

Katsaus automaatio- ja mittausteknologian trendeistä kaivostoiminnassa

- louhokselta murskaukseen



Katsaus automaatio- ja mittausteknologian trendeistä kaivostoiminnassa – louhokselta murskaukseen

Jani Sipola ja Jukka Leinonen

Katsaus automaatio- ja mittausteknologian trendeistä kaivostoiminnassa – louhokselta murskaukseen

Sarja B. Raportit ja selvitykset 25/2015

© Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-316-109-2 (pdf)

ISSN 2342-2491 (verkkojulkaisu)

Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja
Sarja B. Raportit ja selvitykset 25/2015

Kirjoittajat: Jani Sipola ja Jukka Leinonen

Rahoittajat: Vipuvoimaa EU:lta,

Euroopan aluekehitysrahasto, Lapin Liitto

Taitto: Lapin AMK, viestintäyksikkö

Lapin ammattikorkeakoulu
Jokiväylä 11 C
96300 Rovaniemi

Puh. 020 798 6000
www.lapinamk.fi/julkaisut

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulukonserni LUC
on yliopiston ja ammattikorkeakoulun strateginen yhteenliittymä.
Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto
ja Lapin ammattikorkeakoulu.
www.luc.fi

Sisällys

TIIVISTELMÄ	7
1. JOHDANTO	9
1.1 Mineraalien merkitys, tarve ja haasteet	9
1.2 Kaivostoiminnan tuottavuuteen tarvitaan muutosta	10
1.3 Kaivostoiminnan prosessit	11
1.4 Julkaisun tarkoitus ja sisältö	13
2. KATSAUS TULEVAISUUDEN KAIVOSTOIMINNAN NÄKEMYKSIIN	15
2.1 Mine of the Future	15
2.2 Ruotsin strateginen kaivostoiminnan tutkimus- ja innovaatio-ohjelma	16
2.2.1 Syvälle ulottuva innovatiivinen malminetsintä	17
2.2.2 Kaivostoiminta	18
2.3 I ² Mine projekti	21
2.4 Suomen mineraalistrategia	22
2.5 Yrityksien näkemyksiä tulevaisuuden kaivoksista	25
2.5.1 Rio Tinto - Mine of the Future.	25
2.5.2 BHP Billiton – Next Generation Mining	26
2.5.3 ABB – Next Level Mining	28
3. TEKNISIÄ RATKAISUJA LOUHINNASTA MURSKAUKSEEN	33
3.1 Louhinta ja malmin lajittelu	33
3.1.1 Jatkuva-aikainen louhinta	33
3.1.2 Malmin pitoisuuden määrittäminen panostusreistä	36
3.1.3 Siirtymän havaitseminen avolouhoksessa	37
3.1.4 Malmin tunnistus ja lajittelu	37
3.2 Lastaus ja kuljetus	39
3.2.1 Itseohjautuva dumperi	39
3.2.2 Louhosmateriaalin siirtäminen pelkästään kuljettimilla	40
3.2.3 Automatisoidut lastaajat ja kuorma-autot maanalla	41
3.3 Murskaukseen liittyvä valvonta	42
3.3.1 Lastauskauhan kynnenvälitys	42
3.3.2 Etäohjattava kivilohkareen rikottaja	43
3.4 Kunnonvalvonta ja prosessiautomaatio	44
3.4.1 Keskitetty kaivoksen arvokkaiden laitteiden valvonta	44
3.4.2 Keskitetty kaivoksen prosessien valvonta	44
3.4.3 Puettavan teknologian hyödyntäminen	45
4. YHTEENVETO	47
LÄHTEET	51

Tiivistelmä

Tämä julkaisu liittyy Lapin ammattikorkeakoulussa Optisen mittaustekniikan laboratorion toteuttamaan selvityshankkeeseen; *Automaatio ja mittaustekniikan tarpeet kaivoksissa louhinnasta primäärimurskaukseen*. Hankkeessa selvitetään tulevaisuuden kaivosalan automaatio ja mittaustekniikan tarpeita sekä laaditaan suunnitelma tarpeita vastaavien ratkaisujen kehittämiseen yhdessä yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa. Hanke toteutetaan 2015–2016 välisenä aikana ja sitä rahoitetaan EU:n aluekehitysrahastosta Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelmasta Lapin liiton toimesta.

Tässä julkaisussa esitetään hankkeen aikana esiin tulleita ja havaittuja asioita, jotka liittyvät kaivostoiminnan tulevaisuuden näkymiin maailmalla. Julkaisussa esitetään muutamien kaivosalan yritysten, tutkimusorganisaatioiden ja kansallisten strategioiden näkemyksiä ja visioita tulevaisuuden kaivostoiminnasta. Lisäksi esitellään joitakin kaivostoimintaan liittyviä teknisiä ratkaisuja, joita jo käytetään tai ovat mahdollisesti tulossa käyttöön ja siten mahdollistavat tulevaisuuden kaivostoiminnan visiot. Tekniset ratkaisut liittyvät pääasiassa hankkeen rajaamaan alueeseen eli kaivostoiminnan prosesseihin louhinnasta murskaukseen.

Julkaisu on katsaus edellä kuvatuista kaivosalan yritysten ja asiantuntijoiden esiin tuomista asioista, jotka kirjoittajat ovat tiivistäneet yhdeksi kokonaisuudeksi. Julkaisun tavoitteena on tukea ja herättää ajatuksia kaivosalalla työskenteleville asiantuntijoille, kun he pohtivat tulevaisuuden kaivostoimintaa.

1. Johdanto

Tämä julkaisu liittyy Lapin ammattikorkeakoulussa Optisen mittaustekniikan laboratorion toteuttamaan hankkeeseen *Automaatio ja mittaustekniikan tarpeet kaivoksissa louhinnasta primäärimurskaukseen*. Hankkeen tavoitteena on tehdä tarveselvitys automaation ja mittaustekniikkaan liittyvistä tulevaisuuden tarpeista kaivosten louhinnan ja primäärimurskauksen välillä olevista toiminnoista. Tarveselvitys toteutetaan pääosin Pohjois-Suomessa toimivien kaivosten piirissä, mutta oletuksena on, että samanlaisia tarpeita löytyy muualtakin. Selvityksen pohjalta tullaan laatimaan suunnitelma tarpeita vastaavien ratkaisujen kehittämiseen yhdessä kaivosalan yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa. Hanke toteutetaan 2015–2016 välisenä aikana ja Lapin liitto on hankkeen rahoittava viranomainen. Hanketta rahoitetaan EU:n aluekehitysrahastosta Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelmasta.

1.1 MINERAALIEN MERKITYS, TARVE JA HAASTEET

Nykypäivän yhteiskunnassa on paljon materiaaleja, tuotteita ja rakenteita, jotka tarvitsevat erilaisia maasta löytyviä mineraaleja joko suoraan tai välillisesti. Riippuvuus mineraaleihin on kehittynyt pitkällä aikavälillä, eikä siihen ole näkyvissä muutosta. Mineraalisten raaka-aineiden tarve on monipuolistunut, kun uudet teknologiat ja ympäristöhaasteet asettavat uusia vaatimuksia. Tarvitsemme yhä enemmän hightech-metalleja (litium, indium, gallium, germanium, niobi, tantaali, titaani ja harvinaiset maametallit) kehittyneen teknologian valmistamiseen samalla, kun perusmetallien tarve lisääntyy. (GTK, 2010)

Kansantalouden näkökulmasta mineraalien hyödyntämisellä on suuri merkitys keskeisille toimialoilla. EU:n mittakaavassa mineraalialan välitön osuus bruttokansantuotteesta ei ole suuri, mutta asia muuttuu, kun otetaan huomioon sen osuus välttämättömänä tuotannontekijänä lisäarvon synnyttäjänä jatkojalostuksessa. EU:n arvion mukaan mineraalisiin raaka-aineisiin perustuva teollisuus yhdessä rakennusteollisuuden ja tavarantavaran valmistuksen kanssa kattaa noin 40 prosenttia EU-alueen bruttokansantuotteesta. Kaivannaistoiminta on pitkäjänteistä ja paikkaan sidottua toimintaa, joka antaa yhteiskunnalle mahdollisuuden kehittää alueellista toimintaa. Kaivannaisalan kvartaalin sanotaan olevan 25 vuotta, joka nyky-yhteiskunnassa on varsin pitkäaika. (GTK, 2010)

Tällä hetkellä tunnettujen malmivarojen lisäksi tiedetään huomattavia malmirikastumia, joita voidaan tulevaisuudessa hyödyntää. Edelläankään ei tunnisteta kaikkea potentiaalia, jota on pitkään tunnetuilla ja tutkituilla alueilla, koska geologinen tieto rajoittuu maan pintakerrokseen. (GTK, 2010)

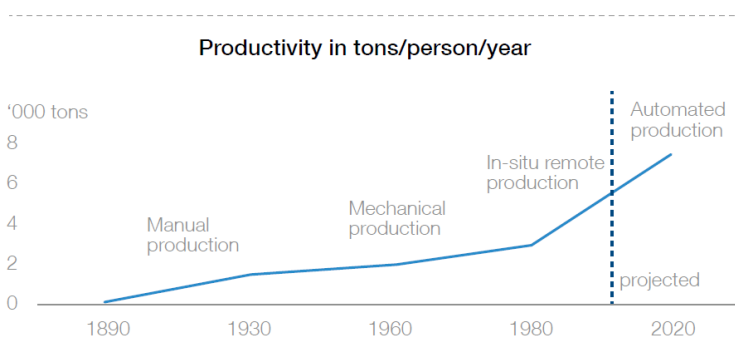
Tulevaisuuden kaivokset joutuvat toimimaan maanalla ja hyödyntämään pitoisuuksiltaan alhaisempia malmioita sekä vaikeammin rikastettavia esiintymiä. Lisäksi kilpailu energiasta ja vedestä voi estää kaivostoiminnan joillakin alueilla. Edellä kuvatuista muutoksista johtuen edellytetään kehittyneempää teknologiaa koko kaivostoiminnan tuotantoketjussa. (GTK, 2010)

Metalleista ja mineraaleista valmistetuilla tuotteilla on yleensä erittäin pitkä käyttöikä ja niitä voidaan kierrättää tehokkaasti. Kierrätys ei kuitenkaan yksin riitä kattamaan kasvavaa mineraalien tarvetta. Esimerkiksi kuparilla on yli 80 prosenttinen kierrätysaste, mutta silti se riittää korvaamaan vain kolmasosan nykytarpeesta. Tämän on aiheuttanut kuparin käytön nopea kasvaminen ja kuparituotteiden yli 30 vuoden keskimääräinen käyttöikä. (GTK, 2010)

Uutta kysyntää ennen vähän hyödynnetyille metalleille ovat luoneet tietotekniikan, viestinnän ja uuden energiateknologian nopeasti laajenevat tekniset sovellukset. Kierrätyksellä voidaan vastata vain murto-osaan näiden metallien kasvaviin tarpeisiin, koska niitä on aiemmin teollisesti tuotettu vähäisissä määrin. Jotta uusien metallien puute ei rajoittaisi uuden teknologian yleistymistä, täytyy uusia kaivoksia avata ja tehostaa hightech-metallien talteenottoa muun kaivostoiminnan oheistuotteena. (GTK, 2010)

1.2 KAIVOSTOIMINNAN TUOTTAVUUTEEN TARVITAAN MUUTOSTA

Viime vuosisadalla nähtiin huimia parannuksia kaivos- ja mineraalisektorilla. Kuitenkin markkinoiden dynamiikan kehityksestä johtuen saavutetut hyödyt ovat riittämättömiä takaamaan pitkäaikaista kasvua ja tuottavuutta. Kuva 1 esittää neljää asteittaista muutosta, joissa on nähty tapahtuvan radikaalia tuottavuuden kasvua. (Gallestey, ym., 2015)



Kuva 1. Tuottavuuden asteittaiset muutokset; tonnia/henkilö/vuosi (Gallestey, ym., 2015)

1900-luvun ensimmäisellä puoliskolla asteittainen koneellistaminen maanalaisessa kaivoksessa sisälsi mm. kuljettimien, lastauskoneiden ja porauslaitteiden kehityksen, joiden käyttö on dramaattisesti kasvattanut tuottavuutta mitattaessa tonnia per työntekijä. (Gallestey, ym., 2015)

Uusimmat tekniikat mahdollistavat tämän päivän kaivoksen tuottavan monta kertaa enemmän malmia vähemmällä työntekijöiden määrällä ja turvallisemmissa olosuhteissa kuin aikaisemmin. Näitä uusia tekniikoita ovat mm. pitkän seinän louhintalaitteet (long wall mining equipment),

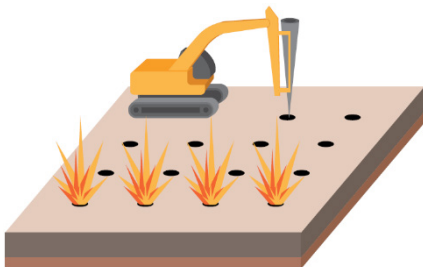
itseohjautuvat dumperit sekä viimeaikaiset kehitykset etäohjauksessa ja valvomojärjestelmissä. (Gallestey, ym., 2015)

Vaikeutena nykyaikana on se, että kolme ensimmäistä askelmuutosta tuottavuutta lisäävissä toimituksissa on käytetty loppuun, koska esim. dumperit ovat isoja, louhokset ovat valtavia ja infrastruktuuri on ajettu ääri rajoille. Tulevien kaivoksien täytyy sopeutua merkittävästi automatisoimalla tuotantoaan, jotta ne voivat vastata nykypäivän haasteisiin. (Gallestey, ym., 2015)

Kaivosteollisuuden prosessien automatisointi tarkoittaa valtavaa tehtävää. Robotteja käytetään yleisesti muilla teollisuuden aloilla, mutta siellä robotit ovat paikallaan ja komponentit tai tuotteet tulevat kuljettimella robotin alueelle. Kaivosrobottien täytyy kuitenkin liikkua ympäriinsä usein kompleksisissa maanalaisissa tai maanpäällisissä ympäristöissä. Kaivosrobottien käyttäminen on tullut mahdolliseksi laskentatehon kasvun, uusien signaaliprosessointialgoritmien ja uusien ympäristön havainnointitekniikoiden myötä. Havainnointitekniikat sisältävät mm. GPS, tutka- ja laserjärjestelmiä. Näiden tekniikoiden kehittäminen ja käyttäminen on monitahoista ja on riippuvainen korkeantason monitieteellisistä taidoista. (Fisher & Schnittger, 2012)

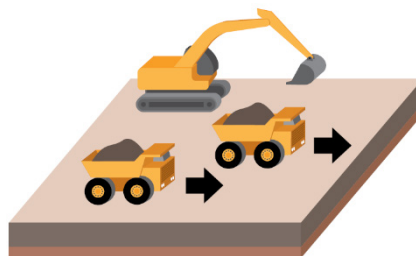
1.3 KAIVOSTOIMINNAN PROSESSIT

Alla on esitetty periaatekuvaus (kuva 2) kaivostoiminnan eri prosesseista alusta loppuun. Kaivostoiminta jakaantuu kuuteen eri vaiheeseen. (Kestävän kaivostoiminnan verkosto, 2014)



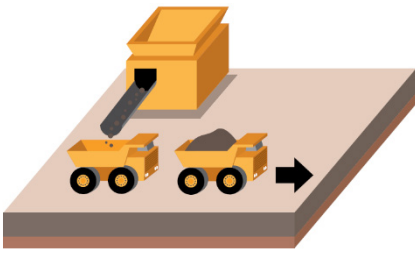
1. Malmin louhinta;

Louhinta tehdään lähellä maanpintaa avolouhoksissa tai maanalaisesti. Menetelmä valitaan esiintymän sijainnin ja arvon perusteella. Esiintymään porataan reikiä, jotka panostetaan ja räjäytetään kiviaineksen irrottamiseksi.

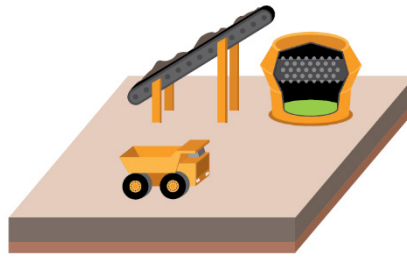


2. Lastaus ja kuljetus;

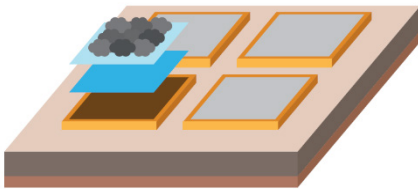
Kivilohkareet lastataan kuorma-autoihin tai kuljettimiin. Arvopitoinen malmi kuljetetaan murskaimelle ja muu kiviaines sivukivialueelle. Sivukivialueet eristetään ympäristöstä, jotta niistä ei aiheutuisi päästöjä pinta- ja pohjavesiin. Hyvälaatuista sivukiveä voidaan käyttää mm. patojen rakenteisiin. Maanalaisissa kaivoksissa sivukiveä käytetään louhosten täyttämiseen louhinnan jälkeen.



3. Murskaus;
Murskaus tehdään 2-3 vaiheessa eri tekniikoilla. Malmin kappalekoko pienenee halkaisijaltaan jopa 1 m kokoisista lohkeista 1 cm kappaleisiin.



4. Jauhatus;
Murskattu kiviaines jauhetaan pölyhiukkasen kokoiseksi jauheeksi. Jauhatuksen jälkeen arvomineraalit esiintyvät aineksessa tarpeeksi puhtaina erottamista varten. Jauhatus kuluttaa jopa 30-63 % käsittelyprosessin energiasta.



