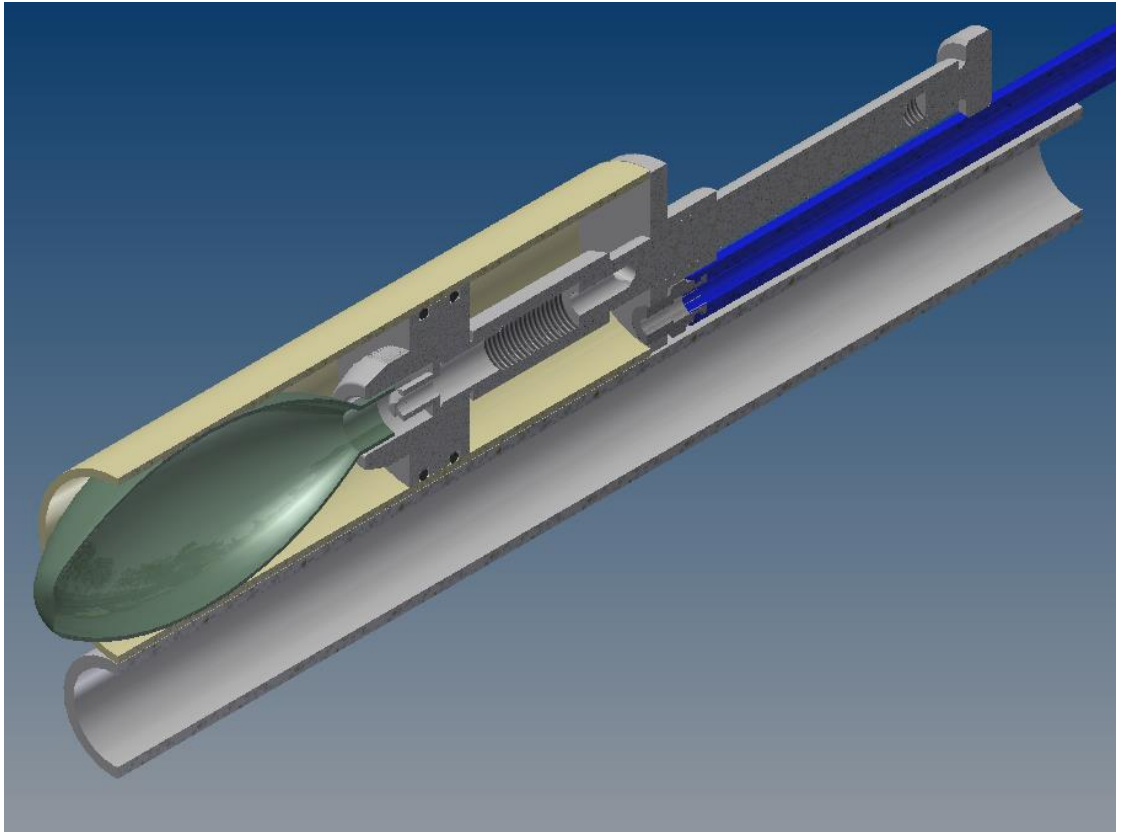
#### 4.3.4 Panostusletkun suutinpään rakenteet

Panostusletkun suutinpäätä varten tuli suunnitella joko metalliputki, johon kiinnitetään suutin ja joka kiinnitetään kaksidydinletkuun tai käyttää hyödyksi vanhaa yksiytimistä panostusletkua putken sijasta, jota varten täytyisi suunnitella liitososa kaksiytimellisen ja yksiytimisen panostusletkun välille. Ennen suutinta paineilma on johdettava putkesta erilleen, jotta se saadaan johdettua Blastball-venttiilille.

Blastballin suojausta ja laukaisua varten kehitettiin kaksi konseptivaihtoehtoa. Konseptivaihtoehtoja kehittäessä lähtökohtana oli, että kokonaisuus piti mahtua halkaisijaltaan 76 mm:n porausreikään, joka on eniten käytetty reikäkoko Normet Group Oy:n asiakkaiden keskuudessa. MTi Group valmistaa kuutta eri kokoluokan Blastball – porausreiäntulppaa ja pienin, jonka halkaisija-alue on 64-115 mm, on sopiva kyseiselle porausreiän halkaisijalle. (Blastball Plugs 2016.)

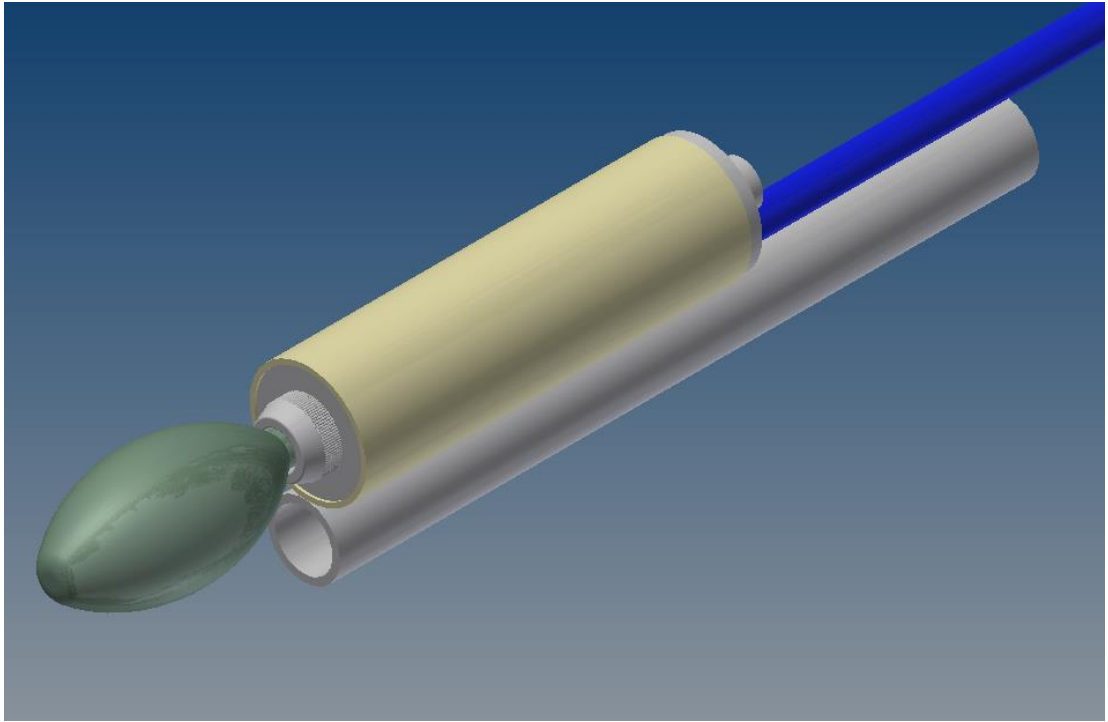
Suuttimen pään toimintaperiaatteena oli konseptisuunnittelua aloittaessa se, että Blastball laukaistaan napista panostajan tai käyttäjän määräämässä vaiheessa. Yleensä silloin kun panostus lopetetaan tai ennen kuin panostus aloitetaan porausreiässä. Blastball rakenteineen ei saa missään vaiheessa olla suuttimesta tulevan räjähdysainesuihkun edessä.

Ensimmäinen konseptin (ks. kuvio 9) toimintaperiaatteena oli, että Blastball laitetaan pyöreän sylinterimäisen putken sisälle ja sylinteriputki kiinnitetään letkuteillä panostusletkun kylkeen kiinni. Sylinterin sisälle suunniteltavan männän päähän kiinnitetään esikuormitettu vastaventtiili, jonka avautumispaine olisi esimerkiksi 6 bar. Vastaventtiilin toiseen päähän kiinnitetään puolestaan männänvarsi, jossa on reiät niin, että paineilma pääsee vastaventtiilille. Sylinterin päädystä johdetaan paineilma sylinterikammioon.



Kuvio 9 Sylinterikonsepti halkaistuna, ennen laukaisua

Työkierron alkaessa mäntä alkaa liikkumaan ja työntää Blastballia sylinteristä ulospäin. Kun mäntä putken sisällä liikkuu ääriasentoon, mäntä pysähtyy ja paine nousee edelleen, niin korkeaksi, että vastaventtiili avautuu, täyttää Blastballin ja laukaisee sen (ks. kuvio 10). Kun uusi Blastball laitetaan, se kiinnitetään täyttöventtiiliin ja vedetään männänvarren avulla sylinterin sisään.



