



JIGSAW- KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄSTÄ SAATAVAN TIEDON LUOTET- TAVUUDEN JA TARKKUUDEN KEHITTÄMINEN

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville-Veikko Vitri	
Työn nimi Jigsaw-koneohjausjärjestelmästä saatavan tiedon luotettavuuden ja tarkkuuden kehittäminen	
Päiväys 10.4.2016	Sivumäärä/Liitteet 36/1
Ohjaaja(t) Juha Pakarinen, tuntiopettaja, Mervi Heiskanen, tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) E. Hartikainen Oy, Mikko Pelttari	
Tiivistelmä <p>Malmin louhintamäärältään Suomen suurin avolouhos Siilinjärvellä tuottaa apatiittirikastetta omalle fosforihappotehtaalleen, joka perustettiin vuonna 1969. Avolouhos aloitti toimintansa myöhemmin, vuonna 1979. Sekä tehtaat, että avolouhos ovat olleet vuodesta 2007 Yara Suomi Oy:n omistuksessa. Tehdas- ja kaivosalueen koko on lähes 4 000 hehtaaria ja toiminta työllistää noin 750 henkilöä. Tehdas tuottaa hyvälaatuista apatiittirikastetta noin miljoona tonnia vuodessa.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia miten luotettavaa Siilinjärven kaivoksella käytössä olevan Jigsaw-koneohjausjärjestelmän tuottama tieto on ja löytää keinoja sen luotettavuuden ja tarkkuuden kehittämiseen. Tutkimuksen perusteella arvioitiin epätarkkuutta aiheuttavia tekijöitä ja niiden vakavuutta. Työn tilaajana toimi E. Hartikainen Oy, joka on urakoinut kaivoksella vuodesta 1979.</p> <p>Työ aloitettiin kuukauden mittaisella vertailulla uuden Jigsaw-järjestelmän ja vanhan LouhosStore-tuotannon seuranta-järjestelmän välillä. Kaikki eroavaisuudet järjestelmien tuotantoraporteissa tutkittiin ja niille etsittiin syyt. Erojen syyt jaettiin tekijöihin, jolloin saatiin selville suurimmat epätarkkuutta aiheuttavat tekijät. Tätä tietoa hyödyntämällä E. Hartikainen Oy pystyy suuntaamaan järjestelmän käyttöön liittyvää koulutusta oikeisiin osaluaisiin, sekä suuntaamaan resursseja vakavimpien tekijöiden korjaamiseen ja kehittämiseen.</p> <p>Tulosten perusteella Jigsaw-järjestelmän tarkkuus on mahdollista saada riittävälle tasolle mahdollistaakseen luotettavan raportoinnin ja tuotannon seurannan. Kuormamäärissä Jigsaw ja LouhosStore vastasivat toisiaan 99,2 %:n tarkkuudella, mutta kun huomioon otettiin myös lastaus- ja kippauspaikkojen vastaavuus, oli tarkkuus enää 93,4 %. Järjestelmän käytöstä ilmeni selviä käyttäjävirheitä, joiden vähentäminen on mahdollista lisäämällä oikein suunnattua koulutusta erityisesti uusille työntekijöille. Myös järjestelmän rakenteeseen liittyvien heikkouksien vaikutus tuotannon tarkkuuteen selvisi tutkimuksen aikana.</p>	
Avainsanat Avolouhos, koneohjaus, Jigsaw, LouhosStore	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Ville-Veikko Vitri			
Title of Thesis Improving the Reliability and Accuracy of the Jigsaw System Production Data			
Date	10 April 2016	Pages/Appendices	36/1
Supervisor(s) Mr. Juha Pakarinen, Lecturer and Mrs. Mervi Heiskanen, Lecturer			
Client Organisation /Partners E.Hartikainen Oy, Mr. Mikko Pelttari			
<p>Abstract</p> <p>The Siilinjärvi plant, the biggest open pit in Finland by mined ore volume produces apatite concentrate to the Yara phosphoric acid plant. The plant was founded in 1969. The open pit was established later, in the year 1979. The factories and the mine have been owned by Yara Suomi Oy since 2007. The factory area and the pit area form together an area of almost 4 000 hectares and employ about 750 employees. The mine produces about one million tons of good quality apatite concentrate per year.</p> <p>The aim of this thesis was to investigate the realibility of the production data produced by the Jigsaw fleet management system used in the mine. In addition, the means to improve the reliability and accuracy of this data were studied. Based on the information received from this investigation the purpose was to evaluate the root causes of the inaccuracy in data. This thesis was made for E.Hartikainen Oy which has worked as the main contractor in the mine since 1979.</p> <p>The research work was started by comparing the data between the Jigsaw system and the old data storage system LouhosStore. The data recorded during the one month period was evaluated and the differences were written down. The reasons that cause the differences were devided in the different groups. By assessing these groups, the main reasons that decrease the accuracy and cause differences between these two systems were found too. This information gives means to prevent the root problems to happen and develop the training of the employees.</p> <p>According to the results of this study it was found out that it is possible to get reliable data from the Jigsaw system. Reliable data ensures that the system can be used to control production and the system gives accurate reports. When the number of the loads were compared, it was found out that these two systems correspond to each with of 99.2 % same numbers. If the correct loading and tipping points were compared, those systems gave the same numbers with an accuracy of 93.4 %. During this investigation it was found out that there were lot of human errors in usage of the system. The number of these errors can be decreased by improving the training of employees especially for the new users of the system. Also making the robustness of the equipment better can improve the validity of the data produced by the Jigsaw system.</p>			
Keywords Open pit, fleet management, machine control, Jigsaw, LouhosStore			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Tausta ja tavoitteet	5
1.2	Käsitteitä	6
2	SIILINJÄRVEN KAIVOS	7
2.1	E. Hartikainen Oy	8
2.2	Yara Suomi Oy	8
3	MALMIN TUOTANTO	9
3.1	Malmin määrittely	9
3.2	Ajojen suunnittelu	10
3.3	Poraus ja louhinta	10
3.4	Lastaus ja kujetus	10
3.5	Sivukiven läjitys ja jatkokäyttö	12
4	JIGSAW-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ	13
4.1	Leica Geosystems	13
4.2	Kiviautot ja pyöräkuormaajat — Low precision	13
4.3	Kaivinkoneet — High precision	14
4.4	Fleet management	16
4.5	Dispatching	17
4.6	Käytön vaatimukset ja hyödyt	20
4.7	Käyttö Siilinjärven kaivoksella	20
5	TUOTANTOJÄRJESTELMÄÄN TALLENTUNEEN TIEDON TUTKIMINEN	21
5.1	Tiedon tallentuminen	21
5.1.1	LouhosStore	21
5.1.2	Jigsaw	21
5.2	Tutkimusmenetelmät ja vertailu	21
6	TULOSTEN ANALYSOINTI	23
7	KEHITYSEHDOTUKSIA	31
8	YHTEENVETO	33
	LÄHDELUETTELO	34
	LIITTEET	36

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Jokaisen kaivoksen toiminnan lähteenä on kyseisellä alueella esiintyvä mineraalipitoinen kallio, metalliesiintymä, kiviaines tai jokin raaka-aine. Jotta kyseisiin esiintymiin päästään käsiksi, on välttämätöntä louhia myös sivukiveä, jonka määrä yleensä ylittääkin itse louhinnan perustana olevan aineksen määrän moninkertaisesti. Vaikka kaivostoiminta itsessään tuottaa vain noin 4 % Suomen kansantaloudesta (2015), tuottaa se raaka-aineita koko rakennussektorille ja noin kolmasosalle teollisuutta. Jotta louheesta saadaan tarvittavia raaka-aineita, täytyy se lastata ja kuljettaa jalostettavaksi. (Paalumäki, Lappalainen ja Hakapää 2015, 19.)

Kaivosteollisuudessa käytetään suuria koneita ja siirretään valtavia massamääriä. Koska koneiden kapasiteetit ovat suuria, aiheuttaa pienikin virhe lastauksessa tai kuormamäärissä suuren virheen tuotannossa, mistä taas seuraa välittömiä taloudellisia menetyksiä. Samalla satojen hehtaarien kokeisella louhoksella voi olla yhtäaikaisesti töissä useita kymmeniä koneita ympäri vuorokauden. Lastausta ja läjitystä suoritetaan useissa paikoissa ja siirrettävät kivilaadut vaihtelevat. Kyseisen kokonaisuuden pyörittäminen jouhevasti ja virheettömästi vaatii suurta tarkkuutta ja organisointikykyä työnjohdolta, ja tätä työtä helpottamaan on luotu erilaisia koneohjausjärjestelmiä. Ihannetilanteessa toiminta olisi täysin automaattista ja häiriötöntä. Valitettavasti häiriöt ovat yleisiä ja syyllisiä niihin ovat useimmiten konerikot.

Opinnäytetyöni tilaajana toimii E. Hartikainen Oy, jonka kanssa tarkoitukseni on löytää kehitysketjuja Siilinjärven kaivoksella käytössä olevan Jigsaw-koneohjausjärjestelmän luotettavuuteen ja tarkkuuteen. Toimiessaan optimaalisesti, ohjelmisto parantaisi huomattavasti lastauksen, kuljetuksen ja rikastamon tehokkuutta ja tuottavuutta. Jigsaw-järjestelmä ei tuota tällä hetkellä täysin vastaavaa tietoa vanhan LouhosStore-järjestelmän kanssa. Tästä syystä seuranta Jigsawin kautta ei ole täysin luotettavaa, ja työ onkin tarkoituksena aloittaa kuukauden mittaisella vertailujaksolla vanhan LouhosStore- ja uuden Jigsaw-järjestelmän välillä. Vertailun aikana havaittujen eroavaisuuksien perusteella selvitän merkittävimmät eroja aiheuttavat tekijät järjestelmissä, minkä jälkeen pyrimme yhdessä tilaajan kanssa keksimään kehitysketjuja erojen ja mahdollisten virheiden vähentämiseen ja poistamiseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on palvella erityisesti Siilinjärven kaivoksen tarpeita, mutta toivottavasti työ tarjoaisi tärkeää tietoa myös muillekin kaivoksille, mikäli Jigsaw-järjestelmä yleistyy muuallakin Suomessa. Suomen vaihtelevat olosuhteet antavat haasteensa itse järjestelmälle ja juurikin Jigsaw-järjestelmän harvinaisuus on osaltaan aiheuttanut haasteita sen käytölle, sillä käyttöön liittyvää osaamista ei ole Suomessa ennestään ollut. Lisäksi haasteita on aiheuttanut suuren henkilöstömäärän koulutus ja ajatusmallin muuttaminen, koska näin laajan tuotannonohjausjärjestelmän käyttöönotto aiheuttaa merkittäviä toimintatapojen muutoksia tuotannossa.

1.2 Käsitteitä

Erikoiserä	Normaalilouhinnasta poikkeava louheensiirto
Kaato	Kalliosta irti räjäytetty kenttä
Kynsi	Osin epäonnistuneessa louhinnassa tasolle jäänyt kiinteä patti
Lastari	Lastauskoneen kuljettaja
Malmi	Mineraaliesiintymä, jota on pitoisuutensa takia kannattavaa louhia ja jatkojalostaa
Malmikasa	Murskatun malmin läjitys ennen rikastamolle siirtämistä. Siilinjärvellä kasan koko on määrätty ja on noin vuorokaudessa murskatun malmin määrä. Kasan tullessa täyteen alkaa uuden kasan teko
Malmimurska	Malmin pääasiallinen kippauspaikka, josta malmi etenee rikastamolle
Pitoisuusalue	Tietyn mineraalipitoisuuden omaava malmialue. Pitoisuusalueita voi olla malmikaadossa useita
Raakku	Sivukivi, jota joudutaan louhimaan ja ajamaan jotta malmiin päästään käsiksi
Ramppi	Tasojen välinen päätie louhoksella (kuva 1)
Taso	Louhoksen eri alueiden korkeus merenpinnasta. Siilinjärvellä porrastettu 14 metrin välein (kuva 1)
TSV	Tasausvarasto
Välivarasto	Malmin väliaikainen läjitysapaikka esimerkiksi murskan rikkoutuessa tai tukkeutuessa

2 SIILINJÄRVEN KAIVOS

Siilinjärven kaivos on malmin luohintämäärässä mitattuna Suomen suurin avolouhos. Kaivosalueen koko on noin kymmenen kilometriä pituudeltaan ja noin viisi kilometriä leveydeltään. Pelkkä alueella oleva Särkijärven avolouhos on noin kolme kilometriä pitkä ja kilometrin leveä (kuva 1). Kaivos tuottaa apatiittirikastetta, jota hyödynnetään raaka-aineena fosforihapon valmistuksessa. Tuotanto Siilinjärven toimipaikalla alkoi vuonna 1969 ja kaivostoiminta 1979, kun Kemira Oy aloitti toiminnan alueella (Kankaanpää 20-04-2016). Nykyisin kaivoksen omistaa Yara Suomi Oy. Kaivoksen sivutuotteena syntyvä rikastushiekka läjitetään Mustin rikastushiekka-alueelle ja sivukivi hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan kaivoksen rakennustoissa ja murskeiden raaka-aineena. Kaivos on ollut jo pitkään tärkeä työllistäjä alueella, työllistäen paljon myös epäsuorasti alueen yrityksiä ja logistiikkaa.