5. Rikastus;
Yleisin menetelmä on monivaiheinen vaahdotus, jossa arvomineraalit saadaan vaden, kemikaalien ja ilmakuplien avulla nousemaan pintaan ja poistumaan seoksesta ylitteenä. Tästä syntyy rikaste. Pohjalle jäänyt aines, rikastushiekka, pumpataan veden mukana ympäristöstä eristetylle rikastushiekka-alueelle. Tavallisesti rikastushiekasta selkeytynyt vesi kiertää alueelta takaisin prosessiin ja osa lasketaan ympäristöluvan mukaisesti takaisin luontoon. Bioliuotusprosesseissa metallit liuotetaan malmista bakteerien avulla suurilla, kasoista muodostuvilla ulkoilmakentillä.



6. Kuivaus, varastointi ja kuljetus;
Rikaste kuivataan usein suodattamalla ja varastoidaan alueelle. Sieltä rikaste kuljetetaan asiakkaalle tai jatkojalostukseen junilla, kuorma-autoilla tai laivoilla. Lopputuotteena on usein hienojakoinen arvometalleja sisältävä mineraaliaines. Joillakin kaivoksilla rikaste prosessoidaan paikanpäällä. Esimerkiksi osassa kultakaivoksia rikaste prosessoidaan kultaharkoiksi.

Kuva 2. Kaivostoiminnan eri vaiheet (Kestävän kaivostoiminnan verkosto, 2014)

1.4 JULKAISUN TARKOITUS JA SISÄLTÖ

Tässä julkaisussa esitellään hankkeen selvitystyön aikana esiin tulleita ja havaittuja asioita, jotka liittyvät kaivostoiminnan tulevaisuuden näkymiin maailmalla. Julkaisu on katsaus näistä asioista, jotka kirjoittajat ovat pyrkineet tiivistämään yhdeksi kokonaisuudeksi. Selvitystyön aikana havaittiin, että maailmalta löytyy monia näkemyksiä ja visioita tulevaisuuden kaivostoimintaan liittyen. Näitä esitellään julkaisun kappaleessa 2. Tässä julkaisussa esitetään osa löytyneistä näkemyksistä. Lisäksi esitellään joitakin teknisiä kaivostoimintaan liittyviä ratkaisuja, jotka ovat jo käytössä tai ovat mahdollisesti tulossa käyttöön ja mahdollistavat tulevaisuuden kaivostoiminnan visiot. Tekniset ratkaisut esitetään kappaleessa 3. Esitetyt ratkaisut liittyvät pääasiassa kaivostoiminnan prosesseihin louhinnan ja murskauksen välillä eli hankkeen rajaamaan alueeseen. Kappaleessa 4 koetaan yhteen julkaisussa esitetyt asiat.

2. Katsaus tulevaisuuden kaivostoiminnan näkemyksiin

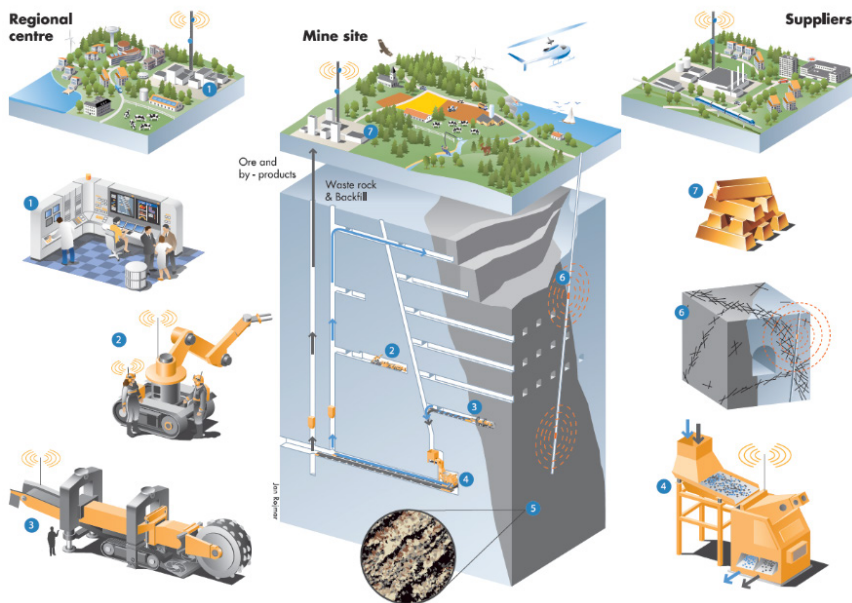
Tässä kappaleessa tarkastellaan näkemyksiä tulevaisuuden kaivostoiminnasta. Alussa käydään läpi tutkimusorganisaatioiden johtamia hankkeita, joissa esitellään visioita tulevaisuuden kaivoksista. Sen jälkeen esitellään Suomen kansallinen mineraalistrategia. Lopuksi on katsaus kaivosalan yritysten näkemyksistä, millainen on seuraavan sukupolven kaivos.

2.1 MINE OF THE FUTURE

Mine of the Future (MIFU) on vuosina 2009-2010 toteutettu tutkimus, jossa Ruotsin ja Puolan merkittävät kaivosyhtiöt, useat maailmanlaajuiset toimittajat ja yliopistot ovat olleet kehittämässä yleistä näkemystä tulevaisuuden kaivoksesta. Tutkimus on rajattu syvien (1500-2000 m) maanalais-tenkaivosten tuotantojärjestelmiin, lähtien malmien kartoituksesta aina lopulliseen raakamateriaaliin tai tuotteeseen, joka on valmis asiakkaalle siirrettäväksi. (Bäckblom, ym., 2010)

Kuvassa 3 on esitetty tärkeimmät yksityiskohdat Mine of the Future – tutkimuksesta, jossa ilmenee että:

1. **Vain yksi valvomo.** Valvomoon tulee jalostettu tieto kivistä, henkilöstöstä, koneista ja laitteista. Tämä mahdollistaa koko toiminnan ohjauksen ja hienosäätämisen resurssien kartoituksesta aina lopulliseen tuotteeseen asti. Sensoreita ja kameroita käyttämällä voidaan esittää livetilanne valvomossa tai tarvittaessa muualla.
2. **Ei ihmisiä tuotannossa.** Kaikki työvaiheet ovat kauko-ohjattavia ja automatisoituja. Ehkäisevään kunnossapitoon ja turvallisuustehtäviin kehitetään erikoisrobotteja. Robottien kunnossapito ja laitteiden korjaus tehdään turvallisissa maanalaisissa holveissa. Lisäksi kaikki koneet ovat sähkökäyttöisiä ja dieselin käyttäminen on kielletty.
3. **Jatkuva-aikainen mekaaninen louhinta.** Tulevaisuuden kaivos on jatkuva-aikainen prosessi, joka tarkoittaa, että myös kova kivi louhitaan mekaanisesti jatkuva-aikaisesti.
4. **Esirikastus.** Sivukivi erotetaan jo maan alla, jotta säästetään malmin kuljetukseen ja siirtoon kuluvaa energiaa sekä voidaan vähentää sivukivistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia maanpäällä.



Kuva 3. MIFU-tutkimuksen tärkeimmät yksityiskohdat (Bäckblom, ym., 2010)

5. **Malmin karakterisointi** – mineralogia. Käytetään järjestelmiä, jotka luotettavasti mahdollistavat geometallurgisesti tuoteohjauksen ja kivessä olevan malmin arvon maksimoinnin.
6. **Malmion karakterisointi** – rakenteellinen valvonta. Käytetään tiedonkeruujärjestelmiä, jotka kertovat kalliosta, mm. kallion rakenteen ja jännitykset, maanpäälliset ja maanalaiset muodonmuutokset sekä seismisyyden. Edellä mainitut ominaisuudet ovat erityisesti syvien kaivosten turvallisuuteen liittyviä elintärkeitä asioita.
7. **Lopputuote.** Kestävän kehityksen kannalta sivukivi pitäisi muuttua tuotteiksi. Jos mahdollista, metallit pitäisi valmistaa kaivoksella, jotta tarpeeton kuljetus voitaisiin välttää. (Bäckblom, ym., 2010)

2.2 RUOTSIN STRATEGINEN KAIVOSTOIMINNAN TUTKIMUS- JA INNOVAATIO-OHJELMA

Ruotsissa toteutettiin yhteistyössä alan toimijoiden kanssa (ABB, Metso, Outotec, Atlas Copco, Sandvik, LKAB, Boliden, KGHM ja ÅF-Consult sekä yliopistot AGH ja LTU) kehitysohjelma nimeltään ”Sustainable Mining and Innovation for the Future (SMIFU)”, jota johti Luulajalainen Rock Tech Centre AB (RTC). Tähän työhön pohjautuen luotiin vuoden 2013 alkupuolella Ruotsissa uusi kaivos- ja metallinjalostusalan tutkimusagenda ”Strategic innovation programme for the Swedish Mining and Metal producing Industry” eli STRIM. Se on kehitetty vastaukseksi yhteiskunnan raaka-aine tarpeisiin. (Björkman, ym., 2013)

STRIM:n tavoitteita laajennetaan koskemaan koko arvoketjua eli malmin etsinnästä metallurgiaan. Lisäksi käsitellään kierrätykseen liittyviä tutkimus- ja innovaatio-ohjelmia sekä miten kaivosteollisuus ja metalleja tuottava teollisuus voivat edistää kestävästä kehitystä yhteiskunnassa. (Björkman, ym., 2013)

STRIM on jaettu seitsemään pääalueeseen:

1. Syvälle ulottuva innovatiivinen malminetsintä
2. Kaivostoiminta
3. Mineraalien prosessointi
4. Kierrätys ja metallurgia
5. Talteenotto/ ympäristötehokkuus
6. Houkutteleva työpaikka
7. Sukupuolten tasa-arvo kaivoksissa. (Björkman, ym., 2013)

Tässä julkaisussa käsitellään kahta ensimmäistä kohtaa eli syvälle ulottuvaa innovatiivista malminetsintää ja kaivostoimintaa.

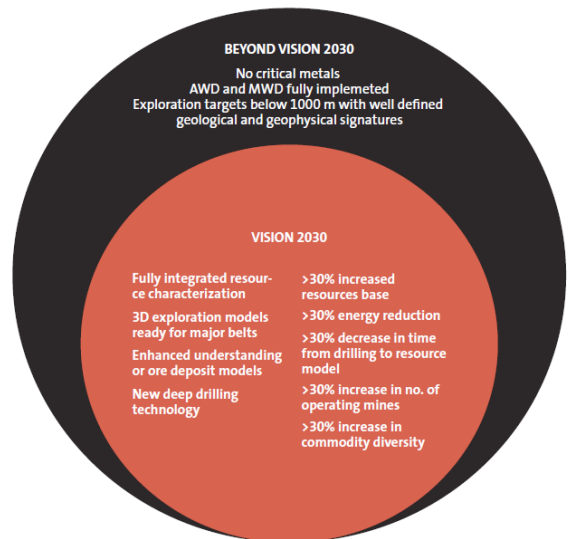
2.2.1 SYVÄLLE ULOTTUVA INNOVATIIVINEN MALMINETSINTÄ

Syvälle ulottuvan innovatiivisen malminetsintä tutkimuksen visiona on kehittää porausteknologiaa, parantaa geofysikaalisten menetelmien syvyytstunkeutumista ja parantaa kohdistumista perustuen 3D tietokantaan ja käsitykseen malmin muodostusmenetelmistä. Visio edellä kuvatuista asioista on esitetty alla olevassa kuvassa 4 tavoitteiden ja suorituskykykymittareiden KPI (key performance indicator) avulla vuoteen 2030 asti ja siitä eteenpäin.

Sisällöltään em. tutkimuksen pitäisi kohdistua raaka-aineisiin, joita jo löytyy Ruotsista ja keskittyä rauta-, perus- ja jalometalleihin sekä kriittisiin raaka-aineisiin. Kuitenkin on muistettava, että vuoteen 2030 mennessä kriittisiksi luokitellut materiaalit voivat vaihtua.

Syvälle ulottuva innovatiivinen malminetsintä -tutkimus käsittää kuusi pääkohtaa:

- Uudet porausteknologiat yli 1000 m syvyyksille porausrei'ille
 - Yli 1000 m syvyyteen ulottuvat porausreiät tehdään yhdessä pääporausreiän kanssa.
 - Käytetään hyväksi porauksen aikaista mittausteknologiaa (measurement while drilling, MWD) syvällä tehtävään viuhka- ja/tai kartiotyyppiseen poraukseen.
- Resurssien 4D mallinnus
 - 3D mallit Ruotsin maakuoresta alueilla, joista löytyy potentiaaliset mineralisaatiot 4-5 km syvyydeltä.
 - 4D mallinnus: mallit geologian ja mineralisaation kehityksestä ja muodostumisesta aikojen kuluessa.



Kuva 4. Syvälle ulottuvan innovatiivisen malminetsinnän visio ja suorituskykykymittarit (Björkman, ym., 2013)

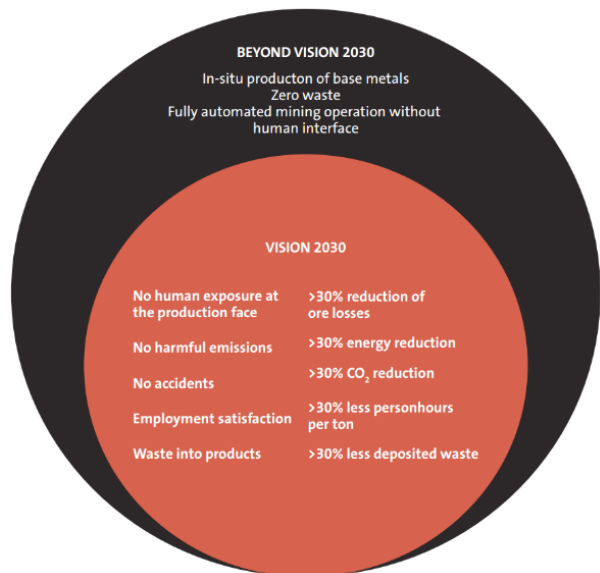
- Uusien syvälle tunkeutuvien geofysikaalisten tekniikoiden kehittäminen
 - Kehitetään uutta seismistä 3D tomografiaa yhdessä 3D tiedonkeruun kanssa käyttämällä infrastruktuureja kuten kaivoksia ja porausreikiä. Tavoitteena on hyvä xyz-resoluutio 5 km saakka.
 - Kehitetään uusia paremman resoluution sähkömagneettisia menetelmiä 1000 m syvyyteen asti.
- Esiintymien konseptuaalinen mallintaminen
 - Luodaan geneettiset mallit Ruotsin päämalmeista ja kriittisten mineraalien esiintymistä, joilla on taloudellista potentiaalia.
 - Määritetään Ruotsin olennaisempien syvällä olevien malmien etsintä tavoitteet. Tavoitteena kasvattaa investointeja syvällä olevien malmien etsintään.
- Tietämyksen rakentaminen ja taitojen kehittäminen Euroopassa
 - Määritetään metallien ja mineraalien tietämyskanta Ruotsissa. Tavoitteena lisätä talouden näkökulmaa geologian opetukseen yliopistoissa.
 - Ruotsin teollisuuden kouluttaminen, parantaa teollisuuden ja tutkimusorganisaatioiden henkilökunnan taitoja.
- Datan integrointi reaaliaikaisiin geometallurgisiin työkaluihin
 - Kehitetään työkaluja porauksen aikaisen tiedon keräämiseen; 3D kamera, skanneri, porauksen aikainen analysointi, sopeutettu XRF ja porauksen aikaiset geofysikaaliset mittaukset.
 - Datan integrointi reaaliaikaisesti yhteen järjestelmään.

