

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Infratekniikka

2022

Mia Kivimäki

# AVOLOUHINNAN JA MURSKAUKSEN YHTEISTYÖN OPTIMOINTI

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Ohjaaja DI Pirjo Oksanen

2022 | 42 sivua

Mia Kivimäki

## Avolouhinnan ja murskauksen yhteistyön optimointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko avolouhinnan ja murskauksen kokonaiskustannuksia pienentää esimerkiksi kustannusten uudelleenohjauksella. Työssä perehdytään myös avolouhinnan työturvallisuustilanteeseen ja tulisiko sitä parantaa. Opinnäytetyön tilaajana toimii Peab konserniin kuuluva Swerock, jonka toimialana ovat muun muassa avolouhinta ja murskaus.

Simulaatioiden avulla saatiin selville, että ominaispanostuksen kasvaessa ja ruutukoon pienentyessä ylisuurten lohokareiden todennäköisyys irrotetussa louheessa pienenee erittäin pieneksi niin Anfollla kuin Kemiitilläkin räjäyttäessä. Louhekoon muutokset useampivaiheisella murskauslaitoksella eivät kuitenkaan lisää laitoksen laskennallista kokonaiskapasiteettia. Haastatteluissa selvitettiin työnjohtajien näkökulmia työturvallisuuteen ja mahdollisiin kustannuksia alentaviin toimiin.

Louhekoon pienentyminen ei lisännyt useampivaiheisen murskauslaitoksen laskennallista tehoa, mutta pienemmällä laitoksella voidaan saada mahdollisia tehollisyyksiä, sillä louhekoon muutos vaikutti laitoksen esimurskan kuormitustasoon. Rikotuskustannusten pienentäminen louhekoon muutoksilla olisi myös selvempää pienemmillä murskauslaitoksilla. Haastattelujen perusteella työmaakokousten laajempi pitäminen ja hyvän aluesuunnitelman laadinta voivat tuoda uusia kustannussäästöjä työmaille.

### Asiasanat:

louhinta, murskaus, kiviaines, kustannustehokkuus, työturvallisuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Pirjo Oksanen M. Sc. Eng.

2022 | 42 pages

Mia Kivimäki

# Cooperation optimisation between blasting and crushing

The aim of this thesis was to discover if the total costs of rock excavation and crushing could be reduced by redirecting the costs. This thesis also examines industrial safety in rock excavation and whether it needs improving. The Thesis was commissioned by Swerock, part of the Peab group. Rock excavation and crushing are part of Swerock field of operations.

Simulation models show that when a specific charge increases and a drill pattern decreases, the probability of oversize boulders drops distinctly blasting with both Anfo and Kemiitti. However, changes in the blasted rock does not increase the theoretical capacity of crushing plants with three or more crushing stages. Interviews were conducted to receive site managers point of views concerning industrial safety and possibilities to decrease costs on work sites.

The size of the blasted rock did not increase the theoretical capacity in crushing plants with three or more crushing stages. However, in smaller crushing plants the size of the blasted rock may affect the capacity since the boulder size affected the strain of the primary crusher. Also downsizing the blasted rock size would lower hammering costs more clearly in smaller crushing plants. The results of the interviews shows that more extensive site meeting practice and preparing accurate area planning could introduce cost savings on work sites.

## Keywords:

rock excavation, crushing, cost effectiveness, industrial safety

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Avolouhinta</b>	<b>8</b>
2.1 Tavoitteet	8
2.2 Rikotus	10
2.3 Ominaispanostus	10
2.4 Louhinnan lainsäädäntö ja työturvallisuus	11
2.5 Ongelmat	14
<b>3 Murskaus</b>	<b>16</b>
3.1 Tavoitteet	16
3.2 Murskausta koskeva lainsäädäntö	17
3.3 Murskauslaitokset	17
3.3.1 Murskauslaitosten yleispiirteet	17
3.3.2 Pyöräalustainen murskauslaitos	18
3.3.3 Tela-alustainen murskauslaitos	19
3.4 Laatu	20
<b>4 Louhinnan simulaatiomallit</b>	<b>22</b>
4.1 Louhinnan mallinnusten lähtökohdat	22
4.2 Mallinnusten tulokset	24
4.3 Johtopäätökset louhinnan mallinnoista	25
<b>5 Murskauksen simulaatiomallit</b>	<b>27</b>
5.1 Murskauksen mallinnusten lähtökohdat	27
5.2 Mallinnusten tulokset	28
5.3 Johtopäätökset murskauksen mallinnoista	29
<b>6 Kustannukset</b>	<b>31</b>
6.1 Kustannustarkastelun lähtökohdat	31
6.2 Louhinnan kustannukset	31
6.3 Rikotuskoneen kustannukset	32

<b>7 Haastattelut</b>	<b>34</b>
7.1 Haastattelujen tausta	34
7.2 Haastattelujen tulokset	34
<b>8 Johtopäätökset</b>	<b>39</b>
<b>Lähteet</b>	<b>41</b>

## **Kuvat**

Kuva 1: Avolouhinnan käsitteitä ja parametreja	9
Kuva 2: Erilaisia kalliopintoja	14
Kuva 3: Pyöräalustainen murskauslaitos Tuusulassa	19
Kuva 4: Tela-alustainen murskauslaitos Salossa	20

## **Kuviot**

Kuvio 1: O-pitblast ohjelman raportin sivu, jossa kuvataan mallinnuksen louhekäyrä	23
Kuvio 2: Näkymä Bruno-ohjelman raportista	29

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tilaajana toimii Peab konserniin kuuluva Swerock. Swerockin toimialana ovat betoni ja kiviainestointi, joista kiviainestointiin liittyy muun muassa louhintaa, kiviainesmurskausta ja kiviainesten myyntiä. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia voitaisiinko louhinnan ja murskauksen yhteistyötä optimoida kustannustehokkuus- ja työturvallisuusnäkökulmista vai onko toiminta tällä hetkellä jo optimoitu. Kiviainesmurskausta sekä louhintaa optimoidaan jatkuvasti, kun löydetään uusia tapoja toimia tai tehdä työtä.

Simulointeja esimerkiksi louhintatyömaasta käytetään kartoittamaan räjäytyskentän ominaispanostusta ja arvioimaan millaista irtoava kiviaines on louhekkooltaan. Simulointia voidaan suorittaa erilaisia tietokoneelle suunniteltuja mallinnusohjelmistoja käyttäen. Tällöin pystytään arvioimaan rikotuskoneen käyttötarpeita ja mahdollisia muutoksia ominaispanostukseen tai kentän ruutukokoon. Murskausasema ostaa louhinnan työmaalle kokonaisurakkana, jolloin rikotuskoneen tuomat kustannukset ovat louhinnan eikä murskaustyömaan kustannuksia.

Työssä halutaan tarkastella erityisesti sitä, pystyttäisiinkö kustannusten ohjaamisella pienentämään louhinnan ja murskauksen kokonaiskustannuksia. Tarkasteltavia näkökulmia kustannusten säästöön ovat esimerkiksi tarkastella iskuvasarakoneen eli rikotuskoneen työtuntimäärää räjäytysten välillä ja olisiko mahdollista saada säästöjä pyrkimällä vähentämään huomattavasti ylisuurten yli 600 mm halkaisijaltaan olevien lohkeiden esiintymistä. Tällöin iskuvasarakone on mahdollista siirtää työmaalta toiselle siksi aikaa, kunnes sitä jälleen räjäytyksen jälkeen tarvitaan. Vaihtoehtoisesti iskuvasarakone voidaan tuoda työmaalle vain osaksi aikaa, eikä jokaisen kentän räjäytyksen jälkeen. Toinen näkökulma asiaan on optimoida räjäytetyn kallion louhekkoko sopivaksi, jotta murskauslaitoksen toiminta on tehokkainta. Louhinnan simulointien jälkeen pystytään tuottamaan toisella mallinnusohjelmistolla laskennallisia murskaustyömaan tehoja louhinnan mallinnusten louhekkäyrien perusteella ja

pystytään selvittämään, voisiko teho kasvaa eri ominaispanostuksella tai kentän ruutukoolla.

Haastattelujen perusteella pyritään löytämään mahdollisia työturvallisuutta parantavia tai kustannuksia alentavia toimenpiteitä. Haastateltaviksi valitaan työnjohdon edustajia, joiden toimialana on louhinta tai murskaus. Haastateltavia henkilöitä valitaan ympäri Suomen, jolloin saadaan erilaisilla murskausasemilla ja erilaisten kalliotyyppien kanssa työskenteleviltä näkemyksiä yhteistyön toimivuuteen ja mahdollisiin ongelmakohtiin. Haastatteluissa selvitetään myös henkilöiden yhteistyön toimivuutta. Swerockilla louhinta ja kiviainestoiminta ovat omia kustannuspaikkojaan, jolloin kokonaiskustannusten pienentämiseksi kustannusyksiköiden tulee tehdä tiivistä yhteistyötä.

