

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutus

Riku Partanen

LOUHINTA JA MURSKAUS—
TYÖMENETELMIEN JA SAAVUTUSTEN SEKÄ LOGISTISTEN
VAIHTOEHTOJEN KUSTANNUSVERTAILU

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018

 Karelia AMMATTIKORKEAKOULU	OPINNÄYTETYÖ Joulukuu 2018 Rakennustekniikan koulutus Tikkarinne 9 80200 JOENSUU +358 13 260 600
Tekijä Riku Partanen	
Nimeke Louhinta ja murskaus – Työmenetelmien ja saavutusten sekä logististen vaihtoehtojen kustannusvertailu Toimeksiantaja Graniittirakennus Kallio Oy	
Tiivistelmä Lidl Suomi Ky rakennutti Järvenpäähän Uudenmaan jakelu- ja logistiikkakeskuksen. Opinnäytetyön toimeksiantajan Graniittirakennus Kallio Oy:n urakkaan kuuluivat päärakennusvaiheen kaikki maatyöt sekä paikallavalutyöt. Opinnäytetyössä käydään läpi louhinta- ja murskaustöiden teoriaa sekä tarkastellaan eri työvaiheissa syntyviä ympäristö- ja meluhaittoja. Louhinnasta syntyvä tärinä voi olla työtä rajoittava tekijä. Asiantuntijat laativat louhittavan alueen lähistöllä sijaitseville kohteille sallitut tärinäarvot, joita tulee noudattaa. Louhinta- ja murskaustöissä logistiikkasuunnittelulla voidaan säästää paljon rahaa sekä mahdollistaa sujuvuus työmaalla toimivien urakoitsijoiden välillä. Urakan työsaavutusten avulla pohditaan murskauksen ja louhinnan läpiviennin onnistumista urakassa. Laskutoimituksissa kaluston mitoitus sekä murskeen logististen vaihtoehtojen kustannusvertailu perustuu myös urakan työsaavutuksiin.	
Kieli suomi	Sivuja 52 Liitteet 4 Liitesivumäärä 4
Asiasanat louhinta, murskaus, tärinä, logistiikka	

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS December 2018 Degree programme in Construction Engineering Tikkarinne 9 80200 JOENSUU FINLAND + 358 13 260 600	
Author Riku Partanen		
Title Blasting and crushing— Work methods, achievements and logistics planning expense calculating Commissioned by Graniittirakennus Kallio Oy		
Abstract Lidl Suomi Ky constructed a logistics centre in Järvenpää in the metropolitan area. The contract of the client Graniittirakennus Kallio Oy included all earthmoving and concrete works. The thesis introduces the theory of rock blasting and crushing and inspects the noise and environmental impacts in various work stages. Rock blasting cause tremor, which may become a restrictive issue during the work. Consultants compose tremor limits to properties around the rock blasting area. These tremor limit values must be followed to ensure the safety of the properties. In rock blasting and crushing, logistics planning can save money and time and also secure smooth progression between contractors on the worksite. The work success in rock blasting and crushing are evaluated based on the collected information from the worksite. This information is also used when considering the costs of crushed stone loading and transport in different variations as well as the equipment needed for the work.		
Language Finnish		Pages 52 Appendices 4 Pages of Appendices 4
Keywords Blasting, clushing, logistics, tremor		

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	3
2	Kohteen esittely ja hankkeen keskeiset osapuolet.....	4
2.1	Urakan lähtötilanne	4
2.2	Tilaaaja	5
2.3	Urakoitsijat	5
3	Urakan laatudokumentit ja säädökset.....	6
3.1	Maa-ainesten käsittelyyn liittyvä lainsäädäntö	6
3.2	Louhintaan ja murskaukseen liittyvää lainsäädäntöä.....	7
3.3	Vuoden 2016 lakimuutokset räjäytystöiden pätevyysvaatimuksiin.....	8
3.4	Urakan laatusuunnitelmat	9
3.5	Ympäristötarkastajan päätös Lidl Suomi Ky:lle	10
4	Louhinta	12
4.1	Erilaiset louhintatyöt.....	12
4.2	Louhintateoriaa	13
4.3	Louhinnan aiheuttama värinä	14
4.4	Louhintavärinän arviointia.....	14
4.5	Värinämittaukset ja katselmukset.....	16
5	Murskaus	18
5.1	Murskaamot, murskaamolaitteet ja työkoneet.....	18
5.2	Murskauskalusto työmaalla.....	19
6	Murskaustekniikka ja prosessi	19
6.1	Esimurskaus	19
6.2	Välimurskaus	21
6.3	Hienomurskaus ja kuutiointi	23
6.4	Huolto	23
6.5	Louhinnan ja murskauksen haitat yleisesti.....	23
7	Louhinta ja murskaus työmaan näkökulmasta	26
7.1	Suunnitelmat.....	26
7.2	Työnaikaisten tietojen kerääminen	27
7.3	Poraus	28
7.4	Panostus.....	30
7.5	Sytytys	32
7.6	Louhittavan alueen suojaus	32
7.7	Louhintaräjäytys.....	34
7.8	Louheiden raivaus	34
7.9	Louhintadokumentit	35
8	Pohdinta.....	38
8.1	Louhinnan saavutukset.....	38
8.2	Louhintavärinät.....	42
8.3	Murskauksen saavutukset	43
8.4	Murskeen siirron logististen vaihtoehtojen ja kustannusten vertailu...44	
8.5	Yhteenveto.....	49
	Lähteet.....	51

Liitteet

- Liite 1 Kenttäkortti, louhintakenttä K2
- Liite 2 Louhinta-alueet K1 - K174
- Liite 3 Tärinämittareiden sijainnit sekä tärinämittareiden raja-arvot
- Liite 4 Aluesuunnitelma 27.04.2017

1 Johdanto

Työvaiheina louhinta ja murskaus ovat tavanomaisia maanrakennusurakan työvaiheita. Maanrakennuksessa törmätään useasti tilanteeseen, jossa kalliota täytyy louhia suunnitellun rakenteen tieltä pois. Louhintaa harjoitetaan myös tarvikelouhintana eli louhittavasta kiviaineksesta jalostetaan haluttua kiviainesta. Kalliomursketta (KaM) tarvitaan lähes kaikissa maanrakennustöissä. Ideaalitilanteessa urakkaan kuuluu louhintaa, ja louheelle tai louheesta jalostettavalle kalliomurskeelle on käyttöä louhintatyömaalla. Näin vältetään ylimääräiseltä lastaukselta, varastoinnilta ja kuljetukselta sekä voidaan priorisoida murskattavat kiviaineslaadut mahdollisimman tarkasti. [17, 190.]

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi infra-alaan erikoistunut Graniittirakennus Kallio Oy (GRK). Yritys toimi päärakennusvaiheen pääurakoitsijana. Urakka käsitti päärakennusvaiheen kaikki maatyöt sekä paalulaattojen ja perustusten paikalla valutyöt. [5.]

Louhinta- ja murskaustyön aikana systemaattisesti kerätty tieto työmaalta sekä opinnäytetyön teoriaosuus on toiminut työn suunnittelun pohjana. Opinnäytetyössä esitetään Lidl:n logistiikkakeskuksen MRU2 laajuudeltaan vaativan maanrakennusurakan louhinta- ja murskaustyön työmenetelmät ja saavutukset. Työssä pohditaan louhinnan ja murskauksen vaikutusta muihin työvaiheisiin ja ympäristöön. Työn tavoitteena on pohtia logistiikkasuunnittelun merkitystä murskeen lastaus- ja kuljetuskustannuksissa tämän urakan näkökulmasta.

2 Kohteen esittely ja hankkeen keskeiset osapuolet

2.1 Urakan lähtötilanne

Kohteeseen rakennettiin Lidl Suomi Ky:lle uusi jakelu- ja logistiikkakeskus. Urakka käsitti päärakennusvaiheen maatyöt sekä paalulaattojen ja perustusten paikallavalutyöt. Tontin koko oli noin 24 hehtaaria ja rakennuksen ala noin 55 000 m². Rakennusalue sijaitsi Järvenpäässä lähellä Helsinki-Lahti -moottoritien liittymää ja Helsinki-Lahti -junarataa. Alue oli alun perin avointa peltoaluetta ja osittain kallioista metsää. Tontilta on esirakennusvaiheessa raivattu pintamaat.

Kallion louhintaa rakennuksen alueella oli noin 50 000 m³ ja piha-alueella noin 200 000 m³ sekä kanaalilouhintaa noin 10 000 m³. Louheita urakassa murskattiin noin 450 000 tonnia. Piha-alueen ja rakennuksen mursketäyttöjä tehtiin urakassa noin 200 000 m³. [5.]

Piha-alueen asfaltointeja oli noin 120 000 m². Pilaristabilointia urakassa oli noin 67 000 metriä, teräsbetonipaaluja noin 18 000 metriä ja teräksisiä porapaaluja noin 2 300 metriä. Paalu- ja pihalaatoissa valmisbetonia oli noin 16 000 m³ ja betoniraudoitusta noin 1 460 000 kg. Rakennuksen anturoissa, pilastereissa ja muissa perustuksissa valmisbetonia oli noin 7 700 m³ ja betoniraudoitusta noin 460 000 kg. Vesihuoltotöitä urakassa tehtiin yhteensä noin 7000 metriä. [5.]

Lisäksi urakkaan kuului sähköistyksen, ulkovalaistuksen sekä autolämmityskaapeloinnin ja jalustojen rakentaminen maadoituksineen ja suojaputkineen. Meluseinää rakennettiin 230 metriä, kivikorimuureja 790 metriä, tontin raja-aitaa noin 2000 metriä. Urakkaan kuuluivat myös vihertyöt kahden vuoden takuuhoitotöineen. [5.]

2.2 Tilaaja

Urakan tilaajana toimi Lidl Suomi Ky. Saksalainen perheyhtiö Lidl on yksi Euroopan suurimmista päivittäistavaraketjuista. Lidlin myymälöitä on Euroopan 27:ssä maassa ja kesällä 2017 Yhdysvalloissa avattiin ensimmäiset Lidl -myymälät. Suomessa Lidl -myymälöitä on yli 170. Lidl:n tytäryhtiön Lidl Suomi Ky:n pääkonttori on Espoossa. Lidl Suomi työllistää yhteensä 5200 kaupan alan ammattilaista. [25.]

2.3 Urakoitsijat

Graniittirakennus Kallio Oy

Graniittirakennus Kallio toimi päätoteutusvaiheen pääurakoitsijana. GRK:n perusti Armas Kallio Tuusulassa vuonna 1983. Armas Kallio keskittyi pitkään kiinteistökauppoihin ja rakennuttamiseen. Vuonna 2007 yhtiö aloitti laajentamaan toimintaansa infraurakointiin, josta tuli myöhemmin GRK:n päätoimiala. Infran merkitys vahvistui ja kasvu vauhdittui vuonna 2010. Vuonna 2017 GRK:n infraurakoinnin henkilöstömäärä on noussut yli 150:een. [1.]

Louhintaliike Varjonen Terjo Oy

Louhintaliike Varjonen Terjo Oy hoiti louhintayöt työmaalla. Yritys on perustettu 1980 omistajan nimen mukaisesti. Perustajalla on kymmenien vuosien kokemus louhintatöistä. Yritys tarjoaa louhintapalveluita pääsääntöisesti yritys- ja julkishallinnon käyttöön. [2.]

Kone-Kostamo Oy

Kone-Kostamo vastasi työmaan murskauksesta suorittamisesta. Kone-Kostamo Oy on yksi Suomen suurimmista murskausyrityksistä. Yritys on perustettu vuonna 1956 nimellä Kostamo-Yhtymä. Yritys keskittyi lähinnä tierakentamiseen ja -urakointiin pohjoisemmassa. Murskaustoiminta aloitettiin 1964 ja nimi muuttui Kone Kostamo Oy:ksi vuonna 1975. Yrityksellä on viisi siirrettävää

murskausasemaa ja toimialue kattaa nykyään koko Suomen. Kone-Kostamo työllistää 35-45 henkilöä. [4.]

3 Urakan laatudokumentit ja säädökset

Lidl Ky:llä on voimassa oleva ympäristölupa (KU-YK § 48/14.4.2015). Ympäristölupa liittyy samalla kiinteistöllä tapahtuvaan murskaukseen [6.]. Asemakaavan mukaiselle rakentamiselle on myönnetty rakennuslupa 29.11.2016 (§82, 16-0297-R-21).

3.1 Maa-ainesten käsittelyyn liittyvä lainsäädäntö

Maa-aineslakia (1981/555) sovelletaan hiekan, soran, saven ja mullan ottamiseen ja poiskuljettamiseen, tai työmaa-alueella varastointiin tai jalostustoimintoon. Maa-aineslaki pyrkii säätelemään maa-ainesten käsittelyä tukemalla kestävä kehitystä. Jos toiminta aiheuttaa läheiseen kiinteistöön arvon alenemaa, on kiinteistön omistajalla tai haltijalla oikeus saada aineiden ottajalta täysi korvaus haitasta, joka aineiden ottamisesta hänelle aiheutuu. [7.]

Lupaa maa-ainesten ottamiseen haetaan kirjallisesti. Valtioneuvoston asetuksessa maa-ainesten ottamisesta (926/2005) määrätään, että lupahakemuksessa täytyy ilmoittaa toimenpiteet ympäristöhaittojen vähentämiseksi, arvio riskeistä, onnettomuuksien estämiseksi suunnitelluista toimista sekä suunnitelma toiminnan ympäristövaikutusten tarkkailusta. Luvassa voidaan esittää lupaehdot tärinöiden suhteen sekä rajoittaa toimintaa haittojen ehkäisemiseksi. [7.]

Laissa ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (713/2006) määrätään, että lupahakemukseen on liitettävä myös laajempi ympäristövaikutusten arviointi (YVA) mikäli kiven, soran tai hiekanoton louhintat- tai kaivualueen pinta-ala on yli

25 hehtaaria tai otettava ainesmäärä vähintään 200 000 kiintokuutiometriä vuodessa. [8.]

Ympäristönsuojeluasetus (2000/169) määrittää eri toimintojen luvanvaraisuudesta. Lain mukaan murskaukseen ja louhintaan täytyy hakea ympäristölupa, jos kiviainesta käsitellään vähintään 50 päivää vuodessa. Yli 50 päivää kestävässä työhön luvan myöntää kunnan ympäristösuojeluviranomainen. Kun työ kestää alle 50 päivää, riittää ilmoitus kunnan ympäristöviranomaiselle melua ja tärinää aiheuttavasta tilapäisestä toiminnasta. Ilmoitus on tehtävä viimeistään 30 vuorokautta ennen työn aloittamista. [9.]

