



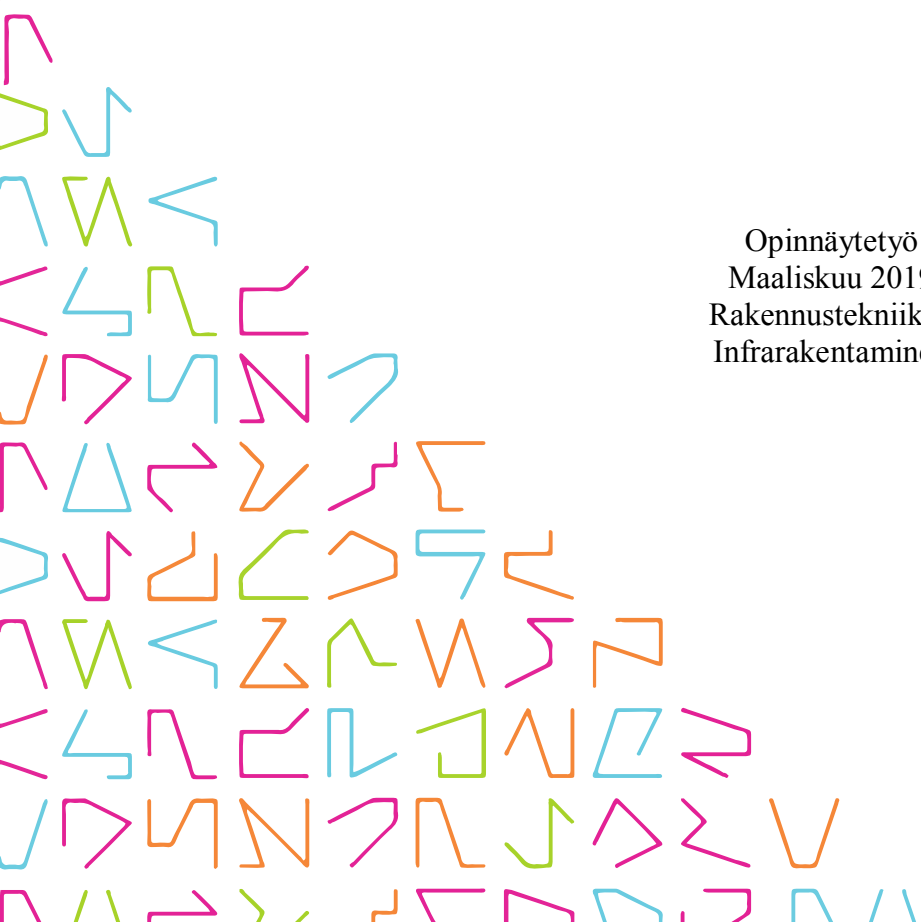
TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Kallion murskaus raitiotielinjalla

Selvitystyö tuotannon tehostamiseksi

Antti Kärnä

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2019
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

KÄRNÄ, ANTTI:
Kallion murskaus raitiotielinjalla
Selvitystyö tuotannon tehostamiseksi

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Maaliskuu 2019

Tämä opinnäytetyö laadittiin Tampereen Raitiotieallianssille. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi NRC Group Finland Oy, joka on yksi Raitiotieallianssin palveluntuottajaosapuolista. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kallion murskauksen edellytykset väylällä, sekä tutkia mitä asioita tulee huomioida murskaustyön onnistumiseksi. Tämä opinnäytetyö on selvitystyö, jonka tavoitteena on tehostaa allianssihankkeen väylällä tapahtuvaa kallion murskausta sekä siihen liittyviä toimintoja.

Selvitystyön teoriaosuuteen kerättiin tietoa toimintaan liittyvistä lakipykälästä, tuotannosuunnittelusta ja ohjaamisesta, sekä murskaustyön toimintaperiaatteista. Tutkimusosuus perustuu raitiotiehankkeen toteutuneisiin kallion murskauksiin, asiantuntijahaastatteluihin sekä työn laatijan omiin havaintoihin työmaalla vuosien 2017 – 2019 aikana. Tutkimuksen murskauskohteet poikkesivat toisistaan huomattavasti niin kokoluokaltaan, kuin toimintaympäristöltäänkin, mikä toi tutkimukseen monipuolista havainnointia.

Tutkimuksesta selvisi, että murskaustoiminnan suorittaminen tehokkaasti ja taloudellisesti raitotieväylällä taajamaympäristössä vaatii todella laajaa tuotannon suunnittelua sekä asiantuntemusta. Työn aikana kävi ilmi, kuinka monipuolista olemassa oleva murskauskalusto on ja kuinka murskaustyötä ostavalla osapuolella ei välttämättä ole riittävän hyvää tietämystä murskaustoiminnasta. Myös kiviainesten käyttökohteista nousi esiin ongelmia, joihin hyvin usein liittyi jollain tasolla tietämyksen puute sekä kommunikointi-ongelmat.

Johtopäätöksenä opinnäytetyöstä voitiin todeta, kuinka murskaustoimintaa suunniteltaessa tulisi jalostettavan kiviaineksen laatuvaatimuksiin sekä olemassa olevaan murskauskalustoon perehtyä tarkemmin, kuitenkin unohtamatta muuta tuotannon yhteen sovittamista. Samoin tulisi hankkeen kiviainesten käyttöä tehostaa paremmalla kommunikoinnilla.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

Kärnä, Antti:
Rock Crushing on the Tramline Site
A study to improve production

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 5 pages
March 2019

This thesis was made for Tampere Tramway Alliance. The thesis was commissioned by NRC Group Finland Oy, one of the service providers of Tramway Alliance. The purpose of the thesis was to investigate rock crushing conditions on the tramline construction site, as well as to examine what matters should be considered in order to succeed in the crushing work. This thesis is a study aimed to improve the rock-crushing and related activities in the Alliance project.

Activities related to legal clauses, production planning and control, and the working principles of crushing work were examined to form the theory section of this study. The research section is based on information about the actual rock crushing done in the tramway project, expert interviews and the work of the author's own observations at the work site between 2017 and 2019. The crushed objects examined in this study differed significantly in terms of their size class, as well as their environment.

The study revealed that efficient and economical execution of crushing operations in a suburban environment requires truly extensive production planning and expertise. The work showed how diversified the existing crushing equipment is, and how the company that commissions the crushing work may not have sufficient knowledge of the crushing operation. Problems have also arisen with the use of rock materials, which were very often associated with a lack of knowledge and communication problems.

As a conclusion of the thesis, it could be stated that when designing crushing activities, the quality requirements of the rock materials and the existing crushing equipment should be looked at in more detail, without forgetting coordination of other production. The use of the rock materials in the project should also be enhanced by better communication.

Key words: crushing, rock material, production planning, Tramway Alliance

SISÄLLYS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 5 |
| 2 | EDELLYTYKSET MURSKAUKSELLE RAITIOTIELINJALLA | 7 |
| | 2.1 Luvat ja tiedottaminen..... | 7 |
| | 2.2 Tuotannosuunnittelu..... | 11 |
| | 2.3 Tuotannonohjaus..... | 15 |
| 3 | MURSKAAMINEN | 17 |
| | 3.1 Murskauksen perusteet..... | 17 |
| | 3.2 Murskauslaitos..... | 17 |
| | 3.3 Murskauskaluston valinta..... | 21 |
| | 3.4 Laadunvarmistus..... | 22 |
| | 3.5 Työturvallisuus ja ympäristön huomioiminen..... | 23 |
| 4 | KALLION MURSKAUS TAMPEREEN RAITIOTIEALLIANSSILLA..... | 25 |
| | 4.1 Raitiotieallianssin kalliomursketarpeet..... | 25 |
| | 4.2 Varikko..... | 25 |
| | 4.3 Huppionmäki..... | 27 |
| | 4.4 Hallilan raitiotieväylä..... | 29 |
| | 4.5 Urakoitsijan varasto..... | 32 |
| | 4.6 Ikean varasto..... | 32 |
| 5 | ONGELMAT RAITIOTIEHANKKEELLA | 33 |
| | 5.1 Murskaustuotannon ongelmat..... | 33 |
| | 5.2 Kiviainesten käytön ongelmat..... | 33 |
| 6 | KEHITYSEHDOTUKSET..... | 35 |
| | 6.1 Murskaustuotannon kehittäminen..... | 35 |
| | 6.2 Kiviainesten käyttämisen kehittäminen..... | 36 |
| 7 | POHDINTA..... | 37 |
| | LÄHTEET..... | 38 |
| | LIITTEET..... | 40 |

1 JOHDANTO

Tampereen Raitiotieallianssin muodostavat tilaajaosapuoli Tampereen kaupunki ja Tampereen Raitiotie Oy sekä palveluntuottajaosapuolet NRC Group Finland Oy, YIT Suomi Oy ja Pöyry Finland Oy, joista NRC Group Finland Oy toimi opinnäytetyön toimeksiantajana. Raitiotieallianssi vastaa rakenteilla olevan ensimmäisen ja kehitysvaiheessa olevan toisen vaiheen raitiotieinfran suunnittelusta sekä rakentamisesta. Ensimmäisessä vaiheessa rakentaminen on jaettu viiteen lohkoon rakennettaessa 15 kilometriä pitkä raitiotieyhteys Tampereen keskustasta Hervantaan sekä Tampereen yliopistolliselle sairaalalle, tämän lisäksi rakennetaan myös raitiotievarikko Hervantaan. Ensimmäisen toteutusvaiheen tavoitekustannus on 219 miljoonasta eurosta muuttunut sisällön tarkentuessa 248 miljoonaan euroon. Tavoitteena on, että liikennöinti ensimmäisellä osuudella alkaa vuonna 2021. (Tampereen kaupunki 2018)

Opinnäytetyön tavoitteena on tehostaa allianssihankkeen väylällä tapahtuvaa kallion murskausta sekä siihen liittyviä toimintoja. Murskaukseen liittyvillä toiminnoilla tarkoitetaan samanaikaisesti käynnissä olevia muita työvaiheita, sekä kiviaineksien käyttämistä. Raitiotieväylä sijoittuu taajamaan aivan asutuksen viereen, mutta osittain kuitenkin aivan koskemattomaan maastoon, johon sisältyy runsaasti massiivisiakin kallioleikkauksia. Yleisesti ottaen maarakennustöissä tulisi pyrkiä minimoimaan massojen siirtämiset ja näin ollen louhekin tulisi jo syntypaikalla jalostaa murskeeksi. Taajaman rakennusympäristö sekä rakennettavan väylän ominaisuudet tuovat kuitenkin haasteita murskaustyön suorittamiseen. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kallion murskauksen edellytykset väylällä, sekä tutkia mitä asioita tulee huomioida murskaustyön onnistumiseksi.

Opinnäytetyön alkuun esitetään murskaukseen vaikuttavat lakisääteiset luvat ja tiedottaminen, sekä väylähankkeen tuotannosuunnittelua ja ohjausta, jonka jälkeen käydään läpi murskauslaitoksien toimintaperiaate sekä murskauslaitoksen kokoonpanoon ja valintaan vaikuttavat tekijät. Murskauslaitoksen toimintaperiaatteen ohella käsitellään myös murskaustuotannon laadunvarmistusta sekä murskaustoimintaan vaikuttavia työturvallisuuseikkoja. Esimerkkikohteina tutkimuksessa ovat Tampereen raitiotieallianssilla suoritettujen kallion murskaukset, jotka poikkeavat toisistaan niin kokoluokaltaan kuin työskentelyympäristöltäänkin. Opinnäytetyön laatija on toiminut työnjohtotehtävissä hankkeen loholla kolme, vuosien 2017 – 2019 aikana.

Työ toteutettiin tutustumalla murskaustoimintaan sääteleviin lakeihin ja määräyksiin, sekä tutkimalla tuotannosuunnittelua ja murskausta käsittelevää alan kirjallisuutta, tutkimuksia sekä julkaisuja. Raitiotiehankeeseen murskauksia tutkittaessa suoritettiin asiantuntijahaastatteluja hankkeen työnjohdolle, jonka lisäksi työmaalta kertyi analysoitavaa materiaalia. Suoritettujen haastattelujen, opinnäytetyön laatijan havaintojen ja kerätyn materiaalien avulla pystyttiin kartoittamaan hankkeen kiviainestuotannon sekä käyttökohteiden ongelmia. Työn lopuksi esitellään kehitysehdotuksia toiminnan parantamiseksi. Työ sisältää liitteitä, jotka ovat kilpailullisista syistä salattu.