Kuvio 10. Sylinterikonsepti laukaisutilanteessa

Konseptisuunnitteluvaiheessa testattiin, miten pieni sylinteriputki kävisi sylinterikonseptiin (ks. kuvio 11). Blastball saatiin juuri ja juuri vedettyä sisähalkaisijaltaan 41 millimetrin teräsputkeen. Sisäänvedon aikana käytettiin voitelua, jotta pallo liukuisi teräsputkessa, mutta voitelun arveltiin myös vaikuttavan negatiivisesti pallon pysyvyyteen porausreiässä. Voitelun järjestäminen panostusprosessin yhteyteen arveltiin myös olevan ongelmallista.



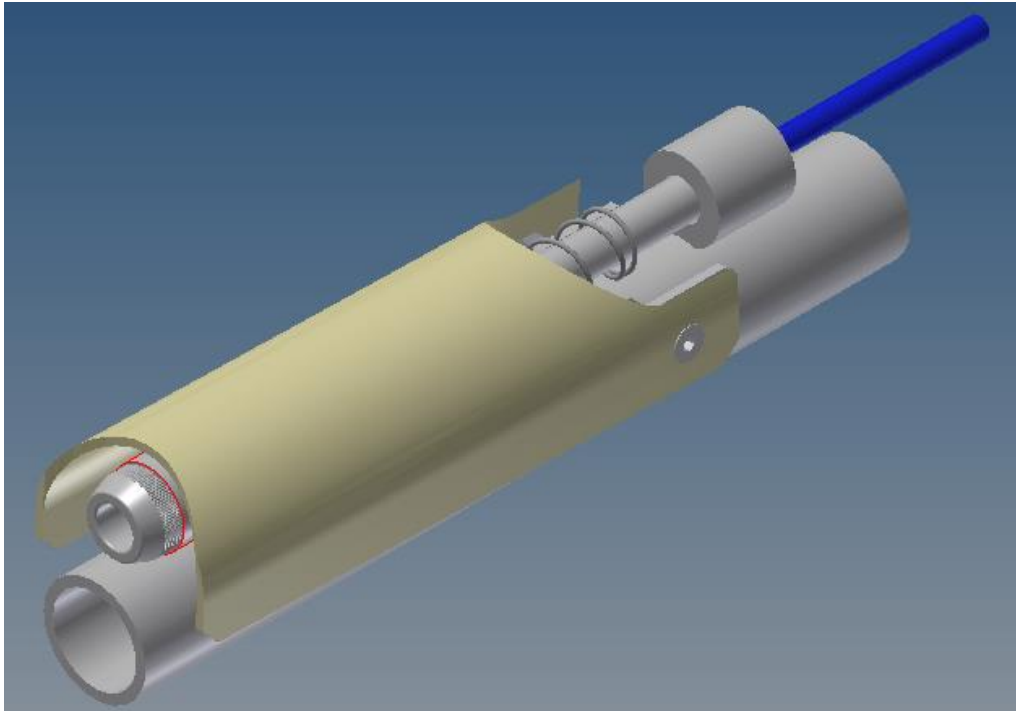
Kuvio 11. Sylinterikonseptin putkikoon testaus

Testatessa sylinterikonseptiin soveltuvan putken halkaisijaa, huomattiin, että porausreiän halkaisijan koko sulkee sylinterikonseptin pois. Jos sylinteriputki olisi esimerkiksi 3 mm:n seinämällä, paketin kokonaishalkaisija kasvaisi 87 millimetriin. Pienemmällä panostusletkulla ja ainevahvuuden optimoimisella esimerkiksi 2 millimetriin päästäisiin 75 mm:n kokonaishalkaisijaan, joka ei ole tarpeeksi pieni vieläkkään, sillä varaa ei jää kuin 1 mm porausreiän halkaisijaan.

Toinen konsepti oli rakentaa suoja Blastballille, (ks. kuvio 12) jottei se hankautuisi puhki porausreikää vasten panostusletkua liikuttaessa porausreiässä. Suojan alustava materiaali oli 3 millimetrin Ruukin Laser S355 MC teräslevy. Suoja suunniteltiin lukittavan Blastballin kanssa tiukaksi paketiksi nippusiteellä. Nippuside olisi sen verran heikko, että kun Blastballia aletaan täyttämään, nippuside katkeaisi, päästäisi suojan avautumaan ja Blastball pääsisi työntymään ulos suojan ja letkun välistä.

Suojakonseptin toimivuutta mietittäessä tuli väistämättä esille sellaisen häiriön mahdollisuus, että Blastball ei itse pysty työntymään ulos suojan ja letkun välistä, koska suoja ei mahdu aukeamaan kuin muutaman asteen kaltevuuteen porausreiässä. Konseptia mietittäessä päätettiin lisätä jousi ohjausholkin ja -putken väliin, joka työntäisi ja helpottaisi Blastballin työntymistä eteenpäin laukaisutilanteessa. Kun uusi Blastball laitettaisiin, se kiinnitettäisiin ensiksi täyttöventtiiliin ja vedettäisiin suojan alle ohjausputken avulla. Samalla jousi puristuisi kasaan. Nippusiteellä saataisiin puristettua

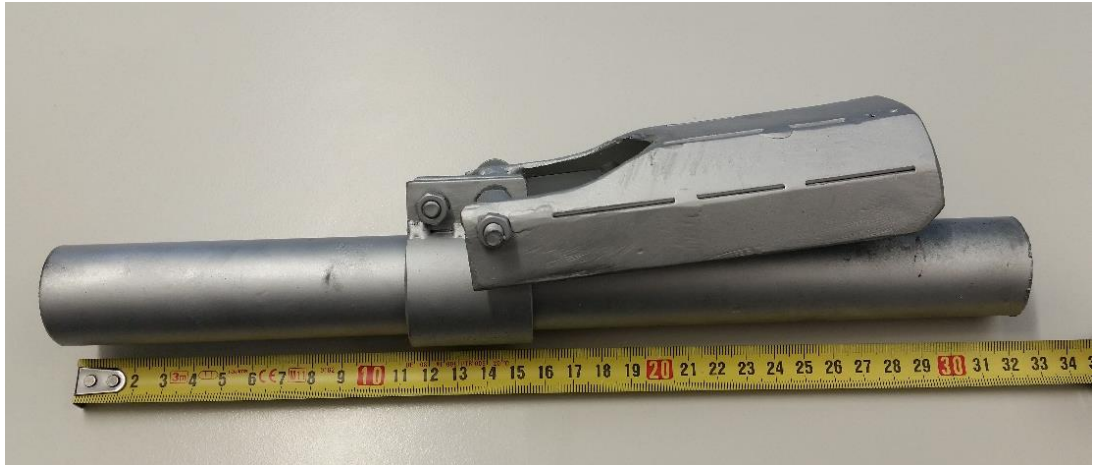
Blastball niin tiukasti panostusletkua vasten, että jousi pysyisi kuormitettuna ja alkaisi työntämään Blastballia vasta kun nippuside olisi katkennut.



Kuvio 12. Suojakonsepti

Suojakonseptin alustavalla prototyypillä (ks. kuvio 13) oli tarkoitus testata Blastballin käyttäytymistä ja kokoonpainuvuutta suojan alla. Suojakonseptin suoja tehtiin sillä periaatteella, että Blastball aseteltaisiin kaksin kerroin suojan alle, jotta suojarakenteen pituus saatiin lyhyemmäksi. Alustavaa prototyyppiä tehdessä suojan ulkomuoto suunniteltiin kulmikkaaksi. Tällaisella asettelulla päästiin 65 mm:n maksimihalkaisijaan. Alustavaa prototyyppiä analysoitaessa todettiin se, että kaareva muoto on kulmikasta parempi, jotta vähäinenkin tila porausreiässä saadaan paremmin käytettyä hyödyksi. Huomattiin myös, että Blastballin asettelulla kaksin tai yksin kerroin ei ole merkittävää vaikutusta kokonaispaketin halkaisijaan.