Ympäristönsuojelulain (2000/86) tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantuminen sekä poistaa ja vähentää pilaantumisesta aiheutuvia vahinkoja sekä tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioon ottamista kokonaisuutena. Ympäristön pilaantumisella laissa tarkoitetaan sellaista ihmisen toiminnasta johtuvaa aineen, melun, energian, tärinän, valon, säteilyn, lämmön tai hajun päästämistä tai jättämistä ympäristöön, jonka seurauksena aiheutuu haittaa ympäristölle tai ihmiselle. Toiminnanharjoittajalla on oltava riittävästi tietoa toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista. [9.]

3.2 Louhintaan ja murskaukseen liittyvää lainsäädäntöä

Räjäytystyöt luokitellaan yleisvaarallisiin töihin, joten niihin sovelletaan tuottamuksesta riippumatonta ankaraa vastuuta. Tärinän hallinta tilaajan ja toteuttajan kesken määritellään sopimuksissa. Vastuu ulkopuoliselle on tapauksen mukaan tilaajalla, toteuttajalla tai molemmilla yhteisesti. Vastuu sopimuskumppanille on riippuvainen tuottamuksesta eli se edellyttää huolimattomuutta. Työnantajalla on vastuu työntekijän tekemisistä. [10, 115.] Tärinää käsitellään epäsuorasti myös kaavoitusta ohjaavassa maankäyttö- ja rakennuslaissa (1999/132) [11].

Laki eräistä naapuruussuhteista (1920/26) kieltää maan kaivamisen ja kuormittamisen niin, että toisen maalla oleva rakennus vahingoittuu [12]. Laki työntekijöiden suojelemisesta tärinältä aiheutuville vaaroille (48/2005) käsittelee tärinää työsuojelun näkökulmasta [13]. Melusta, tärinästä, valosta, säteilystä, lämmöstä tai hajusta aiheutuvan vahingon korvausvelvollisuus on toiminnan harjoittajalla, tähän rinnastettavissa olevalla toimijalla tai toimijalla, jolle toiminta on luovutettu ja joka on ollut tietoinen vahingosta [14].

Laissa ympäristövahinkojen korvaamisesta (1994/737) määrätään myös, että korvausvelvolliset vastaavat yhteisvastuullisesti ympäristövahingosta, jonka asianomaiset toiminnot ovat todennäköisesti yhdessä aiheuttaneet. Ympäristövahinko korvataan, jos voidaan osoittaa toiminnan ja vahingon välinen yhteys, ja kun häiriön sietämistä pidetään kohtuuttomana. Korvausvelvollisen on korvattava korjauskustannukset ja vahingosta aiheutuneet muut kulut sekä arvonalennus tai tuhoutuneen omaisuuden arvo. [14.]

3.3 Vuoden 2016 lakimuutokset räjäytystöiden pätevyysvaatimuksiin

Vuonna 2016 voimaantuneilla lakimuutoksilla muutettiin panostajien pätevyysvaatimuksia. Laissa poistettiin räjäyttäjän ja panostajan koulutukset ja lisättiin tehosteräjäyttäjän, nuoremman panostajan, vanhemman panostajan ja räjäytystyön vastuuhenkilöiden koulutukset. Ylipanostajan koulutus säilyi ennallaan. Aikaisemmin hankitut pätevyudet pysyvät voimassa ja ne päivitetään uusimisen yhteydessä. A – D ja F räjäyttäjäluokat saavat uusimisen yhteydessä nuoremman panostajan pätevyyskirjan ja räjäyttäjäluokka E tehosteräjäyttäjän pätevyyskirjan. Panostajan pätevyyskirja muutetaan vanhemman panostajan pätevyyskirjaksi. Lakimuutoksella muutettiin aikaisemmin räjäytystyönjohtajana toimineen henkilön vastuu räjäytystyön vastuuhenkilön tehtäväksi. Asetus tuli voimaan 1.9.2016. Siirtymäaika määrättiin 31.12.2019 asti, jolloin aikaisemmin asutulla alueella toiminut ylipanostaja saa toimia räjäytystyönjohtajana edellä mainittuun päivämäärään asti. [9.]

3.4 Urakan laatusuunnitelmat

Jokaiselle työvaiheelle tulee laatia työkohtainen laatusuunnitelma ennen työvaiheiden aloittamista.

1 Yleistiedot

1.1 Organisaation toimintajärjestelmän tila (esimerkiksi ISO -järjestelmät)

1.2 Laatusuunnitelman tavoite, ylläpito ja päivitys

1.3 Urakkakohde

1.4 Urakan aikataulu, urakan organisaatio, pätevyydet ja vastuut eri toiminnoissa

1.5 Työntekijöiden koulutus

2 Käytettävä kalusto ja aliurakoitsijat

2.1 Urakassa käytettävä kalustot

2.2 Urakassa käytettävät aliurakoitsijat

3 Työnsuoritus

3.1 Murskaus

3.2 Murskeiden varastointi

3.3 Louhintatyöt

4 Hankkeen tiedonkulku ja kriittiset kohteet

4.1 Tiedonkulun varmistaminen

4.2 Suunnitelmien tarkastus-, hyväksyttämisen- ja ylläpitomenettelyt

4.3 Ympäristö- ja turvallisuusriski

4.4 Liikenne turvallisuus

5 Hankinnat

5.1 Aliurakoitsijoiden valinta- ja hyväksymismenettely

5.2 Aliurakoitsijan laatuvastuu

5.3 Hankinnat ja tavaran vastaanotto

6 Tuotannon laadunohjaus ja laadunvarmistustoimet

- 6.1 Laatuvaatimukset ja työn aikainen laadun varmistus
- 6.2 Laadunvarmistus työmaalla
- 6.3 Laatu- ja määramittaukset
- 6.4 Laatu poikkeamien käsittely

7 Työsuojelu

- 7.1 Työsuojelu
- 7.2 Urakkakohtaiset työsuojeluvastuun määrittäminen
- 7.3 Yrityksen sisäiset turvallisuusohjeet
- 7.4 Työsuojelu perehdyttämisessä
- 7.5 Työsuojelutarkastus
- 7.6 Työsuojelun toimintaohjelma

3.5 Ympäristötarkastajan päätös Lidl Suomi Ky:lle

Työmaalla tulee noudattaa ympäristötarkastajan laatimia ohjeita ja normeja. Järvenpään ympäristötarkastaja antoi luvussa 3 edellä mainittua lainsäädäntöä soveltaen seuraavan määräyksen tilaajalle:

1. ”Päätän ympäristösuojelulain (527/2014) 122.1 §:n nojalla antaa Lidl Suomi Ky:lle Järvenpään kaupungissa osoitteessa Riffikatu 4 tapahtuvaa louhintaa ja maanrakennustöitä seuraavat määräykset.
2. Louhintaa saa tehdä ilmoituksen mukaisesti 24.11.2017 – 31.12.2017 välisenä aikana maanantaista perjantaihin pois lukien arkipyhät. Porausta saa tehdä arkisin ma-pe klo 7-20, räjäytyksiä arkisin ma-pe klo 8-18 ja muista maansiirtotöitä (lastaus, kuljetus ym.) arkisin klo 6-22.
3. Toiminnasta syntyvä yhteismelutaso tulee pääsääntöisesti olla häiriölle alttiissa kohteissa alle melutason ohjearvoista annetussa valtioneuvoston päätöksessä (993/1992) Säädetyn ulkomelun ohjearvon.
4. Melulähteet on sijoitettava teknisten mahdollisuuksien mukaan toiminta-alueen alimmalle kohdalle. Raaka-aine, pintamaa- ja tuotevarastokasat on pidettävä melun leviämisen kannalta riittävän korkeina ja ne on sijoitettava siten, että melun leviäminen melulle alttiisiin kohteisiin estyy. Koneiden ja

laitteiden kunnossapidosta on huolehdittava. Toiminta-alueella siirtokuljetusmatkat on suunniteltava mahdollisimman lyhyiksi. Melua on torjuttava koteloinnein tai muilla vastaavilla ääniteknisesti parhailla meluntorjuntatoimilla.

5. Louhintatyössä syntyvän pölyn leviämistä on estettävä sijoittamalla pölylähteet teknisten mahdollisuuksien mukaan toiminta-alueen alimmalle kohdalle, sijoittamalla porausvaunuun pölynkeräislaitteet tai käyttämällä muuta pölyn leviämisen kannalta parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Poravaunujen pölynkeräimijä ei saa tyhjentää räjäytyspaikalle eikä louheen joukkoon.
6. Työmaalla on raskaan liikenteen ajoväylät ja siirrettävä maa-aines pidettävä mahdollisimman pölyämättöminä tarvittaessa esim. kastelemalla. Myös työmaan välittömässä vaikutuspiirissä olevat katualueet on pidettävä mahdollisimman puhtaina työmaalta kulkeutuvasta maa-aineksesta pölyhaittojen ehkäisemiseksi.
7. Mikäli kohteeseen sijoitetaan polttonesteiden tankkaus- ja täyttöpaikkoja, niiden on oltava varustettu kemikaaleja läpäisemättömillä tiivisrakenteella. Tankkaus- ja täyttöpaikat on sijoitettava ja rakennettava siten, että kemikaalit eivät pääse vahinkotilanteissa maaperään tai viemäriin. Tankkaus- ja täyttöpaikalla tulee olla imeytysainetta ja kalustoa mahdollisen vuotojen keräämistä ja säilyttämistä varten.
8. Työstä on tiedotettava lähialueen asukkaille ja muille toimijoille ennen työn aloittamista. Tiedottaminen voidaan suorittaa jakamalla tiedote lähimpiin kiinteistöihin sekä työmaan lähelle pystytettävin kyltein. Tiedotteessa tulee käydä ilmi meluavan toiminnan aloitus- ja arvioitu lopetusajankohta, päivittäiset työajat sekä toiminnasta vastaavan henkilön yhteistiedot.
9. Toiminnanharjoittajan tulee pitää työmaapäiväkirjaa, josta selviää louhintatyön toiminta-ajat (aloitus- ja lopetuspäivät, toimintavuorokaudet sekä päivittäiset toteutuneet työajat). Työmaapäytäkirja on pyydettäessä esitettävä valvontaviranomaisille.
10. Keski-Uudenmaan ympäristökeskukselle tulee ilmoittaa toiminnan aloittamisesta, lopettamisesta sekä mahdollista poikkeamista. Meluilmoituksen mukaisista töistä tulee raportoida alueella voimassa olevan ympäristöluvan raportoinnin yhteydessä.

11. Murskaustoiminnan osalta tulee noudattaa voimassa olevan ympäristöluvan määräyksiä.
12. Toiminnassa tulee muutoin ympäristön pilaantumisen estämiseksi noudattaa, mitä ympäristösuojelulaissa tai muualla lainsäädännössä säädetään tai niiden nojalla määrätään pohjaveden ja maaperän pilaamiskiellosta, ilmansuojelusta sekä jätehuollon järjestämisestä.
13. Ympäristösuojelulain 200 §:n nojalla määrään, että tätä päätöstä on noudatettava mahdollisesta muutoksenhausta huolimatta, jollei muutoksen hakuviranomainen toisin määrää.”

4 Louhinta

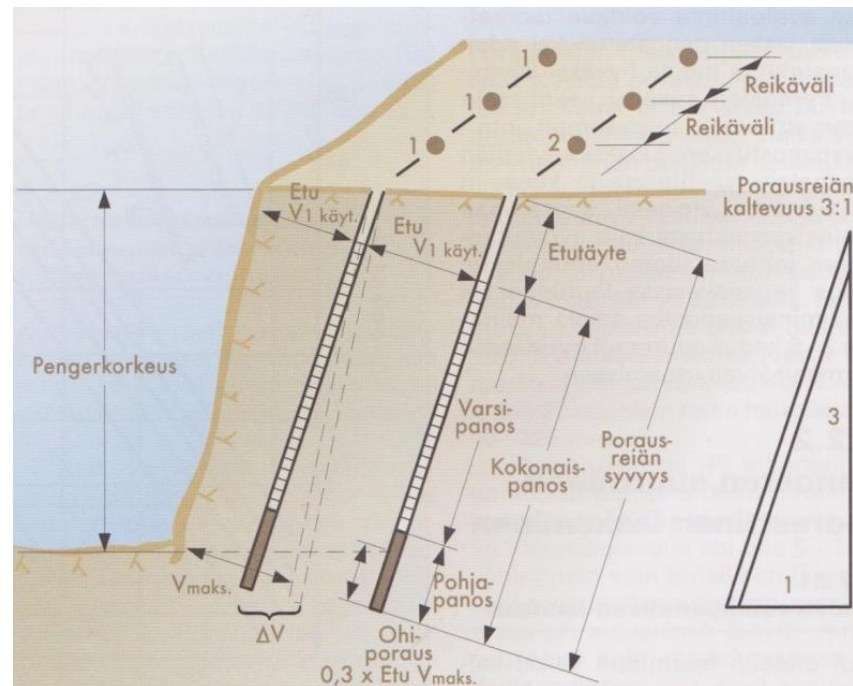
4.1 Erilaiset louhintatyöt

Louhintatyötapa määräytyy urakan luonteen mukaan. Louhintatyöt voidaan jakaa seuraavasti: maanalainen louhinta, vedenalainen louhinta, tarvikelouhinta, louhinta räjäyttämättä ja maanpäällinen louhinta.

Maanpäällinen eli avolouhinta käsittää kaiken maanpinnalla tapahtuvan louhinnan. Usein talonrakennus puolella kalliota louhitaan rakennettavan kohteen edestä tai perustusten tasoon. Tie-, katu- ja siltahankkeissa kalliota louhitaan esimerkiksi tien rakennekerrosten tai perustusten edestä. Näiden lisäksi tarvittaessa louhitaan kanaalit rakenteille kuten putkilinjat, kuivatus ja valaistus. Massalouhintoja ovat murskalle irrotettavat työkohteet sekä avolouhintana suoritettavat kaivoshankkeet. [15, 28-36; 18, 88-89; 17, 217-227.] Tässä urakassa kaikki louhinta oli maanpäällistä louhintaa, Pengerlouhintaa sekä kanaalilouhintaa. Saavutuksia on käsitelty luvussa 8.

4.2 Louhintateoriaa

Kuvassa 1 on esitetty poikkileikkauskuva pengerialouhinnasta sekä kuvasta löytyy keskeiset louhintaan liittyvät käsitteet. Käsitteet on avattu kuvan alla.



Kuva 1. Porauskuvio pengerialouhinnasta [17. 200].

Etu - Reiän etäisyys louhittavan kallion etureunasta.

Etutäyte - Murskeella, sepelillä tai vastaavalla täytetty reiän yläosa, jolla varmistetaan, että reiän suulta ei sinkoudu kiviä räjähdysvoimasta.