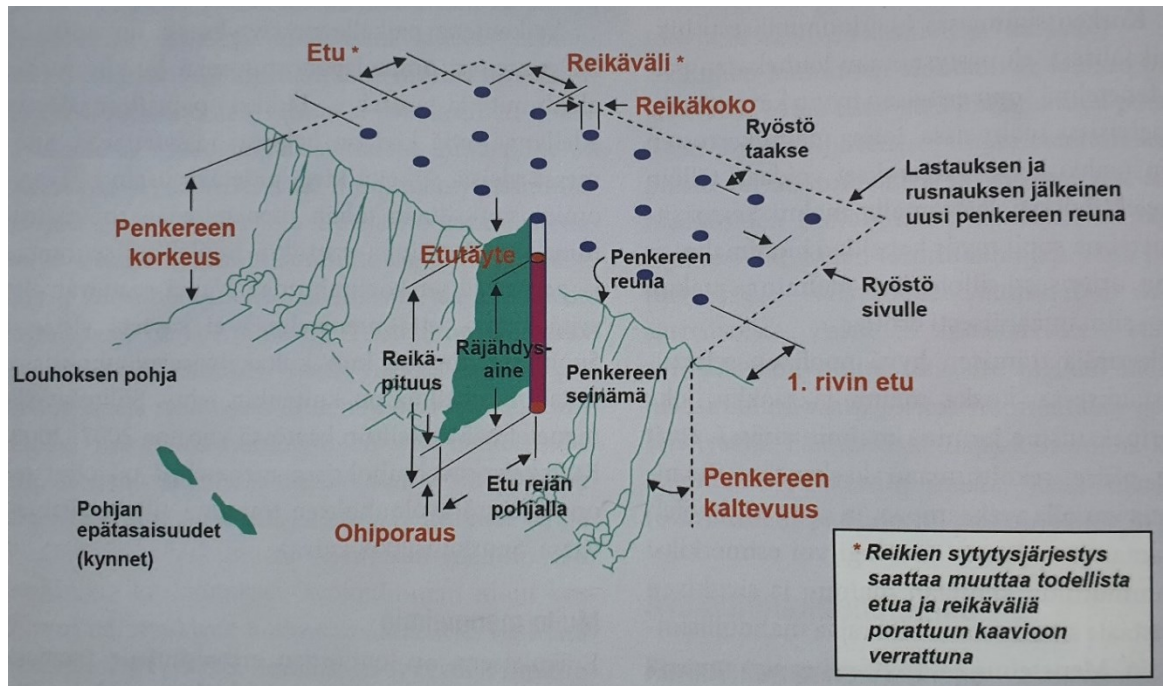
## 2 Avolouhinta

### 2.1 Tavoitteet

Louhinnan tarkoituksena on lohkaroitaa kiviaines kalliosta halutuissa määrin ja se voidaan suorittaa joko räjäytysaineilla tai ilman. Louhinta voidaan jakaa pergerlouhintaan ja kanaalilouhintaan, maanalaiseen louhintaan, tarkkuuslouhintaan sekä vedenalaiseen louhintaan. Avolouhinnalla tarkoitetaan maanpäällistä louhintaa, eli pengeri- ja kanaalilouhintaa, joissain tapauksissa tarkkuuslouhintaa. Kanaalilouhinta eroaa pengeriouhinnasta räjäytystilan ahtauden vuoksi, jolloin kanaalilouhinnassa vaaditaan suurempaa ominaispanostusta. Louhinnan lopputulokseen ja irronneen kiviaineksen heittoon vaikuttavat muun muassa kallioperän ominaisuudet, käytetty räjähdysaine, räjäytyskentän reikien geometria sekä sytytysvälineet ja reikäpanosten sytytysväli. Kaikkia lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä ei voida kontrolloida, mutta kokemuksen karttuessa niihin voidaan varautua. Esimerkiksi kallioperän geologia on erilaista ympäri Suomen, jolloin louhintaa tulee muuttaa kallioperän ja räjäytettävän kentän mukaan. (Vuolio & Halonen 2019, 106–159.)

Kun yhdellä kerralla räjäytetään useampi kuin yksi reikä, tulee reikien panostamisessa ottaa huomioon etu, reikäväli sekä reikien lukumäärä. Avolouhintaan liittyviä termejä esitetään kuvassa 1. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että louheen irrottamiseksi räjähtävän kiviaineksen tulee siirtyä eteen ja ylöspäin, jotta seuraava rivi pääsee purkautumaan myös eteenpäin. Irtoavan kiven siirtyminen eteenpäin eli heitto kasvaa ominaispanostuksen kasvaessa. Kivien sinkoutuminen on hallitsematonta heittoa ja sen riski kasvaa ominaispanostuksen kasvaessa, mutta sinkoutuminen ei ole vain ominaispanostuksesta riippuvainen. (Vuolio & Halonen 2019, 106.)





Kuva 1: Avolouhinnan käsitteitä ja parametreja (Lappalainen ym. 2015)

Louhintaa voidaan suunnitella käyttäen kaavoja kentän ominaisuuksien ja panostuksen laskemiseen, simulaatioilla tai taulukoita apuna käyttäen. Kaikki menetelmät perustuvat käytännön kokemukseen. Ominaispanostus ja räjäytyskentän geometria eivät voi olla vakioita kallioperän ja sen sisältämien eri kivilajien vuoksi. Louhinnassa voidaan myös käyttää eri pohja- ja varsipanoksia, jolloin on tarpeellista tuntea niiden tuomat erot räjäytykseen. Käytössä on patruroidun räjäytysaineen lisäksi irrallisia räjähdeaineita sekä emulsioräjähdeaineita. Sytytystavan ja sytytysjärjestyksen muuttaminen vaikuttaa muun muassa tärinään, kentän irotamiseen, louhekokoon, kiinteän kallion pinnan eheyteen, kentän purkautumiskulmaan sekä kallion mahdollisuuteen paisua, joka ylipäätään mahdollistaa kivien irtoamisen kalliosta. Hidastimilla hidastetaan eri reikärivien räjähdystä, jolloin edestä irtoavan rivin kiviaines estää taaemman rivin kivien sinkoutumista. Hidastimilla saadaan seuraavan rivin räjähdys tapahtumaan optimoituna ajankohtana, jolloin edessä olevan rivin räjähtäessä takana oleva kallio on jännitys- ja värähtelytilassa ja kallio saadaan rikkoutumaan suhteellisen pienellä räjähdysainemäärällä. (Vuolio & Halonen 2019, 107–125.)

## 2.2 Rikotus

Räjähdyksen jälkeen irrotetun kiviaineksen seasta tulee rikottaa ylisuuret lohkat. Rikotus voidaan suorittaa joko räjäytysaineilla tai räjäytysaineettomasti esimerkiksi kiilaamalla tai hydraulisilla iskuvasaroilla. Hydraulinen iskuvasara voi olla liitettynä traktorikaivuriin tai kaivinkoneeseen, jolloin saadaan suuri ulottuma ja iskuvasaran joustava käyttö. Iskuvasaralla voidaan rikottaa jopa 5 kuutiometrin kokoisia lohkat. Iskuvasarakoneen rikottaessa ylisuuria lohkat, sen läheisyyteen saattaa sinkoutua pieniä kiven kappaleita, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskejä. (Vuolio, R. & Halonen, T. 2012, 177.)

Murskausasemilla esimurskaan voidaan syöttää maksimissaan 600 mm halkaisijaltaan olevia lohkat, jolloin yli 600 mm läpimitaltaan olevat kivet katsotaan ylisuuriksi. Kustannustehokkuuden vuoksi suurimmat lohkat usein räjäytetään, mutta iskuvasarakonetta tarvitaan pienempien ylisuurten rikotukseen kentän koosta riippuen päiviä tai viikkoja. Rikotuksen, murskauksen sekä louhinnan työvaiheiden aikarajat esitetään Valtioneuvoston asetuksessa kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta. Työmaakohtaisessa ympäristölupapäätöksessä voidaan kuitenkin rajata työaikaa perustelluista syistä näitä aikoja lyhyemmiksi. (Henkilökohtainen tiedonanto, Peab Industri Oy 18.3.2022.)

## 2.3 Ominaispanostus

Kallion rikkoutumiseen vaadittava räjähdysainemäärä eli ominaispanostus ilmoitetaan yksiköllä räjähdysainekiloa kuutiometrillä ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Suomessa louhinnassa käytettävät reikäläpimitat ovat 30–203 mm. Mikäli räjäytyskentässä on käytössä halkaisijaltaan 64 mm tai suuremmat porareitit ja irrotettava louhe murskataan, avolouhinnassa tavallisesti käytetään panostusastetta 0,6–1,0  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Suuremmalla ominaispanostuksella kivi saadaan hienonnettua kustannustehokkaammin. Räjäytystä tehtäessä tuleekin tarkastella kokonaiskustannuksia eikä vain kiven irtoamista. Poraus-kustannukset

kuutiometriä kohden ovat pienemmät, kun räjäytyskenttä porataan suurella reikä- ja ruutukoolla. Räjäytyskentän ruutukoko on edun ja reikävälin tulo. Suurentamalla ruutukokoa kasvaa myös riski kallion rikkoutumiseen sen heikkouspintoja eli rakoja ja halkeamia pitkin. Tällöin irtoavan louheen raekoko ja ylisuurien lohcareiden esiintymisriski on suurempi, jolloin myös rikutusta tarvitaan enemmän. Yleensä kallio saadaan rikkoutumaan sopivaksi pohjapanoksen kohdalta, kun käytetään pohjapanoksen ominaispanostusta. Varsipanoksen ominaispanostusta puolestaan voidaan suurentaa panostusastetta kasvattamalla ja etutäytettä lyhentämällä. Tällöin saatu lohcarekoko on pienempi, mutta kiven heitto suurenee sekä riski kivien sinkoutumiseen kentästä kasvaa. (Vuolio & Halonen 2012, 103–111.)

## 2.4 Louhinnan lainsäädäntö ja työturvallisuus

Räjäytystyöllä tarkoitetaan työtä, jossa käsitellään tai käytetään räjähdysaineita tai se liittyy räjähdysaineiden säilyttämiseen. Räjäytystyön tekijältä edellytetään voimassa olevaa asianmukaista ja rekisteriin rekisteröityä pätevyyskirjaa. Räjäytystyötä tehtäessä pätevyyskirjan tulee olla aina mukana. Pätevyyskirja voidaan myöntää yli 20-vuotiaalle henkilölle viideksi vuodeksi kerrallaan. Henkilön täyttäessä 68 vuotta pätevyyskirja lakkaa olemasta. Pätevyyskirjaa hakiessa henkilöltä edellytetään työhön sopivaa terveydentilaa, hyvämaineisuutta sekä riittävää ammatillista osaamista panostustyöhön koulutuksen ja työkokemuksen kautta. Hakijan tulee esittää turvallisuusselvitystodistus tai aluehallintovirasto voi suorittaa turvallisuusselvityslaisissa (726/2014) esitetyn suppean henkilöturvallisuusselvityksen. (Vuolio & Halonen 2019, 8.)

Pätevyyskirjaluokat ovat

1. Tehosteräjäyttävä (aiemmin räjäyttävä, E-luokka: tehosteräjäytykset ja laboratorioissa tehtävät räjäytystyöt)
2. Nuorempi panostaja (aiemmin räjäyttävä)
3. Vanhempi panostaja (aiemmin panostaja)
4. Ylipanostaja (aiemmin ylipanostaja)
5. Räjäytystyön vastuhenkilö. (Vuolio & Halonen 2019, 8.)

Louhintaa koskeva lainsäädäntö on monitahoinen. Säännökset muuttuvat usein ja on varmistettava, että määräyksistä on käytössä viimeisimmät versiot.

Panostajat suorittavat kertauskursseja ylläpitääkseen pätevyyskirjoja, jolloin he käyvät kursseillaan viimeisimmän voimassaolevan lainsäädännön sekä määräyksiin tehdyt oleelliset muutokset.