2 EDELLYTYKSET MURSKAUKSELLE RAITIOTIELINJALLA

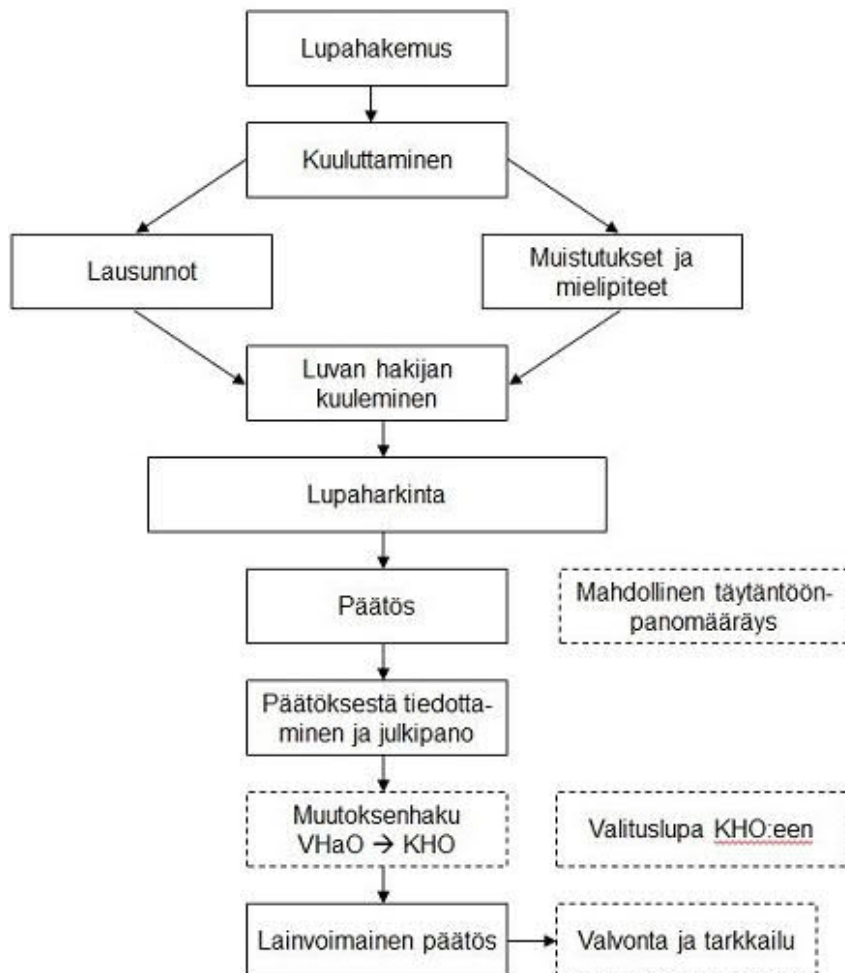
2.1 Luvat ja tiedottaminen

Kallion jalostaminen murskeeksi on toimintaa, joka voi vaikuttaa monin tavoin ympäristöön sekä lähialueiden ihmisiin ja eläimiin. Murskaustoiminta voi aiheuttaa muutoksia alueen ilman- ja vedenlaatuun sekä se aiheuttaa usein mainittavia tärinä- sekä meluhaittoja (kuva 1). Etenkin taajamaympäristö tuo monia haasteita murskaustyön suorittamiseen, ja vaikka lupa-asiat olisivatkin kunnossa ja taloudellisesti linjalla murskaaminen näyttäisikin kustannustehokkaalta, tulee myös harkita minkälaisen julkisuuskuvan toiminta aiheuttaa alueella. Tämän lisäksi murskaustoiminnan riskejä tulee tunnistaa, arvioida sekä hallita, hankkeen riskienhallintasuunnitelmassa (Liikennevirasto 2017).



KUVA 1. Murskaustyössä syntyy melua, pölyä ja tärinää

Suomessa murskaustoiminnan luvanvaraisuus perustuu ympäristönsuojelulakiin (YSL 527/2014) ja sen nojalla annettuun ympäristönsuojeluasetukseen (YSA 713/2014). Murskaustoiminta tarvitsee ympäristöluvan, mikäli toiminta-aika on yhteensä vähintään 50 päivää samalla alueella. Mikäli toiminta aiheuttaa pohjaveden pilaantumisvaaraa tai kohtuutonta rasitusta naapureille voidaan kuitenkin vaatia ympäristölupaa, vaikka toiminta kestäisikin alle 50 päivää. Kohtuuttoman rasituksen raja on tulkinnanvarainen ja kontekstisidonnainen (Lilja, Heinonen & Kuosmanen 2017). Ympäristöluvan myöntää kunnan ympäristönsuojeluviranomainen tai aluehallintavirasto. Kuviossa 1 on esitetty ympäristölupakäsittelyn vaiheet. Ympäristöluvan keskimääräinen käsittelyaikatavoite on 12 kuukautta (Aluehallintavirasto n.d.), joten etenkin nopeasti etenevässä allianssihankkeessa tämä voi tuottaa ongelmia ja turhaa viivytystä.



KUVIO 1. Ympäristölupakäsittelyn vaiheet (Ympäristöhallinto 2018)

Maa-aineksen (kallion/kiven, soran, hiekan, saven ja mullan) käsittelyä sekä ottoa säätelee maa-ainelaki, jolla säädellään maa-ainesten ottamista ympäristön arvoja suojellen kestäväen kehityksen mukaisesti. Lakia sovelletaan, kun maa-ainesta otetaan poiskuljettavaksi, paikalla varastoitavaksi tai jalostettavaksi. Lakia ei kuitenkaan sovelleta, kun rakentamisen yhteydessä irrotettuja maa-aineksia otetaan ja hyväksikäytetään samalla hankkeella. Tämä perustuu viranomaisen antamaan lupaan tai hyväksymään suunnitelmaan. Näin ollen väylähankkeella ei urakoitsijan tarvitse hakea maa-ainelupaa, kun hän jalostaa kiviaineksia väylältä saatavista tarpeista. (Maa-ainelaki 24.7.1981/555.)

Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) vaaditaan kun ottoalue on yli 25 hehtaaria tai kun vuosittainen ottomäärä on yli 200 000 kiintokuutiometriä vuodessa. YVA:n avulla pyritään estämään haitallisia ympäristövaikutuksia ja vaikutukset arvioidaan suunnittelun yhteydessä ennen päätöksen tekoa, jolloin ratkaisuihin voidaan tehokkaasti vaikuttaa. Hanketta suunnitteleva taho huolehtii tarvittavien ympäristöselvitysten tekemisestä. (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017.)

Mikäli ympäristöluvan edellytykset eivät täyty, riittää murskaamisen osalta kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle laadittava kirjallinen ilmoitus tilapäistä melua tai tärinää aiheuttavasta toiminnasta. Toiminnanharjoittajan tulee laatia ilmoitus hyvissä ajoin ennen toiminnan aloittamista, kuitenkin viimeistään 30 vuorokautta ennen aloittamista, ellei kunnan ympäristönsuojelumääräyksissä määrätä lyhyemmästä ajasta. Toimintaa ei saa aloittaa ennen edellä mainittujen aikojen täyttymistä ilmoituksen laatimisesta. Liitteessä 1 on esitetty melu- ja tärinäilmoituslomake, ilmoitus voi olla myös vapaamuotoinen, kunhan siitä löytyvät valtioneuvoston asettamat tiedot:

- ilmoittajan yksilöinti- ja yhteystiedot
- toiminnan sijainti
- työn, toimenpiteen tai tapahtuman laatu, kesto ja laajuus
- arvioidut tiedot päästöistä
- suunnitellut ympäristönsuojelutoimet
- toiminnan vaikutukset ympäristöön
- tiedot toimintaa koskevasta luvista sekä viranomaisten antamista lausunnoista

(Ympäristönsuojelulaki 527/2014)

Sekä ympäristölupaan, maa-aineslupaan että YVA: aan kuuluu lakisääteinen kuuluttaminen, eli 30 päivän esilläolo kunnan (tai kuntien) ilmoitustaululla. Kuulutuksesta tiedotetaan yleensä sanomalehdessä, tämän lisäksi myös vaikutuspiirin maa- ja vesialueiden omistajille lähetetään tieto. Mikäli murskauksen suorittamiseen riittää melu- ja tärinäilmoituslomake, tulee siinä ilmoittaa, kuinka toiminnasta tiedotetaan seudun asukkaille. Tiedottaminen voidaan järjestää esimerkiksi talo-, huoneisto- tai porraskäytäväkohtaisesti. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, Maa-aineslaki 24.7.1981/555 & Laki ympäristönvaikutusten arviointimenettelystä 252/2017.)

Lakisääteisen tiedottamisen lisäksi tulee harkita myös ylimääräistä tiedottamista. On kaikkien eduksi, kun ympäristö asukkaineen ja ohikulkijoineen tietää mitä alueella tapahtuu, näin voidaan välttyä turhilta yhteydenotoilta sekä lisätä työmaan turvallisuutta. Hankkeen internetsivusto (kuva 2) sekä sosiaalisen median tilit ovat nykypäivänä tehokkaita tapoja jakaa informaatiota, näiden lisäksi työmaan läheisyyteen voidaan pystyttää esimerkiksi infotauluja.



RAITOTIEALLIANSSI Ajankohtaista Ratikan tarina Tietoa Rakentaminen Ota yhteyttä Q EN

Hervannan valtavylylän varrella kiviaineksen murskausta – töistä aiheutuu melua ja tärinää kolmen viikon ajan

02.05.2018 | Hervannan valtavyly, Valtavyly

Raitiotietyöt Hervannan valtavylylän varrella etenevät, ja viikolla 19 aloitetaan raitiotien reitiltä louhitun kiviaineksen murskaustyöt Pehkusuonkadun ja valtatie 9:n välisellä osuudella Hervannan valtavylylän länsipuolella.

Murskausta tehdään noin kolmen viikon ajan. Kivimurske hyödynnetään raitiotien rakentamiseen pääosin suoraan alueella. Murskeesta tehdään radanpohjaa, työmaateitä ja jalankulku- ja pyöräilyväyliä. Louhitun kiviaineksen murskaus vähentää autoliikennettä Hervannan valtavylyllä, jota muuten aiheutuisi uuden

Liisankadun liittymä Teiskontielle suljetaan viikoksi – aluetta asfaltoidaan ennen uusia liikennejärjestelyjä >

< Hämeenkadun ja Rautatiekadun liittymän liikennevalot pois toiminnasta 3.-4.5.

Arkistoon

KUVA 2. Raitiotieallianssin murskaustyön tiedote (Raitiotieallianssi 2018)

2.2 Tuotannosuunnittelu

Infrahankkeen tuotannosuunnittelu jakautuu yleisesti ottaen kahteen osaan; alustavaan tuotannosuunnitteluun, jossa mietitään koko kohdetta kokonaisuutena sekä yksityiskoh-
 taiseen tuotannosuunnitteluun, jossa rajataan kohde osakohteisiin ja tehdään niihin tar-
 kempaa suunnittelua. Massansiirrot, hankkeen aikataulu sekä budjetti ovat keskeisimpiä
 asioita, joita tulee suunnitella tarkasti, jotta hanke voidaan toteuttaa kokonaistaloudelli-
 sesti edullisesti. Jotta murskaus ylipäättään saadaan onnistumaan taajamassa raitiotie-
 väylällä, tulee erityisesti eri työvaiheiden sekä eri toimijoiden yhteensovittaminen ottaa
 huomioon.

Suunnitteluvaiheen suunnitelmista sekä määräluetteloiden avulla päästään suunnittele-
 maan tuotantovaiheen massataloutta. Määräluetteloissa esitetään penkereiden sekä leik-
 kauksien tilavuudet sekä niiden laatu. Massojen siirtoja suunniteltaessa tulisi pyrkiä lop-
 putulokseen, jossa massoja siirretään mahdollisimman vähän, kuljetusmatkan pysyessä
 lyhyenä sekä aina suoraan kohteeseen ilman välivarastointia. Tuotantovaiheen massata-
 louden suunnittelussa on kolme päävaihetta:

- massansiirtosuunnitelman laatiminen
- massansiirtosuunnitelman yhdistäminen aikatauluun
- massataloutta parantavien toimenpiteiden suunnittelu ja toteuttaminen

(Lindholm, M. & Junnonen, J. 2012, 18.)

Massansiirtosuunnitelma laaditaan suunnittelijan ilmoittamien määrien sekä kelpoisuuksien mukaisesti. Massansiirtosuunnitelmaa varten on olemassa valmiita ohjelmistoja kuten Dynaroadin massojen kuljetukseen suunnittelema ohjelmisto, suunnitelma voidaan laatia myös käsin, tai esimerkiksi PDF-työkalulla karttapohjalle. Liitteessä 2 on Lohkon 3 massansiirtosuunnitelma.

Massansiirron reittejä aiheuttavia katkoja on lähestulkoon jokaiselle työmaalla ja ne han-
 kaloittavat kuljettamista, kasvattavat kuljetusmatkoja sekä voivat aiheuttaa sen, että
 runko-ohjatun traktoridumpperin sijasta joudutaan käyttämään kuorma-autoa. Kaikki
 nämä edellä mainitut ongelmat kasvattavat kustannuksia. Kuvassa 3 on raitiotieprojektilla
 massansiirron reittejä rajoittanut siltatyömaa sekä moottoritie. Massansiirron reittejä ra-
 joittavia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- yleinen liikenne

- siltatyömaa
- vesistöylitykset ja tunnelit
- vaikeakulkuinen maasto
- ympäristörajoitukset, esimerkiksi liito-oravat tai lintujen pesintäajat

Lindholm, M. & Junnonen, J. 2012, 19.)



