



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **LASTAUKSEN- JA KULJETUKSENRESURSSIEN OPTIMOINTI**

Mikko Penttinen

KAIVOS- JA RIKASTUSTEKNIikka

Diplomityö

Lokakuu 2022

# ABSTRACT

Optimization of loading and hauling resources

Mikko Penttinen

University of Oulu, Mining Engineering and Mineral Processing

Master's thesis 2022, 46 pp.

Supervisor at the university: Zong-Xian Zhang

Loading and transportation are one of the most important functions of the mine and have a great impact on the production and profitability of the mine. It is important to keep loading and transport operations efficient, and it would also be good to keep the available loading and transport resources in efficient use. In mining conditions, however, this is not easy and resources are often difficult to use effectively.

The purpose of the work is to get the loading and transportation resources of the Kevitsa mine to be used more efficiently, and in this way the low utilization rates of the equipment would also be increased. At the beginning of the work, the aim is to find out and investigate different options and ways to use the resources more efficiently. The research also aims to utilize the theory of loading and transportation and improving utilization.

Several days are spent at the Kevitsa mine, along with loading and transportation, so that the process becomes familiar and the problem areas are better revealed. During the work, a visit was also made to the Aitik mine in Sweden and we got to know their methods and experiences related to loading and transportation. Based on the research and Kevitsa's current situation, the work begins to develop different shift systems and additional shifts for loading and transportation.

The work offers several different options for optimizing loading and transport resources. Alternatives are analyzed with several different results relevant to the mine. After that, we will consider their suitability for loading and transporting the Kevitsa mine and the prevailing conditions.

*Keywords: Loading and hauling, optimizing resources, utilization rate*

# TIIVISTELMÄ

Lastauksen ja kuljetuksen resurssien optimointi

Mikko Penttinen

Oulun yliopisto Kaivos- ja rikastustekniikka

Diplomityö 2022, 46 s.

Ohjaaja yliopistolta: Zong-Xian Zhang

Lastaus ja kuljetus ovat yksiä tärkeimpiä kaivoksen toimintoja ja niillä on suuri vaikutus kaivoksen tuotantoon ja kannattavuuteen. Lastaus- ja kuljetusoperaatiot ovat tärkeää pitää tehokkaana ja myös käytössä olevat lastauksen- ja kuljetuksen resurssit olisivat hyvä pitää tehokkaassa käytössä. Kaivosolosuhteissa tämä ei ole kuitenkaan helppoa ja resurssit ovat usein vaikea saada tehokkaaseen käyttöön.

Työn tarkoituksena on saada Kevitsan kaivoksen lastauksen- ja kuljetuksenresurssit tehokkaampaan käyttöön ja näin saataisiin myös kaluston alhaiset käyttöasteet kohoamaan. Työn alussa pyritään selvittämään ja tutkimaan eri vaihtoehtoja ja tapoja, joilla resurssit saataisiin tehokkaampaan käyttöön. Tutkimuksissa pyritään myös hyödyntämään teoriaa lastauksesta ja kuljetuksesta ja käyttöasteen parantamisesta.

Työssä Kevitsan kaivoksella ja lastauksen ja kuljetuksen mukana vietetään useita päiviä, jotta prosessi tulisi tutuksi ja ongelmakohdat avautuisivat paremmin. Työn aikana suoritettiin vierailu myös Ruotsiin Aitikin kaivokselle ja tutustuttiin heidän menetelmiinsä ja kokemuksiinsa liittyen lastaukseen ja kuljetukseen. Tutkimusten ja Kevitsan nykytilanteen pohjalta työssä aletaan kehittää erilaisia vuorojärjestelmiä ja lisävuoroja lastaukseen ja kuljetukseen.

Työssä tarjotaan useita vuorojärjestelmä vaihtoehtoja lastauksen- ja kuljetuksenresurssien optimointiin. Vaihtoehtoja analysoidaan useilla eri kaivokselle merkityksellisillä tuloksilla. Sen jälkeen pohditaan niiden sopivuutta Kevitsan kaivoksen lastaukselle ja kuljetukselle ja vallitseviin olosuhteisiin.

*Avainsanat: Lastaus ja kuljetus, resurssien optimointi, käyttöaste*

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty maaliskuun 2022 ja joulukuun 2022 välisenä aikana Boliden Kevitsan kaivoksella Sodankylässä. Olen kiitollinen Boliden Kevitsalle, että sain tehdä mielenkiintoisen ja vaativan diplomityön heille.

Haluaisin kiittää Bolidenin ohjaajaani Arto Suokasta ja yliopiston ohjaavaa professoria Zong-Xian Zhangia kaikesta tiedosta ja avusta, jota sain työtäni varten. Olen oppinut heiltä paljon työni aikana ja Arto Suokas on tukenut ja järjestänyt Bolidenin puolelta kaikki tarvittavat asiat kuntoon työtäni varten. Kiitos myös Erso Nissiselle hyvistä tiedoista ja vinkeistä työtäni varten. Haluan myös kiittää kaivososaston väkeä ja henkilöitä, joiden kanssa sain kulkea kaivoksella aina, kun halusin ja oli tarpeen saada lisää tietoa lastauksen ja kuljetuksen toiminnasta.

Oulu, 10.12.2022

Mikko Penttinen

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT .....	
1 Johdanto .....	7
2 Lastauksen ja kuljetuksen teoriaa.....	9
2.1 Avolouhinnan lastaus .....	9
2.2 Avolouhinnan kuljetus .....	11
2.3 Avolouhinnan kuljetustiet .....	13
2.4 Apukalusto .....	13
3 Lastaus ja kuljetus keivitsassa .....	14
3.1 Henkilöstö .....	14
3.2 Lastaus- ja kuljetuskalusto .....	14
3.3 Lastauksen ja kuljetuksen tehokkuus .....	15
4 Tehokkuus ja käyttöasteen määrittely .....	16
4.1 Käyttöasteen määrittely .....	16
5 Käyttöasteen parantaminen lastauksessa ja kuljetuksessa .....	19
5.1 Nykytilanne Keivitsassa .....	19
5.2 Boliden Aitik kokemukset.....	22
5.3 Jatkuva vuorojärjestelmä .....	23
5.4 10 tunnin vuorojärjestelmä ja jatkuva vuorojärjestelmä .....	25
5.5 10 tunnin vuorojärjestelmä ja nykyinen vuorojärjestelmä .....	26
5.6 9 tunnin vuorojärjestelmä .....	27
6 Vuorojärjestelmien laskennalliset Tulokset .....	29
6.1 Käyttöasteet ja saatu lisätuotantoaika .....	29
6.2 Tuotetut kivitonnit.....	31
6.3 Malmitonnien arvo .....	34
6.4 Henkilöstö .....	35
6.5 Käyttökustannukset .....	36
6.6 Tukitoiminnot ja muut hyödyt.....	38
7 Tulosten analysointi .....	40
8 Johtopäätökset ja ehdotukset .....	43
9 Yhteenveto .....	46



# 1 JOHDANTO

Lastaus ja kuljetus ovat kaivostoiminnan arvoketjun tärkeimpiä toimintoja tuotannon kannalta. Liialliset odotusajat, hitaat syklijajat ja kaluston tehon käyttäminen voivat kaikki vaikuttaa negatiivisesti tuotantoon ja voittoihin. Lastaus- ja kuljetuskaluston tehokkaaseen käyttöön voidaan vaikuttaa monin tavoin. Esimerkiksi vuorojärjestelmiä muuttamalla voidaan saada tuotannosta jatkuvampaa ja näin ollen lastauksen- ja kuljetuksenresurssien tehokkuus kohenee. Tämä vaikuttaa positiivisesti tuotannon tuloksiin ja näistä koituviin voittoihin. (2.)

Kevitsan kaivos sijaitsee Sodankylässä ja Kevitsan esiintymä löydettiin vuonna 1987. Päätös kaivoksen avaamisesta tehtiin vuonna 2009 ja rakennustyöt aloitettiin vuonna 2010. Kaivostuotanto aloitettiin vuonna 2012 ja yritys toimi nimellä FQM Kevitsa Mining Oy. Kaivoksen omisti tuolloin Canadian First Quantum Minerals Ltd. Vuonna 2016 tehtiin yritysosto ja kaivos siirtyi ruotsalaiselle Boliden- konsernille. Kaivos on tuotantomäärältään Suomen suurin avolouhos. Päätuotteet kaivoksella ovat nikkeli- ja kuparirikaste. Kaivos tuottaa myös platinaa, palladiumia, kultaa ja vähän kobolttia. Kaivoksen malmirikaste toimitetaan kuorma-autoilla ja laivoilla Bolidenin sulatoille. Vuonna 2021 malmia rikastettiin noin 9 469 000 tonnia. Kaivoksen henkilöstömäärä on noin 570 ja tähän lisätään vielä urakoitsijat. Kaivostoiminta jatkuu Kevitsassa vielä ainakin yli 10 vuotta.

Työksi valikoitui lastauksen ja kuljetuksen resurssien optimointi. Lastauksen ja kuljetuksen resurssi tehokkuus aihe on ollut esillä Kevitsassa jo jonkin aikaa ja kehitystä ei ole juurikaan tullut. Työnaiheesta ei ole juurikaan tehty aiempia tutkimuksia vuorojärjestelmien osalta, joten työnaihe on uusi. Työn tarkoituksena on saada lastauksen ja kuljetuksen resurssit Kevitsan kaivoksella tehokkaampaan käyttöön. Tämä tarkoittaa myös, että käyttöasteita tulee saada paremmiksi, koska ne ovat nykyään matalat. Työ on rajattu vain lastaus- ja kuljetuskalustoon, eikä apukoneita oteta työssä huomioon ollenkaan. Nykyään kaivoksella lastaus- ja kuljetuskalustoa on riittävästi, mutta kalusto ei ole tarpeeksi tehokkaassa käytössä. Kalustossa on potentiaalia, mutta sitä ei oteta tarpeeksi hyvin käyttöön nykyisillä toimintatavoilla ja vuorojärjestelmillä. Työssä kehitellään ja suunnitellaan uusia vuorojärjestelmiä lastauksen ja kuljetuksen kalustolle. Uusille vuorojärjestelmille lasketaan tulokset ja niitä vertaillaan toisiinsa ja nykyään toimivaan vuorojärjestelmään. Työn tuloksilta odotetaan, että käyttöasteet saataisiin

kasvuun ja tuotannosta tulisi näin ollen tehokkaampaa. Näiden perusteella tehdään ehdotuksia tulevaisuutta varten, miten vuorojärjestelmiä voitaisiin lähteä kehittämään ja rakentamaan. Vuorojärjestelmistä koituvia muitakin etuja pohditaan työn aikana.



## **2 LASTAUKSEN JA KULJETUKSEN TEORIAA**

Malmin ja sivukiven lastaus tapahtuu monin eri menetelmin kaivoksilla ympäri maailman. Lastausta tehdään niin hartiavoimin, kuin suurilla lastauskoneillakin. Kiven kuljetuksessa taas kaluston koko voi vaihdella yhden miehen työnnettävistä pienistä vaunuista suuriin 400 tonnin maansiirtoautoihin. Yleisesti kaivoksissa kiven siirron tulisi olla jatkuva prosessi. Kiven tulisi siis virrata itse kaivoksesta rikasmatolle ja sieltä myöhemmin jatko käsittelyyn. Ainoat kiven virtaus pysähdykset tulevat välivarastossa ja muissa kiven varastointi paikoissa. Esimerkiksi lastaus, kuljetus ja murskaus ovat tärkeä pitää toisiinsa liittyvinä tapahtumina. Näitä ei voi pitää riippumattomina toisistaan. Tärkeä kysymys myös on, miten mahdollistetaan pysähtymättömät ja tehokkaat kuljetusmenetelmät. (2.)

### **2.1 Avolouhinnan lastaus**

Avolouhinnan pääasialliset lastauskoneet ovat kaivinkoneet ja pyöräkuormaajat (Kuva 1). Käytettävän lastauskoneen valinta riippuu suoraan siitä, minkälaista lastattava materiaali on, minkälainen räjäytys on ja kuinka suuri itse lastausoperaatio on. Kaivostuotannon ollessa jatkuvaa ja lastattaessa erilliseen kuljetuskalustoon, yleensä lastauskoneeksi valitaan kaivinkone. Kaivinkone on tehokkaampi ja sillä saadaan lastattua suurempia massoja kuin pyöräkoneella. Yleensä pyöräkuormaaja valitaan käyttöön silloin, kun kivimateriaali voidaan lastata suoraan murskaan tai varastokasaan. (2.)