Louhijalle tärkeimmät määräykset

- valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta (484/2016) ja /644/2011)
- panostajalaki (423/2016)
- valtioneuvoston asetus panostajan pätevyysasiakirjoista (458/2016)
- kaivoslaki (621/2011). (Vuolio & Halonen 2019, 209)

Näiden lisäksi alaa säätelee ja ohjaa räjähteiden valmistukseen liittyvät määräykset, Tukesin (turvallisuus- ja kemikaalivirasto) ja Kaivoslautakunnan ohjeet, asetukset ja lait vaarallisten aineiden kuljetuksista sekä esimerkiksi asetukset rakennustyön turvallisuudesta. Ohjeita louhintatyön turvallisuuteen esitetään myös muun muassa Työturvallisuuskeskuksen julkaisusta ”Räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusohje”. (Vuolio & Halonen 2019, 209, 210.)

### **Louhintatyön suunnitelma-asiakirjat**

Alaa koskevaa lainsäädäntöä ja säädöksiä valvovat useat eri tahot, kuten poliisi, Tukes sekä työsuojeluviranomaiset. Louhintatyössä työnantaja on vastuussa työntekijöiden ja ympäristön turvallisuudesta. Rakennuttaja, suunnittelija ja päätoteuttaja vastaavat omista velvollisuuksistaan suunnitella ja järjestää louhintatyöt niin, että työt voi suorittaa turvallisesti. Rakennuttajan velvollisuuksiin kuuluu laatia turvallisuusasiakirja, jossa käydään läpi vaara- ja haittatekijät johtuen hankkeen ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta sekä hankkeen toteuttamiseen liittyvät työturvallisuutta ja työterveyttä koskevat tiedot. Rakennuttajan tulee nimetä yhteiselle rakennustyömaalle päätoteuttaja sekä varmistaa, että päätoteuttaja on laatinut työn edellyttämät turvallisuussuunnitelmat sekä varmistaa, että vaadittavat työvaiheet voidaan ajoittaa asianmukaisesti. Suunnittelijan velvollisuuksiin kuuluu selvittää

mahdollisia riskitekijöitä räjäytystöiden suunnitellulla alueella. Riskitekijöitä voivat olla esimerkiksi työympäristössä olevat sähköjohdot tai radiolähettimet, jotka voivat aiheuttaa sähkönallien vääränaikaisen syttymisen, työn suorittaminen lentoaseman läheisyydessä, joka on huomioitava räjäytysaikojen suunnittelussa sekä louhinta asutulla alueella, jolloin työmaalla tulee suorittaa tärinävaikutusarviointeja. (Pinomäki & Vuento 2017, 6–9.)

Päätoteuttajan tulee laatia ennen töiden aloitusta työmaan turvallisuutta koskevat suunnitelmat, jotta voidaan varmistaa työvaiheiden ja niiden ajoituksen järjestäminen ja suorittaminen turvallisesti. Päätoteuttajan tulee myös aktiivisesti tehdä riskikartoitusta työtehtävistä, työympäristöstä ja olosuhteista sekä poistettava tai arvioitava riskien merkitys työmaalla työskentelevien ja muille työn vaikutuspiirissä olevien turvallisuudelle ja terveydelle. (Pinomäki & Vuento 2017, 9–13.)

### **Päätoteuttajan ja panostajan tehtävät työmaalla**

Rakennustyömaalla päätoteuttaja vastaa työmaan turvallisuusseurannasta, jota voidaan suorittaa MVR- tai murskamittarilla. Työnantaja tai päätoteuttaja vastaavat näiden lisäksi myös turvallisuussuunnitelman sekä työmaasuunnitelman laatimisesta. Turvallisuussuunnitelmassa selvitetään ja arvioidaan ympäristön vaarat ja kirjataan toimenpiteet turvallisuuden toteuttamiseksi. Siinä käydään läpi myös muun muassa louhintatasot, tavoiteltu lohkokoko, räjähteiden valinnan perusteet, porauksen suoritustapa, panostus- ja sytytysmenetelmät, vaarallisen alueen määrittämistapa ja kentän peittäminen ja muu sinkoilun rajoittaminen. Työmaasuunnitelma on karttapiirros työkohteista, poistumisreiteistä, kulkuväylistä, suojapaikoista, räjähdystarvikkeiden säilytykseen ja varastointiin käytettävistä alueista sekä ensiapu- ja sammutusvälineiden sijainnista. Panostajan tehtävänä on valmistaa jokaisesta räjäytettävästä kentästä kirjallinen räjäytysuunnitelma, jossa esitetään tiedot porauksesta, räjähteestä ja sen määrästä, panostamisesta, sytytyksestä ja sytytysjärjestyksestä, peittämisestä, räjäytysajankohdasta, vaarallisesta alueesta ja varmistustoimenpiteistä sekä muista mahdollisista

räjyättämisen turvallisuuteen liittyvistä tekijöistä. (Pinomäki & Vuento 2017, 9–13.)

## 2.5 Ongelmat

Avolouhinnan välittömät kustannukset muodostuvat muun muassa porauksesta, panostuksesta, kuormauksesta ja kuljetuksesta. Kentän räjäytystä suunniteltaessa murskausasemalla tulee huomioida esimerkiksi porauskustannukset, räjähdekustannukset, panostuksesta aiheutuvat kustannukset sekä räjäytyskustannukset, rikotuksen kustannukset, kuormauskustannukset sekä murskauskustannukset. Kokonaiskustannuksiin vaikuttavat myös kallioperä ja kivilaatu, pengerkorkeus ja kerralla räjäytettävän kentän koko. (Vuolio & Halonen 2012, 179–183.) Kuvassa 2 esitetään kentän räjäyttämisen jälkeen esillä oleva rintaus. Kallion rakoilu, kivilaatu ja lustat vaikuttavat seuraavan kentän louhekokoon ja ylisuurten esiintymiseen. Kuvassa 2 kallio on liuskeista ja kivilaatu kovaa.



Kuva 2: Erilaisia kalliopintoja

Räjähdyksineen kustannukset ovat kustannuksista helpoiten eriteltävissä, jolloin saadaan vertailtua eri räjähdysaineista ja sytytystavoista aiheutuvia kustannuksia. Rikotuskustannukset riippuvat kuormauskaluston kauhakoosta sekä murskausaseman murskaimen kitakoosta. Rikot aiheuttavat lisäksi epäsuoria kustannuksia, joita voivat olla kuormauskoneen tai murskan tautot, ylisuurten kivien rikotuksesta aiheutuvat laitteiden rikkoutumiset tai murskauskapasiteetin laskeminen. Kun pyritään räjäytyksessä pieneen lohkokokoon, tulisi huomioida myös kallion liuskeisuus ja rakoilu. (Vuolio & Halonen 2012, 179–183.)

## 3 Murskaus

### 3.1 Tavoitteet

Kiviaineksen murskaamisen tavoitteena on saattaa kalliosta irrotettu kiviaines haluttuun raemuotoon ja -kokoon. Haluttu lopputuote voi olla kalliomurskettä, kalliosepeliä tai soramurskettä, riippuen raekoosta ja mistä murskattu kiviaines on peräisin. Murskausasema voi olla kiinteä, pyöräalustainen tai tela-alustainen ja se muodostuu erilaisista syöttölaitteista, murskaimista, kuljettimista ja seulontalaitteista, joiden läpi kiviaines kulkee ja lopulta päätyy kasalle.

Murskausaseman asettelusta ja halutun lopputuotteen raekoosta riippuen sillä voidaan tuottaa yhtä tai useampaa erikokoista lajiketta samanaikaisesti. Hyvällä suunnittelulla pystytään optimoimaan murskausaseman tuotantokapasiteetti, kun osataan määrittää seulontalaitteeseen sopivimman läpäisyn omaavat seulaverkot ja valitaan asemalle sopivimmat murskaimet. Murskausaseman kapasiteettiin vaikuttaa siihen pyöräkuormaajalla tai kaivinkoneella syötetty irtilouhittu kiviaines sekä ylisuurten lohcareiden esiintyminen. Ylisuuret lohcareet tulee rikottaa pienemmäksi ennen niiden syöttämistä asemalle. Mikäli ylisuuria lohcareita esiintyy huomattavan paljon, se saattaa hidastaa aseman käynnistymistä räjäytyksen jälkeen. (Jääskeläinen, R. 2010, 176–186.)

Kustannusten optimointi voi olla vaikeaa, mikäli tarkastellaan louhinnan kustannuksia omana joukkonaan ja murskauksen omanaan, sillä kalliolaatu ja irrotetun louheen raekoko vaikuttavat suuresti murskausaseman kustannuksiin. Tästä syystä kustannuksia tulisi huomioida porauksesta lähtien. Optimoidut porauksen ja panostuksen kustannukset ja lopputulos vaikuttavat pienentävästi usein myös murskauksen kustannuksiin. On tärkeää saada myös rikotettua kaikki ylisuuret lohcareet ennen louheen syöttämistä murskausasemalle, sillä se saattaa aiheuttaa asemalle turhia katkoja tai konerikkoja. Louhinnassa tulee huomioida juuri sen alueen kalliolaatu, jossa työtä tehdään, jotta toiminta saadaan mahdollisimman optimoiduksi. (Viilo, K. 2014, 1–1...1–4.)



## 3.2 Murskausta koskeva lainsäädäntö

Maa-ainelain mukainen lupa tarvitaan, mikäli maa-ainesta otetaan muuhun kuin kotitarvekäyttöön. Lupa haetaan kunnasta, josta maa-ainesta ollaan ottamassa. Valtioneuvoston asetuksessa 926/2005 säädetään ottamissuunnitelman sisällöstä ja rakenteesta. Luvan myöntäminen edellyttää, ettei toiminta ole ristiriidassa luonnonsuojelulainsäädännön kanssa. Maa-ainesten ottomäärät tulee ilmoittaa vuosittain kunnan lupaviranomaisten sekä ELY-keskuksen käyttöön. Mikäli murskausta ollaan suorittamassa vähintään 50 päivää tietyllä alueella kiinteällä tai siirrettävällä murskaamolla, tarvitaan lisäksi asianomaiselta kunnalta ympäristölupa toiminnanharjoittamiseen. Ympäristölupa tarvitaan ympäristönsuojelulain mukaan myös tilanteessa, jossa toiminta ollaan sijoittamassa tärkeälle tai muulle vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueelle ja toiminta voi aiheuttaa pohjaveden pilaantumisen riskin. Mikäli maa-aineksen ottaminen voi aiheuttaa pohjavesiesiintymän määrän tai laadun muutoksia tai aiheuttaa haittaa vedenotolle tai sen käytölle talousvetenä, tulee toimintaan hakea myös vesilain mukainen lupa aluehallintovirastolta. (Ympäristöministeriö 2022.)