2.2.2 KAIVOSTOIMINTA

Visiona vuoteen 2030 ja pidemmällekin on parantaa ruotsalaisten kaivosyritysten kilpailukykyä tehokkaammilla ja erittäin kilpailukykyisillä louhintaprosesseilla, laitteilla ja menetelmillä niin maanalaisissa kuin maanpäällisissä kaivoksissa. Tavoitteiksi on asetettu; nolla onnettomuutta, ei ihmisiä tuotantotiloissa, 30 % suuremmat energiasäästöt, 30 % vähentyneet CO₂ päästöt ja 30 % pienemmät malmihäviöt. Visio ja suorituskykymittarit on esitetty kuvassa 5. Edellä mainitut pitkänajan visiot voidaan saavuttaa seuraavilla toimenpiteillä:

- Malmin määrittely, joka tuottaa ”matemaattisen kopion” kiven massasta eli yksityiskohtaisen kuvauksen kaikista elementeistä, joista kivi koostuu esim. kiven materiaali, liitokset, viat, mineralogian, geometallurgian ym.
- Louhintamenetelmien ja -prosessien parantaminen
- Jatkuva-aikaisten prosessien lisääminen
- Vähemmän työtunteja per tuotettu tonni
- Täysin etäohjatut kaivosoperaatiot
- Energiatehokkaampi louhinta
- Seismisten vaaroja vähentäminen ja kaivostoiminnan seurausten lieventäminen, kuten kaivostoiminnan aiheuttamat maanjäristykset.
- Hallitsemattomia lohkaresortumia 20 % vähemmän vuoteen 2010 verrattuna
- Kustannustehokkaat hyvin suunnitellut kiventukemisjärjestelmät, jotka kykenevät ylläpitämään joko suuria muodonmuutoksia tai murtumisolosuhteita.
- Kaikkien tärkeimpien kiven rikkomis- ja jauhatussprosessien ymmärtäminen

- Lisääntynyt malmin talteenotto, kun fragmentoituneen kiven käyttäytymistä ymmärretään paremmin.
- Kestävät ja luotettavat kaivoslaitteet
- Kaikki oleellinen prosessi-informaatio kerätään yhteen ohjausjärjestelmään, jolloin saavutetaan on-line seuranta, ohjaus ja optimointi koko kaivostoiminnan prosessista. (Björkman, ym., 2013)



Kaivostoiminnan tutkimuksen tarpeet ja toimet

Kaivostoiminnan tutkimuksen tulee keskittyä optimoimaan kaivoksen prosesseja ja menetelmiä, jotta voidaan louhia Ruotsin malmissiintymiä yhä syvemältä unohtamatta

kuitenkaan lähellä maan pintaa olevia esiintymiä. Samalla minimoidaan kaivostoiminnan ympäristövaikutuksia sekä parannetaan kaivoksen tuottavuutta ja turvallisuutta. Tutkimukset tulee kohdentaa optimoimaan ja parantamaan kaivostoiminnan erillisiä tuotantoprosesseja, kun samalla haetaan ratkaisuja, joilla optimoidaan koko kaivostoiminnan prosessi kerralla. Kaivostoiminnan tutkimusten tulee keskittyä pitkällä aikavälillä seuraaviin pääkohtiin:

Kuva 5. Kaivostoiminnan visiot ja suorituskykykymittarit (Björkman, ym., 2013)

- Resurssien karakterisointi
 - Helpotetaan uusien on-line analyysityökalujen, anturointimenetelmien ja hallinnointityökalujen käyttöä, jotka kaikki on integroitu geometallurgiseen malliin ja resurssin hallintajärjestelmään.
 - Kehitetään poikkitieteellisiä työkaluja kivimassan karakterisointiin. Apuna visualisointiin voidaan käyttää yleisesti saatavilla olevaa alustaa.
 - Kehitetään ja toteutetaan uusia resurssien karakterisointitekniikoita.
 - Kehitetään porauksen aikaisia mittaus- ja analysointi (MWD ja AWD) teknologioita tuottamaan dataa on-line prosessin suunnitteluun, optimointiin, ennakkointiin ja suunnitteluun useille kaivostoiminnan eri prosesseille.
- Suorituskykyiset yksikköoperaatiot louhinnassa
 - Optimoidaan louhintaprosessin kaikki vaiheet esim. poraus, räjäytys, materiaalin hallinta, massojen liikuttelu ja kallion tuenta.
 - Kehitetään jatkuva-aikaisia louhinta menetelmiä, jotka soveltuvat Ruotsin kaivosten olosuhteisiin.
 - Ympäristövaikutusten minimoointi toteutuu vähentämällä kaivosjätteen määrää, kehittämällä valikoivampia louhintamenetelmiä ja kehittämällä lähellä louhintapaikkaa tehtävää prosessointia.

- Prosessien ja automaation optimointi
 - Kokonaisvaltaiseen kaivosprosessien parantamiseen ja optimointiin sovelletaan järjestelmäpohjaista lähestymistapaa esim. diskreetti aikaista tapahtumien simulointia yhdistettynä optimointimenetelmiin.
 - Kaivoslaitteiden ja automaation käytön optimointi toteutetaan esim. robotisoimalla ja automatisoimalla yksikköoperaatiot.
- Malmin talteenoton ja kivensärkemisprosessin eli fragmentaation parantaminen
 - Kasvatetaan malmin talteenottoa ja vähennetään sivukivilaimennusta.
 - Ymmärretään paremmin kaivoskuilun hallinta ja painovoiman vaikutus sorroslohinnassa.
 - Huomioidaan räjäytysreikien stabiilius sekä räjäytykseen ja sen painealtoon liittyvät asiat syvällä tapahtuvassa louhinnassa.
 - Fragmentoituneen kiven käyttäytymisen parempi ymmärrys.
 - Perusmateriaalien ominaisuuksien parempi ymmärrys. Tämä on olennaista jatkuva-aikaisen mekaanisen louhinnan automatisoinnissa ja malmin kauhakuormauksessa.
- Kaivostoiminnan seismologia
 - Turvallisuus lisääntyy ja tuotannon häiriöt vähenevät, kun parannetaan kaivostoiminnan seismisyyden ymmärrystä ja kehitetään uusia numeerisia analysoinnin lähestymistapoja sekä kehitetään kiven tuennan suunnittelumenetelmiä.
- Kallion tuenta ja numeerinen analyysi staattisista ja seismisistä olosuhteista
 - Perusteellinen tutkimus seismisistä vaaroista
 - Tulkintamenetelmien kehittäminen, jotka voivat auttaa arvioitaessa, onko kyseessä murtuma kallion pinnassa vai sen läpi aiheuttaen sortuman muodostumisen.
- Kovan kiven rikkominen
 - Kehittää ymmärrystä rikutusmekanismeista leikkaavilla työkaluilla ja soveltaa tätä tietoa jatkuva-aikaiseen mekaaniseen louhimisprosessiin.
 - Kehittää jauhamisprosessin aikaista mittausta (MWG, measurement while grinding) ja myllyjen mallinnusta, jotta jauhatusprosessia voidaan jatkuva-aikaisesti mitata ja ohjata.
- Energia ja infrastruktuuri
 - Vähentää ympäristöön kohdistuvaa vaikutusta energian kokonaiskulutuksen avulla ja optimoimalla kaivoksen infrastruktuuria.
- Kaivoslaitteiden luotettavuus ja koneensuunnittelu
 - Luotettavuuden suunnittelua
 - Kunnossapito-ohjelmien suunnittelu ja optimointi
 - Mallien ja laitteistojen prototyypisuunnittelu.
- Integroitu prosessin ohjaus
 - ”Plug & Play” (yhteinen hallinnointi ja kommunikointi arkkitehtuuri)
 - Liikkuvan kaluston valvonta ja etädiagnostiikka
 - Lisätty (augmentoitu) todellisuus
 - Autonomisesti partioivat robotit
 - Kenttärobotit helpottamaan autonomista louhintaa
 - Anturit kaivoksen ympäristön havainnointiin, kuten sortumien havainnointiin, teiden kuntoon, kaasun havainnointiin jne.
 - Mallipohjaiset integroidut tukijärjestelmät päätöksentekoon ja valvontaan. (Björkman, ym., 2013)

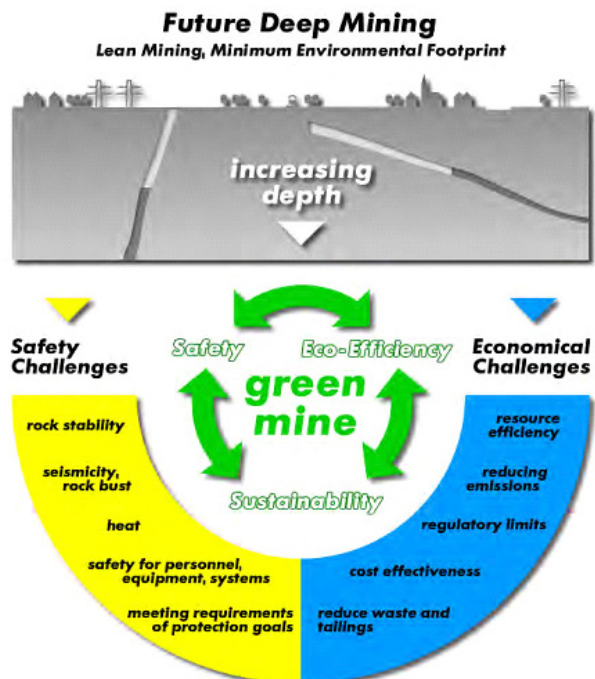
2.3 I²MINE PROJEKTI

I²Mine-projektissa (Innovative Technologies and Concepts for the Intelligent Deep Mine of the Future) keskitytään kehittämään teknologioita tulevaisuuden kaivoksiin. Teknologiset tarpeet on tunnistettu aikaisemmissa selvityksessä. I²Mine-projekti on lähtölaukaus toimille, joilla toteutetaan konseptia näkymättömästä, nollavaikutteisesta kaivoksesta. Euroopan komission 7. puiteohjelman rahoittama projekti on alkanut marraskuussa 2011 ja siihen osallistuu 27 yritystä ja akateemista laitosta kymmenestä Euroopan maasta. Projektia vetää LKAB ja sen kesto on neljä vuotta. (I²Mine-project, 2013)

Ydinajatuksena projektissa (kuva 6) on kehittää erityisesti syvään kaivostoimintaan liittyviä teknologioita autonomiseen, valikoivaan ja jatkuva-aikaiseen mineraalien louhintaprosessiin sekä laitteistoon. Teknologian kehittämisen perustana käytetään uutta anturiteknologiaa, louhintapaikassa tapahtuvaa lajittelua, massavirtojen hallintaan liittyviä konsepteja ja integroimalla kuljetukseen viimeisintä tekniikkaa. Näkymätön, nollavaikutteinen kaivoskonsepti vaatii maanalaisen kaivoksen prosessien jalostusta, jotta valikoivalla louhinnalla pienennettäisiin jätteen määrää. Tästä johtuen täytyy kehittää louhintakoneita, louhintapaikan prosessointimenetelmiä ja perien täyttömenetelmiä. Kehittämiseen liittyvät myös kalliomekaniikka ja maanhallinnan ratkaisut sisältäen terveys-, turvallisuus- ja ympäristöasiat. (I²Mine-project, 2013)

I²Mine-projektin tavoitteita ovat:

- Konsepti innovatiivisille louhintamenetelmille syvällä oleville esiintymille, joilla saavutetaan parempi resurssihyötysuhde:
 - yli 20 % suurempi louhinta-aste
 - 10–20 % korkeampi louhinnan valikointi yhdessä 20 % korkeammalla esiintymien hyödyntämisellä
 - lisäksi tuottavuus lisääntyy ja tuotantokustannukset vähenevät 20 %.
- Räätelöity konsepti maanalaiselle lähelle louhintaa tehtävälle prosessoinnille, jolla vähennetään 15–25 % massavirtoja maanpinnalle
- Korkearesoluution 3D etsintämenetelmät syvällä sijaitseville esiintymille
- Uusi konsepti kaivoksen hallinnoimiseksi, jolla vähennetään operatiivisia kustannuksia ja uusia menetelmiä maan vajoamisen ennakointiin, valvontaan ja hallintaan.
- Uusia menetelmiä maanalla sivukivien ja louhintaperien täyttöt tuotteiden hallintaan



Kuva 6. I²Mine-projektin tavoitteita (I²Mine-project, 2013)

- Uusille konsepteille ja kehitettäville teknologioille luodaan turvallisuuden ja terveyden suunnittelukriteerit ja suuntaviivat
- Luodaan konsepti maanalaisen kaivoksen ilmanlaadun parantamiseen
- Toteutetaan uudet konseptit ja teknologiat syvien kaivosten pelastustoiminnalle
- Luodaan on-line tietokanta parhaista käytänteistä kaivostoiminnan ympäristöasioissa (vesien ja jätteiden hallinta, päästöt, maan vajoamiset jne.). (I2Mine-project, 2013)

I2Mine-projektin tuloksia esiteltiin kansainvälisessä kaivosalan symposiumissa, joka pidettiin vuonna 2015 Saksassa (Aachen International Mining Symposium, AIMS). Siellä esiteltyjä tuloksia olivat esimerkiksi projektipartneri Caterpillarin kehittämä uusi leikkauspää kiven louhintaan, jossa kohdetta lähestytään samanaikaisesti eri kulmista. Toinen esimerkki liittyi terveyden ja turvallisuuden puolelle, kun RWTH Aachen yliopisto esitteli liikuteltavan pelastuskammion, joka huomioi myös psykologiset näkökulmat, kun ollaan pitkäaikaisessa eristyksessä. (I2Mine, 2015)

2.4 SUOMEN MINERAALISTRATEGIA

Suomen mineraalistrategia on laadittu vuoden 2010 aikana Geologian tutkimuskeskuksen vetämänä hankkeena. Strategian toteuttamiseen osallistui yli 20 mineraalialan asiantuntijaa ja lisäksi prosessin tueksi kutsuttiin mineraalialan sidosryhmiä yrityksistä luontoyhdistyksiin. Niistä prosessiin osallistui noin 90 henkilöä. (Suomen mineraalistrategia, 2015)

Mineraalialaa pidetään Suomen mahdollisuutena tulevaisuudessa. Kallioperästämme löytyy useiden metallien ja mineraalien merkittäviä tunnettuja varantoja tai hyvää potentiaalia niiden löytämiseksi. Lisäksi meillä on globaalisti johtavaa mineraalialan osaamista ja laitevalmistusta. Pitkän-aikavälin tavoitteena strategiassa on elinvoimainen mineraaliala, joka turvaa Suomen raaka-ainehuoltoa, tukee alueiden elinvoimaisuutta, edistää luonnonvarojen vastuullista käyttöä ja on globaalisti kilpailukykyinen. Mineraalistrategian visio rakentuu vahvalle osaamiselle, tutkimukselle ja innovaatioille, joille on luotu edellytykset kehittyä ja kasvaa. (GTK, 2010)

Suomen mineraalistrategia (kuva 7) on jaettu kolmeen strategiseen tavoitteeseen ja neljään erilliseen aihealueeseen. Aihealueet sisältävät 12 toimenpide-ehdotukseen neljällä eri aihealueella.

Strategiset tavoitteet:

- Ratkaisuja globaaleihin mineraaliketjun haasteisiin
- Kotimaisen kasvun ja hyvinvoinnin edistäminen
- Ympäristöhaittojen vähentäminen.



Kuva 7. Mineraalistrategian tavoitteet (GTK, 2010)

Alla on suoraan Suomen mineraalistrategiasta lainattua tekstiä kolmesta strategisesta tavoitteesta. (GTK, 2010)

”Kotimaisen kasvun ja hyvinvoinnin edistäminen

Mineraalialalla on merkittävää potentiaalia vahvistua kansantalouden tukijalaksi erityisesti tasapainoisen alueellisen kehityksen näkökulmasta. Alan kehittyminen vaatii valtioneuvoston ja muiden julkisen vallan toimijoiden sitoutumista toimintaympäristön ja -edellytysten kehittämiseen. Nämä ovat avainasemassa tulevaisuuden teollisille investoinneille. Tarvitaan positiivista yleistä asennetta luonnonvarojen kestävään hyödyntämiseen, koulutusjärjestelmän sekä säädösten ja hallinnon toimien kehittämistä ja logistiikan toimivuuden varmistamista.

Mineraalivarantojen pitkän aikavälin hyödyntäminen tulisi ottaa huomioon valtakunnallisissa alueiden käyttötavoitteissa niin, että se on osana maankäytönsuunnittelua kaikilla kaavatasoilla. Tämä edellyttää nykyistä tarkempaa tietoa valtakunnallisesti ja maakunnallisesti merkittävistä mineraalisten luonnonvarojen esiintymistä ja löytymispotentiaalista.

Mineraalisten raaka-aineiden saannin turvaaminen on hyvinvoinnin varmistamisen ja kehittämisen kannalta tärkeää. Vapaaseen kauppaan perustuva raaka-aineiden saanti voi olla koetuksella, kun kehittyvien maiden raaka-ainetarpeet, erilaiset kaupan rajoitteet ja monopolit vahvistuvat. Kasvavalla ja nopeasti monipuolistuvalla kotimaisella tuotannolla on huomattavaa merkitystä asiakastoimialojen raaka-aineiden saannissa niin kotimaassa kuin EU:ssakin.

Ratkaisuja globaaleihin mineraaliketjun haasteisiin

Kaivannaistoiminnan kehittyminen kotimaassa luo edellytyksiä mineraalialan teknologisen johtajuuden ylläpitämiseksi. Kansainvälinen ja kotimainen näkökulma muodostavat yhdessä vahvan, synergisen kombinaation, joka edistää uusien jalostusketjujen, ratkaisujen ja palvelutuotteiden kehittämistä kotimaisille ja globaaleille markkinoille. Mineraalisten raaka-aineiden käytön globaali kasvu yhdessä kasvavien ympäristöhaasteiden kanssa muodostaa merkittävän potentiaalisen mineraalivarojen kestävä käyttöä edistävälle liiketoiminnalle.

Ympäristöhaittojen vähentäminen

Suomen tulee pyrkiä edelläkävijäksi toteuttaessa kaivannaisteollisuuden kestävä kehityksen periaatteita. Vastuullisen luonnonvarojen hyödyntämisen näkökulmasta tulee käyttää raaka-aineita, joiden tuotannossa on sovellettu parhaita käytäntöjä. Lisäämällä kotimaassa kestävällä tavalla tuotettujen raaka-aineiden osuutta kulutuksessamme voimme edistää omaa vastuullisuuttamme. Samalla luodaan kestävä kaivannaistoiminnan toteuttamismalleja ja toimitaan globaalina esimerkkinä kehittyville taluksille. Ympäristöystävälliset raaka-aineet, sertifikaatit ja haittaverot ovat tulevaisuuden ohjauskeinoja. Myös kuluttajat haluavat tietää entistä tarkemmin, mistä heidän käyttämänsä raaka-aineet ovat peräisin ja minkälaisien standardien mukaisesti niitä on tuotettu.”