Kuva 1. Komatsu PC8000 pistokauhallinen kaivinkone

Avolouhoksissa käytetään yleensä 40 - 250 tonnin pyöräkuormaajia. Koneen koon valinta riippuu suoraan siitä, minkälainen kuljetuskalusto on käytettävissä, minkälainen on louheen lastattavuus ja minkälainen on vaadittu tuotantoteho. Kun kalustoa valitaan, on tärkeää mitoittaa sellainen pyöräkuormaaja, jolla saadaan kuljetus väline kuormattua neljällä - kuudella kauhallisella. Lastattavuudeltaan louheen tulisi olla pyöräkuormaajalle löyhäksi räjäytettyä ja penkereen tulisi olla matala. (2.)

Avolouhoksissa käytetään yleensä 30 - 1200 tonnin kaivinkoneita. Kaivinkoneita on toimintatavaltaan kahdenlaisia: hydraulisia kaivinkoneita ja sähkömekaanisia kaivinkoneita. Hydraulisia kaivinkoneita on kahdenlaisia: pistokauhalliset kaivinkoneet ja kuokkakauhalliset kaivinkoneet. Niiden puomistot toimivat siis erillä tavalla. Näissä käyttövoimana toimii joko dieselmoottori tai sähkömoottori ja kaivinkoneen toiminnot suoritetaan moottoreiden tai hydraulisten sylintereiden voimin. Mekaanisissa kaivinkoneissa pääasiallinen voimanlähde on sähkömoottori. Puomia ja kauhaa ajetaan köysien ja mekaanisten vaihteistojen avulla. Nämä kaivinkoneet ovat kokoluokaltaan yleensä suurimpia eli yli 500 tonnia. Nykyään hydraulisia kaivinkoneita tavataan myös useammin tässä painoluokassa. Kaivoksella yleensä pistokauhallisia kaivinkoneita kutsutaan ”pistoiksi”, kuokkakauhallisia kaivinkoneita kutsutaan ”kuokiksi” ja mekaanisia sähkömoottorillisia vajjereilla ajettavia kaivinkoneita ”vajjerikoneiksi”. (2.)

Pistokauhallisen kaivinkoneen ominaisuudet:

- lastaus tehdään lastattavan penkereen edessä
- lastausalue onnistuu pitää puhtaana lastauskoneella
- pengeri voi olla korkea eli noin 75 % – 80 % kaivinkoneen korkeuslittuvuudesta
- kaivinkoneesta on hyvänäkyvyys lastattavaan materiaaliin
- suuret kaivuvoimat
- lastaus voidaan tehdä kahdelle sivulle

Kuokkakauhallisen kaivinkoneen ominaisuudet:

- kaivinkone on lastattavan kasan päällä
- hyvä näkyvyys kuljetuskaluston lavalle
- kuljetuskaluston nopea paikoitus
- lyhyet kääntökulmat, eli nopea lastaus
- lastattava pengeri on matala, maksimissaan kaivupuomin mittainen
- lastausalueen puhdistus lastauskoneella mahdoton

Käytettävän kaivinkoneen valinnan suunnittelu on tärkeää, jotta lastauksesta saadaan mahdollisimman tehokasta ja järkevää. Lastattavan valintaan vaikuttaa taas louhintasuunnitelma, ajoreitit ja kalusto, joka on käytettävissä. Yleisimpiä lastausapoja ovat: lastaus yhdelle puolelle, lastaus kahdelle puolelle, kahdenpenkereen lastaus ja side-by-lastaus. (2.)

Yleisesti sähkömekaaninen kaivinkone sopii parhaiten suuriin ja pitkäaikaisiin lastausoperaatioihin. Lastattavuuden tulee olla myös hyvää, eli lastattavan kivimateriaalin tulee olla hyvin lohkaroitunutta. Näin saadaan matalahkot käyttökustannukset sähkömekaaniselle kaivinkoneelle. (2.)

## **2.2 Avolouhinnan kuljetus**

Yleisesti avolouhinnan kuljetuskalusto voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: kuorma-autot, runko-ohjatut dumperit ja louhosautot (Kuva 2). Poikkeuksiakin on, esimerkiksi kuljetusmatkan ollessa todella lyhyt voidaan matka suorittaa pyöräkuormaajalla. Perusteita kuljetuskaluston valintaan ovat esimerkiksi olosuhteet, kuljetusmatka, suorituskyky ja kokonaistaloudellisuus. (2.)



Kuva 2. Komatsu 830E louhosauto

Avolouhinnassa käytetty yleisin kuljetusajoneuvo on louhosauto, tätä kutsutaan kaivoksella yleensä ”kiviautoksi”. Louhosautojen koko vaihtelee 40 - 350 tonnin per kuorma ja yleensä kuormaa voidaan kuljettaa noin 0,2 – 9 kilometriä. Kaivosolosuhteet ovat yleensä melko haastavia, mutta louhosautot soveltuvat hyvin niin pitkiin alamäkiin, kuin ylämäkiinkin. Louhosautot jaetaan kahteen ryhmään, jotka ovat dieselsähköisellä voimansiirrolla toimivat louhosautot ja dieselmekaanisella voimansiirrolla toimivat louhosautot. Dieselmekaaninen louhosauto toimii dieselmoottorin voimin ja dieselsähköinen louhosauto toimii dieselmoottorin ja sähkögeneraattorin voimin. Dieselsähköisessä louhosautossa dieselmoottorin teho muutetaan sähköksi. (2.)

Louhosautojen lavan valinnassa täytyy ottaa huomioon lavan tilavuus, louhosauton koko ja lavamalli. Lavamalleja ovat flat floor ja dual slope. Nykyään yli 180 tonnin louhosautoissa käytetään lähes yksinomaan flat floor lavoja. Flat floor lavaa tyhjentäessä lavan kiviaines valuu pois tasaisesti ja tämä soveltuu myös hyvin, kun kiviaines tyhjenetään suoraan murskaimeen. Lavat tulee vuorata, jotta niiden käyttöikä pitenee. Vuoraus mitoitetaan aina sen mukaan, kuinka kuluttavaa lastattava kiviaines on. Yleensä vuorausmateriaali on kumia tai terästä. Kumivuoraus on kuljettaja ystävällisempää, koska se vaimentaa lastattaessa syntyviä iskuja ja ääniä. Kumivuoraus voi olla kuitenkin nopeammin kuluva, kuin eri teräslaaduista valmistetut vuoraukset. Vuoraukset vievät

hieman kuljetuskapasiteettia, mutta ovat kuitenkin erittäin hyödyllisiä lavan käyttöiän vuoksi. (2.)

### **2.3 Avolouhinnan kuljetustiet**

Kuljetusteiden suunnittelu avolouhinnassa on tärkeää kuljetuksen kustannusten, turvallisuuden ja tehokkuuden vuoksi. Kuljetusteiden kunto vaikuttaa suoraan kaluston kunnossapitokustannuksiin. Teiden kunto vaikuttaa niin ikään työsykleihin, ajonopeuteen, polttoaineenkulutukseen ja ajomukavuuteen. Tehokkuuden kannalta kuljetustiet tulisi mitoittaa tarpeeksi leveiksi. Yksisuuntaisilla osuuksilla mitoitus tulisi olla yli kaksi kertaa kiviauton levyinen ja kaksisuuntaisilla yli kolme kertaa kiviauton levyinen. Kuljetustiet kannattaa kuitenkin mitoittaa kaksisuuntaisiksi, jottei kuljetukseen synny pullonkauloja ja näin tehokkuus heikentyy. Kuljetustien pituuskaltevuus tulisi pysyä taloudellisuuden kannalta 8 % - 12 % nousussa ja nousun tulisi pysyä samanlaisena koko ajan. Näin kalustoon tulee vähiten rasitetta ja polttoaineenkulutus pysyy tasaisena. Poikittaiskaltevuudella taas hoidetaan teiden vedenpoistoa, sekä yritetään tasoittaa renkaisiin kohdistuvaa painetta mutkaisilla tieosuuksilla. Poikittaiskaltevuuden tulisi olla sellainen, että vesi valuu tieltä pois ojiin. Teitä tulisi myös kunnossapitää, koska huono tienkunto vaikuttaa suoraan vierintävastukseen. Jo 5 % vierintävastuksen nousu voi vaikuttaa tuottavuuteen jopa 10 %. Myös kaluston kunnossapitokulut ja polttoainekulut kasvavat vierintävastuksen kasvaessa. Kuljetusteiden reunat tulee myös aina varustaa suojapenkereellä, jonka korkeus tulisi olla vähintään puolet louhosauton renkaan korkeudesta. (2.)

### **2.4 Apukalusto**

Avolouhinnassa on hyvin yleistä, että apukalustoa on paljon. Jotta tehokas lastaus ja kuljetus omistuvat, on aputöitä tehtävä tienkunnostuksessa, rikotuksessa, lastauspaikkojen kunnostuksessa ja lastauksen purkupaikoilla. Rikotus tehdään yleensä 20 - 65 tonnin kaivinkoneilla, joihin on asennettu rikotusta varten sopivat laitteet. Teiden kunnossapidossa on pääasiallisena kalustona tiehöylä, tienkastelu- ja hiekoitusajoneuvot ja pyöräkuormaajat. Lastauspaikkojen kunnossapito ja kuljetetun massan käsittely vaikuttaa suoraan työn tehokkuuteen. Yleensä nämä työt hoidetaan pyöräkuormaajilla ja pyöräpuskukoneella tai teläpuskukoneella. (2.)

### **3 LASTAUS JA KULJETUS KEVITSASSA**

Kevitsan avolouhoksella louhe lastataan kiviautoihin sähköhydraulisilla pistokaivinkoneilla. Tämän jälkeen louhe kuljetetaan kiviautoilla joko rikastamolle tai sivukivialueelle. Lastaus- ja kuljetuskaluston tärkeimmät ja eniten tuotantoa tekevät koneet ovat kolme pistokauhallista kaivinkonetta ja 21 kiviautoa. Kalustoon kuuluvat myös niin sanotut apukoneet, joita ovat esimerkiksi pienet kaivinkoneet ja pyöräkoneet, joita käytetään avolouhinnan siivousoperaatioihin. Kaivoksella lastattiin ja kuljetettiin vuonna 2021 noin 10 miljoonaa tonnia malmia ja 24 miljoonaa tonnia sivukiveä.

#### **3.1 Henkilöstö**

Lastauksessa ja kuljetuksessa työskentelee tällä hetkellä 181 kuljettajaa. Kuljettajat työskentelevät kaksivuorotyössä ja he ovat jaettu 5 vuoroon. Tuotantoa tekeviin kuljettajiin kuuluvat kiviautokuljettajat ja lastaajat, jotka ajavat pistokauhallisia kaivinkoneita. Suuri osa kuljettajista ajaa myös ajoittain apukalustoa. Lastauksessa ja kuljetuksessa on myös apuna urakoitsijoita.

#### **3.2 Lastaus- ja kuljetuskalusto**

Lastauksessa tärkeimmät koneet ovat sähköhydrauliset pistokauhalliset kaivinkoneet Komatsu PC8000 ja 2 Caterpillar 6060. Kuljetuksen tärkeimmät koneet ovat kiviautot, joita ovat 17 kappaletta Komatsu 830E ja 4 kappaletta Caterpillar 793F.

Lastauskalusto:

- Komatsu PC8000
- Caterpillar 6060
- Caterpillar 6060

Kuljetuskalusto:

- 17 kappaletta Komatsu 830E
- 4 kappaletta Caterpillar 793F

Lastauksen ja kuljetuksen apukoneita:

- Komatsu PC2000
- Caterpillar 395
- puskukoneet
- tiehöylät
- pyöräkoneet
- poravaunujen kuljetuslaite
- tankkiauto

### **3.3 Lastauksen ja kuljetuksen tehokkuus**

Lastauksen ja kuljetuksen tehokkuutta Kevitsassa määrittelee paljon tuotannonohjausjärjestelmä. Tuotannonohjausjärjestelmä pyrkii poistamaan tuotannon pullonkauloja ja muita viiveitä. Tuotannonohjausjärjestelmä kertoo jokaiselle kiviautolle, mihin lastauskoneelle ajaa seuraavaksi ja mihin tyhjentää kuorma. Tuotannonohjausjärjestelmä myös jakaa kiviautot lastauskoneille niin, ettei suuria jonoja synny ja tuotanto on jouhevaa. Järjestelmä myös laskee sopivat ajoreitit kiviautoille. Kevitsassa tuotannonohjausjärjestelmänä toimii Modular Mining. Järjestelmä ei kuitenkaan vaikuta tuotantoajan menetyksiin, jotka koituvat ruokatauoista ja vuoronvaihdosta.

## 4 TEHOKKUUS JA KÄYTTÖASTEEN MÄÄRITTELY

Resurssitehokkuudella tarkoitetaan, sitä kuinka tehokkaasti käytössä olevia resursseja hyödynnetään esimerkiksi kaivostuotannossa. Kun korostetaan resurssitehokkuutta tuotannossa, kiinnitetään huomio pääasiassa resurssien, kuten kiviautoa hyödynnettävään aikaan tiettyinä ajanjaksona. Esimerkiksi, jos kiviautoa käytetään 4 tuntia 12 tunnin vuorossa, on resurssitehokkuus huonoa. Jos resursseja ei hyödynnetä, ne ovat tyhjänpanttina ja niistä koituu ylimääräisiä kustannuksia. Jos kymmenen kiviautoa ei ole tehokkaassa käytössä voitaisiin pärjätä yhdeksällä kiviautolla. Näin säästetään rahaa ja rahaa voidaan käyttää muihin kustannuksiin. Resurssitehokkuus tarkoittaa myös käyttöastetta. (1.)