Siilinjärven kaivos on Länsi-Euroopan ainoa fosfaattikaivos. Alueen fosfaattikivi on epätavallisen puhdasta, joten myös siitä tuotettu fosfori sisältää todella vähän raskametalleja. Perinteisin menetelmin poraamalla ja räjäyttämällä louhittu malmi murskataan, jauhetaan ja vaahdotetaan. Vesi poistetaan sakeuttamalla ja suodattamalla. Vaikka malmi on fosforipitoisuudeltaan suhteellisen matalapitoista, saadaan siitä tällä rikastusprosessilla riittävän korkean pitoisuuden omaavaa hyvälaatuista rikastetta, joka on fosforihappotuotantoon soveliaista.

Malmin ja sivukiven lastaus tapahtuu koneellisesti kaivinkoneilla ja pyöräkoneilla. Kuljetuksessa käytetään kiviautoja, erityistapauksissa myös dumppereita. Lastauskoneet ovat painoltaan 100 - 290 tonnia, kiviautojen painojen ollessa 60 - 110 tonnia. Valtaosa käytettävistä lastauskaivinkoneista on kuokkakauhaisia, mutta kaivoksella on käytössä myös yksi pistokauhallinen kaivinkone.



KUVA 1. Särkijärven avolouhos (Vitri 2016-03-01)

2.1 E. Hartikainen Oy

E. Hartikainen Oy on vuonna 1965 perustettu maarakennustöitä suorittava yritys, joka on nykyisin erikoistunut kaivostoimintaan. Yritys tuottaa palveluitaan kaivosyhtiöille läpi Suomen. Merkittävimmät tilaajat tällä hetkellä ovat Yara Suomi Oy Siilinjärvellä, Boliden AB Sodankylässä ja Terrafame Oy Sotkamossa. Siilinjärvellä E. Hartikainen Oy vastaa louheen siirrosta, lastauksesta ja räjäytettävien kenttien porauksista. Räjäytysten panostuksesta, sekä louheen jatkokäsittelystä kivilaadun mukaan vastaa Yara Suomi Oy. Kaikki kaivoksella käytettävät lastauskoneet, kiviautot ja porakalusto ovat E. Hartikainen Oy:n omaa kalustoa ja yritys sijoittaaakin kokoajan uudempaan ja raskaampaan kalustoon tuotannon tehostamiseksi. E. Hartikainen Oy vastaa myös itse kaikesta kalustostaan ja niiden huolloista. (hartikainen.com.)

E. Hartikainen Oy on urakoinut Siilinjärven kaivoksella vuodesta 1979. Vaikka kaivoksen omistaja on välillä vaihtunut, on urakoitsija kuitenkin pysynyt. Nykyinen urakkasopimus on voimassa vuoteen 2021 asti. Yritys työllistää tällä hetkellä yli 640 henkilöä maarakennuksen ja autoliiketoiminnan alueilla ja sen vuosittainen liikevaihto on viime vuosina ollut noin 200 miljoonaa euroa. (hartikainen.com.)

2.2 Yara Suomi Oy

Norjalaisen Yara International ASAn tytäryhtiö Yara Suomi Oy tuottaa lannoitteita, teollisuuskemikaaleja ja ympäristön suojeluun käytettäviä tuotteita Suomen erityisoloihin. Yrityksellä on Suomessa neljä tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Uudessakaupungissa, Harjavalassa, Kokkolassa ja Siilinjärvellä, sekä omistuksessaan Siilinjärven kaivos. Yritys työllistää noin 1 300 henkilöä, joista 900 omina työntekijöinä (Manninen 2016, 9). Pelkästään Siilinjärven toimipiste työllistää 750 henkilöä, joista puolet on omia työntekijöitä. Yara Suomi Oy:n liikevaihto vuonna 2014 oli 740 miljoonaa euroa. (yara.fi.)

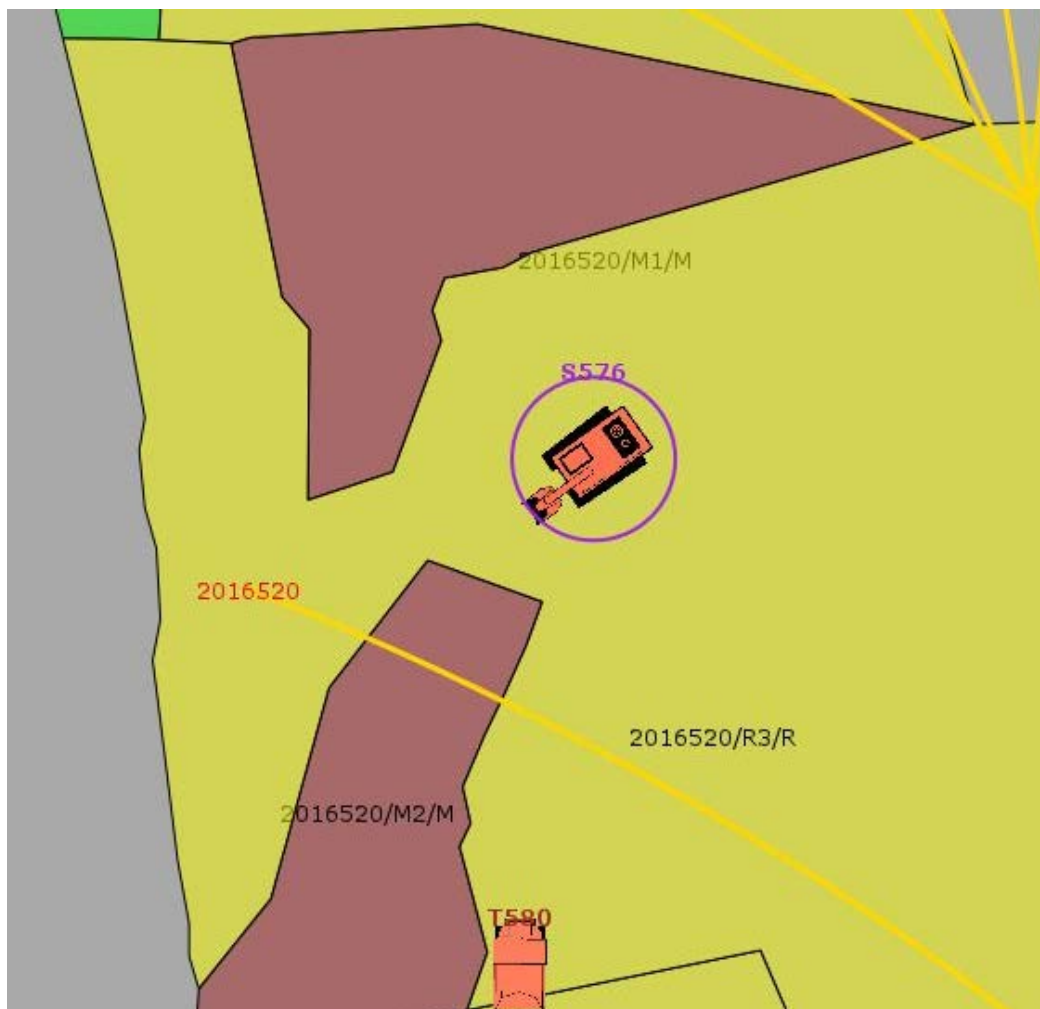
Yara Suomi Oy syntyi, Yara ASA osti Kemira GrowHow Oyj:n vuonna 2007 (Kankaanpää 20-04-2016). Kemira GrowHow, alun perin Kemira Agro Oyj, oli vuonna 2004 irtautunut emoyrityksestään Kemira Oyj:stä, joka on pitkän historian omaava suomalainen lannoitetuottaja. Se perustettiin jo vuonna 1920 nimellä Valtion Rikkihapo ja Superfosfaattitehtaat. Konserni laajensi liiketoimintaansa lannoitteista ja rikkihaposta lukuisiin teollisuuskemikaaleihin, kunnes 2000-luvulla alkoi irroittaa monia liiketoimintojaan eriyttämällä ja yhtiöittämällä. (yle.fi.)

3 MALMIN TUOTANTO

3.1 Malmin määrittely

Kaikki kaivokset toimivat taloudellisesti hyödynnettävän mineraalipitoisen kiven eli malmin varassa. Vaikka saman esiintymän malmit ovatkin yleensä arvoaineiltaan vastaavia, voi mineraalipitoisuuksissa olla suuriakin eroja. Eroista huolimatta malmista jalostetun tuotteen, rikasteen, laatu pitäisi pyrkiä pitämään tasaisena ja malmin määrittely onkin siksi erittäin tärkeä tekijä kaivoksen kannattavuutta ja kustannustehokkuutta arvioitaessa.

Siilinjärven kaivoksella tärkeimmät pitoisuudet malmin määrittelyssä ovat fosfori (P_2O_5), karbonaatti (CO_2), hiertomalmi ja amfiboliitti. Malmin määrittelyssä käytetään soijanäytetekniikkaa, jolloin näytteet otetaan louhintaporauksen porasoijasta. Tapa on yleinen juurikin avolouhinnassa (Paalumäki, Lappalainen ja Hakapää 2015, 44). Räjätetyt alueet eli kaadot jaetaan pitoisuusalueisiin siten, että yhden pitoisuusalueen malmi on kaikilta arvoiltaan mahdollisimman hyvin vastaavaa ja siksi yhdessä malmikaadossa voi olla useita eri pitoisuusalueita. Malmin lastaus suunnitellaan pitoisuusalueittain (kuva 2 ja kuva 8) noin vuorokauden jaksoihin eli kasoihin, ja yhteen kasaan ajetaan malmia määrättyistä pitoisuusalueista oikeassa suhteessa. Siilinjärven kaivoksella sekoitetaan viittä eri malmilaatua vaihtelevissa suhteissa siten, että rikastamon malmisyötteelle määrittämät pitoisuusrajat täyttyvät.



KUVA 2. Kuvassa kaadon 2016520 pitoisuusalueita. Malmialueet M1 ja M2 ruskealla ja raakkualue R3 keltaisella (Kuvakaappaus Vitri 2016-03-10)

3.2 Ajojen suunnittelu

Kaivoksen tärkein tehtävä on palvella rikastamon tarvetta ja koska rikastamo tarvitsee katkeamaton- ta malmiinsyöttöä, on kaikki kaivoksen ajot suunniteltu pitkälle tulevaisuuteen. Tuotannon etenemi- nen onkin suunniteltu vuoteen 2035 asti. Tuotanto kaivoksessa täytyy pitää jatkuvana muuttuvista tilanteista huolimatta, välttäen samalla suunnitelmamuutoksia malmin ajon suhteen. Ajettavan mal- min laatu pyritään pitämään tasalaatuisena, mutta esimerkiksi malmimurskaimen huoltokatkojen jäl- keen pyritään ajamaan mahdollisimman helposti murskan läpäisevää malmia ja näin mahdollistaen rikastamon toiminnan.

Jotta malmiin päästään käsiksi, on välttämätöntä ajaa myös sivukiveä eli raakkua. Vuonna 2015 kak- si kolmasosaa louhitusta kivistä oli raakkua, joten myös sen ajo vaatii tarkkaa suunnittelua. Raak- kua pyritään hyödyntämään aina kun mahdollista, mutta silti suuri osa siitä joudutaan ajamaan läji- tykseen. Hyvälaatuisen raakun (diabaasi, dioriitti) tuleva tarve otetaan mahdollisuuksien mukaan huomioon ajojen suunnittelussa ja jos mitään estettä ei ole, voi diabaasikaatoa, tai osaa siitä, sääs- tellä esimerkiksi tien tai rampin rakentamista varten.

Myös malmimurskaimen huoltopäivät tulee huomioida ajojen suunnittelussa. Huoltopäivänä kaikki kalusto tulee suunnata raakulle, joten esimerkiksi mahdolliset teiden ja ramppien purku- tai raken- nustyöt pitää ottaa huomioon ennakoivasti, jotta kaikki käytettävissä oleva kalusto saadaan hyödyn- nettyä parhaan mukaan. Nyrkkisääntönä kaikki ajot pyritään suorittamaan mahdollisimman vähillä konesiirroilla. Siirroissa oleva kone on aina pois muusta tuotannosta. (Kyllönen 09-02-2016).

3.3 Poraus ja louhinta

Myös louhinnassa edetään malmin ehdoilla. Louhoksen muodot noudattelevat malmiesiintymän muotoja ja raakkua louhitaan malminlouhinnan mahdollistamiseksi. Porauksessa käytetään 15 m² ruutua ja 14 metrin pengerkorkeutta noin metrin ohiporauksella. Tuotantoporareian yleisin halkaisija on 165 mm, kun taas lopullisen seinämän lähelle apu- ja rakolinjat porataan 89 mm kruunukoolla.

Panostus tehdään nykyisellään Nonel-nalleilla, mutta tulevaisuudessa myös elektronisia nalleja tul- laan kokeilemaan. Porakalustona käytetään Atlas Copcon ja Sandvikin koneita. Räjähdyksiä tehdään yleensä 1 tai 2 kertaa viikossa, kerran Särkijärvellä ja kerran Saarisella. Räjähdyksineen kaivoksella käytetään Yaran valmistamaa ammoniumnitraattipohjaista YarEx emulsioräjähdytysainetta (avi.fi).