Seuraavat 12 toimenpide-ehdotusta on esitetty mineraalistrategiassa. Toimenpide-ehdotukset aihealueittain ovat:

”Mineraalipolitiikan vahvistaminen

- 1. Mineraalialan merkittävyys, kasvupotentiaali ja uhat otetaan huomioon hallitusohjelmassa sekä valtioneuvoston linjauksissa ja politiikkaohjelmissa.*

2. *Suomi ottaa näkyvän roolin EU:n raaka-aineloitteen tavoitteiden toteuttamisessa ja mineraalipolitiikan luomisessa yhteistyössä Ruotsin ja muiden EU-alueen kaivosmaiden kanssa.*
3. *Parannetaan mineraalialan rahoitusmahdollisuuksia ja lisätään kotimaista omistajuutta.*
4. *Selvitetään verkannusteiden käyttöä edistämään luonnonvarojen etsintää ja resurssitehokasta hyödyntämistä.*

Raaka-aineiden saatavuuden turvaaminen

5. *Monipuolistuvien geo- ja ympäristötieteellisten perusaineistojen tuottamista, tulkintaa ja jakelua kehitetään pitkäjänteisesti turvaamaan Suomen mineraalivarantojen kestävää hyödyntämistä ja huoltovarmuutta.*
6. *Kaivannaistoiminnan lupien käsittelyaikoja lyhennetään ja lupaprosesseja kehitetään.*
7. *Mineraalisten luonnonvarojen saatavuus ja kestävä hyödyntäminen otetaan keskeisiksi lähtökohdiksi maankäytön suunnittelussa.*

Kaivannaistoiminnan ympäristövaikutusten vähentäminen ja tuottavuuden lisääminen

8. *Koneissa, laitteissa ja prosesseissa parannetaan edelleen materiaali- ja energiatehokkuutta.*
9. *Vihreän talouden liiketoimintaa edistetään pk-sektorin ja tutkimuslaitosten yhteistyönä yhdistämällä mineraaliketjun, riskinhallinnan, maankäytönsuunnittelun ja hyvän hallinnon osaamista.*
10. *Luodaan yhteistyö- ja toimintamalleja paikallisten asukkaiden, yritysten ja viranomaisten kesken turvaamaan kestävää hyvinvointia kaivannaistoiminnan koko elinkaaren ajalle.*

T&K-toiminnan ja osaamisen vahvistaminen

11. *Perustetaan mineraalialan Tekes-ohjelma, joka tähtää innovatiivisten ratkaisujen, tuotteiden ja palveluiden kehittämiseen mineraalien hyödyntämisketjun kaikilla osa-alueilla.*
12. *Mineraaliala otetaan huomioon opetushallinnon pitkän aikavälin suunnittelussa, ja metallien, mineraalien sekä kiviaineksen merkitystä jokapäiväisessä elämässä korostetaan osana ympäristökasvatusta koulutuksen eri tasoilla.”*

(GTK, 2010)

2.5 YRITYKSIEN NÄKEMYKSIÄ TULEVAISUUDEN KAIVOKSISTA

Tässä kappaleessa esitellään kahden suuren kaivosalan yrityksen Rio Tinton ja BHP Billitonin näkemyksiä tulevaisuuden kaivostoiminnasta. Lisäksi esitellään kaivoksiin automaatiojärjestelmiä ja laitteistoja toimittavan ABB:n näkemyksiä tulevaisuuden kaivostoiminnasta.

2.5.1 Rio Tinto - Mine of the Future

Rio Tinto on johtava kansainvälinen kaivosyhtiö, joka keskittyy mineraaliresurssien etsintään, louhintaan ja prosessointiin. Tärkeimmät tuotteet ovat alumiini, kupari, timantit, hiili, uraani, kulta, teollisuusmineraalit (booraksi, titaanidioksidi, suola ja talkki) ja rauta. Rio Tinto toimii koko maailmassa, mutta on vahvemmin esillä Australiassa ja Pohjois-Amerikassa. Merkittävää liiketoimintaa on myös Etelä-Amerikassa, Aasiassa, Euroopassa ja eteläisessä Afrikassa. (Rio Tinto, 2015)

Rio Tinto käynnisti vuonna 2008 Mine of the Future –ohjelman, jonka tavoitteena on kehittää ja ottaa käyttöön seuraavan sukupolven kaivosteollisuuden teknologioita. Uusilla teknologioilla pyritään kustannussäästöihin, parempaan tehokkuuteen sekä vaikuttamaan terveyteen, työturvallisuuteen ja ympäristöön. (Rio Tinto, 2015)

Mine of the Future –ohjelman avulla saavutetaan kokonaisvaltainen näkemys kaikista toiminnoista kaivokselta satamaan ja tarjotaan lähes reaaliaikaista tietoa päätöksentekoa varten. Mine of the Future –ohjelman tavoitteena on:

- Automaattinen panostusreikien porausvaunu, joka poraa jokaisen reiän täsmälleen oikeaan paikkaan. Lisäksi porausvaunu sanelee räjähdysainetoimittajalle jokaisen porausreikään tarvittavan räjähteen määrän ja suhteen.
- Kaivinkone, joka tunnistaa malmin ja sivukiven toisistaan kivikasasta, erottelee ne ja lastaa automaattisesti itseohjautuviin dumpperiin.
- Itseohjautuva dumpperi, joka turvallisesti navigoi kaivoksella ja siirtää malmin ja sivukiven oikeisiin paikkoihin optimoidulla tavalla ilman ihmisen puuttumista asiaan. Lisäksi dumpperi raportoi automaattisesti kunnossapidon tarpeesta.
- Etäohjattava lohokareen särkijä
- Edistysellinen lajittelulaite, joka parantaa matalapitoisten malmien talteenottoa ja merkittävästi pidentää kaivoksen elinikää.
- Itsenäisten mittaustaitteiden lisääminen rikastamisen säätämiseen ja muihin prosesseihin talteenoton maksimoimiseksi ja energian ja veden säästämiseksi.
- Itsenäinen juna, joka “näkee” horisontin taakse ja toimittaa tuotteet automaattiselle junanpurkupaikalle.
- Kaivosten toimintojen koordinointi kaivoksen sijaan satamassa, jonne toimitetaan laatutarkastetut ja oikeapitoiset tuotteet valmiina asiakkaalle toimitettavaksi.
- Kaivoksen henkilökunta, joka pystyy tekemään välttämättömät kunnossapitotyöt asiantuntijoiden etävastuksella.
- Etäohjauskeskus, joka valvoo koko integroidun kaivoksen toimintaa, jolloin asiantuntijat voivat jatkuvasti analysoida ja hienosäätää prosesseja. Tämä mahdollistaa malmisuonesta saatavan tiedon reaaliaikaisen päivittämisen. (Fisher & Schnittger, 2012)

Kuvassa 8 on esitetty ohjelman saavutuksia vuosien varrella. Rio Tinto avasi vuonna 2010 etäohjauskeskuksen Perthiin, jossa oli vuonna 2014 yli 400 ihmistä analysoimassa mittaustietoja keskitetysti ja reaaliaikaisesti 15 kaivoksesta, 31 louhoksesta, neljästä satamasta ja yli 1600 kilometristä rautatietä. Vuonna 2012 otettiin käyttöön itseohjautuvat dumpperit ja itsenäiset junat. Vuonna 2014 Rio Tintolla oli käytössä jo yli 50 itseohjautuvaa dumpperia. Vuonna 2014 otettiin käyttöön automaattinen panostusreikien porausvaunu. Operaattori voi käyttää samanaikaisesti useampaa porausvaunua etänä. (Rio Tinto plc and Rio Tinto Limited, 2015)



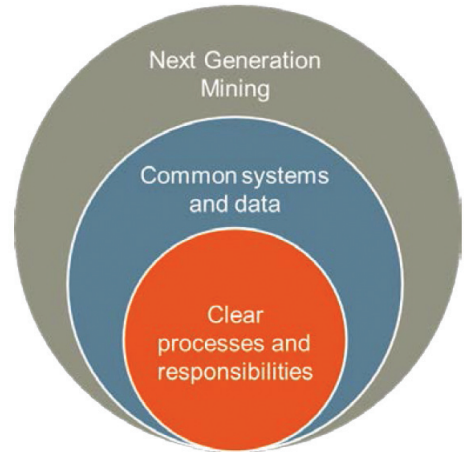
Kuva 8. Rio Tinto Mine of the Future ohjelman saavutukset (Rio Tinto plc and Rio Tinto Limited, 2015)

2.5.2 BHP Billiton – Next Generation Mining

BHP Billiton on Australiassa päämajaansa pitävä yksi maailman suurimmista kaivosalan yrityksistä. Yritys toimii yli 25 maassa ja sillä on 41 000 työntekijää. Päätoimialat ovat rautamalmin, kuparin, hiilen, alumiinin, mangaanin, nikkelin, öljyn ja potaskan tuotannossa. Pääosa tuotannosta tulee Australiasta, Amerikasta ja eteläisestä Afrikasta. (Reuters, 2015)

Seuraavan sukupolven kaivostoimintaan ajaa teknologian kehittyminen autonomiassa ja havainnoissa sanoo BHP Billitonin kaivosoptimointi yksikön varatoimitusjohtaja Gavin Yeates. Samaan saumaan osuu myös tarve hyödyntää monimutkaisempia, syvemmällä ja matalamman pitoisuuden malmioita. BHP Billiton käyttää tulevaisuuden kaivostoiminnasta termiä ”Next generation mining”. (Kelleher, 2015)

Loppuvuodesta 2013 lähtien BHP Billiton on keskittänyt työprosessien parantamiseen yhdenmukaistamalla niitä. Gavin Yeatesin mukaan on tarve muuttaa perustyöprosessit ja järjestelmät kaivoksessa louhokselta satamaan asti. Hänen mukaansa tuotantoprosessit yhdenmukaistetaan kunnossapidon prosessien kanssa ja standardoidaan tekeminen eli mitä tehdään ja miten tehdään (kuva 9). Tuotantoprosessien vaihtelut täytyy poistaa ennen kuin voidaan ottaa käyttöön autonomisia toimintoja. Hänen mukaansa on tärkeää arvioida tuotanto, kunnossapito ja yhteensopivuussuunnitelmat ennen automaation käyttöönottoa, jotta voidaan vähentää haasteita käyttöönoton aikana. (Kelleher, 2015)

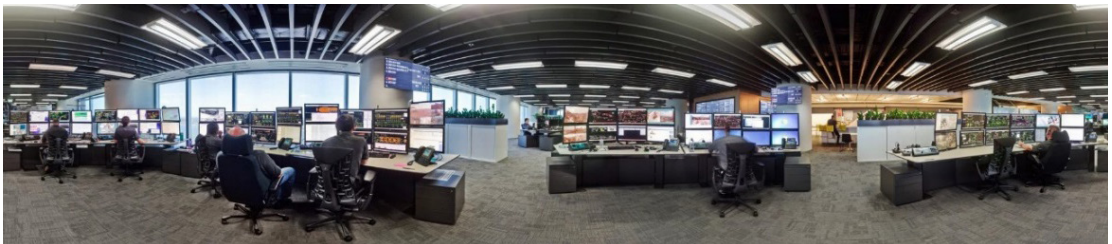


Kuva 9. Next Generation Mining (Ottaviano, 2013)

BHP Billiton on pilotoinut ja käyttöönottanut uusia teknologioita valituissa kohteissa, integroinut etävalvomokeskukset sekä toteuttanut autonomisen kuljetuksen ja porauksen. Lisäksi he ovat selvittäneet vaihtoehtoisia kaivausmenetelmiä sekä erilaisia keinoja arvioida ja mallintaa malmioita. Gavin Yeatesin mukaan uudet teknologiat ovat mahdollistaneet innovaatiot kaivoksissa, mutta hänen mukaansa on tärkeää osata soveltaa niitä oikein kaivostoiminnassa. Kun otetaan käyttöön uusia työskentelytapoja, niin muutoksen hallinta on yksi suurimmista haasteista. Muutosten hallinnassa ihmisenäkökulma on aina haastavampaa kuin teknologia näkökulma. Tapana on kuitenkin helposti keskittyä teknologiaan. (Kelleher, 2015)

Next Generation Mining:iin liittyviä toimenpiteitä:

- Integroitu etävalvomokeskus IROC; Integrated Remote Operations Centre kuvassa 10
 - Tuotantoketjun (kaivokselta satamaan) reaaliaikainen hallinta, jolla vähennetään tuotantoketjun vaihtelevuutta.
 - Optimoidulla aikataulutuksella (tuotanto ja kunnossapito) parannetaan tuotantokykyä.
 - Yhteiset tilat valvojen, aikataulutajien ja suunnittelijoiden kanssa parantaa yhteistyötä, päätösten tekemistä ja roolien yhteensovittamista. (Ottaviano, 2013)



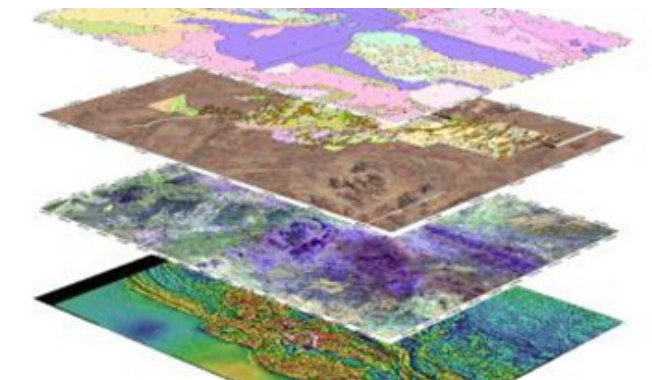
Kuva 10. BHP Billitonin etävalvomokeskus, IROC (Ottaviano, 2013)

- Autonomiset laitteistot
 - Selvät, yksinkertaiset prosessit mahdollistavat skaalautuvan autonomisen teknologian käyttöönoton.
 - Itseohjautuvia dumppereita (AHT, autonomous haul trucks) on kokeiltu New Mexicon hiilikaivoksella vuodesta 2011 (kuva 11) ja Australian rautakaivoksella 2013 lähtien.
 - Tuottaa turvallisemman, ennustettavamman ja tuottavamman operoinnin. (Ottaviano, 2013)



Kuva 11. Itseohjautuva dumperi New Mexicon hiilikaivoksella (Ottaviano, 2013)

- Nopea resurssien mallinnus (kuva 12)
 - Reaaliaikainen alkuainemittaus porausreiästä tapahtuvalla mittarilla ja tarkka mineralogian mittaus
 - Automaattinen porausdatan tulkinta perustuen tunnistusalgoritmeihin
 - Automatisoitu ja integroitu 3D mallinnus
 - Parempia laatuja ja toistettavia malleja
 - Tehokkaammin tuotettavat tuotespesifikaatiot. (Ottaviano, 2013)



Kuva 12. Automatisoitu porausdatan tulkinta (Ottaviano, 2013)

2.5.3 ABB – Next Level Mining

ABB on Sveitsissä päämajaa pitävä sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, joka toimii noin 100 maassa. Yrityksessä on noin 140 000 työntekijää, joista noin 5 200 työskentelee Suomessa. (ABB, 2015)

Kaivostoiminnan tulevaisuuden näkymät

Kaivosteollisuus kohtaa lisääntyvää kilpailua kokoajan, joka ajaa kaivoksen toimijoita löytämään uusia tapoja kasvattaa tuotantomääriä, vähentää tuotantokustannuksia per tuotettu tonni ja laajentamaan olemassa olevien kaivosten elinkaarta tai perustamaan uusia kaivoksia. (Gallestey, ym., 2015)

Kaivoksen toimijoiden täytyy muuttaa toimintatapaansa, jossa he kaivavat malmia ja toimittavat sen markkinoille. Uudessa toimintatavassa toimitaan tarvelähtöisesti eli kaivokset reagoivat asiakkaiden tarpeisiin nopeammin ja toimittavat malmia oikeaan paikkaan ja oikeaan aikaan. Kaivosten pitää pystyä nopeasti vastamaan uusiin mahdollisuuksiin olemalla joustavia ja ketteriä. (Gallestey, ym., 2015)

Tulevaisuuden visiossa kaivoksen laitteistot ovat lähellä prosesseja ja ihmiset toimivat kauempana prosesseista. Teknologian, koneiden ja robottiautomaation tehtävänä on tehdä rutiinihommia ja toistettavia töitä. Samaan aikaan henkilöstö osallistuu enemmän strategisiin tehtäviin. Poistamalla ihmiset prosesseista pienennetään kustannuksia, lisätään tuottavuutta ja parannetaan turvallisuutta. Ihmisten poistaminen prosessien läheisyydestä toteutetaan mm. etävalvonnan ja diagnostiikan avulla. Tulevaisuuden kaivoksessa paikanpäällä oleva henkilöstö työskentelee yhteistyössä ulkoisten erikoisasiantuntijoiden ja valvojen kanssa, jotka työskentelevät etäoperointikeskuksissa käsin. (Gallestey, ym., 2015)

Etäoperointi saavutetaan siirtämällä automaatio ja sähköistys malmin louhintapaikalle. Samalla minimoidaan kuljetuksen ja liikenteen tarpeita. Uudet teknologiat tulevat omalta osaltaan mahdollistamaan etäoperoinnin. Tällaisia teknologioita ovat mm. puoli- ja täysautomaattiset robotit, tekoäly, 3D- ja 4D-tulostus. (Gallestey, ym., 2015)

Pian kaivoksella työskentelevät operaattorit käyttävät big dataa, analytiikkaa ja reaaliaikaista informaatiota opastamaan työnteossa ja antamaan palautetta heidän työstään. Työntekijöiden vaatteet, työkalut ja ympäristöt tulevat sisältämään teknologiaa, jotka ovat erikoistuneet datan keräämiseen. Tulevaisuuden kaivostoiminnan haasteisiin on ratkaisuna automaation ja informaation integrointi sekä käyttää sitä kaikkea tietämystä kaivoksen prosessien reaaliaikaiseen optimoimiseen. (Gallestey, ym., 2015)