Virtaustehokkuudella mitataan jalostettavaa virtausyksikköä, joka voi olla esimerkiksi räjäytetty alue, jota lastataan tyhjäksi. Tätä aluetta kutsutaan kaivoksessa kentäksi. Tässä voidaan ajatella, että mitataan aikaa, kuinka kauan kestää, kun kenttä on lastattu tyhjäksi. (1.)

Jotta saadaan hyvä resurssitehokkuus, täytyy pitää resurssit käytössä ja varmistaa, että resurssit ovat aina työstämässä jotain virtausyksikköä. Jotta saataisiin hyvä virtaustehokkuus, on varmistettava, että virtaus pysyy käynnissä virtausyksikön kannalta. Tällöin virtausyksikkö siirtyy välittömästi resurssilta resurssille, joka työstää virtausyksikköä. (1.)

On olemassa myös pullonkaulateoria. Voidaan ajatella, että pullonkaulat pidentävät läpimenoaikaa. Ajatellaan, että malmin siirtyminen kaivoksesta murskalle on toimintaa, joka loppuu kokonaan vuoronvaihdossa ja ruokatauoilla. Tässä läpimenoa ei tapahdu ollenkaan. Tästä koituu myös uusia pullonkauloja, kuten lastauksessa syntyvät jonot ja nämä taas huonontavat virtaustehokkuutta. (1.)

### 4.1 Käyttöasteen määrittely

Tuotannossa käytettävissä olevien laitteiden käyttöastetta on tärkeää mitata täsmällisesti oikein menetelmin. Käyttöaste mitataan usein prosentteina ja käyttöasteesta on myös hyvä olla tieto niin työnjohdolla, kuin työntekijöilläkin. Mittaamisen avulla ja käyttöasteen laskemisen avulla huomataan, mihin tuotantoaika kuluu ja miten laitteita



käytetään. Kun käyttöasteen mittaustulokset ovat saatu valmiiksi, voidaan helposti löytää laitteiden tehokkaampaan käyttöön liittyviä parannuskohteita. Kun jo käytössä oleva laitteisto saadaan tehokkaasti käyttöön, voidaan välttyä uusilta kalustoinvestoinneilta ja tuotanto saadaan tehokkaasti kasvuun. (4.)

Kaivoksen lastauksen ja kuljetuksen tuottavuutta on tärkeä tarkastella kaivostoiminnan tehokkaan tuotannon kannalta. Tuottavuutta voidaan mitata, kun vertaillaan tuotettujen tonniin suhdetta käytettyyn tuotantoaikaan. Suurimmat lastauksen ja kuljetuksen tuottavuuteen vaikuttavat tekijät ovat esitelty kuvassa 3. (5.)



Kuva 3. Kiviautojen ja lastauskoneiden tuottavuuteen vaikuttavat tekijät

Kaivoskaluston saatavuus ja käyttö vaihtelevat paljon. Näihin vaikuttaa huollot, suunnittelemattomat huollot, konerikot, ruoka- ja kahvitaumat, vuoronvaihdot ja operaattorin vaihdot työkoneelta toiselle. Kaivoskaluston saatavuus ja käyttö vaikuttaa siis suoraan tuottavuuteen. Kaavassa 1 lasketaan kaluston saatavuusprosentti. Saatavuusprosentti saadaan, kun kaluston käytettävissä oleva aika jaetaan koko vuorokauden ajalla. Käytettävissä olevaan aikaan vaikuttaa, kun kaluston on esimerkiksi

huollossa tai kaluston on muuten rikkoutunut, eikä ole huollossa eikä myöskään käytettävissä. Saatavuusprosenttia tarkastellaan kaavassa (1). (6.)

$$\text{Saatavuus \%} = \frac{\text{Käytettävissä oleva aika}}{\text{Kokonaisaika}}$$

Kaava 1. Saatavuusprosentti

Kaluston ollessa saatavilla, eli käytettävissä, ei kalustoa kuitenkaan aina käytetä. Tällöin kone seisoo, eikä ole tuottavassa työssä. Käytettävissä olevaa kalustoa ei käytetä, kun kuljettajat ovat vuoronvaihdossa tai ruokatauolla. Käyttöasteprosentti saadaan, kun koneen käytössä olevat tunnit jaetaan koneen käytettävissä olevilla tunneilla. Käyttöasteprosenttia selvennetään kaavassa (2). (6.)

$$\text{Käyttöaste \%} = \frac{\text{Käyttöaika}}{\text{Käytettävissä oleva aika}}$$

Kaava 2. Käyttöasteprosentti

## 5 KÄYTTÖASTEEN PARANTAMINEN LASTAUKSESSA JA KULJETUKSESSA

Lastaus- tai kuljetuskoneen katsotaan olevan käytettävissä, kun se on käyttökuntoinen tehtäviensä suorittamiseen. Käyttöaste ilmaistaan yleensä prosentteina. Käyttöasteprosentti auttaa arvioimaan ja vertailemaan eri yksiköiden tehokkuutta. Tämä voi myös auttaa johtoa tietämään, miten koneen käytettävyys muuttuisi muuttamalla aikataulun mukaisia vuorotyöaikoja.

Työssä käyttöasteen parantamisen kohteina ovat kaivoksen tärkeimmät lastaus- ja kuljetuskalustot. Lastauksessa tarkkailun alla ovat pistokauhalliset kaivinkoneet: 2 kappaletta Caterpillar 6060 ja Komatsu PC8000. Kuljetus kalustossa tarkkaillaan 17 kappaletta louhosautoja, eli Komatsu 830E. Työssä keskitytään kaluston käyttöasteeseen, joka on laskettu ajasta, jolloin kalusto on saatavissa. Tästä ajasta ei siis enää poisteta kaluston kunnossapidossa kuluva aikaa. Kaivoksella lastaus- ja kuljetuskaluston käyttöaika käytettävästä ajasta vähenee seuraavien asioiden vuoksi.

- Vuoronvaihdot
- Ruokatauot ja kahvitauot
- Operaattoreiden vaihdot koneilla
- Sääolosuhteet, kuten ukkonen
- Vuoronvaihtoihin kuuluvat palaverit
- Vuoronvaihtoihin kuuluvat siirtymät
- Räjätysten kuluva aika
- Kaluston suojapaikkaan siirrot räjäytysten ajaksi

Tässä työssä suunnitellaan mahdollisuuksia vaikuttaa käyttöasteeseen muuttamalla vain vuorojärjestelmiä niin, ettei tauoista ja vuoronvaihdosta koidu tuotannon seisahtamisia.

### 5.1 Nykytilanne Kevitsassa

Kevitsan kaivoksella lastauksen- ja kuljetuksenresurssien käyttöasteet ovat alhaiset. Suurimmat syyt käyttöasteen alhaisuuteen ovat kuljettajien tauot ja vuoronvaihdot. Kerätyt käyttöaste tiedot ovat kaivoksen omasta tietokannasta kuvassa 4.

Availability (%)	Utilization (%)	Use of Availability (%)
78.8	47.9	59.6
85.1	51.5	60.1
84.0	52.4	61.1
81.3	48.7	57.1
80.7	47.5	57.5
87.8	52.9	59.7
86.7	42.2	47.2
90.0	44.8	49.0
83.5	48.3	56.5
88.2	55.5	60.7
90.2	55.2	60.1
90.5	55.2	59.7
84.6	50.2	58.5
87.9	51.8	58.3
91.6	53.0	57.5
91.6	53.5	57.5
91.1	52.3	56.3
86.7	50.8	57.4
86.7	50.8	57.4
86.8	54.4	61.3
86.9	48.6	54.3
86.8	51.5	57.8
84.5	53.8	62.4
84.5	53.8	62.4

Kuva 4. Lastaus ja kuljetus kaluston käyttöasteet prosentteina 1.1.2022 – 31.7.2022

Kaksi ylintä vaalean sinistä riviä ovat Komatsu 830E kiviautojen käyttöaste prosentteja. Toiseksi alin vaaleansininen rivi on Cat 6060 pistokaivinkoneiden keskimääräinen käyttöaste prosentti ja alin rivi on Komatsu PC8000 käyttöaste prosentti. Kaikki nämä käyttöaste prosentit ovat otettu tammikuun ja heinäkuun väliseltä ajalta.

Kuvan 4 saatavuus tarkoittaa, kuinka monta prosenttia ajasta kalusto on ollut käytettävissä koko mitattuna ajanjaksona. Tähän aikaan vaikuttavat esimerkiksi suunnitellut huollot ja suunnittelemattomat huollot. Käyttöaste prosentti kertoo, kuinka monta prosenttia ajasta kalusto on ollut tuotannossa koko mitattuna ajanjaksona. Käyttöaste prosentti, jossa on otettu huomioon myös saatavuus on prosentti, joka kertoo, kuinka monta prosenttia kalusto on ollut tuotannossa käytettävästä ajasta. Työssä kiinnitetään huomiota viimeisenä mainittuun prosenttilukuun. Kevitsan kaivoksella lastauksen ja kuljetuksen kuljettajien työvuorot toteutetaan kaksivuorotyönä, joka avataan kuvassa 5.

		12h vuorot					
		1	2	3	4	5	
1	1.1	LA				Y	A
	2.1	SU				Y	A
	3.1	MA	A				Y
	4.1	TI	A				Y
	5.1	KE	Y	A			
	6.1	TO	Y	A			
	7.1	PE		Y	A		
	8.1	LA		Y	A		
	9.1	SU			Y	A	
2	10.1	MA			Y	A	
	11.1	TI				Y	A
	12.1	KE				Y	A
	13.1	TO	A				Y
	14.1	PE	A				Y
	15.1	LA	Y	A			
3	16.1	SU	Y	A			
	17.1	MA		Y	A		
	18.1	TI		Y	A		
	19.1	KE			Y	A	
	20.1	TO			Y	A	
	21.1	PE				Y	A
	22.1	LA				Y	A
4	23.1	SU	A				Y
	24.1	MA	A				Y
	25.1	TI	Y	A			
	26.1	KE	Y	A			
	27.1	TO		Y	A		
	28.1	PE		Y	A		
	29.1	LA			Y	A	
	30.1	SU			Y	A	

Kuva 5. Nykyinen lastauksen ja kuljetuksen vuorojärjestelmä

Vuorojärjestelmässä tehdään siis kaksi aamuvuoroa ja kaksi yövuoroa ja tämän jälkeen alkaa kuuden päivän vapaat. Tällä järjestelmällä saadaan vuoden ajalta tarkasteltuna kiviautojen käyttöasteeksi 56,6 % ja lastauskaluston käyttöasteeksi 58,9 %. Suurin osa vuorokauden tuotantoajasta menee tällä hetkellä hukkaan vuoronvaihtojen ja ruokataukojen vuoksi. Näiden aikaan avolouhoksessa ei ole tuotantoa lainkaan.

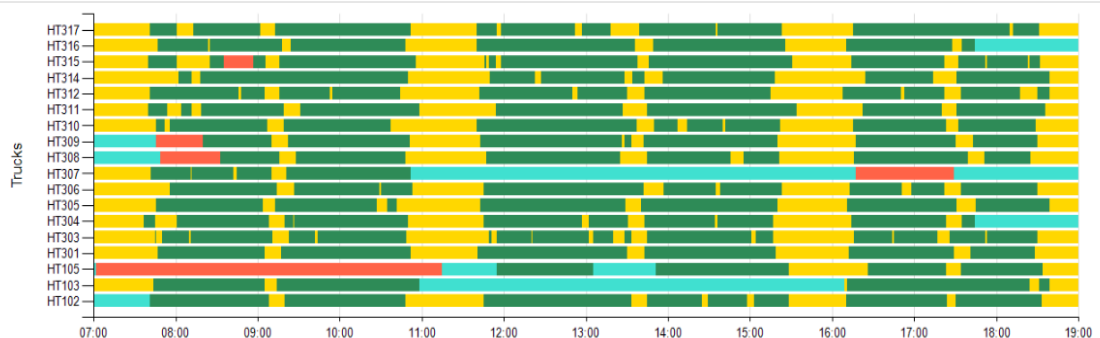


### Trucks and Shovels Timeline

Shift: 19-MAY-2022 Day Shift - Digger: FS201

Boliden Kevit

Execution Tim



Kuva 6. Aikajana kiviautojen käytöstä yhdessä työvuorossa

Kuvassa 6 näkyvät vihreät palkit tarkoittavat aikaa, jolloin kiviautot ovat tuotannossa. Keltaiset säännöllisesti toistuvat palkit ovat vuoronvaihtoja ja kahvi- ja ruokataukoja.

