

LASTAUSKONEEN AUTONOMINEN OHJAUS

Autonomisen lastauskoneen käytettävyys tuotannon eri vaiheissa

Huitula Anssi

Opinnäytetyö
Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Anssi Huitula	Vuosi	2017
Ohjaaja	Juha Vesa		
Toimeksiantaja	Agnico Eagle Finland		
Työn nimi	Lastauskoneen autonominen ohjaus		
Sivumäärä	73		

Tämä opinnäytetyö tehtiin Kittilän kaivoksessa toimivalle Agnico Eagle Finlandille. Työssä tutkitaan, miten Kittilän kaivoksella olisi järkevintä ja tuotantotehokainta käyttää sinne hankittua AutoMine Lite -järjestelmää. Järjestelmä on Sandvik Mining Constructionin valmistama lastauskoneeseen asennettu autonominen järjestelmä, joka mahdollistaa autonomisen lastauksen. Lisäksi järjestelmään kuuluu tuotantoalueen turvajärjestelmä ja operaattoriasema.

Työssäni on sekä käytännön että teorian osuus. Teoriaosuudessa tutustun erilaisiin järjestelmiin ja niiden tuomiin muutoksiin tuotantotehossa sekä laitteistojen käyttökuluissa. Lisäksi teoriaosuudessa laskin autonomiselle laitteistolle tuotantotehoja sekä käyttökuluja, joita verrattiin nykyisiin tuotantotehoihin ja -kuluihin. Käytännön osuudessa tutkin nykyisten laitteistojen käyttökuluja ja ylläpitokuluja sekä koneiden tuotantotehoja.

Käytännön osuuteen kuului myös kaatonousun suunnittelu ja kustannusten laskeminen kaatonousulle. Tässä työssä vertasin kolmen erilaisen kaatonousun louhintakustannuksia. Kaatonousuista lopulliseen vertailuun tulleen kaatonousun suunnittelin Deswik-kaivossuunnitteluohjelmalla. Tein laskelmat, kuinka paljon malmin kuljetusmatka jatkuu, kun malmin pudotetaan alaspäin. Tässä tarvittavien tietojen hankintaan käytin Deswikiä, jolla mittasin eri tasojen tasoperien kuljetusmatkat. Näiden tietojen perusteella laskin kokonaiskustannukset tuotannolle autonomisella lastauksella joko kaatokuiluja käyttäen tai väliaikaiseen varastokasaan lastatessa. Näitä kustannuksia verrattiin laskettuun louhoskierron nopeuden muutokseen, ja voidaan päätellä, mikä olisi paras tapa aloittaa testit autonomisella lastauskoneella.

Työssäni tutkin myös, miten autonominen lastaus vaikuttaa operaattorien työturvallisuuteen ja työergonomiaan. Tässä vaiheessa toteutin operaattorien haastatteluja ja tein johtopäätöksiä niiden perusteella.

Avainsanat

AutoMine Lite, operaattori, kaatonousu

Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Anssi Huitula	Year	2017
Supervisor	Juha Vesa		
Commissioned by	Agnico Eagle Finland Oy		
Subject of thesis	Automatic Load Haul Dump Machine		
Number of pages	73		

This final year project was commissioned by the Kittilä Mines of Agnico Eagle Finland Oy. The objective of the study was to find out how the AutoMine Lite system could be used logically and as effectively as possible. The system has been manufactured by Sandvik Mining Construction. It is installed in a haul and dumping machine and it enables automatic loading. The system includes the production area safety systems and an operation station.

The thesis includes both a theoretical and a practical part. In the theoretic part different automatic LHD systems and their changes were examined and the production efficiency and the operating costs of the systems were studied. In addition the production effectiveness of the automatic systems and the operating costs compared to automatic loading were studied in the theoretical part. In the practical part current operating efficiency, operative and maintenance cost were studied. Finally, a test for the ore pass and the heap was done.

The practical part also included the ore pass design and calculating the cost-effectiveness. Three different ore passes and their mining costs were compared. The ore passes chosen were designed by the Deswik mining planning program. A New ore transport distance was measured with the Deswik program, when dumping ore down the plane. The total costs were calculated for the automatic production when loading in the ore pass or in the heap. This information was compared to the calculated speed of the quarry cycles. Based on this information it could be decided which is the best way to start an automatic LHD tests.

It was also studied how the automatic LHD influences on the safety of the operators and their ergonomics at work. The operators were interviewed and asked about their views about the automatic loading and conclusions were made based on the interviews.

Key words automatic LHD, operator, ore pass

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	KITTILÄN KAIVOS.....	10
3	TUTKIMUSSUUNNITELMA.....	11
3.1	Tutkimuskohde	11
3.2	Tutkimusmenetelmät.....	11
3.3	Käyttöönotto.....	11
4	LASTAUS KAIVOKSELLA.....	13
4.1	Lastauskalusto kaivoksella	13
4.2	Autonomisen lastauksen tarve	13
4.3	Tutkimustietoa autonomisesta lastauksesta	14
5	AUTOMINE LITE	15
5.1	AutoMine Lite -järjestelmä	15
5.2	Turvallisuusohjeet.....	15
5.3	Lastauskoneen AutoMine Lite -komponentit	17
5.4	Operaatioasema	18
5.5	Turvallisuus.....	18
6	OPERAATTOREIDEN TYÖTURVALLISUUS JA TYÖERGONOMIA	20
6.1	Työturvallisuus perinteisillä lastausmenetelmillä.....	20
6.2	Työturvallisuus ja työergonomia operoitaessa AutoMine Litellä.....	20
6.3	Operaattoreiden mielipide työturvallisuudesta ja työergonomiasta	21
7	AUTONOMISEN LASTAUSALUEEN INFRAN SUUNNITTELU	23
7.1	Varustelun suunnittelu	23
7.2	Varusteiden asennus	24
7.3	Varusteiden siirto	25
7.4	Tiestö.....	26
8	TUOTANTOALUEIDEN LAYOUT SUUNNITTELU.....	27
8.1	Layout suunnittelu.....	27
8.2	Kaatonousujen sijainnin määrittäminen	28
8.3	Kuilujen kannattavuus laskenta	28
8.4	Suoraan kuorma-autoon lastaus.....	30

8.5	Kaivossuunnittelussa huomioitavaa autonomisilla lastaustasoilla.....	32
9	AUTONOMISEN LASTAUSKONEEN KÄYTTÖ	35
9.1	Tuotannon aloitus	35
9.2	Autonomisen lastauskoneen huolto	35
9.3	Huollot ja remontit.....	36
9.4	Huolto-ohjeet	36
9.5	Kunnossapidon työ tunneista kerättyä dataa	37
9.6	Järjestelmän ylläpitoon tarvittava henkilökunta	39
9.7	Operaattorien vuororytmi	40
9.8	Lastauskoneen käyttö perinteisessä lastauksessa	41
10	TESTIT	42
10.1	Testien suunnittelu	42
10.2	Tiedon kerääminen.....	43
10.3	Testilaitteisto.....	43
10.4	Koejärjestelyt	43
11	DATAN KÄSITTELYÄ.....	44
11.1	InSitestä kerätty data	44
11.2	Lastauksen vuororaporttien data	47
11.3	Louhoslastaus	48
12	AUTONOMISEN LASTAUKSEN KUSTANNUKSET	51
12.1	Lastaustapojen välisten kustannusten vertailu	51
12.2	Louhoskiertonopeuden muutos	52
12.3	Louhoskierron nopeuttamisen kustannukset	54
12.4	Malmin kantomatkan vaikutus kustannuksiin ja tuotantotehokkuuteen.	59
13	TURVALLISUUDEN JA TAVOITTEIDEN KANNALTA SUOSITELTAVAT TUOTANTOTAVAT.....	62
13.1	Kaatonousun kautta tapahtuva tuotanto	62
13.2	Lastaus väliaikaiseen välivarastokasaan.....	62
13.3	Tuotantoalueiden kohdentaminen	63

14KUSTANNUKSIEN PERUSTEELLA SUOSITELTAVAT TUOTANTOTAVAT	
64	
14.1 Tuotanto avausnousua hyödyntäen.....	64
14.2 Tuotanto kaatonousuun.....	65
14.3 Suoraan autoon lastaus.....	65
14.4 Jemmaan lastaus	66
15JOHTOPÄÄTÖKSET	68
16POHDINTA.....	69
LÄHTEET.....	74

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyöni päätarkoituksena on tutkia AutoMine Lite -järjestelmän tuomia mahdollisuuksia, niin työturvallisuuden kuin työtehokkuudenkin kannalta Kittilän kaivoksella. Kaivokselle on hankittu Sandvikilta AutoMine Lite -järjestelmä, joka asennettiin Toro 3:seen Sandvikin valmistama maanalainen lastauskone LH 517 isomman huollon yhteydessä. Työssä tutkitaan, minkälaisia muutoksia mahdollisesti kaivoksen layoutteihin on tarvetta tehdä, jotta laitteiston tuotantotehokkuus olisi mahdollisimman hyvä. Lisäksi tutkitaan tuotantotehoa lastattaessa kaatonousuun ja kasaan niin sanottuun jemmaan sekä koneen käyttö mahdollisuuksia savutuntien aikana. Tämän lisäksi tutkitaan myös, miten laitteiston hankinta vaikuttaa työturvallisuuteen ja työergonomiaan verrattuna kauko-ohjauslastaukseen tai manuaalilastaukseen Kittilän kaivoksella.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AEF	Agnico Eagle Finland
Autonominen lastaus	Täysin tietokoneohjattu operointi eli automaatiolastaus
AutoMine Lite	Sandvikin kehittänyt automaatiolastausjärjestelmä
Avausnousu	Louhokseen ennen varsinaista louhosräjäytystä tehtävä
InSite	Tuotantotietojen raportointitietokanta
JDe	Materiaali- ja taloushallinnon tietojärjestelmä
Jemma	Kiviaineksien väliaikainen välivarasto
Kaatonousu	Tasot yhdistävä malmin kippauspaikka
Kupi	Mekaanisen kunnossapidon osasto
Kytkin	Laite, joka yhdistää pakettikytkentäisen verkon osia
Layout	Graafinen suunnittelu
Lusta	Rikkonaista helposti sortuvaa liukasta kiveä
MineLan	Kaivoksessa oleva langaton tietoverkko
Oksa	Kaatonousun ja tason yhdistävä alaviisto vino nousu
Operaattoriasema	Paikka, missä AutoMine-järjestelmän hallintalaitteet sijaitsevat
Otsa	Kohta, jossa louhos aukeaa perästäpäin mentäessä.
Puoliautonominen	Osittain tietokoneen ja osittain operaattorin operaattoriasemalta ohjaamaa operointia
Peräänajo	Tunnelin louhinta
Savutunnit	Vuorojen vaihdon yhteydessä tapahtuvien räjäytysten jälkeiset kaivoksen tuuletustunnit
Tasoperä	Tunneli, johon louhosperät yhdistyvät
TOKE	Tuotannon ohjauskeskus
Toro	Sandvikin valmistama maanalainen lastauskone LH 517
Viuhka-automaatio	Pitkäreikäporakoneen autonominen viuhkan porausohjelma
WLAN (Wi-Fi)	Langaton lähiverkko (wireless local area network)
Wlan-tukiasema	Yhdistää päätelaitteen langattomasti kiinteään verkkoon

1 JOHDANTO

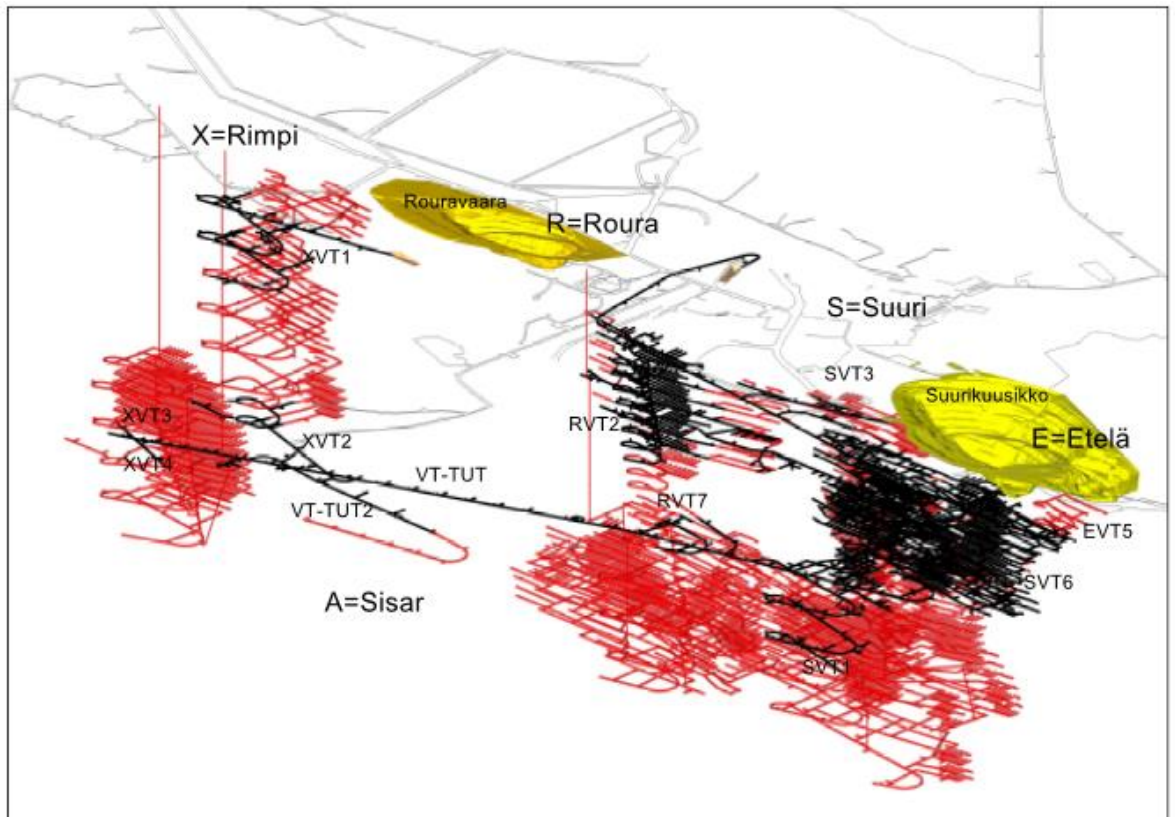
Opinnäytetyöni tehdään Agnico Eaglen Finland Oy:n Kittilän kultakaivokselle. Kittilän kaivokselle on hankittu Sandvikin AutoMine Loading Lite -järjestelmä eli autonominen lastauskoneen ohjausjärjestelmä. Tämä järjestelmä asennettiin Toro 3:seen isomman huollon yhteydessä syksyllä 2016. Työssäni tutkin laitteiston käyttökohteita sekä työturvallisuus että työtehokkuus huomioiden. Tutkimus käsittelee autonomisen lastauksen ja puoli-autoautonomisen lastauksen hyödyntämistä ennen mahdollisesti myöhemmin rakennettavan hissikuilun käyttöönottoa. Lisäksi työssä tutkitaan järjestelmän ylläpidon vaatimia resursseja, järjestelmän luotettavuutta, tuotantotehokkuutta sekä järjestelmällä tuotantoon saatavia etuja.

Kittilän kaivoksella olisi tarvetta saada louhoskiertoa nopeutettua. Tutkin, miten järjestelmää voisi tässä yhteydessä hyödyntää. Louhoskierrossa tällä hetkellä pullonkaulana on louhosten tyhjiin lastaus. Siirrettäessä malmia louhoksesta jemmaan, eli väliaikaiseen välivarastoon, tai lastattaessa kaatonousuun autonomisen lastauksen avulla, oletetaan voitavan kustannustehokkaasti nopeuttaa louhoskiertoa. Tämä kuitenkin edellyttää, että autonomisella lastauksella päästään hyviin lastaustehoihin ja jemmasta tai kuilusta lastauksen on oltava mahdollisimman tehokasta, siksi lastausalueiden valintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota tehokkuuden maksimoiseksi.

Tutkimuksessa keskityn myös tutkimaan, miten laitteiston käyttö muuttaa operaattorin työturvallisuutta ja työergonomiaa verrattuna perinteisiin lastausmenetelmiin. Tutkitaan työergonomian parantumisen vaikutuksia työssä jaksamiseen ja työssä viihtyvyyteen sekä sitä kautta työtehokkuuteen.

2 KITTILÄN KAIIVOS

Kittilän Suurikuusikon kultaesiintymä löytyi vuonna 1986. Ensimmäinen kulta-harkko valettiin tammikuussa 2009. Kaivos aloitti toimintansa avolouhintana, nykyisin kaikki louhinta tapahtuu maanalaisessa kaivoksessa. Ensimmäinen helmikuuta 2016 Kittilän kaivos oli tuottanut miljoona unssia kultaa. Kittilän kaivoksen omistaa Agnico Eagle Finland, joka on Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö. Vuoden 2014 lopulla valmistui rikastamon laajennus ja kaivoskonttorirakennus. Kaivoksen tämänhetkiset malmivarat ovat 4,4 miljoonaa unssia kultaa. Nykyisillä malmivaroilla ja tuotantomäärillä kaivoksen odotetaan toimivan vuoteen 2035 saakka. (www.agnicoeagle.fi)



Kuvio 1. Kaivosalueen 3D-kuva (www.agnicoeagle.com)

3 TUTKIMUSSUUNNITELMA

3.1 Tutkimuskohde

Opinnäytetyöni tavoitteena on selvittää parhaat mahdolliset tuotantotavat AutoMine Lite -järjestelmälle Kittilän kaivoksella. Työni on kaksivaiheinen, ensimmäisessä vaiheessa keskityn kirjallisesti aiheeseen ja toisessa vaiheessa suoritamme testit sekä vertailemme saatuja tuloksia vanhalla järjestelmällä saatuihin tietoihin. Työssäni keskityn vertailemaan perinteistä tapaa lastata ja AutoMine Lite -järjestelmällä tapahtuvaa lastausta sekä miettimään minkälaisilla layout -muutoksilla järjestelmästä saataisiin enemmän tuotantotehoja irti. Lisäksi keskityn vertailemaan työturvallisuutta nykyisillä työmenetelmillä verrattuna AutoMine Litellä tehtäviin työmenetelmiin.

3.2 Tutkimusmenetelmät

Kirjallisessa osuudessa hyödynnetään Sandvikilta, Kittilä kaivokselta, internetistä sekä Lapin AMKista saatuja materiaaleja. Käytännön testit tulevat tapahtumaan 425–500 tasoilla tasoperä ykkösessä. Testeissä lastattaviksi louhoksiksi valitaan louhoksia, joissa tyhjiin lastaus tapahtuisi muutoin kauko-ohjauslastauksella.

Käytännön testit aloitetaan varustelemalla haluttu tasoperä AutoMine Liten tarvitsemilla komponenteilla. Tämän jälkeen autonomisella lastauskoneella ajetaan lastausalue läpi ja tallennetaan operoitava reitti kippausliikkeineen. Tämän jälkeen aloitetaan lastaustoiminta ja todetaan, toimiiko laitteisto moitteettomasti vai tarvitseeko varusteluun tehdä muutoksia. Tämän jälkeen aloitetaan todelliset lastaustehoja ja -tapoja tutkivat testit.

3.3 Käyttöönotto

Kirjallisen selostuksen ja testien perusteella ehdotetaan, mikä on selvitysten perusteella paras tapa hyödyntää AutoMine Lite -järjestelmää Kittilän kaivoksella. Ehdotuksessa otetaan huomioon minkälaiset toimintatavat ja työvuorot olisivat Kittilän kaivoksella toimivimmat. Ehdotuksessa käy ilmi, minkälaisissa tilanteissa mahdollisesti jemmaan lastaaminen onärkevintä ja milloin kaatonousuun lastaus

taas olisi nopeampi ja kustannustehokkaampi tapa toimia. Ehdotukseen sisältyy myös, mitä asioita layouttien suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon, kun alueella tullaan käyttämään autonomista lastauskonetta.

4 LASTAUS KAIVOKSELLA

4.1 Lastauskalusto kaivoksella

Kaivoksella on käytössä Sandvik Mining and Construction osakeyhtiön valmistamia LH 517 lastauskoneita eli Toroja 5 kappaletta, Toroista yksi on varustettu rammerilla (Toro 2). Lisäksi Toroon numero 3 asennettiin syksyllä 2016 peruskunnostuksen yhteydessä AutoMine Lite -järjestelmä, eli autonominen lastausjärjestelmä.

Toro LH 517 on maanalaiseen työskentelyyn suunniteltu lastauskone, jonka suositeltu kuormauskapasiteetti on 17 200 kilogrammaa. Koneen pituus on noin 11 metriä ja leveys 2,8 metriä. Koneen paino ilman kuormaa on 44 030 kg. Koneessa on normaalisti 7 m³ kauha. Kauhan nostoaika on 8,3 s, laskuaika 4,3 s ja kaatoaika 2,0 s. Koneessa on neljä vaihdetta, joilla kone kulkee eteen- ja taaksepäin, ensimmäisellä vaihteella 5,4 km/h, toisella vaihteella 9,4 km/h, kolmannella vaihteella 16 km/h ja neljännellä vaihteella 27 km/h. Kone käyttää polttoaineena dieseliä ja koneen tankin tilavuus on 485 litraa. (Sandvik 2016.)

4.2 Autonomisen lastauksen tarve

Autonomista lastausta tullaan käyttämään louhosten tyhjäksi lastauksessa ja sellaisilla alueilla, missä manuaalinen lastaus ei ole turvallista. Avoimissa louhoksissa on aina sortuma ja vyörymärisä olemassa. Tällä hetkellä lastaus on suoritettu kauko-ohjauslastauksena, jossa operaattori joutuu kulkemaan lastauskoneen ja kauko-ohjauskorokkeen väliä. Näissä tilanteissa operaattorit käyttävät myös moottoroituja puhallinmaskeja, koska lastausalueilla on pölyä ja diesel -partikkeleja.

Autonomiselle lastauskoneelle tulee opettaa lastausreitti, tämä tapahtuu helpoiten ajamalla autonominen lastausalue manuaalisesti läpi ja tallentamalla ajotiedot kannettavalle tietokoneelle. Tämän jälkeen ajotiedot siirretään operaattoriaseman tietokoneelle. Kittilässä operaattoriasema tulee aluksi olemaan tunnelin suuaukon läheisyydessä kontissa ja myöhemmin pakettiauton takatilassa. Tällä hetkellä autonomista lastauskoneita käytetään tasoilla 425–500 tasoperä ykkösissä,

mutta tulevaisuudessa kaikki louhinnassa olevat alueet on tarkoitus varustella Wlan-verkolla. Tällöin tuotantoalueille tarvitsisi asentaa vain AutoMine Liten tarvitsema turvajärjestelmä, ennen tuotannon aloitusta.

4.3 Tutkimustietoa autonomisesta lastauksesta

Tutkimuksissa on saatu tuloksia, joissa autonominen lastaus on vähentänyt tuotantoa, mutta enimmäkseen autonomisella lastauksella on ollut positiivisia vaikutuksia tuotantoon. Parhaimmillaan hyvin järjestetyssä toiminnassa on päästy jopa 50 % parempiin tuloksiin kuin manuaalisella lastauksella. Parantuminen johtuu siitä, että tutkimusten mukaan autonomisen lastauskoneen kauhalliset ovat keskimäärin 4 % suurempia ja kauhan täyttö 24 % nopeampaa kuin manuaalilastauskoneella (Schunnesson, Gustafson & Kumar 2016.) Lisäksi autonominen lastauskone pystyy ajamaan tunnelissa ihmistä nopeammin, esimerkiksi yhdessä testissä manuaalikone ajoi 5 km/h ja autonominen lastauskone ajoi 15 km/h (Schunnesson, Gustafson & Kumar 2016.) Näihin asioihin kun lisätään vielä tehollisen työajan kasvu, joka saavutetaan käytettäessä autonomista lastauskoneita, niin on oletettavissa että autonomisen lastauksen vähentää huomattavasti louhosten tyhjiinlastausaikaa. Tutkimuksissa on todettu, että manuaalilastauskoneen operaattorilla menee työvuorosta keskimäärin 3 tuntia muuhun kuin työskentelyyn. (Schunnesson, Gustafson & Kumar 2016.)