Informaatio ja operatiivisten teknologioiden kokoaminen yhteen

Operatiivisen teknologian (OT), tuotannonohjausjärjestelmän ja informaatioteknologian (IT) väliset integraatiot, keskinäiset näkyvyydet ja älykkyydet luovat edellytyksiä tulevaisuuden kaivos-toiminnalle. Tuloksena saavutetaan ketteryyttä, jolla pystytään vastaamaan kysynnän ja tarjonnan vaihteluihin. (Gallestey, ym., 2015)

IT:n ja OT:n lähentyminen tuottaa enemmän tietoa reaaliaikaisista järjestelmistä informaatioteknologia ohjelmistoihin. Seurauksena saavutetaan seuraavat edut, jotka parantavat tehokkuutta, reagointikykyä ja kannattavuutta koko kaivoksen arvoketjussa:

- Älykäs tuotanto
- Älykäs reagointi kriittisen omaisuuden kuntoon
- Kysyntälähtöinen suunnittelu
- Energiakulutuksen ja jätteiden vähentyminen. (Gallestey, ym., 2015)

Nykypäivänä kaivosyhtiöiden suurena haasteena päämäärien saavuttamisessa on IT ja OT järjestelmien välisen integraation puute. Yhä useammat kaivosyhtiöt näkevät yhden merkittävän edun IT/OT tiedon integroinnissa, kun optimoidaan kustannuksia ja tehokkuutta. Tämä johtaa suoraan seuraaviin haasteisiin:

- Yhä kasvavien kustannusten nousun hallinta
- Energiakulutuksen hallinta ja tehokkuus
- Tuotannon maksimointi tai optimointi. (Gallestey, ym., 2015)

Valitettavan monessa yhtiössä on vähän tai ei lainkaan tiedon integrointia ja toiminta tapahtuu omissa ”siiloissa”, joissa tietoa ei jaeta yhtiön eri osastojen kesken. Monet käyttävät yhä ratkaisevien päätösten tukena taulukoita yhdistettynä ihmisen asiantuntemukseen. (Gallestey, ym., 2015)

Ajat ovat muuttumassa ja useat yhtiöt ovat ottamassa ensiaskeleita tiedon integroimisessa. Näillä yhtiöillä on tuotantojärjestelmien kokonaisnäkyminen ja kaikista edistyneimmät yhtiöt voivat dynaamisesti tarkastella ja säädellä toimintoja koko kaivostoiminnan arvoketjussa. Yhä useammat kaivostoimijat näyttäisivät ymmärtävän, että informatiiviset ja operatiiviset teknologiat eivät voi toimia omissa ”siiloissa”, jos he haluavat edelleen olla osakkeenomistajille tuottavia kaivoksia. (Gallestey, ym., 2015)

Lisäksi monet toimijat ovat huomanneet, että pystyäkseen vastaamaan uusiin haasteisiin tehokkaasti operaattorit tarvitsevat integroituja ratkaisuja. Nämä mahdollistavat omaisuuden etädiagnostiikan, jatkuva-aikaisen automaation ja tuotannon optimoimisen. (Gallestey, ym., 2015)

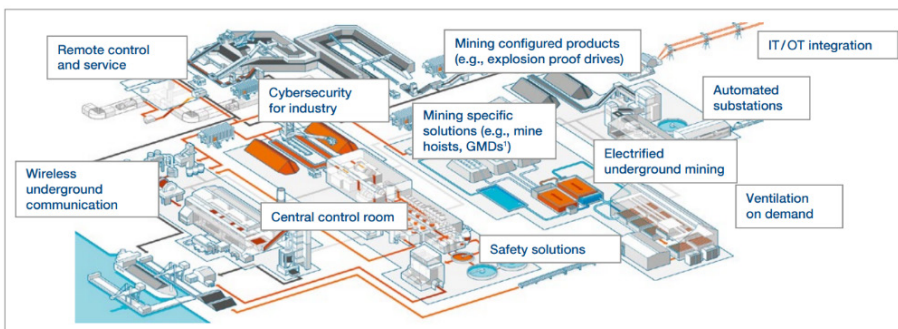
Koko kaivoksen arvoketjun optimointi

Tyypillisessä nykypäivän kaivoksessa ja prosessin operoinnissa on alueita, jossa operaattorit ajavat omia koneitaan itsenäisesti ja ilman kommunikaatiota tai yhteistyötä muiden operaattoreiden kanssa. Laitteiston ja järjestelmien välillä on harvoin mitään integraatiota, joka johtaa ns. automaatio-saarekkeisiin.

Haasteena on optimoida koko arvoketju siten, että tuotannosta on täydellinen ja yhtenäinen näkyminen aina raaka-aineista prosessointiin sekä varastoista toimitukseen (kuva 13). IT ja OT integrointi helpottaa paikkaamaan aukkoja arvoketjussa. Esimerkiksi hyvällä kommunikaatiolla voidaan kaivoksen räjäytys ja murskaus optimoida yhteistyössä rikastamon jauhausprosessin kanssa. (Gallestey, ym., 2015)

Kaivoksen jokaisen osan automatisointi tuo merkittäviä etuja, kuten:

- Korkeampi tuottavuus ja parantunut yhteistyö
- Kaupallinen kokonaisvaltainen näkyminen koko yrityksestä
- Energiatehokkuuden parantuminen
- Turvallisuuden parantuminen. (Gallestey, ym., 2015)



Kuva 13. Kaivoksessa automaatio on kaikessa mukana (Gallestey, ym., 2015)

Kaivoksen tulevaisuus on siinä, että laitteistot, järjestelmät ja ihmiset yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi. Automaatio on teknologia, joka mahdollistaa yhdistämisen. (Gallestey, ym., 2015)

Automaatiosaarekkeiden yhdistäminen

Kaivosten automaatiosaarekkeiden yhdistämisessä ideana on saada ne puhumaan samaa kieltä ja integroida ne yhteen järjestelmään, josta kaikki informaatio on saatavilla. Paikallisia valvomoita vielä käytetään, mutta trendinä on siirtyminen keskitettyihin operointiin. (Gallestey, ym., 2015)

Nykyaikaisen valvomon suunnittelussa (kuva 14) huomioidaan ihmisten erilaiset roolit, jotta he voivat työskennellä yhdessä samassa ympäristössä. Esteet puretaan, valvomot yhdistetään ja asiantuntijat tekevät yhteistyötä yhdessä paikassa. (Gallestey, ym., 2015)



Kuva 14. Keskitetty valvomo (ABB company, 2012)

Laajennettu automaatio sulkee arvoketjun aukkoja ja luo turvallisen, luotettavan ja ennustettavan tuotantoprosessin, jossa on parempi näkyvyys kaivokselta rikastamolle, sulatolle ja varastolle. Tuloksena on optimoitu operointi kaivokselta satamaan. (Gallestey, ym., 2015)

3. Teknisiä ratkaisuja louhinnasta murskaukseen

Suurin osa viime vuosikymmenien kaivosteollisuuden innovaatioista ovat olleet ihmisen käytöstä riippuvaisia, mutta tämä on kuitenkin nopeasti muuttumassa kaukokäyttöisten ja itsenäisten kaivoslaitteistojen myötä. Kaivosautomaatio nähdään yleisesti merkittävänä muutoksena, joka täytyy ottaa, jotta kaivosteollisuuden uudet haasteet voidaan saavuttaa. (Fisher & Schnittger, 2012)

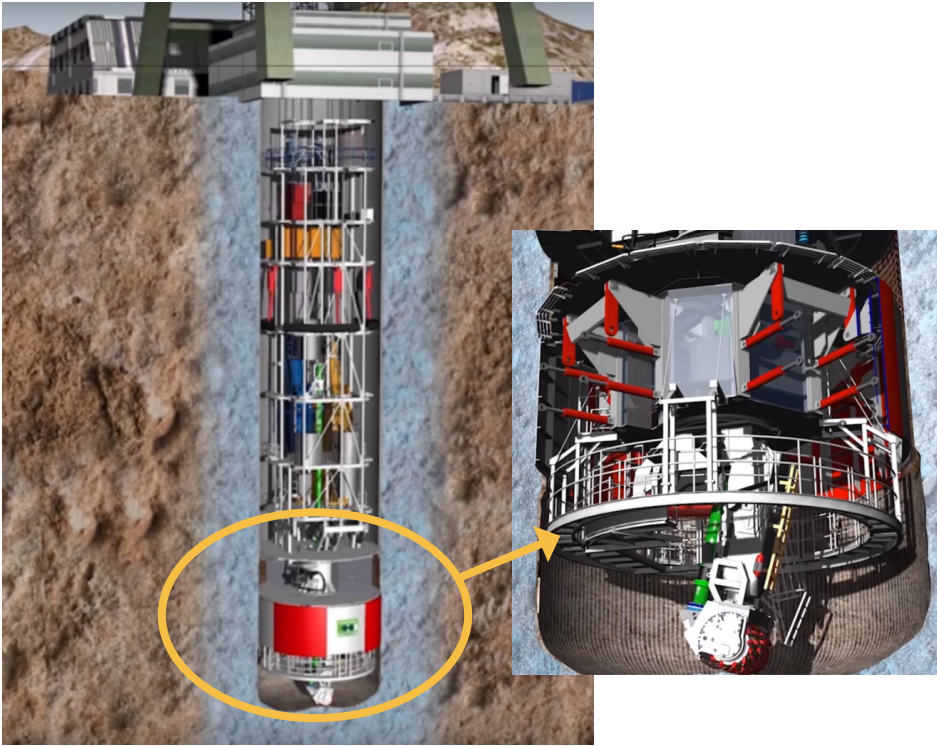
Nykyään tavoitteena on tehdä itsenäisiä kaivosjärjestelmiä ja -laitteistoja, jotka pystyvät suoriutuun tehtävistä automaattisesti tai mahdollisimman vähäisellä ulkoisella ohjauksella. Tällaisia uusia automaatioinnovaatioita ovat mm. itseohjautuva dumperi, automaattinen maanalainen LHD ja itsenäinen räjäytysreikien porauslaitteisto. Perimmäinen tavoite kaivosautomaatioissa on robotit, jotka pystyvät havaitsemaan ja ymmärtämään ympäristönsä. (Fisher & Schnittger, 2012)

3.1 LOUHINTA JA MALMIN LAJITTELU

3.1.1 Jatkuva-aikainen louhinta

Tunnelin tekeminen kallioon perinteisillä menetelmillä; poraamalla ja räjäyttämällä, on erittäin hidasta ja voi tehdä kallion epästabiiliksi. Tämän vuoksi on kehitetty jatkuva-aikaisia kaukokäyttöisiä ja itsenäisiä tunnelinlouhintalaitteita, joissa ei tarvita räjäytystä ollenkaan (Fisher & Schnittger, 2012). Erään lähteen mukaan voidaan säästää vuosi, jos malmioon tehdään tunneli itsenäisellä tunnelinlouhintalaitteella verrattuna perinteiseen poraus ja räjäytys - menetelmään. (Skawina;Greberg;Salama;& Schunnesson, 2013)

Eräs laitevalmistaja on kehittänyt Shaft Boring Roadheader (SBR) pystysuoran kuilunlouhintalaitteiston (mechanized sinking of blind shafts) pehmeälle ja keskikovalle kalliolle (kuva 15). Siinä on erityinen teleskooppipuomi ja pyörivä leikkausrumpu, joiden avulla tehdään halkaisijaltaan 8-12 metriä olevaa kuilua. Kuilua tehdään 20 cm kerrallaan ja yhden metrin välein laitetta lasketaan metrin alemmas. Järjestelmällä voidaan tehdä 1000 metriä syvä kuilu. Kuilun pohjalla oleva hieno materiaali imetään 20 metriä ylempänä oleviin säiliöihin, joilla materiaali siirretään maan pinnalle. Kuiluun ruiskutetaan puoliautomaattisesti ruiskubetonia leikkauspään yläpuolella olevalta tasolta. (Herrenknecht, 2015)



Kuva 15. Herrenknechtin kehittämä vertikaalisen tunnelin porauslaitteisto (Herrenknecht, 2015)

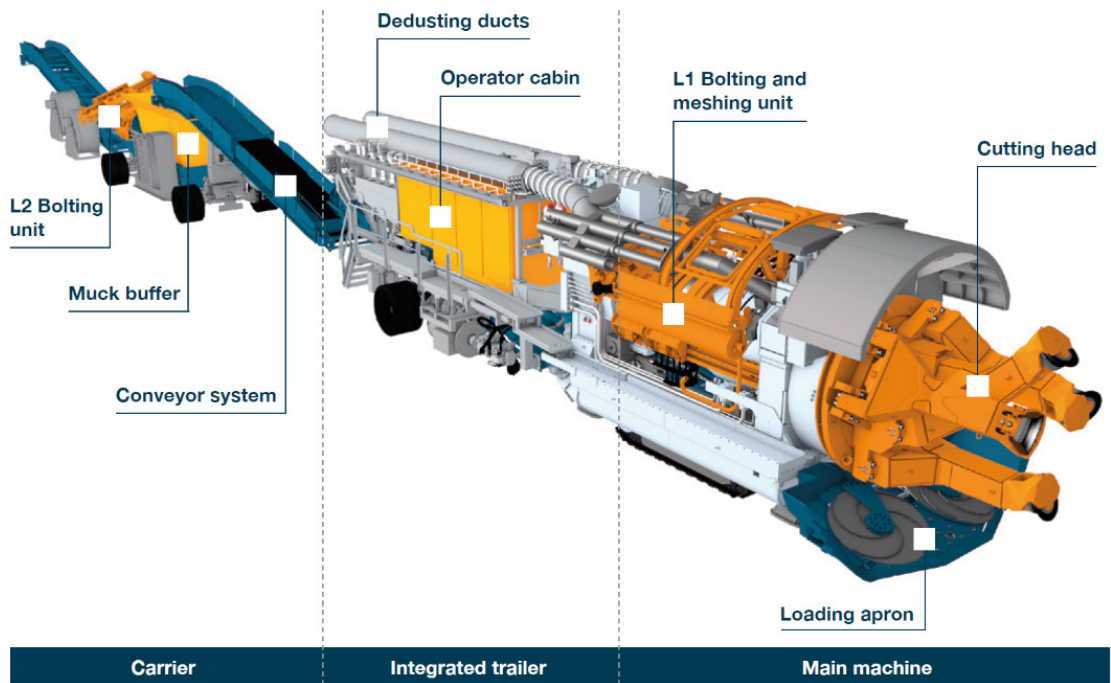
BHP Billiton on käyttänyt SBR-porauslaitteistoja Jansen-projektissa, jossa se rakentaa potaskaa eli kaliumkarbonaattia louhivaa kaivosta Kanadaan. SBR-porauslaitteistoja käytetään kaivamaan sekä sekä tuotanto- että huoltokuilua, jotka ovat leveydeltään noin 6.5 metriä ja syvyydeltään n. 1000 m. Kuvan 16 keskellä oleva torni liittyy huoltokuilun toimintaan. (BHP Billiton, 2014)



Kuva 16. Näkymä kaivosalueesta Jansen projektissa. (BHP Billiton, 2014)

Aker Wirthin liikkuva tunnelin kaivaja ”Mobile Tunnel Miner (MTM)” on erityisesti suunniteltu nopeaksi ja tehokkaaksi kaivosten tunneliporauslaitteistoksi keskikovasta kovaan kalliioon. Kuvassa 17 on esitettyä periaate MTM:sta, jolla voi leikata kovempaa kalliota kuin edellisen

kappaleen SBR:llä. MTM ei ole vain yksi laite, vaan se sisältää myös pultituksen, verkotuksen ja ruiskubetonoinnin. Lisäksi louhittu kivi ohjataan kuljettimelle ja tuodaan sen avulla lastattavaksi suoraan esimerkiksi dumpperiin. Laitteella tehtävän tunnelin maksimihalkaisija on 6,2 metriä. (Aker Solutions, 2013)



Kuva 17. Periaatekuva Mobile Tunnel Miner –laitteesta (Aker Solutions, 2013)

Kuvassa 18 on puolestaan Atlas Copcon Modular Mobile Mining –tunnelinlouhintalaite vuodelta 2012.