Vuoron alussa ja lopussa ovat vuoronvaihdosta johtuvat tuotannonkatkokset ja vuoron keskellä pitemmät ja lyhyemmät keltaiset palkit ovat kahvi- ja ruokataukoja. Muun väriset palkit tarkoittavat kunnossapitoa ja muita katkoja, jolloin kalusto ei ole saatavissa. Aikajanasta jo nähdään, että suurin osa hukkaan menneestä tuotantoajasta johtuu vuoronvaihdosta ja tauoista. Vuorokaudessa ruokataukoja tulee neljä ja kahvitaukoja kuusi. Kahvitauko kestää 12 minuuttia ja ruokatauko siirtymineen keskimäärin 50 minuuttia. Näistä johtuvat tuotantokatkokset vuorokaudessa kestävät yhteensä neljä tuntia ja 32 minuuttia. Esimerkiksi keskimääräinen Komatsu 830E kiviauton tuotantoaika vuorokaudessa on noin 13 tuntia ja 35 minuuttia ja lastauskaluston keskimääräinen tuotantoaika on noin 14 tuntia.

Vuoronvaihtojen aikaan lastauksen ja kuljetuksen tuotanto pysähtyy kokonaan. Vuoronvaihtoihin kuluu aikaa noin 70 minuuttia. Tämä vie tuotantoaikaa vuorokaudessa noin 2 tuntia ja 20 minuuttia. Vuoron alussa pidetään aina pulssipalaveri ja vuoron lopussa tehdään henkilökohtaiset puhdistautumiset ja vaatteiden vaihdot. Myös kaivoksella siirtymiin kuluu paljon aikaa.

## **5.2 Boliden Aitik kokemukset**

Ruotsissa toimii Boliden Aitikin kaivos, joka on Kevitsan kaivoksen sisaryhtiö. Kävin vierailulla kaivoksella ja sain sieltä hyvää tietoa työtäni varten. Kaivos on avolouhos ja kaivostoiminta on pääpiirteittäin samanlaista kuin Kevitsan avolouhoksella. Aitikin avolouhoksen kuljettimet ja murskaamo ovat kuitenkin eritavoin toteutettu ja kaivoksessa välimatkat ovat suuremmat kuin Kevitsan avolouhoksella. Lastaus- ja kuljetuskalusto on myös melko samanlaista, mutta suurimmat erot tulevat lastauskaluston kohdalla. Aitikin avolouhoksella käytetään myös useita vajjerikaivinkoneita. Kaivostoiminta on alkanut Aitikissa jo vuonna 1968, joten heidän kokemuksiaan ja ajatuksiaan oli hyvä kuulla ja pohtia työtäni varten.

Aitikin kaivos käyttää heidän kutsumaa ”hotseating” vuorojärjestelmää. Vuorojärjestelmä on kuitenkin erilainen kuin tässä työssä laskettu jatkuva vuorojärjestelmä. Heidän vuorojärjestelmä on ollut käytössä jo yli kymmenen vuotta. Heidän arvioidensa mukaan tuotantoaika on lisääntynyt 10 – 15 %. Tämä lukema voi olla saavutettavissa myös Kevitsan kaivoksella mahdollisilla uusilla vuorojärjestelmillä. Aitikin kaivoksella vuorot ovat lyhyempiä kuin Kevitsassa. Tämä toimii heille paremmin

ja työntekijät tykkäävät lyhyemmistä vuoroista, koska he asuvat lähempänä kaivosta. Kevitsaan suurin osa työntekijöistä, noin 66 % saapuu Sodankylästä noin 40 kilometrin päästä kaivoksesta. Työmatkat ovat myös tätäkin pidempiä, joten pidempiä työvuoroja pidetään myös tämän vuoksi mieluisampina. Eniten työntekijät pitävät kuitenkin pitkien vuorojen jälkeisistä pitkistä vapaista. Aitikissa vuoronvaihtoja tulee useampi kuin Kevitsassa, koska vuorot ovat lyhyempiä ja vuoronvaihdossa kestää noin tunti, eli sama aika kuin Kevitsan kaivoksella. Pidemmistä vuoroista on siis myös tuotannollisia hyötyjäkin, joten vuorot olisi hyvä pitää pidempinä.

Aitikissa on myös suunniteltu vuoronvaihtojen porrastamista, mutta nämä suunnitelmat eivät ole tuottaneet tulosta. Porrastamisen tekeminen voi olla monimutkaista, mutta tällä tavalla saataisiin jatkuvampaa tuotantoa. Haasteita vuorojen porrastamiseen aiheuttaa esimerkiksi työmatkat ja niistä koituvat kuljetukset ja myös kuljetukset itse kaivoksen sisällä työpisteeltä taukopaikalle.

### **5.3 Jatkuva vuorojärjestelmä**

Jatkuva vuorojärjestelmä on yksi vuorojärjestelmä vaihtoehtoista, joilla voitaisiin parantaa kaluston käyttöasteita ja saada jatkuvampaa tuotantoa. Jatkuvan vuorojärjestelmän tyylinen vuorojärjestelmä on käytössä esimerkiksi Boliden Aitikin avolouhoksella. Kevitsaan sopivaksi muokattuna vuorojärjestelmä voisi toimia tulevaisuudessa hyvinkin.

Jatkuvan vuorojärjestelmän toiminta periaate on, että laitteet ovat jatkuvasti ajossa lukuun ottamatta vuoronvaihtoja. Esimerkiksi, kun kiviauto kuljettaja astuu ulos kiviautosta ja lähtee ruokatauolle, on heti seuraava kuljettaja astumassa kiviautoon sisälle jatkamaan ajamista. Sama periaate pätee myös lastauskalustolle. Vuorojärjestelmässä kolmelle kiviautolle on varattu neljä kuljettajaa, joista aina yksi kuljettaja on 45 minuutin tauolla. Tauko sisältää myös siirtymät, joten taukoaikaa on hieman vähemmän kuin 45 minuuttia. Vuorojärjestelmässä on tärkeää, että kiviautonkuljettaja ei koskaan joudu odottamaan tauolta tulevaa kuljettajaa, vaan tauolta tuleva kuljettaja on aina valmiina astumaan suoraan kiviautoon, kun edellinen kuljettaja on lähdössä tauolle. Kuljettajan vaihtotapahtuma vie noin viisi minuuttia. Tämä vaatii, että jokaisella neljän kuljettajan ryhmällä on käytössä oma kevytajoneuvo, jotta kuljettajavaihdot toimivat sujuvasti ja ajallaan.

	7:30	8:15	10:30	12:45	15:00	17:15	18:45
Kiviauto 1	1	4	3	2	1	4	
	7:30	9:00	11:15	13:30	15:45	18:00	18:45
Kiviauto 2	2	1	4	3	2	1	
	7:30	9:45	12:00	14:15	16:30	18:45	-
Kiviauto 3	3	2	1	4	3	2	

Kuva 7. Jatkuva vuorojärjestelmä

Kuvassa 7 on havainnollistettu, kuinka jatkuva vuorojärjestelmä käytännössä toimii. Kolmella vaakasarakkeella on eroteltu kolme eri kiviautoa ja sarakkeilla olevat numerot 1 - 4 kuvaavat kiviautonkuljettajia. Työvuoro alkaa kello 7.00 ja päättyy 19.00. Esimerkkinä voidaan seurata kiviauton 1 ajoa. Vuoronvaihdosta koitua tuotantokatkos on minimissään noin 45 minuuttia, joten kuljettaja numero 1 on kiviautossa numero 1 kello 7.30. Kuljettaja ajaa kiviautoa kello 8.15 asti ja sen jälkeen lähtee 45 minuuttia kestäväälle tauolle. Tauon aikana on myös mahdollista, että kuljettaja tekee muita töitä, kuten apukoneilla työskentelyä. Samalla kiviautoon tulee kuljettajaksi kuljettaja numero 4 ja tämä kuljettaja ajaa kiviautoa kello 10.30 asti, eli yhteensä 2 tuntia ja 15 minuuttia ja sen jälkeen kuljettaja lähtee tauolle ja kuljettaja numero 3 tulee jatkamaan ajamista. Kuljettaja numero 3 ajaa kello 12.45 asti ja sen jälkeen kuljettajaksi tulee kuljettaja numero 2, joka ajaa kello 15.00 asti. Tämän jälkeen kiviauton kuljettajaksi tulee kuljettaja numero 1 ja hän ajaa kello 17.15 asti. Viimeiseen ajovuoroon tulee kuljettaja numero 4 ja hän ajaa kello 18.45 asti ja lähtee tämän jälkeen vuoronvaihtoon.

Kuvasta 3. näkee myös, kun kuljettaja tulee ruokatauolta, hän menee sen jälkeen aina eri kiviautoon. Esimerkiksi kuljettaja numero 1 ajaa ensin kiviautoa numero 1 ensimmäiseen taukoon saakka. Tauon jälkeen hän menee kiviautoon numero 2. Seuraavan tauon jälkeen hän menee kiviautoon numero 3. Vuoron alussa ja lopussa ei ole kaikki kuljettaja ajamassa. Vuoron alussa kuljettaja numero 4 on suoraan tauolla ja vuoron lopussa kuljettaja numero 3 on tauolla. Jotta samat kuljettajat eivät aina ole järjestelmässä samalla numerolla joka vuorossa, voidaan vielä ryhmän kesken vaihtaa kuljettajia numerot aina seuraavan vuoron alkaessa. Vuorojärjestelmässä kuljettaja kohtaisia taukoja tulee neljä ja jokainen tauko kestää 45 minuuttia. Tästä tulee kuitenkin vähentää vielä kuljettajan siirtymiin kuluva aika, joka vaihtelee sen mukaan, millä alueella kulloinkin työskennellään.



Vuorojärjestelmän piiriin kuuluu 17 kiviautoa, joten kuljettajia tarvitaan 24. Eli aina kolme kiviautoa kohden on neljä kuljettajaa. Päälastauskoneita on kolme, joten lastauskoneiden kuljettajia tarvitaan aina neljä. Kaluston kuljettamiseen tarvitaan yhteensä 28 kuljettajaa per vuoro. Jatkuva vuorojärjestelmä voidaan toteuttaa Kevitsassa jo nykyään toimivalla kaksivuorotyöllä (kuva 3.) Tässä vuoroja on viisi, joten koko jatkuvan vuorojärjestelmän kuljettaja määräksi tulee 140.

## 5.4 10 tunnin vuorojärjestelmä ja jatkuva vuorojärjestelmä

Jatkuvan vuorojärjestelmän lisäksi voidaan myös kehittää 10 tunnin vuorot jatkuvan vuorosysteemin rinnalle (Kuva 7.). Vuorokaudessa vuoronvaihtoihin kuluu aikaa noin 2 tuntia ja 20 minuuttia. 10 tunnin vuoron tarkoituksena olisi täyttää tämä aika, jotta saadaan lisää tuotantoaika. 10 tunnin vuoro alkaisi kello 5.30 ja näin he pystyisivät tuuraamaan koko jatkuvan vuorojärjestelmän vuoronvaihdon, joka sijoittuu aikavälille 6.25 - 7.35. Ensimmäinen 10 tunnin vuoro loppuu kello 15.30 ja seuraava tulee paikalle 14.30. Kello 14.30 aloittava vuoro tuuraa siis jatkuvan vuorojärjestelmän vuoronvaihdon aikavälillä 18.25 - 19.35. 10 tunnin vuoro lopettaa kello 00.30. Aika välillä 00.30- 5.30 ei ole 10 tunnin vuoro ollenkaan paikalla. Kuvassa 8 näytetään miten 10 tunninvuorot jakautuvat jatkuvan vuorojärjestelmän mukaan.

		Vuoro alkaisi 14:30 ja päättyisi 00:30						
		Vuoro alkaisi 5:30 ja päättyisi 15:30						
Kiviauto 1		7:30	8:15	10:30	12:45	15:00	17:15	18:45
		1	4	3	2	1	4	
Kiviauto 2		7:30	9:00	11:15	13:30	15:45	18:00	18:45
		2	1	4	3	2	1	
Kiviauto 3		7:30	9:45	12:00	14:15	16:30	18:45	-
		3	2	1	4	3	2	

Kuva 8. 10 tunnin vuorojärjestelmä ja jatkuva vuorojärjestelmä

Kuljettajan vaihdot tehdään niin, että vuoronvaihtoon lähtevän kuljettajan ei tarvitse koskaan odottaa, vaan tuuraava kuljettaja on aina valmiina odottamassa kuljettajan vaihtoa. Silloin kun 10 tunnin vuoro ei ole tuuraamassa vuoronvaihtoja, voivat he tehdä apukoneenkuljettajan töitä. Näitä ovat esimerkiksi teiden kunnossapidolliset työt ja lastauspaikan siivoustyöt. 10 tunnin vuorot toteutettaisiin nykyisen Kevitsassa toimivan

vuorokalenterin mukaisesti. Poikkeuksena tähän, että vuorokaudessa 10 tunnin vuoroja on kaksi kappaletta. Vuorot voitaisiin jakaa aamu- ja iltavuoroon. Jotta saadaan vaihtelua, voi aamu ja iltavuorojen paikkoja vaihdella niin, että joka toinen 5 päivän pituinen työputki on aamuvuoro ja joka toinen iltavuoro. Kuvassa 9 näytetään 10 tunnin vuorojen vuorotaulukko.