3.4 Lastaus ja kujetus

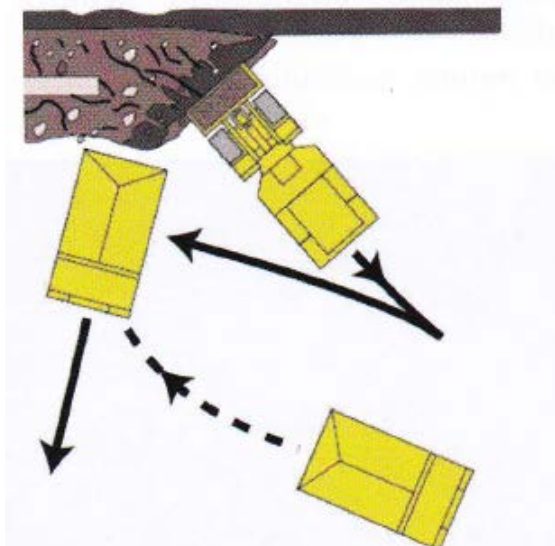
Malmin lastaus ja kuljetus Siilinjärven kaivoksella tapahtuu keskeytymättömässä kolmivuorotyössä. Lastauskoneina käytetään kuokka- ja pistokaivinkoneita sekä pyöräkuormaajia. Suurin lastauskone on tällä hetkellä työpainoltaan 290 tonnin Caterpillar 6030, jollainen on käytössä sekä pisto- että kuokkamallisena. Suurimmat kiviautot ovat painoltaan 110 tonnista Caterpillar 785D –malleja, joiden kuljetuskapasiteetti on 140 tonnia (kuva 3). 6030 on erityisen tehokas lastatessaan 785 sarjan kivi-

autoja 17 kuutiometrisellä kauhallaan. Suurin pyöräkone kaivoksella on työpainoltaan 134 tonninen ja 13 kuutiometrin kauhalla varustettu Caterpillar 993K.



KUVA 3. Lastausta kuokkakaivinkoneella. Kaivinkone Caterpillar 6030 ja kiviauto Caterpillar 785D (Vitri 2016-02-25)

Lastauspaikan sijainti ja laatu vaikuttavat oleellisesti lastaavan koneen tehokkuuteen. Tason pohjaan jääneet kynnet ja hatikkoinen kaato haittaavat merkittävästi pyöräkoneen työskentelyä, kun taas lastauspaikkaa vaihdettaessa pyöräkone on huomattavasti nopeammin uudessa kohteessa. Pyöräkoneen tärkeä ominaisuus onkin pitää tuotanto käynnissä silloin, kun kaivinkone on pois lastauksesta siirron tai huollon takia. Pyöräkuormaajan etuihin kuuluu myös se, että sillä on mahdollista pitää lastauspaikka puhtaana ja ajokelpoisena lastauksen lomassa (kuva 4).



KUVA 4. Lastausperiaate pyöräkoneella (Paalumäki, Lappalainen, Hakapää 2015)

Lastaustehokkuuden perusteella paras valinta lähes poikkeuksetta on kaivinkone. Kaivinkoneella on mahdollista lastata autoja takaa ja sivusta, ja sillä on helppo kaivaa pohja haluttuun korkoon tai muotoon. Kaivinkoneella pystyy suorittamaan myös kaivoksen pakollisia teiden ja ramppien purkutöitä. Vaikka kaivinkone on työskentelyssään tehokas, on sillä vaikea pitää lastauspaikan ympäristö siistinä ja ajokuntoisena mahdollisista kuormasta tipahtelevista kivistä ja siksi se vaatiikin pienemmän pyöräkoneen lastauspaikalle ”kivipartioon” muutaman kerran vuoron aikana.

Tason pohjan ollessa tasainen ja kaadon ollessa hyvin syötävissä, on pistokauhainen kaivinkone erittäin nopea ja tehokas (kuva 5). Pistokauha ei tarvitse petiä, vaan pystyy lastaamaan suoraan penkereen edestä ja pystyy siten pitämään lastausalueen puhtaana.



KUVA 5. Pistokauhainen Caterpillar 6030 (Vitri 2016-02-25)

3.5 Sivukiven läjitys ja jatkokäyttö

Suurin osa sivukivestä eli raakusta läjitetään läjitysalueille odottamaan tulevaa maisemointia. Läjitysalueet on määritelty läjitettävän kivityypin mukaan, sillä osaa sivukivestä on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa. Noin kolmasosa sivukivestä hyödynnetään esimerkiksi teiden tai ramppien rakenteina ja murskeina louhoksen omaan ja kaivosalueen maarakennustöiden käyttöön. Tasotiet ja rampit vaativat pintamateriaaliksi kulutusta kestäväää ja kovaa mursketta, kun taas alueen patojen suodatinmurskeelle tärkeintä on täyttää rakeisuusvaatimukset.

Yara Suomi Oy on aktiivinen toimija alueellisissa uusiomateriaalien hyötykäyttöä selvittäväissä hankkeissa ja sivukiven hyötykäyttöä onkin onnistuttu viime vuosina lisäämään (Mononen 19-04-2016).

4 JIGSAW-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ

4.1 Leica Geosystems

Leica Geosystems on sveitsiläinen maanmittaus- ja paikannuslaitteita valmistava yritys, joka on nykyään osa ruotsalaista Hexagon AB:tä. Leican vahvuuksiin kuuluu monipuolisuus, sillä Leica-tuotemerkin alla toimivat myös mikroskooppeja valmistava Leica Microsystems ja kameroita valmistava Leica Camera. Leica Geosystems on hyödyntänyt osaamistaan kehittämällä muun muassa monia koneohjausjärjestelmiä maarakennuksen tarpeisiin ja kehittämällä radiopaikannusjärjestelmän, joka ei ole lainkaan riippuvainen GPS-verkosta. (leica-geosystems.com)

Tuotannon tehostamiseksi Siilinjärven kaivos otti vuonna 2014 louhostoiminnassa käyttöönsä Leica Geosystems:n kehittäneen Jigsaw-koneohjausjärjestelmän, joka mahdollistaa malmin lastauksen ja kuljetuksen entistä tehokkaammin. Käyttöönottoa edelsi kahden vuoden suunnittelutyö, ja laitteisto-asennuksiin ja koulutuksiin kului aikaa vuosi. Järjestelmä tehostaa erityisesti rikastusprosessia, sillä sen avulla voidaan lastata pitoisuudeltaan juuri kyseiseen tilanteeseen sopivaa malmia. Jigsaw-koneohjausjärjestelmää ei käytetä tällä hetkellä missään muualla Euroopassa, mutta se on tullut testikäyttöön yhdelle kaivokselle Suomessa Siilinjärven lisäksi. Pohjois-Ruotsissa Aitikin avolouhoksella puolestaan käytetään Caterpillarin vastaavaa järjestelmää, Minestaria. Jigsaw-koneohjausjärjestelmä koostuu Fleet management tietokoneohjelmistosta ja lastauskoneisiin sekä kiviautoihin asennetuista ajoneuvotietokoneista, jotka on liitetty satelliittipaikannuslaitteistoon sekä 3G-reitittimeen. (Pelttari 02-11-2015; Arffman 20-04-2016.)

4.2 Kiviautot ja pyöräkuormaajat — Low precision

Jigsaw-järjestelmä käyttää Siilinjärven kaivoksella tiedonsiirtoon langatonta ja suljettua 3G-yhteyttä. Vaikka kone joutuisikin hetkellisesti katveeseen, kerää ja tallentaa se silti reaaliaikaista tietoa ja lähettää sen palvelimelle heti yhteyden palaututtua. Reaaliaikainen tieto mahdollistaa kuljettajalle yhteydenpidon työnjohtoon, vikaraporttien lähettämisen huoltohallille, sekä tiedon kaivoksen muiden koneiden sijainnista monitorinsa kautta. Järjestelmä näyttää kuljettajalle jopa auton sen hetkisen tilan, joita ovat esimerkiksi lastaus, kuljettaa, kippaa ja siirtyy tyhjänä (kuva 6 ja kuva 7). Tilanäyttö ei juurikaan kuljettajan toimintaan vaikuta, mutta on ajojärjestelijälle tärkeää tietoa. Kaivoksen kiviautoissa ja pyöräkuormaajissa on käytössään matalemmän tarkkuuden Low precision tietokoneet.

Ohjelman virheetön ja oikaoppinen käyttö vaatii kattavan perehdytyksen ja totuttelua käyttöön. Normaalisti kuljettajan tulee kuitata ajojärjestelijältä tulleet ajo-ohjeet, mutta kuljettaja pystyy asettamaan itsekin tehtävän vaihtamalla määränpäänä olevaa lastauskoneetta. Kuljettaja pystyy lastarin havaintojen perusteella vaihtamaan kuljettamansa materiaalin laatua ja tarvittaessa asettamaan itse kippauspaikan materiaalin mukaan. Myös laitteen tila on kuljettajan vaihdettavissa.



KUVA 6. Kiviauton monitori. Auto on ajanut 4 kuormaa ja on juuri lastauskoneen S568 lastattavana. (Kuvakaappaus Vitri 2016-02-23).

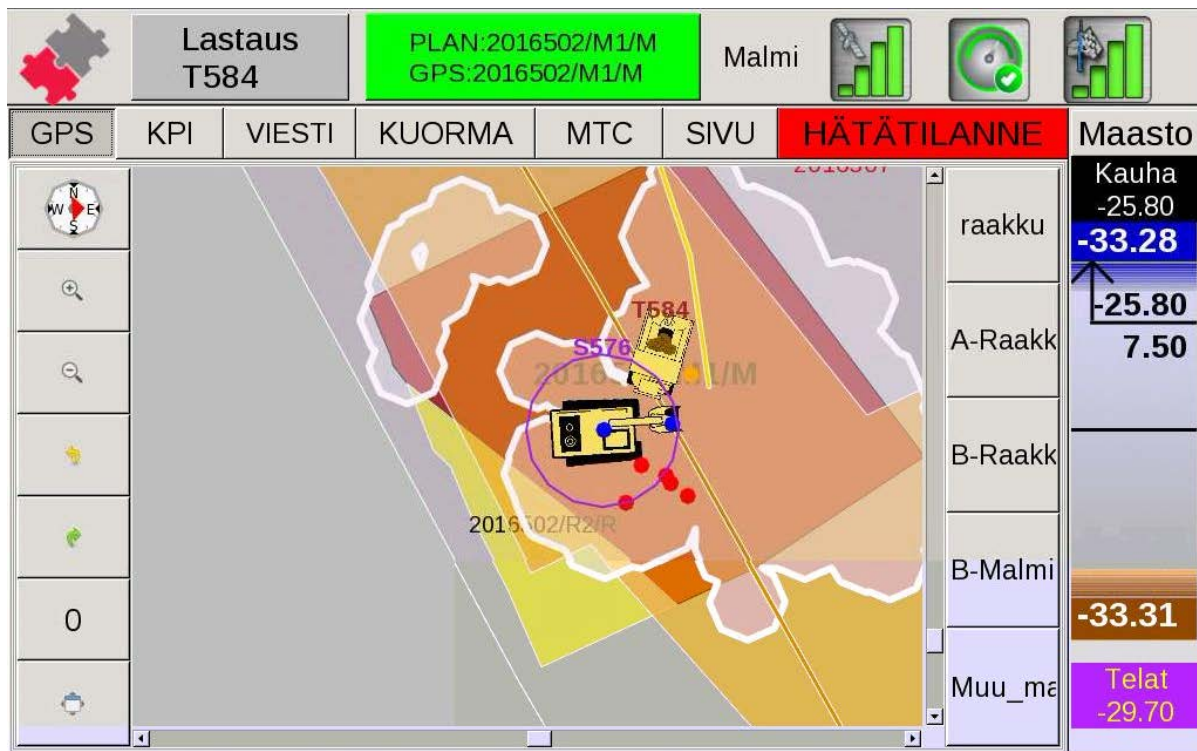


KUVA 7. Kiviauton ohjaamo. Jigsaw monitori oikealla (Vitri 2016-02-25)

4.3 Kaivinkoneet — High precision

Kaivoksen kaivinkoneet käyttävät Jigsawin High precision -järjestelmää, joka on paikannustarkkuudeltaan senttimetriluokkaa (kuva 8 ja kuva 9). High precision käyttää satelliittipaikannuksen lisäksi maanpäällistä korjaussignaalia, joka mahdollistaa huomattavasti pelkkiä satelliitteja paremman tark-

kuuden. Lastaustarkkuuden maksimoimiseksi koneiden kauhoihin on asennettu sensoreita, jotka laskevat kauhan tarkan sijainnin. Vaikka järjestelmä pyrkiikin helpottamaan ja koneellistamaan toimintaa, ei se pysty silti korvaamaan lastarin tärkeyttä kentällä. Monesti lastarin silmä tekee paljon tarkempia havaintoja lastattavasta materiaalista ja alueesta, kuin mitä mikään tietokoneohjelma pystyy tekemään.



KUVA 8. Lastauskoneen monitori. Kone on juuri lastaamassa malmia kaadosta 2016502 pitoisuusalueelta M1 kiviautoon T584. (Kuvakaappaus Vitri 2016-02-11).

Lastari pystyy näkemään koneensa monitorista oman sijaintinsa lisäksi lastausalueen päämateriaalin, lastausalueen rajat, lastatun kuorman painon ja oletetun ajan seuraavan kiviauton saapumiseen. Korkonäyttö kertoo koneen telojen ja kauhan sen hetkisen koron merenpinnasta, sekä kauhan koron kaivettavan tason tai rampin tavoitekorosta. High precision järjestelmä käyttää samaa langatonta 3G-yhteyttä, kuin Low precision, tarjoten lastarille samat reaaliaikaisen tiedon hyödyt kuin kiviauton kuljettajallekin. Myös lastareilla ohjelman virheetön ja oikaoppinen käyttö vaatii kattavan perehdytyksen ja totuttelua käyttöön.