## 3.3 Murskauslaitokset

### 3.3.1 Murskauslaitosten yleispiirteet

Murskauslaitos suunnitellaan sen mukaan, millaista kiviainesta sillä ollaan murskaamassa, millainen on irtilouhitun kiven kalliogeologia ja kuinka suuri mesta työmaalla on. Mestalla tarkoitetaan osaa työmaasta tai tiettyä paikkaa työmaalla. Esimerkiksi murskauslaitokselle voidaan tarkastaa tai valmistella mesta, johon laitos saadaan perustettua. Erilaiset suunnitteluratkaisut vaikuttavat lopputuotteeseen sekä murskauslaitoksen kapasiteettiin. Murskauslaitos koostuu erilaisista murskaimista, seuloista ja kuljettimista, joiden yhteistoiminnalla päästään haluttuun lopputuotteeseen. Esimurskaimena yleisesti käytössä on järeä leukamurskain, jonka tarkoituksena on jauhaa

murskaimeen syötetty irtilouhittu kiviaines hienommaksi, jotta väli- ja jälkimurskaimien on tehokkaampaa työstää sitä. Leukamurskain kykenee myös vastaanottamaan suuremman määrän kiviainesta kerrallaan kuin väli- ja jälkimurskaimet. Kiviaines siirretään kuljettimilla seuraaviin murskaimiin, jotka voivat olla kartio-, kara- tai iskupalkkimurskaimia. Murskainten nimet ovat peräisin niiden toimintatavoista ja samalla murskausasemalla voi olla työmaalle soveltuva yhdistelmä erilaisia väli- ja jälkimurskaimia. Lisäksi murskausasemalla tarvittaessa voidaan käyttää murskaimia, joiden avulla pyritään vaikuttamaan esimerkiksi vain lopputuotteen raemuotoon. (Viilo, K. 2014, 3–1...4–2.)

Kiviaines kuljetetaan murskaimelta seuraavalle kuljettimien avulla. Murskainten ja kuljettimien lisäksi prosessiin kuuluu yksi tai useampi seulontalaitte. Seulontalaitteen avulla kiviaines saadaan käsiteltyä kustannustehokkaasti, eikä oikean raekoon tuote kierrä murskaimissa, mikäli tarvetta ei ole. Kun kiviaines on saatettu haluttuun lopputuotteen raekokoon, se kuljetetaan kuljettimen avulla omaan kasaansa. Laitoksella voidaan samanaikaisesti tuottaa yhtä tai useampaa eri raekokoista lopputuotetta. Lopuksi saatu tuote siirretään pyöräkuormaajalla varastokasaan. (Viilo, K. 2014, 3–1...4–2.)

### 3.3.2 Pyöräalustainen murskauslaitos

Pyöräalustainen murskauslaitos on sähkökäyttöinen laitos, johon voidaan yhdistellä haluttuja toimintoja, kuten esimurskain, kara- tai iskumurskain sekä haluttu määrä seulontalaitteita. Kuvassa 3 esitetään eräs Swerockilla käytössä oleva murskauslaitos. Pyöräalustainen murskauslaitos on suunniteltu siirrettäväksi, mutta harvemmin kuin tela-alustainen laitos. Laitoksen siirtämiseen tarvitaan muuta kuljetuskalustoa, eikä se ole siirrettävissä sellaisenaan. Pyöräalustaisen laitoksen murskauskapasiteetti on suurempi kuin tela-alustaisen ja se voi sisältää enemmän erilaisia toimintoja. Murskaimet valitaan kalliolaadun ja halutun lopputuotteen perusteella, jolloin murskauslaitoksesta saadaan mahdollisimman tehokkaasti toimiva ja huoltovapaa. Pyöräalustainen murskauslaitos tarvitsee usein toimiakseen

suuremman tilan kuin tela-alustainen laitos. Myös välimatkat esimurskan ja irtilouhitun kallion välillä voivat olla suurempia, jolloin pyöräalustaista murskausasemaa voidaan syöttää joko kaivinkoneella tai pyöräkuormaajalla. (Sandvik AB 2022.)



Kuva 3: Pyöräalustainen murskauslaitos Tuusulassa (Mikael Järvenpää, Swerock 2021)

### 3.3.3 Tela-alustainen murskauslaitos

Tela-alustainen murskauslaitos koostuu telojen päälle rakennetuista murskaimista, joita ovat esimerkiksi esimurskain, välimurskain ja seula. Kuvassa 4 esitetään eräänlainen tela-alustaisen murskauslaitoksen kokoonpano. Tela-alustainen murskauslaitos soveltuu myös ahtaammalle työmaalle ja se voidaan sijoittaa lähelle louhintaa, sillä vaunut siirretään louhinnan edestä ennen kentän räjäytystä. Laitosta syötetään yleisimmin kaivinkoneella. Murskausvaunut voivat olla sähkö- tai dieselkäyttöisiä ja niitä voidaan liikutella sellaisenaan. Tela-alustaiset murskaimet sopivat kiviainestointiin sekä mm. asfalttijätteen kierrätykseen. Murskauslaitos voi koostua yhdestä tai useammasta tela-alustaisesta murskaimesta ja seulasta

työmaan tarpeen mukaan. Tela-alustaiset vaunut siirretään työmaalla ajamalla paikasta toiseen. (Metso Outotec 2021.)



Kuva 4: Tela-alustainen murskauslaitos Salossa

### 3.4 Laatu

Murskattua kiviainesta voidaan käyttää esimerkiksi tien ja kadun rakennekerrosten rakentamiseen, jolloin niiden tulee täyttää kiviaineksen laadulle asetetut vaatimukset. Mikäli kiviainesta käytetään kestopäällysteen materiaalina, myös sen muodolle on omat ehtonsa. (Jääskeläinen, R. 2010, 173.)

Rakennuskohteeseen kiinteäksi osaksi tulevat tuotteet katsotaan rakennustuotteiksi, jolloin niille tarvitaan CE-merkintä. Ilman CE-merkintää tuote ei voi olla markkinoilla Suomessa eikä Euroopassa. Tällöin myös kiviaines tarvitsee EU:n rakennustuoteasetuksen mukaisen CE-merkinnän ja siitä vastaa valmistaja. CE-merkintä edellyttää valmistajalta tuotteen testauksia ja valmistusprosessin valvontaa. Mikäli valmistettava kiviaines kuuluu harmonisoidun tuotestandardin piiriin, standardi määrittää esimerkiksi mitä ominaisuuksia tuotteesta tulee selvittää ja ilmoittaa CE-merkinnässä, miten

tuotteen ilmoitettavat ominaisuudet todennetaan sekä tarvitaanko kolmannen osapuolen varmennusta ominaisuuksista. Maksimiraekooltaan yli 90 mm kiviaineksia, hiekoituskäyttöön tulevaa kiviainesta eikä rakennuskohteessa louhittua ja jalostettua sekä samassa kohteessa käytettävää kiviainesta tarvitse CE-merkitä. Suomessa Tukes valvoo CE-merkinnän käyttöä ja mikäli merkintää käytetään ilman merkinnän edellytyksiä, tuotteen myynti tai sen käyttö rakentamisessa voidaan kieltää. (Olin, T. 2015, 104–106.)

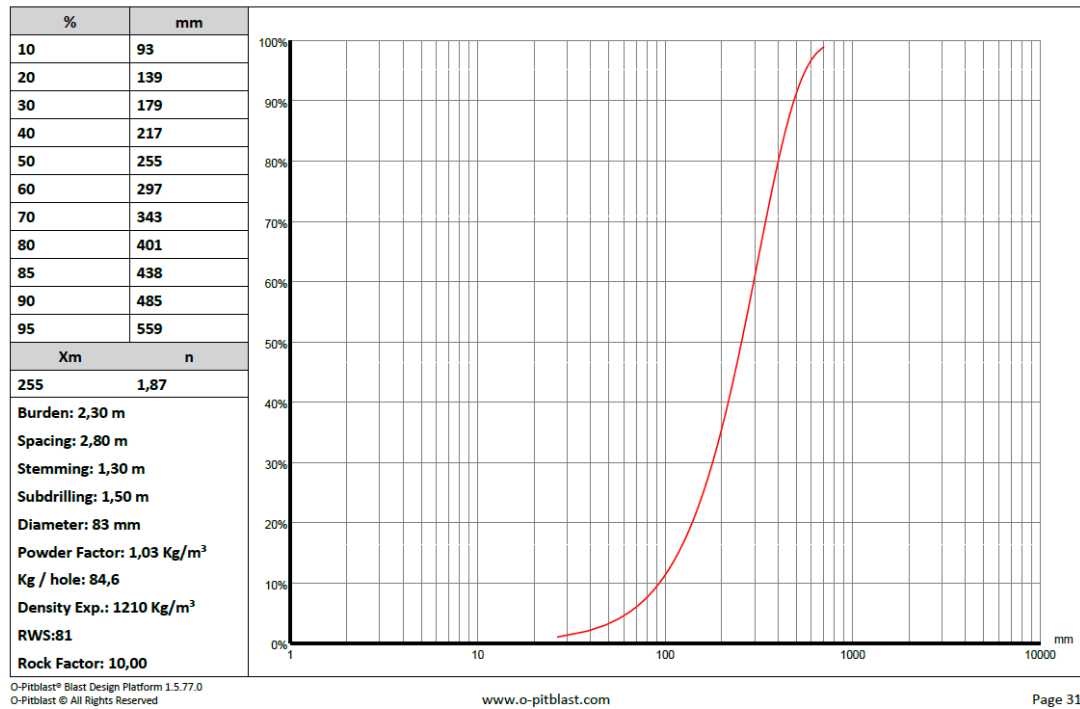
## 4 Louhinnan simulaatiomallit

### 4.1 Louhinnan mallinnusten lähtökohdat

Räjäytysten mallinnukset suoritettiin O-pitblast software -nimisellä tietokoneella käytettävällä simulaatio-ohjelmalla. O-pitblast on vuonna 2016 perustettu yritys, jonka tarkoituksena on kehittää teknologiaa avustamaan louhinta-alaa. Yritys tarjoaa erilaisia sovelluksia louhinnan suunnitteluun ja toteuman seurantaan. O-pitblast software on yksi O-pitblastin kehittämä tuote, joka on tuotettu yhteistyössä useiden louhinta- ja teknologia-alan yritysten kanssa. O-pitblast ohjelmistot ovat käytössä laajasti kansainvälisesti. (O-pitblast 2020.)