KUVA 3. Yleinen tie sekä siltatyömaa aiheuttaa merkittävän katkon maansiirron reitteihin. (Kosonen 2018)

Mikäli ilmenee, että hankkeella on ylimääräistä louhetta kohtuullisen paljon, ja tarvitaan mursketta rakenteisiin, kannattaa ruveta suunnittelemaan väylällä murskaamista. Murskauksen toteuttaminen raitiotieväylällä vaatii runsaasti huomioimista massansiirtosuunnitelmaan. Murskattavaa materiaalia, eli louhetta, tulee olla riittävän paljon yhdessä paikassa, jotta murskalaitosta ei tarvitse siirtää useasti. Suurelta osin pengerosuudet kannattaa olla rakennettuna ennen murskausta, jotta murskeella löytyy valmis varastointipaikka ja osa murskeesta saadaan kannettua suoraan murskalaitokselta rakenteeseen. Mikäli siirtomatka kasvaa yli 300 metriin, on taloudellisinta kuormata materiaali maansiirtoautoon tai runko-ohjatun traktoridumpperin kyytiin ja kuljettaa materiaali näillä kohteeseen (Lindholm, M. & Junnonen, J. 2012, 29).

Murskauslaitos syöttö- ja altakantokoneineen on massiivinen kokonaisuus, joka vaatii itsestään jo työskentelytilaa parista kymmenestä metristä aina liki sataan metriin saakka ja tämän lisäksi tarvitaan vielä varastokasoille tilaa. Laitoksen tilantarpeeseen vaikuttaa

murskauskalusteiston koko sekä monivaiheisuus. Kappaleessa kolme käsitellään tarkemmin murskauskalusteiden ominaisuuksia sekä teknisiä tietoja.

Murskausta suunniteltaessa on hyvä tutkia eri murskelajikkeiden menekki työmaalla ja rajata erikoisten lajikkeiden esimerkiksi sepelin sekä pienien määrien jalostaminen pois. Tilanpuutteen vuoksi kannattaa väylällä jalostaa lukumäärällisesti mahdollisimman vähän eri lajikkeita, joilla on eniten menekkiä.

Paljon menekkiä olevia lajikkeita ovat esimerkiksi jakavan kerroksen murske KaM 0/90 tai kiilauksessa sekä matalissa penkereissä käytettävä KaM 0/300. Karkeiden lajikkeiden valmistaminen on myös helpompaa ja siinä on vähemmän vaiheita, joten murskauskaluste on myös mitoiltaan kompaktimpi. Raitiotien alusrakennetta rakennettaessa käytetään myös huomattavia määriä EV (eristys- ja välikerros) KaM 0/63 lajiketta, jonka valmistus on hieman haastavampaa erilaisten laatuksien vuoksi, mutta sen valmistamista väylällä kannattaisi myös harkita, mikäli varastointitilat sen sallivat.

Hankkeen tehokas toteuttaminen tavoiteajassa vaatii usein monen eri työvaiheen liittämistä. Taajamaympäristö tuo omat haasteensa rakentamiseen ja saattaa vaikuttaa merkittävästi eri työvaiheiden työtehoihin. Louhintatyöt ovat hyvä esimerkki, jossa työtehot laskevat huomattavasti taajamassa, louhintaa hidastavia tekijöitä voivat olla:

- Räjätyskentät ovat pieniä ja vaativat aina peittämisen räjäytysmatoilla.
- Räjätyskenttien reikävälit ovat tiheämpiä, joten poraaminen hitaampaa.
- Olemassa oleva tekniikka louhinnan lähellä, kuten vesihuoltolinjat.
- Rajattu työaika, esimerkiksi liikennettä ei saa katkoa ruuhka-aikoina tai lähistöllä olevan päiväkodin päiväuniajat voivat rajoittaa räjäytystä.

(Koivuaho 2018)

Louhinnan työtehon alentuminen voi johtaa siihen, että murskauskalustolle ei välttämättä ole riittävästi materiaalia irti, mikä aiheuttaa murskauksen kustannuksien nousemista. Irti olevan louheen määrää voidaan kasvattaa aloittamalla louhintatyöt huomattavasti murskausta aikaisempaan, vaihtoehtoisesti voidaan myös lisätä louhintayksiköiden määrää. Tärkeintä kuitenkin on, että murskauskalustolle on materiaalia jalostettavaksi valmiina, jottei laitos joudu seisomaan. Murskaus hinnoitellaan yleisesti suoriteperusteisesti €/tonni ja näin ollen urakoitsijat eivät välttämättä kiinnostu työmaasta, jossa työtehot alentuvat.

Kappaleessa viisi käsitellään enemmän, kuinka kiviaineksen määrä ja työaika-rajaukset vaikuttavat murskauksen kustannuksiin.

Työmaalla voidaan myös siirtää louhetta esimerkiksi runko-ohjatulla traktoridumpperilla tai maansiirtoautoilla murskalaitoksen luokse samaan aikaan kun murskataan. Tällöin tulee harkita, kuinka paljon tästä kuljetuksesta koituu kustannuksia ja mikäli joudutaan kulkemaan yleisen liikenteen seassa, kuinka se kuormittaa liikennettä. Vaihtoehtoisesti telalustaista murskausasemaa voidaan myös siirtää työmaan sisällä lyhyitä matkoja ilman lisäkustannuksia.

Oleellinen seikka murskausta suunniteltaessa on käydä läpi murskauslaitoksen kuljettaminen työmaalle. Murskauskaluston kuljetus voi ylittää normaaliliikenteelle sallitut mitta- tai massarajat ollen näin erikoiskuljetus (kuva 4), joka tuo rajoituksia kuljetukseen. Esimerkiksi työmaalle johtavalla tiellä voi olla painorajoitettu silta, joka rajoittaa tai jopa estää murskauskaluston kuljettamisen. Työmaan läheisyydessä voidaan myös joutua leivittämään kapeita liittymiä kuljetusta varten. Erikoiskuljetus voi mitoistaan riippuen vaatia erikoiskuljetusluvan (ELY-keskus 2018). Erikoiskuljetusluvan hankkii yleisesti ottaen murskausurakoitsija tai hänen kuljetusyrittäjä.

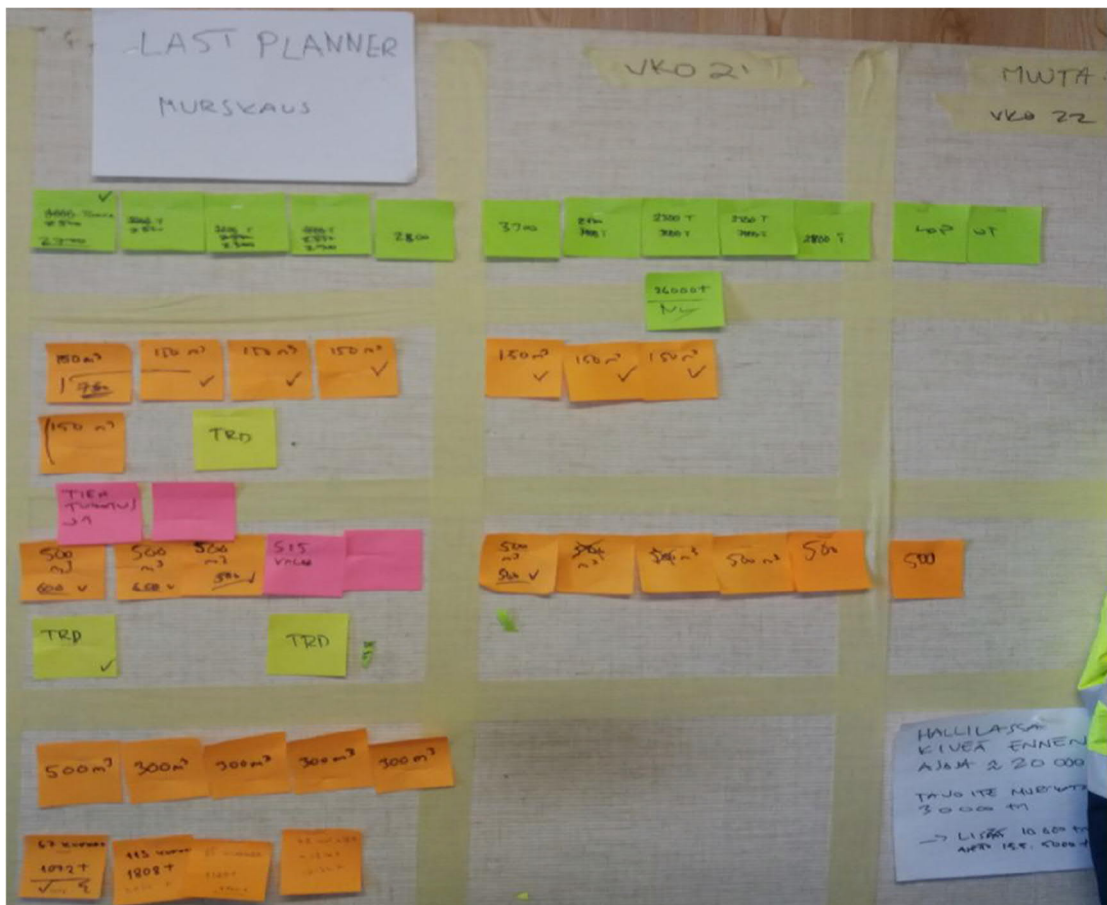


KUVA 4. Murskauskaluston kuljettaminen suoritetaan usein erikoiskuljetuksena (Henttonen 2018)

2.3 Tuotannonohjaus

Eri työvaiheiden ja urakoitsijoiden yhteensovittaminen vaatii pääurakoitsijalta kokemusta sekä innovaatioita. Työvaiheista vastaavien henkilöiden kannattaakin tutustua toistensa työvaiheisiin ja hyödyntää esimerkiksi Last Planner -menetelmää. Menetelmä on kehitetty 1990-luvulla Yhdysvalloissa rakentamisen tuotannon ohjaukseen ja sen periaatteena on tehdä työn kulusta ennustettavampaa sekä opettaa samalla tuotannon ohjauksen systeemiä (Lean Construction Blog 2017).

Last Planner -menetelmässä avainhenkilöt osallistuvat yhteiseen aikataulusuunniteluun ja keskittyvät luomaan yhdessä häiriintymätöntä tuotantoa, kun perinteisesti keskitytään ohjaamaan liikaa vain omaa työryhmää. Aikataulusuunnittelussa keskitytään poistamaan esteet, sitoudutaan suorittamaan viikkosuunnitelman tehtävät, mitataan viikkosuunnitelmien luotettavuutta sekä analysoidaan avoimesti mahdollisia poikkeamia. Kuvassa 5 on esitetty Lohkolla 3 käytettyä murskauksen Last Planner -viikkoaikataulua.



KUVA 5. Last Planner -menetelmällä laadittu viikkoaikataulu on visuaalinen sekä yksinkertainen

Last Planner -menetelmällä laadittu viikkoaikataulu voi olla esimerkiksi post it -lapuilla työmaatukikohdan seinälle rakennettu aikataulukokonaisuus, jonka näkevät kaikki toimijat. Jokaisella työryhmällä on oman väriset laput, joihin he laativat päiväkohtaiset työtehtonsa. Väylätyömaalla eri työryhmiä voivat olla esimerkiksi murskaus, louhinta ja louheen kuljetus murskauslaitokselle. Edellä mainittujen lisäksi voi työmaalla olla käynnissä työvaiheita, jotka vaikeuttavat jotain työvaihetta kuten sillan valutyö, joka estää louhimisen. Nämä esteet ovat tärkeitä merkata myös viikkoaikatauluun. Visuaalisesta viikkoaikataulusta on näin helppo katsoa mahdollisia tuotannon häiriötekijöitä sekä työtehojen yhteensopivuutta. (Lean Construction Institute 2015.)

Työn aloituksen jälkeen on tärkeää pitää palaveri avainhenkilöiden kanssa, jossa kirjataan kunkin työryhmän päiväkohtaiset toteumat aikatauluun. Aikataulua sekä toteutumia analysoidaan, lasketaan tuotannon TTP% (tehtävien toteutumisprosentin) ja poikkeamat käydään läpi. Kaiken tämän avulla tuotantoa tahdistetaan sekä muokataan niin, että tuotanto pystyy toimimaan tehokkaasti ja vähemmällä häiriöllä tasaisesti. Palavereita on hyvä pitää alkuun tiheämmin muutaman päivän väliajoin, jotta tuotanto saadaan muokattua mieleiseksi. Mikäli TTP% on kasvanut, tarkoittaa tämä sitä, että systeemi on parantunut eli aikataulun ennustettavuus ja luotettavuus paranee, tällöin voidaan myös yhteisten palaverien aikaväliä pidentää. Mikäli TTP% vaihtelee runsaasti, on tuotanto häiriöherkkä ja kaipaa se avainhenkilöiden tiivistä yhteistoimintaa, parempaa esteiden tunnistamista ja poistamista sekä sitoutumaan viikkosuunnitelmien toteutumiseen. (Lean Construction Institute 2015.)

3 MURSKAAMINEN

3.1 Murskauksen perusteet

Murskaamisella tarkoitetaan kiven murskaamista joko puristamalla tai iskemällä. Puristumurskauksessa kivi murskaantuu kahden metallipinnan välissä puristuksen voimasta, kun taas iskumurskauksessa nopeasti pyörivä vasara rikkoo iskuillaan kiven. Sopiva menetelmä kiven jalostamiseen valitaan kiven ominaisuuksien, kuten kovuuden sekä koon mukaan. Murskaussuhteella tarkoitetaan suhdelukua, joka on syötettävän kiven raekoko jaettuna lopputuotteella, esimerkiksi jos 0/600 louhetta murskataan saaden KaM 0/100 on täten murskaussuhde 6:1 joka on tyypillinen yhden murskausvaiheen murskaussuhde. Mitä pienemmäksi kivi halutaan jalostaa, sitä suurempi on murskaussuhde, jonka johdosta täytyy murskaaminen suorittaa vaiheissa. Murskaamisen vaiheita ovat esimurskaus, välimurskaus ja hienomurskaus, jotka muodostavat yhdessä murskauspiirin tai -ketjun (kuva 6), johon kuuluu yksi tai useampi murskain ja näiden lisäksi mahdollisesti myös seuloja. (Lappalainen, P., Hakapää, A. & Paalumäki, T. 2015, 218.)