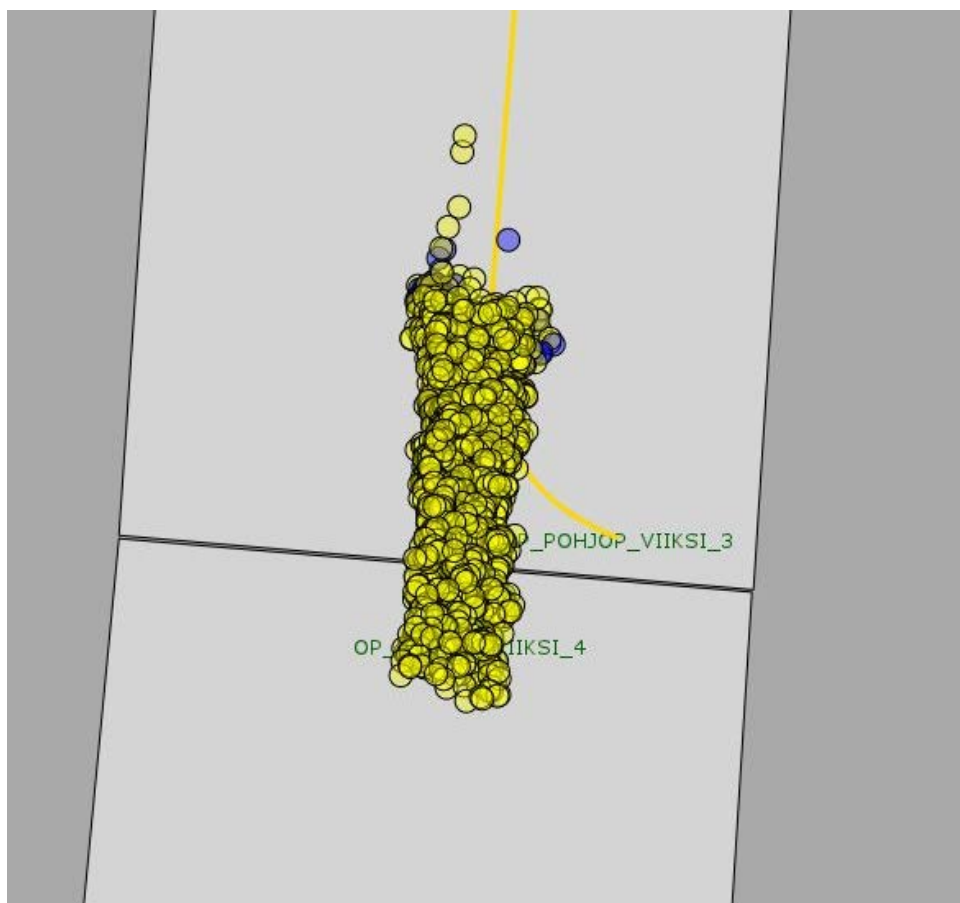


KUVA 9. Lastauskoneen Hitachi EX 2600-6 ohjaamo. Jigsaw monitori alimpana. (Vitri 2016-02-25)

4.4 Fleet management

Jigsaw-järjestelmän ytimenä toimii Fleet management -sovellus nimeltä JmineOPS. Fleet management mahdollistaa tuotannon- ja toiminnanohjaamisen tietokonepohjaisesti. Ohjelman kautta pystyy seuraamaan minkä tahansa Jigsawia käyttävän koneen toimintaa, tilaa ja jopa etäkäyttämään koneen monitoria.

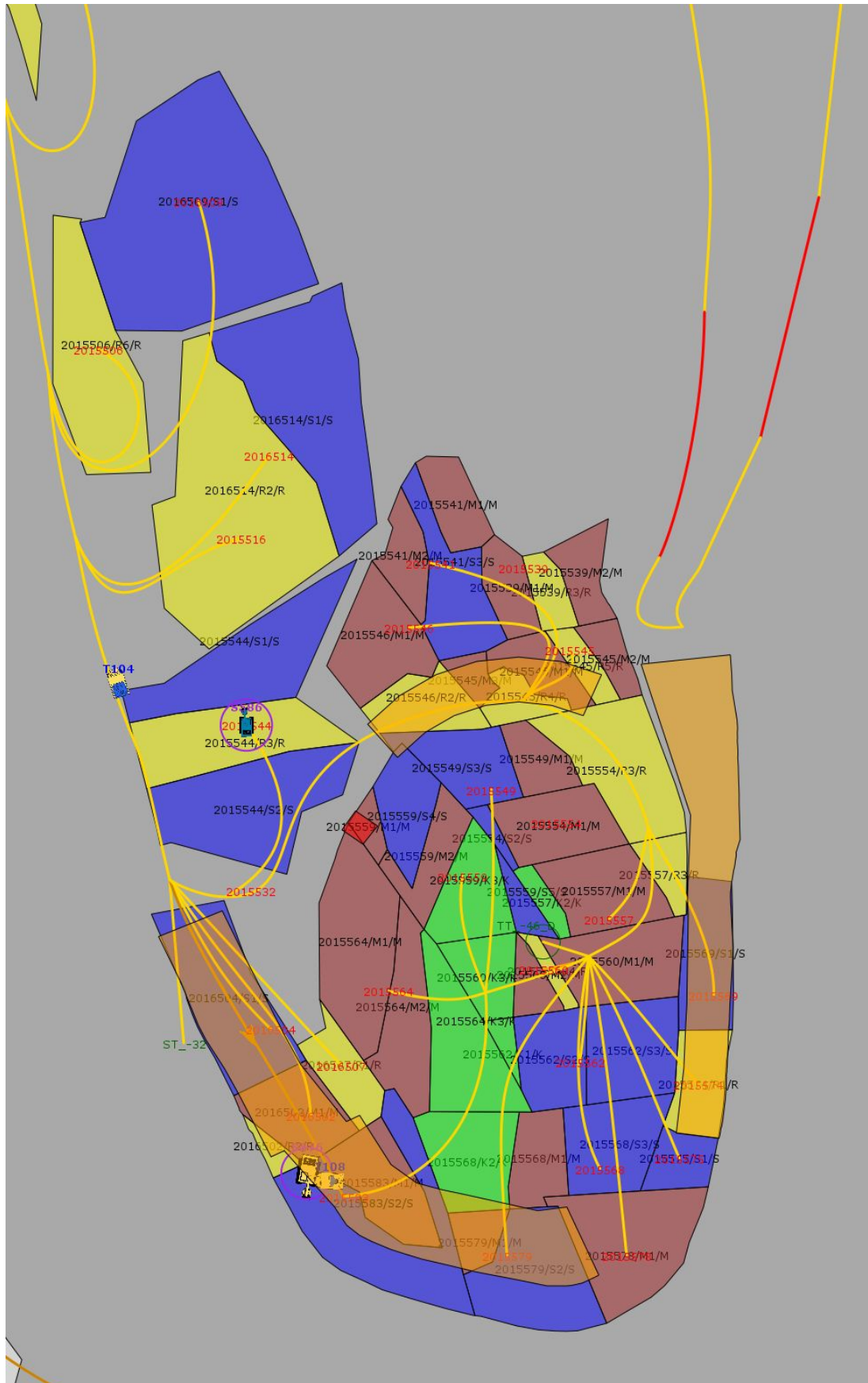
Järjestelmän suurimpiin hyötyihin kuuluu sen kyky kerätä dataa reaaliaikaisesti. Järjestelmä mahdollistaa ajettavien malmilaatujen seurannan tehostaen siten rikastamon toimintaa, sillä järjestelmään päivittyy viiveettä ajatun kiven laatu ja määrä. Sen lisäksi että kaikki tieto on käytettävissä heti, on työnjohdolla käytössään useita erilaisia raportteja toteutuneista työsuorituksista, sekä autojen lastaus- ja kippauspaikat pystytään tarkistamaan jälkepäin metrin tarkkuudella (kuva 10). Järjestelmä mahdollistaa myös kaivoksen tapahtumien tarkastelemisen jälkepäin Replay-toiminnolla. Järjestelmän etu on myös se, että sen avulla pystytään optimoimaan ajoreittejä ja täten vähentämään kuljettuja kilometrejä, kaluston kulumista ja kuluja tuotannon silti tehostuessa.



KUVA 10. Ohjelma mahdollistaa esimerkiksi läjitysalueen etenemän seurannan. Jokainen piste kartalla kuvaa kipattua kuormaa. (Kuvakaappaus Vitri 2016-02-23.)

4.5 Dispatching

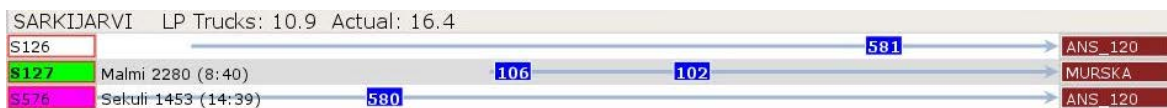
Dispatching eli ajojärjestely tarkoittaa kaivoksen logistiikan ohjausta Jigsaw-järjestelmän kautta. Reaaliaikainen seuranta mahdollistaa tuotannon tehostamisen ja karttakuva (kuva 11) sekä MTC-näytöt (kuva 12 ja kuva 13) helpottavat tilanteiden hahmottamista huomattavasti. Paikannuksessa ja tuotannon seurannassa käytettävä karttakuva on digitaalisesti mallinnettu ja on ajojärjestelijän muokattavissa tilanteen niin vaatiessa. Dispatching-toiminta vaatii erittäin hyvää järjestelmän ja avo-louhoksen toiminnan tuntemusta.



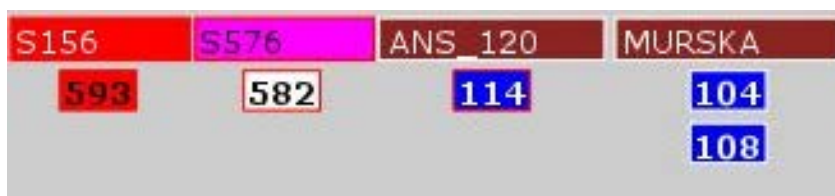
KUVA 11. Ajojärjestelijän hyödyntämä karttakuva. Auto 104 on juuri nousemassa pois louhoksesta ja auto 108 on lastauskoneen 576 lastauksessa. (Kuvakaappaus Vitri 2016-02-12.)

Ajojärjestelijä eli Dispatcher vastaa tuotannonohjauksesta Jigsaw-järjestelmän kautta (kuva 14). Ajojärjestelijän vastuulla on kaluston tehokas hyödyntäminen, liikenteen sujuvuus, teiden ja kippauspaikkojen päivittäminen, konetietojen ja vikalistojen ylläpito, sekä tärkeimpänä malminajon seuranta. Käytännössä ajojärjestelijä on tärkein välikapula tuotannon ja tilaajan välissä. Tilanteiden

muuttuessa tuotannollisista syistä, ajojärjestelijän pitää pystyä reagoimaan tilanteisiin heti. Vaatii erittäin hyvää käytettävän kaluston ja miehityksen tuntemista, sekä organisointikykyä saada tuotanto pysymään käynnissä katkeamatta ja viiveettä. Erityisesti konerikkojen aiheuttamat suunnitelma- ja ajomuutokset pitävät ajojärjestelijää kiireisenä. Oman lisänsä toimintaan tuovat haamukoneet, eli kiviautot ja lastauskoneet, joihin ei ole asennettu Jigsaw-järjestelmää. Haamuautot pyritäänkin pitämään omissa ringeissään, jolloin ne eivät häiritse Jigsaw-järjestelmän ja ajojärjestelijän toimintaa.



KUVA 12. Osa ajojärjestelijän JSMTTC-näytöstä. Autot 106 ja 102 ovat menossa lastauskoneelta 127 murskalle (Kuvakaappaus Vitri 2016-02-12.)



KUVA 13. Osa ajojärjestelijän JSMTTC-näytöstä. Auto 593 on juuri lastauskoneen 156 lastattavana ja auto 114 on kippaamassa ANS-läjitykseen. (Kuvakaappaus Vitri 2016-2-12.)



KUVA 14. Ajojärjestelijän työhuone (Vitri 2016-02-25)

4.6 Käytön vaatimukset ja hyödyt

Jigsaw järjestelmän tehokas käyttö vaatii riittävän suuret puitteet, sillä pienen mittakaavan toiminnassa sen ylläpito ei yksinkertaisesti ole kannattavaa. Kalustomäärän ollessa suuri, on tilanteiden ja liikenteen sujuvuuden seuranta huomattavasti helpompaa karttanäytöltä, kuin louhoksen reunalta. Järjestelmän ylläpito ja käyttö vaatii paljon resursseja ja henkilöstöä ja tärkein tekijä järjestelmän tehokkaassa hyödyntämisessä onkin taitava ajojärjestelijä. Erityisesti GPS- ja 3G-vikojen huolto vaatii väitöntä valmiutta ja osaamista ja Suomessa Siilinjärven kaivoksen vaihtelevat olosuhteet asettavatkin laitteiston erityisen kovaan testiin.

Toimiessaan oikein järjestelmä tehostaa merkittävästi kaivoksen kannattavuutta. Pelkästään käytettävän kaluston käyttöasteen nousu ajojärjestelijöiden ansiosta tuottaa paljon aiempaa enemmän kuormia vähemmällä jonottamisella ja lisäksi kuljetetun malmin laatu on tasaisempaa ja vastaa paremmin rikastamon tarpeita. Malmin laadun seurannan mahdollistaa Jigsawin tarjoama informaatio lastareille ja työnjohdolle. Jigsawin automaattiset raportit mahdollistavat laadun ja tuotannon tarkkailun jälkeenpäinkin järjestelmän muistista. (Paalumäki, Lappalainen ja Hakapää 2015, 361.)