Kuvio 13. Suojakonseptin alustava prototyyppi

#### 4.3.5 Konseptisuunnitteluvaiheen päätös

Konseptisuunnitteluvaiheen lopuksi pidetyssä palaverissa käytiin läpi ajatuksia ja ideoita kehitetyistä konsepteista. Ajatukset ja ideat esiteltiin toimeksiantajalle. Vaikka suojakonseptin ulkomittoja yritettiin pienentää ja tehdä muotoja jouhevammiksi, jotta se kulkisi sujuvasti panostusletkun mukana porausreikään ja pois sieltä, todettiin, että suoja on liian suuri ja suojakonsepti ei tule toimimaan käytännössä.

Esitellyiden ideoiden toimimattomuuden jälkeen pohdittiin Blastballin sijoittamista lähtötiedoista poiketen suuttimen eteen. Blastballin venttiili suunniteltaisiin tuettavaksi terästangoilla, jotka eivät merkittävästi häiritsisi suuttimesta tulevaa matriisisuihkua. Toimivalta vaikuttanut konsepti osoittautui kuitenkin toimimattomaksi, mikäli Blastball laukaistaan panostusprosessin loppuvaiheessa. Panostussuuttimen perässä kulkeva Blastball keräisi porausreiän seinämästä matriisia mukanaan aiheuttaen sen, että räjähdysaine liikkuisi ei-toivottuun kohtaan.

Toimivaa konseptia ei löydetty panostusletkun suutinpään rakenteelle ja näin ollen päätettiin, että konseptisuunnittelu jää viimeiseksi työvaiheeksi panostusletkun suutinpään rakenteiden osalta tuotekehitysprosessissa ja opinnäytetyössä. Muita kehitettyjä konsepteja päätettiin jatkaa. Kaksiydinpanostusletku-metalliputkiliitoksessa liitoksen sisäpinnat täytyy suunnitella vielä jouhevimmiksi, jottei räjähdysaineen pumpattavuus merkittävästi muuttuisi.

Palaverissa päädyttiin siihen, että testataan Blastballin toimivuutta kiinnittämällä se panostusletkuun nippusiteitä käyttämällä. Porausreikää mallinnetaan testauksessa kirkaalla muoviputkella.

Päätettiin myös, että letkuliitoksista tehdään toiset versiot kolmiydinletkua varten. Kolmiydinletku tulisi kysymykseen silloin, jos löytyisi sellainen kemikaaliyhdistelmä, jolla saataisiin tukittua porausreikä Blastball tavoin.

## 4.4 Systemisuunnittelu

### 4.4.1 Louhospanostusletkukelan rakenteiden systemisuunnittelu

Tehonsiirron toteuttamistavan konseptisuunnittelussa vartenotettavia vaihtoehtoja oli kolme: hammashihna-, ketju- ja hammaspyöräkäyttö. Kriittinen tarkastelu ja tärkeimpien ominaisuuksien sekä puutteiden vertailu arvoanalyysin (ks. taulukko 2) avulla osoitti, että ketjukäyttö oli paras vaihtoehto. Lisäksi toimeksiantaja toivoi ketjukäytöllä tehtävää tehonsiirtoa. Ketjukäyttö on luotettava ja halpa ratkaisu. Ketjukäytön käyntiäänäni ei haittaa, koska ympäristössä on muutakin melua ja kelan pyörimisnopeus on pieni, joten sekään ei muodostunut ongelmaksi.

Taulukko 2. Tehonsiirron arvoanalyysi

		Spesifikaatiot						
		Konstruktion yksinkertaisuus ja selkeys	Turvallisuus	Uusien osien lukumäärä	Luotettavuus ja elinikä	Suunnittelun yksinkertaisuus	Kustannusten minimointi	Arvojen summa AS & PA * AS
	PA	20	30	10	30	20	20	130
Hammaspyörä	AS	1	3	3	4	2	2	15
	PA*AS	20	90	30	120	40	40	340
Ketju	AS	2	4	3	4	3	3	19
	PA*AS	40	120	30	120	60	60	430
Hammashihna	AS	2	4	3	3	3	3	18
	PA*AS	40	120	30	90	60	60	400

PA = Painoarvo

5 = toteutuu

AS = Arvosana

1 = ei toteudu lainkaan

Ketjukäytön laskentaa varten kehitettiin Excel-laskentapohja (ks. liite 2). Laskentapohja tarkistettiin ja todennettiin luotettavaksi. Laskentapohjan avulla laskettiin soveltuva ketju. Ketjukäytön kannalta oleellinen lenkkien lukumäärä ja sitä kautta akseliväli laskettiin myöskin. Ketjupyörien hammasluvut määräytyivät alkuperäisestä muokatun napa-akselin halkaisijan perusteella. Ketjukäytön vaatiman tilan minimoimisen takia päädyttiin 15 hampaisiin ketjupyöriin, jotka olivat rajoitteet huomioiden parhaiten soveltuvat. Tässä vaiheessa varmistettiin myös, että valmiiksi koneistettuja ja karkaistuja ketjupyöriä löytyy sisäreiltään sopivia, niin napa-akselin, kuin hydraulimoottorin akselin halkaisijoille. Ketjupyörät kiinnitetään tasakiilaliitoksin akseleille ja lukitaan aksiaalisuunnassa pidätinruuveilla.

Ketjutyyppiksi valikoitui 16 B-1 ketju, jolla päästiin riittäviin varmuuskertoimiin staattiselle ja dynaamiselle kuormitukselle. Staattista ja dynaamista kuormitusta ei tule normaalissa tilanteessa juuri ollenkaan, koska letkunsyöttölaite vetää ja työntää letkua porausreiässä. Ketjun kuormitus laskettiin niin, että oletettiin häiriö, jossa letkunsyöttölaite ei vikaantumisen seurauksena toimi ja panostusletku joudutaan kelaamaan pystysuorasta, alakätisestä porausreiästä ketjua käyttäen panostusletkukelalle.

Ketjumerkiksi valikoitui Normet Oy:n käyttämän ketjumerkin Wippermannin Marat-hon huoltovapaa ja ruostumattomasta teräksestä valmistettu ketju, koska jatkuvaa voitelua ei pystytä järjestämään ja käyttöolosuhteet ovat normaalia rullaketjuissa käytettävää terästä syövyttävät.

Ketjukäyttö suunniteltiin aluksi niin, että erillisellä kiristysrullalla kiristettäisiin ketju sopivaan tiukkuuteen. Loppujen lopuksi päädyttiin systeemisuunnitteluvaiheen aikana sellaiseen ratkaisuun, että hydraulimoottorin ja vetävän ketjupyörän kannake nivelöidään ja ketju kiristetään M10 kierretangolla toteutetulla kiristimellä. Kiristimelle suunniteltiin kiinnitys panostusletkukelan jalkaan. Kiristimen kiinnitys päätettiin tehdä kolmesta erillisestä osasta, jotka hitsataan alikokoonpanossa toisiinsa ja jalan hitsauskokoonpanossa jalkaan kiinni.

Hydraulimoottorin nivelletty kannake päätettiin toteuttaa samoin valmistuksellisin periaattein. Kannakkeesta tehtiin kokoonpano, jossa hitsataan hydraulimoottorin kiinnityslevyyn ainesputki ja suorakulmaisen kolmion mallinen tuki vahvistamaan liitosta. Panostusletkukelan jalan hitsauskokoonpanossa hitsataan jalkaan kiinni samanlainen ainesputki, kuin nivelletyn kannakkeen alikokoonpanossa. Kiinnityslevyyn suunniteltiin lisäksi kaksi 12 mm:n läpäreikää, johon hitsataan kokoonpanossa 40 mm:n M12 pinnapultit tulppahitsein. Kannake asennetaan hydraulimoottoreineen paikoilleen pääkokoonpanossa, niin että ainesputkien läpi työnnetään 180 mm pitkä M16 kuusioruuvi, joka kiristetään toisesta päästä M16 Nyloc -mutterilla jäykistäen nivelöinnin. Lisävarmistuksena käytetään Nord-Lock-varmistuslaattoja. Ketjukäyttöön liittyvistä osista viimeisenä asennetaan kiristin, jolla ketju kiristetään lopulliseen tiukkuuteen.