Lisäksi Sandvikin henkilöstö esitteli minulle heidän asiakkailtaan keräämäänsä, dataa, jonka mukaan autonomisen lastauksen käyttö vähensi huoltokuluja pienentämällä rengaskuluja ja poistamalla inhimillisiä virheitä (Luotoniemi 2016). Toisaalta Pyhäsalmen kaivoksella vieraillessani minulle kerrottiin puoli-autonomisen lastauksen lisäävän rengaskuluja, koska kauhaa täyttäessä kone sutii helpommin kuin perinteisin menetelmin lastattaessa (Baas 2016.) Lisäksi autonominen lastauskone optimoi ajonopeutta, jarrujen käyttöä sekä vaihteiden vaihtamista, tämä vaikuttaa voimansiirron ja jarrujen kestävyuteen. Autonomisen järjestelmän on myös tutkimuksissa todettu vähentävän myös moottorin ylikuumentamista. (Schunnesson, Gustafson & Kumar 2016.)

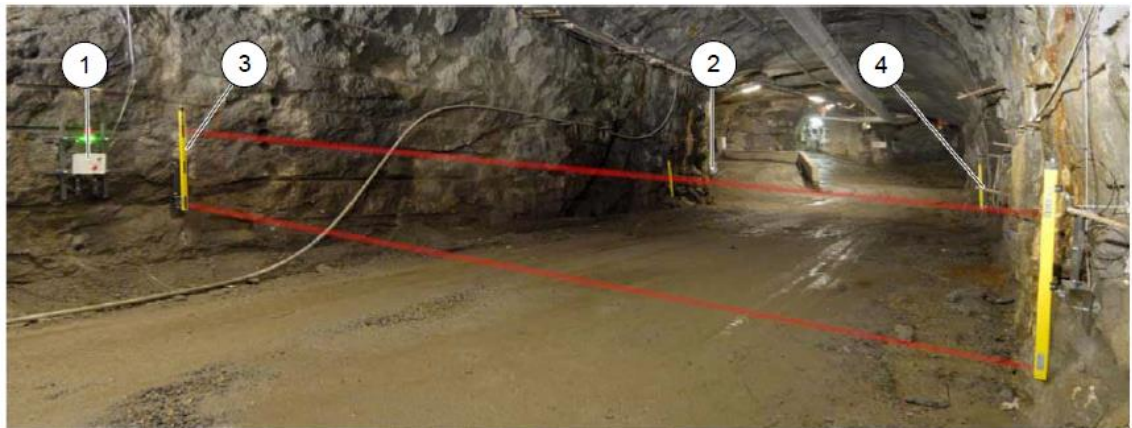
5 AUTOMINE LITE

5.1 AutoMine Lite -järjestelmä

AutoMine Lite -järjestelmä on Sandvik Mining Constructionin valmistama autonominen lastauskonejärjestelmä, jolla voidaan ohjata lastauskonetta autonomisesti tai puoli-autonomisesti. Järjestelmä kattaa myös turvallisuusohjeita, kuten kulkeemisesta autonomisella lastausalueella. Järjestelmä hyödyntää langatonta verkkoa (WLAN) (Sandvik 2016.)

5.2 Turvallisuusohjeet

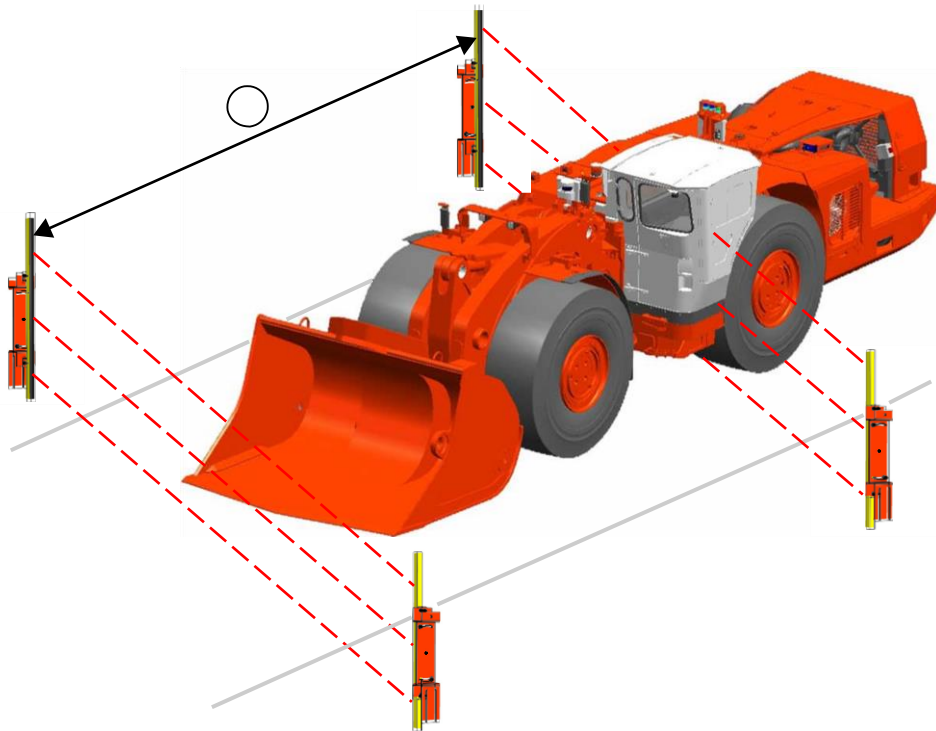
Kaikki autonomisella lastausalueilla kulkevat ihmiset tulee kouluttaa tunnistamaan alueeseen liittyvät turvariskit. Autonomisten lastausalueiden kulkuyhteyteen pitää asentaa tarvittavat opastekyltit ja turvalaitteet. Henkilöiden tulee ymmärtää opastekylttien ja turvalaitteiden merkitykset sekä turvalaitteiden signaalit. (Sandvik 2016, 21–28.)



1. Ohjauspaneeli merkkivaloilla (manuaali alue)
2. Ohjauspaneeli merkkivaloilla (automaatio alue)
3. Valoverho 1
4. Valoverho 2

Kuvio 2. Kuvassa valoverhot ja niiden komponentit asennettuna. (Sandvik Operator's Manual, 22.)

Ennen lastauskoneen asettamista automaatile tulee operaattorin tai operaattorin määräämän henkilön käydä autonominen lastausalue huolellisesti läpi ja varmistua, ettei alueella ole muita henkilöitä. Lisäksi on varmistettava, että autonomisen lastauskoneen operoima reitti on operoitavassa kunnossa. Tässä yhteydessä aluetta tarkistava henkilö kuittaa turvaportit, tällä varmistetaan, ettei kukaan mene vahingossa autonomiselle lastausalueelle. Portteja on aina yksi autonomisen lastausalueen puolella ja toinen lastausalueen ulkopuolella, portit on sijoitettu niin, että lastauskone ehtii pysähtyä porttien väliin. Portin läpikulkeminen pysäyttää autonomisen lastauskoneen välittömästi. Alla olevassa kuvioissa on esitetty periaate siitä, miten koneen pitää pysähtyä porttien väliin. Porttien sijoittamiseen on Sandvikin oppaissa taulukko, josta ilmenevät porttien minimietäisyydet toisiinsa lastauskoneen maksimioperointinopeudella. (Sandvik 2016, 21–28.)



- 1) Automaatiolastauskoneen pysähtymiseen vähintään vaadittu matka, lasketaan operaatioalueen maksimi ajo nopeudesta.

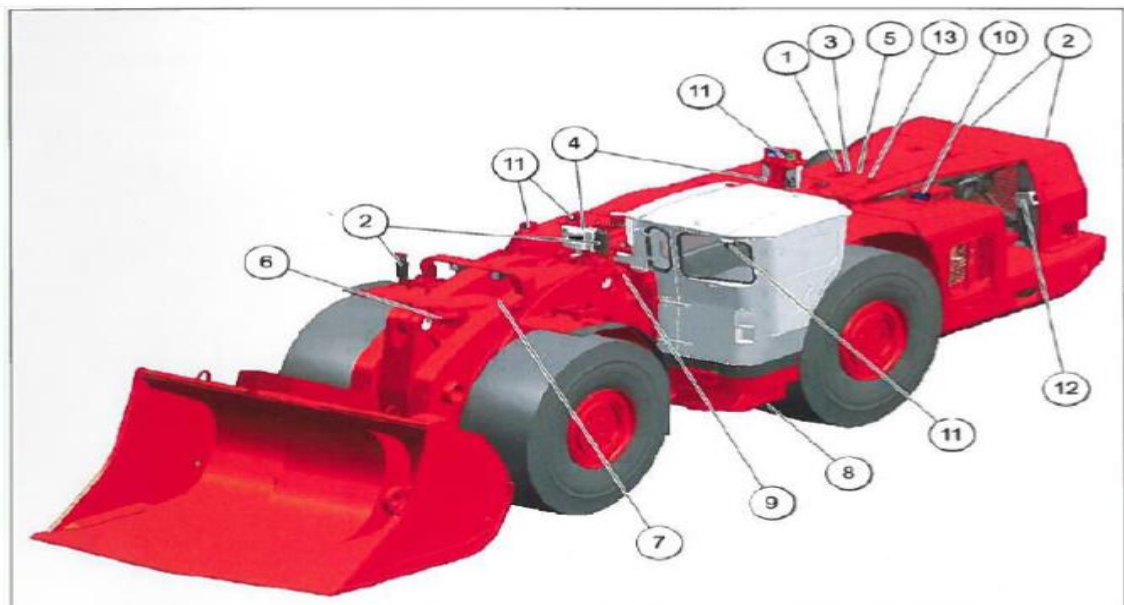
Kuvio 3. Lastauskone pysähtyneenä valoverhojen väliin (Sandvik Installation Manual, 32)

Autonomisen koneen operoidessa, ei tuotantoalueelle saa missään tapauksessa mennä ilman ilmoitusta autonomisen lastauskoneen operaattorille. Jos alueelle

on jostain syystä pakko mennä, esimerkiksi hätätyön vuoksi, pitää ennen alueelle menemistä hankkia tarvittavat luvat. Lupa käytännöksi on ehdotettu seuraavanlaista käytäntöä: tuotannon työnjohtaja antaa luvan alueelle menemiseen, tämän jälkeen tuotantoalueen operaattorille ilmoitetaan alueelle tulevasta hätätyöstä. Kun työn suorittajat tulevat tuotantoalueen läheisyyteen, he ilmoittavat tulostaan operaattorille, joka ajaa järjestelmän alas ja antaa luvan mennä alueelle. Kun alueella hätätyö on suoritettu, ilmoittavat työn suorittajat siitä autonomisen lastauskoneen operaattorille, joka suorittaa tuotantoalueen tarkastukset ja kytkee turvajärjestelmän päälle ja aloittaa tuotannon uudestaan. Autonomisella lastausalueella työskentelystä ja tuotantoalueelle autonomisen lastauksen aikana menemisestä olen tehnyt erillisen työohjeistuksen.

5.3 Lastauskoneen AutoMine Lite -komponentit

Seuraavassa kuvassa on esitetty lastauskoneessa olevat AutoMine Lite -komponentit, sekä niiden sijainti lastauskoneessa.

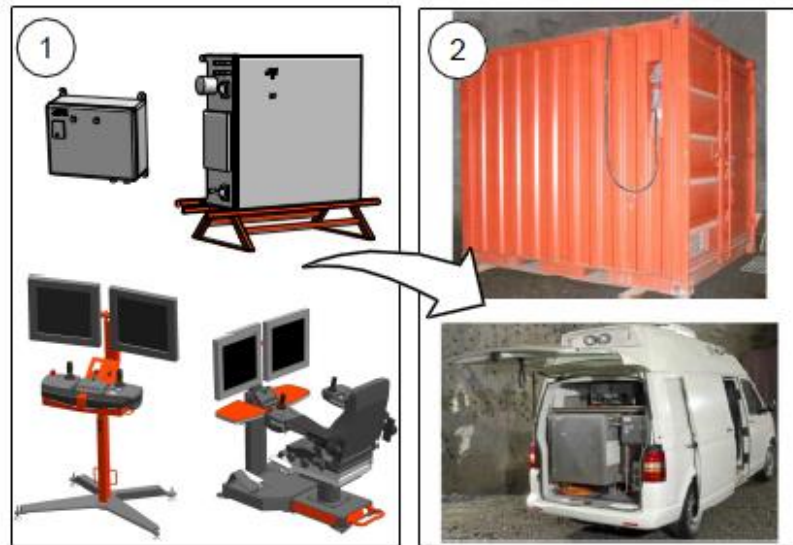


- | | | | |
|----|--------------------------------|----|-------------------------|
| 1 | MineLAN Mobile Terminal -pääte | 2 | Antenni |
| 3 | InfraFREE-navigointimoduuli | 4 | Etu-/takatunnistin |
| 5 | Tunnistinmoduuli | 6 | Kauha-anturi |
| 7 | Puomin anturi | 8 | Matkamittari |
| 9 | Nivelanturi | 10 | Laitteiston videocrasia |
| 11 | Kamera | 12 | Koneen tilan kytkin |
| 13 | ACS-yksikkö | | |

Kuvio 4. Lastauskoneen automaatiokomponenttien sijoittelu (Baas 2016.)

5.4 Operaatioasema

Kuviossa 5 on esitetty seisaaltaan ja istumaltaan operoitavat ohjainyksiköt. Kittilän kaivoksen ohjainyksikkö on penkillinen versio ja se on asennettu tunnelin suuaukon läheisyydessä sijaitsevaan konttiin. Ohjainyksikkö on tarkoitus myöhemmässä vaiheessa sijoittaa pakettiauton takatilaan.



1. Operaattori aseman pääkomponentit ja erityyppiset ohjainyksiköt
2. Mahdollinen sijoitus joko konttiin tai pakettiautoon

Kuvio 5. Kaksi erityyppistä operaatioasemaa ja operaatioaseman sijoitustapaa (Sandvik Installation Manual, 88.)

5.5 Turvallisuus

Autonominen lastausalue tulee eristää ja alueelle pääsy estää. Alueelle johtaville reiteille asennetaan turvaportit, joista läpikulkeminen pysäyttää autonomisen lastauskoneen välittömästi. Lisäksi alueelle johtaville reiteille pitää asentaa tarvittavat varoitusmerkit, merkkivalot ja äänisummerit. Lisäksi alueella työskentelevät ihmiset pitää perehdyttää alueella liikkumiseen ja siihen liittyviin vaaroihin (Sandvik 2016, 21–28.)

Sandvik suosittelee sijoittamaan alueen välittömään läheisyyteen lisäksi ylimääräistä alkusammutuskalustoa, esimerkiksi kaksi 12 kg jauhesammutinta ja ylimääräisiä ensiapuvälineitä, joissa on myös silmähuuhdepulloja. Suosituksesta on päätetty poiketa Kittilän kaivoksella. Tilanteessa jossa esimerkiksi automaatiolastauskone syttyy palamaan ja ei sammu sammutusjärjestelmällä, on katsottu parhaaksi, että hälytetään kaivoksen pelastusryhmä ja tällöin ensimmäisenä paikalle menevillä on autossaan lisäsammuttimia ja ensiapuvälineitä. Tästä johtuen alueen läheisyyteen asetettaville sammuttimille ja ensiapuvälineille ei ole tarvetta. Kokonaisturvallisuuden kannalta on parempi, että pelastusryhmäläiset menevät sammutusvälineiden kanssa paikalle ja arvioivat tilanteen. Pelastusryhmäläisillä on koulutus näitä tilanteita varten, joten on parempi että he tekevät päätökset jatkotoimista.

On myös huomioitava että jos alueelle yhtyvissä perissä työskennellään lastauksen aikana, ne tulee eristää turvaporteilla turvallisen työskentelyn varmistamiseksi. Lisäksi tällöin olisi suotavaa käyttää muiden työvaiheiden autonomisia sovelluksia, kuten pitkäreikäporauksen autonomista viuhkaporausta.

Kaatonousuun lastattaessa pitää operaattorin varmistaa, että kaatonousun alapää on suljettu ja lastauksesta kaatonousuun varoitetaan kyltein ja vilkkuvaloin. Myös kaatokuilun autonomisen lastaus- ja tyhjiinlastaustasojen väliin jäävät kaatonousuun johtavat perät tulee sulkea ja lastauksesta varoittaa naruin ja kyltein. Kaatonousun tyhjiin lastatausta suorittavan operaattorin pitää huolehtia, ettei hän lastaa kuilusta otsaa näkyviin. Turvallisuussyistä lastaus keskeytetään välittömästi jos kaatonousun otsa tulee näkyviin. Tällöin lastausta voidaan jatkaa, kun autonomisen lastauskoneen kuljettaja on lastannut nousuun neljä kauhallista malmia.

6 OPERAATTOREIDEN TYÖTURVALLISUUS JA TYÖERGONOMIA

6.1 Työturvallisuus perinteisillä lastausmenetelmillä

Tällä hetkellä lastaus tapahtuu manuaaliajolla, siihen asti kunnes Torossa olevaa lampputeline on louhoksen aukon otsan tasalla. Työturvallisuus syistä lastauskoneita ei saa ajaa louhokseen manuaaliajolla, koska louhoksessa on aina vyörymä- ja sortumariski. Ennen AutoMine Lite -järjestelmän käyttöönottoa kaikkien louhosten tyhjiin lastaus suoritettiin kauko-ohjauslastauksella. Tässä työvaiheessa on kuitenkin omat pienet riskinsä. Kaivoksen rouran puoleisissa osissa malmin ja sivukiven rajapinnassa on liukas grafiittilustakerros. Grafiittilustakerros lisää sortumariskiä ja joskus on tapahtunut sortumia. Tällöin kivet saattavat vyöryä pitkällekin lastausperään, jolloin lyhyissä lastausperissä on riski, että kivet tulevat kauko-ohjauskorokkeelle saakka (Saukko 2016). Lastauskoneen ja kauko-ohjauskorokkeen välin kulkeminen myös rasittaa operaattoria, koska operaattori joutuu kauko-ohjauksen ajaksi nousemaan koneesta pois ja taas kauhan tyhjennyksen ajaksi nousemaan koneeseen. Tässä työvaiheessa operaattorit myös altistuvat pölylle, mikä vuoksi kauko-ohjain lastauksen aikana käytetään moottoroitua puhallinmaskia.

6.2 Työturvallisuus ja työergonomia operoitaessa AutoMine Litellä

AutoMine Lite -järjestelmää käytettäessä operaattori istuu ergonomisessa penkissä ja valvoo järjestelmän toimintaa. Tarvittaessa operaattori ottaa koneen puoli-autonomisesti hallintaan. Ohjausjärjestelmä on sijoitettu autonomisen lastaus alueen ulkopuolelle, tällöin operaattori on niin kaukana louhoksesta että vyöryvä tai sortuva louhos eivät aiheuta operaattorille vaaraa. Lisäksi erillisessä ohjaamossa työskennellessä operaattori ei altistu kivipölylle, diesel -partikkeleille, kuitumineraaleille, eikä muille tunnelissa mahdollisesti oleville epäpuhtauksille.

Operaattoriasemassa työskentely parantaa operaattorin työergonomiaa huomattavasti. Kun operointi tapahtuu operaattoriasemassa, ei operaattorin tarvitse kulkea operaattoriaseman ja lastauskoneen väliä. Lisäksi operaattori ei altistu lastauskoneen aiheuttamille tärinöille, tiestön epätasaisuuksille eikä lastauksesta aiheutuville heilahduksille. Lisäksi operaatioasemassa on tilaa huomattavasti

enemmän kuin lastauskoneen ohjaamossa ja ohjaamossa oleva melu poistuu. On myös huomattava, että operaattoriaseman ohjausyksikön penkki on varustettu monenlaisilla säädöillä, joten operaattori saa säädettyä operaattoriaseman itselleen mahdollisimman ergonomiseen asentoon.

Näiden asioiden uskon lisäävän operaattorien työssä viihtyvyyttä, ja sitä kautta lisäävän myös työtehokkuutta. Parantunut työturvallisuus ja työergonomia vaikuttavat pitkällä aikajänteellä sairauspoissaolojen määrään vähentämällä niitä. Näillä asioilla on pitkällä aikavälillä suora vaikutus niin kaivoksen käyttökuluihin, kuin henkilöstön vaihtuvuuteen ja kaivoksen houkuttelevuuteen tulevaisuuden rekrytointi-tilanteissa.

Lisäksi ohjausjärjestelmä voidaan sijoittaa joko kokonaan kaivoksen ulkopuolelle tai vaihtoehtoisesti pakettiauton takaosaan. Pakettiauton takatilaan sijoittaminen mahdollistaa sen, että operaattoriasema voidaan tarvittaessa siirtää ulos. Operaattoriaseman sijoittaminen tunnelin ulkopuolelle tai pakettiauton takatilaan mahdollistaa turvallisen työskentelyn myös savutuntien aikana.

6.3 Operaattoreiden mielipide työturvallisuudesta ja työergonomiasta

Operaattori haastatteluissa kävi ilmi, että operaattorit arvostivat autonomisessa lastauksessa eniten työergonomian paranemista verrattuna kauko-ohjauslastaukseen. Kauko-ohjauslastauksessa jatkuva koneen ja kauko-ohjauskorokkeen välinen kulkeminen koettiin erittäin rasittavaksi. Lisäksi moottoroidun puhallinmaskin käyttö koettiin epämiellyttäväksi ja erittäin hankalaksi mentäessä lastauskoneen ohjaamoon. Operaattorit uskoivat työergonomian parantumisen auttavan jaksamaan töissä paremmin ja työskentelemään tehokkaammin.

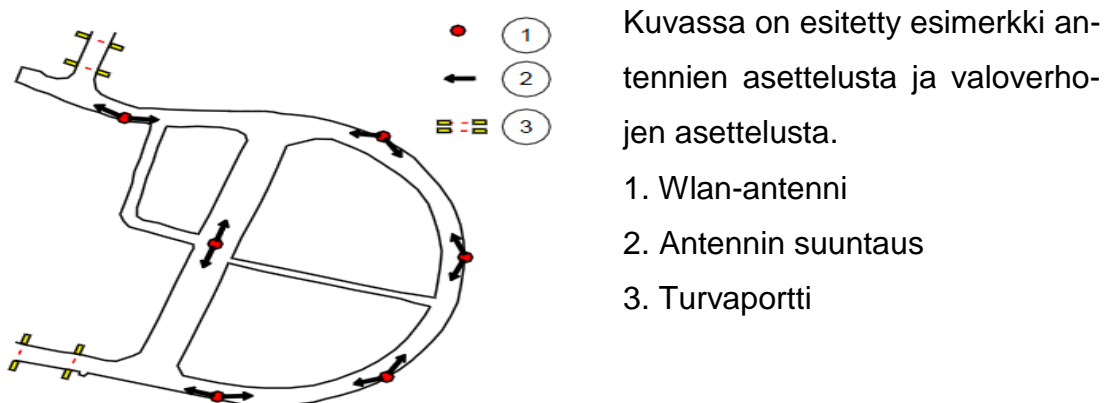
Koneen käyttökohteina operaattorien mielestä olisi kauko-ohjauskohteet, joista savutuntien aikana kannettaisi malmia jemmaan ja muulloin operoitaisiin perinteisin menetelmin jemmaa hyödyntäen. Itsestäni tällaisessa menettelytavassa on ongelman kaivoksen pienehköt louhokset. Jos louhoksesta otetaan manuaali-

sesti kopista lastaamalla kauko-ohjaus kiviin asti ja sitten lastataan kauko-ohjaimella ja vain savutuntien aikana autonomisesti, niin on todennäköistä, että louheen kahteen kertaan käsittely ja varustelun viemä aika syövät kaiken taloudellisen hyödyn ja saavutetun louhoskierron nopeuden. Louhoskierron nopeutuminen tulee ehdotetulla tavalla olemaan tunti tai kaksi, jos sitäkään.

7 AUTONOMISEN LASTAUSALUEEN INFRAN SUUNNITTELU

7.1 Varustelun suunnittelu

Kun on päätetty millä tasolla autonomista lastausta tullaan käyttämään, aletaan valmistella alueen varustelua ja muita tarvittavia muutoksia. Ensimmäisenä mietitään, ajetaanko järjestelmällä kaatonousuun vai jemmaan. Tällä hetkellä Kittilän kaivoksella ei ole kaatonousuja, joten kaatonousun tekemiseen ja suunnitteluun pitää varata aikaa. Tämän jälkeen mietitään tarvittavaa varustelua. Tällä hetkellä varustelun suunnittelu joudutaan aloittamaan Wlan-verkon suunnittelusta, mutta tulevaisuudessa koko kaivos on tarkoitus varustaa Minelanilla. Wlan-verkko pitää rakentaa siten, että jokaisella tukiasemalla on näköyhteys edelliseen ja seuraavaan tukiasemaan, tietynlaisissa risteyksissä tästä voidaan poiketa. Tukiasemien kytkennässä käytettävän ethernet-kaapelin maksimipituus voi olla korkeintaan 100 metriä, joten tukiasemien maksimietäisyys kytkimestä on 100 metriä. Jos tasolle joudutaan asentamaan kytkimiä, niiden välinen kaapelointi kannattaisi tehdä valokuidulla, tällöin välttyttäisiin ethernet-kaapelien välimatka rajoituksilta. Seuraavaksi mietitään turvaporttien sijoittelu koska alueelle pääsy pitää olla esitetty turvaporteilla. Jos samalla tasolla on tarvetta suorittaa esimerkiksi louhosporausta, voidaan kyseinen perä eristää autonomisesta lastausalueesta turvaportilla. Tämän jälkeen suunnitellaan mahdollisen siirrettävän ohjainyksikön sijoittelu, pakettiauton takaosaan asennettu ohjainyksikkö tarvitsee langallisen lähiverkkoliitännän sekä sähköliitännän. (Luotoniemi 2016.)