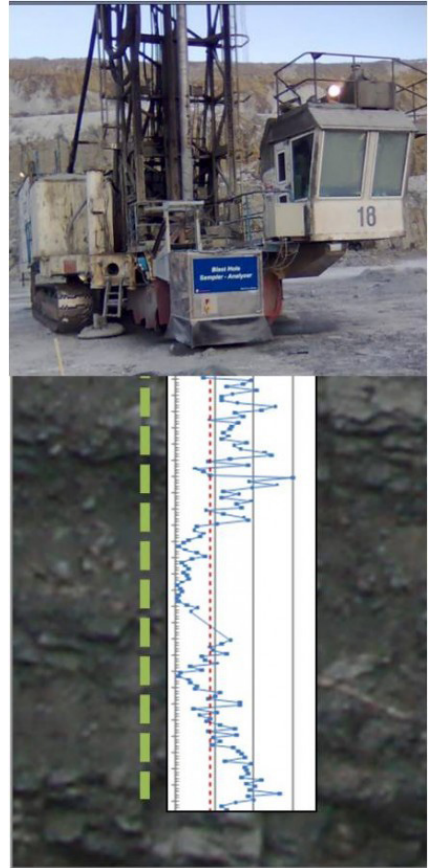
Kuva 18. Atlas Copcon Modular Mobile Mining – tunnelinlouhintalaite. (Skawina;Greberg;Salama;& Schunnesson, 2013)

3.1.2 Malmin pitoisuuden määrittäminen panostusreiästä

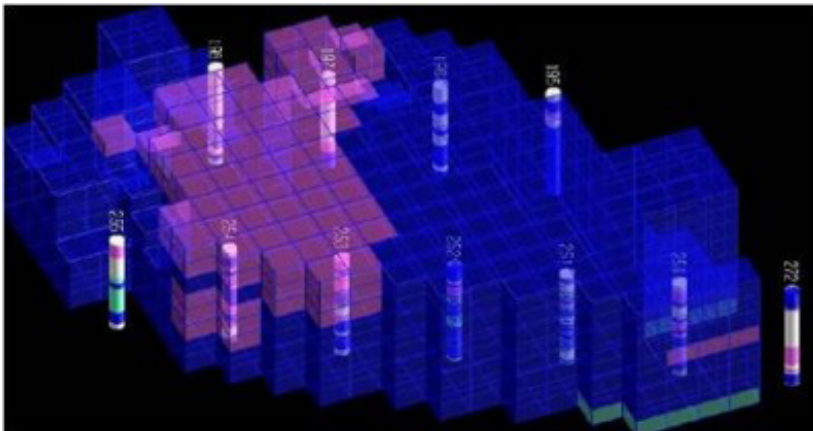
IMA Engineering on kehittänyt OREalyzer-järjestelmän, joka kerää näytteitä ja analysoi panostusreiästä kalliion malmipitoisuudet sitä porattaessa. Näytteenottojärjestelmä ja on-line XRF-analysaattori on integroitu porausvaunuun. Järjestelmän tuottaman reaaliaikaisen tiedon avulla voidaan tehdä tarkkoja lohkomalleja räjäytyskentästä ja käyttää suhteellisen pientä (2m*2m*2m) lohkokoko estämään malmin ja sivukiven sekoittuminen. Tällä hetkellä kaivoksilla ei ole menetelmää arvioida sitä, kuinka paljon malmin menee hukkaan. Tarkan 3D-mallin avulla räjäytyskentästä voitaisiin kuitenkin määrittää malmihukan suuruus. Kuvassa 19 on esitetty porausvaunu ja reaaliaikaista dataa panostusreiästä. Kuvassa 20 on datan analysoinnin perusteella luoto lohkomalli räjäytyskentästä. (Ima engineering, 2015)

OREalyzer järjestelmän ominaisuuksia:

- Jatkuva-aikainen näytteenotto ja panostusreiän analysointi
- Saatavilla kaikkiin porausvaunuihin
- Voidaan jälkiasentaa olemassa oleviin porausvaunuihin
- Voidaan käyttää sekä kuiva- että märkäporaukseen
- Mittaustulosten langaton tiedonsiirto. (Mine On-Line Service, 2015).



Kuva 19. Porausvaunu ja reaaliaikaista dataa panostusreiästä. (Mine On-Line Service, 2015)



Kuva 20. Räjäytyskentän lohkomalli. (Mine On-Line Service, 2015)

3.1.3 Siirtymän havaitseminen avolouhoksessa

Blast Movement Technologiesin valmistaman anturin (kuva 21) avulla voidaan selvittää, mihin malmi siirtyy avolouhoksella tehtävässä räjäytyksessä. Anturit asennetaan porausreikiin malmien lähelle ja räjäytyksen jälkeen anturit paikoitetaan. Tällä tavoin malmin ja sivukiven sijainnit kentällä tiedetään tarkasti, joten ne voidaan erottaa toisistaan ja kuljettaa oikeisiin paikkoihin. (BMT, 2015)

Räjäytyksen jälkeen operaattori kävelee kivikasan päällä vastaanottimen kanssa. Vastaanotin tunnistaa anturit ja tallentaa niiden lähettämän signaalin voimakkuuden, jonka avulla voidaan laskea anturin syvyys. Ennen ja jälkeen räjäytyksen tietojen avulla voidaan laskea tarkka anturin eli malmin liikkuminen 3D vektorina. Kaikkien antureiden 3D vektoreiden avulla voidaan määrittää malmin rajat, joten malmi ja sivukivi voidaan erottaa toisistaan tarkasti. Kokemuksen mukaan kivi siirtyy räjäytettäessä paljon enemmän kuin luullaan, eikä sen vähentämiseksi ole olemassa paljon käytännön keinoja, joten täytyy vain tietää, mihin malmi siirtyy. (BMT, 2015)



Kuva 21. Anturi malmin siirtymän määrittämiseksi (BMT, 2015)

Antureita ei käytetä pelkästään malmin ja sivukiven erottamiseen toisistaan, vaan sitä voidaan käyttää myös erilaisten malmityyppien ja epäpuhtauksien erottamista toisistaan. Esimerkiksi:

- Korkean ja matalan pitoisuuden malmien erottaminen toisistaan
- Estämään epäpuhtaiden aineksien sekoittuminen lopulliseen tuotteeseen
- Oksidi- ja sulfidimalmien erottaminen toisistaan, koska ne täytyy käsitellä eri tavalla. (BMT, 2015)

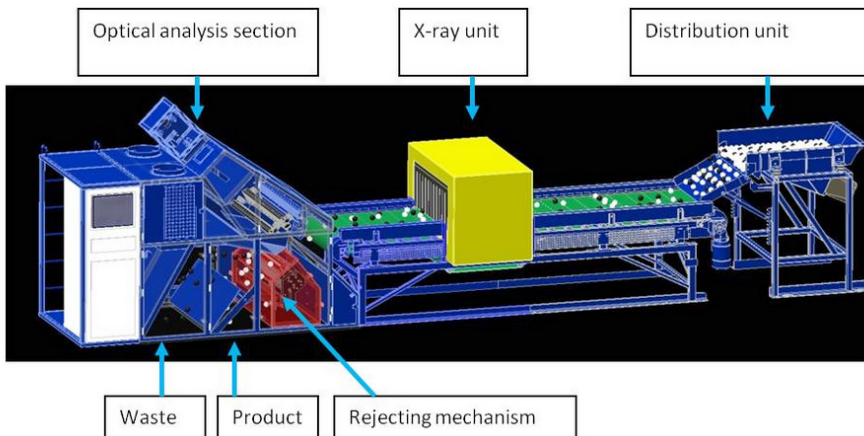
3.1.4 Malmin tunnistus ja lajittelu

Tomra ja Comex ovat kehittäneet omat järjestelmät, joiden avulla sivukivi voidaan tunnistaa materiaalivirrasta ja erottaa malmin seasta paineilman avulla. Kuvassa 22 on Tomran järjestelmä. Tulevaisuuden kaivoksessa järjestelmä asennetaan maan alle, jolloin energian kulutus vähenee rikastamalla, materiaalin kuljetustarve kaivoksen ja rikastamon välillä vähenee sekä jätteen hävittämistarve vähenee rikastamalla. Materiaalin kuljetus vähenee molempiin suuntiin, koska erotella sivukivellä voidaan täyttää louhoksia. Energian säästö ja osittain myös kuljetus- ja jätehyödyt saavutetaan myös maan päälle asennettavista järjestelmistä. (Comex, 2015)



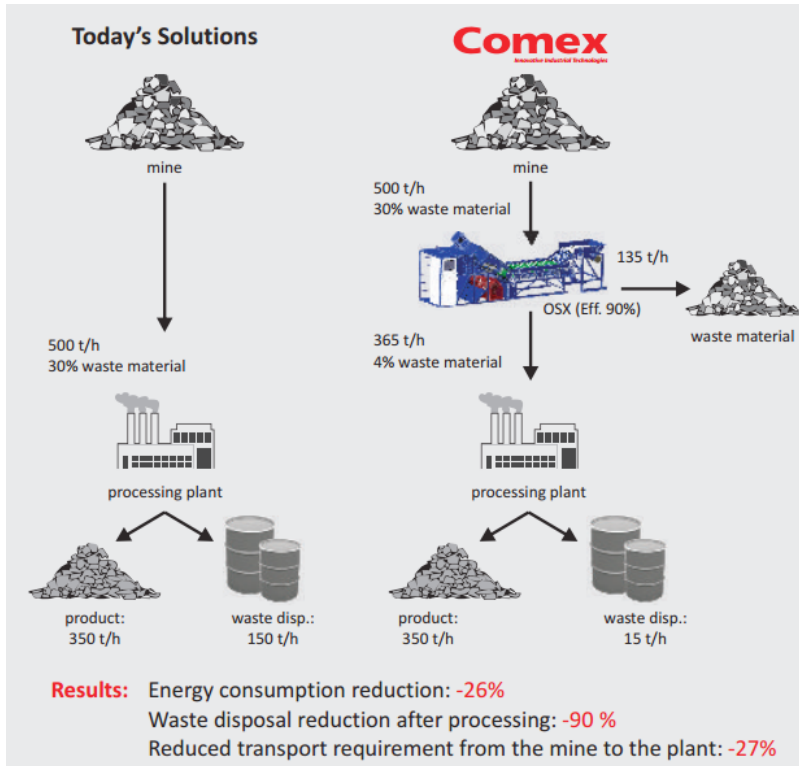
Kuva 22. Tomran lajittelujärjestelmä. (Tomra, 2015)

Kuvassa 23 on periaatekuva Comexin järjestelmästä, jossa materiaali syötetään kuljettimelle täryllä. Molemmassa järjestelmissä sivukiven tunnistamiseen kuljettimelta käytetään materiaalista riippuen näkyvää valoa, lähi-infrapunaa, keski-infrapunaa, ultraviolettisäteilyä, röntgeniä tai useampaa näistä. Niiden tuottaman tiedon avulla sivukivi erotetaan malmista ohjaamalla paineilmasuuttimia, jotka puhaltavat sivukiven erilleen. Lisäksi Comexin järjestelmällä malmi voidaan erottaa painesuuttimien avulla useampaa kuin yhteen luokkaan, esimerkiksi kolmeen luokkaan; high, medium ja low. (Comex, 2015)



Kuva 23. Periaatekuva Comexin järjestelmästä. (Comex, 2015)

Järjestelmiä voidaan käyttää teollisuusmineraalien, jalokivien, rautapitoisten ja raudattomien metallien, hiilen ja kuonan tunnistukseen ja lajitteluun. Rautapitoiset metallit sisältävät raudan, mangaanin ja kromiitin, kun taas raudattomat metallit sisältävät kuparin, volframin, nikkelin, kullan, hopean ja platinan. (Tomra, 2015). Comexin järjestelmässä partikkeleiden koko voi vaihdella



Kuva 24. Esimerkkitapaus rautamalmin rikastuksesta lajittelujärjestelmää käytettäessä ja ilman sitä. (Comex, 2015)

10-300 mm välillä riippuen järjestelmästä ja lajiteltavasta materiaalista. Järjestelmän kapasiteetti vaihtelee 5-250 t/h välillä riippuen järjestelmästä ja partikkeleiden koosta. (Comex, 2015)

Oletetaan, että rautakaivoksen tuotantomäärä on 500 t/h, josta sivukiveä on 30 % (kuva 24). Jos kaivokseen lisätään lajittelujärjestelmä, jonka sivukiven lajitteluhyötysuhde on 90 %, materiaalista vain 365 t/h siirtyy prosessissa eteenpäin. Tyypillinen rautamalmin rikastamo käyttää energiaa 315 kWh/t, joten energian säästö on 42 MWh/h. (Comex, 2015)

3.2 LASTAUS JA KULJETUS

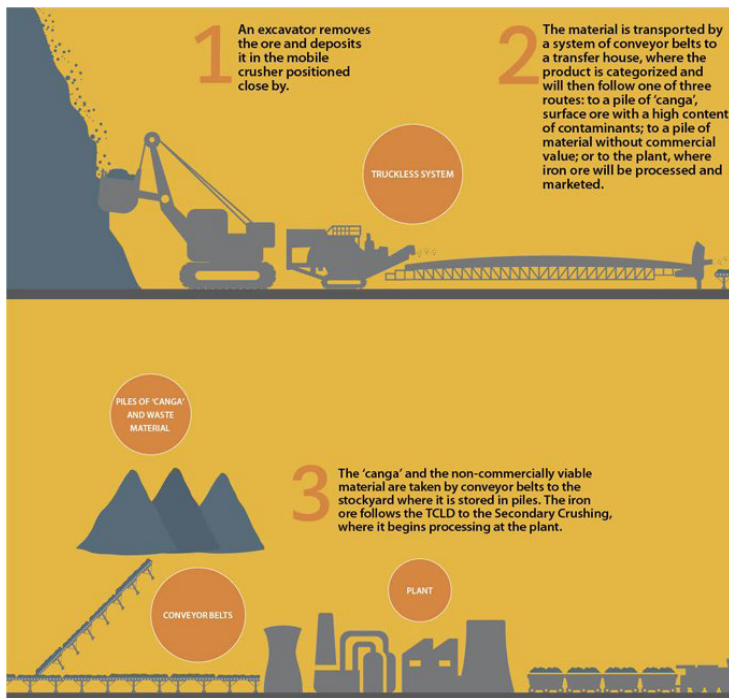
3.2.1 Itseohjautuva dumperi

Itseohjautuva dumperi on miehittämätön ajoneuvo, joka itsenäisesti liikkuu paikasta toiseen. Itseohjautuvassa dumperissa on GPS-paikannin ja esteiden havaitsemis- ja niiden väistämisyjärjestelmät. Modular Mining Systems, Inc. on kehittänyt yhdessä Komatsun kanssa Autonomous Haulage Systems (AHS) – järjestelmän, jossa dumpereita kontrolloidaan keskitetysti langattoman verkon kautta lähettämällä dumperille kohteen sijainti- ja nopeustiedot. Esimerkiksi lastauspaikalla dumperi ohjataan automaattisesti oikealle lastaajalle GPS-tiedon perusteella. Järjestelmä myös huomioi muut kaivoskulkuneuvot ja ihmiset. Esteen havaittuaan dumperi kiertää sen, hiljentää nopeutta tai pysähtyy välittömästi. (Komatsu, 2015)

Komatsun ja Modular Mining Systems, Inc. kehittämää AHS-järjestelmää on käytössä kahdeksalla kaivoksella, joissa on yhteensä yli 100 itseohjautuvaa dumperia. Ne ovat siirtäneet reilun kymmenen vuoden aikana lähes miljardi tonnia materiaalia. Käytön aikana on selvinnyt, että itseohjautuva dumperi lisää turvallisuutta ja tuottavuutta sekä vähentää dumperin kunnossapitokustannuksia, polttoaineen kulutusta ja renkaiden kulumista. (Modular, 2015)

3.2.2 Louhosmateriaalin siirtäminen pelkästään kuljettimilla

Kaivosalan yritys Vale on rakentamassa Brasilian Carajasissa sijaitsevalle kaivokselleen rautamalmin käsittelyjärjestelmää, jossa perinteiset dumperit korvataan kuljettimilla (truckless mining system) kiviaineksen siirrossa louhoselta rikastamolle. Järjestelmässä malmi lastataan kaivurilla mobiilimurskaimeen, josta se siirretään kuljettimilla paikkaan, jossa malmi luokitellaan kolmeen luokkaan. Sen jälkeen materiaali siirretään edelleen kuljettimilla joko jätekasoihin tai rikastamolle. Kuvassa 25 on esitetty periaatekuva kuljettimilla toteutetusta rautamalmin käsittelyjärjestelmästä. (Vale, 2015)



Kuva 25. Kuljettimilla toteutettu rautamalmin käsittelyjärjestelmä (Vale, 2015)

Kuljettimia tarvitaan kaikkiaan 37 kilometriä korvaamaan dumperit. Pelkästään kuljettimiin perustuvaa teknologiaa on käytetty aikaisemmin hiilikaivoksissa, mutta tämä on Valen mukaan ensimmäinen kerta, kun sitä käytetään suuren mittaluokan rautakaivoksessa. Valen projektijohtajan mukaan kuljettimiin perustuvalla ratkaisulla kaivoksen polttoaineen kulutuksen arvioidaan pienenevän 77 % ja päästöjen vähenemisen vastaavan 75 000 pientä autoa. (Mining-technology.com, 2013)

3.2.3 Automatisoidut lastaajat ja kuorma-autot maanalla

Sandvik Mining on kaivosalan yritys, jonka AutoMine-tuoteperheestä löytyy ratkaisuja automaatiosovelluksiin sekä maanalaisissa että maanpäällisissä kaivoksissa. Tässä esitellään maanalaisen kaivoksen lastausratkaisu AutoMine Loading ja kuljetusratkaisu AutoMine Hauling.