Simulaatioiden välillä vaihtuvia määreitä olivat räjähdysaineet, kentän ruutukoko sekä etutäyte. Kentän ruutukokoa muuttamalla räjähdysaineen määrän ollessa vakio myös ominaispanostus muuttui. Simulaatioiden perusteella eri kentistä saatiin teoreettiset louheikäyrät, panostusmetrit ja tarvittavat räjähdysainemäärät, jolloin louhinnan kustannukset saatiin laskettua.

Tavoitteena oli selvittää, saadaanko ominaispanostuksen muutoksella selkeitä muutoksia louheikäyrään ja ylisuurten yli 600 mm halkaisijaltaan olevien lohcareiden esiintymiseen. Ylisuuret lohcareet tulee rikottaa hydraulisella iskuvasaralla ennen kiviaineksen syöttämistä esimurskaan, jolloin louheen raekoon pienentyessä rikotuskustannusten tulisi pienentyä. Kuviossa 1 esitetään O-pitblast ohjelmistolla mallinnetun kentän louheikäyrä mallinnuksesta 4, jossa räjäytysaineena on käytetty emulsioräjähdysaine Kemiittiä. Raportin sivulta nähdään tietoja kyseisestä mallinnuksesta, kuten kentän ruutukoko, etutäyte, porareian halkaisija sekä ominaispanostuksen arvo. Rikotuskoneen työtehoa ja rikotukseen tarvittavaa työtuntimäärää lasketaan kokemuseräisen tiedon perusteella.



Kuvio 1: O-pitblast ohjelman raportin sivu, jossa kuvataan mallinnuksen louhekaäyrä (O-pitblast 2022)

Mallinnuksia varten mitattiin ja mallinnettiin yksi oikea kenttä, jonka päälle suunniteltiin uudet räjäytyskentät erilaisia ruutukokoja käyttäen.

Räjähdyksaineena käytettiin kolmessa simulaatiossa emulsioräjähde Kemiittiä ja kolmessa Anfoa eli irrallista räjäytysainetta. Todellisen kentän mallinnus suoritettiin emulsioräjähde Kemiitillä, jolloin todellinen kenttä otetaan emulsioräjähdemallinnusten vertailuun mukaan. Emulsioräjähdeaineella tehtyjä mallinnuksia verrataan keskenään kustannusten ja ylisuurten kivien mahdollisuuden tutkimiseksi ja Anfollla tehtyjä mallinnuksia verrataan keskenään.

## 4.2 Mallinnusten tulokset

### **Irrallisella räjähdysaineella Anfolla tehdyt mallinnukset**

Mallinnukset 1...3 toteutettiin irrallisella räjähdysaineella Anfolla.

Ominaispanostuksen arvot kaikissa kolmessa mallinnuksessa ovat todellisissa räjäytyksissä käytettävien ominaispanostusten arvoissa, jolloin tuloksia pystytään vertaamaan keskenään. Anfoa käytetään räjähdysaineena pääosin pienten kenttien räjäytyksessä tai sellaisissa kohteissa, joissa on tarpeen määrittää tarkasti, paljonko porareikään on panostettu räjäytysainetta. Emulsiopanostuksessa tarkan räjähdemäärän määrittäminen voi olla vaikeaa kalliossa mahdollisesti esiintyvien luostien vuoksi.

Anfolla suoritettujen mallinnusten ruutukoko vaihteli välillä 6,58 m<sup>2</sup> ja 5,15 m<sup>2</sup>. Pienimmällä 5,15 m<sup>2</sup> ruutukoolla ja tällöin suurimmalla ominaispanostuksella saadaan mallinnuksen perusteella läpimitaltaan pienintä louhetta. Tällöin 95 % louheesta on läpimitaltaan maksimissaan 472 mm, jolloin myös ylisuurten lohcareiden esiintyminen on todennäköisesti erittäin vähäistä. Suurimman 6,58 m<sup>2</sup> ruutukoon mallinnuksen perusteella 95 % räjäytyksen louheesta olisi maksimiläpimitaltaan 607 mm. Yli 600 mm halkaisijaltaan olevat lohcareet katsotaan ylisuuriksi, jolloin mallinnuksen perusteella tällä ruutukoolla ja ominaispanostuksella ylisuuria lohcareita esiintyisi todennäköisesti. Kolmannen mallinnuksen ruutukokona oli 5,90 m<sup>2</sup>. Tällöin 95 % louheesta olisi maksimiraekooltaan 541 mm. Ylisuurten esiintyminen olisi todennäköistä myös tämän mallinnuksen perusteella, mutta ylisuuria esiintyisi vähemmän kuin suurimman ruutukoon räjäytyksessä.

### **Emulsioräjähdysaine Kemiitillä tehdyt mallinnukset**

Mallinnukset 4...6 toteutettiin emulsioräjähdysaine Kemiitillä. Emulsioräjähdde pumpataan porareikään pumppuautolla. Swerockilla räjäytykset suoritetaan pääasiassa Kemiitillä, sillä työmailla usein räjäytetään kooltaan sellaisia kenttiä, joiden panostaminen on kustannustehokkaampaa Kemiitin avulla.



Mallinuksissa saadut ominaispanostuksen arvot ovat sopivan ominaispanostuksen vaihteluvälin sisällä ja tällöin ne ovat vertailukelpoisia keskenään. Yksi vertailuun otettavista louheikäyristä on todellisen räjäytetyn kentän perusteella tehdyn mallinnuksen tulos.

Mallinuksissa louheikäyrän louhekkoko pieneni oletetusti ominaispanostuksen kasvaessa ja tällöin myös kentän ruutukoon pienentyessä. Todellisen räjäytetyn kentän ruutukoko oli 7,44 m<sup>2</sup> ja pienin mallinnetuista kentistä oli ruutukooltaan 5,90 m<sup>2</sup>. Selvin ero louheikäyrissä oli mahdollisuus ylisuurten lohcareiden esiintymiseen. Todellisen kentän louheikäyrän perusteella 95 % louheesta on alle 649 mm halkaisijaltaan, josta osa on tällöin jo ylisuuria lohcareita. 90 % läpäisyllä irrotetun louheen läpimitta on 567 mm. Tarkastellessa pienimmän ruutukoon louheikäyrää, voidaan todeta 95 % louheesta olevan maksimissaan 516 mm läpimitaltaan, jolloin ero on huomattava mallinnusten välillä, kun otetaan huomioon myös kerrallaan räjäytettävän kallion kiintokuutiomäärä. Kolmannen mallinnuksen ruutukokona oli 6,44 m<sup>2</sup>. Erot kahden pienimmän ruutukoon louheikäyrissä eivät ole yhtä suuret. Vaikka 6,44 neliön ruudun mallinnuksen louhekkoko 95 % läpäisyllä on 559 mm, todennäköisyys ylisuurten lohcareiden esiintymiseen on pieni verrattuna todellisen kentän mallinnukseen.

#### 4.3 Johtopäätökset louhinnan mallinuksista

Ylisuurten lohcareiden esiintymisen todennäköisyyttä voidaan pienentää pienentämällä ruutukokoa ja tällöin kasvattamalla ominaispanostusta. Ylisuuria lohcareita esiintyy myös muista syistä kuin ominaispanostuksesta ja kentän ruutukoosta johtuen. Syitä ovat esimerkiksi lustat, kalliogeologian muutokset, porareian tukkeutuminen jään tai muun syyn vuoksi, porauksen virheet sekä aiemmasta räjäytyksestä jäänyt mahdollisesti epätasainen rintausta. Myös emulsiopanostuksessa tapahtuvat muutokset, kuten sen pumppaaminen väärällä nopeudella porareikään tai emulsioräjäytysaineen epäonnistunut paisuminen voivat johtaa ylisuuriin lohcareisiin räjäytyksessä.

Ominaispanostuksen muutoksella on mallinnusten perusteella hyvin suuri muutos louhekokoon, mutta kokonaiskustannuksia tarkastellessa tulee saada tasapainotettua avolouhinnan kustannukset verrattuna siihen, voidaanko tietyllä louhekoolla saada säästöä rikotuskustannuksissa tai lisättyä murskausaseman tehoa. Iskuvasarakonetta ei myöskään ole kustannustehokasta siirtää vain lyhyen ajan, esimerkiksi muutaman päivän vuoksi työmaalta toiselle. Suuremmilla pitkäkestoisilla työmailla räjäytyksiä voidaan suorittaa jopa kahden-kolmen viikon välein, jolloin voi olla kustannustehokkainta pitää iskuvasarakonetta työmaalla jatkuvasti, vaikkei rikotusta olisikaan päivittäin räjäytyksestä seuraavaan asti.

## 5 Murskauksen simulaatiomallit

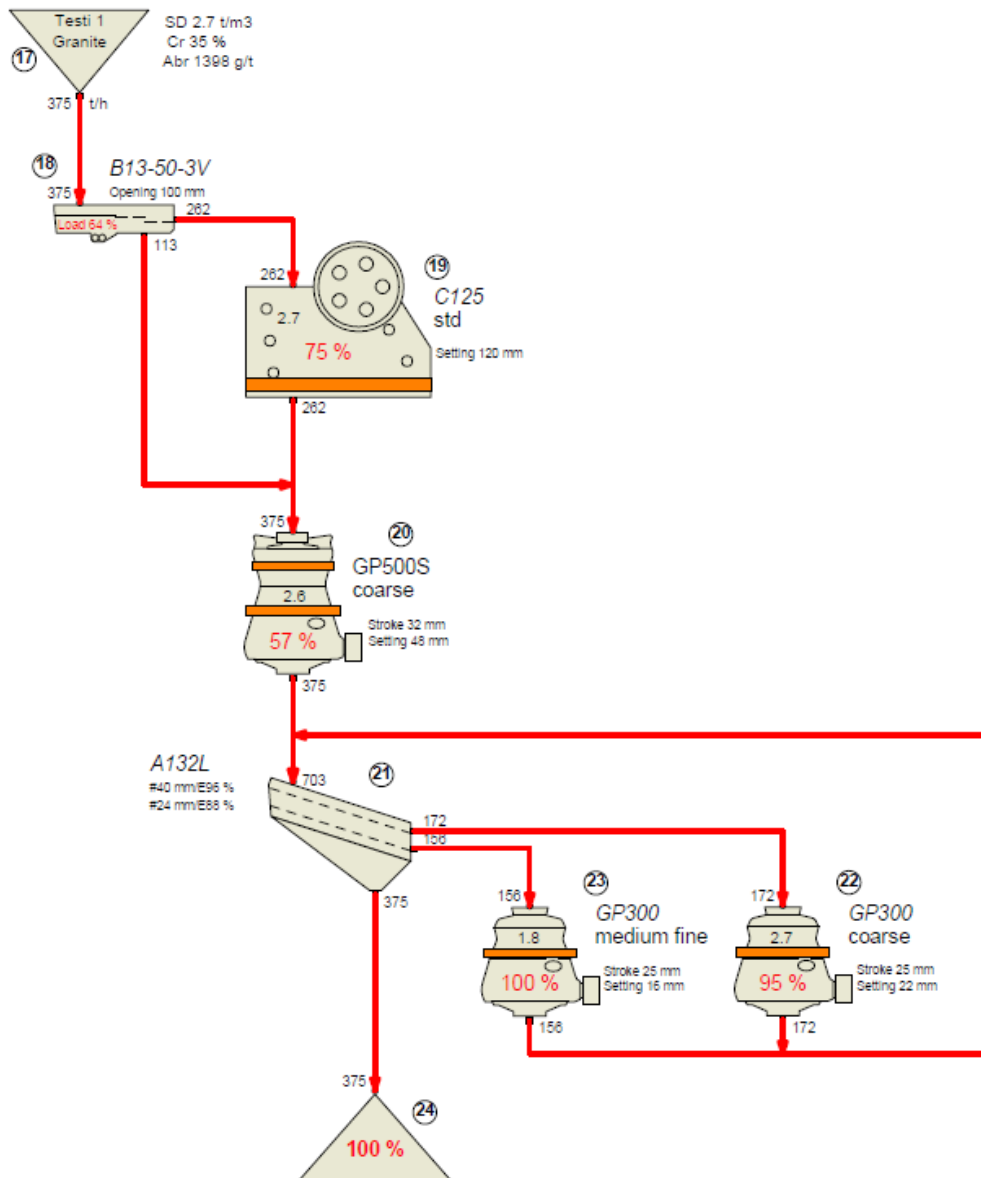
### 5.1 Murskauksen mallinnusten lähtökohdat