Muuttuvan akselivälin takia ketjusuojat täytyi suunnitella niin, että niiden paikka täytyy pystyä hieman muuttamaan niin asennusvaiheessa kuin kiristäessä ketjukäyttöä elinkaaren aikana. Tämän takia ketjukäytön suojien rei'iksi valittiin 9x18 mm:n reikä, joka mahdollistaa suojien liikuttamisen 5 mm kumpaankin suuntaan. Vetävän ketjupyörän sijainnin muutos laskettiin Excel – laskentapohjan avulla (ks. liite 2). Laskennan mukaan ketjun venymisestä aiheutuva sijainnin muutos on noin 12 millimetriä. Laskennan tulos huomioitiin suojien sijoittelussa. Suojat suunniteltiin 3 ja 4 millimetrin Ruukin Laser 355 MC-teräslevystä. Ketjukäytön suojaus on suunniteltu kolmesta erillisestä osasta, jotta kokoonpantavuus ja huollettavuus olisivat helppoa. Suojat

kiinnitetään letkukelan jalkaan M8 pultein sekä toisiinsa M8 pultein ja mutterein. Kiinnityksien varmistamiseen käytetään Nord-Lock-varmistuslaattoja. Suojaan, joka kiertää vetävän ketjupyörän, kiinnitetään myös panostusletkukiristimen kiinnityspulttien alle ja suojaan hitsataan alikokoonpanossa mutterit kiinni sisäpuolelle, jotta suo-  
jien kokoonpano on mahdollista.

Suojien suunnittelussa huomioitiin, ettei pienin sallittu taivutussäde ylity. Taivutussä-  
teen määrittäminen on tärkeä osa levyosan suunnittelua. Taivutuksessa venymä on  
suurimmillaan taivutuslinjan ulkopinnassa. Käytettäessä liian pientä taivutussädettä,  
on vaarana, että murtoraja ylittyy ja materiaali murtuu taivutuksen ulkopinnasta.  
(Matilainen ym. 2011, 248.) 3 mm:n Ruukki Laser 355 MC teräslevyllä pienin sallittu  
taivutussäde on 0,7 mm ja 4 mm:n teräslevyllä 1,0 mm. (Hot rolled Steel Plates,  
Sheets and Coils, Structural steels, Ruukki Laser 2011, 4.) Suojien suunnittelussa valit-  
tiin yhtenäiseksi taivutussäteeksi 4 mm ja taivutussäde merkittiin sulkuihin, koska tai-  
vutussäteen ei tarvinnut olla tarkka.

Ohutlevyosien taivutuksia suunniteltaessa täytyi huomioida minimilaippakorkeudet  
ja reikien sijoittelu taivutuslinjoihin nähden. Minimilaippakorkeus tarkoittaa nimensä  
mukaisesti pienintä mahdollista taivutetun laipan korkeutta. Reikien sijoitus liian lä-  
helle taivutuslinjaa aiheuttaa reiän muodonmuutoksia, koska taivutuksessa sisäreu-  
nalla materiaali puristuu ja ulkoreunalla venyy. (Matilainen ym. 2011, 249, 257.) Mi-  
nimilaippakorkeus huomioitiin ketjusuojien suunnittelussa kaavalla 1 (Matilainen ym.  
2011, 249.):

$$b = r_s + 2s \tag{1}$$

jossa

$r_s$  = sisäsäde [mm]

$s$  = levyn paksuus [mm]

Opinnäyteyössä käytetyn 3 mm:n teräslevyn minimilaippakorkeudeksi saatiin kaavaa  
1 käyttäen 10 mm, sisäsäteen ollessa 4 mm ja levyn paksuuden ollessa 3 mm. 4 mm:n  
teräslevyn minimilaippakorkeudeksi saatiin 12 mm.

Reikien minimietäisyys taivutuslinjasta lasketaan kaavalla 2 (Matilainen ym. 2011, 258.):

$$x_1 = \sqrt{d x s} + 0,8R_i \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (2)$$

jossa

$x_1$  = minimietäisyys taivutuslinjasta [mm]

$d$  = reiän halkaisija [mm]

$s$  = levyn paksuus [mm]

$R_i$  = taivutussäde [mm]

$b$  = sivun pituus [mm]

Reikien minimietäisyyksiksi taivutuslinjasta ketjusuojissa saatiin kaavaa 2 käyttäen 10,5–12 mm. Minimietäisyydet otettiin huomioon reikien sijoittelussa.

Yhden ketjukäytön suojan nurkkiin täytyi tehdä helpotukset, jotta taivuttaminen on mahdollista. Nurkkien helpotukset suunniteltiin neliön muotoisiksi ja suojan nurkat suunniteltiin hitsattavaksi taivutuksen jälkeen.

Ketjusuojien työpiirustuksiin tehtiin toimeksiantajan käytännön mukaan levityskuva, jonka vieressä on pääkuva samassa mittakaavassa ja samasta suunnasta katsottuna. Taivutuskulmaa ei ilmoiteta, jos se on 90 astetta. Kaikki muodot, sivujen pituudet, taivutetun kappaleen päämitat ja taivutussäteet ilmoitettiin tarvittavalla määrällä 2D-kuvantoja taivutetusta 3D-mallista.

Konseptisuunnitteluvaiheessa todettiin, että louhospanostusletkukelan tuki täytyi suunnitella uudelleen, jotta paineilman johtaminen letkukelalle olisi mahdollista. Vanhan tuen napa-akseli oli umpinainen ja panostuslaitteen rungon puoleisessa napa-akselin päässä oli tasakiilaura hydraulimoottorin liittämistä varten. Letkukelan tukea muokattiin siten, että kasvatettiin kelaan kiinnitettävän napa-akselin pituutta ja muutettiin se ontoksi paineilmaa varten. Urakuulalaakereiden voitelua varten suunniteltiin laakeripesään upotettu M8 kierrereikä, johon kiinnitetään rasvanippa. Laakeripesän toisen urakuulalaakerin paikkaa myös muutettiin, jottei ulkonevan napa-akselin pää aiheuta liian suurta momenttia ketjua kiristettäessä ja käytettäessä.

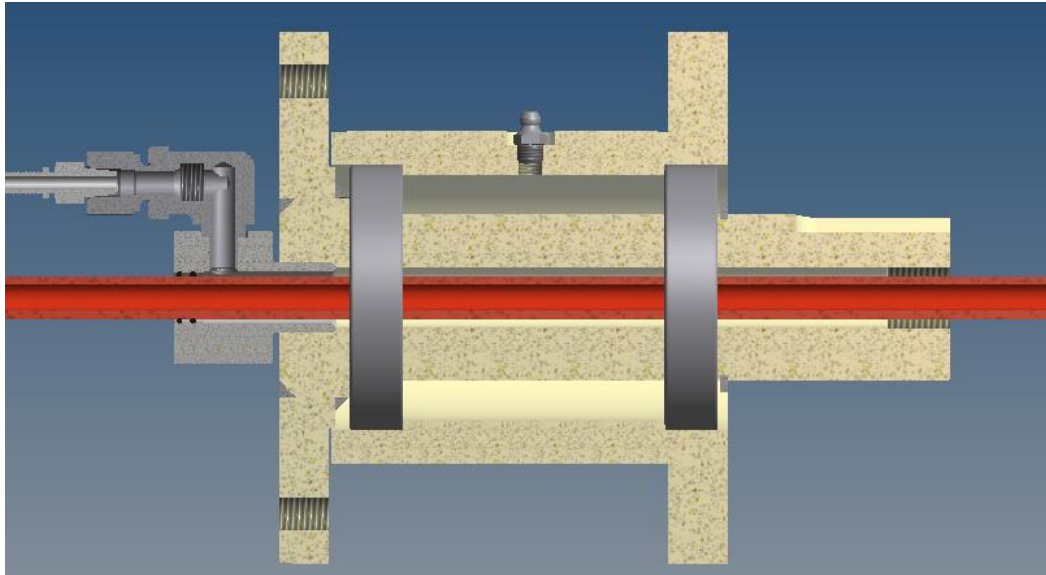
#### 4.4.2 Liitosten systeemis suunnittelu

Konseptisuunnitteluvaiheessa kaksidydinletku-metalliputkiliitos suunniteltiin tehtäväksi neljästä osasta. Liitoksen sisäpinnat täytyi tehdä vielä jouhevimmiksi, joten liitos päätettiin muuttaa tehtäväksi viidestä osasta kaksidydinletkuliitoksessa ja kuudesta osasta kolmiydinletkuliitoksessa. Liitosta muutettiin konseptisuunnitteluvaiheesta niin, että pienen kanavan yhdistämistä varten suunniteltu metalliputki korvattiin kierrerei'illä.