KUVA 6. Murskaaminen suoritetaan usein monessa vaiheessa (Metso Minerals Oy)

3.2 Murskauslaitos

Murskauslaitokset voidaan siirtotavan perusteella jaotella kolmeen pääryhmään, joita ovat siirrettävät elementtirakenteiset laitokset, pysyvästi asennetut kiinteät laitokset sekä teloin tai pyörin varustetut mobiilimurskaimet (Hartikainen 1982, 182). Yleisimpiä näistä nykyajan infratyömaalla ovat tela-alustaiset mobiilimurskaimet. Toimintaperiaatteen mukaan jaoteltuna puristumurskaimia ovat leuka-, kara-, kartio- sekä valssimurskain, kun

iskumurskaimia ovat iskupalkkimurskain sekä vasaramylly. (Paalumäki ym. 2015, 220, 221.)

Murskaimet ovat varustettu syöttimellä, jonka tehtävänä on syöttää tasaisesti kiviainesta murskaimeen. Syötin voi olla varustettu lajittimella, joka ohjaa valmiiksi jo pienemmän materiaalin murskaimen ohitse. Yleisesti ottaen materiaali, joka on pienempää kuin valmistettavan lajitteen maksimiraekoko, pyritään ohjaamaan murskaimen ohi (Jääskeläinen 2010, 176). Ylisuurten lohcareiden syöttämistä murskaimeen tulee välttää, jottei murskain menisi tukkoon. Esimurskain voikin olla varustettu hydraulivasaralla, jolla mahdollisia tukoksia tai ylisuuria kappaleita voidaan rikottaa (Posiva 1998, 7-9).

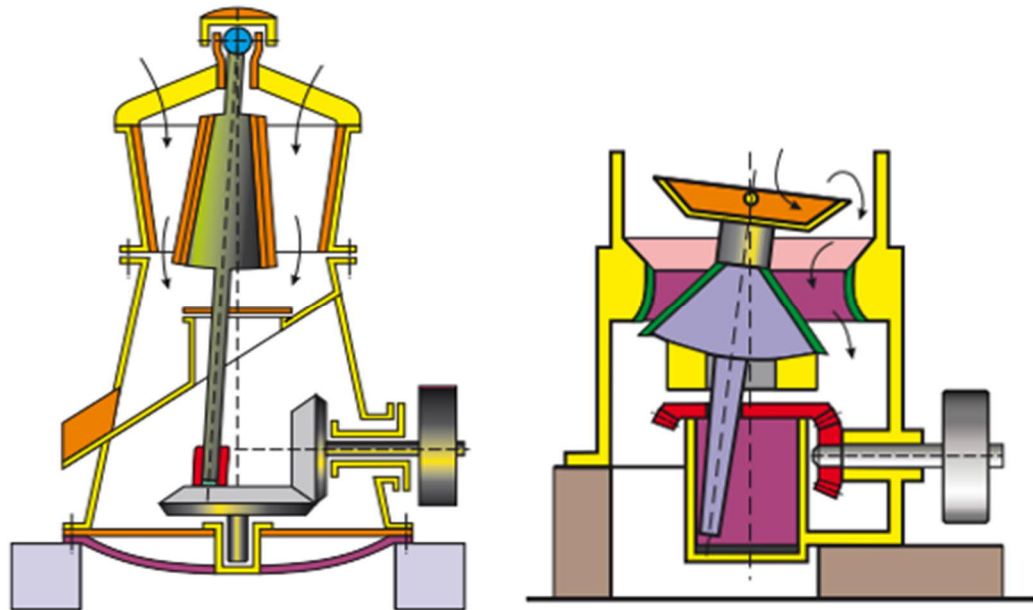
Leukamurskain on tyypillinen esimurskauksessa käytettävä murskaintyyppi, jossa kiven särkyminen perustuu kiinteän ja liikkuvan leuan välissä tapahtuvaan puristukseen. Liikkuvan leuan yläosassa oleva epäkeskoakseli aiheuttaa elliptisen kaltaista liikettä leukaan, jonka avulla murskaaminen tapahtuu. Materiaali pyrkii leuan liikkua valumaan alas päin, jonka vuoksi murskaantumista tapahtuu niin kiviaineksen seassa kuin myös suoraan leukojen välissä (Jääskeläinen 2010, 180). Kuvassa 7 on esitetty lajittimella varustettu leukamurskain. Minimiasetuksella tarkoitetaan leukojen minietäisyyttä toisistaan, joka esimurskaimilla vaihtelee välillä 100 – 200 mm, tästä johtuen tuotteen suurin raekoko on noin 120 – 350 mm murskauksen jälkeen. (Posiva 1998, 7.)



KUVA 7. Lajittimella varustettu leukamurskain (Kleeman 2019)

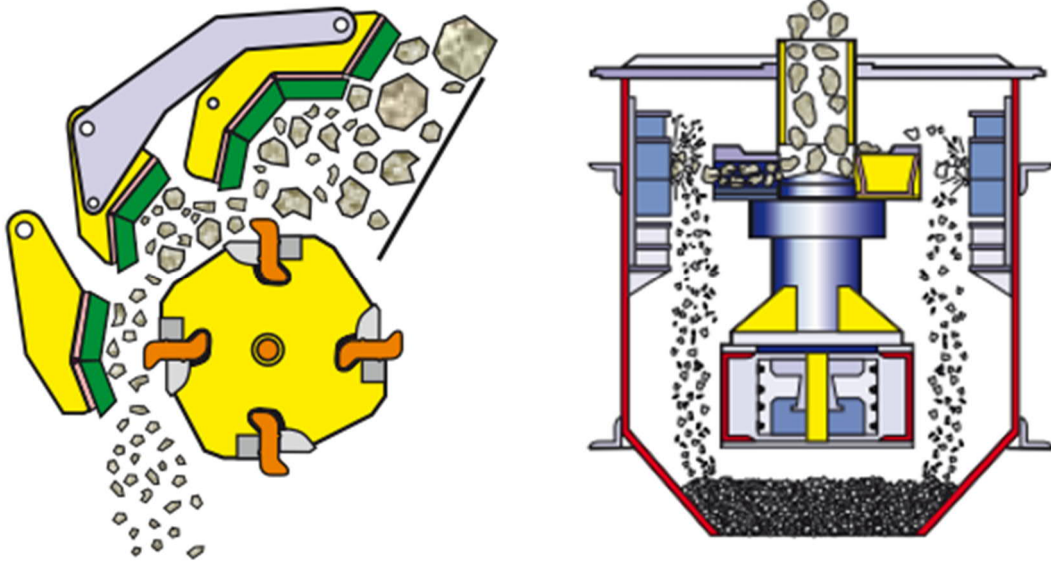
Välimurskauksessa käytetään yleisesti kara- ja kartiomurskaimia (kuva 8), jotka ovat toimintatavoiltaan samankaltaisia. Toiminta perustuu kahden sisäkkäin olevien kartioiden

pintojen väliseen puristukseen. Välimurskainten miniasetus on noin 40 mm, jonka johdosta materiaali prosessin jälkeen on rakeisuudeltaan 0 – 70 mm (Posiva 1998, 7). Karamurskaimilla on korkeat tuotantotehot, kun taas kartiomurskaimilla tuotantotehot ovat matalampia mutta murskaussuhde on parempi. Kartiomurskaimien tuotteiden kuutiomaisuus on hyvä, jonka vuoksi sitä voidaan käyttää myös hienomurskaukseen sekä kuutiointiin. Tämän lisäksi kartiomurskaimen käyttökulut ovat kovia ja kuluttavia kiviä murskatessa iskupalkkimurskainta matalammat. (Paalumäki ym. 2015, 220, 221.)



KUVA 8. Kara- ja kartiomurskain. (Metso Minerals Oy 2011)

Jälki- ja hienomurskauksessa käytetään jo edellä mainittujen kara- ja kartiomurskaimien lisäksi iskupalkkimurskaimia, jotka koostuvat kahdesta päämurskaintyyppistä. Vaaka-akselista iskupalkkimurskainta kutsutaan HSI -murskaimeksi (horizontal shaft impactor). HSI -murskaimessa syöte murskaantuu roottoriin kiinnitettyjen vasaroiden tai palkkien nopeasta pyörimisliikkeen aiheuttamilla iskuilla, kun kivet sinkoutuvat murskan sisäosiin toisiinsa törmäillen. Pystyakselista iskupalkkimurskainta kutsutaan VSI -murskaimeksi (vertical shaft impactor). VSI -murskaimessa syöte valuu roottorin keskiön läpi, missä se kiihdytetään korkeaan nopeuteen, jonka jälkeen syöte poistuu roottorissa olevien aukkojen kautta suurella nopeudella murskaantuen rungon kulutuspaloihin törmätessä. HSI- ja VSI -murskaimet ovat esitetty kuvassa 9. VSI -murskainta kutsutaan yleisesti myös keskipakomurskaimeksi. (Paalumäki ym. 2015, 220, 221.)



KUVA 9. HSI- ja VSI -murskain (Metso Minerals Oy 2011)

Oleellisena osana murskaukseen liittyy seulat, joilla erotellaan ainekset kappalekoon mukaan. Seulat jaetaan kahteen ryhmään toimintatapansa perusteella. Dynaamisia seuloja ovat seulat ja säleiköt, jotka värähtelevät tai tärisevät mekaanisen tai sähkömagneettisen vaikutuksen seurauksena, kun taas staattisia seuloja ovat säleiköt ja seulat, joissa materiaali erottuu oman massansa vaikutuksesta ilman ulkopuolista liike-energiaa. Seulot ovat yksi- tai useampikerroksisia laitteistoja, joka voi olla rakennettu murskaimen kanssa samalle alustalle. Vaihtoehtoisesti useammalla seulatasolla sekä kuljettimella varustettu seulontalaite voi olla myös kokonaan yksikkö. Erikoislajikkeiden sekä katkaistujen lajitteiden kuten sepelien valmistamisessa seulojen käyttäminen on välttämätöntä. (Jääskeläinen 2010, 172 - 186).

Murskainta syötetään tyypillisesti pyöräkuormaajalla tai tela-alustaisella kaivinkoneella, joista kaivinkone on huomattavasti yleisempi infratyömaan kallion murskaustöissä. Kaivinkoneella pystytään syöttämään murskainta ahtaammassa tilassa ja syötettävän louheen irrotus sekä lajittelu, onnistuu pyöräkuormaajaa paremmin. Lisäksi mikäli syöttäminen tapahtuisi pyöräkuormaajalla, jouduttaisiin sille rakentamaan luiska syöttämistä varten, mikä vaikeuttaisi murskainlaitoksen siirtämistä työmaalla. Mobiilimurskaa syöttävä kaivinkoneen työpaino on 30 – 80 tonnia. Murskainlaitoksen valmiita lajikkeita kuormataan sekä siirretään varastokasolle yleisesti pyöräkuormaajalla, jota kutsutaan altakantokoneeksi. Altakantokoneen tyypillinen työpaino mobiilimurskainten kanssa työskennellessä on 20 – 60 tonnia (Teppo 2018). Kallein työvaihe murskauksessa on itse varsinainen murskaus, joten syöttö- ja altakantokoneiden tulee olla mitoitettu niin etteivät ne aiheuta

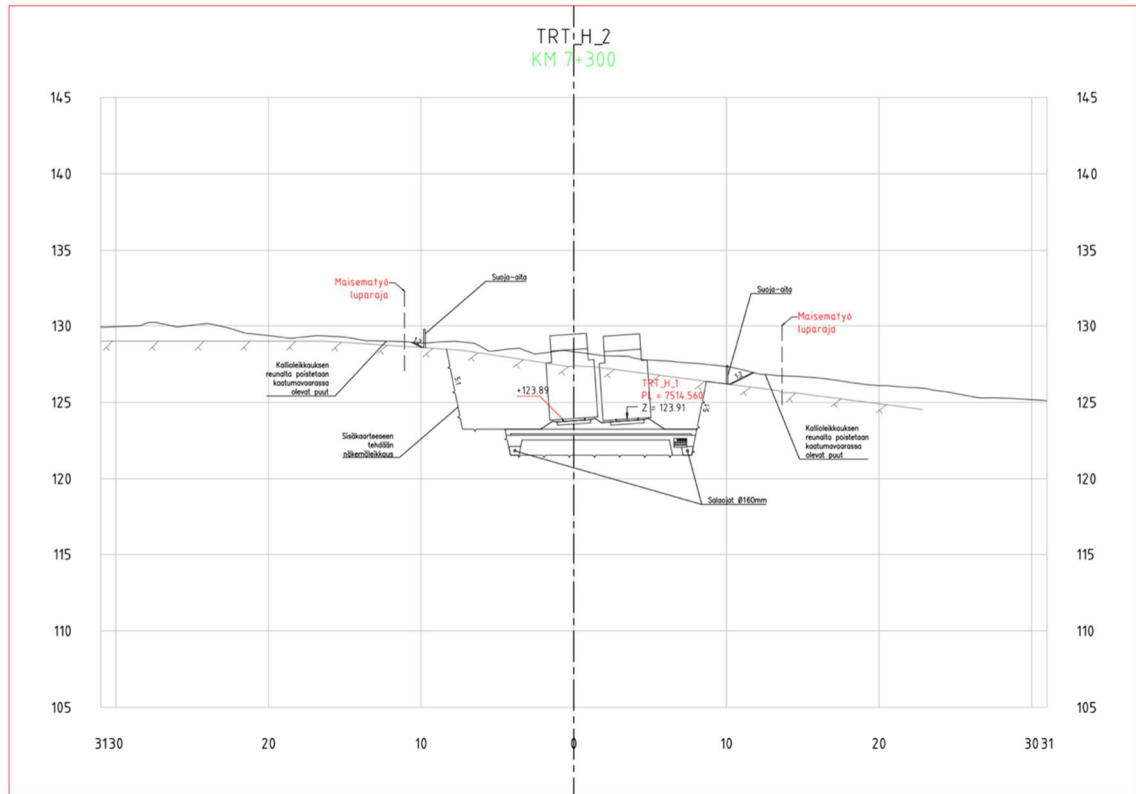
murskaukseen häiriöitä tai työtehon alentumista. Lisäksi syöttö- ja altakantokone saattavat joutua suorittaan varsinaisen työn lisäksi pieniä lisätöitä, joiden vaikutus on huomioitava mitoitettaessa koneita. (Hartikainen 1982, 188.)