Ohiporaus - Reikä porataan pengerkorkeutta syvemmälle. Tällä varmistetaan, että kallio irtoaa haluttuun syvyyteen.

Pengerkorkeus - Louhittavan kallion korkeus, joka halutaan räjäyttää irti.

Pohjapanos - Voimakkaampi räjähdysaine, jolla varmistetaan pohjan irtoaminen haluttuun syvyyteen.

Reikäväli - Reikärivissä olevien reikien etäisyys toisistaan. Varsipanos Räjähdysaine, joka tulee pohjapanoksen päälle. [17, 200-203.]

Tarvittaessa, yleensä aina, louhittava kenttä peitetään, eli täkätään, ennen räjäytystä raskailta kumimatoilla tai muulla luotettavalla tuotteella. Matto estää kiviaineksen singahtamisen kauaksi louhintakentästä. Tämän lisäksi louhittavan

kentän etureunaan voidaan lisätä tarvittaessa louhetta, eli tehdään louhetäkkäys. Louheen tulee ulottua etureunan päälle tulevien kumimattojen alle siten, että louheet jäävät kumimaton alle. Kun keulareiät räjähtävät, louhetäkkäys estää lohcareiden hallitsemattoman sinkoutumisen. Näin voidaan ehkäistä vauriot louhittavan alueen ympäristössä. [16, 36-38; 17, 255.]

4.3 Louhinnan aiheuttama tärinä

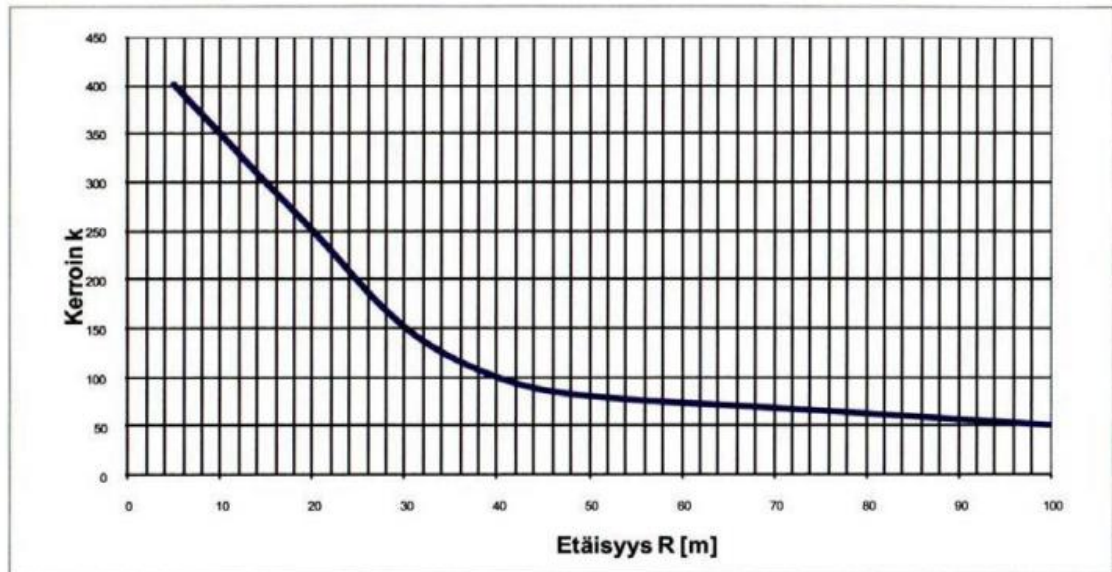
Louhintatyö aiheuttaa tärinää, ja se koetaan yleensä epämiellyttävänä. Lähellä asutusta louhittaessa yleisesti uskotaan, että louhintatärinä aiheuttaa vahinkoa rakenteille. Jos louhittavien alueiden läheisyydessä on kiinteistöjä, konsultti määrittää kiinteistöille sallitut tärinäarvot. Arvoihin vaikuttavat kohteen perustamistapa, materiaalit sekä etäisyys louhittavasta kohteesta. Louhintatärinän suuruutta seurataan urakan aikana tärinämittareilla. Tärinämittarit toimivat nykyisin langattomana ja päivittävät tärinätietoja suoraan nettipalvelimelle. Tärinämittareita on myös akkukäyttöisiä, mutta turvallisinta on varmistaa jatkuva virransyöttö esimerkiksi talon pistorasiasta. Laite ei vie virtaa juuri ladattavaa kännykkää enempää. [3; 10.]

4.4 Louhintatärinän arviointia

Ennen louhintatyön aloitusta voidaan etukäteen arvioida louhinnasta syntyvän tärinän suuruutta käyttämällä empiirisesti suunniteltuja taulukoita sekä laskentakaavoja. Eri rakenteille on laadittu omat rakennustapakertoimet. Arvoilla kerrotaan kaavan antamaa tulosta ja saadaan raja-arvo tarkasteltavalle kohteelle. [19, 112-121; 17, 218-220.]

Laskentakaavat perustuvat taulukkoon, jossa k -arvolle on tutkittu kertoimet 0-100 metrin etäisyydelle louhittavasta kohteesta (Kuvio 1). Tässä urakassa etäisyydet mitattaviin kohteisiin olivat pääasiassa 100-300 metriä, joten kaavan

käyttäminen louhintatärinän arviointiin urakassa ei lähtötilanteessakaan ole luotettavaa. Tärinän heilahdusnopeuden suuruutta voidaan arvioida kaavalla 1.



Kuvio 1. Tutkittuja k -kertoimen arvoja pengerlouhintaan [10, 82].

Louhintaurakassa tärinöitä on syytä arvioida testilouhinnoilla tai toinen turvallinen tapa on aloittaa louhintatyöt etäisyydeltään turvallisimmasta kohdasta työmaata. Saatujen tärinämittaustulosten avulla voidaan arvioida seuraavien louhintakenttien panostusta. Näin varmistetaan, ettei sallittuja tärinäarvoylityksiä tule lähestyttäessä esimerkiksi asuinrakennuksia.

$$v = k \sqrt{\frac{Q_m}{R^{1.5}}} \rightarrow k = v \sqrt{\frac{R^{1.5}}{Q_m}} \rightarrow Q_m = \frac{v^2}{k^2} R^{1.5}$$

Kaava 1. Johdettu heilahdusnopeuden suuruuden arvioiminen.

$$v = \text{heilahdusnopeus} \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

k = kallion tärinänjohtavuus

Q_m = momentaaninen samalla ajanhetkellä räjähtävä räjähdysainemäärä (kg)

R = mittauspisteen ja räjäytyksen välinen etäisyys (m)

Kaava perustuu empiirisiin tutkimuksiin, eli tekijöiden yksiköt eivät vastaa tulosta. [19, 325-327.]

Kun louhintakohteen lähellä on herkkiä laitteita, mitataan niistä yleensä kiihtyvyyden arvoja. Kiihtyvyyden heilahdusnopeutta voidaan arvioida kaavalla 2 ja sallitut arvot ovat joko laitevalmistajalta saatuja tai kokemusperäisiä.

$$v = \frac{a}{2\pi f}$$

Kaava 2. Heilahdusnopeuden laskeminen kiihtyvyyden avulla.

a kiihtyvyys ($\frac{m}{s^2}$ tai $g=9,81 \frac{m}{s^2}$)

f taajuus ($\frac{1}{s}$ Hz)

[19, 320.]

Kiihtyvyyden ja taajuuden arvot saadaan värinämittarista. Mittari laskee kaiken oleellisen tiedon räjäytyksen aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Värinämittari lähettää tulokset sovitusti joko tietokoneeseen tai matkapuhelimeen. Tulosten lähes reaaliaikainen saatavuus mahdollistaa työmaan reagoimisen seuraavan kentän panostuksen muuttamiseen sekä helpottaa tulosten löytämisen tarvittaessa (kuva 2).

4.5 Värinämittaukset ja katselmukset

Värinäarvot voivat olla rajoittavia tekijöitä louhintatyömaalla erityisesti, jos louhintaa suoritetaan asutuksen tai värinäherkkien laitteiden läheisyydessä. Louhintavärinä korreloi momentaalisen räjähdysainemäärän, eli nallinumerolla samanaikaisesti räjähtävän räjähdysainemäärän kanssa. Tähän määrään lasketaan yhteen enintään 8 ms:n aikaerolla eri panostiloissa räjähtävät panosten räjähdysainemäärät. [10, 40; 17, 243-248.]

Liian voimakas värinä voi aiheuttaa rakennuksiin halkeamia ja muita vaurioita, kuten rappauksen irtoamista tai taulujen putoamista. Värinäkonsultti määrittää raja-arvot värinälle, jonka räjäytyskohteen ympäristössä olevat rakenteet kestävät

vaurioitumatta, eikä muitakaan tärinän aiheuttamia haittailmiöitä synny. [17, 243-248.]

Louhintatärinää seurataan tärinämittareilla. Rakennuksissa, junaradoilla ja vastaavissa kohteissa seurataan tärinän heilahdusnopeutta ja teknisissä tärinäherkissä laitteissa, kuten tietokoneissa ja mittauskalustossa, kiihtyvyyttä. Kun raja-arvoissa pysytään, on kohteiden vaurioituminen epätodennäköistä. [17, 246.] Tärinämittarin anturi asennetaan poraamalla pieni reikä mielellään kovaan rakenteeseen, kuten betoniin (kuva 2).



Kuva 2. Tärinämittarin anturi asennettuna omakotitalon sokkeliin (Partanen 2018).

Ennen louhinnan aloittamista suoritetaan kiinteistökatselmuksset, jossa asiantuntija arvioi kiinteistöt, joihin louhintatärinä saattaa aiheuttaa vaurioita. Katselmoitavan alueen laajuus riippuu louhintatyön luonteesta. Kun alue on määritetty, tärinälle altistuvat rakennukset ja laitteet katselmoidaan. Mahdollisesti jo olemassa olevat vauriot ja halkeamat kuvataan ja merkataan katselmuspöytäkirjaan. Tarvittaessa louhintayön loputtua tehdään loppukatselmus, jos on ilmennyt, että louhintatyö on aiheuttanut vaurioita. Loppukatselmuksessa tärinämittausarvot ovat merkittävässä asemassa. [17, 246-248.]

5 Murskaus

5.1 Murskaamot, murskaamolaitteet ja työkoneet

Murskaamot jaetaan kiinteisiin, osittain liikkuviin ja kokonaan liikkuviin laitoksiin. Liikkuvat murskauslaitokset ovat nostaneet suosiotaan varsinkin työkohteissa, joiden läpivientiaika on rajallinen. Murskaamoiden kalustovariaatioita on useita. [18, 219.]

Murskaamo kokonaisuuteen kuuluu itse murskaimet, syöttimet, seulat, kuljetusjärjestelmät, siilot sekä lastaus- ja kuljetuskalusto. Laitteistoista on useita variaatioita, ja kalustoa mitoitetaan murskattavan kiven laadun ja määrän sekä murskattavien kivilaatujen mukaan. [18, 220.]

Kuvassa 3 kauhalla varustettu kaivinkone lastaa iskuvasaralla esimurskattua louhetta murskaimen kuljetusmatolle. Murskan takana pyöräkuormaaja lastaa murskatun kiviaineksen dumpperiin tai kuorma-autoihin. Autot kuljettavat kivet tai murskatun murskeen välivarastoon tai mahdollisesti suoraan täyttöihin. Murskaamalla oikein valitut työkoneet mahdollista tuottavan louhint- ja murskaustyön. Iskuvasaralla varustetut kaivinkoneet ja isot pyöräkuormaajat ovat soveltuvuudeltaan täydellisiä liikkuvaan murskaamoon. [17, 51-109.]



Kuva 3. Louheen lastaus, murskaus sekä kuljetus (Partanen 2017).

5.2 Murskauskalusto työmaalla

Työmaalla oli parhaillaan kolme murskausyksikköä, keskimäärin työmaalla oli kaksi murskaa ja louhintamäärien vähentyessä työmaalle jäi yksi murskausyksikkö. Kokonaisuudessaan murskauskalustoa työmaalla oli:

Esimurskat: *Metso LT3054/120, Metso LT110, Sandvik 1208*

Välimurskat: *LT300GP, Sandvik S4000*

Jälkimurskat: *LT300GBP*

3* Pyöräkuormaaja: *CAT 980 H*

3* Kaivinkone: *Hitachi ZX470*

Murskausyksikköjen lisäksi murskausetju tarvitsee kaivinkoneita, pyöräkuormaajia ja kuljetuskalustoa toimiakseen. [17, 51-109].

6 Murskaustekniikka ja prosessi

6.1 Esimurskaus

Maarakennustyömaalla louhittu kivi hakataan pienemmäksi paikan päällä rammerilla, eli iskuvasaralla, joka mahdollistaa louheen käytön suoraan rakennekerroksiin. Työmaalla halkaisijaltaan <400 mm louhetta voitiin käyttää louhitun kallion ja jakavan kerroksen välissä. Louheen käsittely, kuten hihnakuljetus ja nosto, saattaa edellyttää myös kiven esimurskausta. [18, 219.] Kuvassa 4 on pengerlouhinnan jälkeistä louheen esimurskausta rammerilla sekä louheen lastausta välimurskauslinjastolle.



Kuva 4. Pengerlouhinnan jälkeistä esimurskausta ja louheen lastausta (Partanen 2017).

Louhetta pengertäessä louhe on syytä kiilata yläpinnaltaan hienorakeisemmalla louheella tai kalliomurskeella, jos sen päälle pengerretään louhetta hienojakoisempaa maa-ainesta [21, 39]. Louhepengertä tehdessä (kuva 5) on myös tärkeää muistaa, että louhekuormia ei kipata suoraan täyttöihin, vaan että louhekuormat kipataan penkereen päälle, josta ne siirretään täyttöihin esimerkiksi kaivinkoneella tai puskutraktorilla. Näin kaikki kuljetuksessa kuormalavan pohjalle valunut hienojakoinen kiviaines saadaan pengertäytön pinnalle, ja hienojakoisempi kiviaines toimii maata tiivistäessä kiilana. Jos hienoa kiviainesta ei ole joukossa tarpeeksi, on syytä erikseen ajaa louheen päälle hienojakoisempaa kalliomursketta. Esimerkiksi KaM #0-55 tai #0-100 toimivat louheelle hyvänä kiilakerroksena. [24, 20].



Kuva 5. Esimurskauksesta tuotetun pienlouheen kiilausta (Partanen 2017).

6.2 Välimurskaus

Murskauksessakin pyritään taloudellisuuteen, eli mitoitetaan kaluston määrä ja koko sopivaksi työkohteelle sekä priorisoidaan murskattavan kiviaineksen koko ja laatu. Tällä työmaalla täyttöihin sekä rakennekerrokseen oli arvioitu menevän noin 450 000 tonnia kiviainesta eli voidaan puhua laajuudeltaan isosta urakasta.