AutoMine Loading on automaatiotarkaisu maanalaisen kaivoksen automatisoiduille lastauskoneille. Se on joustava ja modulaarinen järjestelmä, jota voidaan käyttää pienemmissä lastausoperaatioissa kuin myös laajoissa lohko-louhintasovelluksissa. Kaivoksessa tuotantoalue on eristetty ja sitä valvotaan valvomosta käsin. Yksi operaattori pystyy hallitsemaan useita automatisoituja lastaajia samanaikaisesti. Tuotannon lastaus sykli on puoliautomatisoitu. Navigointijärjestelmä ohjaa lastaajaa automaattisesti ajotoiminnan ja tyhjennyksen aikana. Kauhan täytön suorittaa operaattori valvomosta käsin etäohjauksen avulla. Lastaajat on varustettu videojärjestelmällä, langattomalla kommunikoinnilla ja navigointijärjestelmällä. Järjestelmä sisältää reaaliaikaisen tuotannonvalvonnan, kaluston kunnonvalvonnan ja liikenteen ohjauksen, joka mahdollistaa usean automatisoidun lastaajan toiminnan samalla tuotantoalueella. Järjestelmä voidaan liittää kaivoksen omaan tuotannon suunnittelujärjestelmään ja Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) järjestelmään. (Sandvik, 2015)

AutoMine Hauling on automaatiojärjestelmä joukolle miehittämättömiä kuorma-autoja, jotka kuljettavat malmia maanalla itsenäisesti. Kuten lastausratkaisussakin kaivoksen tuotantoalue on eristetty ja sitä valvotaan yhden operaattorin toimesta valvomosta. Operaattori hallitsee useita automatisoituja kuorma-autoja samanaikaisesti. Koko kuljetus sykli on täysin automatisoitu. Navigointijärjestelmä ohjaa kuorma-autoja lastaukseen, kippaukseen ja siirtymisen paikkojen välillä. Kuorma-autot on varustettu kommunikointi- ja navigointijärjestelmillä, kuten em. lastauskin. AutoMine Hauling järjestelmä sisältää samat ominaisuudet kuin lastausjärjestelmäkkin tuotannon ja kunnonvalvontaan liittyen. Järjestelmä voidaan liittää muihin kaivoksen informaatiojärjestelmiin ja tuotannon suunnittelujärjestelmiin. Kuvassa 26 on järjestelmän valvomo. (Sandvik, 2015)



Kuva 26. AutoMine Hauling järjestelmän valvomo (Sandvik, 2015)

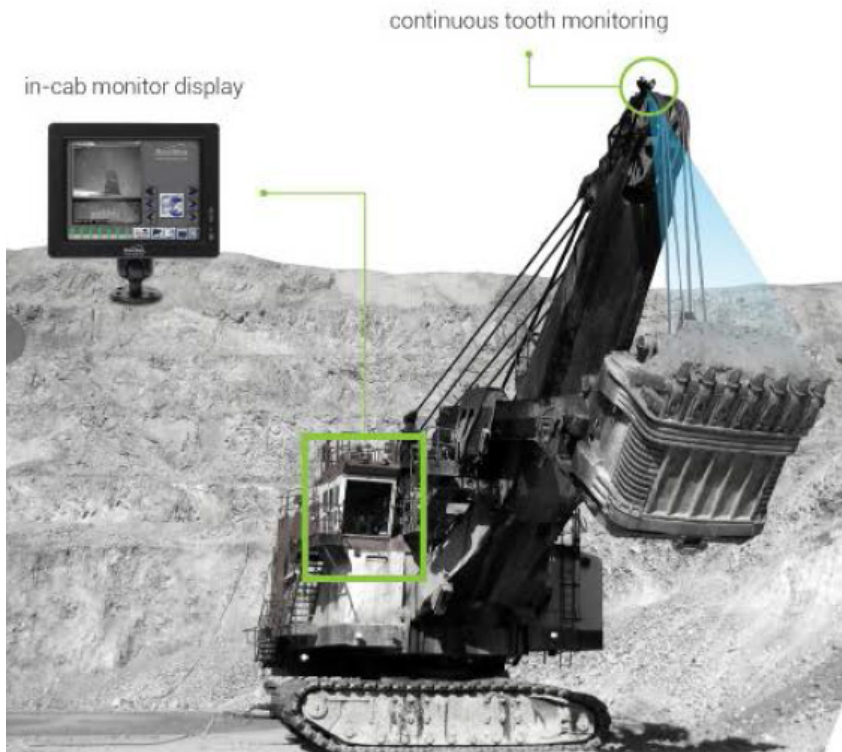
Kuljetuksen ja lastauksen automatisoinnilla saavutetaan monia etuja: työskentelyolosuhteet ja turvallisuus parantuvat, kaluston hyödyntämisaste kasvaa, joka vaikuttaa suoraan tuottavuuden parantumiseen. Samalla ylläpitokustannukset pienenevät, koska ajotoimintojen nopeudet on optimoitu ja laitteita käytetään tasaisemmin. (Sandvik, 2015)

3.3 MURSKAUKSEEN LIITTYVÄ VALVONTA

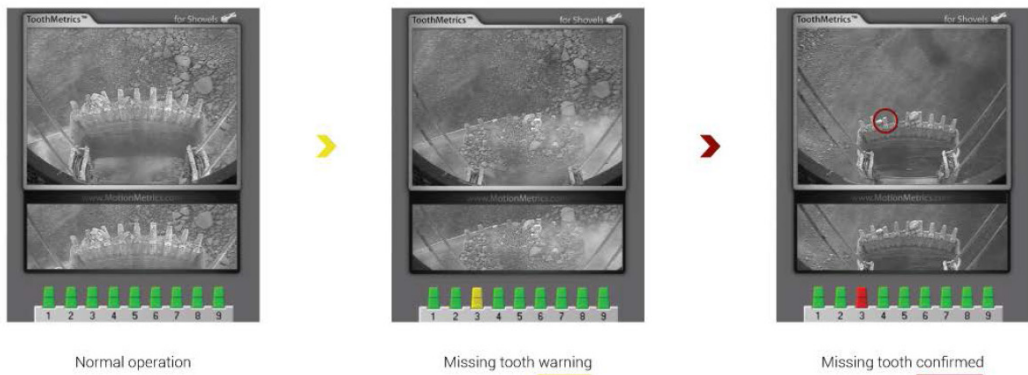
3.3.1 Lastauskauhan kynnenvalvonta

Kauhasta irronnut kynsi voi kulkeutua murskalle ja aiheuttaa siellä suuria ongelmia hajottamalla murskan tai kynnen poistaminen murskasta voi olla tuntien operaatio. Motion Metrics on Kanadassa Vancouverissa sijaitseva yritys, joka on erikoistunut toteuttamaan ratkaisuja kaivoslaitteiden kuten lastaajien, kaivinkoneiden ja kuljettimien valvontaan. Tässä esitellään kaksi heidän tuotettaan, jotka ovat ShovelMetrics (kuvat 27 ja 28) ja LoaderMetrics (kuva 29). Tuotteita käytetään kaivoksilla olevissa suurissa kaivinkoneissa (ShovelMetrics) ja lastaajissa (LoaderMetrics). (Motion Metrics, 2015)

Molemmat tuotteet sisältävät kauhassa olevien kynsien puuttumisen ja kuluneisuuden tunnistamisjärjestelmän. Järjestelmät valvovat kauhoja reaaliaikaisesti. Tuotteissa käytetään kameratekniikkaa tunnistamaan puuttuva kauhan kynsi. Kun puuttuva kynsi on tunnistettu, lähtee siitä hälytys koneen käyttäjälle ja taustajärjestelmään. Kynsien puuttumisen tunnistavia järjestelmiä käytetään yli 30 kaivoksessa ympäri maailman. (Motion Metrics, 2015)



Kuva 27. ShovelMetrics kauhankynnen valvontajärjestelmä (Motion Metrics, 2015)



Kuva 28. ShovelMetricsin antama tieto (vasemmalta oikealle): kynnet paikallaan, varoitus puuttuvasta kynnestä ja kynsi puuttuu (Motion Metrics, 2015)



Kuva 29. LoaderMetrics kauhankynnen valvontajärjestelmä (Motion Metrics, 2015)

3.3.2 Etäohjattava kivilohkareen rikottaja

Rio Tintolla ja laitevalmistaja Transmin:lla sekä Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) on yhteistyöprojekti, jossa he selvittävät etäohjattavan lohkarikottajan toteutettavuutta West Anglesin rautamalmikaivoksella. Lohkarikottajaa käytetään, kun halutaan estää liian suurien kivilohkareiden päätyminen murskaimeen. Liian suuret lohkarieet kasataan omiin kasoihin murskattavaksi. Perinteisellä tavalla toimittaessa operaattori on paikanpäällä ja määrittelee omin silmin suuret lohkarieet, miten ne kannattaa rikkoa ja ohjaa kivenrikottajalaitetta. (Fisher & Schnittger, 2012)

Uudella tavalla toimittaessa operaattori ohjaa kivenrikottamislaitetta etäohjauksella Rio Tinton Perthissä olevasta etäohjauskeskuksesta käsin. Etäohjaus on mahdollista uusien etäohjausteknologioiden, virtuaalitodellisuuden ja reaalikuvien avulla. Tällä tavoin toimittaessa saavutetaan seuraavia etuja:

- Ottamalla operaattorit pois paikanpäältä ja sijoittamalla heidät etäohjauskeskukseen saavutetaan turvallisempi ja puhtaampi työympäristö.
- Operaattori voi ohjata useita kivenrikottajia samanaikaisesti, kun vastaavasti paikanpäällä ollessaan, hän voi hoitaa vain yhtä rikottajaa kerralla.
- Teknologia vähentää kaivoksella paikanpäällä tarvittavan henkilöstön määrää, jolloin kaivokselle edestakaisin lentävien ja siellä majoittautuvien henkilöiden määrä vähenee.
- Operaattorit voivat keskittyä murskaimen ajoon, koska kivenrikottaminen tapahtuu etäohjauksella ja jonka vuoksi murskan seisonta-aika vähenee. (Fisher & Schnittger, 2012)

3.4 KUNNONVALVONTA JA PROSESSIAUTOMAATIO

3.4.1 Keskitetty kaivoksen arvokkaiden laitteiden valvonta

Kaivosteollisuudessa on otettu viime vuosina käyttöön arvokkaiden laitteiden reaaliaikaisia toimintakykyä valvovia järjestelmiä. Rio Tinto on ottanut vuodesta 2008 alkaen käyttöön tällaisen järjestelmän kolmella kaivoksella. Rio Tinton järjestelmä on suunniteltu optimoimaan tärkeiden laitteiden elinkaaret. Laitteesta tuotettu data lähetetään langattomasti yhtiön Perthissä sijaitsevaan etäohjauskeskukseen, jossa data analysoidaan ja tehdään päätöksiä tehokkuuden maksimoimiseksi. Rio Tinto on liittänyt 87 raskaan kaluston laitetta järjestelmään ja niitä valvotaan jatkuvasti. Vuoden 2010 kolmen ensimmäisen kuukauden aikana yhtiö arvioi säästäneensä kunnossapitokustannuksissa yli miljoona dollaria järjestelmän ansiosta. Lisäksi järjestelmää käyttämällä:

- Laitteiden saatavuus paranee
- Suunnittelemattomat kunnossapitotyöt vähenevät
- Kunnossapitosuunnittelu paranee
- Laitteen komponenttien elinkaari pitenee. (Fisher & Schnittger, 2012)

3.4.2 Keskitetty kaivoksen prosessien valvonta

Rio Tinto on ottanut käyttöön Australian Brisbanessa sijaitsevan Processing Excellence Centre (PEC) keskuksen. PEC tarkkailee reaaliajassa seitsemää Rio Tinton kaivosta, jotka sijaitsevat eri puolilla maailmaa. PEC:n avulla parannetaan prosessien valvontaa ja operatiivista toimintakykyä. Keskuksessa mineraalien prosessointitiimin asiantuntija jakaa tietoja teknisistä aloitteista ja ratkaisuista kollegoilleen, jotka ovat työmaillaan Mongoliassa, Yhdysvalloissa ja Australiassa. Tietojen avulla pystytään maksimoimaan kaivosten tuottavuutta ja parantamaan niiden suorituskykyä. (Rio Tinto, 2014)

Teknistä dataa prosesseista valvotaan ja analysoidaan reaaliaikaisesti, käyttämällä isoja interaktiivisia näyttöjä (kuva 30). Reaaliaikaisuus mahdollistaa prosessin parannusten ottamisen heti käyttöön sekä suorituskyvyn optimoimisen. Kokeiluvaiheen aikana PEC:n avulla onnistuttiin

säättämään vaahdotusprosessia Mongoliassa sijaitsevassa Oyu Tolgoi kaivoksessa, jolloin kuparin ja kullan saanti parani aikaisemmasta. (Rio Tinto, 2014)



Kuva 30. PEC keskuksen interaktiiviset näytöt (Rio Tinto, 2014)

3.4.3 Puettavan teknologian hyödyntäminen

Kiinnostus puettavaan teknologiaan on lisääntynyt kuluttajamarkkinoilla, josta se on alkanut levitä myös teollisuuteen. Motion Metrics on yhteistyössä Vandricon kanssa kehittämässä puettavan teknologian ratkaisuja erityisesti kaivosteollisuuden tarpeisiin. Motion Metrics on erikoistunut toteuttamaan ratkaisuja kaivoslaitteiden valvontaan ja Vandricon keskittynyt työpaikkojen puettavaan teknologiaan. Puettavalla teknologialla voidaan parantaa työn tehokkuutta, tuottavuutta ja työntekijöiden turvallisuutta. (Motion Metrics, 2014)

Motion Metrics ja Vandricon ovat kehittäneet MetricsGear alustan, joka mahdollistaa kriittisten hälytysten ja varoitusten lähettämisen suoraan kenelle tahansa kaivoksen henkilökunnalle älykelloon. Älykellon avulla voidaan ilmoittaa asiaan kuuluville henkilöille tapahtumista, kuten kaivinkoneen kauhan kadonneesta kynnestä tai koneiden törmäysriskistä. Hälytys mahdollistaa kaivoshenkilöstön nopean reagoinnin tilanteeseen estääkseen onnettomuuksia ja parantaakseen tuottavuutta. (Motion Metrics, 2014)

Yhteistyöprojekti on alkanut tammikuussa 2014 ja he ovat onnistuneet Metrics-Gearin avulla lähettämään eri alustoilla hälytyksiä asianomaisille henkilöstöille. Kehitysryhmä oli demonstroinut syyskuussa 2014 järjestelmän mahdollisuutta lähettää hätätilahälytys samanaikaisesti älykelloon, Googlelaseihin, Recon Jet älylaseihin ja älypuhelimeen. (Motion Metrics, 2014)

4. Yhteenveto

Nykypäivän yhteiskunta on mineraaleista riippuvainen. Tarvitsemme paljon materiaaleja, tuotteita ja rakenteita, jotka ovat riippuvaisia erilaisista mineraaleista joko suoraan tai välillisesti. Samalla mineraalisten raaka-aineiden tarve on monipuolistunut, kun uudet teknologiat tarvitsevat hightech – metalleja (litium, indium, gallium, germanium, niobi, tantaali, titaani ja harvinaiset maametallit).

Tulevaisuudessa kaivostoiminta tulee siirtymään maanalaiseen toimintaan, jossa joudutaan hyödyntämään matalamman pitoisuuden ja vaikeammin rikastettavia esiintymiä. Samalla vaaditaan tuottavuuden kasvua kaivoksilta. Tämä ei onnistu enää nykytekniikoilla esimerkiksi kasvattamalla dumpereiden kokoa tai kaivosalueiden kokoa. Tulevaisuuden kaivokset joutuvat automatisoimaan tuotantoaan kokonaisvaltaisesti ja ottamaan uutta teknologiaa käyttöön, jotta tuottavuus kasvaisi.

Automaatio ja mittaustekniikan tarpeet kaivoksissa selvitystyön aikana tuli vastaan erilaisia näkemyksiä ja strategioita tulevaisuuden kaivostoimintaan. Mine of the Future oli tutkimustyö, jossa yritykset ja yliopistot kehittivät näkemystä tulevaisuuden kaivoksesta. Työ rajattiin 1500–2000 m syvyydellä oleviin kaivosten tuotantojärjestelmiin. Näkemyksen mukaan tulevaisuudessa käytössä olisi vain yksi valvomo, johon tulee jalostettua tietoa kivistä, työntekijöistä ja koneista. Toisena kohtana näkemyksessä oli, että tuotannossa ei ole lainkaan ihmisiä, vaan kaikki työvaiheet ovat kauko-ohjattavia ja automatisoituja. Kolmantena esitettiin jatkuva-aikainen kovan kiven mekaaninen louhinta eli kaivos olisi jatkuva-aikainen prosessi. Muut kohdat olivat esirikastus maanalla, malmin ja malmion pitoisuuksien määrittely sekä lopputuotteen kehittäminen.

Strategisessa kaivostoiminnan tutkimus- ja innovaatio-ohjelmassa (STRIM) esiteltiin seitsemän kohtaa. Tässä julkaisussa keskityttiin niistä kahteen ensimmäiseen kohtaan eli syvälle ulottuvaan innovatiiviseen malminetsintään ja kaivostoimintaan. Syvälle ulottuvan innovatiivisen malminetsinnan tutkimuksen visiona on kehittää porausteknologiaa, parantaa geofysikaalisten menetelmien syvyystunkeutumista sekä kohdistumista perustuen 3D tietokantaan ja käsitykseen malmin muodostusmenetelmistä.

Kaivostoiminnan visiona on parantaa kaivosyritysten kilpailukykyä tehokkailla ja kilpailukykyisillä louhintaprosesseilla, laiteilla ja menetelmillä niin maanalaisissa kuin avolouhoskaivoksissa. Tavoitteiksi on asetettu nolla onnettomuutta, ei ihmisiä tuotantotiloissa, 30 % suuremmat energiasäästöt, 30 % vähentyneet CO₂ päästöt ja 30 % pienemmät malmihäviöt. Tavoitteet voidaan saavuttaa mm. seuraavilla toimenpiteillä: louhintamenetelmien ja –prosessien parantamisella, jatkuva-aikaisten prosessien lisäämisellä, täysin etäohjatuilla kaivosoperaatioilla ja energiatehokkaammalla louhinnalla.