			12h vuorot					10h vuorot	
			1	2	3	4	5	A	B
	1.1	LA				Y	A		10
	2.1	SU				Y	A		10
1	3.1	MA	A				Y		10
	4.1	TI	A				Y		10
	5.1	KE	Y	A				10	
	6.1	TO	Y	A				10	
	7.1	PE		Y	A			10	
	8.1	LA		Y	A			10	
	9.1	SU			Y	A		10	
	10.1	MA			Y	A			10
	11.1	TI				Y	A		10
2	12.1	KE				Y	A		10
	13.1	TO	A				Y		10
	14.1	PE	A				Y		10
	15.1	LA	Y	A				10	
	16.1	SU	Y	A				10	
	17.1	MA		Y	A				10
3	18.1	TI		Y	A				10
	19.1	KE			Y	A			10
	20.1	TO			Y	A			10
	21.1	PE				Y	A		10
	22.1	LA				Y	A		10
	23.1	SU	A				Y		10
4	24.1	MA	A				Y		10
	25.1	TI	Y	A				10	
	26.1	KE	Y	A				10	
	27.1	TO		Y	A			10	
	28.1	PE		Y	A			10	
	29.1	LA			Y	A		10	
	30.1	SU			Y	A		10	

Kuva 9. 12 tunnin ja 10 tunnin vuorot

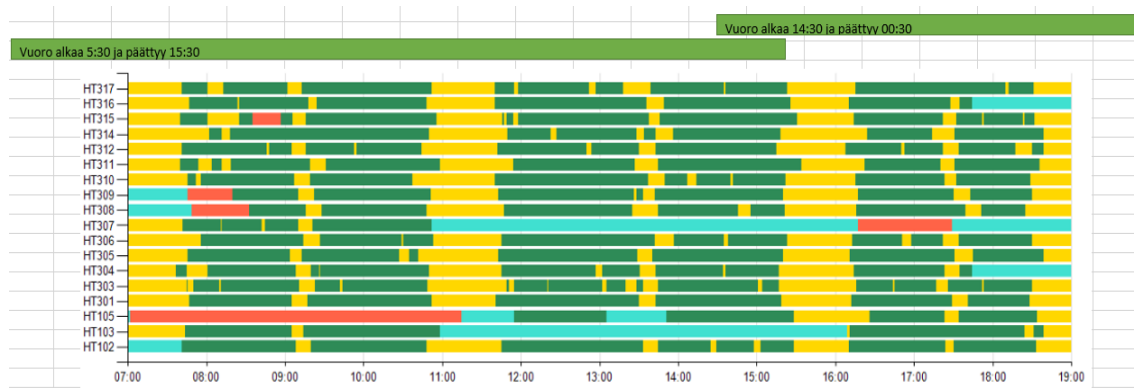
10 tunnin vuoro tässä mallissa ajaa kahta lastauskonetta, eli Caterpillar 6060 ja Komatsu PC8000. Näin ollen yksi lastauskone ei ole ajossa. Vuoro ajaa myös kymmentä Komatsu 830E kiviautoa. Yhdessä vuorossa on 12 kuljettajaa ja kaikissa neljässä vuorossa yhteensä 48 kuljettajaa.

## 5.5 10 tunnin vuorojärjestelmä ja nykyinen vuorojärjestelmä

Nykyisen Kevitsassa toimivan vuorojärjestelmän rinnalle voidaan myös lisätä edellisessä kappaleessa mainitut 10 tunnin vuorot. Nykyisellä vuorojärjestelmällä on siis pitempiä tuotantokatkoksia 6 kappaletta, 4 ruokataukoa ja 2 vuoronvaihtoa. 10 tunnin vuoron olisi siis tarkoitus tässä tapauksessa tuurata normaali vuoroa ruokataukojen ja vuoronvaihtojen ajan. Kuitenkin yksi ruokatauko jää tuuraamatta, joka sijoittuu aikavälille 00.30 - 05.30.

Tähän aikaan 10 tunnin vuoro ei ole kaivoksella. Normaali vuorojärjestelmän kahvitaukoja ei tässä vuoromallissa ole tarkoitus tuurata, vaan ne pidetään normaalisti. Vuoronvaihdot tuurataan juuri samalla tavalla, kuin jatkuvan vuorojärjestelmän vuorojenvaihdossa. 10 tunnin aamuvuoro tuuraa kello 7.00 alkavan normaali vuoron ruokatauot aikaväleillä 11 – 12 ja 15 – 16. 10 tunnin iltavuoro tuuraa kello 7.00 alkavan normaali vuoron ruokatauon aikavälillä kello 23.00 - 00.00.

Tämä 10 tunnin vuorojärjestelmä ajaa samaa kalustoa samalla kuljettaja määrällä kuin edellisessä kappaleessa on mainittu. Myös vuorojen keskinäinen vaihtelu toteutetaan samalla tavalla, jotta vuorot eivät ole aina pelkkää aamuvuoroa tai iltavuoroa. Kuvassa 10 esitellään miten 10 tunnin vuorot järjestyvät normaalin nykyään Kevitsassa toimivan vuorojärjestelmän rinnalle.



Kuva 10. 10 tunnin vuorojärjestelmä normaali vuorojärjestelmän rinnalla

## 5.6 9 tunnin vuorojärjestelmä

Jatkuva kolmivuorotyö on yksi vaihtoehto lastauksen ja kuljetuksen toiminnalle ja mahdolliselle käyttöasteen parantamiselle. Jatkuvassa kolmivuorotyössä tehdään normaalisti kahdeksan tunnin vuoroja, mutta tässä mallissa vuorot ovat yhdeksän tunnin mittaisia. Aamuvuoro alkaa 7.30 ja loppuu 16.30. Iltavuoro alkaa 15.30 ja loppuu 00.30. Yövuoro alkaa 23.30 ja loppuu 8.30. Tällä saadaan vuoronvaihtojen ajaksi tuotanto pyörimään ja kaluston käyttöaste kohoamaan. Vuoroja tässä mallissa on viisi ja jokainen vuoro tekee kaksi aamuvuoroa kaksi iltavuoro ja kaksi yövuoroa. Näiden jälkeen vuoro siirtyy neljän päivän vapaille. Vuoron miehitys on 20 kuljettajaa, joista 17 ajaa kiviautoja ja kolme lastauskonetta. Yhteensä vuorojärjestelmän vahvuudeksi saadaan 100 kuljettajaa. Kuljettajat viettävät kahvitauot ja ruokatauot normaalisti. Kahvitaukoihin

kuluu yhteensä 24 minuuttia ja ruokataukoon siirtymiseen noin 50 minuuttia. Vuorokaudessa näistä tauoista koituu tuotantokatkoksia yhteensä 3 tuntia ja 42 minuuttia. Kuvassa 11 on kolmivuorotyön työvuorot.

VUORO	1	2	3	4	5
ma	A	-	-	Y	I
ti	A	-	-	Y	I
ke	I	A	-	-	Y
to	I	A	-	-	Y
pe	Y	I	A	-	-
la	Y	I	A	-	-
su	-	Y	I	A	-
ma	-	Y	I	A	-
ti	-	-	Y	I	A
ke	-	-	Y	I	A

Kuva 11. 9 tunnin vuorojärjestelmä

## **6 VUOROJÄRJESTELMIEN TULOKSET**

## **LASKENNALLISET**

Esiteltynä vuorojärjestelmä vaihtoehtoja vertaillaan niistä laskennallisesti saaduilla tuloksilla. Työssä on laskettu vuorojärjestelmien aikaansaamat tulokset kaivoksen ja työn kannalta olennaisimmilla ja tärkeimmillä kriteereillä. Näitä ovat tuotetut kivitonnit, käyttöasteet, lisätulot tuotetuista kivitonneista, henkilöstöasiat ja muiden tukitoimintojen saamat hyödyt.

### **6.1 Käyttöasteet ja saatu lisätuotantoaika**

Työssä lähtökohtana on saada lastaus- ja kuljetuskaluston käyttöasteet kohoamaan. Uudet käyttöasteet lasketaan kullakin vuorojärjestelmällä saadusta lisätuotantoajasta. Saadut lisätuotantoajat ja käyttöasteet vaihtelevat paljon eri vuorojärjestelmien välillä, kuten kuvassa 12 näkyy. Käyttöasteita vertaillaan prosentuaalisella käyttöasteen kasvulla ja prosenttiyksiköillä. Pelkästään saatu käyttöasteen kasvu ei aina kerro, että mikä vuorojärjestelmä voisi olla paras. Käyttöasteen kasvussa täytyy ottaa myös huomioon esimerkiksi kasvavat henkilöstökulut ja käyttökustannukset.

<b>Käyttöaste jatkuva</b>			<b>Käyttöaste 10 h vuorot</b>	
Lisätuotantoaika	4h 7min		Lisätuotantoaika	4h 40min
Kiviautot			Kiviautot	
Käyttöaste	56,60 %		Käyttöaste	56,60 %
Uusi käyttöaste	73,70 %		Uusi käyttöaste	76,00 %
Käyttöasteen nousu	30,20 %		Käyttöasteen nousu	34,30 %
	17,1 prosenttiyksikköä			19,4 prosenttiyksikköä
<b>Lastauskalusto</b>			<b>Lastauskalusto (Cat 6060 ja PC8000)</b>	
Käyttöaste	58,90 %		Käyttöaste	58,90 %
Uusi käyttöaste	76,20 %		Uusi käyttöaste	78,40 %
Käyttöasteen nousu	29,30 %		Käyttöasteen nousu	32,80 %
	17,3 prosenttiyksikköä			19,4 prosenttiyksikköä
<b>Käyttöaste 10 h vuorot + jatkuva</b>			<b>Käyttöaste 9 h vuorot</b>	
Lisätuotantoaika	6h 27min		Lisätuotantoaika	3h 10min
Kiviautot			Kiviautot	
Käyttöaste	56,60 %		Käyttöaste	56,60 %
Uusi käyttöaste	83,40 %		Uusi käyttöaste	69,70 %
Käyttöasteen nousu	47,30 %		Käyttöasteen nousu	23,10 %
	26,8 prosenttiyksikköä			13,1 prosenttiyksikköä
<b>Lastauskalusto</b>			<b>Lastauskalusto</b>	
Käyttöaste	58,90 %		Käyttöaste	58,90 %
Uusi käyttöaste	86,10 %		Uusi käyttöaste	72,20 %
Käyttöasteen nousu	46,20 %		Käyttöasteen nousu	22,60 %
	27,2 prosenttiyksikköä			13,3 prosenttiyksikköä

Kuva 12. Käyttöasteet ja saatu lisätuotantoaika

Kaikissa vuorojärjestelmissä niin lastauskaluston, kuin kuljetuskalustonkin käyttöasteet kasvavat yli 20 prosenttia. Uudet käyttöasteet kasvavat myös 13,3 - 27,2 prosenttiyksikköä. Uusi käyttöaste määräytyy suoraan saadun lisätuotantoajan mukaan. Suurimmat käyttöasteet saadaan jatkuvan- ja 10 tunnin vuorojärjestelmän yhdistelmällä, kiviautojen uusi käyttöaste 83,4 % ja lastauskaluston uusi käyttöaste 86,1 %. Pienimmät käyttöasteen nousut saadaan 9 tunnin vuorojärjestelmällä kiviautojen uusi käyttöaste 69,7 % ja lastauskaluston uusi käyttöaste 72,2 %. 10 tunnin vuorolla ja jatkuvalla vuorojärjestelmällä saadaan lähes samat käyttöasteet. Jatkuvan vuorojärjestelmän kiviautojen uusi käyttöaste on 73,7 % ja lastauskaluston uusi käyttöaste on 76,20 %.

Vastaavasti 10 tunnin vuorojärjestelmän kiviautojen uusi käyttöaste on 76 % ja lastauskaluston uusi käyttöaste on 78,4 %.

## 6.2 Tuotetut kivitonnit

Suurin osa tuotetuista kivitonneista kaivoksella tehdään kolmella lastauskoneella (Kuva 13). Näitä ovat kaksi Caterpillar 6060 ja Komatsu PC8000. Lastaustehoiltaan koneet ovat suurimpia ja Komatsu PC8000 on suurin.