Kuvio 6. Periaatekuva automaatioalueen varustelusta (Sandvik Installaion Manual, 72.)

Lisäksi käytettäessä Sandvikin tarjoamia Wlan-tukiasemia pitää autonomiselle lastausalueelle asentaa virransyöttöboksit (DC24V). Virransyöttöboksista saa olla kauimmaiselle tukiasemalle etäisyyttä enintään 400m, jos etäisyys kasvaa suuremmaksi, täytyy alueelle asentaa useampia virransyöttöbokseja. (Sandvik 2016, 45.) Virransyöttöbokseja on saatavilla joko kytkimellä varustettuna tai ilman. Kittilän kaivoksella käytetään nykyisellään Ciscon Wlan-tukiasemia, jotka toimivat valovirralla. Tukiasemat on mahdollista ketjuttaa langattomasti, minkä toimivuutta kaivoksessa tullaan testaamaan tulevien testien yhteydessä.

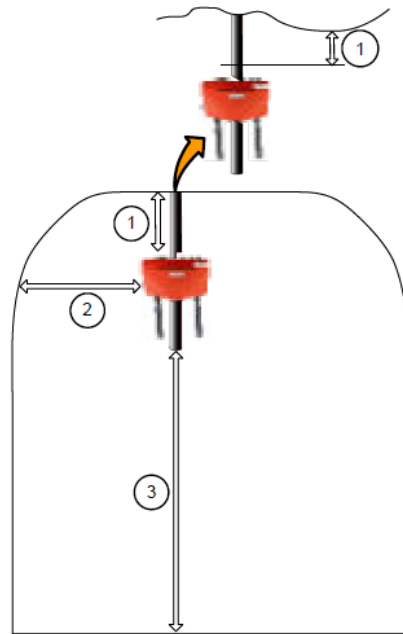
Seuraavassa vaiheessa mietitään, mistä kohtaa autonominen lastausalue olisi järkevää rajata. Rajaus tapahtuu asettamalla turvaportit ja sulkuverkko varoituskyltteineen sopivaan kohtaan. Kohdan valinnassa kannattaa ottaa huomioon, että alue häiritsisi mahdollisimman vähän muuta tuotantoa, mutta kattaa kuitenkin seuraavat lastattavat louhokset ilman muutoksia.

Sandvikin manuaaleissa on esitetty perustietoja ja ohjeita, joiden perusteella voidaan laskea lastauskoneen pysähtymiseen kuluva matka. Tätä tietoa käytetään laskettaessa lastauskoneen pysähtymismatkaa lastausalueella operoitavalla nopeudella. Sandvikin installation ja commissioning -manualissa on esitetty esimerkki laskelmia sivulla 38 siitä, kuinka turvaporttien etäisyydet lasketaan. Lisäksi Sandvik on toimittanut kaivokselle taulukon, jota voidaan käyttää arvioitaessa autonomisen lastauskoneen pysähtymismatkoja ilman laskemista.

7.2 Varusteiden asennus

Wlan-verkon suunnittelussa annetaan tukiasemien sijoittelulle suuntaviivat, mutta lopullinen sijoitus tapahtuu asennusvaiheessa. Asentajilla on oltava kokemusta ja ymmärrystä Wlan-verkon käyttämän signaalin kuuluvuudesta. Tällöin he voivat tehdä tukiasemien sijoitteluun tarvittaessa muutoksia. Muutostarpeet voivat johtua esimerkiksi siitä, että tunnelissa on monenlaisia putkia ja muita varusteluja, jotka voivat häiritä signaalin kulkua. Lisäksi tunnelin muodot voivat häiritä

signaalia. Wlan-verkko käyttää 2,4 GHz taajuutta, joka ei juurikaan taitu ja heikenee näköyhteyden katkettua. Tämän vuoksi tukiasemien sijoittelulla on merkittävä vaikutus järjestelmän toimivuuteen. Turvaporttien asennus vaatii huolellisuutta, varsinkin käytettäessä valoportteja, koska valoportit pitää kohdistaa vastapuolella tunnelia olevaan lasertunnistimeen. (Luotoniemi 2016.)



- 1.) Noin 0,3m, riippuen tunnelin profiilista
- 2.) >0,5m
- 3.) 3m, riippuu koneiden korkeudesta

Kuvio 7. Periaate Wlan- tukiaseman sijoittelun minimietäisyyksistä tunnelin seinistä (Sandvik Installation Manual 2016, 80.)

7.3 Varusteiden siirto

Lähes kaikki varusteet ovat periaatteessa siirrettävissä tuotantoalueelta toiselle. Varusteita ei mielestäni kannata ruveta siirtämään, ennen kuin tuotantoalueen autonominen tuotanto on loppunut. Varusteiden edestakaisin siirtelyyn kuluu varustelijoilta ylimääräistä aikaa, eikä tuotantoalue tällöin ole tarvittaessa välittömästi tuotantokunnossa. Autonominen lastauksen päätyttyä alueella olevat turvaportit voidaan riisua pois ja niiden kunto tarkastaa. Tämän jälkeen ne tarvittaessa kunnostetaan ja asennetaan seuraavalle tuotantoalueelle. Esimerkiksi Wlan-tukiasemat ja Wlan-verkkoon liittyvät oheiskomponentit kannattaa pitää tasoperissä niin kauan kuin niillä on toimintaa. Kun toiminta koko tasoperässä on

loppunut, voidaan mielestäni Wlan-verkko purkaa tasoperästä pois ja hyödynnettävissä olevat komponentit uusiokäyttöä.

7.4 Tiestö

Tiestössä ja sen kunnossa on huomioitava, että autonominen lastauskone ei pysty tasaamaan tietä lastauksen aikana samaan tapaan kuin manuaalinen lastauskone. Tiestön kunto vaikuttaa suoraan autonomisella lastauskoneella saatuihin lastaustehoihin. Jos tiestön kunto ei pysy riittävän hyvänä, joudutaan lastauskoneen maksiminopeutta rajoittamaan. Tästä syystä olisi tärkeää, että tiestöllä ei olisi vettä ja tiestön profiili olisi oikeanlainen, sekä mahdollisimman tasainen. Tiestön kunnostus tulee ajoittaa koneen päivittäisten huoltojen yhteyteen, näin minimoidaan mahdollinen lastauskoneen työajan menetys. Tämä tullaan todennäköisimmin suorittamaan vuoronvaihtojen yhteydessä. Mietinnän ja kokeilun arvoisia asioita olisivat mielestäni myös, kannattaisiko tiestö joko perustaa toisella tavalla automaatiolastausalueella tai pintakerroksen rakeisuutta muuttaa karkeampi rakeisemmaksi, esimerkiksi rakeisuuteen 32-65mm. Tiestön kestoa ja mahdollisia muutostarpeita tutkittiin toteutettavien testien yhteydessä.

Kaivoksilla, joilla autonomisen lastauskoneen nopeus on haluttu maksimaaliseksi, on tiestöissä käytetty pinnoitteena joko asfalttia tai betonia. Tällöin tiestö ei kulu nopeasti urille tai koloiseksi ja kauhasta tippuneet kivet voi poistaa lastauskoneen tiensiivousohjelmalla. Tämä olisi Kittilässäkin harkinnan arvoinen vaihtoehto, jos lastataan kaatonousuun ja halutaan maksimaallisia tuotantotehoja vähillä tiestön ylläpitokuluilla. Tällöin tiestön perustaminen maksaa hieman enemmän, mutta ylläpitokulut ovat huomattavasti pienemmät. Betonipäällysteisiin tiestöihin kannattaisi myös valaa reunaojat, jolloin ojat eivät sortuisi virtauksen voimasta. Tällöin myös tiestön alusrakenteet pysyisivät hyvässä kunnossa.

8 TUOTANTOALUEIDEN LAYOUT-SUUNNITTELU

8.1 Layout-suunnittelu

Tuotantotasojen layout-suunnittelu alkoi tarkastelemalla tasojen 425–500 TP1:sten louhintajärjestystä ja tasojen peränajotilannetta tutkimalla. Autonomisen lastauksen kannalta olisi tärkeää, että peränajo olisi mahdollisimman vähäistä. Peränajo on nopeatempoista toimintaa, sitä ei voida suorittaa järkevästi automaatiolastauksen aikana. Autonominen lastaus jouduttaisiin turvallisussyistä pysäyttämään aina, kun peränajo-operaattorit tulisivat alueelle. Tämä tarkoittaisi tarpeettoman suurta työajan menetystä autonomiselle lastauskoneelle.

Aluksi tasoille 425–475 sekä 450–500 suunniteltiin kaatonousut, joihin autonomisella lastauskoneella lastattaisiin. Kaatonousuihin suunniteltiin myös oksat väliin jääville tasoille. Kaatonousujen tyhjennys tapahtuisi manuaalikoneella siten, että autonominen lastauskone lastaa nousuun mahtuvan määrän malmia, joka tämän jälkeen ajettaisiin perinteisin menetelmin pintaan. Lisäksi tyhjennykseen mietittiin myös annostelijaa, joka olisi siinä mielessä hyvä vaihtoehto, että tyhjiin lastaus voisi tapahtua ilman erillistä lastauskonetta.

Katsoimme insinööriharjoittelija Marc-Antoin Beaulieullin kanssa laskelmieni pohjalta kaatonousuille mahdollisesti sopivaa paikkaa. Tämän jälkeen Marc aloitti kaatonousujen suunnittelun Deswik -kaivossuunnitteluohjelmiston avulla. Kustannuslaskelmien jälkeen tulimme siihen tulokseen, että kaatonousuja tehdään yksi 425–500 tasojen väliin. Tämän kaatonousu suunnittelin itse Deswikillä. Kaatonousu toteutettiin mahdollisimman pystysuorana. Perät louhittiin siten, että kaatonousu menee perien läpi, tällöin ei tarvitse louhia erillisiä oksia kuiluun ja myös kaatonousun louhintametrit vähenivät tällä tavalla toimittaessa. Näin toteutettuna kaatonousun kustannukset jäävät mahdollisimman pieniksi ja kaatonousua pysyttään jatkamaan, tasoväli kerrallaan, louhinnan edetessä. Kaatokuilun kustannusarvio tehtiin laskemalla louhinnan kustannukset AEF:llä olevien työvaiheiden hintatietojen perusteella. Peränajon hintana käytin Matias Suomelan minulle antamaa Kittilän kaivoksen perämetrihintaa. Kaatonousun louhintakustannuksia ar-

vioidessa käytin Jani Ollikaisen aiemmin tekemää avausnousun louhintakustannukset taulukkoa. Muokkasin taulukkoa siten, että sain sillä laskettua nousumetri hinnan läpi louhittuna. Tämän hinnan muutin vielä kuutiokohtaiseksi hinnaksi, jolloin pystyin tekemään taulukon, joka muuttaa kaatonousun kustannuksia nousun halkaisijan mukaan. Myös muut arvot ovat taulukossa helposti muutettavissa. Taulukko helpottaa kaatonousun kustannuksien laskemista ja sitä voidaan käyttää hyväksi mahdollisesti myöhemmin rakennettävien nousujen kustannuksia laskettaessa

8.2 Kaatonousujen sijainnin määrittäminen

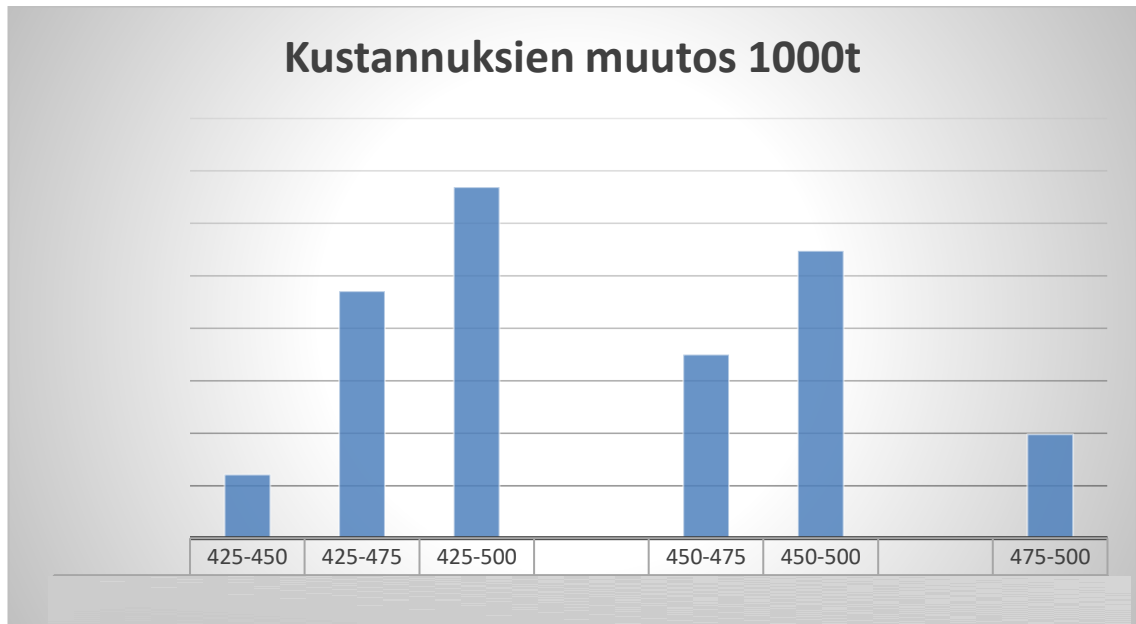
Kaatonousujen sijainnin määrittämisessä käytin apuna louhoksista lastattavia tonnimääriä, jotka muutin Excelin avulla tonnia per metri muotoon. Tästä pystyin laskemaan, mikä olisi keskeinen paikka kaatonousulle. Kannettavista tonneista laskettuna keskeisin paikka kaatokaatonousulle olisi ollut P171 kohdalla, toisella puolen yhdysperää. Mutta 500P171 kohdalla on pastaperä, joten siihen ei voi louhia kaatokuilua. Tästä syystä kaatokuilun paikaksi valikoitui P170 kohta.

8.3 Kuilujen kannattavuuslaskenta

Seuraavaksi laskin louhittavien perien ja kaatonousun kustannukset. Laskennan suoritin kolmella erilaisella kaatonousu vaihtoehdolla. Ensimmäisessä vaihtoehdossa laskin kustannukset kahdelle erilliselle kaatonousulle, joista toinen olisi tasojen 425–475 välissä ja toinen tasojen 450–500 välissä. Tässä vaihtoehdossa eri malmilajeja olisi pystytty lastaamaan eri kaatokuiluihin. Toisena vaihtoehtona laskin kustannukset kuilulle, joka oli tasojen 425–500 välissä ja välitasoilta olisi oksat kaatonousuun. Tässä vaihtoehdossa kaatonousuun pystyttäisiin lastaamaan kahdelta tasolta samanaikaisesti. Kolmannessa vaihtoehdossa laskin kustannukset kaatonousulle, joka olisi toteutettu mahdollisimman pystysuorana ja tasojen välinen nousu menisi perien läpi. Tämä vaihtoehto on kustannuksiltaan edullisin, mutta lastausta ei pystytä toteuttamaan kuin yhdeltä tasolta kerrallaan. Lisäksi turvallisuussyistä kaatonousulle johtavat perät, jotka jäävät autonomisen lastaustason ja kaatonousun tyhjiin lastaustason väliin, on turvallisuus syistä suljettava erityisen huolellisesti, esimerkiksi kivipenkalla.

Kustannuslaskennan seuraavassa vaiheessa laskin kustannuksien nousun, jos malmia pudotetaan alemmaksi. Laskennassa mittasin matkan kaatokuilulta vinotunnelille Deswik -kaivossuunnitteluohjelman avulla, tästä mitasta vähensin alkuperäisen tason kuljetusmatkan. Tasoperien kuljetusmatkan muutokseen lisäsin vinotunnelin matkan tasoperien välillä, josta sain kuljetusmatkan muutoksen.

Taulukko 1. Kustannusten muutos



Taulukossa 1 on esitetty kuljetuksen kustannusten nousu eri tasoilta kaatonou-suun lastattuna ja tyhjiin lastauksen tapahtuessa taulukosta ilmeneviltä tasoilta. Kustannukset on saatu kertomalla muuttunut kuljetusmatka malmitonnin kuljetus hinnalla. Euromääräinen tarkastelu on esitetty vain toimeksiantajalle palaute-tussa versiossa.

Lisäksi vertasin louhitun malmin kokonaiskustannuksia nykyisellä tuotantota-valla, verrattuna kaatonousujen kautta tapahtuvaan, tuotantoon. Tässä vertai-lussa huomioin pidentyneen kuljetusmatkan tuomat lisäkustannukset ja malmin siirrosta, sekä uudelleen lastauksesta aiheutuneet kustannukset kokonaisuu-nessa. Kaatonousulastauksessa laskin, mikä olisi kaatonousujen tapauksessa niiden mahdollinen kuoletusaika. Tämän jälkeen vertasin, paljonko louhoskiertoa voidaan nopeuttaa autonomisella lastauksella eri tuotantotavoilla toteutettuna,

verrattuna nykyiseen louhintamenetelmään. Nopeutetusta louhoskierrosta saatuja hyötyjä verrattiin eri lastaustapojen kustannuseroihin, niistä voitiin päätellä, mikä tuotantotapa olisi kustannustehokkain malli toimia. Lisäksi tutkin, olisiko kaatonousussa mahdollista käyttää automaattista annostelijaa, tällöin kaatonousun tyhjiin lastauksessa ei tarvittaisi erillistä lastauskoneita ollenkaan. Vertasin myös autonomisella lastauskoneella niin sanottuun jemmaan malmia siirtävä tuotantotapaa perinteiseen lastaukseen.

8.4 Suoraan kuorma-autoon lastaus

Yhtenä vaihtoehtona tarkastelin autonomisella lastauskoneella suoraan kuorma-autoon tapahtuvaa lastausta ja sen vaatimia layout-muutoksia. Lastaus tapahtuisi niin, että lastauskoneelle suunniteltaisiin ramppi, niin sanottu split-levelin, josta lastauskone lastaisi kuorma-autoja. Lastauskone kantaisi malmia rampin lähelle jemmakasaan savutuntien ja odotusten aikana. Kuorma-auto kuskit voisivat ilmoittaa operaattorille sopivassa kohtaa, ennen lastauspaikalle saapumista, että ovat kohta lastauspaikalla. Tällöin lastauskoneen kuljettaja tietäisi ajattaa koneen rampille, eikä jemmalle. Auton saavuttua lastauskone tyhjentäisi kauhan ja hakisi uuden kauhallisen läheltä jemmasta. Tällöin kuorma-auton lastaus olisi mahdollisimman nopeaa. Toisen kauhallisen jälkeen autonominen lastauskone hakisi kauhan louhoksesta sillä välin, kun uusi auto ajaa lastauspaikalle. Sandvikilla on olemassa uusi järjestelmä, joka estää autonominen lastauskoneen kauhan tyhjentämisen lastauspaikalle, sen ollessa tyhjä tai kuorma-auton ollessa väärässä paikassa.

Seuraavalla sivulla on esitetty malliesimerkki eräänlaisesta split-level ratkaisusta. Split-level olisi mahdollista sijoittaa myös esimerkiksi louhosperien väliin, jolloin eristäminen valoverhoilla olisi vielä yksinkertaisempaa.



Kuvio 8. Eräs splint-level ratkaisu (<http://www.navitecsystems.com/wordpress/fi/referenssit/sandvik/>)

Lastauspaikka tulisi olla autonomisen lastausalueen reunalla, koska kuorma-autolla ei voida ajaa autonomisen lastausalueen sisälle. Tämä kasvattaa keskimääräistä malmin kantomatkaa, mutta jos malmia kannetaan savutuntien aikana valmiiksi jemmaan, pystytään autojen lastausaika pitämään lyhyenä. Lastausramppeja jouduttaisiin louhimaan joka tasolle omansa, tämä nostaa jonkin verran lastaustavan kustannuksia. Laskelmieni mukaan tuotantotavalla päästäisiin aika lailla manuaalikoneen tuotantotehoihin, joka tarkoittaisi hieman pidentyneellä lastausajalla noin 61 kg kultatuotannon lisäystä kuukaudessa.

Toinen vaihtoehto olisi toteuttaa lastaus kuorma-autoon niin sanotulla puskevalla kauhalla. Tällöin autoa lastatessa ei tarvitse tehdä kippausliikettä, kauha vain vieään lavan reunan päälle, minkä jälkeen kauha työntää malmin auton lavalle. Tämä vaihtoehto ei vaatisi välttämättä lisälouhintoja ollenkaan, koska lastaus voisi tapahtua suoraan tiestön tasolta. Tämä taas antaisi joustavuutta laitteiston

käytölle eri tasoilla. Tasolla ei tarvitsi välttämättä olla muuta kun turvajärjestelmän komponentit ja Wlan-verkko. Hankaluutena tässä tuotantotavassa on, että kuorma-auton ajoreitti ja autonomisen lastauskoneen operointialue eivät saa leikata. Lisäksi mielestäni autonomiselle lastauskoneelle pitää asentaa betoninen stoppari lastausalueelle estämään lastauskoneen karkaaminen tuotantoalueelta tai törmääminen kuorma-autoon häiriötilanteessa. Lisäksi ratkaistava olisi, miten estetään luotettavasti ihmisten pääsy autonomiselle lastausalueelle

En löytänyt kummastakaan suoraan kuorma-autoon tapahtuvassa lastauksessa malliesimerkkejä, jotka olisivat olleet suoraan käytettävissä. Sen vuoksi laskelmat eivät välttämättä ole täysin luotettavia, vaan ne perustuvat minun laskelmiini ja Sandvikin henkilöstön työtehollisiin vertailuihin mahdollisimman samantapaisista tapauksista.

8.5 Kaivossuunnittelussa huomioitavaa autonomisilla lastaustasoilla

Tasoperien layout tulee pyrkiä pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, jotta autonomisen lastauksen vaatima Wlan toimisi mahdollisimman vähillä tukiasemilla. Kattava Wlan-verkko vaatii, että tukiasemien välillä olisi näköyhteys. Tästä johtuen tasoperistä tulee suunnitella mahdollisimman suorina, jotta Wlan-tukiasemien määrä voidaan minimoida ja toimintavarmuus pitää korkeana. Wlan-verkko vaatii tasolle valokuidun, joka mahdollistaa hyvän ja luotettavan tiedonsiirtonopeuden tasolta eteenpäin. Valokuitu pitää suunnitella tasolle hyvissä ajoin koska kaivoksella valokuitujen hitsaukset teetetään ulkopuolisella urakoitsijalla ja urakoitsijan paikalle saaminen saattaa kestää kauan.

Lisäksi layout-suunnittelussa pitää ottaa huomioon autonomisen lastauksen turvajärjestelmä ja operaatioaseman paikka. Turvajärjestelmä pitää voida asentaa niin, että se häiritsee mahdollisimman vähän kaivoksen muuta toimintaa. Jos samalla tasolla toisilla tasoperillä on toimintaa, niillä pitää pystyä toimimaan ilman, että autonomisen lastaus aiheuttaa niille rajoitteita. Lisäksi operaatioaseman paikka kannattaisi olla mahdollisimman lähellä autonomista lastausaluetta, jotta operaattorin olisi nopea käydä alueella mahdollisissa häiriö- ja hätätyötilanteissa.

Jos autonomista lastausta suoritetaan kaatonousuun, niin kaatonousun sijoitus paikka pitää miettiä tarkasti. Keskimääräiseen malmin kantomatkan voi laskea, kun tiedetään louhosten malmimäärät. Tällä perusteella kaatonousu voidaan sijoittaa mahdollisimman keskeiselle paikalle, jolloin lastaus pysyy mahdollisimman tehokkaana. Lisäksi jos tyhjiin lastaus toteutetaan toisella lastauskoneella, kannattaa kaatonousu sijoittaa niin, että lastauskone voi peruuttaa nousulta suoraan tasoperän toisella puolen olevaan perään. Tällöin lastauskone pystyisi työskentelemään korkealla tuotantoteholla. Myös kaatonousun tyhjennyksen tapahtuessa annostelijalla, tulee tämä huomioida tyhjiinlastausperän suunnittelussa. Annostelija vaatii asennukseen tasaisen valetun alustan ja tämän vuoksi ohjeissa suositellaan tekemään pieniä muutoksia kaatonousun alapäähän toimivuuden ja kestävyuden maksimoimiseksi.