3.3 Murskauskaluston valinta

Taajamaympäristössä raitiotieväylällä tapahtuva kallion murskaus vaatii erityistä kaluston optimointia, jotta kiviaineksen jalostaminen saadaan suoritettua kustannustehokkaasti toisinaan hyvin haastavissakin olosuhteissa. Hartikaisen (1982, 182) mukaan murskauskaluston peruskoneita valittaessa tulee huomioida seuraavat asiat:

- vaadittu tuotantoteho
- syötettävän materiaalin laatu, koko ja jakauma
- laitoksen syöttötapa
- valmiin tuotteen vaatimukset
 - lajitteiden lukumäärä
 - rakeisuudet
 - laatuvaatimukset
- rakenteelliset vaatimukset
 - laitoksen siirrettävyys
 - tuotteen varastointi
 - laitoksen käyttövoima (sähkö, polttoöljy)
- sijaintipaikka ja maasto-olosuhteet.

Näistä kohdista väylällä murskatessa tulee erityisesti ottaa huomioon maasto-olosuhteet. Yleisesti ottaen raitiotieväylän kallioleikkauksen kapeus (Kuva 10) aiheuttaa tilanteen, jonka johdosta esimerkiksi massiivisia poikittaisilla kuljetushihnoilla varustettuja seulontalaitteita ei voida ahtaissa kallioleikkauksissa käyttää. Myös murskauksen vaiheiden määrää voidaan joutua vähentämään, jotta murskalaitoksen kokonaismitat pysyvät kohtuullisena. Sekä murskauksen vaiheiden määrän että suurien seulontalaitteiden vähentäminen rajoittaa lopputuotteiden laatua sekä lajitteiden lukumäärää. Murskauskaluston valmistajat ovat myös kehittäneet sovelluksia, joilla pystytään simuloimaan eri murskainten ja seulojen toimintaa murskausprosessissa (Metso Minerals Oy 2016).



KUVA 10. Rakennettavan väylän kallioleikkauksen kapeus voi vaikeuttaa murskaustyötä (Kiviniemi 2018)

Murskausurakoitsijan valintaan vaikuttaa hinnan lisäksi olennaisesti urakoitsijan murskauslaitoksen kokoonpano, jotta työ pystytään ylipäättään toteuttamaan. Tarjouspyyntöä murskauksesta laadittaessa on hyvä tuoda esiin työmaan erikoisolosuhteet kuten rajoitettu tilankäyttö tai esimerkiksi rajoitetut työajat. Mitä tarkemmin tarjouspyyntöön on voitu työmaan tarpeet, olosuhteet ja vaatimukset laatia, sitä todenmukaisempia saatavat tarjoukset ovat, ja näin ollen urakkaneuvotteluihin on helpompi edetä. Murskaustyöt ovat erikoistyitä, joiden tekijöillä on usein paras tietotaito käytössään, joten urakoitsijoiden ehdottamia sovelluksia sekä vaihtoehtoisia toimintatapoja kannattaa myös harkita.

3.4 Laadunvarmistus

Tien päällysrakenteissa sekä radan alusrakenteissa käytettävien kiviainesten kelpoisuus osoitetaan standardin SFS-EN 13242 mukaisella CE-merkinnällä, suoritustasoilmoituksella sekä rakeisuuden tutkimustuloksilla. Kiviaines ei tarvitse CE-merkintää, kun se valmistetaan rakennuskohteessa suoraan omaan käyttöön, mutta sen laadunvarmistuksen on

kuitenkin vastattava standardia SFS-EN 13242. InfraRYL 2018 -ohjeessa (InfraRYL 2018.) kerrotaan näytteiden ottamisesta seuraavanlaisesti:

Näytteet otetaan aina valmistuksen aikana. Valmistuksen aikana näytteet otetaan poistopään materiaalivirrasta. Tarvittaessa varastoidusta kiviaineksesta näyte otetaan kuormauksen yhteydessä tekemällä kauhakuormaimella kasa, josta otetaan osanäytteitä siten, että yhdistetty näyte kuvaa koko kauhallisen sisältöä. Tarvittaessa voidaan käyttää myös muita standardin SFS-EN 932-1 näytteenottotapoja.

Näytteenotto ja testaus on suunniteltava siten, että voidaan olla jatkuvasti varmoja siitä, että tuote täyttää vaatimukset. Lisäksi testaus on järjestettävä siten, että se ohjaa tuotantoa. Tuotannosta otetun näytteen testitulokset pitää olla tuotannon käytössä ennen kuin seuraava näyte otetaan kyseisen testin testaustaajuuden mukaisesti.

Kiviaineksen rakeisuutta tutkitaan pesuseulonnalla vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi niin tiheästi kuin on tarpeen, kuitenkin vähintään kerran viikossa tai kerran jokaista 5000 tonnia kohden, sen mukaan kumpi vaatimuksista täyttyy ensin. (InfraRYL 2018.)

3.5 Työturvallisuus ja ympäristön huomioiminen

Kallion murskaus on työvaihe, jossa työskennellään massiivisilla koneilla aiheuttaen melua, pölyä sekä tärinää, jotka vaikuttavat niin työntekijöihin kuin lähiympäristöönkin. Työnantajalla on velvollisuus selvittää, tunnistaa ja arvioida työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle aiheutuvat haitat ja vaarat (Työturvallisuuslaki 738/2002). Parantunut työturvallisuus näkyy esimerkiksi sairaspöissaolojen vähentymisenä ja sitä kautta taloudellisesti positiivisena.

Kallion murskauksesta syntyvä pöly on sekä työturvallisuus- että ympäristöhaitta. Syntyvät pölypäästöt voidaan jakaa prosessipäästöihin sekä hajapäästöihin. Prosessipäästöt ovat murskainlaitoksen toiminnasta aiheutuvat pölypäästöt, kun taas hajapäästöt syntyvät toimintaympäristön liikennealueilta sekä varastokasoilta. Pölyntorjuntaa voidaan edesauttaa oikeilla toimintatavoilla sekä toimintojen oikealla sijoittelulla, näiden lisäksi voidaan laitteistoa koteloida, käyttää pölynkeräyslaitteistoja tai suorittaa pölynsieppausta sekä pölynsidontaa vettä apuna käyttäen. Veden käyttäminen pölynsidonnassa onkin usein helpoin ja edullisin vaihtoehto. (Suomen ympäristökeskus 2010, 23.)

Murskauslaitoksesta syntyvät melupäästöt koostuvat monista eri melulähteistä ollen näin voimakkuudeltaan toisistaan eroavia ja eri tyyppisiä. Äänen häiritsevyyteen vaikuttavat esimerkiksi äänen taajuus sekä äänenvoimakkuus. Kallion murskauksessa melun määrään vaikuttavat laitoksen tyyppi sekä syötettävän materiaalin ominaisuudet. Tyypillisesti murskausprosessin esimurskain aiheuttaa häiritsevää ja vaikeasti torjuttavaa melua, sillä ääni on matalataajuisista edeten pitkälle toisin kuin esimerkiksi väli- tai jälkimurskauksessa syntyvä melu. Meluntorjunta voidaan jakaa kahteen osaan, joita ovat melupäästöjen vähentäminen ja äänen etenemisen estäminen. Melupäästöjen vähentämistä ovat oikeiden toimintatapojen käyttäminen sekä esimerkiksi työkoneiden kotelointi tai kumitus. Äänen etenemisen estäminen järjestetään asemoimalla murskauslaitteisto mahdollisimman matalalle muuhun maanpintaan nähden sekä hyödyntämällä varastokasoja meluesteinä. (Suomen ympäristökeskus 2010, 34.)

Murskauslaitos aiheuttaa ainoastaan lievää tärinää, jonka voi havaita laitteiston välittömässä läheisyydessä. Näin ollen tärinä aiheuttaa vaaraa ainoastaan murskauslaitoksen työntekijöille. Työntekijöiden altistumista tärinälle voidaan välttää käyttämällä nykyai-kaista kalustoa, joissa työtasot sekä työtilat ovat eristetty tärinän aiheuttajasta. Murskauksen oheinen toiminta, kuten räjäytystyöt sekä kuljetustyöt voivat sen sijaan aiheuttaa merkittäviä tärinähaittoja ympäristölle. (Suomen ympäristökeskus 2010, 38.)

Kiviainesalalle on tuotantoon kehitetty työturvallisuustasoa kuvaava mittausmenetelmä nimeltään Murskamittari. Murskamittaria voidaan käyttää viikoittaisissa kunnossapito-tarkastuksissa, turvallisuustason seurannassa, kehittämistoiminnassa sekä johdolle rapor-toimiseen. Murskamittarin tuloksena syntyy prosenttiluku, joka kertoo, kuinka monta prosenttia mitatuista asioista on ollut oikein. Mittauksessa keskitytään ainoastaan murskalaitoksen havainnointiin yksityiskohtaisesti ja näin eroaakin perinteisestä MVR -mit-tauksesta, jossa usein käydään laajamittaisesti koko työmaa läpi. Rakennustyössä käytet-tävälle koneelle on lain mukaan suoritettava käyttöönottotarkastus, joten esimerkiksi murskalaitokselle tulee aina suorittaa käyttöönottotarkastus, kun se asemoidaan uudel-leen. Käyttöönottotarkastuksen voi laatia murskamittarin avulla. (Rakennusteollisuus 2019.)

4 KALLION MURSKAUS TAMPEREEN RAITIOTIEALLIANSILLA

4.1 Raitiotieallianssin kalliomursketarpeet

Tampereen raitiotiehankkeen ensimmäisen toteutusvaiheen kalliomursketarpeet olivat alun perin noin 600 000 tonnia, mikä on suunnitelmien tarkentuessa sekä hankkeen laajennusten myötä kasvanut noin 800 000 tonniin. Hankkeella on kesän 2017 ja syksyn 2018 välisenä aikana murskattu kalliota neljässä eri paikassa, yhteensä noin 550 000 tonnia. Vuoden 2019 aikana hankkeella on tarkoitus murskata vielä noin 200 000 tonnia louhetta. Pääosin murskattava louhe on irrotettu rakennussuunnitelmien mukaan raitiotieväylän ja varikkoalueen kallioleikkauksista. Kiviaineksia on jalostettu hankkeen omaan käyttöön mahdollisimman paljon ulkopuolisen ostomurskeen minimoimiseksi. Eri paikoissa suoritettut murskaukset eroavat toisistaan niin ympäristöltään kuin murskattavan kiviaineksen määrältäkin. Esimerkkikohteista Hallilassa tapahtunut kallion murskaus on esitelty tarkemmin, sillä se on ainut varsinaisella raitiotieväylällä tapahtunut kiven murskaus. Liitteessä 3 on esitelty hankkeen murskaustuotantopaikat, välivarastot sekä maanvastaanottopaikat.

4.2 Varikko

Raitiotiehankkeen varikkoalueen rakentamiseen kuuluu massiiviset louhinnat sekä pengerrykset Hervannan itäpuolella, jotka toteutettiin allianssin kilpailuttamassa yksikköhinta-aliurakassa nimeltään MRU 1. MRU 1 urakkaan louhintatöiden ja pengerrystöiden lisäksi myös ylimääräisen louheen murskaamista, sekä murskeen kuljettamista välivarastoille. Murskattavan kiviaineksen määrä oli määräluetteloiden mukaan noin 400 000 tonnia. Urakka kilpailutettiin loppukesästä 2017 ja urakan saanut urakoitsija 1 aloitti louhintatyöt lokakuussa 2017.