<b>Lastaustehot</b>		
	t/d	t/h
FS 201 KOM PC 8000	40000	2667
FS 301 CAT 6060	33000	2200
FS 302 CAT 6060	33000	2200

Kuva 13. Lastaustehot

Uusilla vuorojärjestelmillä voitaisiin saada suuriakin hyötyjä lastaustehoissa. Tätä myötä myös tuotetut kivitonnit kasvavat huomattavasti (Kuva 14.).

Tonnit							
Lisätönnit vuorokaudessa jatkuva vuorojärjestelmä				Lisätönnit vuorokaudessa 10h vuorot			
		Keskiarvo t/päivä	Tuotannon lisäys			Keskiarvo t/päivä	Tuotannon lisäys
FS201	14h 17min	35 452	10387	FS201	14h 17min	35 452	
	17h 54min	45839			18h 57min	47898	12446
FS301	14h 37min	29 299	8585	FS301	14h 37min	29 299	
	18h 14min	37884			16h 57min	39565	10266
FS302	13h 35min	28 325	8 299				Yhteensä
	17h 12min	36624					22712
			Yhteensä				27271

Lisätönnit vuorokaudessa jatkuva + 10h vuorot				Lisätönnit vuorokaudessa 9h vuorot			
		Keskiarvo t/päivä	Tuotannon lisäys			Keskiarvo t/päivä	Tuotannon lisäys
FS201	14h 17min	35 452	10387	FS201	14h 17min	35 452	
	17h 54min	45839			17h 27min	43464	8012
FS301	14h 37min	29 299	8585	FS301	14h 37min	29 299	
	18h 14min	37884			17h 47min	35921	6622
FS302	13h 35min	28 325	8 299	FS302	13h 35min	28 325	
	17h 12min	36624			16h 45min	34726,45	6401
			Yhteensä				Yhteensä
			27271				21035
			+				
			9734				
			37005				

Kuva 14. Vuorojärjestelmien lisätönnit vuorokaudessa

Jatkuvalla vuorojärjestelmällä saadaan lisätönneja 24 200 t, 10 tunnin vuoroilla 22 712 t, näiden yhteisellä vuorojärjestelmällä 33 934 t ja 9 tunnin vuoroilla 21 035 t. Kaivoksella tuotetuista kivitonneista noin 33 % on malmia ja loput sivukiveä. Vuoden lisätönnit tuotetuista kivitonneista ja tuotettujen kivitonnien prosentuaalinen kasvu näkyy kuvassa 15.



Vuodessa ja prosentuaalinen muutos			
Malmitonnit vuodessa		Malmitonnit vuodessa	
Toteutuneet	9 801 408	Toteutuneet	9 801 408
Jatkuva	13 086 200	10h vuoro	12 537 068
Sivukivi vuodessa.		Sivukivitonnit vuodessa	
Toteutuneet	23 970 811	Toteutuneet	23 970 811
Jatkuva	30 540 395	10h vuoro	29 525 031
Kivenajo yhteensä		Kivenajo yhteensä	
Toteutuneet	33 772 219	Toteutuneet	33 772 219
Jatkuva	43 626 595	10h vuoro	42 062 099
Prosentuaalinen kasvu	29,40 %	Prosentuaalinen kasvu	24,50 %
Vuoden lisätonnit	9 953 915	Vuoden lisätonnit	8 298 880

Malmitonnit vuodessa		Malmitonnit vuodessa	
Toteutuneet	9 801 408	Toteutuneet	9 801 408
10h vuoro+ Jatkuva	14 258 693	9h vuorot	12 335 095
Sivukivitonnit vuodessa		Sivukivitonnit vuodessa	
Toteutuneet	23 970 811	Toteutuneet	23 970 811
10h vuoro+ Jatkuva	32 975 417	9h vuorot	29 114 963
Kivenajo yhteensä		Kivenajo yhteensä	
Toteutuneet	33 772 219	Toteutuneet	33 772 219
10h vuoro+ Jatkuva	47 279 142	9h vuorot	41 450 058
Prosentuaalinen kasvu	40,00 %	Prosentuaalinen kasvu	22,70 %
Lisätonnit vuodessa	13 506 922	Lisätonnit vuodessa	7 677 839

Kuva 15. Vuorojärjestelmien lisätonnit vuodessa

Uusilla vuorojärjestelmillä saatu lastauksen ja kuljetuksen tuottamien kivitonnien prosentuaalinen kasvu voidaan saada jopa yli 20 prosenttiin. Suurimmat tuotetut lisätonnit saadaan jatkuvan vuorojärjestelmän ja 10 tunnin vuorojen yhdistelmällä. Kun

nämä vuorojärjestelmät pidetään erillään toisista, suurimmat lisätonnit saadaan jatkuvalla vuorojärjestelmällä. Vaikka käyttöasteet nousevat jatkuvassa vuorojärjestelmässä ja 10 tunninvuoroissa yhtä paljon, jää 10 tunnin vuorojen tonnit alhaisemmiksi. Tämä johtuu siitä, että 10 tunnin vuorot toteutetaan vain kahdella lastauskoneella kolmen lastauskoneen sijaan.

### 6.3 Malmitonnien arvo

Tuotetuista kivitonneista tulee erotella malmitonnit erikseen. Malmitonnit ovat niitä, joista kaivos hyötyy ja saa tuloja. Malmitonnin arvo on noin 40 euroa per tuotettu tonni. Yli 20 prosentin vuosittaisella tuotannon lisäyksellä voidaan saada suuriakin lisätuloja (Kuva 16).

<b>Lisämalmittonnien arvo</b>			
Talousosastolta saamani keskiarvo malmitonnin arvosta			
<b>40 e/tonni</b>			
<b>Jatkuva</b>		<b>10h vuorot</b>	
Malmitonnit vuodessa.		Malmitonnit vuodessa.	
<b>Toteutuneet</b>	<b>9 801 408</b>	<b>Toteutuneet</b>	<b>9 801 408</b>
<b>Jatkuva</b>	<b>13 086 200</b>	<b>10h vuoro</b>	<b>12 537 068</b>
<b>Lisätonnit</b>	<b>3 284 792</b>	<b>Lisätonnit</b>	<b>2 735 660</b>
<b>Lisämalmittonnien arvo</b>	<b>131 391 680 €</b>	<b>Lisämalmittonnien arvo</b>	<b>109 426 416 €</b>
<b>Jatkuva + 10h vuorot</b>		<b>9h vuorot</b>	
Malmitonnit vuodessa.		Malmitonnit vuodessa.	
<b>Toteutuneet</b>	<b>9 801 408</b>	<b>Toteutuneet</b>	<b>9 801 408</b>
<b>10h vuoro+ Jatkuva</b>	<b>14 258 693</b>	<b>9h vuorot</b>	<b>12 335 095</b>
<b>Lisätonnit</b>	<b>4 457 285</b>	<b>Lisätonnit</b>	<b>2 533 687</b>
<b>Lisämalmittonnien arvo</b>	<b>178 291 400 €</b>	<b>Lisämalmittonnien arvo</b>	<b>101 347 478 €</b>

Kuva 16. Tuotettujen lisämalmittomien arvot

Suurin hyöty saadaan jälleen jatkuvan vuorojärjestelmän ja 10 tunnin vuorojen yhdistelmällä. Erikseen paras lisätulo saadaan jatkuvalla vuorojärjestelmällä. Myös 10- ja 9 tunnin vuorojen tuotettujen lisämalmittomien arvo on lähellä jatkuvan vuorojärjestelmän lisämalmittomien arvoa.

## 6.4 Henkilöstö

Jokainen vuorojärjestelmä vaatii erimäärän henkilöstöä, jotta vuoron toteuttaminen onnistuu. Tarvittavan henkilöstön luvun tietäminen on tärkeää rekrytoinnin ja henkilöstökulujen vuoksi. Rekrytoinnit eivät ole helppoja toimenpiteitä ja henkilöstökuluja yleensä pyritään minimoimaan. Tällä henkilöstö määrällä kuitenkin tulisi saada tuotanto kasvamaan ja käyttöasteet kohoamaan. Kuvassa 17 on laskettu uusien vuorojärjestelmien henkilöstömäärät.

Henkilöstö					
<b>Jatkuva</b>		<b>10h vuorot + normaalivuorojärjestelmä</b>			
<b>17 kiviautolle + 3 lastauskonetta</b>		<b>10 kiviautolle + 2 lastauskonetta ja 17 kiviautolle +3 lastauskonetta</b>			
1. vuoro:	28	1. vuoro:	12	20	
2. vuoro:	28	2. vuoro:	12	20	
3. vuoro:	28	3. vuoro:	12	20	
4. vuoro:	28	4. vuoro:	12	20	
5. vuoro:	28			20	
Yhteensä	140	Yhteensä	48	100	148
120 kiviauton kuljettajaa	20 lastaria	40 kiviautonkuljettajaa ja 8 lastaria + 85 kiviautonkuljettajaa ja 15 lastaria			
<b>Jatkuva + 10h vuorot</b>		<b>9h vuorot</b>			
<b>17 kiviautolle + 3 lastauskonetta</b>		<b>17 kiviautolle + 3 lastauskonetta</b>			
1. vuoro:	40	1. vuoro:	20		
2. vuoro:	40	2. vuoro:	20		
3. vuoro:	40	3. vuoro:	20		
4. vuoro:	40	4. vuoro:	20		
5. vuoro:	28	5. vuoro:	20		
Yhteensä	188	Yhteensä	100		
160 kiviauton kuljettajaa	28 lastaria	85 kiviauton kuljettajaa 15 lastaria			

## Kuva 17. Vuorojärjestelmien henkilöstömäärät

Vuorojen henkilöstökulut myös yleensä kasvavat, kun kaluston käyttöasteita yritetään kasvattaa ja tuotantoa pyritään saamaan lisää. Uusien vuorojen henkilöstökuluja verrataan vanhan vuorojärjestelmän henkilöstökuluihin. Jatkuvassa vuorojärjestelmässä henkilöstökulut nousevat 40 %, 10 tunnin vuorojärjestelmässä 48 %, jatkuvan- ja 10 tunnin vuorojärjestelmän yhteisvuorossa 88 % ja 9 tunnin vuorojärjestelmässä 0 %. Selvästi pienin henkilöstökulujen kasvu on 9 tunnin vuorojärjestelmässä ja suurin jatkuvan- ja 10 tunnin vuorojärjestelmän yhteisvuorossa. Henkilöstökuluja on kuitenkin hyvä verrata saatuun lisätuotantoon. Myös rekrytointien ja henkilöstöhallinnollisten asioiden vuoksi on hyvä tutkia henkilöstöasioita myös muilta näkökannoilta. Salassapito asioiden vuoksi henkilöstökulut ovat mainittu vain prosentteina.

## 6.5 Käyttökustannukset

Lastauksen ja kuljetuksen käyttökustannuksiin voidaan laskea palkat, polttoaineet, sähköenergia, kunnossapitokustannukset ja muut pienemmät kustannukset. Käyttökustannuksiin kuuluvat myös palkat, mutta ne ovat laskettu tässä työssä erikseen. Tässä vertailussa käyttökustannuksissa otettiin huomioon vain kunnossapitokustannukset, sähköenergia ja polttoaineet. Laskettuihin kunnossapitokustannuksiin kuuluu myös kiviautojenrenkaat. Kunnossapitosopimuksen kannalta on myös paljon hyödyllisempää, että kalustoa käytetään enemmän, joten kunnossapitokustannukset eivät muutu paljoa. Lastauskoneet ovat yksittäin paljon kalliimpia käyttökustannuksiltaan, kuin kiviautot. Kuvassa 18 nähdään käyttökustannusten arvioidut prosentuaaliset kasvut.

<b>Käyttökustannusten kasvu</b>			
<b>Jatkuva</b>			
Kiviautot		Lastauskalusto	
<b>Nykyhetki</b>		<b>Nykyhetki</b>	
Tunnit	73094	Tunnit	10592
<b>Jatkuva</b>		<b>Jatkuva</b>	
Tunnit	95022	Tunnit	13770
% kasvu	30 %	% kasvu	30 %
<b>10h vuorot</b>			
Kiviautot		Lastauskalusto (Cat6060 ja PC8000)	
<b>Nykyhetki</b>		<b>Nykyhetki</b>	
Tunnit	73094	Tunnit	10592
<b>10h vuorot</b>		<b>10h vuorot</b>	
Tunnit	87836	Tunnit	12885
% kasvu	20,10 %	% kasvu	21,60 %
<b>10h vuorot + jatkuva</b>			
Kiviautot		Lastauskalusto (Cat6060 ja PC8000)	
<b>Nykyhetki</b>		<b>Nykyhetki</b>	
Tunnit	73094	Tunnit	10592
<b>10h vuorot + jatkuva</b>		<b>10h vuorot + jatkuva</b>	
Tunnit	101714	Tunnit	14635
% kasvu	39,20 %	% kasvu	38,10 %
<b>9h vuorot</b>			
Kiviautot		Lastauskalusto	
<b>Nykyhetki</b>		<b>Nykyhetki</b>	
Tunnit	73094	Tunnit	10592
<b>9h vuorot</b>		<b>9h vuorot</b>	
Tunnit	89979	Tunnit	12986
% kasvu	23 %	% kasvu	22,60 %

Kuva 18. Vuorojärjestelmien käyttökustannukset

Kiviautojen yhteenlasketut käyttökustannukset kasvavat paljon enemmän kuin lastauskaluston. Suurin osa kiviautojen käyttökustannusten kasvusta johtuu polttoaineiden lisääntyneestä kulutuksesta ja siitä, että kiviautoja on määrällisesti enemmän kuin lastauskoneita. Kuitenkin kiviautojen käyttökustannusten kasvu on todellisuudessa hieman pienempi johtuen kiviautojen huoltosopimuksista. Käyttökustannusten nousut johtuvat kasvavien käyttötuntien vuoksi. Käyttötunnit taas kasvavat, koska kaluston käytettävyys paranee jokaisessa vuorojärjestelmässä.