Kaatonousuun tai avausnousuun lastatessa pitää ottaa huomioon, että malmi saattaa pölistä, kun sitä lastataan. Tämä tarkoittaa, että pölynsidonta ja tuuletus pitää suunnitella ajoissa ja siihen tarvittava infra rakentaa ennen tuotannon aloitusta. Pölynsidontan ja tuuletuksen tarpeen merkitys kasvaa kun tuotanto tapahtuu alueilla, joilla mahdollisesti on kuitumineraaleja sisältävää kivilajeja. Pölyseinät estäisivät kaatonousussa pölyn leviämisen mahdollisesti automaatiolastaus-tason ja tyhjiin lastausasojen väliin jääville tasoille. Lisäksi erilaisten vesisumuttajien, kuten lumitykkien käyttö, pölyn sidontaan voisi olla järkevää. Vesisumu sitoo kivi-pölyn itseensä ja estää sen leviämisen. Joka tapauksessa on huolehdittava, että pölynsidonta ja tuuletus ovat tarvittavalla tavalla hoidettu, jottei pöly pääse leviämään alueille, joilla työskentelee ihmisiä.

Kaivossuunnittelussa kannattaa ottaa myös huomioon, että autonominen lastauskone voisi mahdollistaa tulevaisuudessa erilaisia louhinta tapoja. Yhtenä vaihtoehtona vaihtoehtona mainittakoon malmion suuntainen louhinta. Tämä mahdollistaisi yksittäisten malmioiden louhinnan vähemmällä peränajolla, mikä taas tarkoittaisi kustannussäästöjä ja sitä kautta pienempien malmioiden kannattavan tuotannon. Lisäksi malmion suuntaisella louhinnalla voitaisiin louhoskokoa kasvattaa myös nykyisin kannattavilla louhoksilla, mikä myös vähentäisi peränajometrien määrää ja sitä kautta toisi kustannussäästöjä. Autonominen lastauskone voi ongelmitta operoida jopa sata metriä pitkissä louhoksissa, ainoa

louhoksen pituutta autonomisen lastauskoneen puolelta rajoittava tekijä on Wlan-verkkojen kuuluvuus, joka alkaa huononemaan noin sadassa metrissä, mutta tähänkin voidaan vaikuttaa erilaisilla suunta-antenneilla.

9 AUTONOMISEN LASTAUSKONEEN KÄYTTÖ

9.1 Tuotannon aloitus

Ennen autonomisen lastauksen aloittamista operaattori, tai operaattorin määräämä henkilö joka on saanut tarvittavan perehdytyksen, käy alueen huolellisesti läpi kävelemällä. Tällä varmistetaan, ettei alueella ole ihmisiä ja alueen ope-
rintireitti on esteetön ja hyväkuntoinen. Siirryttäessä uuteen louhokseen tulee operaattorin tarkastaa silmämääräisesti louhos ennen tuotannon aloittamista, tarkistus toistetaan noin neljän tunnin kuluttua. Tällä huomioidaan louhoksen olo-
suhteet, joita on vaikea havaita monitorien välityksellä. Aloittaessaan autonomi-
sen lastauksen tulee operaattorin ilmoittaa Tokeen VHF -puhelimella aloittavansa tuotannon. Ilmoituksesta pitää käydä ilmi, millä tasolla lastauskoneetta käytetään, sekä kaatonousuun lastattaessa, missä kaatonousun alapää sijaitsee. Autonomi-
sen lastauksen aloitettuaan operaattorin on tarkkailtava aluetta monitoreilta eri-
tyisen tarkasti ainakin kahdella ensimmäisellä lastauskierroksella. Tällä tavalla suoritetaan lisävarmistus ettei alueella ole ihmisiä tai muita ajoneuvoja. Työvuor-
on päättyessä operaattori tarkastaa lastauskoneen ja tiestön. Hän raportoi mah-
dollisista vioista ja turvallisuuspuutteista työnjohtoa. Seuraavan vuoron operaat-
torin ei ole tarvetta käydä tuotantoaluetta läpi, jos turvajärjestelmä on ollut akti-
voituna vuoronvaihdon ajan. Myöskään louhoksen tarkastukselle ei ole tarvetta, jos louhos on ollut normaali.

9.2 Autonomisen lastauskoneen huolto

Nykyinen lastauskoneiden huoltorytmi on noin 250 tunnin välein. Tämä tarkoittaa, että koneelle suoritetaan huolto joka kolmas viikko. Autonomiselle lastausko-
neelle tulee erilaisesta työrytmistä johtuen huomattavasti enemmän käyttötunteja kolmen viikon aikana, joten huoltoväliä tulee tihentää. Arvioidun käyttöasteen pe-
rusteella huolto tulisi suorittaa joko puolentoista tai kahden viikon välein, riippuen siitä, operoiko kone myös savutuntien aikana. Autonomiselle lastauskoneelle tu-
lisi suorittaa normaalin huollon yhteydessä AutoMine Lite -komponenttien huol-
lot ja tarkistukset. Autonomisen lastauskoneen huoltokohteita ovat järjestelmän virheilmoitusten tulkinta ja tarkistukset. Tämän perusteella voidaan tehdä johto-

päätöksiä siitä, onko koneessa viallisia komponentteja, jotka on korvattava uusilla. Seuraavaksi johdot, antennit ja muut järjestelmän komponentit tarkistetaan silmämääräisesti. Tämän lisäksi kamerat ja laserskannerit puhdistetaan tarkoitukseen sopivilla välineillä naarmutuksen välttämiseksi. Huollon lopuksi suoritetaan koeajo, jossa anturit testataan käyttämällä niitä ääri-asennoissa. Tällöin ohjelma näyttää, toimivatko anturit joka asennossa. Laitteiston mahdollisimman katkotta toimintaa ajatellen kannattaisi laitteiston antureita ja komponentteja olla varastossa valmiina, jottei niitä tarvittaessa jouduttaisi odottamaan toimitusta useita päiviä. Järjestelmän vaatima infra tulisi myös tarkastaa viikoittain, tarkastukseen tulisi kuulua vähintään tukiasemien toiminnan testaus signaalimittarilla ja valoporttien, sekä oheiskomponenttien silmämääräiset tarkastukset.

9.3 Huollot ja remontit

Huoltoihin kuluvaa aikaa arvioitaessa käytin Sandvikilta saamiani materiaaleja, internetistä löytyvää tutkimustietoa ja Pyhäsalmen kaivosvierailulla saamiani tietoja. Yleisesti tutkimuksissa ja saamissani tiedoista ilmeni, että huoltoihin menevä aika hieman kasvaa verrattuna manuaalikoneeseen. Tämä johtuu autonomisen lastauskoneen suuremmasta vuosittaisesta käyttötuntimäärästä. Toisaalta remonteihin vuosittain käytetty aika väheni huomattavasti, johtuen autonomisen lastauskoneen optimoivasta ajotavasta ja inhimillisten virheiden vähenemisestä. Sandvikilta saamieni tietojen mukaan huoltoihin ja remonteihin kuuluvan ajan pitäisi tulla pienenemään noin 30 %. Tästä tullaan myös keräämään tietoa, mutta koska tietoja pitää kerätä useita kuukausia mielellään vuoden ajan, ei tässä työssä tulla käsittelemään kerättyjä tietoja tarkemmin.

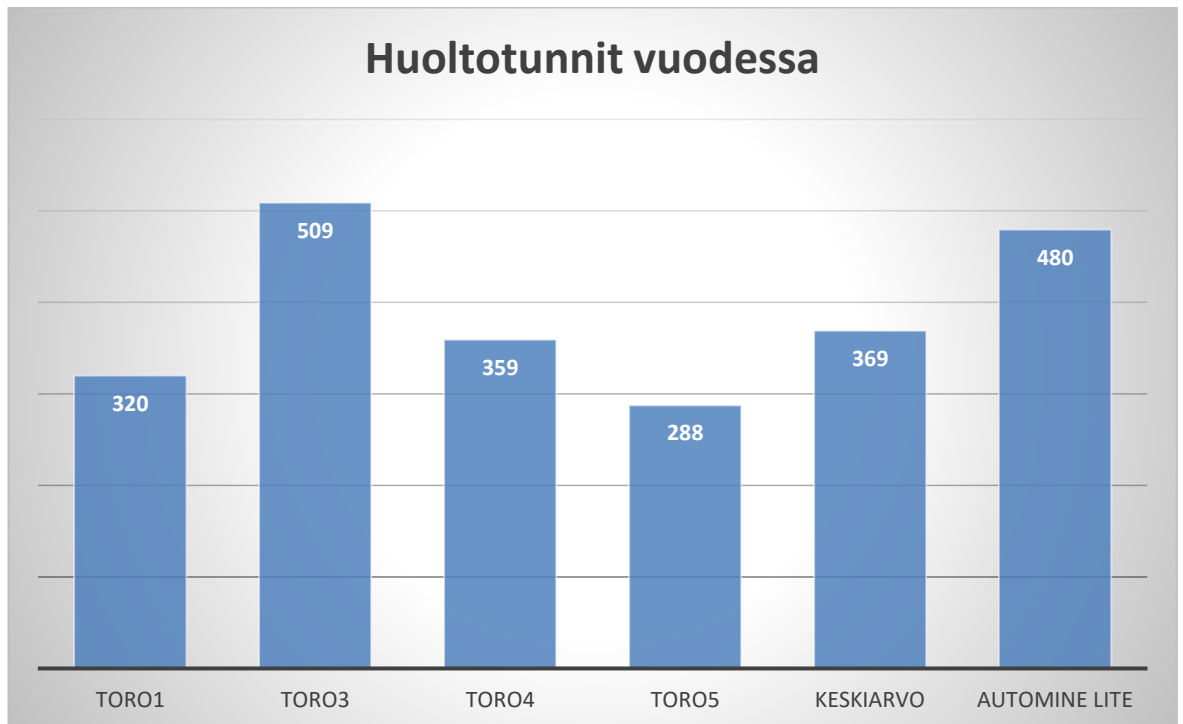
9.4 Huolto-ohjeet

Laitteiston mukana on toimitettu päivittäiset huolto-ohjeet ja viidenkymmenen tunnin välein suoritettavan huollon ohjeistus. Nämä huollot suorittaa operaattori päivittäisten tarkastusten yhteydessä ohjeistuksen mukaisesti. Tämän lisäksi järjestelmälle suoritetaan 250 tunnin huolto. Tämän huollon suorittamisesta vastaa kunnossapidon henkilökunta koneen normaalin 250 tunnin huollon yhteydessä.

9.5 Kunnossapidon työtunneista kerättyä dataa

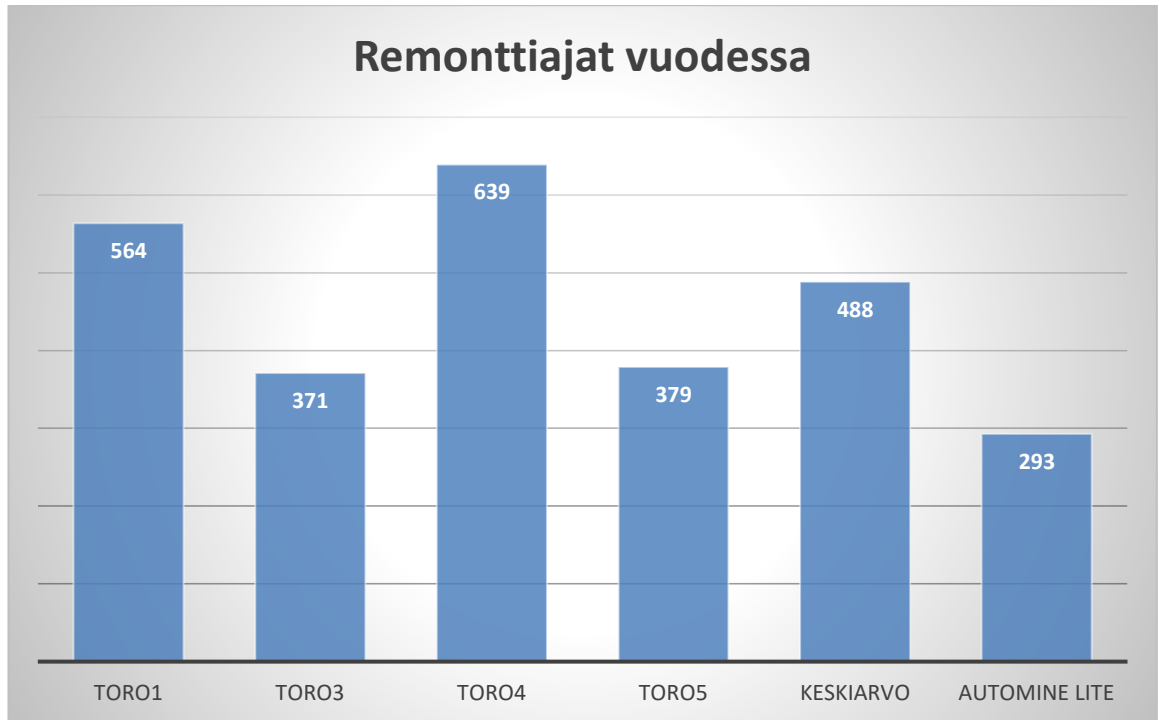
Keräsin InSite-palvelusta ja JDE-palvelimelta tietoja koneiden huoltoihin menevästä ajasta ja laskin niiden perusteella keskiarvot huolto- ja remonttiajoista. Näistä tiedoista on selvitysten mukaisella kertoimella laskettu AutoMine Lite -koneen huolto- ja remonttituntien arviot. Vertasin automaatiokoneen arvioituja tunteja ja Sandvikilta saatuja tietoja, joiden perusteella tein laskentataulukoiden ker-toimiin pieniä korjauksia. Sandvikin aineistosta ei käynyt ilmi käytettyjen koneiden ajotunteja, eikä vertailu jakson pituutta, joten luvut eivät todennäköisesti ole täysin vertailukelpoisia Kittilän kaivoksella.

Taulukko 2. Kunnossapidon tekemät huoltotunnit



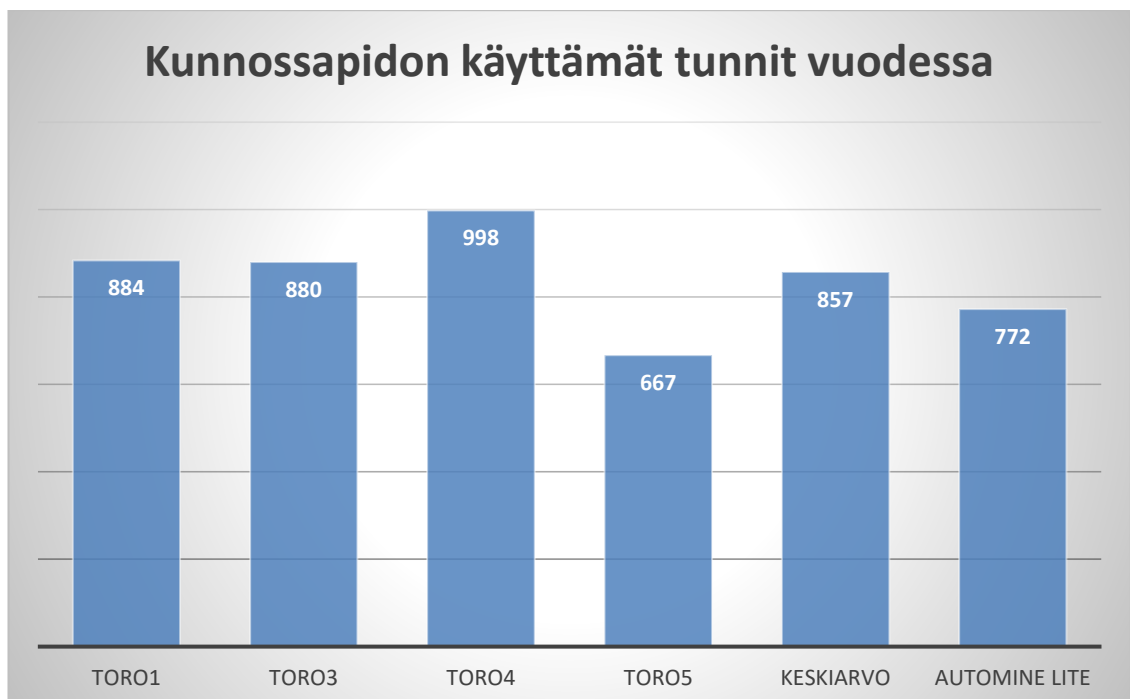
Taulukossa 2 ilmenee Kupin käyttämä tuntimäärä suunniteltuihin määräaikaishuoltoihin vuoden mittaisen tarkastelujakson aikana. Konekohtainen tuntimäärä on kerätty JDE-palvelusta ja niiden perusteella on laskettu keskiarvo, josta on selvitysten mukaisella kertoimella laskettu AutoMine Lite -koneen huoltotunti arvio.

Tauluko 3. Remontteihin käytetty tuntimäärä



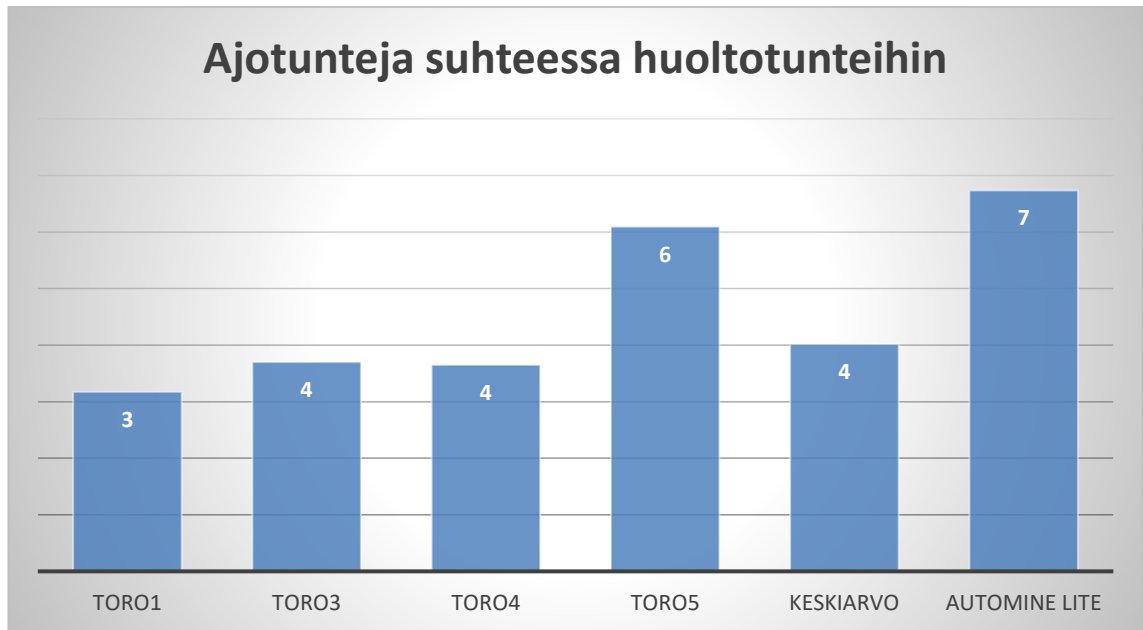
Taulukosta 3 voidaan todeta Kupin remontteihin käytetty tuntimäärä konekohtaisesti sekä keskiarvona. Lisäksi kuvaajasta ilmenee arvio autonomisen lastauskoneen vaatimasta remonttien tuntimäärästä.

Taulukko 4. Kunnossapidon huoltoihin ja remontteihin käyttämä aika yhteensä



Taulukossa 4 on esitetty kunnossapidon huoltoihin ja remontteihin yhteensä käytämä kokonaistuntimäärä vuoden mittaiselta seurantajaksolta.

Taulukko 5. Torojen ajotunnit suhteessa huoltotunteihin



Taulukko 5 kuvaa koneiden käyttötuntien suhdetta kunnossapidon tekemisiin huolto- ja remonttitunteihin. Kuten voimme todeta, uudempi Toro5 on pystynyt työskentelemään yhtäjaksoisesti kuusi tuntia yhtä kunnossapidon suorittamaa huolto- tai remonttituntia kohden.

Huomioitavaa on, että taulukoiden autonomisen lastauskoneen huolto ja remonttitunnit, sekä käyttötuntien suhde ajotunteihin, perustuvat Sandvikilta ja internestistä saatuihin tutkimustietoihin, joten luvut eivät välttämättä ole realistisia. Näistä asioista tullaan myöhemmin keräämään dataa, jonka perusteella saadaan realistinen kuva autonomisen koneen tarvitsemasta kunnossapidon määrästä ja käyttötunti / huoltotunti-suhteesta.

9.6 Järjestelmän ylläpitoon tarvittava henkilökunta

Laitteiston tarvitseman infran rakentamiseen ja huoltoihin, sekä lastauskoneen päällisten komponenttien ylläpitoon on varattava riittävän määrän ammattitaitoista henkilökuntaa. Mielestäni olisi järkevää, että joka vuorossa olisi osaavaa

henkilökuntaa töissä, esimerkiksi päivävuorossa kaksi ja yövuorossa yksi asentaja. Tämä lisäisi laitteiston toimintavarmuutta ja tuotantotehokkuutta, sekä auttaisi luomaan realistisen kuvan laitteiston toiminnasta. Jos testivaihe toteutetaan riittämättömällä henkilökunnalla, muodostuu laitteiston toiminnasta helposti virheellinen kuva.

Jatkossa henkilöiden, jotka toimivat autonomisen lastauksen parissa, tulisi toimia myös autonomisen porauksen parissa. Henkilöt voisivat aluksi toimia esimerkiksi kunnossapidon alaisina, jolloin kunnossapito voisi tarvittaessa tarjota heille muita töitä, kuitenkin niin että autonomisten koneiden automaatiokomponenttien ja infran ylläpito olisi heidän ensisijainen tehtävänsä.

Myöhemmin automaation lisääntyessä kaivoksella, olisi järkevää, että tuotannon autonomisista koneista ja järjestelmien vaatiman infran ylläpidosta vastaisi yksi tiimi. Tiimillä olisi esimies, jonka tehtäviin kuuluisi alueiden suunnittelu ja automaation kohdentaminen tietyille tuotantoalueille yhdessä tuotannon suunnittelun kanssa. Lisäksi tiimin vetäjä voisi myös työssään kartoittaa millaisia tulevaisuuden mahdollisuuksia automatisoimisella olisi kaivoksella ja mitkä olisivat kaikista parhaiten kaivokseen soveltuvia autonomisia järjestelmiä. Tiiminvetäjän alaisina toimivat vastaisivat autonomisten alueiden varusteluista ja ylläpidosta. Heidän toimenkuvaansa kuuluisi myös autonomisten koneiden automaatioon liittyvien komponenttien ja järjestelmien testauksesta ja huollosta huolehtiminen. He voisivat toimia lisäksi autonomisten lastauskoneiden reittien opettajina ja testajina, jolloin operaattorit olisivat koko ajan tuotannollisissa töissä. Tämä järjestely lisäisi kaivoksen henkilökunnan ammattitaitoa tuotannon autonomisiin koneisiin ja sitä kautta parantaisi koneiden tuotantotehokkuutta ja käyttöasteita.

9.7 Operaattorien vuororytmi

Laitteistoa tullaan käyttämään aluksi normaalivuororytmin mukaisissa vuoroissa, jolloin savutuntien aikainen aika jää hyödyntämättä. Laskelmieni mukaan kokeilun arvoista olisi, että laitteistoa käytettäisiin 24/7, eli operaattorit työskentelisivät katkeamattomassa työvuorojärjestelmässä, esimerkiksi kahdeksan tunnin työ-

vuororytmissä, työskennellä viisi vuoroa ja ollen viisi päivää vapaalla. Vaihtoehtoisesti järjestely voitaisiin toteuttaa kahdentoista tunnin työvuoroissa, jolloin työskennellä neljä vuoroa ja olla kuusi vapaalla. Työvuoroista olisi varmasti hyvä kuulla henkilökunnan mielipiteitä, oletusarvoisesti jälkimmäinen vaihtoehto on mieluisampi. Lisäksi kannattaa miettiä, tarvitseeko järjestelmä varaoperaattoreita mahdollisten sairaspöissaolojen varalle. Tämä asia kannattaa ottaa huomioon myös työvuoroja suunniteltaessa. Sairaustapauksissa vuoronpituus vaikuttaa suoraan laitteiston seisontatunteihin, ellei laitteistolle ole tarjota varaoperaattoria.