Murskausaseman kapasiteetin mallinnukset suoritettiin Metso mineralsin kehittämän Bruno-ohjelman avulla tietokoneella. Bruno-ohjelmalla pystytään mallintamaan erilaisia murskauslaitoksen kokoonpanoja ja tutkimaan, miten murskausprosessi ja tuotannon kapasiteetti muuttuu kun lähtötietoja muutetaan. Brunossa muuteltavia määreitä ovat mm. syötinten, murskaimien ja seulojen määrä ja tyyppi, syötetyn kiviaineksen louhekkoko ja ominaisuudet sekä halutun lopputuotteen raekoko. Bruno on kehitetty murskauslaitoksen kustannusten ja kapasiteetin tasapainottamiseen ja sillä voidaan suunnitella kokonaan uutta kokoonpanoa tai tutkia, saisiko nykyisestä kokoonpanosta muutoksilla lisää tuotantokapasiteettia. Ohjelmalla pystytään myös selvittämään, voisiko murskauslaitoksen kustannuksia saada pienennettyä, mikäli löydetään louheen ominaisuuksien perusteella ympäristöön sopivampia laitteita. Bruno on kehitetty ja sitä kehitetään edelleen kokemusperäisen tiedon pohjalta. Ohjelma on luotu vuonna 1994 ja vuonna 2019 Brunolla oli jo 8500 käyttäjää ympäri maailman, jolloin kokemusperäistä tietoa ohjelman kehittämiseen on ollut hyvin laajalti. (Pursio, S. 2019.)

Bruno-ohjelmaan luotiin kopio Swerockin käytössä olevasta pyöräalustaisesta murskauslaitoksesta, jonka jälkeen valittiin tarkasteltavaksi kolme erilaista louhekkäyrää louhinnan mallinnoista. Mallinnettaviksi valittiin kaksi Anfolla saatua louhekkäyrää sekä yksi Kemiitillä saatu käyrä. Mallinnusten perusteella voidaan selvittää, saisiko murskauslaitoksen kapasiteettia lisättyä tietynlaisella louheella. Pyöräalustaisilla murskauslaitoksilla murskainten määrä on suurempi kuin tela-alustaisilla murskausasemilla. Tällöin myös murskausprosessi on monivaiheisempi pyöräalustaisella murskauslaitoksella. Swerockilla on useita pyöräalustaisia sekä tela-alustaisia murskauslaitoksia ympäri Suomen.

## 5.2 Mallinnusten tulokset

Mallinnusten perusteella louheikäyvä ei vaikuta murskausaseman kapasiteettiin. Syötetyn louheen koko vaikuttaa esimurskaimen kuormitustasoon, muttei merkittävästi. Mallinnusten perusteella kolmannen vaiheen murskaimen kapasiteetti ja teho määrittää koko murskausaseman tuotannon tason. Erilaiset louhekoot eivät vaikuta laitoksen kapasiteettiin, jolloin lopulta haluttua lopputuotetta mallinnetulla murskauslaitoksella saadaan noin 375 tonnia tunnissa. Mallinnukset tehtiin kahdella erilaisella lopputuotteen raekoolla, joista suuremmalla lopputuotteen raekoolla erot mallinnusten välillä olivat häviävän pieniä. Pienentämällä lopputuotteen raekokoa, nähtiin mallinnusten välillä esimurskaimen kuormituksen olevan suurempi, kun sinne syötettiin suurempaa louhetta. Esimurskaimen murskauskapasiteetti vaihteli mallinnusten välillä 262 tn/h arvoon 291 tn/h, mutta mallinnetulla asemalla tämä ei vaikuta lopputuotteen tuotantokapasiteettiin, sillä esimurskaimen jälkeen tuleva kolmannen vaiheen murskaimen teho ja kapasiteetti määrittää aseman maksimituotannon tason. Kuviossa 2 esitetään näkymä Bruno-ohjelman raportista. Kuvasta nähdään murskainten, seulojen ja syöttimien määrä mallinnetussa asemassa, haluttu lopputuotteen raekoko sekä millaisella tn/h kapasiteetilla murskaimet toimivat. Kuvion alaosassa esitetään koko laitoksen tn/h kapasiteetti.



Kuvio 2: Näkymä Bruno-ohjelman raportista (Metso Outotec 2022)

### 5.3 Johtopäätökset murskauksen mallinnoista

Murskauslaitoksella, jossa murskaus tapahtuu kolmessa tai useammassa vaiheessa, jälkimurskain tai jälkimurskaimet määrittelevät laitoksen tuotantokapasiteetin. Irtilouhitun kiviaineksen louhekkoko ei vaikuta murskauslaitoksen kapasiteettiin laskennallisesti tässä tilanteessa. Mikäli murskauslaitos toimii vain kaksivaiheisena, louhekoolla saattaa olla vaikutuksia murskauksen kapasiteettiin. Tällöin voisi olla mielekkäämpää tarkastella

mahdollisia muutoksia louhekokoon. Murskauslaitoksen kapasiteettiin vaikuttaa kuitenkin myös moni muu asia kuin pelkkä louhekoko, kuten murskainten huollot, kallion laatu ja kovuus sekä esimerkiksi murskauslaitoksen syöttämisessä tapahtuvat muutokset.

Laitoksen tuotantokapasiteettiin vaikuttaa myös kerrallaan syötetyn louheen laatu ja miten louhe murskautuu esimerkiksi esimurskaimessa ja minkä kokoista seuraavaan murskaimeen siirtyvä syöte on eli murskainten murskaussuhde. Murskaussuhteella tarkoitetaan murskaimen syötteen ja sieltä tulevan tuotteen jakaumakäyrän 50 % läpäisyn raekokoa. Murskaussuhteen kasvaessa myös murskaimen tehontarve kasvaa. Käytännön kokemuksen perusteella räjäytetyn louheen louhekoolla saattaa olla merkitystä murskausprosessin tuotantokapasiteettiin, mutta teoreettisesti kun murskausprosessi mallinnetaan simulaatio-ohjelmalla tulokset esittävät muuta. Laitoksen syöttämisessä saattaa esiintyä lisäksi taukoja esimerkiksi kivipulasta johtuen tai kun seuraavan kentän räjäytystä ei ole saatu suoritettua ennen kuin vanhan räjäytyksen louhe on ehtinyt loppua tai työntekijöiden taukojen vuoksi, mikäli syöttökoneen kuljettajaa ei ole toinen työntekijä sijaistamassa tauon aikana.

## 6 Kustannukset

### 6.1 Kustannustarkastelun lähtökohdat

Vertailussa rikotuskoneen kustannuksia ei lasketa suoranaisesti, vaan tarkastellaan esiintyvien ylisuurten lohcareiden rikottamiseen kuluvaan aikaa. Kentän räjäytyksestä seuraa aina ylisuuria kiviä, johtuen muun muassa kallioperän muutoksista, lustista sekä aiemman räjäytetyn kentän kynsistä tai kallion kannen rakoilusta. Rikotuskoneen lasketaan työskentelevän päiväkohtaisesti 8 tuntia työmaalla, mutta mikäli rikotusta ei tarvita räjäytyksestä seuraavaan räjäytykseen päivittäin, ajatellaan koneen siirtyvän sellaiselle työmaalle, jossa se tarvitaan työskentelemään. Kone palaa takaisin työmaalle seuraavan räjäytyksen jälkeen. Räjähdeaineiden kustannuksina käytetään Forcit Groupin 02/2022 hinnastoa nalleille ja räjähdeaineille. Hinnat ovat voimassa alkaen 21.3.2022. Kustannuksia seuraa myös iskuvasarakoneen siirroista, jolloin lyhytaikaiset siirrot eivät ole kokonaiskustannusten kannalta järkeviä. Iskuvasarakoneen kuljettaja voi tällöin esimerkiksi suorittaa huoltoja tai avustaa muita työntekijöitä ennen seuraavan kentän räjäytystä. Kustannusten laskennassa vertailuhintana käytetään todellisesta kentästä seuraavia kustannuksia ja iskuvasarakoneen työtuntimäärää.