Välimurskauksessa tuotetaan useita karkeita murskelaatuja, esimerkiksi suoraan tiekerrokseen käyttökelpoista kiviainesta, tai valmistellaan materiaali hienomurskausta varten. Murskattavan kallion laatu vaikuttaa myös murskattaviin lopputuotteeseen. Jos halutaan murskata ratasepeliä, täytyy kallion olla hyvälaatuista. Jos kallio ei tarpeeksi kovaa, se ei sovellu esimerkiksi asfalttiin tai hiekoitusepeliksi huonon kulutuskestävyyden takia. Tavoitteena on aina saavuttaa paras mahdollinen murskaussuhde mahdollisimman alhaisin kuluin.

Kartiomurskaimia käytetään välimurskaukseen niiden suuren suorituskyvyn ja alhaisten käyttökulujen vuoksi. [18, 219.]

Murskauksen taloudellisuuteen vaikuttaa myös murskattavan tuotteen varastointi. Eli aina taloudellisin vaihtoehto ei ole tuottaa kalleinta kivilaatua, vaan on myös tärkeää saada murskattu kiviaines mahdollisimman nopeasti käyttöön. Tällöin vältetään ylimääräistä lastausta ja ajoa, mikä vähentää kaluston tarvetta ja mahdollistaa parantaa taloudellisuutta. [18, 220.]

Ennen murskauksen aloittamista on tärkeää laskea eri murskelaatujen arvioidut menekit työmaalla, ja pohtia missä vaiheessa urakkaa eri murskelaatuja tarvitaan. Viimeiseksi tarvittavia murskelaatuja ei ole järkevää murskata ensimmäisenä. Ideaalitalanne on se, että murske pystytään kuljettamaan suoraan murskalta yhdellä lastauksella ja yhdellä kuljetuskerralla suoraan sen lopulliseen käyttötarkoitukseen. Kuvan 6 kivikoriaitaan on erikseen murskauksen jälkeen seulottu sopivia #100-150 kiviä. Kivikoriaidat kuuluvat työmaan loppupuolen työvaiheisiin.



Kuva 6. Murskan jälkeen seulottua KaM #100-150 valmiissa kivikoriaidassa (Partanen 2017).

6.3 Hienomurskaus ja kuutiointi

Hienomurskauksessa ja kuutioinnissa murskeesta jalostetaan haluttua raekokoa. Yleensä näissä työvaiheissa käytetään kartio- ja iskumurskaimia. Haluttu raejakauma ja materiaalien kulutettavuus ohjaavat kaluston valintaa. Yleensä nämä työvaiheet ovat yhdistetty yhteen työvaiheeseen. [18, 219.]

6.4 Huolto

Murskaus on jatkuva ketju ja esimerkiksi esimurskaimen rikkoutuessa koko murskaus ketju pysähtyy. Huolto tulee ottaa urakassa huomioon ja esimerkiksi louhinnasta aiheutuvien seisokkien aikana on hyvä huoltaa kalustoa. Huollot olisi hyvä tehdä ennakoidusti, ettei yllättäviä seisokkeja tule työmaalla. Esimerkiksi kulunut reikäinen murskan hihna tulee vaihtaa heti kun siihen on mahdollisuus. Murskaimen huoltaminen on edullista, mutta tuotantokatkoksista aiheutuvat kustannukset taas voivat nousta hetkessä todella massiivisiksi. Lisäksi murskaimen oikea käyttö ja huolto takaavat sille pitkän käyttöiän ja hyvän käytettävyyden, ja sillä saavutetaan korkeat tuotantomäärät, hyvälaatuinen tuote sekä pienet käyttökustannukset. [18, 266.]

6.5 Louhinnan ja murskauksen haitat yleisesti

Tilahaitat

Louhinta- ja murskaus kalusto vaatii saumattomasti toimiakseen paljon tilaa, ja varsinkin pienemmällä tontilla kalusto voi olla kiireellisten muiden töiden kuten asfaltointi-, perustus- tai putkitöiden tiellä. Murskattujen kiviainesten varastointi työmaalla vie myös todella paljon tilaa, tämä pitää huomioida murskausprosessia sekä muita työvaiheita suunnitellessa. [22.]

Louhintatyön loppuvaiheessa (kuva 7) murskekasat ovat täyttäneet keskelle nousevan teräshallin ympäriltä koko piha-alueen.



Kuva 7. Yleiskuva työmaasta louhintatyön loppuessa (Partanen 2017).

Piha-alueelle sijoitetut murskekasat olivat 12 hehtaarin asfaltoitavan alueen alle tehtävien rakennekerrosten, 7 kilometriä vesihuoltolinjojen, valettavien 2 hehtaarin pihalaattojen, 12 metriä leveän 400 metrin pituisen avo-ojan, melu- sekä kivi- ja vihertöiden tiellä. Murske on täyttänyt piha-alueen kaiken vapaan tilan. Kuvassa 8 esitetty edellä lueteltuja rakenteita valmiina.



Kuva 8. Murskekasojen paikoille rakennettuja rakenteita (Partanen 2018).

Liikennehaitat

Liikennehaitat työmaalla on otettava myös huomioon. Aivan murskausaseman välittömän läheisyyden lisäksi louhinta- ja murskaustyö aiheuttavat työmaalle todella paljon liikennettä. Kivilasti kyydissä ympäri työmaata ajavat dumpperit, kuorma-autot sekä autoja lastaavat pyöräkuormaajat aiheuttavat melua ja ruuhkaa työaikaisille teille. [22; 16, 31.]

Pölyhaitat

Varsinkin kuivilla kesäkeleillä louhinta ja murskaus aiheuttavat työmaalle säännöllistä kastelun tarvetta, erityisesti pääkulkureiteille kasteluväli tulee mitoittaa olosuhteiden vaatimalla tavalla. Tarvittaessa louheet voidaan kastella ennen murskausta. Kokeneet kaivinkonekuskit levittävät louhintakuoppiin keräytynyttä vettä louheiden päälle lastausta odotellessa. [22; 16, 31.]



Kuva 9. Infrarakentajan suojausvarusteet työmaalla [19, 34].

Meluhaitat

Louhinnassa ja murskauksessa syntyy paljon melua, suurin osa melusta vaikuttaa vain lähellä työstettävää kohdetta, kuten poraus ja rammerointi, tai on hetkellistä kuten louhintaräjäytys. Työkoneista ja murskasta lähtee koko ajan jatkuvaa melua ja tämä pitää erityisesti ottaa huomioon työntekijöiden sekä

mahdollisten vierailijoiden turvavaatetuksessa ja kuulon suojaamisessa (kuva 9). [22; 16, 31.]

Muita haittoja

Muita huomion arvoisia asioita ovat koneen kaatumisen ja työntekijän putoamisen vaara, räjähteiden säilyttämiseen liittyvät riskit, oikeiden materiaalien valinta, vaaralliset alueet ja suojaukset. [16, 30-40]. Louhintaräjäytykset aiheuttavat työseisokkia kaikille lähistöllä tapahtuville työvaiheille. Tämä pitää ottaa huomioon räjäytysten aikataulua suunnitellessa sekä työvaiheiden sijoittelussa työmaalla. Louhintaräjäytysten aikatauluttaminen kahvitunneille on suotavaa. Jos ylimääräisiä pakollisia taukoja kuitenkin tulee, kannattaa työntekijät ohjata esimerkiksi huoltamaan kalustoa. [16, 40-42].

7 Louhinta ja murskaus työmaan näkökulmasta

7.1 Suunnitelmat

Murskaus- ja louhintatyöt vaikuttavat muihin työmaalla samanaikaisesti tehtäviin työvaiheisiin, joten on tärkeää jo ennen urakan aloittamista suhtautua eri työvaiheiden yhteensovittamiseen vakavasti. Laatu-, turvallisuus- sekä työvaiheisiin liittyvät lupa-asiat pitää olla hoidettuna ennen työn aloittamista. Myös tilaajan, muiden urakoitsijoiden sekä mahdollisesti työmaan lähellä asuvien ihmisten informointi louhinnoista on sovittava erikseen. Edellä mainittuja asioita esitetään luvussa 3.

Aikatauluttamalla murskaus- ja louhintatyöt työmaan alkun riittävän puskurin saavuttamiseksi, voidaan helpottaa työvaiheista aiheutuvia logistisia haasteita. Louhinta- ja murskaustyöt voitaisiin myös suorittaa omassa erillisessä urakassa ennen muiden työvaiheiden aloittamista. Kallionpinnan vaihtelut voivat olla suuria, joten maaperätutkimusten mukaan luotujen suunnitelmien ero todellisuuteen voi olla huomattava. On tavanomaista, että urakan edetessä

louhintamäärät vaihtelevat ja louhintasuunnitelmiin tulee muutoksia. Louhintatöissä mittauksella on myös näkyvä rooli. Panostaja ja poraaja tarvitsevat mittamieheltä tietoja, eli käytännössä maalimerkintöjä, kuinka syvään tulee porata ja tämä vaikuttaa siihen, miten kenttä panostetaan. Urakan seurannan kannalta on myös tärkeää saada tarketiedot lähtötilanteesta louhittavan kallion päältä, kuin myös louhinnan jälkeen puhdistetun ehjän kallion pinnasta. Tarkkeilla tarkoitetaan mittamiehen mittauslaitteilla tarkasti tallennettua (x,y,z) -koordinaateista muodostuvaa pistettä, joita yhdistelemällä mittamies voi luoda tässä louhintatapauksessa tasomalleja (Kuva 10).

Tilaajan, louhintatyön johtajan, työnjohdon ja ennen kaikkea porarin ja panostajan ammattitaito ratkaisee, kuinka suunniteltuun lopputulokseen parhaiten päästään. Jokaisen kentän kohdalla kenttään vaikuttavia tekijöitä on useita. Kuinka suuri kenttä on tilanteessa järkevä ampua, porattavien reikien koko ja syvyys, ja kuinka tiheään, miten poratut reiät panostetaan, nallikohtainen räjähdde ainemäärä, nallien ajastus, minne päin kenttä halutaan heittämään. Kallion laatu voi muuttua peräkkäisten kenttien välillä huomattavasti, joten optimaalisia louhinta-asetuksia on pyrittävä hakemaan pitkin työmaata. On olemassa myös muita rajoittavia tekijöitä, kuten esimerkiksi panostajan pätevyys tai sallitut louhintatärinät lähestyttäessä kiinteistöjä. [17; 19.]

7.2 Työnaikaisten tietojen kerääminen

Louhintakentän poraus, panostus ja sytytystietoja kirjataan louhintavalmisteluiden edetessä järjestelmiin tai lomakkeisiin, ja tiedot tulostetaan louhinnan kenttäkorttiin (liite 2). Mittamiehen ottamat tarkepisteet louhittavan kallion päältä ennen louhintaa ja louhinnan jälkeen irronneen, ja pois raivatun louheen alta, mahdollistavat louhitun kallioaineksen määrien laskennan. Lähtö- ja lopputilanteesta tehdään kaksi erillistä pintamallia. Näiden kahden tason väliin jäävä alue on irtilouhittu kallion määrä. Kuvassa 10 on havainnekuva tasomalleista lintuperspektiivistä.



Kuva 10. Louhinnan määrälaskenta tasomalleista, havainnekuva (Partanen 2017).

Yleisesti malleissa käytetään kolmiojärjestelmää, jossa mittamiehen mittauspisteistä luodaan digitaalinen tasomalli. Kolmiomallissa ohjelma yhdistää aina kolme lähintä pistettä ja muodostaa niistä tason. Myös kaivinkoneiden koneohjaus 3D -tasomallit perustuvat kolmiojärjestelmiin.

7.3 Poraus

Kun louhittavan alueen kallion päällä korkomerkinnät ja suunnitelmista tavoiteltu louhintasyvyys ovat selvät on vuorossa panostusmäärien, reikäkoon, reikävälin, ruutukoon, poraussyvyyden ja reiän kaltevuuden mitoitus. Näiden suunnittelun jälkeen voidaan aloittaa reikien poraaminen räjähteille. Muuta poraustyötä työmaalla voi olla esimerkiksi kallioon injektoitavat tartunnat perustuksille tai louhitun kallion reunan tuenta esimerkiksi kallioon ankkuroitavilla teräksillä.

”Porausreikien ja koko eturintauksen kaltevuus on yleisesti 3:1. Tämä on yleistä rakennustyömaiden louhinnoissa. Räjähdysten tapahtuessa reiässä räjähdyspaineen resuloiva voima suuntautumaan kohtisuoraan reiän suuntaa

vastaan. Kun reiät ovat edellä mainitulla tavalla vinossa, pyrkii tuo voima hieman heittämään kivimassaa ylöspäin, jolloin se irtoaa pohjaltakin paremmin ja pullistuu hieman löyhemmäksi siirtyessään paikaltaan. Massan toivotaan ottavan pienen vaakasiirtymän, jolloin se löyhtyy ja on helpommin kuormauskoneen irrotettavaa. Siirtymän, louhintatermein sanottuna heiton, pitää pysyä kuitenkin pienenä. On vaarallista, jos heitto kasvaa.” [17, 200].

Porauskalusto on kehittynyt huimasti viimeisten vuosikymmenien aikana. Laitteet, joita porari joutui käsillä ohjailemaan, ovat käytännössä poistuneet. Paineilmakäyttöiset laitteet ovat väistyneet hydraulisten laitteiden tieltä. Paineilmaa käytetään lähinnä reikien huuhteluun. Keskiraskaat koneet soveltuvat 45-76 mm:n läpimittaisten reikien porauksiin ja sopiva rintauksen korkeus voi olla suuruusluokkaa 5-15 metriä. Käsillä porataan mahdollisesti reikiä paikkoihin, joille koneella on vaikea päästä ja määrät ovat pieniä. Poraustöissä poran varren kapasiteetin loppuessa terään asennetaan jatkovarsi, jatkovarsia voi syvässä reiässä olla useita, uudemmissa koneissa kone asettaa automaattisesti jatkovarren. [17, 203.]

Myös työturvallisuus pengerialouhinnassa on otettava huomioon pystyttämällä väliaikaisia aitoja kallion reunalle putoamisten estämiseksi. Yleensä kallioon porataan reiät tangoille ja tankojen väliin asennetaan liinat, kuten kuvassa 11. Visuaalisesti nähtävät poikkeamat ovat myös tärkeä asia työn turvallisuuden kannalta. [16, 31.]