Jigsaw-järjestelmä mahdollistaa myös autojen vikaseurannan ja huoltojen suunnittelun. Autojen tietokoneet tarkkailevat mm. jarrujen ja iskunvaimentimien toimintaa sekä käyttötunteja. Ominaisuus mahdollistaa määräaikaishuoltojen suunnittelun ja nopean reagoimisen mahdollisiin vikoihin.

4.7 Käyttö Siilinjärven kaivoksella

Jigsaw-järjestelmän ylläpito Siilinjärven kaivoksella on vaatinut henkilöresurssien lisäämistä ja henkilöstön kouluttamista. Vastineeksi järjestelmä on tehostanut huomattavasti lastauksen seurantaan, joten malmin tuotannossa on helpompi palvella rikastamon tarpeita. Kaivoksella hyödynnetään myös järjestelmän Hazard-ominaisuutta, joka mahdollistaa eristyisten alueiden merkitsemisen kartalle pittoisuusalueiden tavoin. Erityisiä alueita voivat olla esimerkiksi alueet, joissa ei ole turvallista lastata tai kallion porauksesta jäänyt katkennut porakanki tai -kruunu ammutussa kaadossa. Lastari näkee Hazard-alueet omalla näytöllään ja näin ohjelma lisää työturvallisuutta tai vältetään metalliromun lastaaminen malmikuormaan. Jigsaw-järjestelmä mahdollistaa myös viestinnän työnjohdon ja henkilöstön välillä, jolloin esimerkiksi taukojen jaksottaminen käy kätevästi ilman VHF-liikenteen ruuhkauttamista.

Ajojärjestelijän työskentely on helpottanut todella paljon vuorotyönjohtajien toimintaa. Ennen vuorotyönjohtajien vastuulla oli kaikki kiven ajoon liittynyt toiminta, mutta ajojärjestelijän ansiosta vuorotyönjohtajan hoidettavaksi on jäänyt lähinnä kaivoksen juoksevien asioiden hoitaminen. Vastuuta on edelleen paljon, sillä työnjohtaja vastaa konesiirroista, reagoi konerikkoihin, johtaa teiden ja rampien rakennus- ja purkutöitä ja huolehtii teiden kunnan ylläpidosta ja työturvallisuudesta, porakenttien valmistelusta sekä muista mahdollisista valmistelu- ja viimeistelytyöistä. Kaiken kaikkiaan tehokas tuotanto kaivoksessa vaatii vuorotyönjohtajan ja ajojärjestelijän saumatonta yhteistyötä.

5 TUOTANTOJÄRJESTELMÄÄN TALLENTUNEEN TIEDON TUTKIMINEN

5.1 Tiedon tallentuminen

5.1.1 LouhosStore

Siilinjärven kaivoksella on tällä hetkellä käytössä kaksi eri tuotannonseurantajärjestelmää. Vanhempi järjestelmä, LouhosStore, on kehitetty alun perin vain ja ainoastaan Siilinjärven kaivoksen käyttöön vuonna 1984, jonka jälkeen sitä on nykyaikaistettu ja päivitetty. Kuormaseuranta järjestelmässä toimii täysin manuaalisesti. Kuljettajat pitävät ajamistaan kuormista tukkimiehen kirjanpitoa, jonka jälkeen työnjohto syöttää kuormat tietokoneelle. Yksinkertaisuudestaan huolimatta järjestelmä ei ole täysin varma. Koska kuormat kulkevat kuljettajan ja työnjohdon kautta ennen järjestelmään päätymistä, on inhimillisten virheiden mahdollisuus olemassa.

LouhosStore kirjaa ajatut määrät kuutioina, joten raportoitavat määrät eivät ole täysin todellisia. Autoille on määritetty mallikohtaiset lavojen tilavuudet, joiden mukaan LouhosStore laskee määrät kuormien lukumäärien perusteella. Järjestelmä vaatiikin säännölliset tarkistusmittaukset kentällä tuotannon etenemisen tarkistamiseksi. LouhosStoren etuna on, ettei se ole mitenkään riippuvainen työkoneneiden tietotekniikasta eikä dataliikenteestä, tarjoten silti monenlaista tietoa tuotannosta ja koneiden lastaustehoista. Kuitenkin juuri sen käsikäyttöisyys tekee sen toiminnasta raskasta, sillä ajettujen matkojen sekä lastaus- ja kippauspaikkojen ylläpito ja päivittäminen järjestelmään on työlästä.

5.1.2 Jigsaw

Uusi tuotannonseurantajärjestelmä, Jigsaw, on täysin automaattinen, mutta vaatii jatkuvaa ylläpitoa, huoltoa ja osaavia käyttäjiä. Järjestelmä tallentaa keräämänsä datan 3G-yhteyttä käyttäen sql-tietokantaan, joka tarjoaa paljon muutakin tietoa tuotannosta, kuin vain kuormaamäärät ja ajatut tonnit. Jigsaw tarjoaa esimerkiksi konekohtaisia tehokkuuksia tonnin tarkuudella, vikatilastoja ja jonotusaikoja. Jigsaw punnitsee kaikki kuormat autojen omien vaakojen avulla, joten järjestelmää voi pitää tarkkana. Vaa'an rikkoutuessa järjestelmä laskee kuormien painot autokohtaisten oletuspainojen perusteella. Caterpillarin lupaama vaakatarkkuus on +- 4 % (Mononen 19-04-2016).

Tärkein vaatimus Jigsaw-järjestelmän toiminnalle ja raporttien luotettavuudelle on sen oikaoppinen käyttö. Toimiessaan optimaalisesti se voisi mahdollistaa jopa tilaajan laskuttamisen suoraan raporttinsa perustella ja jättäisi siten monia laskutukseen kuuluvia työvaiheita pois.

5.2 Tutkimusmenetelmät ja vertailu

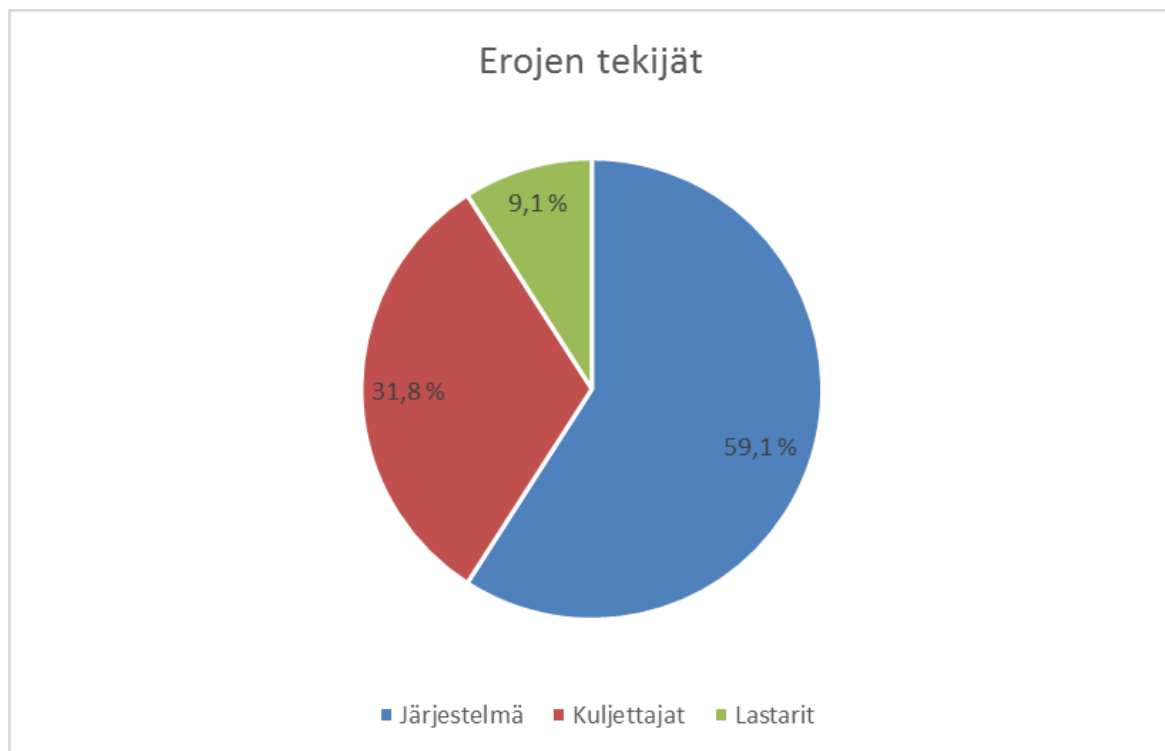
Opinnäytetyön tutkimuksen aloitin vertailemalla LouhosStoren ja Jigsawin raportteja kuukauden ajalta. Raporteissa oli havaittu eroavaisuuksia kuormamäärissä, sekä lastaus- ja kippauspaikoissa, mutta niiden tarkempia syitä, erojen määrää ja vaikutusta tuotantoon ei ole tutkittu. Kaivoksen työmaainsinööri Mikko Pelttari oli tehnyt Jigsawiin raporttisovelluksen, joka mahdollisti järjestelmien vertailun.

Tutkimuksessa hyödynsin Jigsawin ominaisuuksia, kuten playbackia (replay) ja tietokannan toimintalistausta (event log), kuormakirjojen merkintöjä ja ajojärjestelijöiden havaintoja ja kokemusta.

Erojen selvittämiseksi kävin läpi molempien järjestelmien kaikki kuormat kuukauden ajalta. Tein vuoroittaiset Excel-taulukot kuormamäärästä sekä lastaus- ja kippauspaikoista, jonka jälkeen tutkin ajojärjestelijän läsnäolon vaikutusta Jigsaw-järjestelmän tarkkuuteen. Koska Jigsaw-järjestelmä on uusi ja vielä kehitysasteella, vertasin Jigsawin tuloksia LouhosStoreen sillä oletuksella, että LouhosStore antaa vielä tällä hetkellä luotettavempia tuloksia. Jigsaw-järjestelmä tosin paljasti myös LouhosStoren luotettavuudessa joitakin ongelmia, mutta pääsääntöisesti erojen ja niiden syiden vertailu onnistui järjestelmiä keskenään vertailemalla. Jigsawin playback-toiminto osoittautui erinomaiseksi tarkastellessa tapahtumia jälkeinpäin.

6 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tutkimusjakson (tammi - helmikuu 2016) aikana kuormamäärät LouhosStoren ja Jigsawin välillä pitivät paikkansa 99,2 %:n tarkkuudella. Kun tarkasteluun otetaan huomioon määrän lisäksi myös kuormien kippaus- ja lastauspaikat, on paikkansa pitävyyttä enää 93,4 %. Kuormamäärien erot jaoin käyttäjistä ja Jigsaw-järjestelmästä johtuviin eroihin ja käyttäjälähtöiset sen jälkeen kiviautonkuljettajista ja lastareista johtuviin. Tutkimusjakson aikana Jigsaw-järjestelmästä johtuvia eroja oli 110 kappaletta, joista 65 (59,1 %) oli pelkästään järjestelmästä johtuvia ja 45 (40,9 %) käyttäjävirheistä johtuvia. Käyttävireistä jakautui kuljettajille 31,8 % ja lastareille 9,1 % (kuvio 1).



KUVIO 1. LouhosStoren ja Jigsawin välisten erojen jakautuminen eri tekijöille.

Sekä järjestelmästä, että käyttäjistä johtuvat erot jaoin vielä eroja aiheuttaneisiin tekijöihin (kuvio 2), joista yleisimpiä olivat kuljettajilla:

- väärä materiaali: Kuljettajalla jäänyt vaihtamatta kuljettamansa materiaali.
- näppäilyvirhe: Monitorin käytöstä johtuva virhe kuormissa
- jäänyt kippauspaikka vaihtamatta
- auto ei tuotannossa: Kuljettaja ei ole kirjautunut sisään laitteeseen.
- väärä lastauskone valittuna: Laitteessa ollut valittuna eri lastauskone, kuin miltä kuormia on haettu.