### 6.2 Louhinnan kustannukset

Laskettaessa kustannukset jokaisesta O-pitblast -ohjelmalla suoritetusta louhinnan mallinnuksesta ja verrattaessa niitä todellisen kentän räjäytyksen kustannuksiin, kustannukset luonnollisesti kasvavat kun ominaispanostus kasvaa ja kentän ruutukoko pienenee. Emulsioräjähdeaine Kemiitillä suoritetuissa mallinuksissa porauksen ja panostuksen kustannusten vaihteluväli on huomattavasti pienempi kuin irrallisella räjähdeaine Anfollla suoritettujen mallinnusten kustannusten vaihteluväli. Kustannuksia tarkastellessa laskenta suoritettiin erilaisilla reikien kokonaislukumäärillä, jolloin voidaan vertailla eroja työmaiden kesken. Mikäli jokin työmaa kestää ajallisesti

vähemmän aikaa kuin toinen, silloin myös louhintaa kokonaisuudessaan suoritetaan mahdollisesti vähemmän ja kerrallaan räjäytettävän kentän koko saattaa vaihdella työmaiden välillä. Suuremmalla kenttäkoolla eri mallinnusten välisten kustannusten prosentuaalinen vaihteluväli on pienempi kuin pienemmällä kenttäkoolla. Emulsioräjähdde Kemiitillä suoritettujen toisen mallinnuksen ja todellisen räjäytetyn kentän kustannusten ero on pienemmällä kenttäkoolla 12,1 prosenttiyksikköä ja suuremmalla kenttäkoolla 5,35 prosenttiyksikköä, toisen mallinnuksen ollessa kustannuksiltaan kalliimpi kuin todellisen kentän mallinnus. Kustannusten ero saattaa joissain tapauksissa kasvaa huomattavaksi, mikäli louhintaa suoritetaan työmaalla useamman kerran vuodessa.

### 6.3 Rikotuskoneen kustannukset

Mikäli rikotuskustannuksia tarkastellaan mallinnusten louheikäyrien perusteella, voidaan arvioida ylisuurten esiintymistä räjäytetyn louheen seassa ja arvioida rikotuskoneen työtuntimäärää. Vertailuarvona käytetään todellisen kentän louheikäyrää, jossa esiintyy 95 % läpäisyllä maksimissaan 649 mm läpimitaltaan olevia kiviä. Kentän koosta riippuen rikotuskoneelta menisi 8 tunnin työpäivinä yhteensä 8-11 päivää rikottaa louheikäyrän ennustama määrä ylisuuria lohkarkeitä.

Kun laskenta suoritetaan louheikäyrille, joiden perusteella irrotettu louhe on hienompaa, rikotuskoneen työtuntimäärä pienenee muutamasta päivästä kuuteen päivään. Tällöin voi olla mielekkäämpää räjäyttää karkeampaa louhetta, sillä rikotuskoneen siirtokustannusten vuoksi iskuvasarakonetta ei ole kustannustehokasta siirtää työmaalle muutaman työpäivän vuoksi. Joissain tapauksissa murskauslaitoksen syöttötavasta riippuen, ylisuuret lohkareet voidaan siirtää kauemmas syöttöpaikasta, jolloin iskuvasarakonetta ei tarvita työmaalla jokaisen räjäytyksen jälkeen. Murskauslaitoksilla, joita syötetään pyöräkuormajalla, ylisuurten lohkarkeitä siirtäminen syöttöpenkasta kauemmas voi aiheuttaa laitokselle turhia taukoja. Pienemmällä kaivinkoneella syötettävillä murskauslaitoksilla voidaan päästä kokonaiskustannuksissa



säästöihin optimoimalla louhekkoko ja iskuvasarakoneen käyttö työmaalle sopivaksi, sillä pienemmällä murskauslaitoksella myös syötettävän louheen koko saattaa vaikuttaa laitoksen kapasiteettiin toisin kuin useampivaiheisessa murskausprosessissa.

## 7 Haastattelut

### 7.1 Haastattelujen tausta

Haastattelut toteutettiin kymmenelle Swerockin toimihenkilölle. Haastateltaviksi valittiin eri puolella Suomea työskenteleviä louhinnan sekä murskauksen työnjohdossa työskenteleviä henkilöitä. Haastatteluissa pyrittiin selvittämään louhinnassa aiheutuneita työturvallisuuspoikkeamia, niiden syitä ja voitaisiinko louhinnan ja murskauksen yhteistyön kustannustehokkuutta optimoida. Haastattelujen tulosten perusteella nähdään, tulisiko yhteistyön optimointia suorittaa ja missä määrin. Murskaustyömaan johtajista osa työskentelee pyöräalustaisilla murskauslaitoksilla ja osa tela-alustaisilla murskauslaitoksilla. Näissä louhinnan työolosuhteet kuten kalliogeologia ja työmaiden koko vaihtelevat ja murskauksen osalta murskauskalusto ja sen koko eroavat toisistaan, jolloin erilaisilla asemilla työskentelevien haastatteluun pyrittiin saamaan erilaisia näkökulmia yhteistyöhön ja sen laatuun. Haastateltavista toimihenkilöistä viisi työskentelee louhinnan parissa ja viisi murskaustyömaan johtotehtävissä. Osa nykyään murskausasemalla työskentelevä on aiemmin urallaan työskennellyt louhinnan tehtävissä ja osa nykyään louhinnassa työskentelevistä on aiemmin tehnyt murskaustyötä. Haastateltujen henkilöiden työurien pituudet alalla vaihtelivat alle viidestä vuodesta yli 30 työvuoteen.

### 7.2 Haastattelujen tulokset

#### **Yhteistyön vaikutukset kustannuksiin**

Louhinnassa ja murskauksessa pyritään suorittamaan työ hyvässä yhteistyössä ja ennen louhinnan aloitusta käydään läpi millaiseen louhekokoon pyritään kyseisellä työmaalla. Tilanteessa, jossa irrotettu louhe ei ole halutunlaista, voidaan yhdessä murskaustyömaan ja louhintapäällikön kanssa pohtia epäonnistuneeseen louhintaan vaikuttavista asioista. Tällöin molemmat osapuolet saavat tuotua näkemyksensä esille. Lähes kaikissa tapauksissa

muutokset lohkarekoossa ovat seurausta kalliogeologian muutoksista. Mikäli tietyllä louhekoolla pystyttäisiin nostamaan murskauslaitoksen kapasiteettia, murskaustyömaa voisi olla valmis maksamaan louhinnasta enemmän.

Kokonaiskustannuksiin kuitenkin vaikuttaa moni asia, eikä louhekoon muutos sopivammaksi välttämättä pienennä murskauksen ja louhinnan lopullisia kustannuksia. Pyrkimällä pienentämään ylisuurten lohkareiden esiintymistä irtilouhitun kiven seassa, voitaisiin päästä kustannussäästöihin, kun rikotuskonetta tarvittaisiin työmaalla vähemmän aikaa.

Työnjohtajien kesken yhteistyö on pääosin toimivaa, keskusteluyhteyttä ei ole kuitenkaan aina ole helppoa löytää. Yhteistyöhaluttomuuden syy voi löytyä henkilökemioista tai siitä, että toinen osapuoli keskittyy enemmän itsenäiseen työnsuorittamiseen. Aina kyse ei ole yhteistyöhaluttomuudesta, vaan suunnitelmien puutteellisuudesta tai informaatiokatkoista. Joissain tapauksissa aloituskokous pidetään liian suppeana tai siihen ei osallisteta kaikkia tarvittavia osapuolia ja tällöin joku projektissa mukana oleva jää ilman tarvittavia tietoja hankkeesta. Aloituskokouksen sekä työmaakokousten huono toteutus voi aiheuttaa ongelmia yhteistyöhön tai vaikuttaa kustannuksiin, kun saatavilla ei ole tarkkoja ja viimeisimpiä tietoja työmaasta. Osallistamalla kaikki tarvittavat osapuolet työmaakokouksiin, parannetaan ennen kaikkea yhteistyön sujuvuutta.

### **Aluesuunnittelun vaikutus louhintaan ja murskaukseen**

Murskausaseman sijoittelu suhteessa louhintaan vaikuttaa kustannuksiin välillisesti. Liian lähelle sijoitettu pyöräalustainen murskauslaitos saattaa kärsiä vaurioita räjäytyksestä, mutta liian kauas sijoitettuna työkoneiden kustannukset kasvavat. Mikäli murskauslaitos on sijoitettu lähelle louhintaa, tulee panostusta muokata niin, ettei murskausaseman laitteisto vaurioidu. Yhteistyössä suoritettulla aluesuunnittelulla pyritään optimoimaan työkoneiden kantomatka sekä louhinnan työolot. Kuitenkaan aina murskausaseman sijoittelua mestassa ei tehdä yhteistyössä osapuolen välillä. Tela-alustainen murskauslaitos siirretään ennen jokaisen kentän ampumista, jolloin niiden aluesuunnittelussa ei ole samanlaisia riskejä.

Hyvällä aluesuunnittelulla pystytään suunnittelemaan louhinnan rintausta niin, että saadaan räjäytettyä kaksi kenttää eri aikoina. Tällöin koko edellisen räjäytyksen louhekasaa ei ole tarvinnut saada syötettyä murskausasemalle ennen kuin seuraava kenttä voidaan räjäyttää. Näin pystytään optimoimaan louhinnan työnjohtajan ajankäyttö ja samalla työmaalla oleva toinen mahdollinen kenttä voidaan räjäyttää, kun se on louhinnan työnjohtajalle optimaalista. Tässä tapauksessa ei myöskään ole vaarana murskausaseman syötön katkeaminen louhepulan vuoksi. Aluesuunnittelussa korostuu osapuolten välinen kommunikaatio, jolloin kentän räjäyttäminen tehdään murskausasemalle ja louhijalle otollisimpana ajankohtana. Aluesuunnitteluun sisältyy myös louhintaa ja murskausta edeltäviä toimenpiteitä, kuten pintamaiden poistoa louhittavalta kalliolta. Louhinnan edetessä ongelmaksi on joissain tapauksissa muodostunut pintamaiden poiston hitaus tai puutteellisuus. Mikäli kallio on putsattu puutteellisesti, voidaan joutua räjäyttämään epäotollinen kenttä, josta seuraa suuri määrä ylisuuria lohkaraita. Osassa työmaista tarkkan aluesuunnitelman laatiminen ei ole tarpeellista, sillä mestat ovat niin pieniä.

### **Rikotuskoneen käytön ja räjäytyskatkojen optimointi**

Rikotuskoneen työskentelyaika määritellään lupaehdoissa ja rikotuskoneen kuljettaja työskentelee pääasiassa 8 tuntia vuorokaudessa työmaalla. Mikäli räjäytyksestä on seurannut suuri määrä ylisuuria, rikotuskoneen kuljettaja voi työskennellä työmaalla yli 8 tuntia, kuitenkin lupaehtojen sanelemana aikana. Rikotuskoneen käyttöä pyritään optimoimaan, kun siihen on tarvetta. Murskaustyömaan työnjohtaja viettää pääosan ajasta rikotuskoneen kanssa samalla työmaalla, jolloin murskaustyömaan johtajan on helpompi tarvittaessa optimoida rikotuskoneen käyttöä. Rikotuskoneen käytön optimointiin ei koeta tarvetta, mikäli rikotuskoneen kuljettajan katsotaan olevan alansa ammattilainen. Kuitenkaan aina rikotuskoneen käyttö ei vaikuta olevan optimoitua, jolloin koneen työskentelyä seuraamalla ja kuljettajaa ohjeistamalla voitaisiin päästä kustannussäästöihin. Rikotuskoneen käytön optimoinnista tulisi

keskustella työnjohtajien kesken ja miettiä mahdollista seurantaan, mikäli toinen osapuolista kokee siihen tarvetta.