Oleellinen määräys liittyen porauksiin on, että porarin tulee huolellisesti merkitä ylös kaikki havaitsemansa halkeamat ja ruhjeet ja saattaa ne panostajan ja räjäytystyöjohtajan tietoon. Tällä pyritään välttämään se, ettei huomaamatta satuta asettamaan voimakkaasti räjähdysainetta kohtaan, jossa on halkeama ja rikkonaista kalliota, jolloin ko. kohdalta saattaa lähteä rajua lohcareiden sinkoilua. Lisäksi paineen purkautuessa ulos, osa rintauksesta voi jäädä särkymättä. [17, 201.]



Kuva 11. Väliaikainen aita louhittavan kallion päällä (Partanen 2017).

7.4 Panostus

Yleisimmät panostustavat työmailla ovat kuvassa 12 käynnissä oleva keppipanostus, räjähdyspatruunoiden pudotus reikään tai räjähdysaineen kaataminen reikään. Panostaminen suoritetaan reikien porauksen jälkeen ja reiät saa panostaa vain silloin, kun kenttä pyritään myös laukaisemaan. Panostettuja reikiä ei saa jättää vartioimatta tai laukaisematta esimerkiksi yön yli. [17, 205.]



Kuva 12. Kanaalilouhinta, keppipanostus (Partanen 2017).

Syvissä ja isoissa rei'issä patruunat pudotellaan reikään. Tässä tulee esille se, että patruunat ovat kooltaan yleensä aina lähelle reiän kokoa. Patruuna ei ilmanvastuksen vuoksi kiihdy samaan vauhtiin niin kuin kävisi, jos se viskattaisiin korkean rintauksen päältä suoraan alas maahan. [17, 205.]



Kuva 13. Poraus, panostus, sähkönnällit ja reikien etutäyttö hiekoitussoralla, porauskulma 15° (Partanen 2017).

Louhintatyön seuraamista, ja esimerkiksi tilaajalle tiedottamista varten, panostettu kenttä voidaan nyt käydä "ottamassa kiinni" eli rajaamassa gps -signaalia apuna käyttäen. Apuna voi käyttää esimerkiksi Infrakit -ohjelmaa, johon voi ladata taustakartaksi työmaan suunnitelmia. Louhittavasta kentästä saadaan tallennettua paikkatieto, joka voidaan litteroida kenttäkortin kanssa samalla tavalla. Näin yksittäisen kentän tietoihin on mahdollista palata myöhemmin esimerkiksi ongelmatilanteissa. [23.]

7.5 Sytytys

Sytytystapoja ovat: aikatulilanka ja aikatulilankanalli, räjähtävä tulilanka, sähkömallit, Nonel -mallit ja elektroninen malli. Edellä olevien jälkeen sähkömallit avaavat kokonaan uuden teknillisen kentän. ”Niillä päästään vaivattomasti, näppärin laittein ja kohtuu kustannuksin kerralla räjäyttämään monirivisiä kenttiä, jopa kymmeniä panoksia siten, että voidaan huomioida millisekuntien suuruusluokassa tapahtuvia kallion heilahduksiakin, ja hyödyntää niitä louhinnassa”. [17, 206-210.]

Sähkömallien avulla voidaan kytkeä koko panostettava kenttä samaan virtapiiriin ja laukaista sen kerralla haluamallamme tavalla, ja päättää missä järjestyksessä eri panokset laukeavat. Tämä on tärkeää koska eri aikaeroilla räjähtävien panosten tulee käyttäytyä eri panoksina. [17, 210-216.]

”Jos äänennopeus, samalla myös paineaallon etenemisnopeus kalliossa olisi esimerkiksi 4000m/s, olisi 25 ms aikaisemmin lähtenyt aalto jo $0,025s \cdot 4000 \text{ m/s} = 100\text{m}$ päässä seuraavan lähtiessä”. [17, 207].

Moniriviräjäytyksissä hidaste-erot mallien kesken ovat välttämättömiä ja aika eroja eri rivien laukeamisen väliin tarvitaan, että edellisen rivin massa pääsee siirtymään seuraavan edestä pois ja saa näin tilaa paisumiseen. Monirivimenettelyssä edessä olevan rivin massa toimii seuraavan rivin suojana eli täkkäyksenä. Täkkäyksellä varmistetaan ettei kentästä louhinnassa sinkoile kiviä. Eli vain kentän etuseinä vaatii täkkäystä kentän päällystän lisäksi. [17, 208.]

7.6 Louhittavan alueen suojaus

Ennen räjäytystä louhittava kenttä on suojattava eli takätkävä. Hyvä täkkäys on tiivis, ettei irralliset kivet pääse läpi. Ilmanpaineen on kuitenkin päästä suojamateriaalin läpi. Matolla täytyy olla sitkeyttä, jolla se ottaa vastaan siihen

kohdistuneet iskut sekä riittävästi painoa, joka auttaa mattoa pysymään likipitään paikallaan räjähdyksessä. [17, 224.]



Kuva 14. Viimeisen raskaan kumimaton asennusta. Kauhassa reikien täkkäykseen käytettävää hiekoitussoraa (Partanen 2017).

Tärkeää on myös varmistaa louhittavan alueen ympäristö, ettei alueella ole asiatonta liikennettä. Yleensä louhintatyömaat ovat suljettuja alueita, ja jokaisella alueelle johtavalle tielle on syytä järjestää vartiomies. Tämä pyritään ottamaan huomioon työmaan aluesuunnitelmassa.



Kuva 15. Työmaan takana olevan metsäalue eristettynä louhintatyöltä (Partanen 2018).

7.7 Louhintaräjäytys

Itse räjäytyksen suorittaminen on louhinnan vaarallisin vaihe. Räjäytyssuunnitelmassa on määrätty varoetäisyydet, turvamiesten määrä ja sijainnit, ja louhinta on otettu huomioon työmaan liikennettä järjestettäessä. Räjäytettävien kenttien kenttäkortit (liite 1) ja karttaliitteet (liite 2) tulee arkistoida ennen räjäytystä.

Tulevasta räjäytyksestä pitää informoida jokaista työmaalla olijaa hyvissä ajoin ennen räjäytystä. Ennen räjäytyshetkeä tulee myös varmistaa, ettei louhittavalle alueelle jää ihmisiä, eläimiä tai mahdollisesti louhinnassa vahingoittuvaa kalustoa. Louhintaturvallisuutta varmistetaan louhinta- ja aluesuunnitelmassa, joissa otetaan huomioon, ettei louhittavalle alueelle ole valvomattomia kulkureittejä. Kulkureittejä sekä louhittavan alueen ympäröivää aluetta valvoo tehtävään nimetyt vartiomiehet, jotka ovat sijoittuneet niille määrätuille paikoille. Kulkureitit ja vartiomiesten paikat on esitetty aluesuunnitelmassa (Liite 4). Kaksi minuuttia ennen räjäytystä vaarasta ilmoitetaan hälytyksellä, eli kovaaäänisellä pillillä. Pilliä soitetään myös vaaran ollessa ohi.

Räjäytysaikatauluun voi vaikuttaa ulkopuoliset tekijät, kuten lähellä junarataliikennettä louhia saa louhittua sovittuna ratakatkona. Tällöin työmaan tulee sovittaa louhinta junien aikatauluihin VR:n kanssa. Lähellä asutusta ei saa louhia aikaisin aamusta eikä ilta- tai yöaikaa. Yleinen sallittu louhinta-aika on maanantaista perjantaihin kello 07.00-18.00. Louhintatyö on kiellettyä pimeässä ja ukkosilmalla. Melun takia murskauksellekin asetetaan asutuksen läheisyydessä sallitut työskentelyt ajat. Näitä käydään läpi luvussa 3.

7.8 Louheiden raivaus

Räjäytyksen jälkeen täkkäysmatot nostetaan pois louhitun kentän päältä. Louhe täytyy saada siirrettyä pois louhitulta alueelta, että seuraava louhintakenttä voidaan räjäyttää. Louhinnassa on ensisijaisen tärkeää, että seuraavan kentän

etu tulee saada auki, jotta seuraava kentän kivimassat saadaan ”loikkaamaan” vapaasti. Lopulta louhe raivataan joko jatkojalostukseen tai sen suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Raivauksen jälkeen louhitulle alueelle päästään rakentamaan sinne suunniteltuja rakenteita. Kuvassa 16 kanaali on raivattu louheesta ja seuraavaksi voidaan aloittaa vesihuoltotyöt.



Kuva 16. Louhittu ja raivattu kanaali valmiina vesihuoltotöille (Partanen 2017).

7.9 Louhintadokumentit

Louhinnan kenttäkortti (liite 1) ja karttaliite (liite 2) ovat tärkeitä louhintakentän tietoihin kuuluvia dokumentteja sekä hyviä louhinnan edistymisen seuranta työkaluja. Dokumentit tulee tehdä aina ennen louhintaräjäytystä. Tilaaja voi myös vaatia kopiot dokumenteista ennen louhintaa. Kentät numeroidaan yleensä juoksevilla numeroinnilla K1, K2, K3 ja niin edelleen.

Louhinnan karttaliite

Karttaliitteessä esitetään louhittavan alueen sijainti työmaalla sekä kentän tunnistetiedot. Karttaliitteen voi laatia sekä työnjohto, että työmaan mittamies.

Kuvassa 17 on esitetty K126 ja K127 louhittavat alueet. Karttaliitteeseen kohdistetut louhittavat kentät ovat violetilla rasterilla, vanhat louhitut kentät ovat harmaalla rasterilla ja K126 kentässä oleva vihreä rasterointi tarkoittaa, että kyseistä aluetta on louhittu jo aikaisemmin.



Kuva 17. Kuvankaappaus K126 ja K127 -louhintakenttien karttaliitteestä (Partanen 2017).

Kenttäkortti

Kentän tunnuksen ja päivämäärän lisäksi kenttäkortista löytyy tarkasti kaikki louhintakenttään liittyvät kentän koko, poraus- ja panostustiedot. Kenttäkorttien avulla voi seurata louhintatyön ja louhintaan liittyvien määrien edistymistä työmaalla.

GRK			LOUHINTAYÖN KENTTÄKORTTI		Työmaa: LINDA MäU2 Kenttä no: 136	
Reikien halkaisija	70	mm				
Reikien määrä	60	kpl				
Etu:	1,4	m				
Reikäväli:	1,8	m				
Pengerkorkeus Keskim.	2,7	m				
Ohioporaus:	0,5	m				
Porametrit:	162	mm				
Kentän koko	40,8	m²ktr				
Ominaisporaus		m³/m²ktr				
Omin. Panostus	0,60	kg/m³ktr				
Maksimi reikäpanos	4,1	kg				
Mom. räjähdysaine	12,3	kg				
Etälisyys rakenteeseen		m				

Käytetyt räjähdysaineet		Sarjaankytkentä:		Yhden sarjan vastus:	
Nonel	VA	Runkojohdon vastus:	Vastus yhteensä:		
X	6	m	60 kpl		
Dyn	Anniitti Ø	m	kpl		
X	Ø50		96 kg		
	KEM Ø50		150 kg		
	Ø		kg		
	Ø		kg		

Räjättyshetki: Pvm 3 / 7 20 17		Klo		Klo		Klo		Klo	
Räjättyshetki: Pvm 1		20		Klo		Klo		Klo	
Panostaja ISMO KAUKAS		Räjätystyönjohtaja TEERO VAAKKARI							
Tärinämittaukset X									
Varitioniehet X		Hälytyspilli X		Peittäminen X					
Muut huomiotavat seikat:									

Kuva 18. K126 louhintakentän kenttäkortti (Partanen 2017).

Infrakit -ohjelmisto

Ohjelmisto toimii internet selaimessa sekä laitteissa, joissa on android käyttöjärjestelmä. Ohjelmaan voi viedä CAD -pohjaisia .dwg ja .dxf taustakarttoja. Työmaan koneohjausmallit ovat hyviä taustakarttoja. Infrakit -ohjelmassa on toiminto, jolla voit tallentaa ohjelmaan GPS -pisteitä. Tätä ominaisuutta käyttäen voi kartoittaa louhintakentän ja tuoda alueen digitaaliseen muotoon aluesuunnitelman päälle louhinnan karttaliitteeksi. [23.]



Kuva 19. Kuvankaappaus Infrakit -ohjelmasta (Partanen 2017).

Kuvassa 19 puhelimen Infrakit -sovelluksen taustalla on suunnitelmakartta, jossa näkyy logistiikkakeskuksen hallin, pihalaattojen sekä pengerlouhinnan rajat. Taustakartan päällä on louhittuja louhintakenttiä. Työmaalla voi ohjelman avulla havainnollistaa täytykö kalliota louhia esimerkiksi seuraavaksi rakennettavien perusten edestä. Tämä auttaa työmaalla ennakoimaan ja aikatauluttamaan eri työvaiheita.

8 Pohdinta

8.1 Louhinnan saavutukset

Työmaan ensimmäisiä työvaiheita olivat louhinta- sekä murskaustyöt. Urakassa pengerlouhintaa oli ennakkotiedon mukaan noin 250 000 m³ ja kanaalilouhintaa noin 10 000 m³. Ensimmäinen pengerlouhintakenttä "K1" räjäytettiin 9.1.2017 ja viimeinen kenttä "K174" 26.7.2017. Pengerlouhintatyön ollessa valmis, erillisiä louhintakenttiä urakassa räjäytettiin yhteensä 174 kappaletta. Kentistä 122 oli pengerlouhinta- ja 52 kanaalilouhintakenttiä. Lisäksi on tiedossa, että vuonna 2018 pihatyövaiheissa on vielä tulossa lisää kanaalilouhintaa.

Taulukossa 1 on esitetty pengerlouhinnan kokonaissaavutuksia. Pengerlouhintatyön läpivienti kesti 28,5 työviikkoa. Ajanjaksolla 9.1.2017 - 26.7.2017 työpäiviä kertyi 144 kappaletta. Louhinnan kenttäkorteista saatiin kenttäkohtaiset tarkat kentän poraus-, panostus-, räjähdeainemäärä-, momentaalinen räjähdeainemäärä- sekä kentän koko- ja aikatiedot.

Taulukko 1. Pengerlouhinta kenttien yhteen laskettuja suureita (Partanen 2018).

Pengerlouhinta, urakan kokonaismääriä		
Kenttien määrä	122	kpl
Louhitut kuutiot	251 434	m ³
Panostus	153 057	kg
Porametrit	66 140	m
Reikäluku	11 538	kpl

Pengerlouhintaa oli yhteensä 251 434 m³, reikiä porattiin 11 538 kappaletta ja porausmetrejä kertyi 66 140 metriä. Räjähdekeitä 122 pengerlouhintakentässä käytettiin 153 057 kg.

Taulukossa 2 on laskettu 122 pengerlouhintakentän keskiarvoja. Louhintaräjäytyksiä oli keskimäärin 0,85 louhintakenttää per työpäivä. Kentän keskimääräinen koko oli 2061 m³, kenttään porattiin 95 kappaletta reikiä, porausmetrejä 542 ja kenttää panostettiin 1255 kg:lla räjähteitä.