9.8 Lastauskoneen käyttö perinteisessä lastauksessa

Automaatiokomponenteilla varustettua lastauskoneetta voi periaatteessa käyttää perinteisessä lastauksessa ilman muutoksia. Autonomisen ohjauksen valintakytkin pitää turvallisuusohjeistuksen mukaisesti lukita manuaaliasentoon. Tällöin varmistetaan siitä, ettei autonomisilla ohjauslaitteilla saada missään tapauksessa otettua konetta hallintaan. Operoidessa automaatiokomponenteilla varustetulla lastauskoneella perinteisesti, pitää operaattorin olla erityisen huolellinen. Automaatio komponentit ovat herkästi vahingoittuvia ja kalliita. Mielestäni operaattorit jotka operoivat autonomisella koneella normaalisti, olisivat perinteisessäkin lastauksessa ensisijaisia operaattoreita. Heillä olisi operaattoreista paras tietotaito ja ymmärrys laitteen päällisistä komponenteista ja niiden rikkoontumisen mahdollisuuksista. Lisäksi laitteiston komponenteille, kuten laserskannereille, kannattaa rakentaa suojakotelot, jotka asennetaan paikoilleen manuaaliajon ajaksi. Mielestäni autonomisen lastauskoneen manuaaliajtoa kannattaa pyrkiä välttämään, näin koneen automaatiokomponentit pysyisivät parhaiten kunnossa.

10 TESTIT

10.1 Testien suunnittelu

Testien suunnittelun lähtökohtana oli, että järjestelmää tullaan käyttämään siten että autonomisella lastauskoneella siirretään malmia louhoksesta kaatonsuun tai jemmaan. Testien perusteella saaduista lastaustehoista ja tuotantokustannuksista pystytään tekemään johtopäätökset siitä, milloin kaatonsuun käyttö on järkevämpää kuin jemmaan lastaaminen. Testaus järjestetään kolmivaiheisena.

Ensimmäisessä vaiheessa keskitytään tarvittavan varustelun toimintaan saattamiseen ja tutkitaan miten varustelu saataisiin sujumaan mahdollisimman nopeasti. Testien aikana kerätään dataa henkilöstön työajoista autonomisen alueen varustelussa ja lasketaan varustelun kokonaiskustannukset. Lisäksi mietitään mitä komponentteja on taloudellisesti kannattavaa siirtää autonomiselta lastausalueelta toiselle.

Toisessa vaiheessa keskitytään järjestelmän toiminnan testaamiseen ja mietitään, tarvitseeko järjestelmän moitteeton toiminta muutoksia esimerkiksi WLAN-verkkoon. Tässä vaiheessa aletaan myös kerätä tietoa tiestön kestosta autonomisen lastauskoneen alla.

Kolmannessa vaiheessa keskitytään tuotantotehojen testaamiseen, eli siihen minkälaisilla työtavoilla järjestelmästä saadaan mahdollisimman hyvät tuotantotehot irti. Testeissä kerätään dataa operaattorien ajankäytöstä, lastauskoneen tehollisesta toiminta-ajasta, autonomisen lastauksen tuotantotehoista, päivittäisten huoltojen viemästä ajasta, turvajärjestelmän viemästä ajasta yms. Tässä vaiheessa tarkkaillaan myös tiestön kestävyyttä ja järjestelmän toimintavarmuutta sekä käyttökuluja. Tiestön kestävyteen tullaan kiinnittämään erityistä huomiota, koska se vaikuttaa olennaisesti lastauskoneella saavutettaviin tehoihin.

10.2 Tiedon kerääminen

Osana testejä suoritetaan tiedon kerääminen nykyisistä työmenetelmistä. Tässä vaiheessa kysellään operaattoreiden ajankäytöstä ja kerätään tonnitietoja lastauksesta. Tällä pyritään selvittämään normaali käytössä olevien koneiden työtehot ja tehollinen työaika, jotta käytettävissä olisi mahdollisimman monipuolista dataa jota hyödyntää loppuyhteenvedossa.

Lisäksi kokosin jo olemassa olevaa dataa kaivoksen InSite -palvelimelta. Keräsin lastauskoneiden kuukausittaiset moottoritunnit ja vuorokohtaisia lastaustehoja, joista muodostin Excelillä taulukoita ja kaavioita. Näistä tiedoista kerätystä datasta oli kuitenkin erittäin suuria päiväkohtaisia vaihteluita, joihin ei olemassa olevan tiedon perusteella löydy varmaa selitystä. Näistä asioista johtuen tein lastauskoneen operaattoreille vuororaportti kyselyn, jonka perusteella pystyin realistisemmin ja tarkemmin laskemaan koneiden työtehoja sekä työtehollisia työaikoja.

10.3 Testilaitteisto

Testilaitteistoon kuuluivat AutoMine Lite -komponenteilla varusteltu Toro 3 ja ohjainyksikkö. Ohjainyksikkö on asennettu pakettiauton takatilaan. Lisäksi testilaitteistoon kuuluu tasoperän varustelu, johon kuuluivat valoverhot ja Minelan-verkko.

10.4 Koejärjestelyt

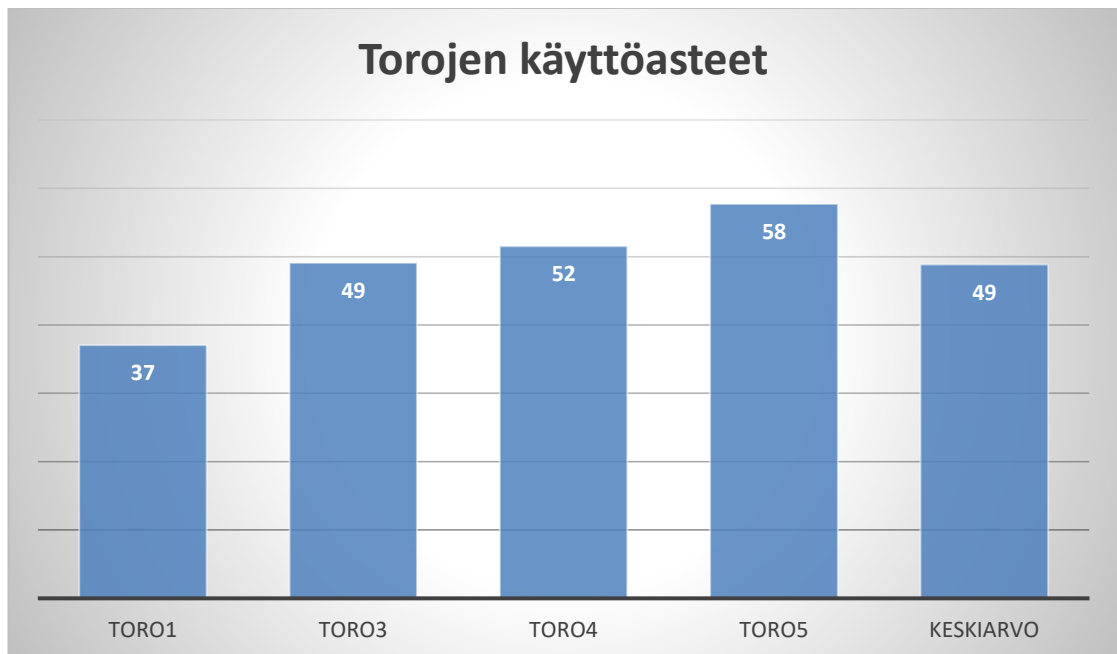
Koeympäristönä oli tasojen 425-500 tasoperä ykköset, jotka tulevat toimimaan jatkossakin automaatiolastausalueina. Tarkoituksena on suorittaa testit 425–475 tasoilla kaatonousuun, joka louhitaan tasoperä ykköseen perän 170 kohdalle. Kaatonousun alapää sijaitsee tasolla 500, josta tyhjiinlastaus tulee tapahtumaan. Tasolla 500 lastaus suoritetaan pelkästään jemmaan, koska tasolla 525 ovat perät vielä louhimatta, joten sinne ei voi tällä hetkellä louhia kaatonousua.

11 DATAN KÄSITTELYÄ

11.1 InSitestä kerätty data

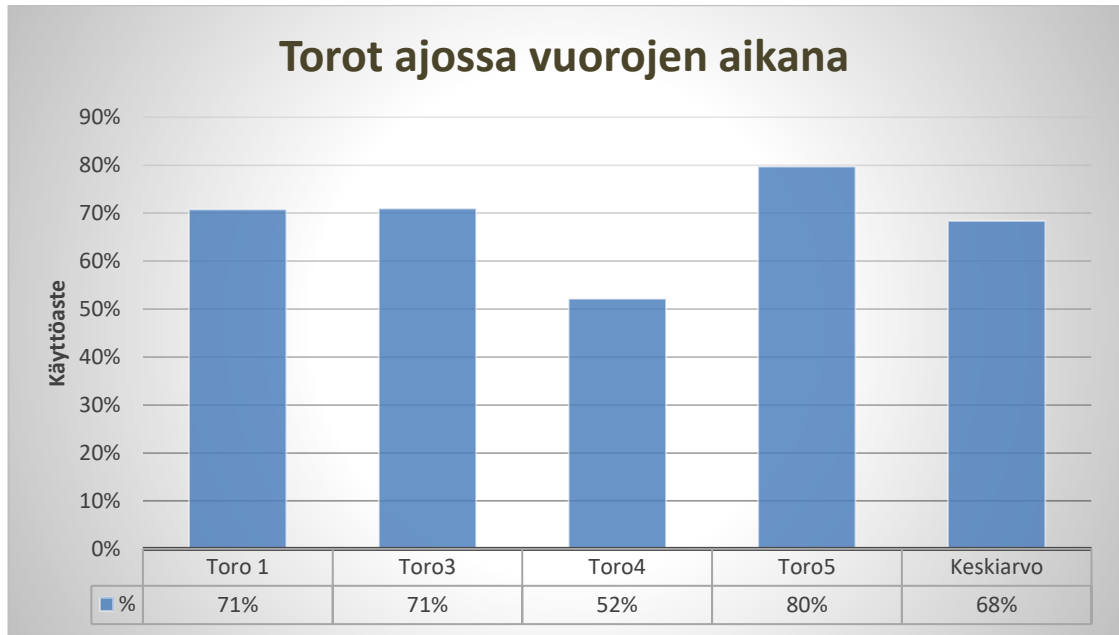
InSite-palvelusta kokoamalla tiedoista voidaan tulkita koneen käyttöasteita ja lastustehoja joko vuorokohtaisesti tai tuntikohtaisesti. Lisäksi laskin taulukoihin myös koneiden käyttöasteita sillä periaatteella, että kone oli joko käytössä tai ei. Tämän vuoksi taulukoista ilmenevät tehot ja käyttöasteet eivät huomioi sitä, jos kone seisoo esimerkiksi ruokailuun asti vaikkapa huollossa.

Taulukossa 6. Torojen käyttöaste prosenttiyksikköinä



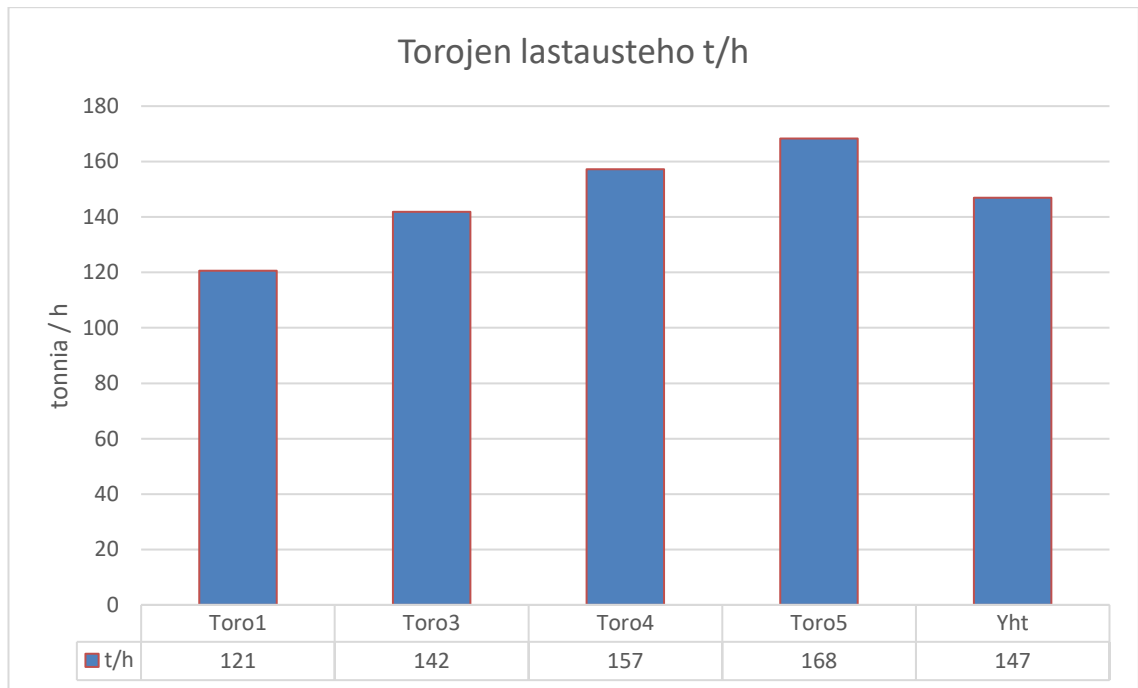
Taulukossa 6 ilmenevät Torojen käyttöasteet laskettuna InSiteen ilmoitetuista moottoritunneista. Taulukossa käsiteltävä data on kerätty joulukuun 2015 ja heinäkuun 2016 välisenä aikana. Käytännössä perinteisillä lastausmenetelmillä Toroille tulee tunteja noin puolet mahdollisista moottoritunneista, eli syystä tai toisesta koneet seisovat puolet vuorojen ajasta. Laskelmissa olen olettanut, että koneet olisivat käytettävissä joka vuorolla.

Taulukko 7. Torojen käyttöaste käytetyissä vuoroissa



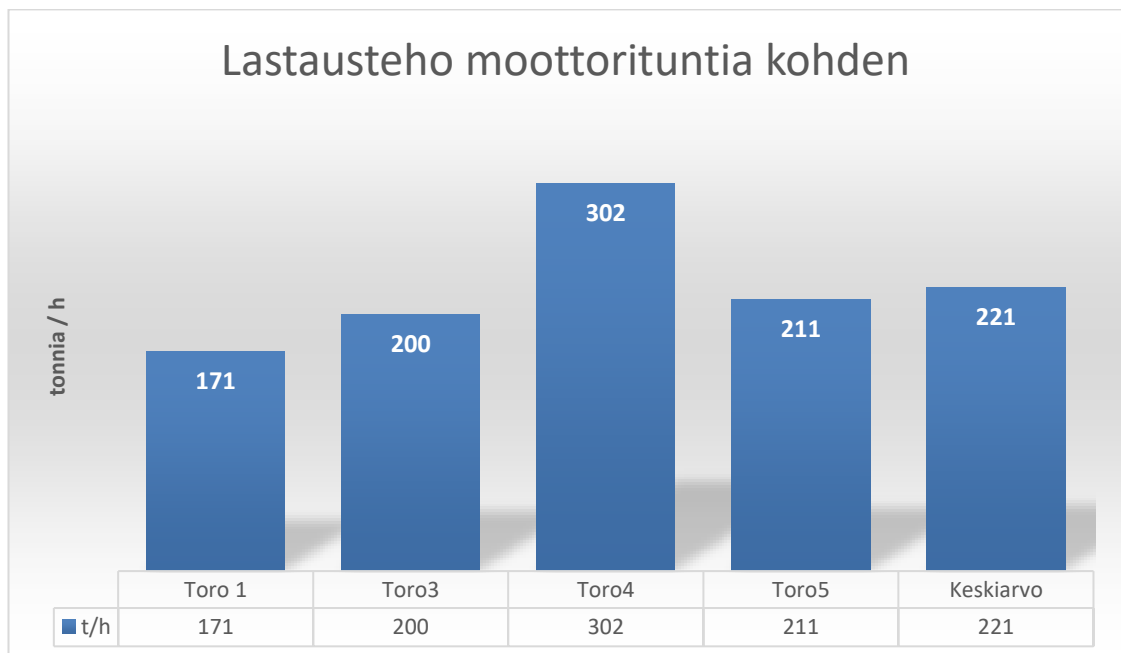
Taulukossa 7 on esitetty Torojen käyttöasteita vuoroissa, joissa koneet ovat olleet ajossa. Taulukosta voidaan todeta, että Torot ovat käynnissä vuorojen aikana keskimääräisesti 6 tuntia 50 minuuttia, joten seisonta-aikaa kertyy vuorossa 3 tuntia 10 minuuttia. On huomioitava, että tarkastellessa moottorituntien perusteella käyttöasteita, todennäköistä on, että moottoritunteja tulee enemmän kuin todellista työtä. Tämä johtunee siitä, että operaattorit tuskin sammuttavat konetta pienten odotusten ajaksi.

Taulukko 8. Torojen lastausteho



Taulukossa 8 on esitetty Torojen lastaustehoja elokuussa 2016 päivittäin lastattujen tonni keskiarvoilla laskettuna. Tämän jälkeen tulos on muutettu tuntikohtaiseksi dataksi jakamalla tulos vuoronpituudella. Toro lastaa keskimäärin 10 tunnin vuoron aikana 147 tonnia kiviainesta tunnissa.

Taulukko 9. Torojen lastausteho moottorituntia kohden



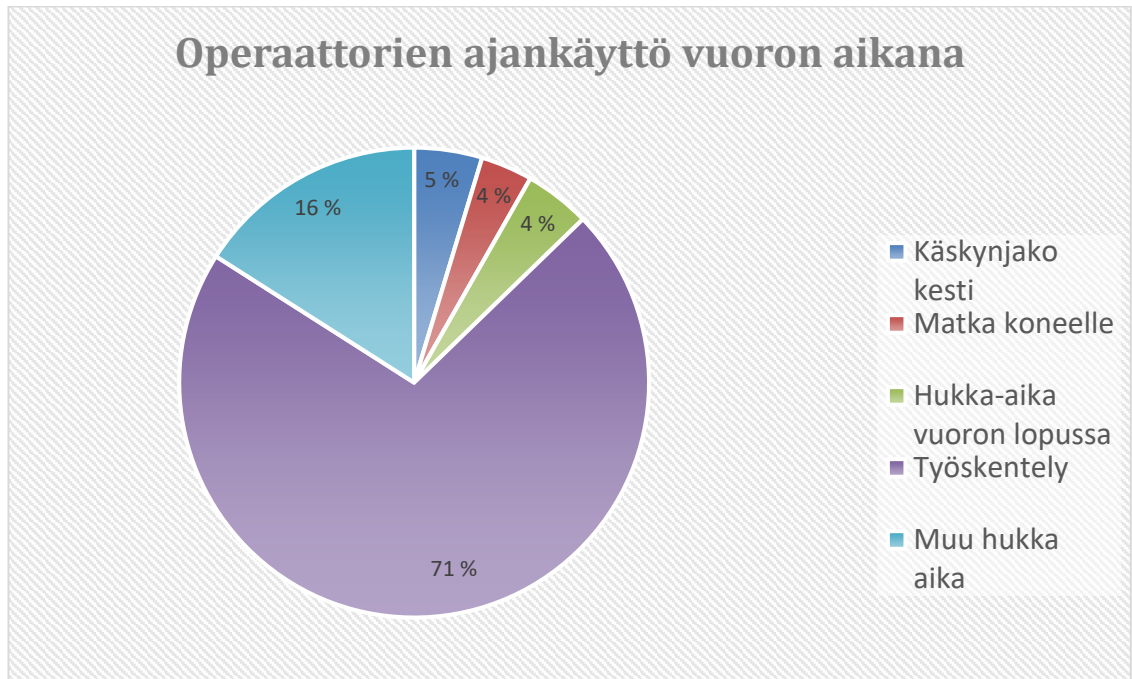
Taulukossa 9 on esitetty Torojen lastaustehoja verrattuna moottoritunteihin. Taulukko kuvaa, montako tonnia kiviainesta Torot siirtävät yhtä käytettyä moottorituntia kohden. Kahdessa edellisessä taulukossa ovat kaikki lastatut ja täyttöihin siirretyt tonnit, jotka on ilmoitettu Tokelle.

Poimin dataa InSitestä siitä, milloin koneilla oli lastattu vuoron aikana pelkästään louhoksia. Louhoslastauksen keskimääräiseksi tehoksi sain 2278t/vuoro eli 228t/h. Louhoslastauksen tehot vaihtelivat välillä 1350 - 3478 tonnia per vuoro. Oletuksena voidaan pitää, että suurimmat louhoslastaustehot ovat manuaalilastausta ja pienimmät kauko-ohjainlastausta. Tästä syystä vuororaporttikyselyssä haluttiin manuaali- ja kauko-ohjainlastaus tonnit eriteltynä, jotta niitä voitaisiin verrata erikseen automaatiolastauksen tehoihin.

11.2 Lastauksen vuororaporttien data

InSite-palvelusta kerätyistä tiedoista ei selvinnyt, kuinka usein lastatessa käytetään kauko-ohjainta verrattuna manuaalilastaukseen. Tämän lisäksi koneiden käyttöasteet herättivät tarvetta lisäkyselyihin. Aikaisemmin kerätyn datan perusteella ei selvinnyt, mistä syystä lastauskoneisiin ei tullut käyttötunteja kuin 6 tuntia 50 minuuttia per vuoro. Tähän asiaan vuororaportin perusteella perehdyttyäni ja dataa käsiteltyäni tulin siihen tulokseen, että koneilla ajetaan jonkin verran tunnelissa edestakaisin. Tässä asiassa työjärjestystä muuttamalla saataisiin aikasäästöjä. Lisäksi vuorojen alussa käskynjakoon voi kulua aikaa yli puoli tuntia.

Taulukko 10. Operaattoreiden ajankäyttö vuorojen aikana



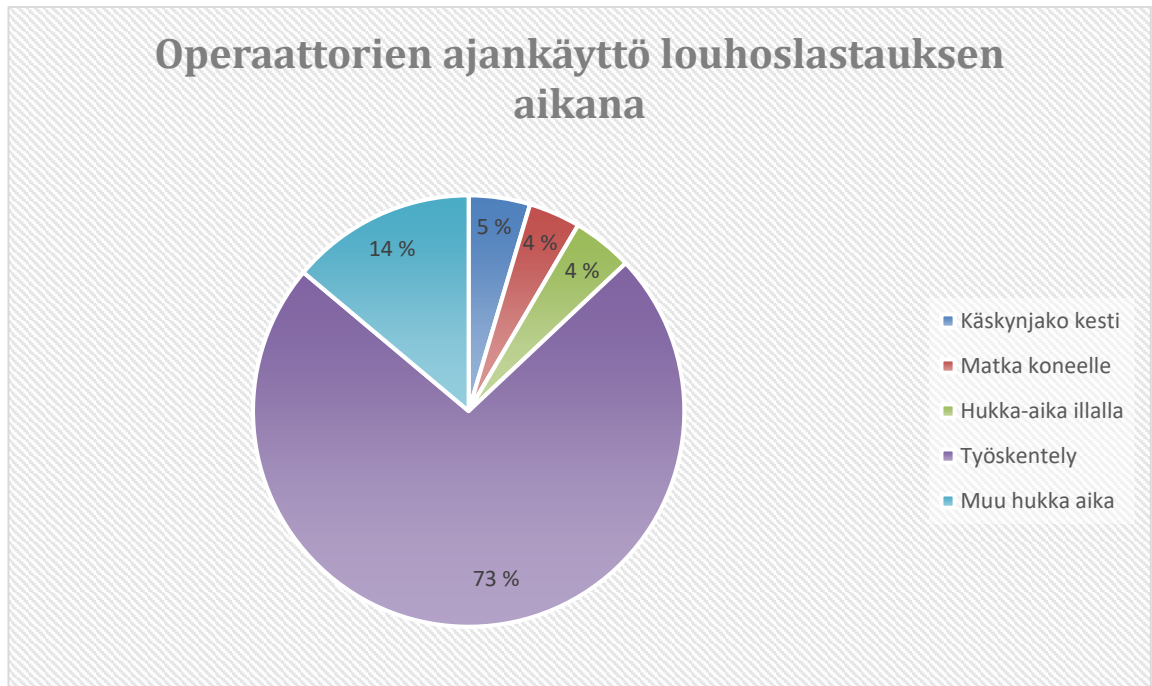
Taulukko 10 kuvaa lastauksen vuororaporttien vastausten perusteella koottua operaattorien keskimääräisen työajan käytön kuvaaja. Taulukosta 10 ilmenee, että operaattorit työskentelevät 71 % työajasta. Työskentelysarakeeseen sisältyvät ruoka- ja kahvitunnit, joihin aikaa kuluu reilusti yli puoli tuntia, usein jopa tunti.