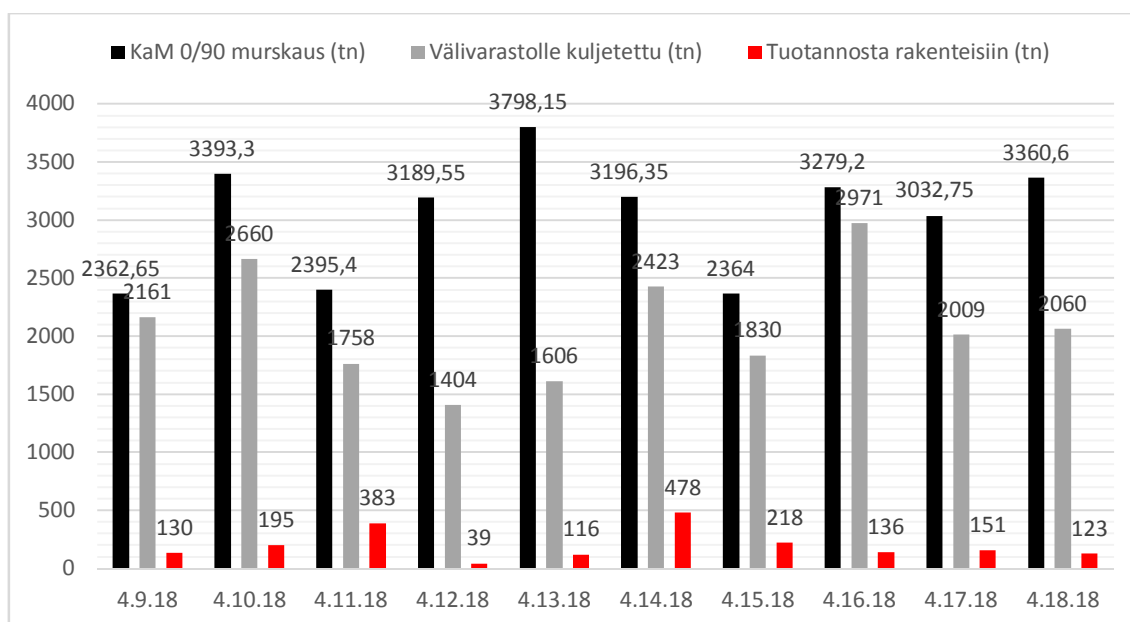
Murskaustöissä urakoitsija 1, käytti aliurakoitsijana urakoitsijaa 2, joka aloitti murskaustyöt joulukuussa 2017. Murskaustyöt aloitettiin melu- ja tärinäilmoituksen sallimalla luvalla ja jatkettiin maaliskuussa 2018 voimaan tulleella ympäristöluvalla. Ympäristölupa salli murskaamisen arkipäivinä kello 7:00 – 20:00 välisenä aikana, jonka lisäksi muita maanrakennus- sekä kuljetustöitä voitiin tehdä arkipäivinä kello 7:00 – 22:00 välisenä aikana. Ympäristöluvassa oli murskaustoimintaa rajoitettu siten, että kaikki murskattava

louhe piti olla peräisin varikon tontilta. Näin ollen hankkeelta ei voitu muualta kuljettaa louhetta varikolle murskattavaksi.

Kiireellisen aikataulun vuoksi murskaustoiminnan kanssa samanaikaisesti varikolla rakennettiin penkereitä, rakennekerroksia sekä lopuksi myös varikkorakennusten perustuksia. Edellä mainittuja työvaiheita yhteen sovitettiin viikoittain työmaapalavereissa, joissa sovittiin myös seuraavan viikon murskattavat lajikkeet (Kulha 2019). Murskausta suoritettiin pääosin yhdellä murskauslaitoksella, mutta kesäkuussa 2018 urakoitsija 1:llä oli työmaalla töissään myös toinen murskauslaitos, jolla toimi urakoitsija 4. Mursketta valmistettiin varikolla MRU 1:n aikana yhteensä 415 000 tonnia:

- KaM 0/8 15 000 t
- KaM 0/16 25 000 t
- KaM 0/32 65 000 t
- KaM 0/63EV 105 000 t
- KaM 0/90 175 000 t
- KaM 0/300 15 000 t
- KaS 8/16 15 000 t

Kuviossa 2 on esitetty huhtikuussa 2018 varikolla tapahtunutta yhtäjaksoista KaM 0/90 tuotantoa. Tällä kahden viikon jaksolla, päivittäinen tuotantoteho vaihteli välillä 2060 – 3800 tonnia. Tuotantotehon keskiarvo oli noin 3040 tonnia päivässä, näin ollen tuotantoteho oli noin 235 tonnia tuntia kohden, kun työaika oli 7:00 – 20:00. Kahden viikon seurantajakson aikana valmistetusta murskeesta noin 7 prosenttia päätyi tuotannosta suoraan rakenteisiin ja peräti 70 prosenttia kuljetettiin varikon ulkopuolelle välivarastoille.



KUVIO 2. Varikolla suoritettun KaM 0/90 murskauksen kahden viikon otanta

Varikkoalueen ulkopuolisia välivarastoja oli kaksi. Kauhakorvenkadun varastoalue, eli välivarasto 1, sijaitsee noin yhden kilometrin päässä varikolta ja sinne kuljettiin noin 60 000 tonnia murskettua. Välivarasto 2 eli Huppionmäki, sijaitsee noin kahden kilometrin päässä varikolta ja sinne kuljetettiin noin 200 000 tonnia murskettua. Huppionmäen varastoalueella on suoritettu myös murskaustoimintaa allianssin toimesta, joka on esitetty kapaleessa 4.2. Kiviainesten kuljettaminen välivarastoille kuului MRU 1:een sisältöön. Murskeiden kuljettaminen välivarastoille oli välttämätöntä, jotta varikkoaluetta päästiin rakentamaan aikataulun mukaisesti. (Kulha 2019.)

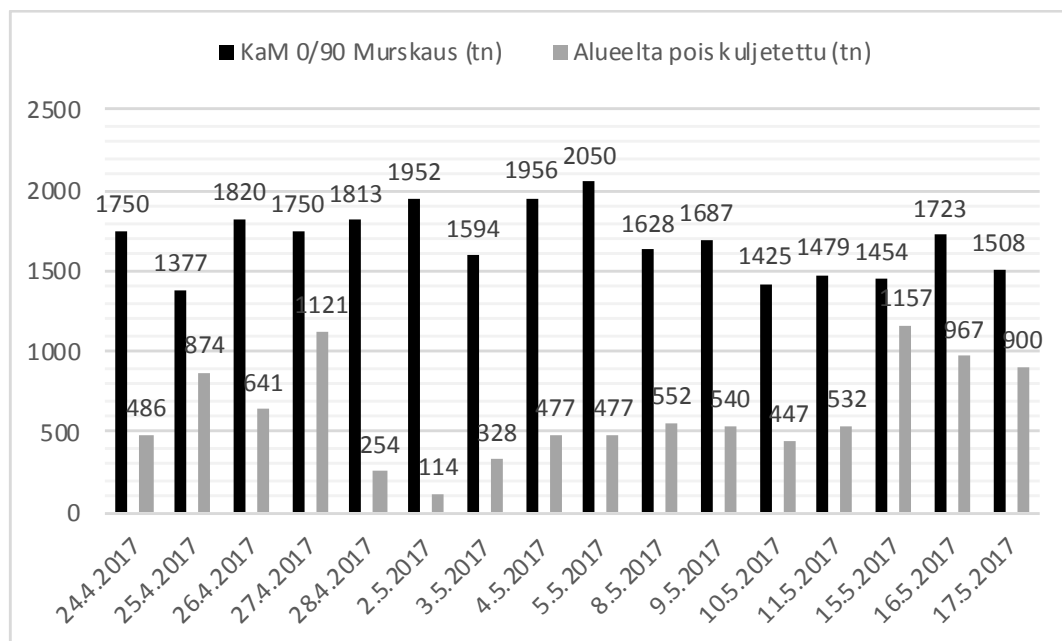
4.3 Huppionmäki

Huppionmäen varastoalue on Tampereen kaupungin omistama alue, jonka kaupunki luovutti raitiotien rakentamisen ajaksi raitiotieallianssin käyttöön. Alueelta on aikaisemmin louhittu ja murskattu kalliota kaupungin omiin tarkoituksiin, jonka jälkeen alueelle oli kuljetettu louhetta muilta hankkeilta ennen raitiotien rakentamista. Myös alueelle kuljetettu louhe luovutettiin allianssille hyötykäytettäväksi. Louhetta oli alueella arviolta noin 60 000 tonnia ja se murskattiin keväällä 2017. Tämän lisäksi alueella oli murskaustoimintaa myös loppukesästä 2017 ja aluetta on käytetty varikolla valmistettujen murskeiden välivarastona. Huppionmäessä on tarkoitus suorittaa hankkeen toimesta kalliionmurskausta vielä kevään 2019 aikana.

Huppionmäen kevään 2017 murskauksessa urakoitsijana toimi urakoitsija 3. Aliurakkasopimuksessa sovittiin tuotantotehoksi 2000 tonnia päivässä ja urakan tulisi olla valmis 49 vuorokauden sisään aloituspäivämäärästä, joka oli 23.3.2017. Työt toteutettiin meluja tärinäilmoituksen sallimalla luvalla ja murskaustöitä sai tehdä arkinen 7:00 – 18:00 välisenä aikana. Murskausta suoritettiin 23.3.2017 - 29.5.2017 välisenä aikana 43 päivää, murskaton tontilta kaiken irtonaisen louheen, jota oli yhteensä noin 68 000 tonnia. Murskaustuotannon tuotantoteho oli keskimäärin 1590 tonnia päivässä, joka tarkoittaa 145 tonnia tuntia kohden. Eri lajikkeiden kokonaistuotantomäärät ovat lueteltuna alla:

- KaM 0/16 8000 tn
- KaM 0/32 10 000 tn
- KaM 0/63EV 18 000 tn
- KaM 0/90 28 000 tn
- KaM 0/300 4000 tn.

Kuviossa 3 on esitetty Huppionmäen KaM 0/90 tuotantoa sekä samanaikaisesti alueelta pois kuljetetun murskeen määrää. KaM 0/90 päiväkohtainen tuotantoteho vaihteli välillä 1425 – 2050 tonnia. Keskimäärin KaM 0/90 valmistettiin 1685 tonnia päivässä, joka tarkoittaa 153 tonnia tuntia kohden. Noin kolmasosa valmistetusta murskeesta, kuljetettiin jo murskaustoiminnan aikana lohkoille rakenteisiin.



KUVIO 3. Huppionmäen kevään 2017 KaM 0/90 murskaustuotanto

4.4 Hallilan raitiotieväylä

Hallila sijoittuu Raitiotieallianssin lohkolle 3 eli niin sanotulle Hervannan Valtaväylän lohkolle. Raitiotie rakennetaan Hallilaan pääosin koskemattomaan ympäristöön, mutta kuitenkin aivan olemassa olevan asutuksen läheisyyteen. Maasto Hallilassa on korkeudeltaan hyvin vaihtelevaa, ja näin ollen raitioväylän rakentaminen sisälsi sekä kallioleikkauksia että pengerryksiä. Suunnittelijoilta saatujen määrien perusteella lohkopäällikkö Kari-Pekka Lumme laati massansiirtosuunnitelman (liite 2), jonka ensimmäisen version mukaan käsiteltävän louheen määrä lohkolla olisi yli 115 000 m³ ja joista 75 000 m³ olisi ylimääräistä louhetta, joka murskattaisiin kahdessa paikassa raitiotielinjalla.

Kevään 2018 edetessä kuljetettiin louhetta lohkolta omien tarpeiden lisäksi myös luvussa 4.4 esiteltyyn varastopaikkaan, jossa olisi tarkoitus murskata suurempi määrä kiviaineksiä hankkeelle. Louheen varastointi sinne kuitenkin keskeytettiin lupapuutteiden vuoksi. Tämän jälkeen paikallinen kuljetusalan yritys sekä ulkopuolinen hanke tarjoutuivat kuljettamaan ja ottamaan ylimääräistä louhetta vastaan omakustanteisesti, ainoastaan louheen kuormauksen kuuluen raitiotieallianssille. Osittain tästä syystä sekä työsuunnitelmien muutenkin tarkennettua päädyttiin päivittämään massansiirtosuunnitelmaa niin, että ylimääräinen louhe annetaan kuljetusyritykselle sekä ulkopuoliselle hankkeelle ja kalliota murskataan lohkolla vain Pehkusuonkadun pohjoispuolella.

Pehkusuonkadun pohjoispuoli valikoitui murskauspaikaksi pääasiassa käytettävissä olevan tilan, sekä työmaalla käynnissä olleiden työvaiheiden perusteella, sillä siellä ei ollut käynnissä esimerkiksi toimintaa rajoittavia sillanrakennustöitä. Murskattava louhemäärä olisi noin 35 000 tonnia, josta jalostettaisiin pääosin lajiketta KaM 0/90 sekä pieni määrä lajiketta KaM 0/300. Hallilassa olisi ennen murskausta noin 25 000 tonnia murskattavaa materiaalia, joten 10 000 tonnia louhetta ajettaisiin lohkon sisältä murskauksen ohella. Murskattavan määrän jäädessä matalaksi, katsottiin melu- ja värinäilmoituksen salliman 49:n päivän murskausajan riittävän mainiosti.