Taulukko 2. Pengerlouhinnan keskiarvoja (Partanen 2018).

Pengerlouhintä, keskiarvoja		
Kenttien määrä	122	kpl
Louhitut kuutiot	2061	m ³
Panostus	1255	kg
Porametrit	542	m
Reikäluku	95	kpl

Taulukossa 3 on esitetty louhinnan saavutuksia päivätasolla. Louhinta- ja murskaustyön saavutukset ovat merkittävät. Jokaista työpäivää kohden työmaalla ammuttiin kiveä irti 1746 m³, porattiin 80 reikää, porausmetrejä 459 ja räjähdeainetta kului 1063 kg.

Taulukko 3. Louhinnan suureita työpäivää kohden (Partanen 2018).

Pengerlouhintä, saavutukset/työpäivä		
Louhitut kuutiot	1746	m ³
Panostus	1063	kg
Porametrit	459	m
Reikäluku	80	kpl

Pengerlouhinnan tunnusluvut on esitetty taulukossa 4. Keskimääräinen kentän koko oli 332 m² ja kentän reikäpituus 5,73 metriä. Keskimääräinen louhintatöissä käytetty ruutukoko oli 4,58 m², isoimmissa kentissä ruutukoko oli vakio 4,7 m². Jokaisen kuution irrottamiseen porattava metrimäärä, ominaisporaus, oli keskimäärin 0,26 m/m³ ja ominaispanostus 0,61 kg/m³. Kenttää panostettiin 1255 kg räjähdeainetta ja keskimäärin reiässä räjähdeainetta oli 13 kg. Momentaalinen

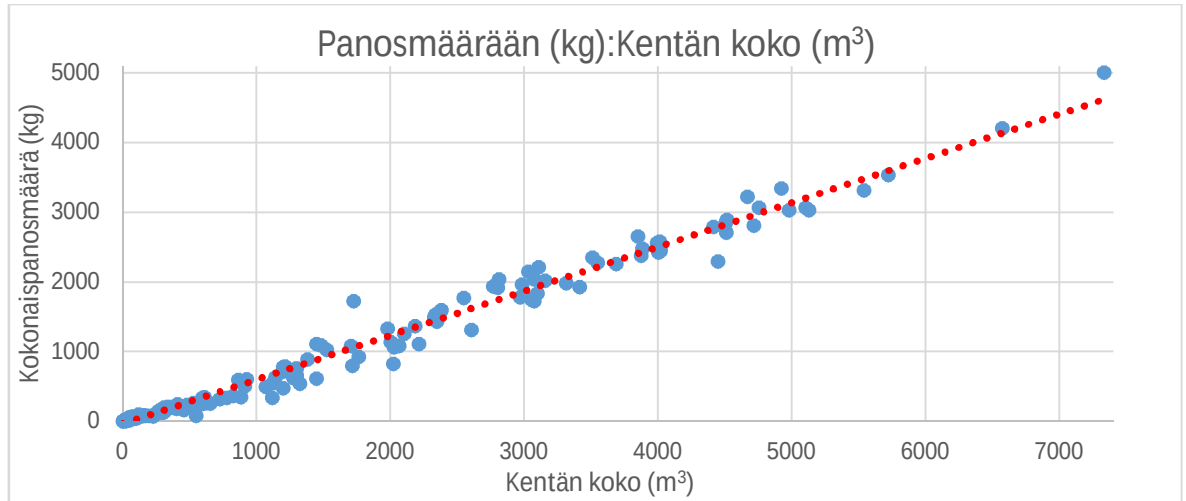
panostusainemäärä eli samaan aikaan räjähtävä räjähdelainemäärä oli keskimäärin 31 kg.

Taulukko 4. Pengerlouhinnan tunnuslukuja (Partanen 2018).

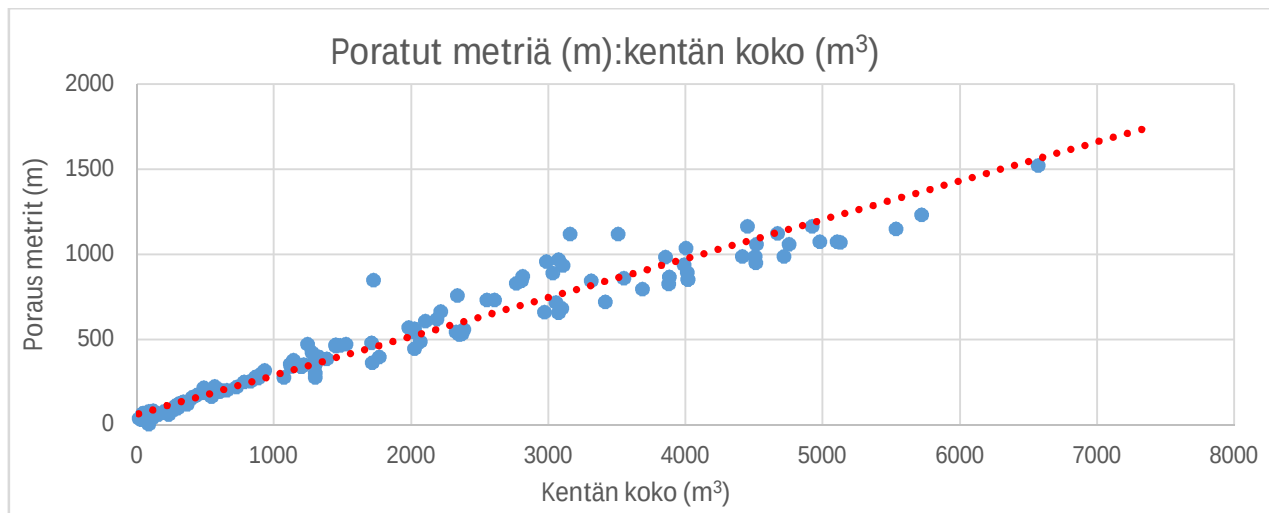
Pengerlouhint, tunnuslukuja		
Kentän koko	2061	m ³
Kentän koko	332	m ²
Reikäpituus	5,73	m
Ruutukoko	4,58	m ²
Ominausporaus	0,26	m/m ³
Kentän panostus	1255	kg
Reiän panostus	13	kg
Panostus_{momentaalinen}	31	kg
Ominaispanostus	0,61	kg

Keskimääräinen momentaalinen räjähdysainemäärä voi olla näin suuri, koska louhintatärinälle mitoitettut rakenteet sijaitsivat 100 - 300 metrin etäisyydellä louhittavilta alueilta. Esimerkiksi kanaalia louhittaessa 15 metrin etäisyydeltä rakennuksesta sallittu momentaalinen räjähdysainemäärä on 1,5 - 3 kg riippuen maaperästä ja rakennuksen perustustavasta.

Laajasta otannasta voidaan todeta, että louhittavan kentän koko korreloi suoraan kenttään tarvittavan räjähdelainemäärän (kuvio 1) sekä porausmetrien kanssa (kuvio 2).

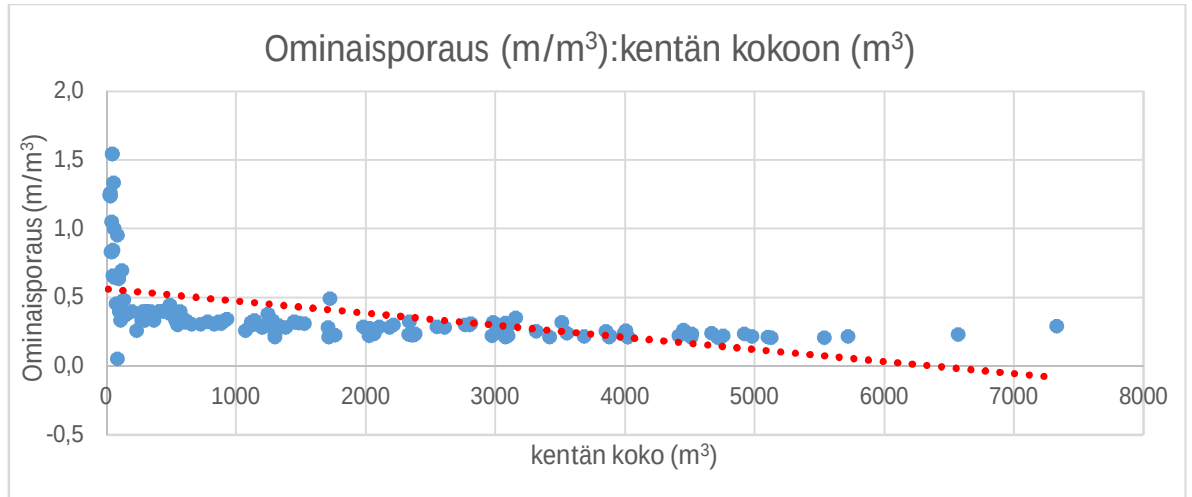


Kuvio 1. Louhintakentän koon suhde panosmäärään (Partanen 2018).



Kuvio 2. Louhintakentän koon suhde panosmäärään (Partanen 2018).

Kuviosta 3 on huomattavissa, että alle 100 m³:n kentissä ominaisporaus (m/m³) on huomattavasti, jopa 3 kertaa suurempi, kuin yli 100 m³:n kentissä. Yli 100 m³:n kentissä taas ominaisporaus (m/m³) on lähes vakio, noin 0,35 porausmetriä jokaista kuutiota kohden.



Kuvio 3. Ominaisporaus suhteessa kentän kokoon (Partanen 2018).

Kuvioista 1, 2 ja 3 voidaan todeta, että louhittaessa yli 100 m³ kenttiä, materiaalikustannukset louhintakuutioihin nähden vakio. Tämä tarkoittaa, että pengerlouhinnassa kentän suurentamisella ei saavuteta näkyviä säästöjä materiaalikustannuksissa.

Kanaalilouhintaa pengerlouhintaa työn valmistuessa oli louhittu yhteensä 3514,9 m³. Määrä oli pengerlouhinnan loppuessa vain 35,15% suunnitellusta 10 000 m³:sta. Kanaalilouhinnan kenttien luonne vaihteli kenttien välillä paljon ja kanaalilouhintatyön ollessa vielä kesken työmaalla, ei kanaalilouhintaa käsitellä tässä työssä tarkemmin.

Louhintaeräjäytyksissä syntyvää <400 mm halkaisijaltaan olevaa pienlouhetta sai käyttää suoraan kallion päälle rakennettaviin rakennekerroksiin jakavan kerroksen alla. Isommat louheet murskattiin, ja lähtökohtana oli, että kaikki murske käytetään työmaalla. Louhintatyöstä kerättyjä tietoja käytetään murskaus- ja murskelaskujen pohjana luvussa 8.3.

8.2 Louhintatärinät

Tärinämittauskohteet sekä niille asetetut tärinän raja-arvot ovat esitetty liitteessä 3. Louhintakenttien sijainnit ovat esitetty liitteessä. Louhintakentät ovat numeroitu

juoksevin numeroin K1 - K174. Louhittavat kentät olivat keskimäärin 100 - 300 metrin päässä tärinämittareista. (liite 3) Louhinnasta aiheutuvat louhintatärinät pysyivät sallituissa arvoissa kaikissa mittauspisteessä koko työmaan ajan. Katselmoiduille kiinteistöille ei aiheutunut vahinkoja suuresta louhinta- ja murskaustyöstä huolimatta.

Opinnäytetyössä kerättiin yhteensä kymmenen tärinämittarin työmaan louhintojen aiheuttamat tärinäarvot. Tärinäarvoja oli laskennan tukena noin 1000 kappaletta, ja jokaiselle kentälle laskentaan valittiin suurimman arvon antanut tärinämittari. Kentän momentaalisen panosmäärän, valitun tärinämittarin etäisyyden ja taulukon 1 valitun k -arvon avulla kaavalla 1 voidaan ennustaa louhinnasta syntyviä tärinäarvoja. Laskelmissa varmistui, ettei kaava 1 anna luotettavia ennusteita tärinäarvoista etäisyyksien ollessa yli 100 metriä.

8.3 Murskauksen saavutukset

Työmaalla murskausprosessi eteni louhintatyön kanssa samaan tahtiin. Murskattu kalliomurske taas on siirrettävä murskan alta pois louhinta- ja murskausetjun seisahtamisen välttämiseksi. Näiden työvaiheiden kaluston mitoitus on lopputuloksen kannalta todella tärkeää.

Pengerlouhinnassa kalliota ammuttiin $251\,434\text{ m}^3$. Kuutio kiinteää kalliota painaa noin 2,7 tonnia eli murskattavaa kiviainesta louhitusta kalliomäärästä on mahdollista tuottaa noin 680 000 tonnia. Määrä on valtava, koska se vastaa noin 34 000 kuorma-auton kuormaa, autojen kantavuuden ollessa 20 000 kg. Jos 12 metriä pitkät kuorma-autot ajaisivat tiellä peräkkäin puskurit toisissaan kiinni, muodostaisivat kuorma-autot 408 kilometriä pitkän jonon.

Pengerlouhinta työmaalla kesti yhteensä 144 työpäivää. Laskennassa kalusto on mitoitettu louhintatyön keston mukaan olettaen, että louhintatyön loppuessa murskaustyötä voidaan vielä jatkaa 2-3 viikkoa.

Louhinta- ja murskaustyön kaluston mitoituksessa työpäivän keston vakiona on käytetty 12 tunnin työpäivää, työpäivän kestosta on vähennetty päivittäinen 30 minuutin ruokatauko sekä otettu huomioon, että 122 pengerlouhintaräjäytystä aiheuttaa työhön päivittäisen 30 minuutin seisokin. Laskutoimituksissa työpäivän pituus on tällöin 11 tuntia.

Lähtökohtana työmaalla oli, että kaikki louhittu kallioaines murskataan ja käytetään työmaan 24 hehtaarin tontilla rakennuksen täyttöihin tai piha-alueisiin. Vaikka tontin koko kuulostaa suurelta, on tontin piha-alueesta lähes koko alueella tehtävä asfaltointi-, vesihuolto-, betoni-, kivi- ja vihertöitä. Tällöin on vaarana, että murskeen välivarastointi työmaalla aiheuttaa esteitä edellä mainittujen töiden suorittamiselle ja murskekasoja joudutaan siirtämään useampaan kertaan. Suuri pitkäaikainen tilan tarve on syytä muistaa, jotta murskeesta aiheutuvat logistiset haasteet pystyttäisiin ennakoimaan työmaalla.