Lastauksen vuororaporteissa olivat mukana myös perien lastaukset. Kaikista lastausraporteista on luotu myös keskiarvokuvaajat, joita en työssäni käsittele tämän enempää, koska automaatiolastauskone tulee käytännössä lastaamaan vain louhoksia.

11.3 Louhoslastaus

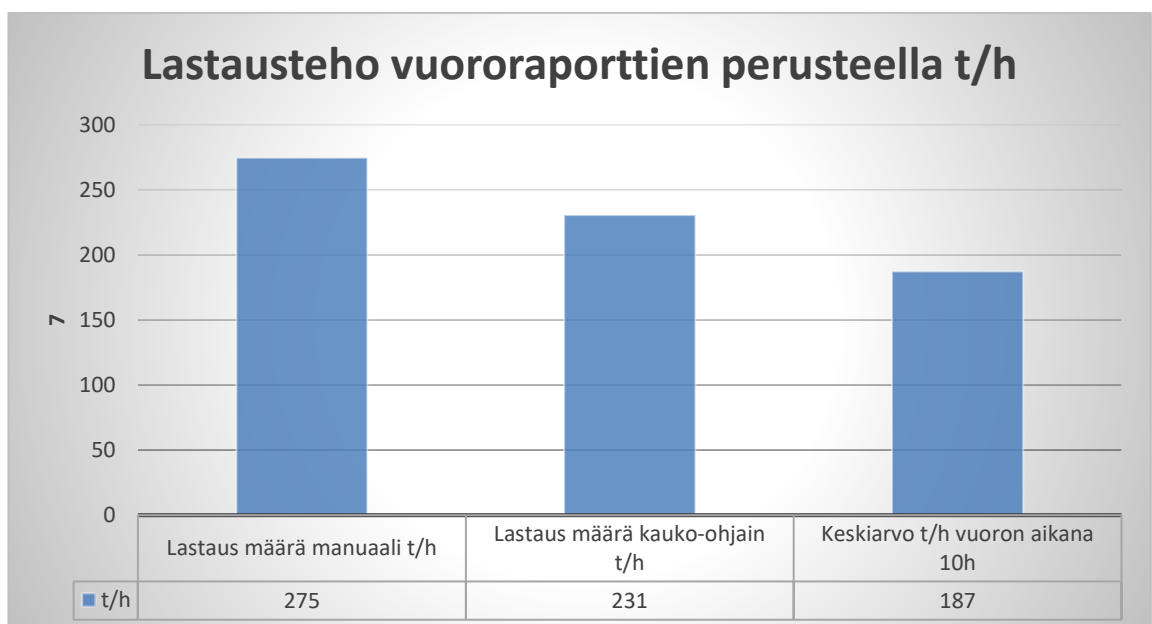
Tämän kappale käsittelee lastausraporteista kerättyä dataa, joka on kerätty pelkästään louhoslastauksesta.

Tauluko 11. Operaattorien ajankäyttö louhoslastauksessa



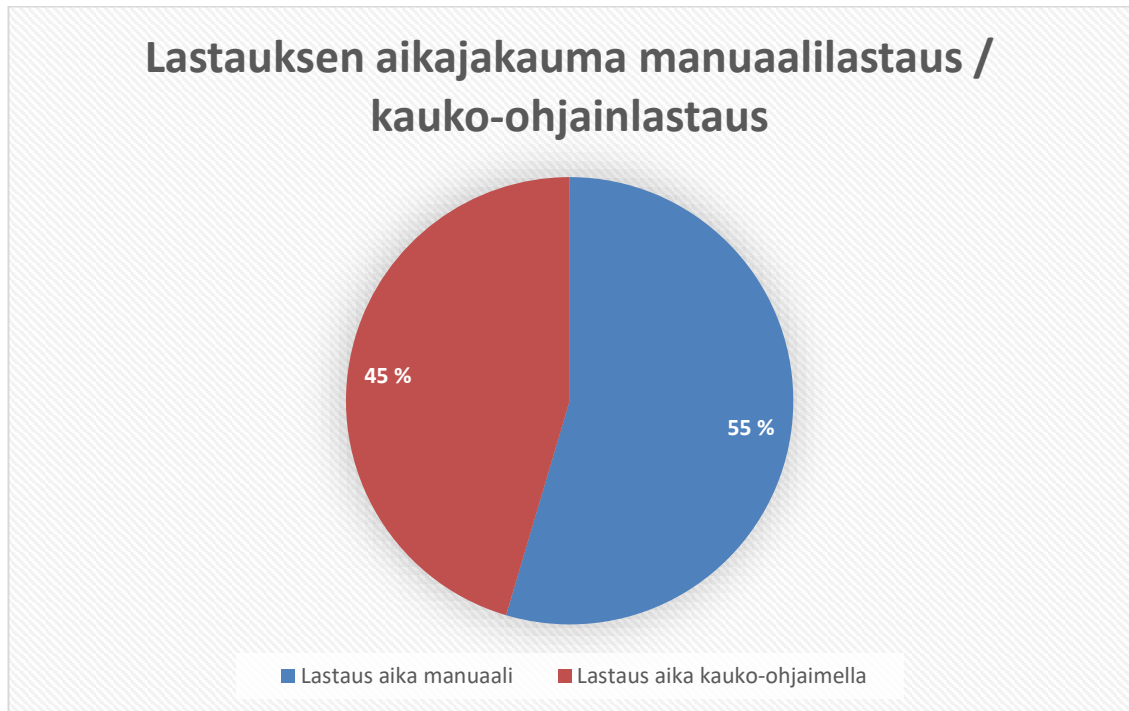
Taulukossa 11 on esitetty louhoslastauksessa operaattorien ajankäyttöä vuoron aikana louhoslastauksessa. Kuvaaja on hyvin pitkälle sama kuin ajankäyttö kaikessa lastauksessa.

Taulukko 12. Lastausteho vuororaporttien perusteella



Taulukossa 12 on esitetty vuororaporttien perusteella louhoslastauksen lastaus-tehojen keskiarvot lastausmenetelmittäin. Lastausmäärissä pelkkää louhoslas-tausta käsiteltäessä on kauko-ohjainlastauksen teho 82 % manuaalilastauksen tehosta. Keskimäärin vuorossa lastataan malmia 1870 tonnia.

Taulukko 13. Manuaali- ja kauko-ohjauslastauksen aikajakaumat



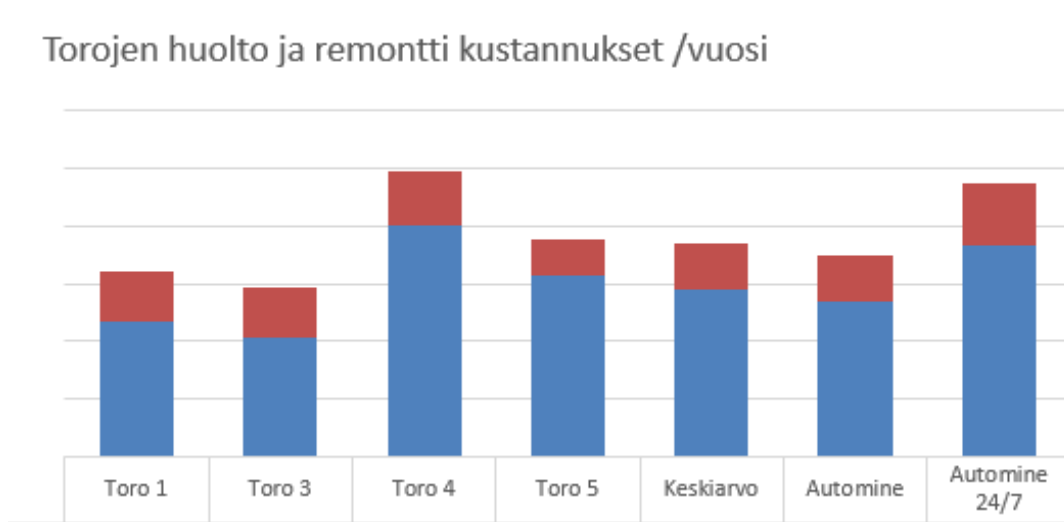
Taulukossa 13 on kuvattu lastausmenetelmien käyttöä louhoslastauksessa. Louhoslastauksesta 45 % suoritetaan kauko-ohjaamalla. Aikaisemmin kaivoksen käyttöinsinööri ja tuotannon ylityönjohtaja olivat kertoneet, että louhoslastauksesta 70 % suoritettaisiin kauko-ohjaamalla. Tästä johtuen arvelen, että vuororaportteihin ei joko ilmoitettu lastausmenetelmiä, tai sitten lastauskyselyn lyhyt- aikainen otanta ei anna oikeanlaista kuvaa kauko-ohjainlastauksen ja manuaalilas- tauksen aikajakaumasta. Tästä syystä käytin tuotantotehoja tarkastellessa lou- hoslastauksen vertailuarvoa kauko-ohjauslastaus 70 % ja manuaali lastaus 30 %. Tällä tavalla arvioin pääseväni realistisempaa lopputulokseen.

12 AUTONOMISEN LASTAUKSEN KUSTANNUKSET

12.1 Lastaustapojen välisten kustannusten vertailu

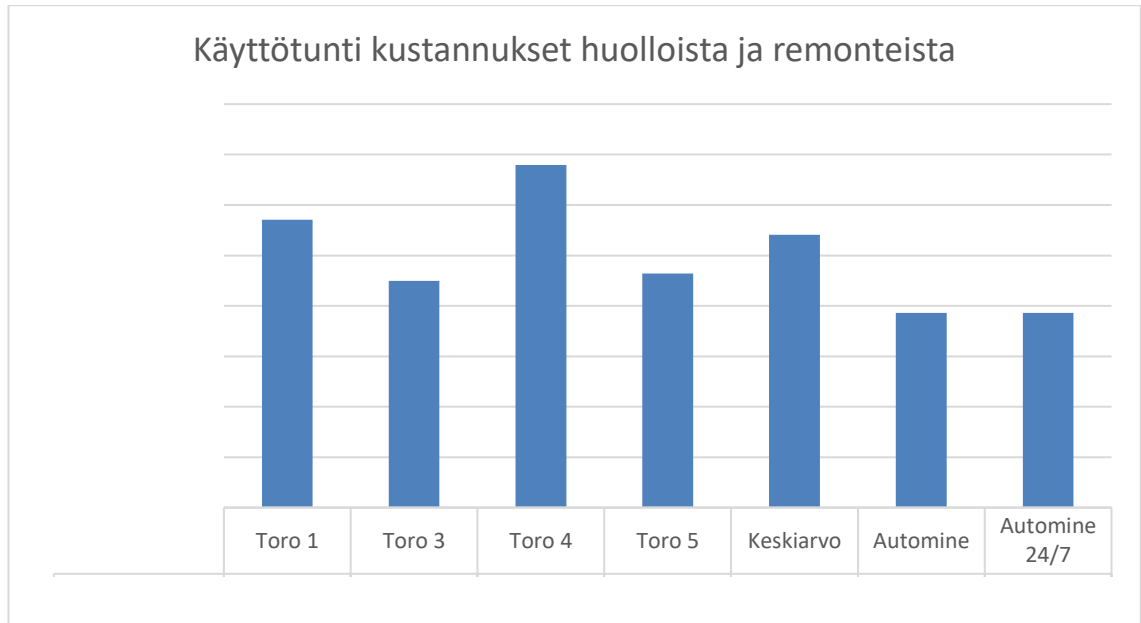
Tutkimuksessa haluttiin vertailla autonomisen lastauksen kustannuksia verrattuna perinteiseen tapaan lastata louhosta. Kustannuksiin laskettiin koko järjestelmän tarvitsema infran varustelu ja laitteiston käyttö, sekä huoltokustannukset. Järjestelmän tarvitseman infran kustannukset jaettiin tuntikohtaiseksi kuluksi tuotantoalueiden tuotantoaika mukaan arvioiden. Selvitysten perusteella todettiin normaalien käyttökulujen olevan yhtä suuret. Autonominen lastauskone vie polttoöljyä saman verran kuin perinteisessä käytössä ollut lastauskone ja operaattorikustannukset ovat myös käyttötuntia kohden samat. Jos järjestelmä muutetaan AutoMine Multi Lite -järjestelmään, jolla sama operaattori pystyy ohjaamaan useampaa konetta yhtäaikaisesti, voidaan operaattori kulut jakaa koneiden lukumäärällä. Huolto- ja remontti kustannuksiin en löytänyt luotettavaa tietoa, joten laskin kulujen muuttuvan samassa suhteessa kuin huoltojen ja remonttien määrät muuttuvat.

Taulukko 14. Torojen ylläpitokustannukset vuodessa



Taulukossa 14 on esitetty Torojen väliset ylläpitokustannukset kokonaisuudessaan vuoden ajalta. Tiedot on kerätty kaivoksen sisäisestä JDE-palvelusta aikaväliltä 1. syyskuuta 2015 ja 31. elokuuta 2016. Euromääräinen tarkastelu on esitetty vain toimeksiantajalle palautetussa versiossa.

Taulukko 15 Ylläpitokustannukset käyttötuntia kohden

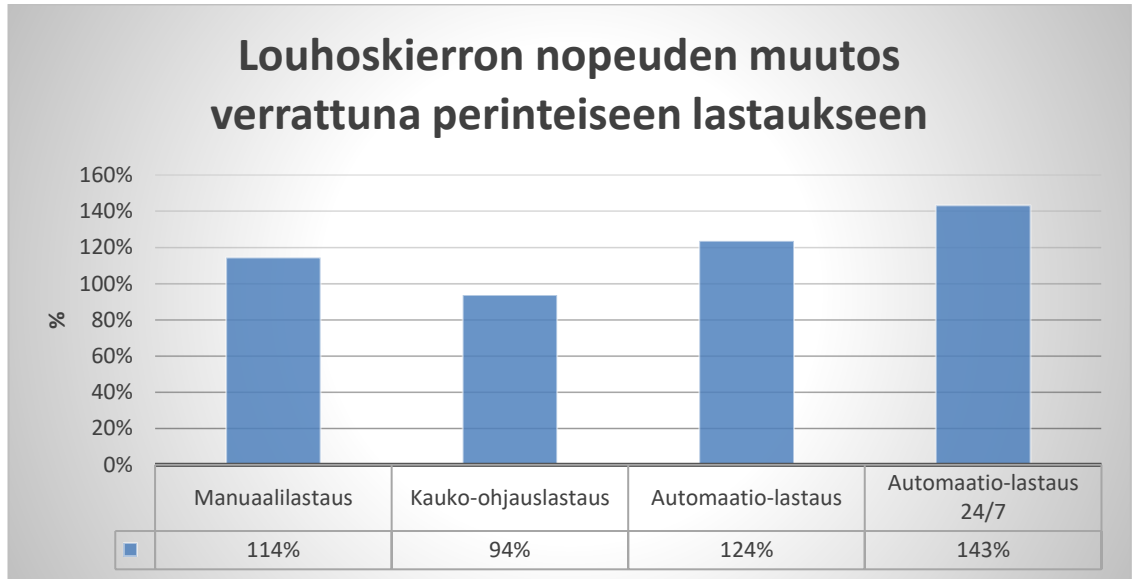


Taulukossa 15 on esitetty Torojen huolto- ja remonttikustannukset jaettuna käyttötuntien määrällä. Tällä tavalla on saatu laskettua, paljonko Toroilla tulee käyttökustannuksia huolloista ja remonteista yhtä käyttötuntia kohden. Euromääräinen tarkastelu on esitetty vain toimeksiantajalle palautetussa versiossa.

12.2 Louhoskiertonopeuden muutos

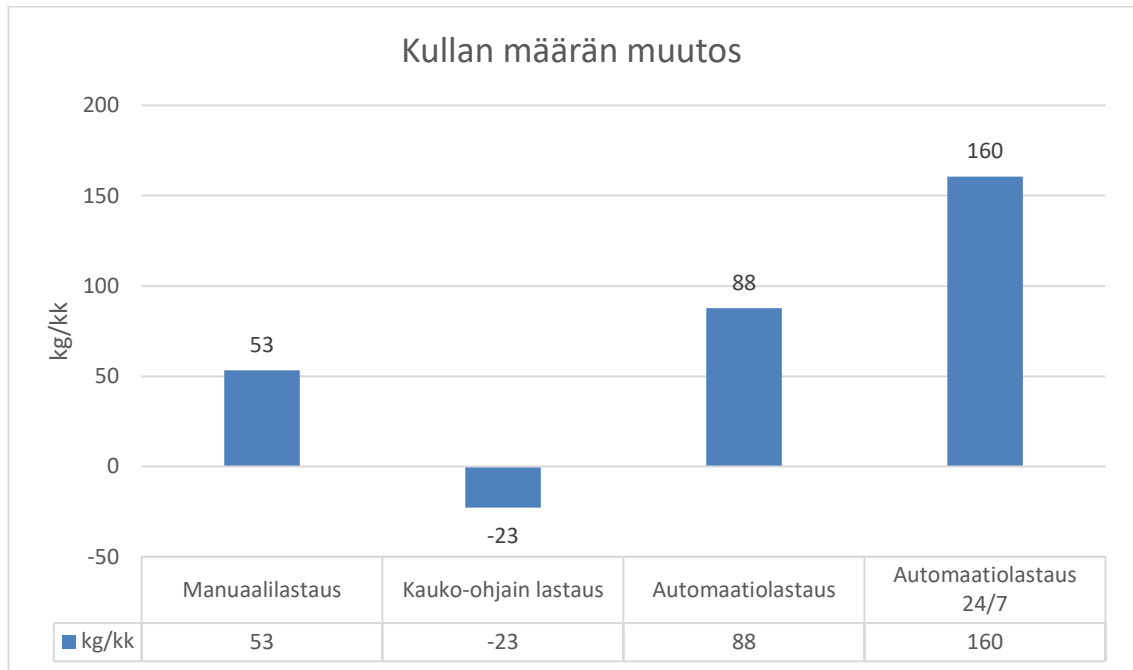
Louhoskiertonopeuden muutosta arvioitaessa käytettiin lastaustehon lähtöarvona kauko-ohjainlastauksen tehoarvoa. Selvitysteni mukaan muissa kaivoksissa esimerkiksi, Pyhäsalmen kaivoksessa, on päästy autonomisen lastauskoneella samoihin tuntikohtaisiin tehoihin kuin kauko-ohjainlastauksella. Tämän perusteella laskin, mitkä ovat autonomisen lastauskoneen vuorokausikohtaiset tehot verrattuna perinteisiin lastausmenetelmiin. Autonomisella lastauskoneella saadaan lastauksen tehollista työaikaa nostettua vuorossa tutkimusten mukaan noin 30 %. Lisäksi, jos tähän vielä lisätään savutuntien aikainen lastaus, tehollisen työajan muutos on merkittävä. Laskelmissa on otettu huomioon laitteistojen huoltoihin ja remontteihin arviolta kuluvat ajat ja ne on vähennetty tehollisesta työajasta.

Taulukko 16. Louhoskierron nopeuden muutos



Taulukossa 16 on esitetty selvitysteni perusteella tehty arvio louhoskiertonopeuden muutoksesta. Autonominen lastauskone lastaa hieman enemmän tonneja vuorossa kuin manuaalinen lastauskone. Savutuntien aikaisella lastauksella saavutetaan jo merkittäviä louhoskierron nopeutumista. Toki on huomioitava, että automaatiolastauskoneen siirtämät malmit joudutaan lastaamaan uudestaan manuaalisella lastauskoneella. Uudelleen lastauksen tehon maksimoimiseksi on erittäin tärkeää, että tyhjiinlastaus suoritetaan mahdollisimman optimoidusti. Kaatokuilua tai jemmaa tyhjennettäessä on vuoron aikana kyettävä ajamaan pintaan myös savutuntien aikana niihin lastatut malmit. Tämän vuoksi lastauspaikan pitää olla helposti operoitavissa, mielellään sellainen jossa lastauskone voi peruuttaa lastauspaikalta suoraan vastakkaiseen perään. Tämän jälkeen kuorma-auto peruuttaa tasoperää pitkin perän kohdalle, jossa lastari tyhjentää kauhan auton kyytiin.

Taulukko 17. Kullan määrän muutos



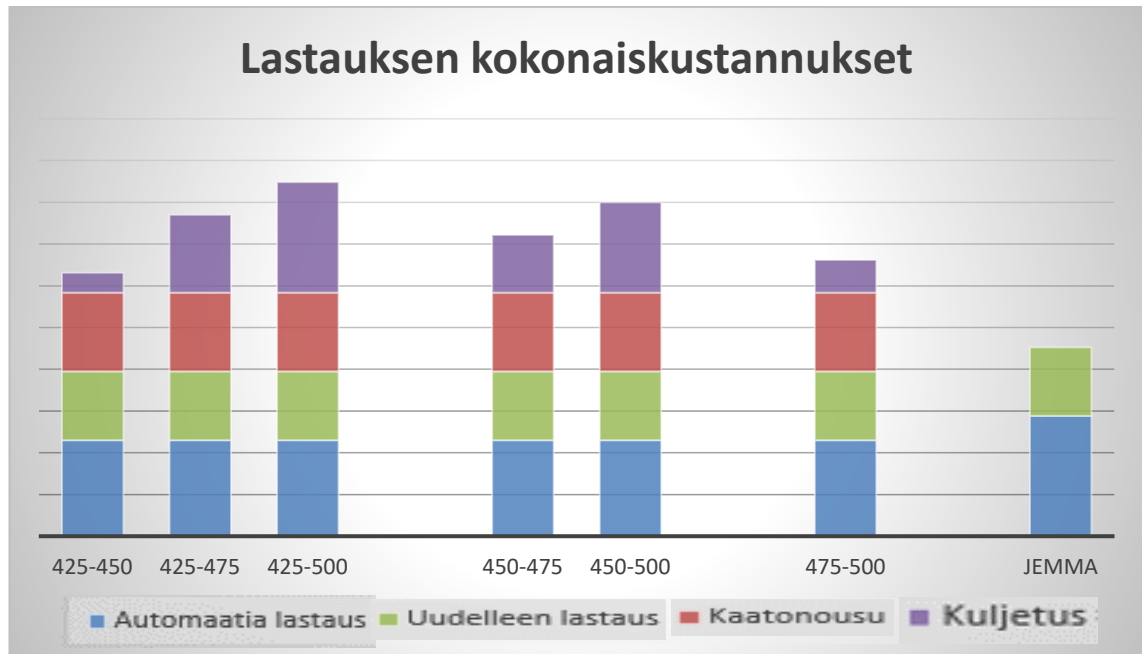
Taulukossa 17 ilmenee kullan määrän muutos perinteiseen lastaukseen verrattuna (manuaalilastaus 30 % ja kauko-ohjainlastaus 70 %). Autonominen lastaus nostaa ylös ajetun kullan määrää 88kg/kk, ja jos savutunnit hyödynnetään, järjestelmällä saadaan ylös ajetun kullan määrää lisättyä 160 kg kuukaudessa. Laskelmissa malmin kultapitoisuutena on käytetty 425–500 tasojen tasoperä 1:sten louhosten kultapitoisuuden keskiarvoa, mikä on noin neljä grammaa tonnissa. Kullan määrän muutosta tarkastellessa on huomioitava, että autonominen lastaus suunnitellusti toteutettuna sitoo myös toisen lastauskoneen tyhjiin lastaukseen.