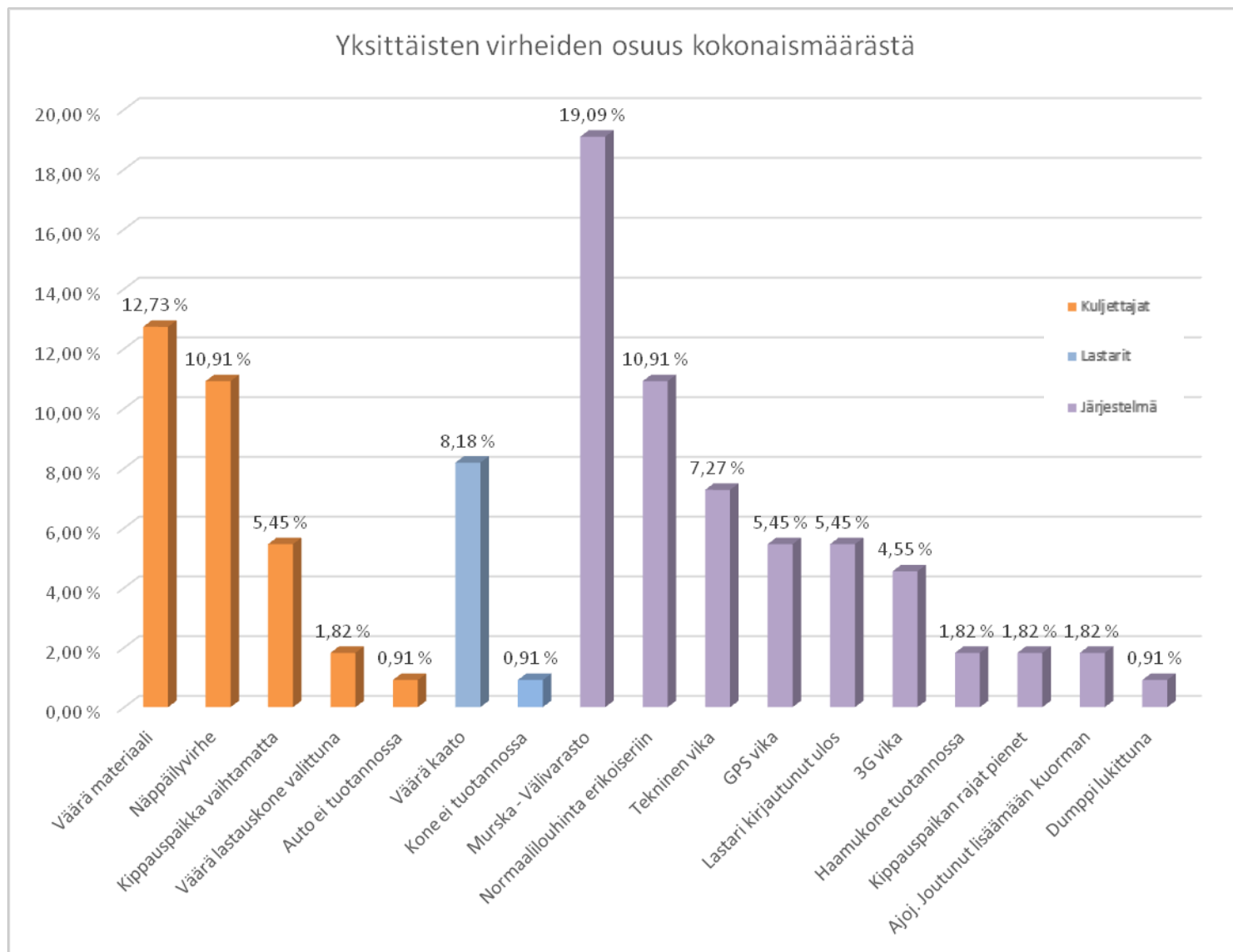
lastareilla:

- väärä kaato: Lastattu eri kaadosta, kuin järjestelmässä ollut valittuna.
- kone ei tuotannossa: Lastari ei kirjautuneena laitteeseen.

ja järjestelmässä:

- 3G-vika: Koneen Jigsawin datayhteys ei ole toiminut.
- GPS-vika: Koneen Jigsawin paikannus ei ole toiminut
- tekninen vika: Järjestelmän tekemä laskuvirhe tai kaatuminen

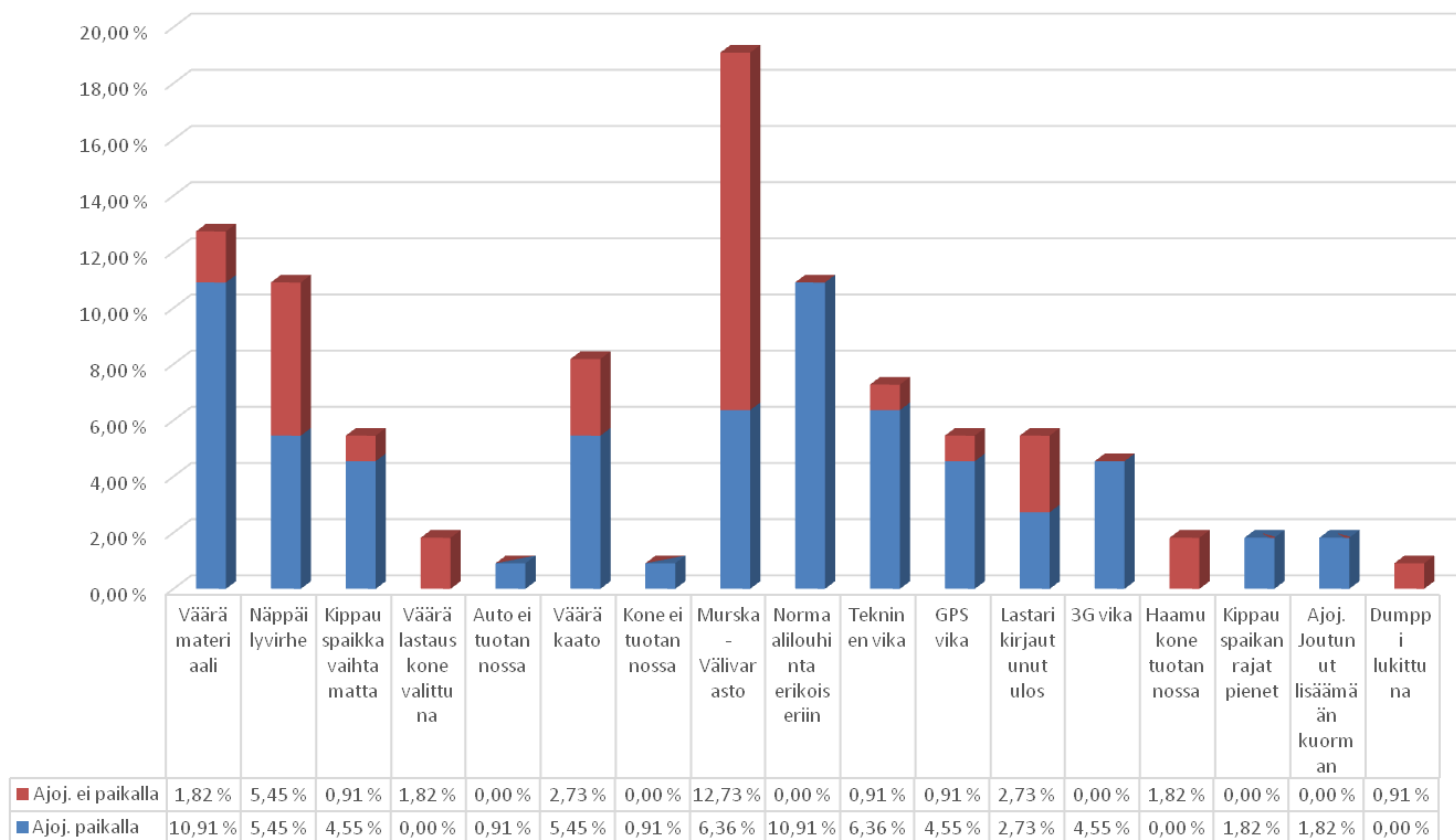
- murska - välivarasto: Järjestelmä tulkinut lähekkäin olevat kippauspaikat väärin.
- haamukone tuotannossa
- kippauspaikan rajat pienet



KUVIO 2. Kuormamäärään vaikuttavien erojen syyt suhteessa erojen kokonaismäärään

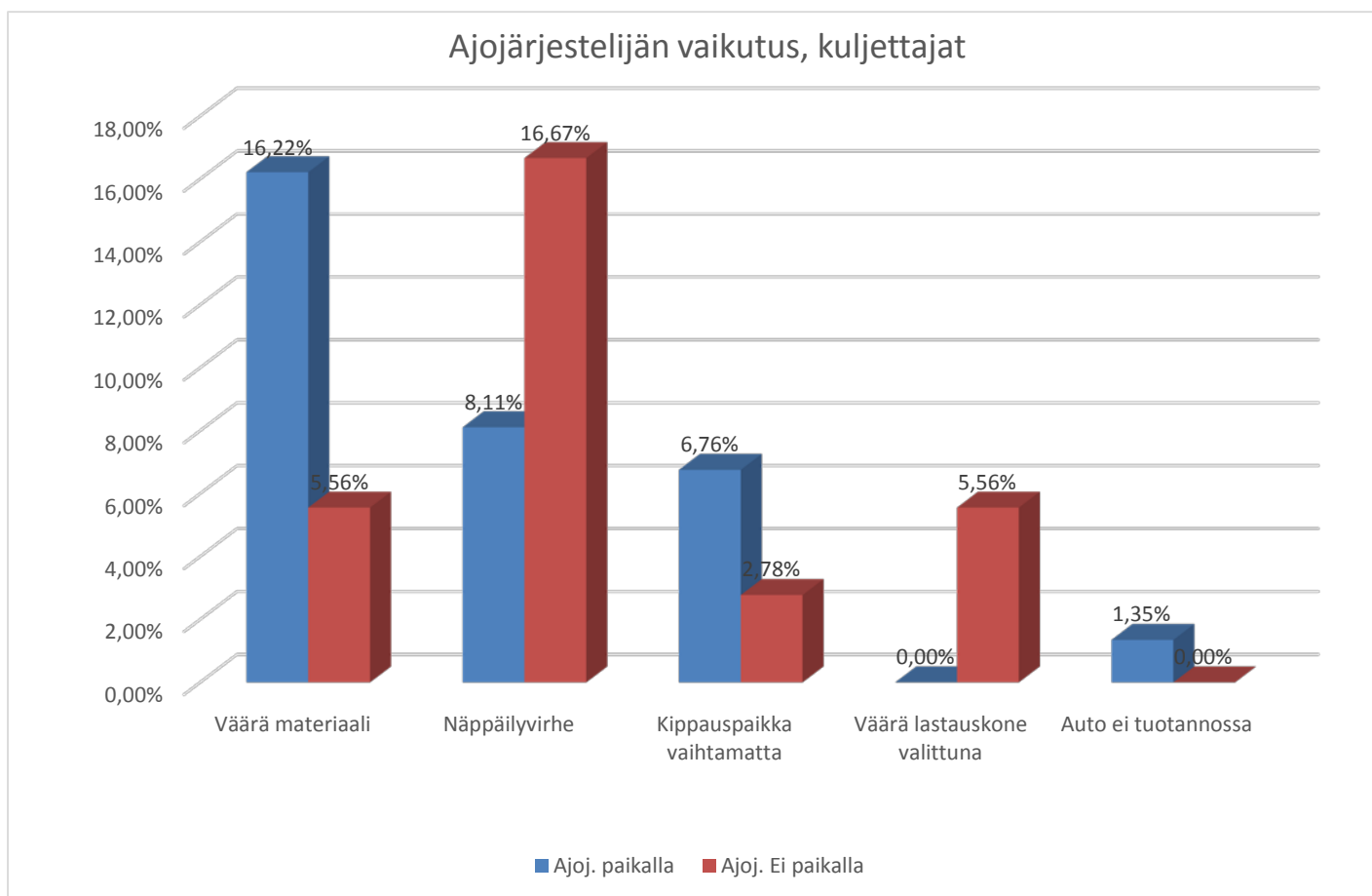
Sen lisäksi, että järjestelmävirheistä johtuvia eroja on eniten ja niiden vaikutus kokonaismäärään on suurin, on niissä merkittäviä, yli 5 % eroa aiheuttavia, tekijöitä eniten. Käyttäjävirheistä puolestaan erottuu selviä "piikkejä", joihin on helppo pureutua koulutusta lisäämällä ja tehostamalla. Käyttäjävirheistä on hyvä huomata, että kaikki merkittävät tekijät ovat inhimillisiä virheitä, joten tahallista väärinkäyttöä ei juurikaan tapahdu ja voidaan olettaa, että asia on ratkaistavissa koulutuksella.

Ajojärjestelijän vaikutus eroihin



KUVIO 3. Ajojärjestelijän vaikutus erojen määrään suhteessa kaikkiin eroihin. Paikallaolon ja ei paikallaolon kuvaajat eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään, koska suurin osa tuotannosta keskittyy ajojärjestelijän paikallaolon ajalle.