Kolmiydinletku-metalliputkiliitos pyrittiin tekemään hyvin pitkälle samalla tavoin kuin kaksi ytimellinen. Kolmiydinletku-metalliputkiliitoksessa pienet kanavat ovat toisiaan vastapäätä. Liitosta varten suunniteltiin siten urosliitin, jossa on kaksi kanavaa vastapuolilla toisiaan ja lisättiin kokoonpanoon toinen samanlainen pieni liitin, jota on kaksidydinletku-metalliputkiliitoksessa yksi kappale.

Kolmiydinletkua varten tutkittiin, että projektissa käytetyn pyörivän liittimen valmistajalta löytyy kahdella kanavalla varustettuja pyöriviä liittimiä. Lisäksi varmistettiin, että kolmannen kanavan johtaminen panostusletkukelan tuen läpi ei aiheuta merkittäviä muutoksia kaksidydinletkua varten suunniteltuun rakenteeseen.

Kolmatta kanavaa varten sijoitettiin ontton akselin sisälle erillinen putki. Toinen aine johdetaan ontton akselin ja putken välisessä tilassa. Tuen toiseen päähän suunniteltiin konsepti liitososasta systeemis suunnitteluvaiheessa (ks. kuvio 14). Tuotekehitysprosessin tässä vaiheessa ei saatu lisätietoa tarkempaa suunnittelua varten.



Kuvio 14. Konsepti kahden kanavan johtamisesta tuen läpi, kanavat ja tuki halkaisutuna

Suutinpään läheisyyteen suunniteltiin metallinen liitosputki, jolla saadaan kaksiydinpanostusletkun pieni kanava johdettua erilleen ennen suutinta. Vastaavanlainen liitosputki suunniteltiin myös kolmiydinletkua varten. Liitosputkiin suunniteltiin kierreet toiseen päähän, jotta ne soveltuvat kierrettäväksi alkuperäiseen yksiytimelliseen panostusletkuun. Liitokset sijoitetaan noin 200 mm ennen panostusletkun suutinta.

Pyörivän liittimen ja paineilmakompressorin väliin sijoitettavaa paineilmaletkua varten valittiin Sovelia PDM/PLM-järjestelmästä letkuliitin ja letkuside pyörivälle liittimelle.

Tuen toiseen päähän valittiin 90 asteen kulmaliitin, jossa on toisessa päässä R 1/4 ulkokierre ja toisessa G 1/4 sisäkierre. Kulmaliittimeen kiinnitetään supistusnippa, jonka ulkokierre on G 1/4 ja sisäkierre G 1/8. Supistusnippaan kiinnitetään suora letkuliitin, jonka ulkokierteen koko on R 1/8. Letkuliittimeen kiinnitetään letkusiteellä paineilmaletku. Kaksiydinletku-metalliputkiliitokseen liittämistä varten valittiin samat osat, mitä tuen päähän. Paineilmaletku kiinnitetään samanlaisella letkuliittimellä kaksiydinletku-metalliputkiliitoksen yhteyteen tulevaan letkuliittimeen.



## 4.5 Detaljisuunnittelu

### 4.5.1 Tuotedokumentaation laatiminen

Detaljisuunnitteluvaiheen aluksi viimeisteltiin systeemisuunnitteluvaiheessa tehdyt alustavat osapiirustukset suojista, hydraulimoottorin kiinnitystelineestä ja vanhoihin osiin tehdyistä muutoksista. Vanhoille, muokatuille osille tehtiin uudet kokoonpanosekä osapiirustukset. Kaikki koneen rungon päälle tuotekehitysprosessissa syntyneet nimikkeet koottiin yhteen kokoonpanopiirustukseen.

Toinen suurempi kokonaisuus oli letkukelalta lähtevän kaksi- ja kolmiydinletkun liitokset. Koska tuotekehitysprosessin konseptit muuttuivat projektin aikana, päätettiin tehdä letkuliitokset kaksyidinletkun lisäksi kolmiydinletkulle. Käytännössä letkuliitoksissa on yksi osa erilainen. Näistä kummastakin tehtiin kokoonpanopiirustus, sisältäen kokoonpano-ohjeen ja uudet osat osapiirustuksineen.

Kolmas kokonaisuus oli panostusletkun suutinpään suunnittelu. Itse suutinpäätä ei muutettu millään tavalla, mutta kaksi- ja kolmiydinletkun takia liitokset, joissa saadaan kanavat johdettua erilleen, täytyi suunnitella loppuun ja tehdä osa- sekä kokoonpanopiirustukset. Suutinpään kokonaisuuteen kuuluu myös Blastballin täyttöventtiili, jota ei sijoitettu kokoonpanokuvaan, koska ajateltiin sen aiheuttavan liikaa sekaannusta myöhemmin mahdollisesti tehtävään nimikerakenteeseen ja liitosten kokoonpanokuvaan.

Kaikkien opinnäytetyössä suunniteltujen osien piirustuksissa otettiin huomioon Normet Group Oy:n Laatuksikirjan mukaiset työtapakohtaiset toleranssit ja toleroimattomien mittojen sallitut poikkeamat. Näin ollen kaikkien mittojen toleranssia ei ilmoitettu piirustuksissa. Jokaisessa piirustuksessa on maininta yleisestä toleranssista, jonka mukaan menetellään, mikäli mittaa ei ole toleroitu.

### 4.5.2 Materiaalivalinnat

Opinnäytetyössä suunnitellut metalliosat pois lukien ketjukäytön komponentit valittiin tehtäväksi EN 1.4401 / AISI 316 haponkestävästä teräksestä. Myös standardiosien materiaaleiksi valittiin EN 1.4401 / AISI 316 teräs. Haponkestävää terästä käytetään

rakenteissa, jotka sijaitsevat aggressiivisessa kaupunki-, teollisuus tai meri-ilmas-  
tossa. (Matilainen ym. 2011, 30.) Panostuslaitetta käytetään vähintäänkin samanlai-  
sissa olosuhteissa. Maanalaisen kaivoksen ilmaston syövyttävyyden lisäksi panostus-  
laitteen osat joutuvat niin malmin kuin muidenkin käytettävien aineiden kanssa kos-  
ketuksiin. Rakenneteräs maalattunakin ruostuu erittäin nopeasti sellaisissa olosuh-  
teissa ja siksi haponkestävä teräs on selkeästi paras vaihtoehto. Kuten jo aikaisemmin  
todettiin, ketjukäytön levyosat tehdään Ruukin Laser S355 MC-teräksestä. Metal-  
liosien esikäsitteily ja maalin tyyppin valinta määräytyi Normet Oy:n maalausohjeen  
mukaisesti.

Kaksi- ja kolmiydinletkun materiaali määräytyi edellisessä tuotekehitysprosessissa  
järjestelmään spesifioidun kaksydinletkun materiaalin mukaan. Tuotekehitysproses-  
sin aikana modifioitujen alkuperäisen järjestelmän osien materiaalit säilytettiin ennal-  
laan, joten niitä ei otettu huomioon opinnäytetyön materiaalivalinnoissa.

#### 4.5.3 Testauksen suunnittelu

Testausta varten suunniteltiin systeemi- ja detajisuunnitteluvaiheen aikana suutin-  
päättä jäljittelevä putki, johon tehtiin reikä paineilmaletkua varten. Testauksessa on  
tarkoitus kiinnittää Blastball putkeen kiinni. Se työnnetään kirkkaaseen muoviput-  
keen ja testataan, miten Blastball käyttäytyy putkessa.

Testausta ja jatkokehitystä ajatellen suunniteltiin pienempi versio Blastball – venttii-  
listä, koska alkuperäinen venttiili oli liian suuri ja tilaa porausreiässä on vähän.

Konseptisuunnitteluvaiheessa pidetyn palaverin mukaisesti tilattiin muoviputkea  
mallintamaan porausreikää testauksessa. Muoviputki on kirkasta, jotta nähdään,  
mitä prosessia mallintaessa tapahtuu.

Testausta varten suunniteltujen osien yhteydessä laadittiin suunnitelma, jossa on  
kerrottu testauksen tarkoitus ja viitekehys, mihin testaus liittyy. Testausta varten teh-  
tiin raportointipohja, jossa on lueteltuina testaukseen tarvittavat osat ja johon kirja-  
taan apukysymysten avulla havainnot testauksesta. Testauksen jälkeen suunnitelma  
ja raportti dokumentoidaan pysyvästi Normet Group Oy:n tietokantaan.