12.3 Louhoskierron nopeuttamisen kustannukset

Tulevaisuudessa olisi mielestäni järkevintä suorittaa kaatokuilujen tyhjennys annostelijalla, joka annostelee kuorma-auton kyytiin ennalta määritellyn annoksen malmia. Tällöin toinen lastauskone vapautuisi tyhjiin lastauksesta muihin töihin ja tätä kautta tuotantokustannukset laskisivat. Annostelijoita on markkinoilla sellai-

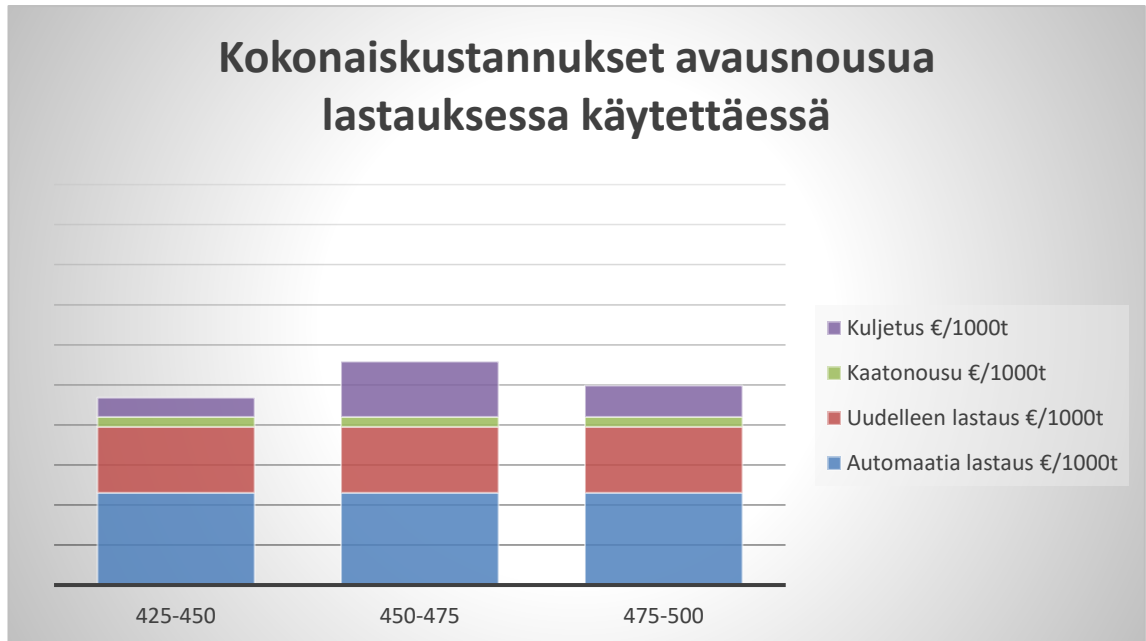
siakin, jotka voidaan kohtuudella asentaa toisen kaatokuilun alle malmion loputtua. Kittilän kaivoksella malmio on rikkonainen, joten tämä asia on syytä ottaa huomioon mahdollista annostelija investointia suunniteltaessa.

Taulukko 18. Lastauskustannukset / 1000t



Taulukosta 18 voimme havaita kaatonousun kautta tapahtuvan tuotannon kustannusjakauman 425–500 tasoperä ykkösissä. Euromääräinen tarkastelu on esitetty vain toimeksiantajalle palautetussa versiossa. Kuvaajassa on myös esitetty jemmaan lastauksen kustannukset. Lastauksen kokonaishinta on laskettu tyhjiin lastauksen teholla 370 tonnia tunnissa, mikä tarkoittaa 12 kuorma-autoa kuormalista.

Taulukko 19. Lastauksen kokonaiskustannukset avausnousua hyödyntäen



Taulukossa 19 on kuvattu autonomisen lastauksen kustannukset lastauksen tapahtuessa avausnousuun, jota käytetään kaatokuiluna. Euromääräinen tarkastelu on esitetty vain toimeksiantajalle palautetussa versiossa. Tässä vaihtoehdossa kaatonousun tuomat lisäkustannukset pysyvät hyvin pieninä, koska kaatonousun tekeminen ei vaadi lisätöinä, vain avausnousun auki ampumisen ja lisätuennan alapäähän.

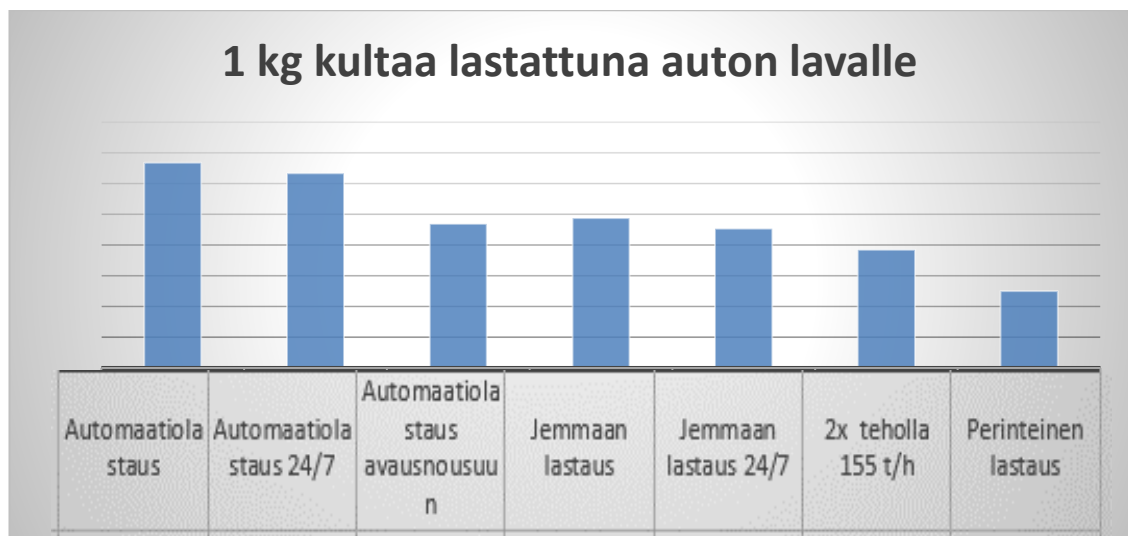
Kustannusvertailussa on myös huomioitavaa, että tuotantotapa sitoo kaksi lastauskoneetta louhoslastaukseen, ja joka lastatulle tonnille tulee kahden lastauskoneen kulut. Lisäksi tuotantotavalla ei päästä lähellekään kahden erillisen koneen tuotantotehoja, vaikka autonomista lastauskoneetta käytettäisiin savutuntienkin aikana. Tämän vuoksi kustannukset nousevat niin korkeiksi, että suosittelen autonomisessa lastauksessa käyttämään annostelijaa tyhjiinlastauksessa, avausnousua kaatonousuna käyttäen tai lastaamaan autonomisella lastauskoneella rampilta suoraan autoon. Näillä tavoilla toimimalla saavutettaisiin tuotantotehollisia hyötyjä siedettävillä kustannuksilla.

Lisäksi kaatonousussa annostelijan käyttöä puoltaa myös se, että kunnossapidon tietojen mukaan osa lastareista lastaa jatkuvasti kuorma-autoja yllilastiin. Tämä vaikuttaa kuorma-autojen voimansiirtojen kestävyYTEEN, sillä Scanioiden voimansiirto ei ole mitoitettu yli 30 tonnin lasteille. Hyvin yleistä on, että kuormakoot ovat

34 tonnia ja tämä lisää huomattavasti kuorma-autojen kunnossapitokustannuksia. (Seppälä 2016.)

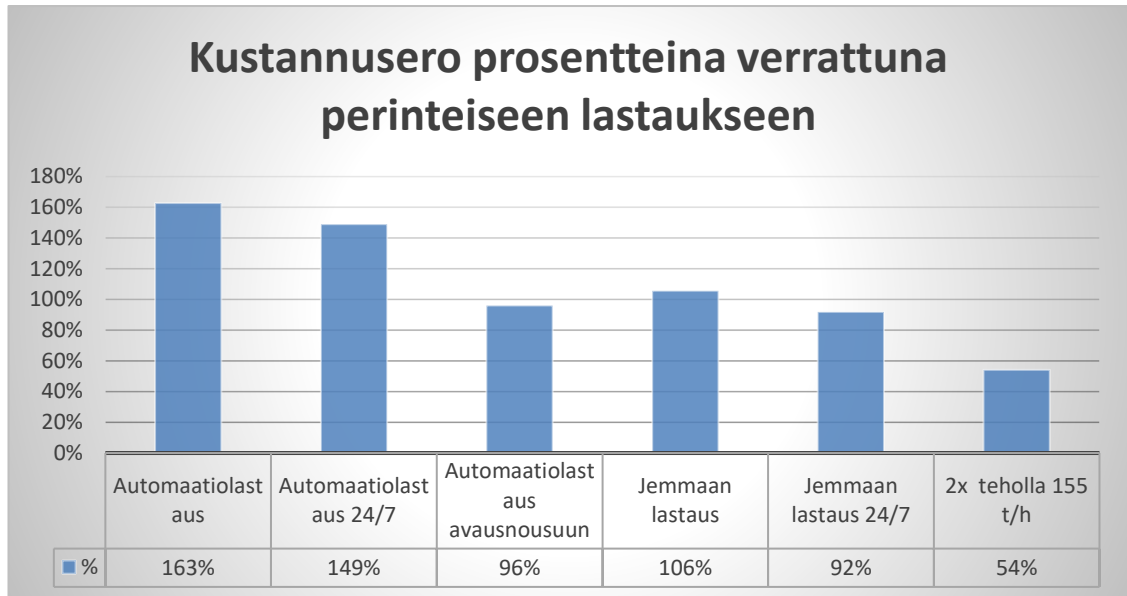
Jos autonomista lastauskonetta halutaan käyttää muuten kuin edellä mainituilla tavoilla, kannattaa kone kohdentaa kaikista epävakaimpiin tai mahdollisesti kuitumineraaleja sisältäviin louhoksiin, jolloin saavutetaan työturvallisuuden parantumisessa huomattavia etuja.

Taulukko 20. Lastauksen kokonaiskustannukset lastausmenetelmittäin



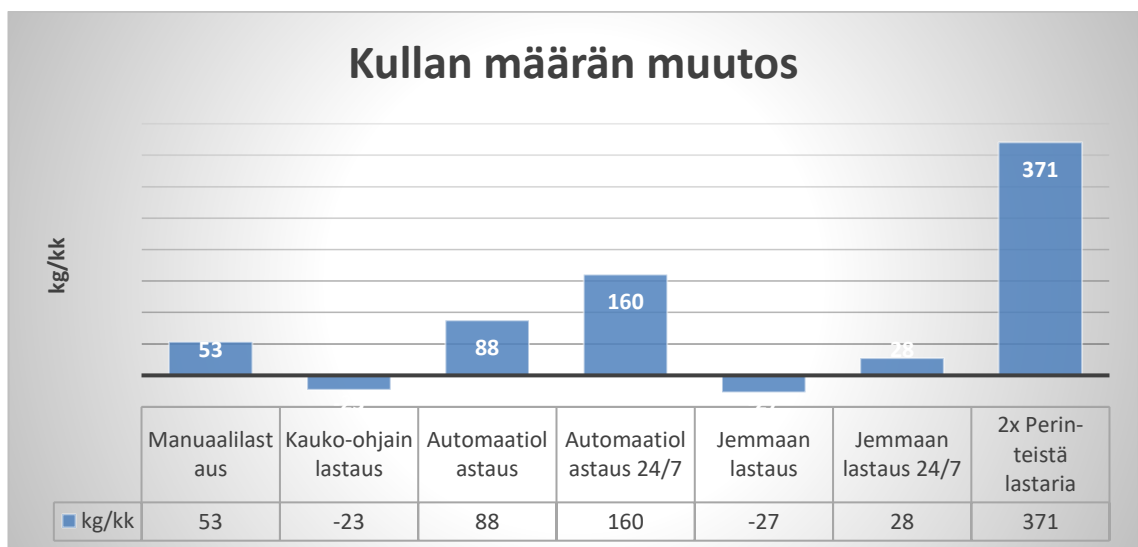
Taulukossa 20 on esitetty erityyppisten lastausten malmin lastauskustannukset kokonaisuudessaan kultakiloa kohden. Euromääräinen tarkastelu on esitetty vain toimeksiantajalle palautetussa versiossa. Taulukosta voidaan havaita, että autonominen lastaus on huomattavasti kalliimpaa suunnitellulla tavalla toteutettuna.

Taulukko 21. Lastauskustannusten vertailu



Taulukosta 21 voidaan todeta lastaustapojen kustannusten nousu verrattuna perinteiseen tapaan lastata. Taulukossa 54 % kalliimpi perinteinen lastaus on suoritettu kahdella koneella niin, että on saavutettu sama kullon määrän lisäys kuin autonomisella lastauksella, jolla operoidaan savutuntienkin aikana. Tässä vertailussa perinteisen lastaustavan koneiden tuotantoteho on ollut vain 155 tonnia tunnissa ja tällöin malmin siirrossa on selvitty samalla automäärällä, kuin jatkuvaräisellä autonomisella lastauksella.

Taulukko 22. Kullon määrän muutos tuotantotavoittain

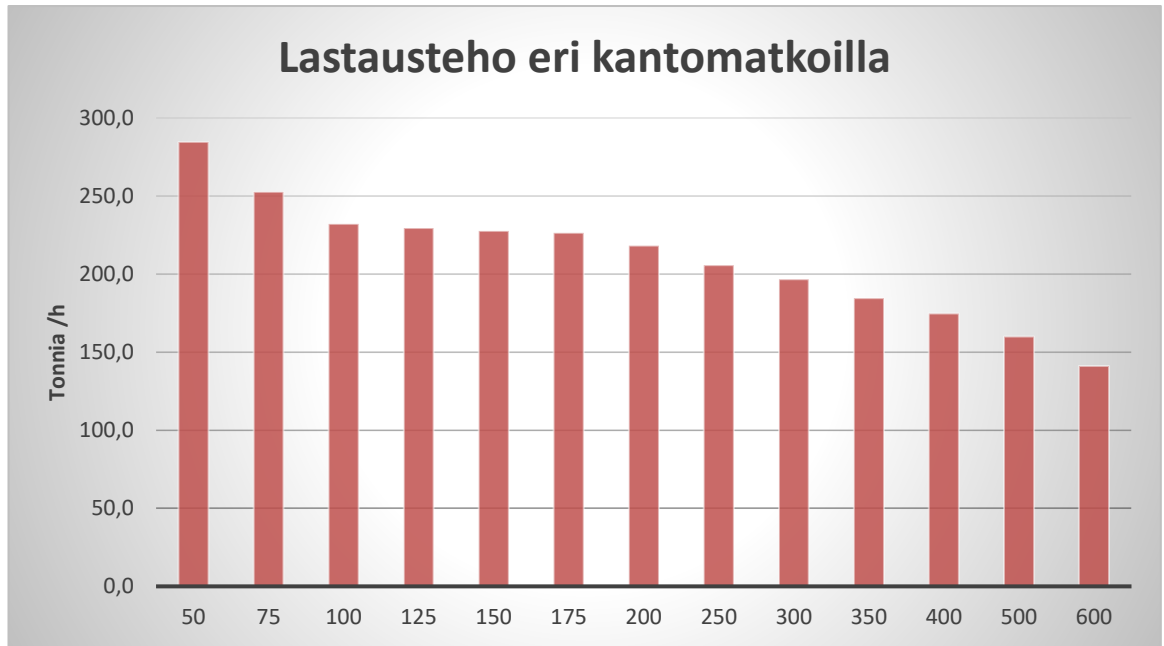


Taulukossa 22 on verrattu eri tuotantotavoilla saavutettu kullan määrän lisäys. Vertailuarvona on ollut yksi perinteinen lastauskone ja sitä on verrattu eri lastausmenetelmiin. Koska autonominen lastaus sitoo kaksi lastauskonetta, on yhtenä lastausmenetelmänä ollut kaksi perinteistä lastaria eri louhoksissa. On huomioitava, että menetelmä tarvitsee kaksi rinkiä autoja. Jos kuorma-autoja lisätään siten, että lastauskoneet voivat lastata normaalilla teholla saadaan kultatuotantoon 371 kg tuotannon lisäys kuukaudessa. Saman kultatuotannon lisäykseen, joka saavutetaan jatkuvarymisellä automaatiolastauskoneella, ei tarvita kappalemäärällisesti enempää autoja, koska lastauskoneen lastausteho voidaan tällöin laskea 155 tonniin tunnissa.

12.4 Malmin kantomatkan vaikutus kustannuksiin ja tuotantotehokkuuteen

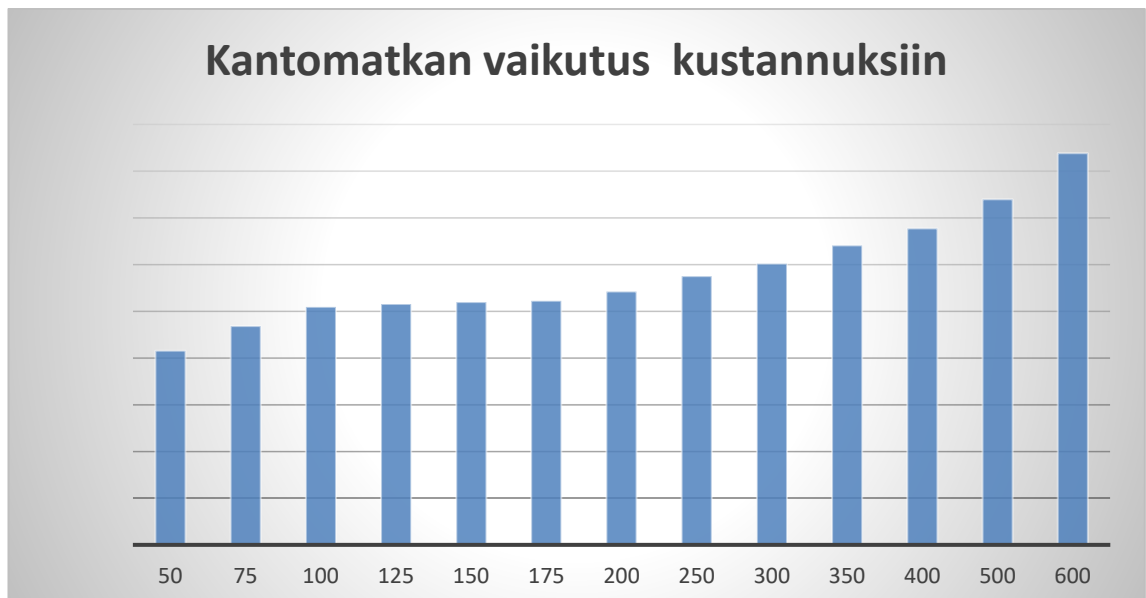
Malmin kantomatalla on suora vaikutus malmin lastauskustannuksiin. Kun malmin kantomatka pitenee riittävästi ja automaatiokone ei enää kykene nostamaan keskinopeuttaan, malmin lastaus hidastuu huomattavasti. Tästä johtuen kantomatka kannattaa pitää kohtuullisen lyhyenä. Arvioideni mukaan 300 metrin jälkeen tuotantoteho laskee niin paljon, että välisiirto kannattaa suorittaa kuorma-autoilla. Tämä on kuitenkin pohdittava aina tapauskohtaisesti, koska lastauspaikka ja kippauspaikan vastaanottokoneen tarve, sekä muut tunnelin olosuhteet vaikuttavat tähän asiaan suuresti.

Taulukko 23. Malmin kantomatkan vaikutus lastaustehoihin



Taulukosta 23 voi todeta malmin kantomatkan kasvun vaikutuksen tuotantotehoon. Taulukosta voidaan todeta, että malmin kantomatkan pidentyminen 200 metrin jälkeen pienentää lastaustehoa huomattavasti.

Taulukko 24. Malmin kantomatkan vaikutus lastauskustannuksiin



Taulukosta 24 voidaan havaita malmin kantomatkan vaikutus malmin lastauskustannuksiin. Taulukon kustannustiedot euromääräisenä on esitetty vain toimeksiantajalle palautetussa versiossa. Malmin lastauskustannus nousee samassa suhteessa kuin tuotantoteho laskee lastausmatkan pidentyessä. Taulukoiden pe-

rusteella voi tehdä päätelmiä, joiden perusteella voi tapauskohtaisesti tehdä arvioita siitä, milloin autonomisella lastauskoneella kannattaa kantaa malmia, ja milloin lastauspaikka kannattaa siirtää lähemmäksi ja siirto toteuttaa kuorma-autoilla. Taulukoiden lukuarvot ovat selvityksieni perusteella tekemiä arvioita, joten ne eivät välttämättä ole täysin realistisia. Malmin kantomatkan vaikutuksista tuotantotehoon tullaan keräämään realistista dataa autonomisella lastauskoneella suoritettujen testien yhteydessä.

13 TURVALLISUUDEN JA TAVOITTEIDEN KANNALTA SUOSITELTAVAT TUOTANTOTAVAT

13.1 Kaatonousun kautta tapahtuva tuotanto

Kaatonousun kautta tapahtuva tuotanto on tässä tilanteessa järkevä tapa aloittaa autonomisen lastauskoneen käyttöönotto. Kun tavoitellaan työturvallisuuden parannuksia ja autonominen lastauskone operoi louhoksessa, ei operaattori altistu kivipölylle, diesel -partikkeleille tai muille haitallisille hiukkasille. Operaattori operoi autonomista lastauskonetta turvallisen etäisyyden päässä tuotantoalueesta tai maanpinnalta pakettiauton takatilassa. Vaihtoehtoisesti operointi tapahtuu maanpinnalla tunnelin suuaukon läheisyydessä olevasta kontista, jossa operaatio-asema tulee olemaan testien alussa. Tyhjiinlastausta suorittava operaattori voi operoida koko ajan Toron hytistä tuetulla alueella, mikä parantaa operaattorin työturvallisuutta ja työergonomiaa.

Kaatonousua lastauksessa käytettäessä opitaan myös malmin käyttäytyminen kaatonousuissa ja voidaan tutkia, soveltaisiko kaivoksella käytettäväksi jokin siirrettävä annostelija, joka tuotantoalueen loputtua voitaisiin siirtää toiselle alueelle uuden kaatonousun alle.

Lisäksi kaatonousu tuotannossa opitaan käyttämään autonomista lastausta nousua hyödyntäen, millä voi olla merkitystä mahdollisen kuilun valmistuttua tuotanto- ja kustannustehokkaan tuotannon edistämiseksi.

13.2 Lastaus väliaikaiseen välivarastokasaan

Väliaikaiseen välivarastoon, eli jemmaan, malmia lastatessa tulee olla useampi jemma paikka, jotta autonominen lastauskone pystyy jatkamaan louhoslastausta tyhjiinlastauksen aikana. Tällöin alueella tulee olla myös useampia turvaportteja, joilla automaatiolastausaluetta pystytään muuttamaan kun tyhjiin lastaus alkaa. Toisaalta autonominen lastaus voidaan järjestää myös niin, että louhos lastataan tyhjäksi asti ennen tyhjiin lastauksen aloittamista. Tällöin tyhjiin lastaus tapahtuu

vasta autonomisen lastauskoneen siirryttyä seuraavalle louhokselle. Tämä tuotantotapa on hyvä siinä tilanteessa, kun alueelta halutaan lastata yksittäisiä pieniä louhoksia.

13.3 Tuotantoalueiden kohdentaminen

Autonominen lastaus kannattaa kohdentaa alueille, joilla on kalliomekaanisten ominaisuuksien vuoksi epävakaita louhoksia. Tällöin autonomisella lastauksella saadaan suuria hyötyjä työturvallisuuden parantumisella. Kun malmi kannetaan autonomisella koneella jemmaan tai kaatonousuun epävakaita louhoksista, voi manuaali operaattori työskennellä tuetuilla ja vakailla tuotantoalueilla. Autonominen lastauskoneen operaattori työskentelee operaattoriasemalla ja on näin ollen myös epävakaa louhoksen aiheuttamien vaarojen ulkopuolella.

Toinen kohdentamisalue ovat mielestäni alueet, jotka saattavat sisältää kuitumineraaleja. Normaalisti louhosta lastatessa operaattori joutuu jossain vaiheessa siirtymään kauko-ohjain lastaukselle. Tällöin operaattorilla on riski altistua kuitumineraaleille. Operaattori joutuu kulkemaan lastauskoneen ja kauko-ohjauskorokkeen väliä ja tällöin on alueilla pidettävä moottoroitua puhallin maskia. Maskia olisi pidettävä myös lastauskoneessa, koska pöly kulkeutuu kengissä ja vaatteissa, sekä ovesta ilman mukana ohjaamoon. Todellisuudessa puhallin maski haittaa operaattorin näkyvyyttä ja mukavuutta ohjaamossa, joten uskon, että tässä tulee laiminlyöntejä. Autonominen lastauskoneen operaattori operoi joko maanpinnalla tai pakettiauton takatilassa sijaitsevassa operaattoriasemassa, jolloin operaattori ei altistu pölylle. Siirretyn malmin tyhjiinlastausta suorittava operaattori ei tarvitse tuetulla alueella käyttää kauko-ohjainta, joten hän voi operoida kokoajan ohjaamosta käsin ja näin ollen ei altistu pölylle. Tässä työskentelytavassa pitää kiinnittää erityistä huomiota louhoskasteluun ja tuuletukseen, jottei malmi pölise tarpeettoman paljoa, eikä syntyvä pöly pääse leviämään tunnelissa. Lisäksi lastausalueen läheisyydessä pitää välttää muita töitä, jos alueen läheisyydessä työskennellään, on muistettava käyttää hengityssuojaimia. Käytettäväksi suositellaan moottoroitua puhallinmaskia.