8.4 Murskeen siirron logististen vaihtoehtojen ja kustannusten vertailu

Murskattujen määrien ollessa valtavat, kertyy koko työmaan ajan murskeen lastauksesta ja siirroista huomattavat kustannukset. Jos massoja joudutaan siirtämään useaan kertaan voi se olla työmaan kannalta kohtalokasta. Vaihtoehtoisesti hyvin onnistuneella massansiirtosuunnittelulla voidaan säästää rahaa ja aikaa. Työmaalla lastattuja murskemääriä voidaan seurata reaaliajassa pyöräkuormaajiin asennettavien vaakalisälaitteiden avulla. Vaaka lähettää lastaustiedot verkkopalvelimelle, josta voidaan luoda raportteja halutulle aikavälille esimerkiksi murskelaadun tai asiakkaan mukaan.

Seuraavissa esimerkeissä on käytetty lähtötietoina louhinnan työsaavutuksia. Saavutusten avulla on voitu mitoittaa murskauksen läpivientiaika sekä murskaukselle ja murskeen siirrolle päivittäisiä työsaavutuksia. Laskuissa on keskitytty murskeensiirron sekä siihen tarvittavan kaluston kustannuksiin. Laskennassa käytetyn kaluston yksikköhinnat on lueteltu taulukossa 5. [26]

Taulukko 5. Koneiden yksikköhintoja (Partanen 2018) [26].

Kone	€/h
Dumpper 25 tn	63
Dumpper 30 tn	68,5
Dumpper 35 tn	79,5
Dumpper 40 tn	91,5
Kaivinkone 35 tn	68,5
Pyöräkuormaaja 120 sis. Vaakalaitteet	70,5

Työmaan siirtomatkat murskeelle olivat alle kilometrin. Työmaan sisäisiin siirtoihin dumpper on hyvä vaihtoehto, koska louhintatyön aikaiset tiet eivät monesti ole kuorma-autolle soveltuvia. Dumpperin lava on myös suunniteltu raskaiden kivien lastaukseen.

Taulukkoon 6 on kerätty tietoja, joiden avulla pohditaan yksittäisen dumpperin saavutuksia työmaa-ajossa ja työsaavutusten vaikutuksia työmaan kokonaiskustannuksiin. Laskennassa on ajateltu, että murske lastataan ja kuljetaan työmaan sisällä välivarastoon. Koko murskeen siirron läpivientiin käytettävä aika on mitoitettu pengerlouhinnan mukaan.

Taulukko 6. Murskatun murskeen siirto- ja lastauskulut (Partanen 2018).

	VARIAATIOIT				yks.
	A	B	C	D	
Dumpper kapasiteetti	25	25	25	25	t
Dumpperin kierros	21	18	15	12	min
Dumppereita ajossa	6	5	4	3	kpl
Pyökuormaajia lastaamassa	2	2	2	2	kpl
Murskatun kiven kertasiirtoon kuluva aika	144	148	154	165	d
Murskatun kiven kertasiirron kuljetuskustannukset	598 765	513 227	427 689	342 151	€
Murskatun kiven kertalastauskustannus	221 765	228 101	237 605	253 445	€
YHTEENSÄ:	820 530	741 328	665 294	595 597	€
Ajanparannus per kierros	0	-3	-6	-9	min
Säästöt kuljetuskustannuksissa	0	85 538	171 076	256 614	€

Dumpperin työtehoa on laskelmissa vertailtu 21, 18, 15 ja 12 minuutin kierrosajoilla. Jos dumpperin kierrokseen tarvittavaa aikaa pystytään laskemaan, voidaan dumppereiden kokonaismäärää vähentää lastauskoneen työtehon vähentymättä. Tämä alentaa kalustosta aiheutuvia kokonaiskustannuksia. On myös huomattava, että variaatiossa C, yhteensä neljän dumpperin tehokas ajattaminen kahdelle lastauskoneelle, on työmaalla selkeämpi toteuttaa kuin variaatio A:n kuuden dumpperin.

Hyvin onnistuneella suunnittelulla työmaalla tuskin päästään 21 minuutin ääripäästä 12 minuuttiin, mutta jo 3 minuutin ajanparannus laskennallisesti mahdollistaa noin 86 000 euron säästön. Tämä voidaan saavuttaa väliaikaisten murskekasojen järkevällä sijoittelulla työmaalla, ennakkoinnilla työmaateiden suunnittelussa sekä lastauskaluston käyttöasteen oikealla mitoittamisella. Pyöräkuormaajan lastausteho laskutoimituksissa oli 200 tonnia tunnissa eli variaatiossa A, 8 kuormaa tunnissa. Opinnäytetyön mitoituksissa lastauskoneen tarve oli 1,9 - 2,1 yksikköä. Laskennassa lastauskoneita on koko työmaan ajan kaksi kappaletta.

Taulukossa B on vertailtu dumpperin kantokyvyn vaikutuksesta murskeen siirtokustannuksiin. Vertailussa on kantavuudeltaan 25, 30, 35 ja 40 tonnin dumpperit. Laskelmissa siirtoon on kaikissa variaatioissa kulunut 20 minuuttia.

Taulukko 7. Dumpperin koon vaikutus siirtokustannuksiin (Partanen 2018).

	A	B	C	D	yks.
Dumpperi kapasiteetti	25	30	35	40	t
Dumpperin kierros	20	20	20	20	min
Dumppereita ajossa	6	5	4	4	kpl
Pyökuormaajia lastaamassa	2	2	2	2	kpl
Murskeen siirtoon kuluva aika	137	137	147	129	d
Murskatun kiven kertasiirron kuljetuskustannukset	570 252	516 697	514 003	517 640	€
Murskatun kiven kortalastauskustannus	211 205	211 205	226 291	198 004	€
YHTEENSÄ:	781 457	727 901	740 294	715 644	€

65 813 €
8,4 %

Dumpperin kapasiteetin mitoituksella voidaan vaikuttaa kaluston määrään ja luonteeseen sekä säästää kokonaiskuluissa. Edullisimman variaatio D:n 40 tonnin dumpperin ja variaatio A:n 25 tonnin dumpperin erotus on noin 66 000 euroa. Erotus on 8,4% lastaus- ja siirtokustannuksista eli ero on merkittävä. Kaluston mitoituksessa dumpppureiden määrä tippuu variaatio A:n kuudesta dumpperista variaatio D:n neljään dumpperiin. Myös massansiirron läpivientikin on kuusi työpäivää nopeampaa. Variaatiossa C ja D lastaamassa voisi hyvin olla myös kaivinkoneita. Kaksi autoa per lastauskone, toinen lastauskoneen ringissä olevista autoista vie kuormaa, kun toinen on lastattavana.

Pyöräalustainen kaivinkone on monipuolisuudellaan hyvä varavaihtoehto lastaukseen. Kone liikkuu nopeasti työmaan päästä päähän, ja pystyy tekemään useita maarakennustöitä urakan aikana. Pyöräkuormaajat taas suuren kauhakokonsa ja punnituslisälaitteiden ansiosta ovat korvaamattomia, kun kyseessä on työmaan ulkopuolelle myydyn murskeen lastaus ja laskuttaminen tai murskeiden lastaus kasetteihin. Kasettialue on lava-autosta ja kasettiperävaunusta muodostuva yhdistelmä, jonka kantavuus on jopa 40 - 50 000 kg.

Nämä opinnäytetyössä esitetyt laskutoimitukset ovat teoreettisia ja laskutoimituksessa työvaiheet on saatu aikataulutettua saumattomasti ilman seisokkeja. Pienikin ongelma louhinta- ja murskausketjussa voi aiheuttaa koko ketjun lamaantumiseen.

Edellä mainituissa laskuissa oletetaan, että louheesta työmaalla jalostetut murskeet täytyy lastata ja siirtää välivarastoon. Laskut käsittelevät vain tätä osaa murskeeseen liittyvistä kuljetuskustannuksista. Todellisuudessa kun murskeet kuljetetaan välivarastoista murskeiden lopulliseen käyttötarkoitukseen, on murskeet lastattu ja kuljetettu kaksi kertaa. Taloudellisimmillaan louhe- ja murskaustyössä kiviaines saadaan suoraan ensimmäisen lastauksen ja kuljetuksen jälkeen rakennekerrokseen eikä välivarastointia tarvita.

Esimerkki 1

Jos 25% pienlouheesta tai murskeista saadaan suoraan sen lopulliseen käyttötarkoitukseen, on säästö taulukon 6 variaatio A:n lastaus- ja kuljetuskustannuksilla:

$$820\,000\text{€} * 25\% = 205\,000\text{€}$$

Jos edes osaa 680 000 tonnin murskemäärästä joudutaan siirtämään turhaan esimerkiksi huonon massansiirtosuunnittelun takia, voivat menetykset olla urakan kokonaisuuden kannalta merkittävät. Taulukon 6 variaatio A:n lastauksen ja kuljetuksen kustannukset ovat yhteensä noin 821 000 euroa ja murskemäärä 680 000 tonnia. Tämä tekee murskeen yhden lastauksen ja siirron hinnaksi työmaan sisällä noin 1,21 € per tonni. Tätä yksikköhintaa voidaan käyttää esimerkissä 2 ja 3.

Esimerkki 2

Murskataan 15 000 tonnia työmaan kannalta ylimääräistä #0 - 16 sepeliä. Urakan loppupuolella kasa joudutaan lastaamaan uudelleen välivarastosta pois ajettavaksi työmaalta. Ylimääräiset lastaus- ja kuljetuskulut ovat tällöin:

$$15\,000\text{tn} * 1,21\text{€/tn} = 18\,150\text{ €}$$

Välivarastoitu ylimääräinen murske voi aiheuttaa myös tilan kanssa ongelmia. Tästä aiheutuvia kustannuksia ei ole otettu laskelmissa huomioon.

Esimerkki 3

Työmaan alkaessa kaikki murske on suunniteltu välivarastoitavaksi. Urakan alkupuolelta saadaan työmaan louhinnan vastaiselta puolelta 5 hehtaarin alue valmisteltua rakennekerroksille. Louhinnasta iskuvasaralla esimurskattua pienlouhetta, raekoko <400mm, sekä murskattua molskottia, KaM #0 - 150, saadaan siirrettyä suoraan sen lopulliseen käyttötarkoitukseen alueelle. Jakavan kerroksen jälkeen samalle alueelle saadaan myöhemmin ajettua suoraan murskalta kantavaan kerrokseen asfaltin alle KaM #0 - 32 mursketta. Kerrosten

vahvuus on yhteensä 1000 mm, ja murske tiivistettynä rakenteisiin on noin 2,1 tn/m³.

$$50\,000\text{m}^2 * 1\text{m} * 2,1\text{tn/m}^3 * 1,21\text{€/tn} = 127\,050\text{ €}$$

Lastauksen ja siirtojen lisäksi työmaa säästää myös aikaa. Urakan läpivientiajan lyhentyessä sekä vähentyneiden tilaongelmia ansiosta saadaan aikaan sujuvuutta työmaalla sekä taloudellisia säästöjä.

8.5 Yhteenveto

Opinnäytetyössä perehdyttiin louhinta- ja murskaustöiden laajaan kokonaisuuteen. Varsinkin loppuvaiheessa työtä kokonaisuuden sisäistäminen oli mielenkiintoista ja palkitsevaa. Työssä käytiin kattavasti läpi työvaiheiden aloittamiseen ja suorittamiseen liittyvää lainsäädäntöä ja ohjeistuksia ja pohdittiin kuinka työvaiheet vaikuttavat työmaan muihin urakoitsijoihin sekä työmaan lähistöllä oleviin tahoihin. Louhinta luokitellaan vaaralliseksi työksi. Työn suorittamisessa pyritään siihen, ettei työstä aiheudu ulkopuolisille haittoja tai vaaratilanteita. Turvallisuuden lisäksi louhinta- ja murskaustyön tulisi olla työmaan kannalta tuottavaa ja jouhevaa. Tässä urakassa valtavat massamäärät tekevät edellä mainittujen asioiden yhteensovittamisesta haastavaa.

Systemaattisesti työmaalta kerätyn tiedon ja suuren otannan ansiosta työsaavutuksia pystyttiin käyttämään luotettavasti apuna kustannusvertailuissa. Laskutoimitusten avulla louhintaan ja murskauksen liittyvät tunnusluvut tulivat tutuiksi. Laskujen avulla ilmeni, että massansiirtosuunnittelulla ja kaluston mitoituksella pystyttiin saavuttamaan huomattavia säästöjä louhintatyön läpiviennissä. Vähintään yhtä tärkeää on valtavien massamäärien aiheuttamien tilaongelmien huomiointi aikaisin suunnittelussa. Kiviainekset tulee pyrkiä siirtämään niiden lopulliseen käyttötarkoitukseen mahdollisimman vähillä lastaus- ja siirtokerroilla. Jos suurten murskemassojen kertakuljetuskulua joudutaan

kertomaan useammalla siirrolla, puhutaan urakan kannattavuuden kannalta todella ratkaisevista rahasummista.

Louhintatyö on näyttävä työvaihe, ja työn jälkeä on ilo seurata työn edetessä. Opinnäytetyöstä erityisen mielenkiintoisen teki murskaus- ja louhintatöiden vaikutus kaikkiin urakka-alueen lähellä oleviin tekijöihin sekä lukuisten vaihtoehtoisten työtapojen määrää. Kun puhutaan merkittävistä rahasummista, on työhön tarvittavan kaluston mitoitus ja louhinnasta saatavan louheen tehokas hyödyntäminen on mielenkiintoista pohdittavaa.

Opinnäytetyön edistymisen ja aiheen sisäistämiseen auttoi, että pääsin itse töissä kokemaan louhinta- ja murskaustyöstä aiheutuvia haittatekijöitä ja hyödyntämään työmaalla jalostettuja murskeita. Murskeen varastoinnista aiheutuvat tilaongelmia on huomattavasti helpompi pohtia, kun on kamppaillut tilanteen kanssa työmaalla. Louhinta- ja murskaustyöstä mahdollisesti syntyvät haittatekijät, seisokit ja tilaongelmat on haastavaa ottaa huomioon laskutoimituksissa. Aiheeseen liittyvässä kirjallisuudessa ja laskukaavoissakaan ei ole otettu huomioon työvaiheiden kokonaisvaikutuksia. Tämä on ymmärrettävää, koska jokainen työmaa on erilainen ja muuttuvia tekijöitä on useita. Kuten yhtä aikaa käynnissä olevat työvaiheet ja työmaan aikataulu.

Opinnäytetyön aihealuetta olisi hyvä lähestyä myös ennakkolaskelmien näkökulmasta. Eli kuinka tarjousvaiheessa lasketut työpanokset ja kustannukset sekä aikataulu on työmaalla toteutunut. Jälkilaskenta opettaa näkemään asioita, joita tarjousvaiheessa ei osata ottaa huomioon. On myös mahdollisuus löytää ne osa-alueet, missä rahaa on mahdollista säästää realistisilla toimenpiteillä, kuten esimerkiksi massansiirtosuunnittelulla tai tarkalla kaluston mitoituksella.