Räjätyskatkojen pituudet ovat pitkälti optimoituja. Useimmissa tapauksissa räjäytykset sovitaan alustavasti tietyksi päiväksi ja räjäytysaika tarkentuu päivän lähestyessä. Louhinnan työnjohtaja ilmoittaa murskauslaitokselle hyvissä ajoin räjäytykselle suunnitellun ajan, jolloin murskaustyömaan johtaja pystyy informoimaan työmaahenkilöstöä. Tällöin murskaustyömaalla osataan varautua räjäytyksen ajankohtaan, eikä louhinnan työalueen tyhjentäminen tule yllätyksenä, eikä esimerkiksi työkoneiden tankkauksia aloiteta silloin kuin alue tulisi tyhjentää. Tämä parantaa osaltaan myös työturvallisuutta. Räjäytyksiä voidaan suunnitella toteutettavaksi myös tiedettäväksi remonttipäiviksi tai ajankohtana, jolloin murskauslaitosta ei ole vielä siirretty tiettyyn mestaan. Lentokentän läheisyydessä räjäytettäessä tarvitaan lennonjohdolta lupa räjäytykseen, mutta tämäkään ei ole pidentänyt työmailla katkojen pituuksia, sillä lupa on saatu tiedettävissä tapauksissa aina nopeasti. Kivipulasta tai syötettävän louheen loppumisesta seuranneet katkot ovat aiheuttaneet suurempia kustannuseriä murskaustyömaille kuin räjäytyskatkot. Myös muun henkilöstön kuin työnjohtajien yhteistyö vaikuttaa työssä esiintyviin katkoihin. Vaikka louhinta ja murskaus ovat omia kustannusyksiköitään, henkilöstön osapuolen tarvitessa apua on yhteinen etu antaa apua puolin ja toisin.

### **Työturvallisuus louhinnassa**

Työturvallisuus louhinnan aikana on erittäin hyvä. Räjäytykseen liittyen ei ole sattunut henkilövahinkoja, mutta satunnaisesti on tapahtunut laitevahinkoja. Sattuneet laitevahingot ovat saattaneet johtua heikosta aluesuunnittelusta, kalliogeologian yllättävistä muutosista poratussa kentässä tai porauksen virheistä. Laittevahingot ovat liittyneet murskauslaitokseen sinkoutuneisiin kiviin. Räjäytyksen aikana alue tyhjennetään ihmisistä, joten henkilövahinkojen vaaraa ei esiinny. Työturvallisuus on tärkeä osa työtä ja sitä ylläpidetään hyvässä yhteistyössä. Räjäytystä edeltävissä työvaiheissa kallion päällä oleva lumi ja jää voivat joissain tapauksissa aiheuttaa loukkaantumisvaaran työmaalla.

Rikotuksen aikana on sattunut satunnaisia laiterikkoihin johtaneita työturvallisuuspoikkeamia, vaikka työturvallisuus rikotuksen aikana on pääosin hyvä. Rikotuskoneen kuljettajan tulee tarkkailla ympäristöään ja mikäli rikotuskoneen lähelle siirtyy muita työkoneita tai ajoneuvoja, tulee rikotus keskeyttää. Vaaratilanteita voi syntyä, mikäli työmaalla olevassa työkoneessa tai ajoneuvossa ei ole LA-radiopuhelinta, jolla kuljettajat saavat yhteyden toisiinsa. Murskaustyömailla, joilla sijaitsee myös kiviaineksen myyntipiste, voi kiviainesta hakeva ajoneuvo ajaa liian lähelle rikotusta ja aiheuttaa turvallisuusriskin tai aiheuttaa toiminnallaan turhia taukoja rikotukseen.

## 8 Johtopäätökset

Informaatiokatkokset ja liian suppeana pidetyt aloitus- ja työmaakokoukset aiheuttavat työn tekemisessä turhia katkoja ja kustannuksia. Kokouksiin ja palavereihin tulee sisällyttää kaikki työmaan osapuolet tai vähintään tiedottaa kokousten ulkopuolisia osapuolia, jotka voivat tarvita tietoja hankkeen etenemisestä. Hyvä ja saumaton yhteistyö parantaa niin työilmapiiriä, kustannustehokkuutta kuin työturvallisuuttakin. Pääasiassa työyhteisössä yhteistyö on toimivaa ja suurimmat puutteet liittyvätkin kokous- ja palaverikäytäntöihin. Joissain hankkeissa epäaktiivisesti osallistuva osapuoli jätetään viimeisimpien tietojen näkökulmasta pimentoon, vaikka pidemmällä aikavälillä henkilö kuitenkin on osallisena hankkeessa.

Louhinta sekä kiviainestoiminta ovat yrityksessä erillisiä kustannuspaikkoja, mutta molemmat kustannuspaikat suorittavat työtä saman lopputuloksen saavuttamiseksi. Tällöin jokaisen työmaalla olevan työntekijän sekä työnjohtajan on suotuisaa auttaa toisiaan tarpeen vaatiessa. Mikäli porausvaunun tai esimerkiksi iskuvasarakoneen kuljettaja tarvitsee apua murskauslaitoksen työntekijältä, olisi hyvä päästä tilanteeseen, jossa työntekijät uskaltavat matalalla kynnyksellä pyytää apua puolin ja toisin. Työturvallisuus on haastattelujen perusteella työmailla erittäin hyvä. Työntekijät sekä työnjohtajat havainnoivat työturvallisuustilanteita ja riskikohteita jatkuvasti sekä työmailla suoritetaan viikottaisia turvallisuusmittauksia. Työntekijöiden tulee mahdollisia riskejä havaitessaan raportoida ne välittömästi eteenpäin, jolloin voidaan mahdollisimman hyvin välttyä työturvallisuuspoikkeamilta.

Murskauksen simulaatiomallinnusten perusteella räjäytetyn louheen louhekoko ei vaikuta teoreettisesti useampivaiheisen murskauslaitoksen kapasiteettiin, mutta kokemusperäisen tiedon perusteella tällä voisi olla vaikutusta. Mielekästä voisi olla kerätä murskauslaitoksilta sekä louhinnasta yhteistyöllä enemmän kokemusperäistä tietoa, mikäli pyritään pääsemään kokonaiskustannusten optimointiin nykyistä tarkemmin.

Aluesuunnittelun vaikutus työmaan kustannuksiin kasvaa sitä suuremmaksi, mitä pidempi ja laajempi työmaa on kyseessä. Tela-alustaisia murskauslaitoksia käytetään pääasiassa pienemmillä työmailla ja laitteet siirretään louhinnan edestä ennen jokaista räjäytystä, jolloin aluesuunnitelman merkitys on pienempi kuin pyöräalustaisten murskauslaitosten kohdalla. Louhinnan edetessä pyöräalustainen murskauslaitos saattaa jäädä huomattavan kauan syöttöpenkasta, jolloin murskauslaitoksen syöttökustannukset kasvavat. Tästä syystä louhinnan eteneminen ja mahdollisuus räjäyttää kenttää eri puolilta rintausta tulee huomioida jo ennen murskauslaitoksen siirtymistä tietylle työmaalle. Myös työmaateiden käyttö ja niiden sijoittelu on huomioitava erityisesti työmailla, jotka ovat pitkäkestoisia tai niissä on louhinnan ja murskauksen lisäksi myyntipistelastausta. Työmaateiden ja myyntipistelastaukseen käytettävien kulkuväylien yhteensovituksessa tulee huomioida erityisesti työturvallisuus, eikä myyntipistelastaukseen käytettävien kulkuteiden tulisi sijaita lähellä rintausta, jolloin iskuvasarakoneen työskentelystä saattaa olla haittaa alueella liikkuville ajoneuvoille.

Työssä esiin tulleilla havainnoilla voidaan työmailla päästä kustannussäästöihin, ottaen huomioon mitkä toimenpiteet ovat sopivampia tela-alustaisille murskauslaitoksille ja mitkä pyöräalustaisille. Myöskään kaikilla Swerockin työmailla ei ole mahdollisuutta useampien kenttien räjäyttämiseen tai poraamiseen ennen kuin vanha irtilouhittu kiviaines on syötetty laitokselle, jolloin tuloksia sovellettaessa tulee ottaa huomioon myös työmaan koko ja aikataulu.



## Lähteet

Jääskeläinen, R. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Metso Outotec 2021. Lokotrack® LT-sarjan mobiilimurskaimet – Liikuteltavat tela-alustaiset murskauslaitteet. Tuotekuvaus. Viitattu 8.2.2022.

<https://www.mogroup.com/fi/portfolio/lokotrack-lt-sarja/>

Olin, T. 2015. Infrarakentajan ympäristöopas. 1. painos. Tampere: Tammerprint Oy.

O-pitblast 2020. About us. Viitattu 1.4.2022. <https://www.o-pitblast.com/about/>

Paalumäki, T.; Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3., uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Pinomäki, T. & Vuento, A. 2017. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. 10. painos. Joensuu: PunaMusta.

Pursio, S. 2019. Q&A: Bruno simulation software for optimizing aggregate production. Viitattu 30.4.2022.

<https://www.mogroup.com/insights/blog/aggregates/bruno-simulation-software-explained/>

Sandvik AB 2022. Wheeled crushers and screens. Tuotekuvaus. Viitattu 8.3.2022. <https://www.rockprocessing.sandvik/en/products/Mobile-crushers-and-screens/wheeled-products/>

Viilo, K. 2014. Crushing and screening handbook. 6. painos. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy.

Vuolio, R. & Halonen, T. 2019. Räjätysopas. 6., tarkistettu painos. Helsinki: Rakennustieto.

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

Ympäristöministeriö 2022. Maa-ainesten ottamiseen liittyvät luvat ja ilmoitus. Viitattu 19.3.2022. <https://www.ymparisto.fi/fi->

[fi/asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/luvat\\_ilmoitukset\\_ja\\_rekisterointi/maaainesten\\_ottamiseen\\_liittyva\\_ilmoitus\\_ja\\_luvat](#)