Murskaukseen pyydettiin tarjoukset kahdelta hankkeella toimivalta murskausurakoitsijalta, joista urakoitsija 2 antoi kohtuullisen korkean yksikköhinnan vedoten tilanpuutteen sekä vähäiseen murskattavaan määrään. Puolestaan urakoitsija 4, joka työhön valittiin, uskoi murskauksen onnistuvan normaalisti sekä annettu yksikköhinta oli edullisempi. Urakoitsija arvioi murskaustuotannon tehoksi 2500 tonnia päivässä.

Urakoitsijalla 4 oli käytössään kaksivaiheinen murskalaitos (kuva 11), joka koostui Sandvik UJ540 -esimurskaimesta sekä Sandvik CS660 -jälkimurskaimesta. Murskauslaitosta syötettiin 70 tonnia painavalla Volvo EC 700 kaivinkoneella ja laitoksen altakantokoneena toimi 35 tonnia painava Volvo L250 -pyöräkuormaaja. Sandvik UJ540 -esimurskaimen kokonaismassa on 97 tonnia (Sandvik Oy 2019), joten se piti tuoda työmaalle kahtena erikoiskuljetuksena, myös jälkimurskain, syöttökone sekä altakantokone tuotiin erikoiskuljetuksina. Kalusto toimitettiin työmaalle myöhään illasta, jottei se ruuhkauttaisi lähiympäristön liikennettä. Työmaan liittymää jouduttiin levittämään ja liikennettä jouduttiin katkaisemaan, jotta kuljetuskalusto mahtui kääntymään työmaalle.

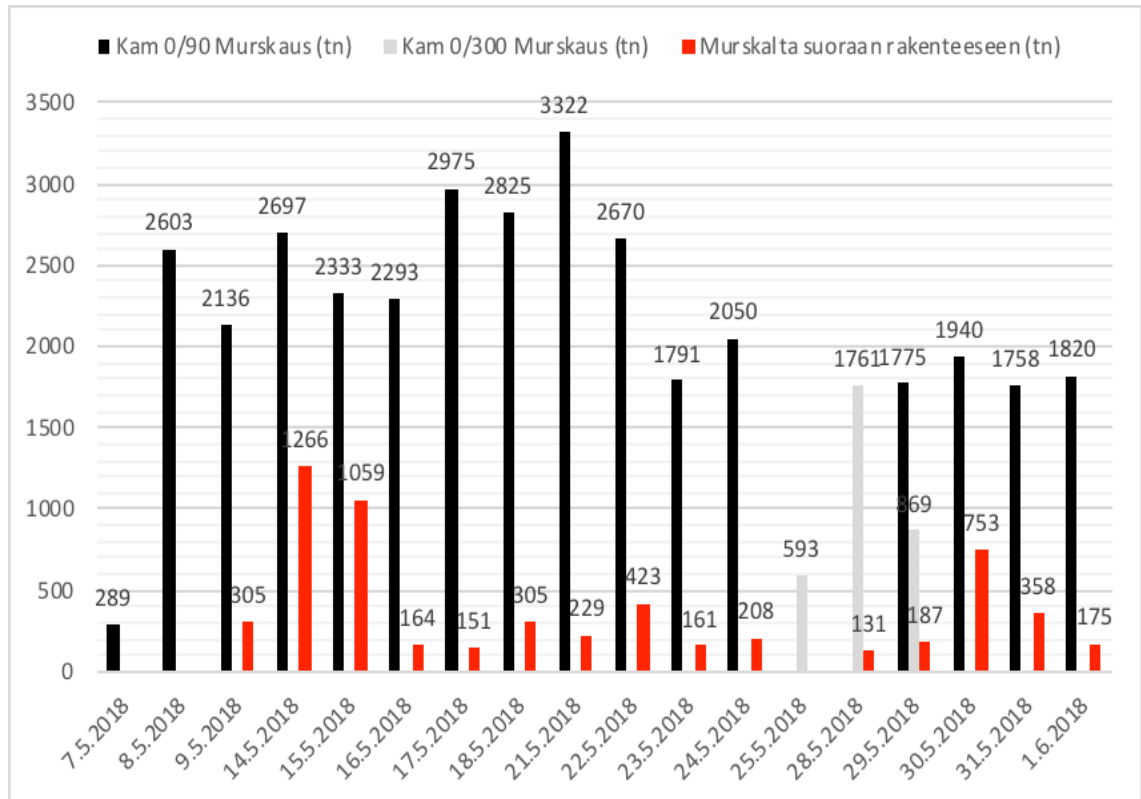


KUVA 11. Urakoitsijan 4 kaksivaiheinen murskauslaitos syöttö- ja altakantokoneineen (Kosonen 2018)

Murskauksesta, louhinnasta, sekä muista maarakennustöistä pidettiin avainhenkilöiden kesken luvussa 2 esitellyn Last Planner -menetelmän mukaisia palavereita töiden yhteensovittamisen sekä tahdistamisen vuoksi. Erityisesti lisälouheen ajaminen tuli suunnitella tarkasti, jottei siitä aiheutuisi häiriöitä muille toimijoille. Lisälouhetta ajettiin murskalaitokselle kasaan myös 10.5.2018 – 13.5.2018 jolloin työmaalla ei ollut muuta toimintaa. Kaikkiaan lisälouhetta ajettiin 8.5.2018 – 24.4.2018 välisenä aikana yhteensä noin 15 000 tonnia.

Kiviaineksien jalostamista suoritettiin 7.5.2018 – 1.6.2018 välisenä aikana, jolloin itse murskaamista tapahtui 18 eri päivän aikana. Näistä kaksi päivää (7.5.2018 & 25.5.2018) olivat tavallista työpäivää huomattavasti lyhyempiä, joten niitä ei huomioida tuotannon keskiarvoissa. Kalliota murskattiin yhteensä 38 500 tonnia, valmistuen lajiketta KaM

0/90 noin 35 250 tonnia ja lajiketta KaM 0/300 noin 3250 tonnia. Kuviossa 4 on esitetty Hallilan murskauksen toteutuneita tuotantotehoja, sekä murskalaitokselta suoraan rakenteisiin siirretyt kiviainekset.



KUVIO 4. Hallilan väylällä tapahtuneen murskauksen tuotantotehot

Päivittäinen murskauksen työaika oli meluluvassa määritelty 7:00 – 18:00. Työpäivän aikana kalliota murskattiin keskimäärin 2140 tonnia, joka tarkoittaa 195 tonnia tuntia kohden. Murskauksen päiväkohtainen tuotantoteho vaihteli välillä 1750 – 3300 t/d. Kuviossa 3 on nähtävissä, kuinka murskaustuotanto jakautuu kahteen osaan. Ensimmäisen 10 työpäivän aikana (7.5.2018 – 22.5.2018) kalliota murskattiin pysäkkialueella noin 2400 tonnia päivässä. Loppupuoliskon 7 täysimittaisen työpäivän aikana kalliota murskattiin pääosin kapeahkossa kallioleikkauksessa (kuva 10) noin 1960 tonnia päivässä.

Pääosin murskattu kiviaines varastoitiin Hallilaan rakennettavan raitiotiepysäkin paikalle, joka on muuta ratalinjan poikkileikkausta verrattain leveämpi. Tilanpuutteen vuoksi oli ensiarvoisen tärkeää että, murskettua pystyttiin käyttämään suoraan tuotannosta rakenteisiin. Tämä tapahtui kuorma-autolla kuljettamalla tai altakantokoneella suoraan rakenteeseen kantamalla. Lähestulkoon kuudesosa (kuvio 4) valmistetusta murskeesta päätyi varastokasan sijasta suoraan rakenteisiin.

4.5 Urakoitsijan varasto

Tampereen kaakkoisosassa sijaitsi hankkeella toimineen urakoitsijan (salattu kilpailullisista syistä) omaa kiviainestuotantoa (liite 3). Urakoitsija tarjoutui ottamaan kiinteistölle vastaan louhetta, joka murskattaisiin alueella raitiotiehankeeseen käyttöön. Alueelle oli tarkoitus läjittää lähestulkoon kaikki hankkeen ylimääräinen louhe, jota ei pystytä suoraan irrotuspaikassaan hyödyntämään.

Alueelle ennätettiin kevään 2018 aikana ajamaan noin 18 000 tonnia louhetta, kun yllättäen selvisi, että murskaustoiminnan luvanvaraisuudessa oli epäselvyyksiä. Louheen kuljettaminen alueelle keskeytettiin välittömästi. Voimassa olleet luvat kuitenkin mahdollistivat vielä raitiotiehankeelta ajetun louheen jalostamisen kiinteistöllä murskeeksi.

4.6 Ikean varasto

Hankkeelta kertyneitä kierrätysmateriaaleja, kuten soraa, varastoitettiin kaupungin luovuttamalle tontille, joka sijaitsi Tampereen Lahdesjärvellä. Yllättäen syksyllä 2018 kaupunki ilmoitti, että se tarvitsee tontin omaan käyttöönsä vuoden loppuun mennessä. Tämä tarkoitti sitä, että tontille varastoitu kierrätysSORA jouduttiin nopealla aikataululla kuljettamaan alueelta pois. Soran olisi voinut välivarastoida kahden kilometrin etäisyydelle ns. Ikean varastoalueelle, mutta sora päätettiin käyttää lohkolla 3 rakennettaviin penkereisiin.

Lohkolla kolme oli alkuperäisen massansiirtosuunnitelman mukaisesti tarkoitus käyttää syksyllä 2018 rakennettaviin penkereisiin ainoastaan louhetta, joka irrotettaisiin penge-rostuksien vierestä. Kun penkereet rakennettiin sorasta, kuljetettiin ylimääräinen louhe Ikean varastoalueelle, jossa siitä kevään 2019 aikana on tarkoitus jalostaa murskeita kaupunkilohkojen käytettäväksi. Ikean varastoalueelle kertyi murskattavaa louhetta yhteensä noin 40 000 tonnia.

5 ONGELMAT RAITIOTIEHANKKEELLA

5.1 Murskaustuotannon ongelmat

Pääosin hankkeella suoritettujen kallion murskaukset ovat sujuneet kohtalaisen hyvin ilman suurempia ongelmia. Hankkeen murskaustöiden sopimuksista sekä toteutuneista tuotantotehoista voidaan kuitenkin nähdä, että urakoitsijat eivät ole pystyneet suoriutumaan sovitusta tuotantotehoista. Tämä havainto ei koske varikon MRU 1 murskaustoimintaa. Hallilassa murskattaessa keskimääräinen tuotantoteho oli noin 25 prosenttia vähemmän kuin mitä sopimuksessa oli määritelty ja kun murskausta suoritettiin kallioleikkauksessa, oli tuotantoteho peräti 33 prosenttia sovittua alhaisempi. Huppionmäen murskauksen sovittu tuotantotahti oli hankkeen murskauksien matalin. Tämän lisäksi toteutunut tuotantoteho oli Huppionmäessä 20 prosenttia matalampi kuin mitä sopimusasiakirjoissa oli määritelty. Alhainen tuotantoteho pidensi murskausaikaa ja näin ollen melu- ja tärinäilmoituksen sallimat 49 murskauspäivää olivat käytettynä jo vuoden 2017 loppuun.

Murskaustuotannon sovittamista raitiotielinjalle on rajoittanut muiden käynnissä olevien työvaiheiden, tilan puutteen sekä määrämuutoksien lisäksi osittain myös työnjohdon puutteellinen tietämys murskaustoiminnasta sekä eri lajikkeiden laatuvaatimuksista. Kallion murskaus on ollut usealle hankkeen työnohtajalle täysin uutta, jonka johdosta esimerkiksi kaluston siirrettävyydestä sekä kokoonpanosta eri variaatioineen ei ole ollut parasta asiantuntemusta. Tämän lisäksi murskaustoimintaa ei ole usein suunniteltu tarpeeksi aikaisin kokonaisuudessaan ja murskausurakoitsijoiden tuomaa omaa näkemystä ei ole pystytty huomioimaan tarpeeksi ajoissa ja monipuolisesti. Nopeiden muutoksien vuoksi myös urakoitsijoita ei ole ollut runsaasti saatavissa, joka on saattanut näkyä myös murskauksen yksikköhinnoissa.

5.2 Kiviainesten käytön ongelmat

Murskaustuotannon sekä kiviaineksien käytön suunnittelua on vaikeuttanut hankkeella erityisesti suunnitelmien puutteellisuus sekä kommunikointiongelmat. Rakentamissuunnitelmat valmistuvat hyvin lyhyellä aikataululla ennen rakentamista, minkä johdosta työn

tarkempaan suunnitteluun ei välttämättä jää tarpeeksi aikaa. Suunnitelmien ja määrätietouden puute heijastuu erityisesti suunniteltaessa mitä lajikkeita halutaan valmistaa ja kuinka paljon. Raitiotiehankeella kiviainestuotannon suunnittelua on vaikeuttanut erityisesti hankkeen laajennukset, joiden myötä käytettävän kiviaineksien määrä on kasvanut lähes kolmanneksen.

Kommunikointiongelmat kiviaineksien käytössä hankkeella ovat nousseet näkyviin lohkojen välisessä toiminnassa. Lohkot rakentavat omaa osuuttaan tehokkaasti, mutta toisinaan hankkeen kokonaisuus jää esimerkiksi massoja siirreltäessä suunnittelematta. Erityisesti kierrätysmateriaaleja välivarastoidaan, sen sijaan että materiaali kuljetettaisiin toiselle lohkolle suoraan rakenteeseen. Hankkeella on käytössä useita murskevarastoja, joihin eri lajikkeita on varastoitu. Toisinaan murskevarastojen käyttämisessä on myös ollut kommunikointiongelmia, kun ei ole tiedetty, mistä varastoalueelta tiettyä lajiketta ladataan.