Lähteet

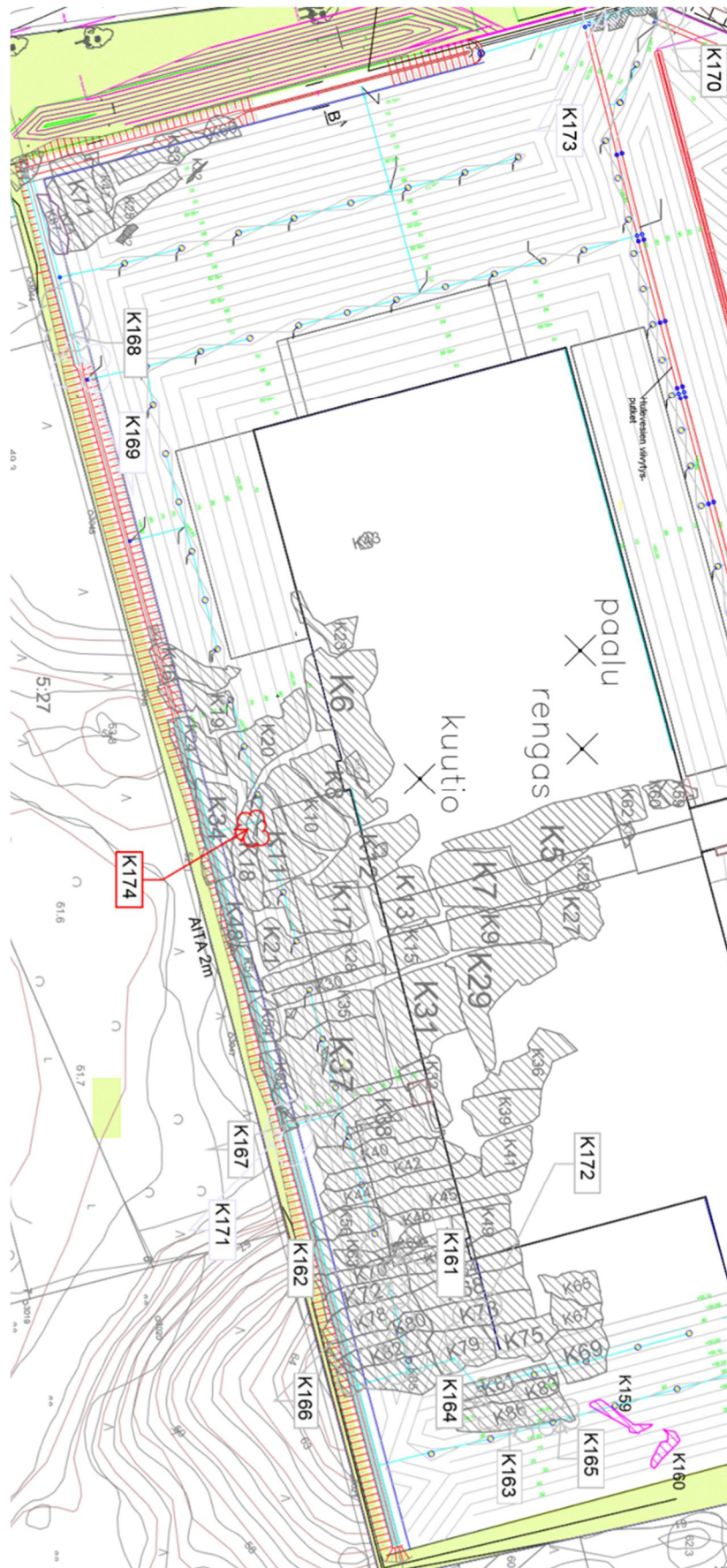
- [1] Graniittirakennus Kallio Oy. Yritys. 2018.
<https://www.grk.fi/yritys>. 1.2.2017.
- [2] Louhintaliike Varjonen Terjo Oy. Yritys. 2018.
<http://www.louhintaliikevarjonen.fi>. 3.2.2018.
- [3] Suomen Louhintakonsultit Oy. Yritys. 2018.
<http://www.louhintakonsultit.fi>. 4.2.2018.
- [4] Kone-Kostamo Oy. Yritys. 2018.
<http://kone-kostamo.fi>. 4.2.2018.
- [5] Graniittirakennus Kallio OY. Referenssit. Lidl, Järvenpään jakelukeskus MRU2. 2017.
<https://www.grk.fi/project/lidl-jarvenpaan-jakelukeskus-mru2>. 5.2.2018.
- [6] Keski-Uudenmaan ympäristökeskus. Liitteet. Ympäristölupa. KU-YK § 48/14.4.2015.
http://www.keskiuudenmaanymparistokeskus.fi/keskiuudenmaanymparistokeskus/attachments/text_editor/26250.pdf?checksum=1a28466655eb2cc1850fd3cb611730d4. 3.3.2018.
- [7] Finlex. Laki. Maa-aineslaki. 24.7.1981/555.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1981/19810555>. 3.3.2018.
- [8] Finlex. Laki. Laki ympäristövaikutusten arviointi menettelystä. 252/2017.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>. 3.3.2018.
- [9] Finlex. Laki. Valtioneuvoston asetus ympäristösuojelusta. 4.9.2014/713.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140713>. 3.3.2018.
- [10] RIL 253-2010. Rakentamisen aiheuttamat tärinät. B5. 122 sivua. 2010.
- [11] Finlex. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>. 3.3.2018.
- [12] Finlex. Laki eräistä naapurussuhteista. 13.2.1920/26.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1920/19200026>. 3.3.2018.
- [13] Finlex. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta. 48/2005.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050048>. 4.3.2018.
- [14] Finlex. Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta. 19.8.1994/737.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940737>. 4.3.2018.
- [15] Vuolio, Raimo; Halonen, Tommi. Räjätystyöt. 2012.

- [16] Turvallisuuskeskus TTK. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. 9. painos, 2016.
- [17] Jääskeläinen, Raimo. Maanrakennuksen ja louhinnan perusteet. 2010.
- [18] Paalumäki, Tauno; Lappalainen, Pekka; Hakapää, Antero. Kaivos- ja louhintatekniikka. 2015.
- [19] Rakennustieto Oy; Vuolio Raimo; Halonen Tommi. Räjätysopas. 4. painos, 2017.
- [20] Infra RYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 Väylät ja alueet. 2010.
- [21] Liikennevirasto. Julkaisut. 2005.
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2200043-v-04penger_ja_leikk.pdf. 13.3.2018.
- [22] Työterveyslaitos. Työympäristö. Altisteet. 2018.
<https://www.ttl.fi/tyoymparisto/altisteet/>. 10.3.2018.
- [23] Infrakit. Ohjelmisto. Pilvipalvelu. 2018.
<https://infrakit.com/fi/>. 23.3.2018.
- [24] Liikennevirasto. Penger- ja kerrosrakenteet. 2005.
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2200043-v-04penger_ja_leikk.pdf.
- [25] Lidl. Yritys. 2018.
<https://www.lidl.fi/fi/yritys.htm>. 22.11.2018.
- [26] Konerinki. Hinnat. 2018.
<http://www.konerinki.fi/prices.htm>. 1.12.2018.

Liite 1. Kenttäkortti, louhintakenttä K2.

Tilaaja:	GRK		Kohde peitettävä:	kyllä	x	ei	
Urakkakohde:	Lidl Järvenpää		Louhetäkkäys:	kyllä	x	ei	
pvm:	10.1.2017						
Kentän nro:	2	ed. 1	Hälytys ennen räjäytystä:	2		min	
Keskipengerkorkeus:	2,00 m		Varmistumismiehet:	4		kpl	
Maks. pengerkorkeus:	3,00 m		VAARALLINEN ALUE:	100		m	
Kentän leveys:	58,00 m		Kenttä louhittu:				
Vapaalta reunoja:	1,0 kpl		pvm.	10.1.17			
Poraus			klo	15.12			
Reikä Ø mm	70 mm		Kentän koko:	3155,2 m ³			
Heitto:	20°		Pinta-ala:	1577,6 m ²			
Etä:	1,80 m		Kentän reikäluku:	350,0 kpl			
1. rivin etä:	2,00 m		Kentän reikämetrit:	1117,4 m			
Reikäväli:	2,60 m		Keskim. reikäpituus:	3,19 m			
Linjaa / kenttä:	15,0 kpl		Keskim. ruutukoko:	4,7 m ²			
Ohjoporaus:	1,00 m		Ominaisporaus:	0,354 m/m ³			
Panostus			Keskim. Reikäpanos:	5,77 kg			
Etutäyte määrä m :	1,40 m		Maksim. reikäpanos:	8,37 kg			
Pohjapanos		kg/reikä/tot	Moment. räjäinem.:	21,22 kg			
aine 1. laji:	d60	0,95 kg	Keskim. pan./nallinro:	17,32 kg			
aine 1. määrä m :	0,25 m		Panos / kenttä:	2020,69 kg			
aine 2. laji:		0,00 kg	Ominaispanostus:	0,64 kg/m ³			
aine 2. määrä m :							
Varsipanos (patr.)							
aine 3. laji:	an60	1,09 kg					
aine 3. määrä m :	0,40 m						
aine 4. laji:		0,00 kg					
aine 4. määrä m :							
Varsipanos (lrr.)							
aine 5. laji:	ano	3,73 kg					
aine 5. määrä m :	1,14 m						
Sytytys							
sytyt. 1. tyyppi:	no6						
sytyt. 1. määrä/reikä:	1,0 kpl						
sytyt. 1. hidastenro määrä:	1,0 kpl						
sytyt. 2. tyyppi:	va6						
sytyt. 2. määrä/reikä:	1,0 kpl						
sytyt. 2. hidastenro määrä:	1,0 kpl						
reikä maks./nallinro:	3,0 kpl						
Tärinäennuste (skaal. etäisyyden men.)							
Oletettu k-kerroin:	1500						
Arvioitu á - kerroin:	-1,60						
Mitoitettava tärinäherkkä kohde:							
Etäis.louhintakoht.:	300 m						
Sall. Tärinäaall. nop.:							
Sall. Tär.aallon kiiht.:							
Laskenn. tärinäaall. nop.	1,9 mm/s						
Panostaja	Arvi Haltunen						
Louh.t johtaja	Terjo Varjonen						

Liite 2. Louhinta-alueet K1 - K174.



Liite 3. Tärinämittareiden sijainnit sekä tärinämittareiden raja-arvot.

Tärinämittauskohteet sekä niille asetetut etäisyyden mukaiset tärinän raja-arvot ovat:

Ristinummen eteläinen asuinalue

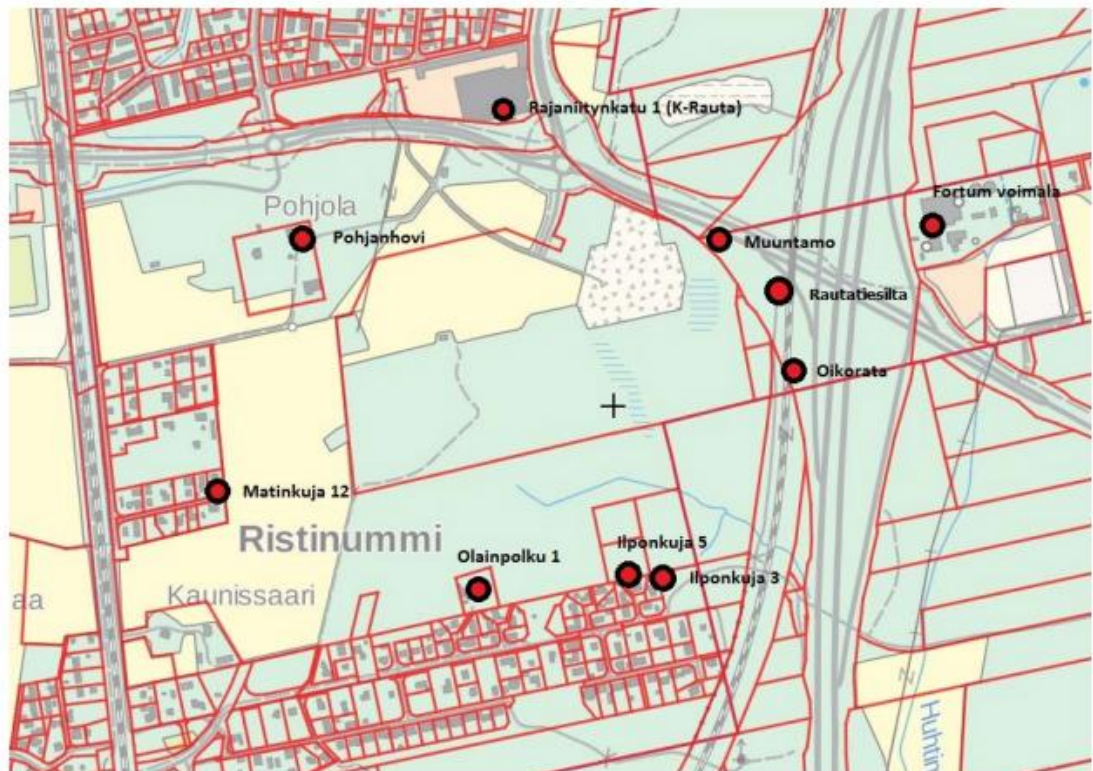
Mittauspiste	Etäisyys	v sall (mm/s)
MP 1, Ilponkuja 3	200 – 400 m	9...8 mm/s
MP 2, Olainpolku 1	200 – 400 m	14...10 mm/s
MP 9, Ilponkuja 5	200 - 400 m	9...8 mm/s

Ristinummen läntinen asuinalue

Mittauspiste	Etäisyys	v sall (mm/s)
MP 3, Matinkuja 2	300 – 900 m	6...4 mm/s

Muut mittauspisteet

Mittauspiste	Etäisyys	v sall (mm/s)
MP 4, Fortum	350 – 800 m	12...10 mm/s
MP 5, Oikorata	50 – 500 m	40...15 mm/s
MP 6, Pohjanhovi	250 – 750 m	10...6 mm/s
MP 7, Rajaniitynkatu 1	350 – 600 m	12...10 mm/s
MP 8, Muuntamo	ei etäisyysriippuvainen	1,0 g(kiihtyvyys)
MP 10, Oikorata, siltarakenne	100 – 700 m	28 – 13 mm/s



Kartta mittauspisteistä

- Opasta pelastusyksiköt paikalle. Sovi ohjauksesta ympärillä olevien kanssa, mikäli työnohjo ei ole vielä paikalla.
- Arna ensilehto kohteesta pelastajille, se auttaa/ropeuttaa pelastustoimintaa.

**HÄTÄNUMERO
112**