14 KUSTANNUKSIEN PERUSTEELLA SUOSITELTAVAT TUOTANTOTAVAT

14.1 Tuotanto avausnousua hyödyntäen

Suosittelen käyttämään tuotannossa vaihtoehtoa, jossa autonomisella lastauskoneella lastataan louhoksen avausnousuun. Tällöin lisätoimenpiteinä ei välttämättä tarvittaisi kuin lastausalueelle toppari ja alempaan perään hieman lisätuentaa. Tästä johtuen kaatonousun kustannukset jäävät lähes olemattomiksi ja tuotannon edetessä voidaan lastauspaikkaa siirtää toisen louhoksen avaukseen tarpeen mukaan. Tässä vaihtoehdossa ei pystytä samalla tapaa, kuin kaatonousun tapauksessa, valitsemaan tehokkainta lastauspaikkaa. Kuitenkin hyvillä paikan valinnoilla voidaan lastaus pitää tarvittavan nopeana, lisäksi autonomisen lastauskoneen malmin kantomatka lyhenee, kun tuotannon edetessä lastauspaikka voidaan siirtää lähemmäksi operoitavaa louhosta. Kustannuksiltaan vaihtoehto on noin 50 % kalliimpi, olettaen että tyhjiin lastauksessa päästään 370 tonnia tunnissa tuotantotehoihin. Jos tyhjiin lastaus tapahtuu 306 tonnia tunnissa vauhdilla, nousevat kustannukset lähes 100 % kalliimmaksi verrattuna normaaliin tapaan lastata. Jos lastausta verrataan perinteiseen tapaan lastata, kahdella erillisellä koneella, saavuttaen saman louhoskiertonopeuden muutoksen ovat tuotantotapojen kustannukset lähellä toisiaan. Mutta jos kahdella lastauskoneella lastataan täydellä kapasiteetilla, jää autonominen lastaus selvästi tuotanto- ja kustannusvertailussa perinteisistä lastauskoneista. On kuitenkin huomioitava, että jos kahdella perinteisellä lastauskoneella lastataan täydellä teholla, niin se vaatisi huomattavasti lisää kuorma-autoja.

Avausnousun käyttöä puoltaa myös se, että avausnousu on nopeasti louhittavissa tarvittavaan paikkaan. Jos jollain tasolla ilmenee yllättäen epävakaita louhoksia, olisi järjestelmä helposti siirrettävissä kyseiselle alueelle. Tämä voisi tapahtua kohtuullisessa ajassa, koska ennen tuotannon aloittamista ei tarvitse louhia kuin sopivaan louhokseen avaus ja suorittaa lisätuenta avausnousun alapäähän.

Avausnousun käyttö kaatonousuna mahdollistaisi järjestelmän käytön joustavasti ja kustannustehokkaasti ympäri kaivoksen. Kun kaivokseen on asennettu Wlan-

verkko, ei tuotantoalueelle tarvitse asentaa kuin turvaportit ja Wlan-tukiasemat operoitaviin tuotantoperiin. Hyvällä suunnittelulla ja kohdentamisella olisi järjestelmällä sekä louhoskiertonopeutta että työturvallisuutta parantava vaikutus.

14.2 Tuotanto kaatonousuun

Tuotanto kaatonousuun voisi olla järkevää annostelijan kanssa toimittaessa. Tällöin toinen lastauskone vapautuisi muuhun tuotantoon ja autonomisella lastauskoneella saavutettaisiin todellista louhoskiertonopeuden paranemista. Näin toimittaessa olisi helpompi perustella nousseita tuotantokustannuksia nopeutuneella louhoskiertonopeudella. Mutta jos tyhjiin lastaus suoritetaan toisella lastauskoneella, tällöin tuotantotapa ei ole kilpailukykyinen kustannusvertailussa perinteiseen tapaan toimia. Autonomisella lastauksella ei päästä lähellekään kahden perinteisen lastauskoneen tuotantotehoja, vaikka autonomista lastausta suoritettaisiin savutuntienkin aikana. Tuotanto on kaksi ja puoli kertaa kalliimpaa kun tyhjiinlastaus suoritetaan toisella lastauskoneella, verrattuna perinteiseen tuotantotapaan, vaikkei malmia pudotettaisi kuin yksi tasoväli alaspäin.

14.3 Suoraan autoon lastaus

Autonomista lastauskonetta voisi olla järkevää käyttää myös niin, että lastauspaikalla olisi ramppi, eli niin sanottu split-level, mistä autonominen lastauskone lastaisi hieman normaalia lattiatasoa ylempää kuorma-autoja. Tällä tavoin voitaisiin parantaa näkyvyyttä kuorma-auton lavalle ja sitä kautta helpottaa operaattorin työtä. Tuotantotapa kannattaisi toteuttaa siten, että autonomisella lastauskoneella siirrettäisiin savutuntien aikana malmia lähelle ramppia, josta lastauskoneen olisi nopea hakea auton odottaessa toinen kauhallinen malmia. Auton lähdettyä, ja uuden auton ajaessa rampille, autonominen lastauskone voisi hakea kauhan malmia louhoksesta. Tällä tavalla toimittaessa saataisiin tuotantoa tehostettua ja kustannukset pidettyä kurissa. Autonomisessa lastauskoneessa olisi mahdollista käyttää myös niin sanottua puskevaa kauhaa, joka työntää malmin auton lavalle, tällöin kippausliike jäisi operaattorilta pois. Puskevan kauhan koko

on hieman pienempi kuin normaalikauhan ja tyhjennys tapahtuu hieman hitaammin. Kauhoja on saatavilla myös Toro 517:seen, mutta vain erikoistoimituksena, mikä tarkoittaa pidempää toimitusaikaa.

Autonominen lastauskone voisi ajoringin pyöriessä, aina kun tulee odotusta, kantaa malmia jemmaan. Tällöin varmistutaan, että jemmaassa on riittävästi malmia koko vuoron ajaksi ja tuotanto pysyy tehokkaana. Tällöin olisi hyvä ottaa käyttöön käytäntö, että kiviautojen kuskit ilmoittaisivat sopivassa kohdassa autonomisen lastauskoneen operaattorille, että ovat kohta rampilla. Tällöin operaattori osaa ohjata automaatiokoneen valmiiksi odottamaan rampille ja kiviautojen rampin alla seisomisaika minimoituu.

Tässä tuotantotavassa hankaluutena on toteuttaa lastauspaikan turvajärjestelmät niin, etteivät autonominen lastausalue ja kuorma-autojen ajoreitit leikkaa toisiaan. Lisäksi autonomisen lastausalueen kulkureitit pitää varustaa kahdella turvaportilla. Tämän vuoksi lastaus ei voi tapahtua tasoperässä ilman betonista topparia. Tällä järjestelyllä estetään autonomisen lastauskoneen karkaaminen lastausalueelta vikatilanteessa ja lastatessa kuorma-auton ja lastauskoneen yhteen törmäys. Turvallisin tapa toteuttaa tuotanto olisi rakentaa lastausramppi, joka on ympäröity betonisilla ajoesteillä. Tällöin autonominen lastauskone ei voisi vikatilanteessakaan ajautua kuorma-auton päälle. Turvaportit voitaisiin asentaa tällöin rampin sivulla kulkevalle tasoperälle. Tällöin autonomisen lastauskoneen karkaaminen alueelta ja henkilön tai koneen pääsy alueelle autonomisen lastauskoneen operoidessa, olisi estetty.

14.4 Jemmaan lastaus

Pelkästään jemmaan lastausta autonomisella koneella suoritettaessa, autonominen lastauskone ei laskelmieni mukaan pääse riittävän suuriin tuotantotehoihin, että näin olisi järkevää toimia. Kun jemmaa joudutaan tyhjentämään manuaalisella lastauskoneella, sitoo tuotantotapa kaksi lastauskoneetta louhoslastaukseen. Saavutettu tuotantoteho jää huomattavasti kahden erillisen koneen tuotantotehoista, vaikka autonomisella lastauskoneella ajettaisiin savutuntienkin aikana.

Tästä johtuen en voi suositella toimimaan näin jatkuvasti. Kuitenkin yksittäisissä epävakaissa louhoksissa, jemmaan lastaus olisi mielestäniärkevin tapa toimia. Tällöin autonomisen lastauksen muiden tuotantotapojen vaatimista rakennelmista ei tulisi lisäkustannuksia yksittäisen louhoksen vuoksi. Koska tuotantotapa ei välttämättä vaadi kuin Wlan-verkon ja turvajärjestelmän, olisi tuotanto mahdollista aloittaa nopeasti, koska tulevaisuudessa koko kaivos on varusteltu Wlan-verkolla.

15 JOHTOPÄÄTÖKSET

Testausosuus jäi aikataulallisista syistä lyhyeksi, koska automaatiolastauskone saapui kaivokselle vasta joulukuussa. Aluksi haluttiin operoida manuaalisesti, jotta peruskoneen toimita varmistettaisiin. Koneessa ilmeni muutamia vikoja, joiden korjauksessa kesti useita päiviä.

Tämän jälkeen kone otettiin autonomiseen lastaus käyttöön 500tp1:ssä. Aluksi koneessa oli pieniä kalibrointiongelmia, jotka saatiin kuntoon toisena päivänä. Ensimmäisenä autonominen lastauskone liitettiin Sandvikin toimittamaan wlan-verkkoon. Tällä haluttiin varmistaa, että koneen järjestelmät toimivat moitteettomasti ennen kaivoksen omiin tukiasemiin siirtymistä. Koneelle opetettiin harjoitusreitti, jota on tarkoitus käyttää lastatessa kaivokselle testiin tulevaa autonomaista dumpperia. Kun kone toimi moitteettomasti Sandvikin toimittamassa wlan-verkossa, siirryttiin testaamaan ciscon -tukiasemilla toimivaa kaivoksen wlan-verkkoa. Tämä onnistui ilman ongelmia.

Seuraavaksi testattiin, onko kaivoksen verkon kantavuus riittävän hyvä autonomiselle lastauskoneelle. Yhteys toimi moitteettomasta, joten ainakin tasolla 500 tp1:ssä tukiasemien sijoittelu oli onnistunut.

Seuraavassa vaiheessa koneella ajettiin autonomisella lastausalueella edestakaisin ja opetettiin uusi reitti kauemmaksi 500 tp1:seen. Reitin opettamisen jälkeen koneella operoitiin hieman ja tämä onnistui moitteettomasti. Tämän jälkeen koneesta riisuttiin laserskannerit ja kone otettiin manuaaliajoon odottamaan dumpperitestien alkua.

Operaattorien mielipide työergonomiasta ja työturvallisuudesta oli positiivinen. Operaattorit pitivät operaattoriasemaa miellyttävänä. Varsinkin kauko-ohjauslastauksen vähenemistä pidettiin suurena parannuksena. Mutta todellinen mielipide varmasti muotoutuu vasta pidemmän ajan kuluessa, kun koneella päästään operoimaan pidempiä ajanjaksoja ja nähdään laitteiston todellinen luotettavuus.

16 POHDINTA

Autonomista lastausta tietylle alueelle suunniteltaessa, suunnitteluvaiheen alussa päätetään, tehdäänkö tasolle kaatonousu vai ei. Tämän jälkeen siirrytään varustelun suunnitteluun, wlan-verkko suunnitellaan tasolle ja samalla mietitään turvaporveille ja operaattoriasemalle paikka. Wlan-verkko käyttää 2,6 GHz taajuutta, joka ei juurikaan taitu ja heikkenee nopeasti, jos näköyhteyttä ei ole. Tämän vuoksi suunnittelijan on mietittävä tukiasemien ja oheiskomponenttien paikkoja tarkasti ja osattava optimoida niiden paikat suunnitelmissa. Wlan-tukiasemien ja kytkinten välinen kuparinen ethernet-kaapeli voi olla maksimissaan 100 metriä pitkä. Lisäksi infran suunnittelija laskee Sandvikin ohjekirjan ohjeiden mukaisesti turvaporrttien etäisyydet, jotta vaaditut turvallisuustasot täyttyvät.

Infran rakentaminen pitää olla hyvin organisoitua ja osaavien asentajien tekemää. Asentajien tulee osata ottaa huomioon lastausalueilla jo olevien varusteluiden ja tunnelin muotojen vaikutus Wlan-verkon kuuluvuuteen asentaessaan verkkoa. Lastausalueen tiestöä tulee huoltaa tarpeeksi tiheästi, riippuen tasoperän olosuhteista ja automaatiolastauskoneen operointinopeudesta. Tämä suoritetaan lastauskoneen päivittäisten tarkastusten aikana. Tällöin ei autonomiselle lastaukselle tule tarpeetonta seisokkia, eikä turvajärjestelmää tarvitse ajaa alas pelkäämään tiestön korjausten takia.

Huoltoja ja kunnossapitoa suunniteltaessa, pitää ottaa huomioon autonomisen lastauskoneen suuremmat käyttötunnit. Tällöin 250 tunnin välein suoritettava huolto tullaan suorittamaan noin puolentoista viikon välein. Tässä yhteydessä suoritetaan myös lastauskoneen päällisten komponenttien huollot ja tarkastukset. Lisäksi automaatiolastausalue tulee tarkastaa samanaikaisesti huoltojen kanssa, tällöin autonomista lastausta ei tarvitse keskeyttää erikseen tarkastuksia varten. Tuotantoalueen tarkastus tehdään myös etukäteen ennen siirtymistä seuraavalle lastausalueelle. Tällä varmistetaan, että tuotantoalueen infra toimii autonomisen lastauskoneen saapuessa alueelle. Tämä tarkastus pitää suorittaa viimeistään edellisessä vuorossa, jotta mahdolliset korjaustoimenpiteet ehditään suorittaa etukäteen. Samalla suoritetaan tiestön tarkastus ja tehdään tarvittavat parannukset.

Operaattorin tulisi normaalisti työskennellä lähellä autonomista lastaustasoa. Tällöin tankkaukset ja päivittäiset huollot sekä tarkastukset olisi helppo ja nopea suorittaa. Myös järjestelmän ylös ajamiseen käytetty aika minimoituu, kun operaattorin ei tarvitse ajaa pinnasta autonomiselle lastausalueelle tarkistamaan aluetta ja ylös ajamaan turvajärjestelmää, sekä siirtymään tämän jälkeen takaisin pintaan. Lisäksi jos vuoron aikana joku joutuu menemään jostain syystä autonomiselle lastaus alueelle, tulee turvajärjestelmä aktivoida uudestaan ja alue tarkistaa henkilön poistuttua alueelta. Mielestäni lastausta olisi järkevää suorittaa myös savutuntien aikana, jolloin järjestelmästä saataisiin mahdollisimman paljon tehoa irti. Tällöin operaattori ajaisi pakettiauton, jossa operaattoriasema sijaitsee, pintaan ja jatkaisi automaatiolastausta pinnasta savutuntien ajan. Selvitysteni perusteella tällä tavalla toimittaessa järjestelmästä saataisiin mahdollisimman paljon tuotantotehoja irti turvallisuudesta tinkimättä.

On tärkeää huomioida, että autonomisella lastauksella ei tässä vaiheessa tavoitellakaan suoria kustannussäästöjä, vaan ensisijaisesti työturvallisuuden ja työergonomian paranemista, sekä opellaan uusia toimintatapoja mahdollisen kuiluinvestoinnin varalle. Tältä pohjalta asiaa pohiessani, kaatonousun louhiminen ja sieltä toisella automaatiolastauskoneella tyhjiin lastaaminen olisi järkevää. Tällä tavalla opittaisiin käyttämään autonomista lastauskonetta tehokkaimmalla mahdollisella tavalla ja ottamaan layout-suunnittelussa autonomista lastausta mahdollisesti helpottavat asia huomioon. Lisäksi tuotantotapa olisi hyvin lähellä mahdollisen kuiluinvestoinnin jälkeistä tuotantotapaa.

Ensisijaisesti autonomista lastauskonetta kannattaa käyttää louhoksissa, jotka ovat syystä tai toisesta epävakaita. Kohdentamalla autonominen lastauskone näihin kohteisiin päästään koneella huomattaviin työturvallisuutta parantaviin vaikutuksiin. Epävakaita louhoksista malmia voitaisiin kantaa esimerkiksi jemmaan, jolloin tuotantoon päästään tarvittaessa välittömästi varustelun valmistuttua. Toinen vaihtoehto on käyttää läheisten louhosten avausnousua lastaukseen. Tällöin avausnousu pitää louhia ja tukea ennen tuotannon aloittamista, joka hidastaa tuotannon aloittamista. Avausta kaatonousuna käytettäessä päästään suurempiin tuotantotehoihin, kuin jemmaan lastauksessa. Tästä syystä avaus-

nousua kannattaa hyödyntää, varsinkin jos alueelle on tulossa muitakin oletusarvoisesti epävakaita louhoksia. Joskus voi olla tilanteita joissa louhos on tuotannon kannalta niin kriittinen, ettei pystytä odottamaan avausnousun louhimista.

Toinen työturvallisuuden kannalta merkittäviä parannuksia tuova kohde on kuitumineraaleja mahdollisesti sisältävien kivien louhoslastauksen suorittaminen autonomisella lastauksella. Tällöin koko louhoslastausketjun ajan operaattorit pysyvät työskentelemään työkoneiden ohjaamoista käsin ja näin ollen kuitumineraalien kulkeutuminen ohjaamoihin ja sitä kautta hengityselimiin estyy.

Työturvallisuuden ja työergonomian kannalta autonominen lastaus tuo huomattavia parannuksia. Operaattori ei missään tilanteessa altistu mahdollisesti epävakaiden louhosten aiheuttamille vaaroille. Yksi merkittävä parannus työturvallisuudelle on, että operaattori ei altistu diesel -partikkeleille, kivi- ja kivihiukille, kuitumineraaleille eikä muille tunnelissa oleville ilman epäpuhtauksille. Lisäksi työskennellessä operaattoriasemalla ei altistuta koneen värinöille, eikä epätasaisuuksista aiheutuville heilahduksille. Näin ollen työergonomiassa tapahtuu huomattavia parannuksia. Muutoinkin operaattori asemalla on penkissä monipuoliset säädöt, jotta operaattori löytää mahdollisimman ergonomisen operointiasennon.

Louhoskiertoa nopeutettaessa on erittäin tärkeää, että myös tyhjiinlastaus järjestetään hyvin. Hyvällä suunnittelulla voidaan vaikuttaa tyhjiinlastauksen tehokkuuteen. Esimerkiksi silloin, kun peräänajo porukka ajaa peräkiviä rouran puolella suoraan louhokseen, voidaan VT1 ajaa täydellä kapasiteetillä louhetta kaatonousta ilman että VT1 ruuhkautuu, tämä aika kannattaa hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Kun louhosta tyhjiinlastataan savutuntienkin aikana, pitää vuoron aikana malmin ajo toteuttaa niin tehokkaasti, että savutuntien aikana lastattu louhe kyetään ajamaan ylös. Jollei tässä onnistuta, niin lastauspaikka tulee täyttymään louheesta ja automaatiolastaus joudutaan keskeyttämään, tällöin louhosnopeutta ei kyetä nopeuttamaan merkittävästi. Tämä koskeen niin kuiluun, suoraan autoon, jemmaan tai avausnousua kuiluna käytävää tuotantotapaa. Jos lastataan jemmaan lastausalueella, olisi hyvä olla useampi hyödynnettävissä oleva jemma paikka. Tällöin autonomista lastausta ja jemmaan tyhjiin lastausta voitaisiin suorittaa yhtäaikaisesti. Autonomisella lastauksella pystyttäisiin louhoskiertoa

nopeuttamaan perinteiseen tapaan lastata (manuaalilastaus 30 % ja kauko-ohjainlastaus 70 %) verrattuna 24 %, ja jos lastausta suoritettaisiin myös savutuntien aikana, louhoskierto nopeutuu noin 43 %. Tämä tarkoittaisi, että louhoksista ajettaisiin 88 kg enemmän kultaa pintaan kuukaudessa ja savutuntien aikana lastausta suoritettaessa 160 kg enemmän. Tämä edellyttää, että kaatonousun tai jemman tyhjiinlastaus suoriutuu lisääntyneen malmimäärän käsittelystä. Tässä vertailussa autonomista lastausta on verrattu yhteen perinteiseen lastauskoneeseen, vaikka autonominen lastaus tarvitsee myös tyhjiinlastaukseen lastauskoneen. Tästä johtuen autonominen lastaus sitoo kaksi erillistä lastauskonetta louhoslastaukseen, jollei käytössä ole erillistä annostelijaa.

Pelkästään autonomisen lastauksen kustannuksia tarkastellessa, käy ilmi, että autonomisen lastauksen kustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin perinteisen lastauksen, jossa manuaalisesti lastataan 30 % ja kauko-ohjaamalla 70 % malmista. Autonomisella lastauksella saadaan louhoskiertoa nopeutettua verrattuna yhteen lastauskoneeseen, varsinkin jos lastausta suoritetaan savutuntienkin aikana. Mutta jos huomioidaan, että lastaustapa sitoo kaksi lastauskonetta, ja huomioidaan kahden perinteisen lastauskoneen tuotantoteho, jää autonominen lastauskone huomattavasti näistä. Tästä johtuen tuotanto kannattaisi toteuttaa niin, että kaatonousuun asennetaan annostelija, joka voidaan siirtää myöhemmin seuraavan kaatonousun alle. Kuorma-autot pystyisivät hakemaan tästä kuorman ilman toista lastauskonetta ja annostelija annostelisi ennalta määrätyn määrän malmia lavalle. Tässä vaihtoehdossa tyhjiinlastaus koneen kulut korvautuisivat annostelijan kuluilla, jotka ovat merkittävästi pienemmät kuin lastauskoneella.

Toinen järkevä tapa toimia voisi olla, että autonominen lastauskone lastaisi kuorma-autoja käyttäen ramppia, josta se lastaisi malmin kuorma-autojen kyytiin. Tässä tuotantotavassa olisi järkevää käyttää niin sanottua puskevää kauhaa, joka työntää malmin kauhasta lavalle ilman erillistä kippaus liikettä. Tuotantotapa onnistuu selvitysteni mukaan myös normaalilla kauhalla. Puskevalla kauhalla operoitaessa ei välttämättä tarvitsi ramppia ollenkaan, mutta todennäköisesti ramppi nopeuttaisi hieman operointia. Lisäksi rampin käyttö olisi turvallisuuden

kannalta järkevä tapa lastata autonomisella lastauskoneella malmia suoraan kuorma-autoon.

Lisäksi yhtenä hyvänä vaihtoehtona pitäisin louhoksen avausnousun käyttöä kaatonousuna, tällöin kaatonousua ei tarvitsisi louhia erikseen, vaan tarvittaisiin vain hieman lisätuentaa. Tässä vaihtoehdossa päästään kustannuksissa hyvin lähelle kahden erillisen lastauskoneen kustannuksia, jos tavoitellaan 160 kg kul-tatuotannon lisäystä kuukaudessa samalla kuorma-auto määrällä.

LÄHTEET

Agnico Eagle Finland Oy 2016 Viitattu 9.9.2016.

<http://www.agnicoeagle.fi/fi/aboutus/mining/Pages/home.aspx> 2016.

Luleå University of Technology, Sweden.

https://pure.ltu.se/.../schunnesson_gustafson_kumar.pdf 13.9.2016.

Luotoniemi, J. 4-6.7.2016. Sandvik Mining Constructionin. Training and Competence Development Managerin haastattelu.

Navitec System Oy. Viitattu 11.12.2016(<http://www.navitecsystems.com/wordpress/fi/referenssit/sandvik/>)

Ohto, B. 16.6.2016 First Quantum Minerals. Prosessitekniikan Insinöörin haastattelu

Ohto, B. 2016. Diplomityö. Automaattisen lastauksen turvallisuuden kehittäminen. Oulun yliopisto.

Paalumäki, T., Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. Tampere: Juvenes Print Oy.

Saukko, J. 18.10.2016. Agnico Eagle Finland Oy. Tuotannon työnjohtajan haastattelut.

Sandvik AutoMine Lite Installation and Commissioning Manual 2016.

Sandvik AutoMine Lite Onboard Maintenance Manual 2016.

Sandvik AutoMine Lite System Operatos Manual 2016.

Sandvik Mining and Construction Oy 2010. Sandvik LH517. Viitattu 5.9.2016

[http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/5100/SAM/Internet/cl01023.nsf/Alldocs/Products*5CLoad*and*haul*machines*5CUnderground*loaders**28LHDs*29*2ALH517/\\$FILE/Technical%20specification%20Sandvik%20LH517-18.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/5100/SAM/Internet/cl01023.nsf/Alldocs/Products*5CLoad*and*haul*machines*5CUnderground*loaders**28LHDs*29*2ALH517/$FILE/Technical%20specification%20Sandvik%20LH517-18.pdf).

Seppälä, J. 29.11.2016 Agnico Eagle Finland Oy. Kunnossapidon ylityönjohtajan haastattelu.