## 5 Tulokset

Opinnäytetyön tulokseksi suunniteltiin kaksiytimellisen panostusletkun vaatimat rakenteet. Kolmiytimellisen panostusletkun rakenteista suunniteltiin kaikki muut loppuun asti, paitsi panostusletkukelan tuen liitos, josta kanavat saadaan johdettua erilleen.

Koneen rungon päälle tuleviin rakenteisiin kuuluu louhospanostusletkukelan pyörittämisen uudelleensuunniteltu toteuttamistapa sisältäen pyörivien osien suojauksen. Opinnäytetyössä laadittiin laskentapohja ketjukäytön komponenttien valitsemista varten todentaen sen luotettavaksi ennen lopullista valintaa.

Letkuliitokset suunniteltiin kummallekin letkukanavatypille, niin että pienet kanavat johdetaan letkun ulkopuolelle. Panostusletkun koko määräytyi edellisessä tuotekehitysprojektissa spesifioidun letkun mukaan. Panostusletkun suutinpään rakenteiden osalta tulokseksi jäi konseptisuunnitteluvaiheessa toimimattomaksi todetut konseptit.

Testausta varten suunniteltiin panostusletkun suutinpäätä mallintava ainesputki, johon tehtiin reikä, jonka kautta paineilmaletku on tarkoitus johtaa putken viereen ulkopuolelle. Blastball kiinnitetään kahta nippusidettä käyttämällä putken kylkeen tiukaksi paketiksi. Paineilmaletkun ja Blastballin yhdistämistä varten suunniteltiin ulkomoitoiltaan pienempi täyttöventtiili sisältäen liitosholkin, joka muutettiin alkuperäisestä, kierrereiällisestä versiosta letkuliittimen sisältävään versioon, jotta paineilmaletkun liittäminen kävisi paremmin.

Tekninen dokumentaatio kaikesta tehdystä työstä laadittiin Autodesk Inventor Professional -ohjelmistolla jäsentäen tuoterakenne niin, että uudet ja muokatut osat ja alikokoonpanot ovat kuudessa toisistaan riippumattomassa kokoonpanossa. Näistä kuudesta opinnäytetyössä tehdystä kokoonpanosta yksi siirrettiin Sovelian PDM/PLM:ään.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää räjähdysaineen syöttöä ja liittää porausreiän tulppaus panostuksen ja panostusletkun yhteyteen sekä samalla suunnitella toimiva kaksi- ja kolmiytimellinen letkujärjestelmä, myös muita käyttötarkoituksia ja menetelmiä varten. Opinnäytetyön tavoite oli laajasti määritelty, koska ei tiedetty ennen työtä, mitä kaikkea mahdollisuuksia opinnäytetyön tulos antaa. Opinnäytetyön tavoite uuden menetelmän alkututkimuksena ja toimivan järjestelmän pohjan laatimisenä toteutui ja työn tuloksista on konkreettista hyötyä toimeksiantajalle.

Konseptisuunnitteluvaiheessa todettiin, ettei alun perin suunnitelmassa ollut Blastballin suojaus teräksestä tehdyllä suojalla onnistu porausreiän halkaisijan pienuuden takia. Vaikkei alkuperäinen tavoite tullutkaan täytetyksi sen osalta, oli tämänkin konseptin toimimattomuuden toteaminen hyödyllistä toimeksiantajan tietouden kannalta. Kukaan ei aikaisemmin ole kokeillut asiaa käytännössä ja konkreettisin mallein, joten siitä ei ollut tietoa.

Vaikka muun järjestelmän toimivuus jäi testaamatta, toimeksiantaja uskoi järjestelmän toimivan, koska ketjukäyttö ei aiheuttanut merkittäviä toiminnallisia muutoksia ja pyörivä liitin on kaupallinen osa, jonka toimivuus voidaan tästä syystä todeta hyväksi. Letkuliitoksissa jouduttiin tekemään hieman supistuksia kanaviin, jotta letkuliiotos saatiin toteutettua. Tämä ei tietenkään ole suotavaa, koska räjähdysaineen pumpattavuus kärsii kanavien supistuessa, mutta kaikki mahdollinen tila ja seinämävahvuudet pyrittiin optimoimaan niin, että kanavien supistus olisi mahdollisimman pieni. Jatkossa supistusten aiheuttama pumpattavuuden heikkeneminen voi kompensoitua välivalmisteiden erillisen johtamisen avulla. Lisäaineen ja matriisin erillään johtamisen testauksen sisällyttäminen opinnäytetyöhön olisi tehnyt työstä liian laajan. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt kaksi- ja kolmiytimellinen järjestelmä on testaustavalle toimiva räjähdysaineiden välivalmisteiden erillään johtamiseen, mikä sekin nostaa opinnäytetyön arvoa. Letkuliitoksien toimivuus vaatii testauksia ja todennäköisesti prototyyppisiä, jotta kokoonpantavuus ja liitoksen pitävyys tulee varmistettua.

Opinnäytetyötä rajoitti kokemuksen ja havaintojen puute Blastballin käytöstä panostuksessa. Siinä mielessä on mahdollista, että jokin yksinkertaisempi menetelmä tavoitteeseen pääsemiseksi jäi huomaamatta.

Toivottavasti tehdyt ratkaisut letkuliitoksissa ja ketjukäytössä voivat auttaa jossain muussa projektissa, vaikka tämän tuotekehitysprojektin tulos jäisikin hyödyntämättä. Kaikista ajatuksista ja ideoista on koottu opinnäytetyössä malli, jota voidaan, joko jatkokehittää, tai hyödyntää sellaisenaan, mikäli kysyntää ja intressejä tämän menetelmän kaupallistamiseksi löytyy.

Opinnäytetyön jatkokehitysideoista ensimmäinen on suunnitellun kaksidydinletkujärjestelmän nimikkeiden luonti Sovelia PDM/PLM:ään. Nimikkeiden luonnin jälkeen järjestelmää tulisi testata sekä laatia testaus suunnitelmat ja testausympäristö mallintamaan panostustilannetta kaivoksessa. Kaksidydinletkujärjestelmässä tärkeimpiä testattavia kohteita on letkuliitoksien toimivuuden varmistaminen ja muiden osien kokoonpantavuuden todentaminen.

Opinnäytetyössä testattiin Blastballin laukaisua porausreikään, joten kaksidydinletkujärjestelmästä muun osan toimivuus täytyisi testata ennen sen hyödyntämisen harkintaa kaupallisessa mielessä. Blastballin testaus suoritettiin opinnäytetyön raportin palautuksen jälkeen, joten siksi sitä ei ehditty sisällyttämään opinnäytetyön kirjalliseen osuuteen.

Kolmiydinletkujärjestelmän hyödyntämistä varten tulisi aluksi selvittää, löytyykö kaksikomponenttista ainetta tukkimaan porausreikä noidanhatun tai Blastballin tavoin. Jos sopivalta vaikuttava yhdistelmä löytyy, kolmiydinletkujärjestelmää varten suunnitelluille osille opinnäytetyössä täytyy luoda nimikkeet Sovelia PDM/PLM:ään. Koska kaksidydinletkujärjestelmän liitokset ovat periaatteeltaan samanlaisia, kolmiydinletkujärjestelmässä voidaan kaksidydinletkujärjestelmän liitoksien testauksen jälkeen todeta kolmiydinletkujärjestelmän liitoksien toimivuus ilman erillisiä testauksia.

Kaksiytimistä räjähdysaineiden erillään johtamista varten täytyy suunnitella opinnäytetyön liitosputkeen muutokset niin, että saadaan johdettua herkistävä komponentti pääkanavan sisälle ennen suutinpään sekoitinelementtiä. Liitoksen läheisyyteen täytyy sijoittaa vastaventtiili, jotta herkistävän komponentin syöttöön ei aiheudu katkoksia tai viivettä panostuksen aikana. Räjähdysaineen erillään johtaminen vaatii testauksia, jotta toimivuus pystytään varmistamaan.

Räjähdysaineiden välivalmisteiden johtaminen erillään olisi erittäin hyvä kehityskohde muuten pitkälle viedyssä järjestelmässä, niin Anfo- kuin emulsiopanostuksessa

opinnäytetyön alussa esitellyiden ongelmien ratkaisemiseksi. Idea on niin hyvä, että sitä kannattaa tutkia ja ottaa irti kaikki, mitä siitä on otettavissa.