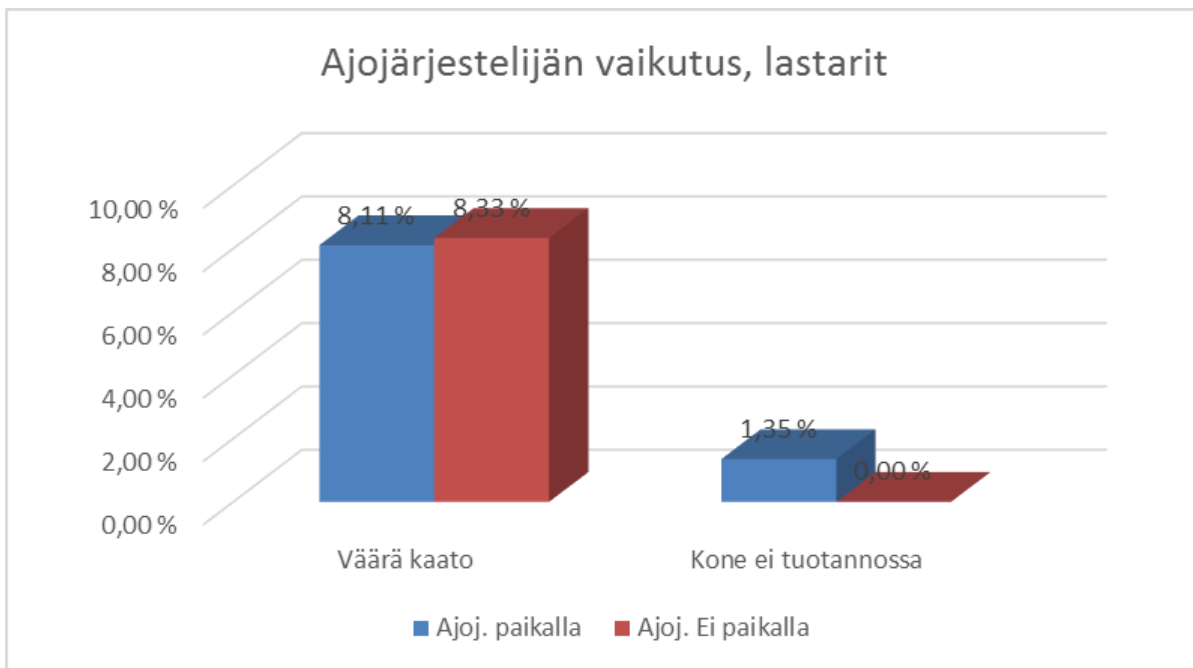
Myös ajojärjestelijän vaikutus erojen määrään kiinnosti tilaajaa ja ajojärjestelijän läsnäolon todettiin lisäävän huomattavasti järjestelmän tarkkuutta. Koska valtaosa kaikista kuormista ajetaan ajojärjestelijän ollessa paikalla, tapahtuu silloin luonnollisesti enemmän virheitäkin, mutta niiden osuus suhteessa samassa ajassa ajettuihin virheettömiin kuormiin jää silti pieneksi (kuvio 3). Totuudenmukaisemman tuloksen ajojärjestelijän vaikutuksesta yksittäisiin virheisiin saa vertaamalla paikallaollessa tapahtuneita yksittäisiä virheitä paikallaollessa tapahtuneiden virheiden kokonaismäärään ja tekemällä saman vertailun virheille, jotka ovat tapahtuneet ajojärjestelijän ollessa pois paikalta (kuvio 4).



KUVIO 4. Ajojärjestelijän läsnäolon vaikutus kuljettajien tekemiin virheisiin. Pylväät suhteutettu erikseen läsnä- ja ei läsnäollessa tapahtuneiden virheiden määrään.

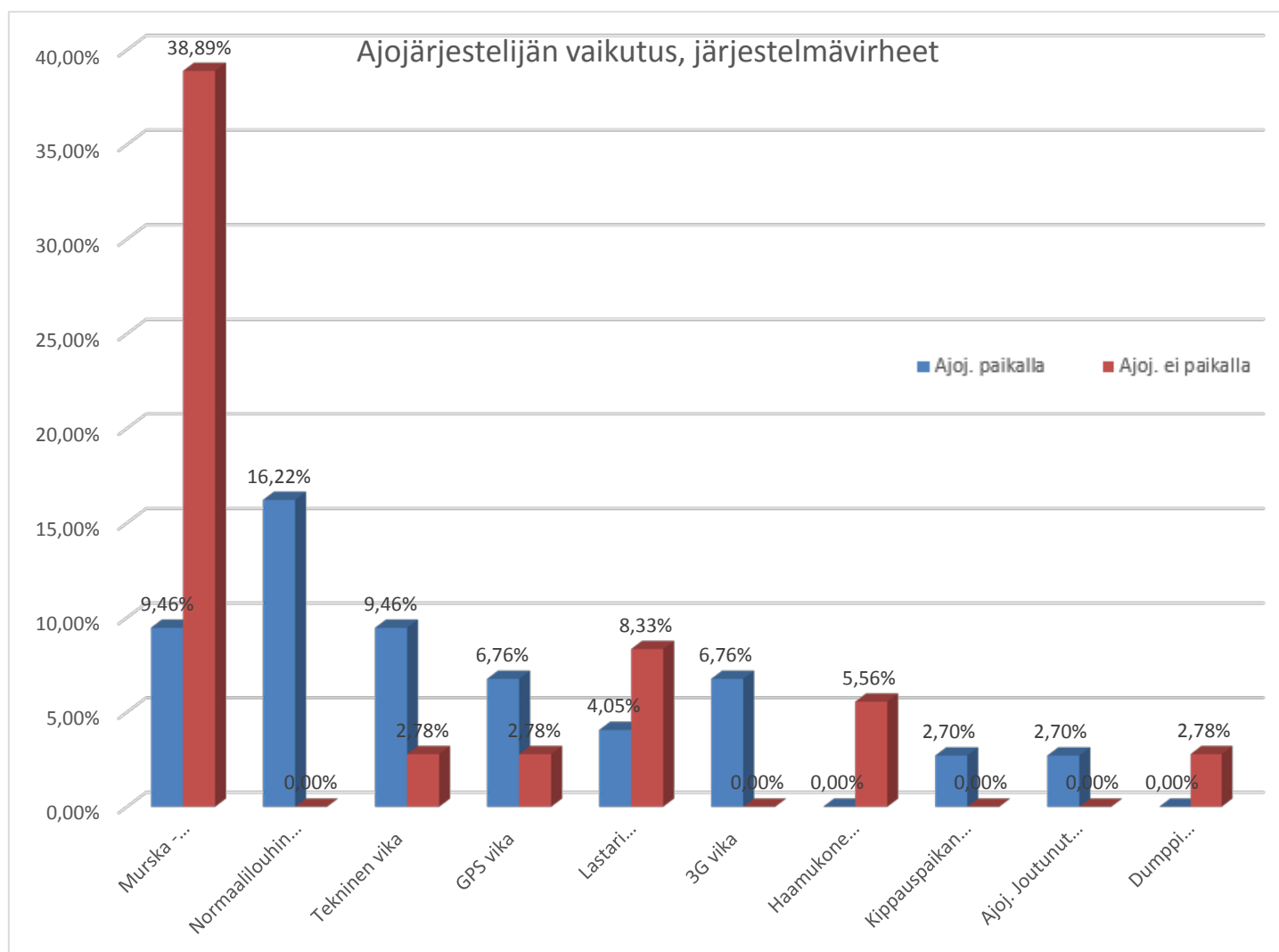
Väärän materiaalin suurta osuutta (16,22 %) ajojärjestelijän läsnäollessa voi selittää sillä, että monet erikoistyöt, kuten teiden tai ramppien rakentamiset, ajoittuvat lähes poikkeuksetta ajojärjestelijän läsnäolon ajalle ja juuri erikoistyöt vaativat yleensä materiaalin vaihtamista. Virhe olisi periaatteessa pois kitkettävissä ajojärjestelijän toiminnalla, mutta vaatisi ajojärjestelijälle häiriötöntä työympäristöä ja mahdollisuutta keskittyä pelkästään omaan työhönsä, mikä ei vielä tällä hetkellä toteudu. Myös tiedonkulkua parantamalla ajojärjestelijän olisi mahdollista ennakoida kyseisiä töitä luomalla etukäteen tarvittavat kippauspaikat ja määrittämällä niille materiaalit. Valitettavasti tarvittava tieto tulee yleensä myöhässä.

Ajojärjestelijän ollessa paikalla ei yksikään auto hakenut kuormia väärän lastauskoneen alta koko tutkimuksen aikana, mikä todistaa ajojärjestelijän vaikutuksen tuotannon tarkkuuteen. Myös kuljettajien itse lisäämien ylimääräisten kuormien osuus eroista puolittuu ajojärjestelijän läsnäollessa (8,11 % ja 16,67 %). Syy tarkkuuden paranemiselle on yksinkertaisuudessaan se, että käyttäjän tarve laitteen itsenäiseen käyttöön on paljon pienempi. Epäselvissä tilanteissa käyttäjä voi ottaa VHF-puhelimella yhteyttä ajojärjestelijään, joka pystyy heti korjaamaan mahdolliset virheet kuormissa tai materiaalissa.



KUVIO 5. Ajojärjestelijän vaikutus lastareiden toimintaan. Kuvaajat suhteutettu erikseen läsnä- ja ei läsnäollessa tapahtuneiden virheiden määrään.

Lastareiden toimintatarkkuus ja Jigsawin käyttö ovat pääsääntöisesti erittäin hyvällä tasolla (kuvio 5). Väärää kaatoa koeskevat virheet johtuvat yleensä siitä, että lastarin edetessä lastauksessa ja siir-
tyessä uuteen kaatoon, lähtevät ensimmäiset uuden kaadon kuormat vielä entisen kaadon ollessa valittuna. Kaikki virheet jakautuivat vain pitkään poissa olleille tai uusille työntekijöille, joten tark-
kuuden voidaan olettaa vain paranevan, kun uusia työntekijöitä kouluttaessa osataan kiinnittää huomiota oikeisiin asioihin.



KUVIO 6. Ajojärjestelijän vaikutus järjestelmävirheisiin. Kuvaajat suhteutettu erikseen läsnä- ja ei läsnäollessa tapahtuneiden virheiden määrään.

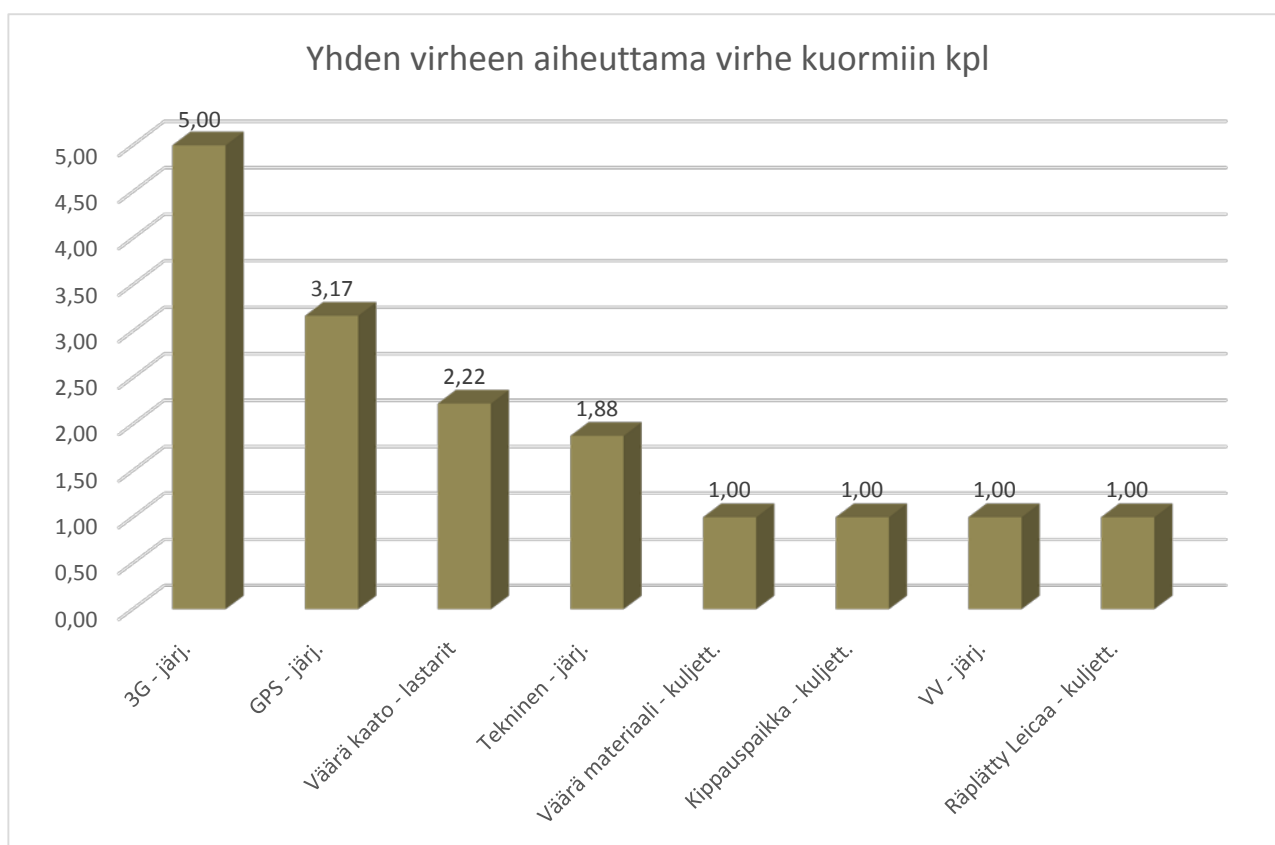
Järjestelmävirheiksi tutkimuksessa huomioitiin kaikki virheet, jotka eivät olleet riippuvaisia käyttäjien toiminnasta (kuvio 6). On huomattu, että heikoimmat lenkit järjestelmän rakenteessa ovat 3G- ja GPS-antennit sekä -johdot ja myös tutkimus osoitti niiden aiheuttavan virheitä. 3G-virheiden yleisyys ajojärjestelijän läsnäollessa selittyy sillä, että suurin osa kaikesta tuotannosta keskittyy läsnäolon ajalle. Koska kalusto on lähes poikkeuksetta silloin kokonaisuudessaan tuotannossa, myös 3G-virheiden todennäköisyys kasvaa. Vaikka myös lastauskoneiden sensoreissa esiintyykin paljon toimintahäiriöitä ja vikoja, eivät ne vaikuta kuormamääriin, vaikka vaikeuttavatkin lastarin työskentelyä.

Teknisiksi vioiksi määriteltiin virheet, joille ei löytynyt selvää järjestelmän rikkoutumisesta tai ohjelmoinnista johtuvaa syytä, vaan järjestelmä on jostain syystä jättänyt laskematta kuormia. Harmillisesti teknisistä vioista aiheutuvia virheitä ilmeni yllättävänkin paljon, 7,27 % kaikista virheistä.