Keskimäärin Komatsun kiviautojen käyttötunnit nykyään vuoden aikana ovat noin 4300 tuntia. Kaluston käytön kasvaessa voidaan myös kalustoa hieman vähentää, mikä pienentää käyttökustannuksia.

Suurin käyttökustannusten kasvu tapahtuu 10 tunnin vuorojen ja jatkuvan vuorojärjestelmän yhdistelmässä. 10 tunnin vuoron ja jatkuvan vuorojärjestelmän ollessa erikseen käyttökustannukset nousevat molemmissa lähes yhtä paljon. Pienin käyttökustannusten kasvu tapahtuu 9 tunnin vuoroista.

## **6.6 Tukitoiminnot ja muut hyödyt**

Käyttöasteen kasvaessa myös tuotanto kasvaa. Malmitonneja tuotetaan enemmän, joten murskaamoon ja rikastamoon ajetaan myös enemmän malmia. Murskaamoon ja rikastamoon voi tulla myös liikatuotantoa, joten syntyy pullonkauloja. Käyttöasteiden ja näin ollen myös tuotannon kasvaessa voi syntyä ylituotantoa ja prosessiin ei voida ajaa enempää malmia. Jos lasketaan esimerkiksi, että vuodessa halutaan tuottaa 10 000 000 malmitonnia, ylituotantoa tapahtuu jatkuvassa vuorojärjestelmässä 3 086 200 malmitonnia. Tästä voidaan laskea, että kyseisellä vuorojärjestelmällä päästään 10 000 000 malmitonnin vuosi tavoitteeseen noin 76,4 % lastauskalustolla. Lastauskalustoa voitaisiin vähentää siis 23,6 %. Kun lastauskaluston määrä pienenee, pienenee myös kiviautojen määrä. Vastaavasti 10 tunnin vuorojärjestelmällä ylituotantoa tulee 2 537 068 malmitonnia. Tästä voidaan laskea, että 10 000 000 malmitonnin vuositavoitteeseen päästään 79,7 % lastauskalustolla. Lastauskalustoa voitaisiin siis vähentää 20,3 %. Myös kiviautojen määrä vähenee.

Kun lastauskalustoa ja kiviautoja pystytään vähentämään tuotannosta, kunnossapitokulut pienevät huomattavasti, koska kappalemääräisesti kalustoa on vähemmän huollettavaksi. Kuitenkin kun kalusto vähenee, niin pienempää kalustoa määrää käytetään enemmän. Kaluston vähetessä ja kaluston käytön kasvaessa renkaidenvaihto kulut ja polttoainekulut pysyvät lähes samana.

Nykyisen kunnossapito sopimuksen kannalta on järkevää ja hyödyllistä, että kalusto tulee tehokkaampaan käyttöön. Tämä vaikuttaa positiivisesti myös koituviin käyttökustannuksiin. Kaivoksella on nykyään tuotannossa myös neljä Caterpillar 793 kiviautoa. Näiden käyttöasteet ovat nykyään pienet ja kunnossapitokulut ovat suuret. Kun

nämä kiviautot saataisiin myytyä, saataisiin käyttökustannukset pienemään huomattavasti. Cat 793 kiviautojen kunnossapitokulut ovat suuret, eikä samanlaista sopimusta ole olemassa kuin Komatsun kiviautoille.

Kaivoksella toimii myös pienempiä lastauskoneita. Näitä ovat Komatsu WA1200 ja Komatsu PC 2000. Näiden osuus viimevuonna tuotetuista malmitonneista on noin 16 %, joten lastauskalustoa voitaisiin vähentää näiden osalta. Nämä kaksi lastauskonetta voitaisiin laittaa esimerkiksi apukoneiksi, joidenkin muiden apukoneiden tilalle, tai sitten nämä voitaisiin myydä. Usein kuitenkin WA1200 lastauskonetta käytetään varakoneena, kun jokin isommista lastauskoneista on huollossa. Näillä toimilla käyttökustannukset ja kunnossapitokulut taas pienenevät lastauskaluston osalta.

## 7 TULOSTEN ANALYSOINTI

Kaikilla esitellyillä uusilla vuorojärjestelmillä saataisiin lastaus- ja kuljetuskaluston käyttöasteet kohoamaan ja resurssit tehokkaampaan käyttöön. Tämän mukaan vaihtelee myös tuotetut kivitonnit ja käyttökustannukset. Kun verrataan käyttökustannusten kasvua, käyttökustannukset kasvavat eniten kiviautojen kohdalla, vaikka lastauskaluston tuntikustannukset ovat suuremmat. Tämä johtuu, että kiviautoja on määrällisesti enemmän kuin lastauskalustoa. Henkilöstömäärät ja sen myötä henkilöstökustannukset vaihtelevat vuorojärjestelmien tarpeiden mukaan.

Suurimmat käyttöasteen kasvut saadaan jatkuvan vuorojärjestelmän ja 10 tunnin vuorojen yhdistelmällä, noin 46,8 %. Näin ollen myös tuotetut kivitonnit ovat kaikista suurimmat 13 506 922 t ja niistä saadut lisätulot. Kuitenkin tämä vuorojärjestelmien kokonaisuus vaatii eniten rekrytointeja, jotta kuljettajia saadaan tarpeeksi. Tämän vuoksi myös henkilöstökulut kasvavat. Tarvittava henkilöstömäärä ja henkilöstökulut kasvavat 88 %. Myös lastaus- ja kuljetuskaluston käyttökustannukset kasvavat eniten suurimman käyttöasteen vuoksi. Prosentuaalisesti käyttökustannukset kasvavat noin 38,5 %.

Jatkuvan vuorojärjestelmän ja 10 tunnin vuorojen käyttöasteiden kasvut ovat melkein yhtä suuret. Jatkuvassa vuorojärjestelmässä keskimääräinen käyttöasteiden kasvu on 29,8 % ja 10 tunnin vuoroissa 33,6 %. Tuotetut kivitonnit ovat kuitenkin jatkuvassa vuorojärjestelmässä suuremmat kuin 10 tunnin vuoroissa ja näin ollen myös lisätuotot ovat suuremmat. Tämä johtuu siitä, että 10 tunnin vuoroissa ei ole yhtä Caterpillar 6060 lastauskonetta käytössä ja kiviautoja on käytössä kymmenen, kun kokonaismäärä on 17. Jatkuvan vuorojärjestelmän tuotetut lisätonnit vuodessa ovat 9 953 915 t ja 10 tunnin vuorojärjestelmän tuotetut lisätonnit vuodessa ovat 8 298 880 t. Henkilöstömääriltään ja henkilöstökuluiltaan molemmat vuorojärjestelmät ovat lähes samanlaisia. Jatkuvassa vuorojärjestelmässä henkilöstökulut ja henkilöstömäärä kasvaa 40 % ja 10 tunnin vuoroissa 48 %. Käyttökustannukset kasvavat jatkuvassa vuorojärjestelmässä 30 % ja 10 tunnin vuoroissa noin 21 %.

9 tunnin vuoroilla lasketut muutokset ovat pienempiä kuin muissa vuorojärjestelmissä. Käyttöasteet kasvavat noin 22,7 % ja lisätonnit vuodessa ovat 7 677 839 t. Henkilöstökulut ja henkilöstömäärät pysyvät samoina kuin nykyisillään toimivassa vuorojärjestelmässä. Kuitenkin henkilöstökulut voivat hieman nousta, koska työtunteja



kuljettajalle tulee kuukaudessa hieman enemmän. Käyttökustannuksiltaan 9 tunnin vuorot ovat kuitenkin hieman kalliimpia kuin 10 tunnin vuorot. 9 tunnin vuorojen kaluston käyttökustannukset nousevat noin 22,8 %.

Kun ehdotettuja vuorojärjestelmiä vertaillaan, parhaat tulokset saadaan jatkuvalla vuorojärjestelmällä ja 10 tunnin vuorojärjestelmällä. Näissä vuorojärjestelmissä syntyvät käyttökustannukset pysyvät maltillisempina ja lisätuotantoa saadaan sopivasti. Myös henkilöstökulut pysyvät kohtuullisina, koska henkilöstöä ei tarvitse rekrytoida lisää kohtuuttoman paljoa. Jatkuvan vuorojärjestelmän parantuneet käyttöasteet johtuvat pääasiassa hyvin suunnitelluista ja jouhevista kuljettajan vaihdoksista. Tässä järjestelmässä ei ole myöskään kahvitauoista johtuvia tuotantokatkoksia. 10 tunnin vuorot taas paikkaavat osan ruokatauoista ja vuoronvaihdot, mikä johtaa käyttöasteiden kasvuun. Maltillisilla käyttöasteen kasvuilla ja lisätoneilla on helpompi lähteä vähentämään lastaus- ja kuljetuskalustoa. Nämä vuorojärjestelmät olisi myös helpoin toteuttaa, koska vuorojen muutokset ovat hieman maltillisemmat.

Jatkuvan vuorojärjestelmän ja 10 tunnin vuorojen yhdistelmällä käyttöasteet nousevat eniten ja näin ollen myös lisätonnit. Käyttöasteen nousut johtuvat kuljettajan määrän runsaudesta, jolla voidaan täyttää lähes kaikki tuotantokatkokset, jotka liittyvät vuoronvaihtoihin ja ruokataukoihin. Lisätonneja tulisi paljon siihen nähden paljonko murskasta voidaan ajaa läpi malmia. Tästäkin vuorojärjestelmien yhdistelmästä voidaan alkaa vähentämään lastaus- ja kuljetuskalustoa, mutta vuorojärjestelmien yhdistelmä tekee siitä hieman haastavamman. Henkilöstökulut ja käyttökustannukset kasvavat huomattavasti. Toteuttamiseen tarvittavat muutokset tässä vuorojärjestelmien yhdistelmässä ovat melko suuret, joten siihen siirtyminen vie enemmän aikaa ja resursseja. Henkilöstöä tulisi paljon ja täten myös rekrytointeja jouduttaisiin tekemään paljon.

9 tunnin vuoroilla päästää hyviin lukemiin niin käyttöasteen, kuin tuotettujen lisätonnien kannalta. Tässä vuorojärjestelmässä suhteellisesti pitemmät työvuorot täydentävät ruokatauoista ja vuoronvaihdosta koituvat tuotantokatkokset, joten käyttöasteet kasvavat. Henkilöstömäärät eivät muutu, mutta koko vuorojärjestelmä muuttuu ja henkilöstökulut todellisuudessa kasvavat hieman. Tämä tekee vuorojärjestelmään siirtymisestä hieman haastavan, koska vuorot pitäisi rakentaa kokonaan uudelleen. Suhteessa taas käyttökustannukset kasvavat hieman enemmän, kuin muissa varteen

otettavissa vuorojärjestelmissä, kun niitä verrataan saatuun lisätuotantoon. Rekrytoinneiltaan tämä järjestelmä olisi helpoimmasta päästä, mikäli kokonaan uuteen vuorojärjestelmään suhtaudutaan avoimesti. Myös lisätönnien pysyessä kohtuullisissa määrissä on helpompi alkaa suunnitella kaluston vähentämistä.

Vaikka käyttöasteet nousevat ja resurssitehokkuus parantuu huomattavasti, niin se ei aina tarkoita, että suurin saatu käyttöaste tietyllä vuorojärjestelmällä tekee vuorojärjestelmästä parhaan. Vuorojärjestelmien välillä on myös hyvä vertailla koituvia lisäkustannuksia ja vertailla niitä saatuihin lisätönnihin. Myös henkilöstö asiat ovat usein haastavia varsinkin, mitä tulee lisärekrytointeihin. Sijainniltaan Kevitsan kaivokselle ei ole helpoin rekrytoida lisää työntekijöitä. Myös rekrytointiprosessit ovat aikaa vieviä ja niistä koituu lisäkustannuksia.