Jatkossa jos on mahdollisuus ja se on järkevää, niin kannattaa tehdä konkreettinen, karkea malli suunniteltavasta kohteesta. Käytin suhteellisen paljon aikaa Blastballin suojauskonseptin miettimiseen, ennen kuin tein siitä mallin, jonka avulla huomattiin, ettei se toimi 76 mm:n reiässä. Samoin tein sylinterikonseptin kanssa, kun testasin, kuinka pienen putken sisään saan Blastballin vedettyä. Vaikka näihin menikin aikaa, niin kyseinen tapa osoittautui paremmaksi niin ajan kuin kustannuksienkin suhteen, kuin jos ne olisi teetätetty alihankkijalla.

Opinnäytetyön aihe testauksineen oli melko laaja aihe. Perehtyminen lähes tunteuttomaan prosessiin vaati oman aikansa. Siksi suunnitelmat muuttuivat ja tarkentuivat opinnäytetyön aikana. Toisaalta se onkin osa prosessia ja kvalitatiivista tutkimusta, että jostain on lähdettävä liikkeelle ja lukuisten yritysten sekä erehdyksien kautta päästään aiheen ytimeen ja lopuksi tyydyttävään lopputulokseen.

Opinnäytetyön aihe oli laajuudestaan huolimatta erittäin hyvä ja ammatillista osaamistani kehittävä. Työtä ei mielestäni olisi voinut tehdä ilman, että olisin ollut aikaisemmin töissä panostuslaitteiden parissa, koska suunnittelijan on tunnettava talon toiminta-, suunnittelu- ja valmistustavat. Jos en olisi aikaisemmin tehnyt mitään näihin järjestelmiin liittyvää työtä, olisi paras vaihtoehto opinnäytetyön aloittamiseksi ollut lähteä katsomaan osavalmistusta tuotantoon tai kaivokseen panostusta Charmec-panostuslaitteella. Toivoisin, että pääsisin työskentelemään Charmec-panostuslaitteiden parissa, jos, ja toivottavasti kun, jatkan Normet Oy:n työtehtävissä. Tällöin olisi mielestäni välttämätöntä nähdä osavalmistusta alihankkijoilla ja panostusta Charmec-panostuslaitteella sekä kuulla kommentteja niiltä henkilöiltä, joiden työtehtävien helpottamiseksi näitä koneita suunnitellaan ja tehdään.

Suunnittelijan tietous tuotannosta on teoriaperustassa mainitsemieni systeemisuunnittelun suuntaviivojen DFA, DFM ja DFMA mukaista toimintaa. Siksi olisikin syytä, varsinkin työuraa aloittavan suunnittelijan, perehtyä suunnittelun kohteen valmistukseen, tai jos tuote olisi uusi, niin tietää tuotannon erityispiirteet ja rajoitteet.

On myös syytä olla kriittinen omalle työlleen. On tärkeää kyseenalaistaa valitut ratkaisut ja miettiä, voisiko asian tehdä toisin tai paremmin jatkossa. On yleisesti tiedossa, että suomalainen työ ja tuote, olivat ne sitten mitä tahansa, eivät ole kustannuksiltaan halvimpia globaalisti vertailtaessa. Ideaalitilanne yrityksen kannalta olisi se, että uudet suunnittelijat olisivat päteviä ja toisivat töihin tullessaan viimeisimmän tiedon mukanaan. Näin käy kuitenkin harvoin ja pitkään määrättyllä tavalla tehtyjä asioita ja asenteita on vaikeaa muuttaa. Asenteita ja työtapoja pitäisi pystyä muuttamaan, sillä nimenomaan jatkuvalla suunnittelutyön kehittämisellä, laadulla, uusilla ideoilla, globaaleita kilpailijoita paremmalla suunnittelutyöllä ja valmistusmenetelmien kehityksen tietoudella suomalaisilla yrityksillä on mahdollisuuksia pärjätä maailmalla.

## Lähteet

Anderson, D. 2016. Design for manufacturability. Artikkelin DFM –periaatteista, kirjasta "Design for Manufacturability: How to Use Concurrent Engineering to Rapidly Develop Low-Cost, High-Quality Products for Lean Production". Viitattu 16.4.2016. [http://www.design4manufacturability.com/DFM\\_article.htm](http://www.design4manufacturability.com/DFM_article.htm)

Anfo, Ahti-Anfo, Pito-Anfo & Anfo 800 Tuotetieto. 2015. Anfojen tuotetieto Oy Forcit Ab:n sivustolla. Viitattu 4.4.2016. <http://www.forcit.fi/archives/tuote/pito-anfo-anfo-800-anfo-600>

Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H. & Pahl, G. 2007. Engineering Design: A Systematic Approach. 3rd ed. London: Springer-Verlag

Blastball. 2016. Blastballin esite Mti Group Pty Ltd:n sivustolla. Viitattu 29.3.2016. [http://mtigroup.com.au/sites/54bde64b3437c8d23d000002/content\\_entry54bde6d83437c8d23d000020/54be0c3f3437c8780200004f/files/BlastBall.pdf?1421741119](http://mtigroup.com.au/sites/54bde64b3437c8d23d000002/content_entry54bde6d83437c8d23d000020/54be0c3f3437c8780200004f/files/BlastBall.pdf?1421741119)

Blastball. N.d. Blastballin kuva Mti Group Pty Ltd:n sivustolla. Viitattu 20.3.2016. [http://mtigroup.com.au/sites/54bde64b3437c8d23d000002/content\\_entry54bde6d83437c8d23d000020/54be0c3f3437c8780200004f/files/BlastBall.pdf?1421741119](http://mtigroup.com.au/sites/54bde64b3437c8d23d000002/content_entry54bde6d83437c8d23d000020/54be0c3f3437c8780200004f/files/BlastBall.pdf?1421741119)

Blastball Plugs. 2016. Blastballin esittely Mti Group Pty Ltd:n sivustolla. Viitattu 29.3.2016. <http://mtigroup.com.au/products/blastball-plugs>

Blasters' Handbook. 1998. Published by International Society of Explosive Engineers. 17 ed. Ohio (USA): ISEE.

Cross, N. 2011. Engineering design methods: strategies for product design. 4. ed. England: John Wiley & Sons Ltd.

Hakapää, S., Lappalainen, P. & Paalumäki T. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. p. Helsinki: Opetushallitus.

Halonen, T. & Vuolio, R. 2012. Räjätystyöt. 2. p. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.



Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.

Hot rolled Steel Plates, Sheets and Coils, Structural steels, Ruukki Laser. 2010. Ruukki Laser teräslevyn pienimmät sallitut taivutussäteet särmäyksessä. Dokumentti Normet Oy:n Sovelia PDM/PLM-järjestelmässä. Viitattu 11.4.2016.

Inflation Coupling. 2016. Täyttöventtiilin esittely Mti Group Pty Ltd:n sivustolla. Viitattu 29.3.2016. <http://www.mtigroup.com.au/products/inflation-coupling>

Kananen, J. 2008. KVALI Kvalitatiivisen tutkimuksen teoria ja käytänteet. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kemiitti 510 Tuotetieto. 2013. Kemiitti 510 emulsioräjähdysaineen tuotetieto Oy Forcit Ab:n sivustolla. Viitattu 4.3.2016. <http://www.forcit.fi/archives/tuote/kemiitti-510-2>

Kemiitti 610 Tuotetieto. 2013. Kemiitti 610 emulsioräjähdysaineen tuotetieto Oy Forcit Ab:n sivustolla. Viitattu 4.3.2016. <http://www.forcit.fi/archives/tuote/kemiitti-610>

Kemiitti 810 Tuotetieto. 2012. Kemiitti 810 emulsioräjähdysaineen tuotetieto Oy Forcit Ab:n sivustolla. Viitattu 4.3.2016. <http://www.forcit.fi/archives/tuote/kemiitti-810>

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuus Ry.

Mykkänen, A. 2016. Production Line Manager, Charging, Lifting & Installation. Normet Oy. Haastattelu 16.3.2016.

Panostus. 2015. Panostuslaitteiden yleisesittely Normet Group Oy:n sivustolla. Viitattu 16.3.2016. [http://www.normet.com/prosessit\\_tuotteet/panostus](http://www.normet.com/prosessit_tuotteet/panostus)

Puumalainen, H. 2016. Chief Engineer Charging of Explosives. Normet Oy. Haastattelu 15.4.2016.