Työnjohdon asiantuntemuksessa sekä työnjohdon ja suunnittelun välisessä vuorovaikutuksessa on havaittu myös ongelmia kiviaineksien käytössä. Erityisesti raitiotien alusrakenteen eristys – ja välikerroksessa käytettävän EV 0/63 kalliomurskeen käyttäminen on aiheuttanut ristiriitoja hankkeella. Hankkeen taitorakennesuunnitelmissa esitetään käytettäväksi normaalia 0/63 kalliomursketta esimerkiksi arinarakenteissa. Hankkeella ei ole valmistettu kuitenkaan ollenkaan normaalia 0/63 kalliomursketta, ja näin syntyi tilanne, kun eristys- ja välikerroksen kalliomursketta käytettiin turhaan arinarakenteisiin, joihin olisi voitu käyttää esimerkiksi normaalia 0/90 kalliomursketta.

6 KEHITYSEHDOTUKSET

6.1 Murskaustuotannon kehittäminen

Jotta kiviaineksia pystytään jalostamaan jo irrotuspaikallaan taajamassa kustannustehokkaasti, tulisi murskauksen suunnittelu aloittaa varhaisessa vaiheessa. Samoin jalostettavien kiviainesten määrät ja laatukriteerit tulisi ottaa huomioon varhain, sillä urakoitsijoilla on monenlaista kalustoa kallion murskaukseen, joka vaikuttaa niin lopputuotteen ominaisuuksiin, kaluston siirrettävyyteen, kuin tuotantotehoonkin. Kun tilaa on reilusti käytettävissä, kannattaa suosia tuotantoteholtaan mahdollisimman tehokkaita laitteistoja, jotta työ voidaan toteuttaa melu- ja värinän ilmoituksen salliman murskausajan puutteissa. Sen sijaan ahtaalla väylällä murskatessa voi olla parempi toteuttaa murskaustyöt kompaktimmalla murskauslaitoksella.

Murskausurakoitsijan kanssa tulisi käydä tarkemmin läpi erityisesti tuotantotehon merkitys. Urakoitsijoiden toteutuneet tuotantotehot ovat olleet huomattavasti sovittuja tuotantotehoja matalampia. Näyttää siltä, että sovittuja tuotantotehoja on pystytty noudattamaan vain muutamana päivänä. Urakoitsijat eivät mahdollisesti ole huomioineet päiviä, jolloin kalustoa joudutaan huoltamaan tai korjaamaan. Tämä kaikki tulee kuitenkin huomioida, sillä päivänä, jona murskataan vain esimerkiksi kaksi tuntia, luetaan kuitenkin täydeksi murskauspäiväksi. Näin ollen lyhyiden murskauspäivien vuoksi menetetään turhaan melu- ja värinän ilmoituksen sallimia murskauspäiviä.

Murskaustyön tilantarpeeseen vaikuttaa käytettävissä oleva murskauskalusto sekä valmiiden tuotteiden varastokasojen tarve. Väylällä murskattaessa jalostettavien lajikkeiden määrää joudutaan tilanpuutteen vuoksi useimmiten rajoittamaan. Eristys- ja välikerroksessa käytettävää 0/63 kalliomursketta on valmistettu hankkeella pääosin kolmivaiheisella murskauslaitoksella, jolloin valmis tuote on ollut hyvin kuutiomaista. Tutkittaessa EV 0/63 kalliomurskeen laatuvaatimuksia, selviää kuitenkin, että tuotteella ei ole muotoarvo- tai litteyslukuvaatimuksia. Näin ollen pystytään EV 0/63 kalliomursketta valmistamaan myös kaksivaiheisella murskauslaitoksella ilman kuutiointia, joten tuotetta pystyisi valmistamaan myös väylällä.

6.2 Kiviainesten käyttämisen kehittäminen

Ensisijaisesti hankkeen kiviainesten käyttämistä tulisi tehostaa paremmalla kommunikoinnilla. Hankkeen laajennukset ja ennalta-arvaamattomia muutoksia on vaikea arvioida etukäteen, jonka vuoksi tulee keskittyä käynnissä oleviin töihin ja tuotannosuunniteluun ja ohjaamiseen. Työnjohdon ja suunnittelun välinen kommunikointi on huomattavasti parantunut hankkeen edetessä, mutta lohkojen välisessä kommunikoinnissa sekä tuotannon yhteensovittamisessa on edelleenkin ongelmia.

Tällä hetkellä lohkot viestivät ylimääräisistä maa- ja kiviaineksista pääosin Whatsupp -sovelluksen kautta, joka on melko työlästä ja siellä on usein myös vanhaa tietoa. Maa- ja kiviainesten tehokkaampaa hyötykäyttöä ajatellen, tulisi käyttöön ottaa tai kehittää jokin visuaalinen karttasovellus, jossa olisi ajantasainen tieto käytettävissä olevien kiviainesvarastojen sijainneista ja tilanteesta. Sovelluksessa tulisi olla helppo ja yksinkertainen, sekä siinä tulisi olla myös mahdollisuus luoda vastaanottoa paikka ylimääräisille maa- ja kiviaineksille. Hankkeella on käytössä Infrakit -pilvipalvelu, jolla pystytään hallinnoimaan koneohjattujen työkoneiden malleja sekä seuraamaan infraprojektin edistymistä tietokoneella sekä mobiililaitteella, joten tulisikin selvittää pystyisikö kyseenomaista sovellusta käyttämään tähän maa- ja kiviainesten hallintaan.

Hanke on kokoluokaltaan suuri, jossa yhdistyy niin kadunrakentaminen kuin radanrakentaminen omine kiviainesmateriaaleineen. Tämän vuoksi tulisi vakavasti harkita, pitäisikö hankkeelle palkata kiviaineksien tuotantoa sekä käyttämistä varten asiantuntija. Tähän asti kiviainestuotantoa sekä käyttämistä ovat ohjanneet työnjohtajat ja tekniikkalajivastaavat muiden töiden ohella. Aktiivinen ja tehokas asiantuntija tässä tehtävässä olisi varmasti hankkeen kannalta erittäin kustannustehokas ja kannattava sijoitus.

7 POHDINTA

Väylähankkeella, jossa käsitellään paljon maa- ja kiviaineksia, muodostuu luonnollisesti suurin osa kustannuksista myös tästä toiminnasta. Kun raitiotietä rakennetaan taajamaympäristöön, maa- ja kiviainesten käsittelystä ja käytöstä syntyvät kustannukset ovat hankkeen kokonaiskustannuksissa pienemmässä roolissa kuin perinteistä rautatie- tai tieväylää rakennettaessa. Taajamaympäristössä kiviaineksen jalostamisella irrotuspaikassaan sekä sen myötä kuljettamisen minimoinnilla, voidaan kuitenkin saada merkittäviä kustannussäästöjä. Kallionmurskaus on jo vuosikymmenet perustunut samaan periaatteeseen, mutta kalusto on kuitenkin kehittynyt huomasti, niin siirrettävyydeltään kuin ympäristöystävällisyydeltään.

Maa- ja kiviaineksien kuljettamisesta syntyy myös suuret päästöt. On mielenkiintoista nähdä, kuinka tulevaisuudessa ympäristöystävällisyys otetaan huomioon infrahankkeen tuotannossa. Tässä asiassa tulee työmaan lähiympäristön asukkailla olemaan myös suuri rooli, sillä ovatko he valmiita sietämään esimerkiksi lyhytaikaista murskaustoiminnan melua asuinympäristössään. Vaihtoehtona on myös kiviaineksen kuljettaminen muualle murskattavaksi, ja sieltä takaisin työmaalle, luonnollisesti suuremmilla päästöillä. Ympäristöystävällisyys, on kuitenkin vain yksi kymmenistä asioista, jota murskaustoimintaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon. Tämän vuoksi murskaustoimintaa tulee aina suunnitella kohdekohtaisesti, riittävän ajoissa, sekä alan asiantuntijoiden kanssa yhdessä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehostaa allianssihankkeen väylällä tapahtuvaa kallion murskausta sekä siihen liittyviä oheistoimintoja. Tutkimuksessa käy ilmi hankkeen murskaustuotannon, sekä kiviainesten käyttämiseen liittyviä todellisia ongelmia. Kehitysehdotukset tulevat tehostamaan toimintaa hankkeella sekä erityisesti tulevissa projekteissa, joten koen tavoitteen onnistuneen. Opinnäytetyö antaa lisäksi hyvän käsityksen kallion murskauksesta työnjohtajalle, jolla ei ole ennestään kokemusta murskaustuotannon sovittamisesta väylätyömaalle.

LÄHTEET

- Arvonen, M. Tekniikkalajivastaava Raitiotieallianssi. 2019. Haastattelu 14.2.2019 Tampere. Haastattelija Antti Kärnä
- ELY-keskus. 2018. Luvat ja lausunnot. Erikoiskuljetukset. Luettu 7.1.2019. <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/erikoiskuljetukset>
- Hartikainen, O. 1982. Kalliorakennustekniikka. 2.korj.p. Espoo: Otakustantamo.
- InfraRYL Tekniset vaatimukset. 2009. Rakennustieto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Jääskeläinen, R. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. Tampere: Tammertekniikka.
- Koivuaho, M. Työmaapäällikkö Normilouhinta Oy. 2018. Haastattelu 3.5.2018 Tampere. Haastattelija Antti Kärnä
- Kulha, J. Lohkopäällikkö Raitiotieallianssi. 2019. Haastattelu 29.1.2019 Tampere. Haastattelija Antti Kärnä
- Laki ympäristönvaikutusten arviointimenettelystä 252/2017.
- Lappalainen, P., Hakapää, A. & Paalumäki, T. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. uud. p. Helsinki: Opetushallitus : Kaivosteollisuus.
- Lean Construction Blog 2017. The history of the development of the Last Planner System – article. Luettu 3.1.2019. <https://leanconstructionblog.com/The-History-of-The-Development-of-the-Last-Planner-System.html>
- Lean Construction Institution. 2015. Last Planner -menetelmä tuotannonohjaukseen. Luettu 3.1.2019. <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/last-planner-systeemi/>
- Liikennevirasto. 2017. Ohje riskienhallinnan menetelmistä. Luettu 16.1.2019 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-40_ohje_riskienhallinnan_web.pdf
- Lilja R., Heinonen H & Kuosmanen E. 2017. Selvitys naapurusoikeudellisen luvantarveperusteen soveltamisesta ympäristölupamenettelyssä. Ympäristöministeriö. Luettu 17.1.2019. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79416/YMra_9_2017.pdf?sequence=1
- Lindholm, M. & Junnonen, J. 2012. Infrahankkeen tuotannonhallinta. Helsinki: Suomen Rakennusmedia.
- Lumme, K-P. Lohkopäällikkö Raitiotieallianssi. 2019. Haastattelut 22.1.2019 & 19.2.2019 Tampere. Haastattelija Antti Kärnä
- Maa-aineslaki 24.7.1981/555.

Metso Minerals Oy. 2011. Crushing and Screening handbook

Metso Minerals Oy. 2016. Blogiteksti. Bruno simulointityökalulla jo yli 7000 käyttäjää. Luettu 9.1.2019. <https://www.metso.com/fi/metsoblogit/blogi-huoltovinkkejä/bruno-simulointityökalulla-jo-yli-7000-käyttäjää/>

Olden, T. Geosuunnittelija Raitiotieallianssi. 2019. Haastattelu 14.2.2019 Tampere. Haastattelija Antti Kärnä

Posiva Oy. 1998. Työraportti 98-40. Louhitun kiven käyttökohteet ja murskaus. Luettu 8.1.2019. http://www.posiva.fi/files/2483/POSIVA-98-40_Tyoraportti_web.pdf

Rakennusteollisuus 2019. Turvallisuusmittarit. Murskamittari 2020. Luettu 9.1.2019. http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tyoturvallisuus/murskamittari-2020/infra_murska-mittari_b5_06072018-1_web.pdf

Rakennustieto 2018. InfraRYL. Päälysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset. Luettu 15.1.2019 <https://www.rakennustieto.fi/infraryl/extra/teknisetvaatimukset>

Tampereen Kaupunki. 2018. Liikenne ja kadut. Raitiotie. Luettu 15.1.2019 <https://www.tampere.fi/liikenne-ja-kadut/liikenne-ja-katusuunnittelu/raitiotie/hankkeen-eteneminen-ja-aikataulu.html>

Teppo, M. Murskaamotyöntekijä Toivosen Sora Oy. 2018. Keskustelut kesän 2018 aikana Antti Kärnä kanssa.

Sandvik Oy. 2019. Mobile jaw crushers. Sandvik UJ540. Luettu 16.1.2019. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/mobile-crushers-and-screens/mobile-jaw-crushers/uj540-mobile-jaw-crusher/>

Suomen ympäristökeskus. 2010. Paras käyttökelpoinen tekniikka. Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa. Luettu 10.1.2018. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37976/SY25_2010.pdf?sequence

Ympäristönsuojelulaki 527/2014.

LIITTEET

Opinnäytetyön liitteet ovat luottamuksellisia.