Ajojärjestelijän poissaolo vaikutti kaikkein eniten välivaraston kuormiin (Murska – Välivarasto). Virheitä välivarastoon menneissä kuormissa tapahtui yli 4 kertaa todennäköisemmin ajojärjestelijän ollessa pois paikalta (38,89 % ja 9,46 %). Eroa on hankala selittää, sillä ajojärjestelijällä ei pitäisi olla vaikutusta kyseiseen virheeseen. Välivarastokuormat järjestelmävirheissä tarkoittaa sitä, että järjes-

telmä on kirjannut malmimurksaan kipattuja kuormia virheellisesti välivarastoon. Syynä virheelle on se, että kippauspaikkojen rajat on jouduttu tekemään lähekkäin järjestelmään ja pelkästään auton keulan, jossa paikannusyksikkö sijaitsee, käydessä välivaraston alueella luulee järjestelmä kuorman kipattavaksi välivarastoon. (Enbuske 27-01-2016). Kyseiseen virheeseen puututtiin jo tutkimuksen aikana muokkaamalla kippauspaikkojen rajoa, eikä virhettä ole sittemmin enää ilmennyt.

Lastareiden uloskirjautumisesta johtuvia kuormahäviöitä ilmeni myös kaksi kertaa enemmän ajojärjestelijän ollessa poissa (4,05 % ja 8,33 %). Virhettä esiintyy lastarin tullessa kiviauton kyydissä pois vuoron lopussa. Kun lastari kirjautuu ulos Jigsawista siirtyäkseen kiviauton kyytiin, hävittää järjestelmä kyseisen viimeisen kuorman laskuista ja raporteista. Virheen pystyy estämään vaihtamalla kiviauton tilan lastaus-tilasta kuljettaa-tilaan ennen lastarin ulos kirjautumista. (Pasanen 02-02-2016).



KUVIO 7. Yhden virheen aiheuttama keskimääräinen kuormavirhe

Tutkin myös virheiden suoraa vaikutusta kuormamääriin laskemalla yleisimpien virheiden aiheuttamien virheellisten kuormien määrän (kuvio 7). Vaikka 3G- ja GPS-viat eivät ole kaikkein yleisimpiä, aiheuttavat ne silti tapahtuessaan paljon enemmän virheellisiä kuormia, kuin käyttäjien tekemät virheet. Jokainen 3G-virhe aiheuttaa tapahtuessaan keskimäärin 5 virheellistä kuormaa ja GPS-virhe vastaavasti 3,17 virheellistä kuormaa. Myös teknisten virheiden aiheuttama keskimäärin 1,88 kuorman virhe on suurempi kuin kuljettajien virheistä johtuvat kuormavirheet. 3G- ja GPS-virheiden vaikutusta selittää se että jommankumman ollessa epäkunnossa, ei kyseisen koneen Jigsaw toimi niin kuin se on suunniteltu. 3G- ja GPS-virheet vaikeuttavat muutenkin toiminnan reaaliaikaista seuranta.

Lastarin lastatessa väärästä kaadosta, tulee virheellisiä kuormia keskimäärin 2,22 kpl. Luku tarkoittaa sitä, että virheen sattuessa lastari kerkeää lastata vähintään kaksi kuormaa ennen oikean kaadon vaihtamista. Vastaavasti kuljettajien tekemien virheiden vaikutus kuormiin on kuorma per virhe. Voi siis sanoa, että lastareiden vastuu järjestelmän käytössä on kaksinkertainen kuljettajiin verrattuna.

7 KEHITYSEHDOTUKSIA

Tutkimustulosten perusteella Jigsaw-järjestelmän luotettavuutta ja erityisesti tarkkuutta on mahdollista parantaa paljonkin. Luotettavuuden parantamiseen tehokkain keino on 3G- ja GPS-kaapeloinnin parantaminen. Järjestelmän tarkkuuteen puolestaan vaikuttaa enemmän käyttäjien toiminta.

Luotettavuuden tärkeimpänä tekijänä voi pitää 3G-yhteyttä. Tutkimuksen perusteella juuri 3G-ongelmat aiheuttavat merkittäviä virheitä kuormamäärissä ja vaikuttavat siten suoraan tuotannon ja tehokkuuksien seurantaan. Kaivoksella käytössä oleva suljettu 3G-verkko aiheuttaa haasteita SIM-korteille, mutta suurimmat ongelmat 3G-yhteyksissä ovat kaapeli- ja liittymän konfigurointivikoja. Erityisesti Suomen haastavat olosuhteet aiheuttavat ongelmia kaluston ja järjestelmän toiminnalle. Ongelmat vaivaavat koneita lähes viikoittain ja aiheuttavat siten osaltaan virheitä järjestelmän toiminnassa. Valitettavasti juuri 3G-liittymän konfigurointivikojen kehittäminen ei ole E. Hartikainen Oy:n käsissä, joten virheen vaikutus pitää pyrkiä minimoimaan nopealla reagoimisella ja hyödyntämällä mahdollisuuksien mukaan toimivaa kalustoa. GPS-ongelmiin puolestaan on jo tartuttu ottamalla käyttöön kestävämpiä ja paksumpia GPS-kaapeleita lastauskoneissa ja parantamalla johdotuksen rakennetta. Tulokset ovat olleet hyviä ja vaikuttaisivat siltä, että kaapeleiden vaihdolla pystytään vähentämään GPS-ongelmia. Tutkimuksessa ilmenneistä teknisistä virheistä on raportoitu järjestelmän valmistajalle, joka toimittaa uuden ohjelmistoversion kesäkuussa 2016. Uudessa versiossa vikoja ja teknisiä heikkouksia on pyritty korjaamaan.

Käyttäjävirheiden vähentäminen onnistuu koulutusta lisäämällä ja suuntaamalla koulutusta oikeisiin asioihin. Käyttäjävirheistä johtuvien ylimääräisten kuormien (10,91 %) ja väärän materiaalin (12,73 %) osuus kaikista virheistä on merkittävän suuri joten jo näihin keskittymällä pystyy saamaan aikaan huomattavia parannuksia tarkkuudessa. Yksi tärkeimpiä tekijöitä on, että käyttäjät ottaisivat yhteyttä ajojärjestelijään heti epäselvissä tilanteissa, jolloin ajojärjestelijä pystyy varsinkin ylimääräisten tai puuttuvien kuormien kohdalla korjaamaan virheet heti. Väärän materiaalin kohdalla virheiden vähentäminen vaatii yksinkertaisesti lisää tarkkuutta käyttäjien toimintaan. Myös ohjeistusta tulee lisätä, sillä etenkin raakun ajossa tien rakenteisiin, tukipenkereisiin tai muihin erikoisläjitäyksiin, kuljettajilla ei aina välttämättä ole tietoa siitä että kuljetettava materiaali vaatii materiaalin vaihtoa järjestelmään. Vaikka lastareiden toiminta on jo nyt hyvällä tasolla, toimii tutkimuksen osoittama lastarin toiminnan tärkeys ja vastuu hyvänä motivaattorina uusille koulutettaville lastareille.

Koska kaikki louheensiirto ei ole samanarvoista, laskutetaan niistä eri tavoin ja tiettyihin rakenteisiin siirrettävät kivet nimetään erikoiseriksi. Normaalityönnön ja erikoiserien määrittely aiheuttikin jonkin verran ongelmia tutkimuksen aikana ja niiden määrittelyyn toivoisikin tarkempaa linjausta. Erikoiserät vaativat kippausalueiden oikeaa nimeämistä etukäteen ja järjestelmä määrittää ja rekisteröi kuormat kippausalueen nimen perusteella oikeaan raporttiin.

Kaivoksen ajojärjestelijöiden toiminta on erittäin hyvällä tasolla. Ajojärjestelijät osaavat asiansa, mutta ajojärjestelijän tehtävien määrittely vaatii vielä hiomista. Tällä hetkellä on välillä epäselvää mitkä tehtävät kuuluvat vuorotyönjohtajille ja mitkä ajojärjestelijöille. Jotta ajojärjestelijöiden toi-

minnasta Jigsawin suhteen saisi kaiken hyödyn irti, tulisi heille taata nykyistä häiriöttömämpi työympäristö ja mahdollisuus keskittyä omaan työhönsä. Ajojärjestelijät työskentelevät tällä hetkellä arkisin aamu- ja iltavuorossa. Lähitulevaisuudessa on tarkoituksena lisätä henkilöstöä siten, että ajojärjestelijä työskentelisi myös viikonloppuisin aamu- ja iltavuorossa. Uskon muutoksen lisäävän huomattavasti järjestelmän tarkkuutta.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia millä tasolla järjestelmän tuottaman tiedon oikeellisuus on ja löytää kehityskeinoja Jigsaw-koneohjausjärjestelmän luotettavuuteen ja tarkkuuteen. Tarkoituksena oli löytää merkittävimmät järjestelmän epätarkkuutta aiheuttavat tekijät ja keksiä niille mahdollisia parannuskeinoja. Toiveissa oli, että järjestelmän tarkkuus saataisiin tulevaisuudessa jopa sille tasolle, että Jigsaw mahdollistaisi luotettavan tuotannon seurannan. Mielestäni onnistuin tavoitteissa ja sain selville selkeitä kehityskohteita järjestelmän käytössä.

Työn aloitin kuukauden mittaisella vertailulla uuden Jigsaw-järjestelmän ja vanhan LouhosStore-tuotannonseurantajärjestelmän välillä. Vertailu oli erittäin työläs, mutta itse tutkimus oli sen pohjalta helppo toteuttaa. Tutkimuksessa hyödynsin ajojärjestelijöiden ja vuorotyönjohtajien kokemuksia, sekä lastareiden ja kuljettajien kommentteja järjestelmän käytöstä. Tutkin kaikki eroavaisuudet järjestelmien tuotantoraporteissa ja etsin niille syyt. Erojen syyt jaoin tekijöihin, jolloin sain selville suurimmat epätarkkuutta aiheuttavat tekijät. Tätä tietoa hyödyntämällä E. Hartikainen Oy pystyy suuntaamaan järjestelmän käyttöön liittyvää koulutusta oikeisiin osa-alueisiin, sekä suuntaamaan resursseja vakavimpien tekijöiden korjaamiseen ja kehittämiseen. Tutkimuksen aikana tein myös joitakin haastatteluja, sekä tuurasin ajojärjestelijän työssä yhden isyysloman, jolloin sain myös omakohtaista kokemusta tutkimukseen liittyvästä työstä. Minulla oli myös ennestään neljän kuukauden työkokemus vuorotyönjohdosta Siilinjärven kaivoksella, mikä osaltaan helpotti insinöörityön tekemistä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Jigsaw-järjestelmän tarkkuus on mahdollista saada luotettavalle tasolle tulevaisuudessa. Tarkkuuden parantaminen vaatii kuitenkin vielä monien käytäntöjen muuttamista ja käyttäjäkunnan kouluttamista.

LÄHDELUETTELO

ARFFMAN, Jukka-Pekka 2016-20-04. FMS Expert. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Ville-Veikko Vitri

Avi.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-04-04] Saatavissa: <https://www.avi.fi/>

Polku: Avi.fi. Palvelut. Luvat ja ilmoitukset. Ympäristöluvut. Päätökset. Päätökset 2012. Itä-Suomi. 57/2012/1.

ENBUSKE, Henri 2016-27-01. Ajojärjestelijä. [haastattelu]. Siilinjärvi: Siilinjärven kaivos.

Hakapää A. & Lappalainen P., 2011. Kaivos- ja louhintatekniikka. 2. painos. Helsinki: OPH

Hartikainen.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-01-07] Saatavissa: <http://www.hartikainen.com/>

Polku: Hartikainen.com. Maarakennus. Nykyiset urakat.

Hartikainen.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-01-07] Saatavissa: <http://www.hartikainen.com/>

Polku: Hartikainen.com. Maarakennus. E. Hartikainen Oy - Historia.

KANKAANPÄÄ, Teija 2016-20-04. Tuotantopäällikkö. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Ville-Veikko Vitri

KYLLÖNEN, Tommi 2016-02-09. Louhosasiantuntija. [haastattelu]. Siilinjärvi: Siilinjärven kaivos.

Leica-geosystems.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-02-25] Saatavissa: <http://leica-geosystems.com>

Polku: Leica-geosystems.com. About us. Summary. History.

MONONEN, Sakari 2016-19-04. Kaivospäällikkö. [haastattelu]. Siilinjärvi: Siilinjärven kaivos.

PASANEN, Iiro-Mikko 2016-02-02. Ajojärjestelijä. [haastattelu]. Siilinjärvi: Siilinjärven kaivos.

PELTTARI, Mikko 2015-11-02. Työmaainsinööri. [haastattelu]. Siilinjärvi: Siilinjärven kaivos.

MANNINEN, Kari. 2016. Yara työllistää lisää Savossa. Savon Sanomat. 12.2.2016, 9.

Yara.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-01-12] Saatavissa: <http://www.yara.fi/>

Polku: Yara.fi. Tietoa Yarasta. Lue lisää Yarasta. Yara Suomi

Yara.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2016-01-15] Saatavissa: <http://www.yara.fi/>

Polku: Yara.fi. Tietoa Yarasta. Lue lisää Yarasta. Yara Suomi. Yara Suomen historia.

Yle.fi [verkkoinfo]. [viitattu 2016-02-02] Saatavissa: <http://www.yle.fi/>

Polku: Yle.fi. Uutiset. Valtio myy Kemira GrowHow'n Norjaan.