Mining Methods in Underground Mining. 2007. Atlas Copcon tekemä PDF-julkaisu, jossa on esitetty maanalaisen louhinnan periaatteita ja menetelmiä. Viitattu 3.5.2016. [https://miningandblasting.files.wordpress.com/2009/09/mining\\_methods\\_underground\\_mining.pdf](https://miningandblasting.files.wordpress.com/2009/09/mining_methods_underground_mining.pdf)

Normet Charmec MC/LC 605 DA. N.d. Kuva Normet Group Oy:n sivustolla. Viitattu 19.3.2016. [http://www.normet.com/products/Charmec\\_MCLC\\_605\\_DA](http://www.normet.com/products/Charmec_MCLC_605_DA)

Normet For Tough Jobs. 2016. Normet Group konsernin yritys- ja tuote-esite. Esite Normet Oy:n intranetissa.

Normet Group Oy. 2015. Normet Group Oy:n faktoja. Viitattu 25.1.2016. [http://www.normet.com/normet/normet\\_fi](http://www.normet.com/normet/normet_fi)

Pinomäki, T & Vuento, A. 2011. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. 2. p. Punamusta.

Olofsson, S. 1990. Applied Explosives Technology for Construction and Mining. 2. p. Ärla (Sweden): Applex.

Särmäys, Raex kulutusteräket, ultralujat Optim QC teräket. N.d. Pienimmät sallitut taivutussäteet särmäyksessä. Ruukki Metals Oy. Viitattu 7.4.2016.

<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kuumavalssatut%20-%20kasittelyohjeet/Ruukki-Kuumavalssatut-ter%C3%A4kset-S%C3%A4rm%C3%A4ysohje.ashx>

Vihanto, P. 2007. Emulsiopanostus – mullistavaa menetelmäkehitystä räjäytystyössä. Oy Forcit Ab. Esitys Kaivosjaoston vuosikokouksessa Vuorimiespäivillä 2007. Viitattu 1.3.2016. [http://www.vuorimiesyhdistys.fi/sites/default/files/attachments/vmp07\\_Vihanto.pdf](http://www.vuorimiesyhdistys.fi/sites/default/files/attachments/vmp07_Vihanto.pdf)

## Liitteet

### Liite 1. Tarvelauseet ja vaatimuslista

#### TARVELAUSEET

Järjestelmän käytettävyys ei heikkene.

Järjestelmän luotettavuus ei heikkene.

Muutokset alkuperäiseen järjestelmään ovat mahdollisimman vähäisiä.

Pyritään luomaan mahdollisuus integroida uusi järjestelmä toimitettuihin koneisiin.

Suunnitellaan luotettava ja toimiva järjestelmä.

Varmistetaan uusien osien toimivuus.

Uudet osat eivät muuta vanhojen toiminnallisuutta.

Kiinnitetään huomiota huollettavuuteen.

Järjestelmä pyritään pitämään yksinkertaisena.

Järjestelmästä aiheutuvat lisäkustannukset minimoidaan.

Testauksella todennetaan toiminnallisuus.

Testauskustannukset minimoidaan.

Uusien nimikkeiden määrä Soveliaan PLM:ään minimoidaan.

Laaditaan selkeät kokoonpano-ohjeet ja piirustukset.

Tavoitteena on saada aikaan konkreettinen tuote.

Muutokset pyritään tekemään ja muotoilemaan niin, että koneen ulkonäkö ei kärsi.

Kokoonpano pyritään pitämään mahdollisimman helppona ja yksikertaisena.

Liikkuvien osien suojaukseen kiinnitetään huomiota.

Suoraan ja epäsuoraan turvallisuuteen kiinnitetään huomiota.

Pyritään etsimään ratkaisu, miten saada tietoa porareian tapahtumista blastballin laukaisun aikana.

#### VAATIMUSLISTA

Tehonsiirron elinikä 15000 h

Luotettava ja huokea tehonsiirto

Huollettavuuden tarve vähäinen

Porausreiän sisähalkaisija 76 mm

Kelan maksimipyörimisnopeus 8 r/min

Paineilmajärjestelmän paine 8-10 bar

Paineilmajärjestelmän letkukoko OD 13 mm / ID 6 mm (1/4 tuumaa)

Pyörivän liittimen kierteen koko G1/2

Uuden letkun pään maksimiulkohalkaisija sellainen että mahtuu 76 millimetrin porareikään

Jouheat liitosten sisäpinnat

## Liite 2. Laskentapohja ketjukäytölle

## KETJUKÄYTTÖ LASKENTAPOHJA

Tekijä: Antti Romo

Päivämäärä: 11.2.2016

Projekti: Panostusletkukelan modifiointi tuplaydinletkulle

  = laskijan syöttämä arvo      = oleellinen laskentapohjan laskema arvo

LÄHDE: Airila, M., Björk, T., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2003. Koneosien suunnittelu. 4.p. Porvoo: WS Bookwell

Laskentapohja laskee nimellistehon letkun pituuden ja sisähalkaisijan mukaan niin, että letku olisi pituudeltaan suoraan alapäin ja täytettynä vedellä (veden tiheys on suurempi kuin räjähdysaineen, varmalla puolella oleva oletus)

## LÄHTÖTIEDOT

$ID_{letku}$	34	Panostusletkun sisähalkaisija [mm]
$L$	40	Panostusletkun pituus [m]
$R$	0,45	Panostusletkukelan säde [m]
$n$	8	Kierrosnopeus [r/min]
$A_{letku}$	907,9	Panostusletkun poikkipinta-ala [mm <sup>2</sup> ]
$V_{letku}$	0,036	Panostusletkun tilavuus [m <sup>3</sup> ]
$m_{letku}$	36,32	Panostusletkun massa [kg]
$G_{letku}$	356,3	Panostusletkun paino [N]
$M$	160,3	Panostusletkun aiheuttama momentti [Nm]
$P$	0,134	Siirrettävä teho [kW]

## LASKENTA

$P_{nim}$	0,134	Siirrettävä teho [kW]
$n_1$	8	Kierrosnopeus [r/min]
$a$	420	Likimääräinen akseliväli [mm]

$Z_1$	15	ensiöpyörän hammasluku
$Z_2$	15	toisiöpyörän hammasluku
$i$	1	Välityssuhde
$k_v$	1	Käyttökerroin (1 = tasainen)
$k_z$	1,29	Hammaslukukerroin
$P_{lask}$	0,2	Laskennallinen teho [kW]

## KETJU WIPPERMANN T 54S RF MA (= MARATHON, RUOSTUMATON 16 B-1)

Valittu ketjutyypä	16 B-1	
$p$	25,4	[mm]
$F_M$	40000	[N]
$q$	2,5	[kg/m]
Vaadittu elinikä	15000	h
$d_1 = d_2$	121,28	ketjupyörien halkaisija [mm]
$X_0$	48,07	Alustavan akselivälin mukaan laskettu lenkkien lukumäärä
$X$	48	Valittu lenkkien lukumäärä [kpl] (pyöristetään lähimpään parilliseen kokonaislukuun)
$a$	419,1	Tarkka akseliväli [mm]
$a_{1,03}$	431,7	Akselivälin laskenta 3% venymällä ketjusuoja ja kiristysvaran tarvetta varten
$a$	16,5	a/p [kpl]
$k_a$	0,85	Akselivälikerroin (akseliväli noin 20p)
$k_m$	1	Ketjunmuotokerroin (1 = normaalit lenkit)
$k_c$	1	Ketjutyypikerroin (1 = rullaketju)
$k_p$	1	Akselikerroin (1 = 2 ketjupyörää)
$k_e$	1	Elinikäkerroin (1 = 15000 h)
$k_v$	1	Voitelukerroin (1 = puutteellinen voitelu ja epäpuhtauksia, mutta huoltovapaa ketju)
$P'_{lask}$	0,204	[kW]
$v_{ketju}$	0,051	[m/s]
$F$	4020	[N]
$F_c$	0,06	[N]
$F + F_c = N$	4020	[N]

$n_s$	9,95	OK	$n_s \geq 7$ staattiselle kuormitukselle
$n_d$	9,95	OK	$n_d \geq 5$ dynaamiselle kuormitukselle