Lasketut tulokset antavat hyvää suuntaa mihin käyttöasteisiin ja tuotantolukuihin voitaisiin päästä kyseisillä vuorojärjestelmillä. Kaivosympäristö on kuitenkin haastava työympäristö ja muuttujia olosuhteisiin tulee aina, joten myös vuorojärjestelmillä lasketut tulokset voivat todellisuudessa olla hieman erit. Tuloksista on siis hyvä hakea suuntaa ja niiden pohjalta on hyvä arvioida tuotantoprosessia. Laskettuihin käyttöasteisiin ei luultavasti aivan päästäisi, koska ne ovat tuloksia niin sanotuissa optimiolosuhteissa. Esimerkiksi nousevat käyttöasteet lisäävät myös kaluston kunnossapito taakkaa, joten käyttöaste laskee tämän vuoksi.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA EHDOTUKSET

Parhaat tulokset saadaan jatkuvalla vuorojärjestelmällä ja 10 tunnin vuoroilla. Nämä vuorojärjestelmät olisivat helpoin toteuttaa, kun vertaillaan edellä esiteltyjä vuorojärjestelmiä. Taas hieman huonompia vaihtoehtoja olisivat 9 tunnin vuorot ja jatkuvan vuorojärjestelmän ja 10 tunnin vuorojen yhdistelmä.

Kun ei pelkästään mietitä vuoroilla saatuja tuloksia, vaan suunnitellaan myös, miten vuorot ovat mahdollista toteuttaa Kevitsassa, ovat jatkuva vuorojärjestelmä ja 10 tunnin vuorot helpoin toteuttaa. Jatkuva vuorojärjestelmä voitaisiin toteuttaa samalla vuorokaaviolla, mikä on nykyäänkin käytössä Kevitsan kaivoksella. Ainoastaan vuoronsisäinen toiminta muuttuisi ja rekrytointeja tarvittaisiin hieman lisää. Työssä ei ole kuitenkaan huomioitu lisäkustannuksia, joita koituu pienten henkilöstökuljetukseen tarkoitettujen autojen hankinnasta. Autoja tulee hankkia lisää, koska kuljettajan vaihdoksia vuorojärjestelmässä tulee paljon.

10 tunnin vuorot olisivat myös vuorojärjestelmä vaihtoehtoista helpoimpia toteuttaa. Normaali vuoro toimisi samoilla tavoin kuin nykyäänkin Kevitsassa. Ainoastaan 10 tunnin vuorot muodostettaisiin normaali vuorojen rinnalle tuomaan lisätuotantoa. 10 tunnin vuorot vaativat kuitenkin hieman lisärekrytointeja. Tämä on vuorojärjestelmän toteuttamisen suurin haaste.

Lisätuotantoajasta saatua lisätuotantoakaan ei voida ottaa lisää loputtomiin, koska rikastusprosessi ei voi käsitellä loputtomia määriä malmia. Tästäkin syystä nämä vuorojärjestelmät voisivat toimia parhaiten, koska vuorojärjestelmien tuomat muutokset ja lisätoimitukset pysyvät maltillisina. Uusia parhaimmiksi todettuja vuorojärjestelmiä onkin siis hyvä lähteä kokeilemaan pilotoinneilla. Esimerkiksi 10 tunnin vuorot voitaisiin kokeilla aluksi pelkästään päivävuorona ja pienemmällä kalustolla. Normaalisissa versioissa 10 tunnin vuorot toimivat sekä päivällä, että yöllä. Myös 10 tunnin vuorojen käyttämä kalusto voitaisiin puolittaa kahdesta lastauskoneesta ja 10 kiviautosta yhteen lastauskoneeseen ja 5 kiviautoon (Kuva 19).

<b>Kom PC8000 keskimääräinen työaika + saatu lisätyöaika.</b>		<b>Käyttöasteet</b>	
14h17min + 2h 50min= 17h 7 min		Käyttöaste vanha	<b>59 %</b> Käyttöaste uusi <b>70,80 %</b>
<b>Kiviautojen keskimääräinen työaika + saatu lisätyöaika.</b>		Käyttöaste vanha	<b>56,60 %</b> Käyttöaste uusi <b>68,40 %</b>
13h35min + 2h 50min= 16h 25min			
Henkilöstömäärältään 10h vuoro olisi 5 kiviautonkuljettajaa ja 1 lastari.			
Vuoroja kaksi kappaletta, eli 10 kiviauton kuljettajaa ja 2 lastaria.			
Lastauskone Kom Pc 8000 ja kiviautot 5 kpl Kom 830E.			
<b>Lisätönnit vuorokaudessa</b>			
		Keskiarvo t/päivä	Lisätönnit
FS201	14h 17min	35 452	
	17h 7min	42542	7556
		Vuodessa	2757940

		12h vuorot					10h vuorot	
		1	2	3	4	5	A	B
1	1.1	LA			Y	A		10
	2.1	SU			Y	A		10
	3.1	MA	A			Y		10
	4.1	TI	A			Y		10
	5.1	KE	Y	A				10
	6.1	TO	Y	A				10
	7.1	PE			A			10
	8.1	LA			Y	A		10
	9.1	SU			Y	A		10
	10.1	MA		Y	A			10
	11.1	TI		Y	A			10
	12.1	KE		Y	A			10
	13.1	TO	A			Y		10
	14.1	PE	A			Y		10
	15.1	LA	Y	A				10
	16.1	SU	Y	A				10
	17.1	MA		Y	A			10
	18.1	TI		Y	A			10
	19.1	KE		Y	A			10
	20.1	TO		Y	A			10
	21.1	PE		Y	A			10
	22.1	LA			Y	A		10
	23.1	SU			Y	A		10
	24.1	MA		Y	A			10
	25.1	TI		Y	A			10
	26.1	KE		Y	A			10
	27.1	TO		Y	A			10
	28.1	PE		Y	A			10
	29.1	LA			Y	A		10
	30.1	SU			Y	A		10

Kuva 19. Kevyt versio 10 tunnin vuoroista.

Jos tällä kevyemmällä versiolla saadaan hyviä tuloksia, voidaan kokeilla ottaa myös 10 tunnin yövuoro käyttöön. Tällöin henkilöstömäärä 10 tunnin vuoroissa tuplaantuu. Yöllä voitaisiin esimerkiksi käyttää toista lastauskoneetta Catepillar 6060, jottei Komatsun pc 8000 lastauskoneelle tule liikaa työpainetta. Toinen vaihtoehto laajentamiselle on ottaa 10 tunnin päivävuoroon käyttöön 2 lastauskoneetta ja 10 kiviautoa. Myös tällöin 10 tunnin vuoroissa henkilöstö tuplaantuu.

Toinen pilotointi vaihtoehto voisi olla, että jatkuvasta vuorojärjestelmästä voitaisiin ottaa aluksi myös pienempi pilotointi käyttöön. Tämä tarkoittaisi, että otettaisiin vain 6 kiviautoa, joita kuljettaa 8 operaattoria niin kuin normaalisti jatkuvassa vuorojärjestelmässä. Vain yhdelle lastauskoneelle ei voida ottaa tätä pilotoinnin vuorojärjestelmää, joten ruokataukojen ajaksi yhdelle lastauskoneelle täytyy vain saada tuuraaja esimerkiksi porrastamalla ruokataukoja, jotta pilotointi 6 kiviautolle onnistuu. Tätä voidaan myöhemmin sitten laajentaa esimerkiksi 12 kiviautolle ja kahdelle lastauskoneelle. Tällöin kahdelle lastauskoneelle voidaan ottaa käyttöön muokattu jatkuva vuoro.

Ehdotuksena siis on kokeilla parhaaksi arvioituja vuorojärjestelmiä pilotointeina. Voidaan kokeilla ensin esimerkiksi 10 tunnin vuoroja ja sen jälkeen jatkuva vuorojärjestelmä. Näistä valitaan sitten parempi vaihtoehto. Jos koetaan heti alkuun, että 10 tunnin vuorojärjestelmä on, hyvä voidaan suoraan pysyttäytyä siinä. Pilotoimalla

saadaan testattua perusteellisesti, onko vuorojärjestelmissä joitain puutteita ja mitä vuorojärjestelmissä olisi hyvä ja tarpeellista muuttaa. Pilotoinneilla saadaan myös nopeasti suuntaa antavia lisätuotantoajasta koituvia lisätonneja. Käyttöasteiden parantaminen ja näin tuotantoajan lisääminen on hyvä lähteä toteuttamaan pienin askelin. Näin voidaan välttyä suuremmilta virheiltä ja tuotantoajan menetyksiltä. Myös näitä kokeilemalla voidaan saada helposti lastaus ja kuljetuskalustolla parempaa resurssitehokkuutta.

## 9 YHTEENVETO

Työn aiheena oli saada Kevitsan kaivoksen lastauksen- ja kuljetuksen resurssit tehokkaampaan käyttöön. Tehokkaammalla ja optimoidulla käytöllä saataisiin myös kaluston alhaiset käyttöasteet kohoamaan. Lastaus ja kuljetus ovat jokaisella kaivoksella normaaleja toimia, mutta niiden tehokkuus riippuu olosuhteista ja kaivoksella toteutettavista käytänteistä. Kevitsan kaivoksen lastaus- ja kuljetuskalustolla ovat alhaiset käyttöasteet ja syitä tähän lähdettiin selvittämään.

Työssä päätettiin alkaa kehittämään uusia vuorojärjestelmiä ja niiden eri vaihtoehtoja, koska Kevitsan vuorosysteemien takia lastaus- ja kuljetuskalusto seisoo käyttämättömänä liian kauan. Eri vuorojärjestelmä vaihtoehtoja esitellään työssä useita ja ne selitetään perinpohjaisesti. Jotta saadaan vielä parempi käsitys esitellyistä vuorojärjestelmistä, työssä kerrotaan, mitä hyötyjä niistä saadaan. Näitä ovat esimerkiksi kaivokselle tärkeät tuotetut tonnit ja kaluston käyttöasteet. Eri vuorojärjestelmillä saatuja tuloksia myös vertaillaan toisiinsa. Työssä arvioidaan myös ongelmia, mitä uudet vuorojärjestelmät voivat aiheuttaa. Näitä voivat olla esimerkiksi liikatuotanto ja liian suureksi nousevat henkilöstömäärät. Myös muita asioita muutoksiin liittyen spekuloidaan, kuten kunnossapidolliset asiat ja mahdolliset kaluston vähentämiset.

Työssä saatiin kehiteltyä hyviä vuorojärjestelmiä, jotka sopisivat Kevitsan kaivoksen lastaus- ja kuljetuskalustolle. Näistä järjestelmistä voidaan tulevaisuudessa kehitellä erilaisia pilotointeja ja kokeiluja, jotta nähdään miten ne konkreettisesti onnistuvat. Työn lopussa onkin esitelty kevyempi versio yhdestä vuorojärjestelmästä, jonka kynnys käyttöönottoon on matalampi.

Työ kaiken kaikkiaan olikin juuri kuin tutkimus ja kehitystyö. Työnaikana tuli uusia ideoita ja pohdintoja lastauksen ja kuljetuksen optimoinnin suhteen ja työssä tulikin hieman muutoksia matkalla. Aiheen ideointia ja pohdintaa oli hyvä tehdä osaavien ohjaajieni kanssa, joilla on kaivoskokemusta paljon. Työ hieman venyi aikataulullisesti, mutta onnistui ja kaivokselle saatiin tietoa uusista mahdollisuuksista, miten lastauksen ja kuljetuksen resursseja on mahdollista optimoida.

## LÄHTEET

1. Modig N., & Åhlström P., 2013. Tätä on lean. 2 painos. Ruotsi: Rheologica publishing, 167 s. ISBN 978-91-980393-3-7
2. Paalumäki T., Lappalainen P., & Hakanpää A., 2018. Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Opetushallitus, 477 s. ISBN 978-952-13-5778-7
3. Boliden Kevitsa Oy:n powerpointesitys. 2022. Boliden Kevitsa Oy. Powerpointesitys Boliden Kevitsa Oy:n tietokannassa. Hakupäivä 20.10.2022.
4. Yli-Luukko J., 2017. Tuotannon laitteiden käyttöasteen seuranta. Saatavissa : [https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1599/au-22\\_paper\\_75.pdf](https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1599/au-22_paper_75.pdf) [Viitattu 17.10.2022].
5. Mining Technology, 2022. How cycle time efficiency can provide new insight and unlock productivity for mining operations. Saatavissa: <https://www.mining-technology.com/sponsored/cycle-time-efficiency-new-insight-productivity-for-mining-operations/> [Viitattu 17.10.2022].
6. Choudhary R., 2015. Optimization of load- haul- dump mining system by oee and match factor for surface mining [verkkodokumentti]. Department Of Mining Engineering: National Institute Of Technology Karnataka. Saatavissa: <https://www.cibtech.org/J-ENGINEERING-TECHNOLOGY/PUBLICATIONS/2015/Vol-5-No-2/12-JET-012-RAM-OPTIMIZATION.pdf> [Viitattu 16.10.2022].