Suomen mineraalistrategian tavoitteena pitkällä aikavälillä on elinvoimainen mineraaliala, joka turvaa Suomen raaka-ainehuoltoa, tukee alueiden elinvoimaisuutta, edistää luonnonvarojen vastuullista käyttöä ja on globaalisti kilpailukykyinen. Strategia on jaettu kolmeen tavoitteeseen ja 12 toimenpide-ehdotukseen neljällä aihealueella. Strategiset tavoitteet ovat: kotimaisen kasvun ja hyvinvoinnin edistäminen, ratkaisuja globaaleihin mineraaliketjun haasteisiin ja ympäristöhaittojen vähentäminen.

Seuraavan sukupolven kaivoksista puhuttaessa kaivosyhtiöistä Rio Tinto käyttää termiä Mine of the Future ja BHP Billiton termiä Next Generation Mining. Molemmilla yhtiöillä on hyvin samansuuntaisia ajatuksia ja näkemyksiä tulevaisuuden kaivostoiminnasta. Kummatkin ovat ottaneet käyttöön mm. itseohjautuvat miehittämättömät dumpperit ja etäohjattavat autonomiset panostusreikien poraukset. Lisäksi on otettu käyttöön etävalvomokeskuksia, joihin tulee tietoa keskitetysti eri kaivoksista ympäri maailman ja jossa asiantuntijat ratkovat ongelmia yhdessä kaivoksessa paikalla olevan henkilöstön kanssa. BHP Billiton on viime ajat keskittynyt yhdenmukaistamaan tuotantoprosessit kunnossapidon prosessien kanssa ja standardoimaan tekeminen eli mitä ja miten asiat tehdään. Heidän mukaan tuotantoprosessien vaihtelut täytyy poistaa, ennen kuin voidaan ottaa käyttöön autonomisia toimintoja laajassa mittakaavassa. ABB käyttää tulevaisuuden kaivostoiminnasta termiä Next Level Mining. Heidän mukaan automaatio ja informaatio integrointi yhteen järjestelmään ja informaation käyttö reaaliaikaisesti prosessien ohjauksessa on vastaus tulevaisuuden kaivostoiminnan haasteisiin. ABB:n mukaan etäoperointi, ihmisten siirtäminen pois tuotantotiloista ja robottiautomaation käyttö rutiinitehtävissä on yksi visio tulevaisuuden kaivostoiminnassa.

Tehtäessä automaatio ja mittaustekniikan tarpeet kaivoksissa selvitystä, löydettiin louhinnan ja murskausprosessien välille teknisiä ratkaisuja, jotka jo nyt tukevat tulevaisuuden kaivostoimintaa. Tässä julkaisussa löytyneet ratkaisut edustavat hyvin pientä joukkoa maailmalta löytyvistä ratkaisuista.

Tunnelin tekeminen kallioperään perinteisesti poraamalla ja räjäyttämällä on hidasta ja voi tehdä kallioperästä epävakaan. Tästä johtuen on kehitetty jatkuva-aikaisia itsenäisiä tunnelinlouhintalaitteita. Käyttämällä jatkuva-aikaista tunnelinlouhintalaitteistoa malmioon tehtävään tunneliin, voidaan säästää jopa vuosi verrattuna poraus ja räjäytys menetelmään. BHP Billitonin on käyttänyt erään laitevalmistajan kehittämää pystysuoraa kuilunlouhintalaitteistoa, jolla on louhittu halkaisijaltaan noin 6,5 m ja syvyydeltään noin 1000 m tuotanto- ja huoltokuilu.

Malmipitoisuuden määrittämiseen panostusreiästä on kehitetty järjestelmä, joka kerää näytteitä ja analysoi malmipitoisuuksia porauksen aikana. Järjestelmän tuottaman reaaliaikaisen tiedon avulla voidaan tehdä tarkkoja lohkomalleja räjäytyskentästä ja käyttää pientä lohkokokoa estämään malmin ja sivukiven sekoittuminen. Avolouhoksille on kehitetty järjestelmä, jonka avulla tunnistetaan malmin siirtyminen räjäytyksessä. Räjäytyskentälle asetetaan porausreikiin antureita malmin lähelle. Räjäytyksen jälkeen anturit paikannetaan vastaanottimella ja tietojen avulla voidaan luoda 3D-sijaintimalli malmista, jolloin sivukivi voidaan erotella tarkasti malmista.

Malmin tunnistamiseen ja lajitteluun materiaalivirrasta on kehitetty laitteistoja, jotka tunnistavat sivukiven malmin seasta ja erottavat sen paineilman avulla. Tulevaisuuden kaivoksessa järjestelmä voidaan asentaa maanalle, jolloin materiaalin kuljetustarve kaivoksen ja rikastamon välillä vähenee

ja jätteen määrä vähenee rikastamalla. Laitteistoja voidaan käyttää seuraavien raaka-aineiden tunnistamiseen ja lajitteluun: teollisuusmineraalit, jalokivet, rautapitoiset ja raudattomat metallit, hiili ja kuona.

Kuljetuspuolella on kehitetty miehittämättömiä itseohjautuvia dumppereita. Ne liikkuvat itsenäisesti GPS-paikannuksen ja esteiden havaitsemisjärjestelmän avulla paikasta toiseen. Ajoneuvoja on käytössä monissa kaivoksissa ja käytön aikana on selvinnyt, että ne lisäävät turvallisuutta, tuottavuutta ja pienentävät dumppereiden kunnossapitokustannuksia sekä polttoaineen kulutusta ja renkaiden kulumista. Vaihtoehtona dumppereille on korvata ne kokonaan kuljettimilla. Kaivosalan yhtiö Vale on rakentamassa Brasiliassa sijaitsevalle kaivokselle rautamalmin käsittelyjärjestelmää, jossa materiaali siirretään kuljettimilla louhokselta rikastamolle. Kuljettimia tarvitaan kaikkiaan 37 kilometriä.

Maanalaisen kaivoksen lastaus ja kuljetuspuolelle on kehitetty automaatiojärjestelmä, jossa ajoneuvot liikkuvat itsenäisesti Lastauksen automaatiojärjestelmässä tuotannon lastaus sykli on puoliautomatoitu. Kauhankynnen suorittaa operaattori valvomosta käsin etäohjauksen avulla. Kuorma-autojen automaatiojärjestelmässä koko kuljetus sykli on täysin automatoitu, jossa navigointijärjestelmä ohjaa kuorma-autoja lastaukseen, kippaukseen ja siirtymisen paikkojen välillä. Ajotoiminto ja tyhjennys hoidetaan automaattisesti navigointijärjestelmän avulla.

Lastaajassa olevan kauhankynnen irtoaminen ja joutuminen murskaimeen voi hajottaa murskan. Kynnenvalvontaan on kehitetty järjestelmä, joka valvoo reaaliaikaisesti kynsiä kameroiden avulla. Kynnen puuttumisesta ilmoitetaan koneenkäyttäjälle heti, jolloin siihen voidaan reagoida ja poistaa kynsi kuormasta ja estää mahdolliset vahingot.

Liian suuret lohkarit hajotetaan ennen murskalle laittamista. Australiassa on kehitelty järjestelmää, jossa etäohjauskeskuksesta hallittaisiin lohkarin rikottajia murskan läheisyydessä. Perinteisessä tavassa operaattori on paikanpäällä ja ohjaa yhtä särkijää kerralla. Etäohjauksessa valvoja voi ohjata useampia särkijää kerralla turvallisemmasta ja puhtaammasta työympäristöstä käsin.

Kaivokset ovat ottaneet käyttöön etäohjauskeskuksia, jotka ohjaavat ja valvovat kaivosten toimintoja ympäri maailman. Rio Tintolla on Perthissä sijaitseva arvokkaiden laitteiden etäohjauskeskus, joka on tarkoitettu optimoimaan laitteiden elinkaaret. Rio Tinto on varustanut raskaan kaluston laitteita järjestelmällä, jolla on saavutettu parannusta laitteiden saatavuudessa, kunnossapitosuunnittelu on parantunut ja elinkaari on pidentynyt. Toinen keskus on Brisbanessa sijaitseva prosessin valvontaa tarkoitettu osaamiskeskus (PEC). Siellä tarkkaillaan reaaliajassa seitsemää kaivosta ympäri maailman ja parannetaan niiden tuottavuutta ja suorituskykyä. Keskuksessa dataa analysoidaan ja monitoroidaan reaaliajassa ja parannetaan prosessien toimintoja yhteistyössä paikanpäällä olevien työntekijöiden kanssa.

Puettavan teknologian odotetaan siirtyvän teollisuuteen vähitellen kuluttajamarkkinoilla olevan kiinnostuksen avustamana. Puettavan teknologian yritys ja kaivoksiin valvontateknologioita tekevä yritys ovat yhteistyössä kehittelemässä järjestelmää, jossa hälytyksiä ja varoituksia lähetettäisiin älykelloon. Älykellon tulevan hälytyksen avulla voidaan ilmoittaa kriittisistä tapahtumista kuten kaivinkoneen kadonneesta kauhankynnestä. Hälytyksen avulla asianomaiset henkilöt voivat reagoida tilanteeseen ja estää esimerkiksi murskaimen rikkoontumisen kauhankynnestä johtuen.

Lähteet

- ABB. (2015). *ABB lyhyesti*. Haettu 16. 9 2015 osoitteesta <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- ABB company. (2012). Intelligent Mining Solutions With ABB and Ventyx. Haettu 23. 6 2015 osoitteesta <http://new.abb.com/docs/librariesprovider78/chile-documentos/jornadas-tecnicas-2013---presentaciones/1-y-7-rodrigo-andai---the-ventyx-intelligent-mining-solution-unearthing.pdf?sfvrsn=2>
- Aker Solutions. (2013). Wirth Mobile Tunnel Miner; Revolution in underground mining. Haettu 30. 8 2015 osoitteesta http://akersolutions.com/Documents/Drilling%20Technologies/Wirth%20products/Mobile_Tunnel_Miner_en.pdf
- BHP Billiton. (2014). Jansen Project Information Sheet. Haettu 13. 10 2015 osoitteesta The Jansen project info, www.midsaskmunicipalalliance.ca/JansenProjectInfo.pdf
- Björkman, B.;Bäckblom, G.;Greberg, J.;Weiher, P.;Abrahamsson, L.;Andersson, E.;& Fältholm, Y. (2013). *Strategic Research and Innovation Agenda for the Swedish Mining and Metal producing industry (STRIM)*. Haettu 25. 5 2015 osoitteesta <http://www.sipstrim.se/wp-content/uploads/2014/06/Agenda-STRIM-LTU-Vinnova.pdf>
- BMT. (2015). *Blast Movement Technologies*. Haettu 17. 2 2015 osoitteesta The Technology: <http://www.bmt.com.au>
- Bäckblom, G.;Forsberg, E.;Haugen, S.;Johansson, J.;Naarttijärvi, T.;& Öhlander, B. (2010). *MIFU - Smart Mine of the Future Conceptual study 2009-2010*. Gällivare: Nordic Rock Tech Centre. Haettu 2. 9 2015 osoitteesta http://rocktechcentre.se/wp-content/uploads/2013/04/MIFU_final_report_WP7_101112_low.pdf
- Comex. (2015). *Comex Innovative Industrial Technologies*. Haettu 31. 5 2015 osoitteesta <http://www.comex-group.com/Comex/>
- Fisher, B. S.;& Schnittger, S. (2012). *Autonomous and Remote Operation Technologies in the Mining Industry-Benefits and Costs*. BAEconomics Pty Ltd. Haettu 12. 5 2015 osoitteesta <http://www.baeconomics.com.au/wp-content/uploads/2010/01/Mining-innovation-5Feb12.pdf>
- Gallestey, E.;Westerlund, P.;Lima, E.;Rietschel, F.;Andai, R.;& Colbert, C. (2015). *ABB: Next Level mining; Securing the future through integrated operations & information technologies*. ABB. Haettu 20. 8 2015 osoitteesta https://library.e.abb.com/public/5d588609dd1842de95c7f7312dbd24fe/Next_Level_Mining_White_%20paper.pdf
- GTK. (2010). *Suomen mineraalistrategia*. Geologian tutkimuskeskus. Haettu 23. 9 2015 osoitteesta [https://www.tem.fi/files/42903/Suomen_mineraalistrategia_\(2010\).pdf](https://www.tem.fi/files/42903/Suomen_mineraalistrategia_(2010).pdf)
- Herrenknecht. (2015). *Shaft Boring Roadheader (SBR)*. Haettu 7. 4 2015 osoitteesta <https://www.herrenknecht.com/en/products/core-products/mining/shaft-boring-roadheader-sbr.html>

- I2Mine. (2015). Press release Towards the Green Mine: I2Mine Project results at AIMS 2015. Haettu 29. 6 2015 osoitteesta http://www.i2mine.eu/sites/default/files/file_store/I2Mine%20Press%20Release_AIMS%202015.pdf
- I2Mine-project. (2013). *I2Mine -Innovative Technologies and Concepts for the Intelligent Deep Mine of the Future*. Haettu 13. 8 2015 osoitteesta Project Information: http://www.i2mine.eu/content/open_access/introduction
- Ima engineering. (2015). *Blasthole Sampler-Analyzer - a new tool for grade control*. Haettu 16. 3 2015 osoitteesta <http://www.ima.fi/products-amp-services/products/orealyzer-blasthole-sampler-analyzer>
- Kelleher, L. (22. 4 2015). *Next Generation Mining: Change Management and Technology at BHP Billiton* Gavin Yeates, Vice President Mine Optimisation, BHP Billiton. Haettu 25. 6 2015 osoitteesta <http://www.miningiq.com/mining/articles/next-generation-mining-change-management-and-techn/>
- Kestävän kaivostoiminnan verkosto. (2014). *Kaivostoiminnan yhteiskuntavastuu 2014; Suomessa toimivien kaivosten ja malminetsijöiden yhteiskuntavastuuraportti*. Haettu 23. 10 2015 osoitteesta https://www.sitra.fi/julkaisut/muut/Kaivostoiminnan_yhteiskuntavastuu_2014.pdf
- Komatsu. (2015). *Autonomous Haulage System*. Haettu 2. 9 2015 osoitteesta <http://www.komatsuamerica.com/innovation/autonomous-navigation>
- Mine On-Line Service. (2015). *Blast hole Sampler-Analyzer*. Haettu 16. 3 2015 osoitteesta <http://www.mols.fi/products/blast-hole-sampler-analyzer>
- Mining-technology.com. (3. 4 2013). *Vale to use conveyor belt technology at Brazilian iron ore mine*. Haettu 26. 8 2015 osoitteesta <http://www.mining-technology.com/news/newsvale-to-use-conveyor-belt-technology-in-brazilian-iron-ore-mine>
- Modular. (2015). *Autonomous Haulage*. Haettu 2. 9 2015 osoitteesta <http://www.modularmining.com/solution/autonomous-haulage/>
- Motion Metrics. (9. 9 2014). *MetricsGear Featured in International*. Haettu 18. 8 2015 osoitteesta <http://www.motionmetrics.com/press/metricsgear-featured-in-international-mining-magazine-and-techcrunch>
- Motion Metrics. (2015). *Motion Metrics International*. Haettu 8. 9 2015 osoitteesta <http://www.motionmetrics.com>
- Ottaviano, T. (19. 3 2013). BHP Billiton Iron Ore; Leveraging our strengths to deliver value. Haettu 25. 6 2015 osoitteesta <http://www.bhpbilliton.com/~media/bhp/documents/investors/reports/2013/20130319-tony-ajm-march-2013.pdf>
- Reuters. (2015). *Profile:BHP Billiton Ltd (BHP)*. Haettu 26. 8 2015 osoitteesta <http://www.reuters.com/finance/stocks/companyProfile?symbol=BHP>
- Rio Tinto. (13. 3 2014). *Rio Tinto unveils latest Mine of the Future innovation*. Haettu 24. 3 2015 osoitteesta http://www.riotinto.com/media/media-releases-237_10054.aspx#
- Rio Tinto. (2015). *About Rio Tinto*. Haettu 30. 3 2015 osoitteesta <http://www.riotinto.com/aboutus/about-rio-tinto-5004.aspx>
- Rio Tinto. (2015). *Mine of the Future™*. Haettu 30. 3 2015 osoitteesta <http://www.riotinto.com/ironore/mine-of-the-future-9603.aspx>
- Rio Tinto plc and Rio Tinto Limited. (2015). *Next-generation mining: People and technology working together*. Haettu 7. 5 2015 osoitteesta http://www.riotinto.com/documents/Mine_of_The_Future_Brochure.pdf
- Sandvik. (2015). *Mine automation systems*. (Sandvik) Haettu 1. 10 2015 osoitteesta <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/1181/Internet/FI02071.nsf/LUSL/SLFrameForm131716BAD03F021DAC225786100653418?OpenDocument>

- Skawina, B.; Greberg, J.; Salama, A.; & Schunnesson, H. (2013). Mechanical Excavation and Drilling and Blasting – A Comparison Using Discrete Event Simulation. *Mine Planning and Equipment Selection Proceedings of the 22nd MPES Conference* (ss. 367-377). Dresden: Springer.
- Suomen mineraalistrategia. (2015). *Suomen mineraalistrategia on valmistaunut*. Haettu 14. 9 2015 osoitteesta <http://projects.gtk.fi/mineraalistrategia/index.html>
- Tomra. (2015). *Mining*. Haettu 14. 4 2015 osoitteesta <https://www.tomra.com/en/solutions-and-products/sorting-solutions/mining/>
- Vale. (8. 7 2015). *S11D Truckless System Assembly Begins in Carajas*. Haettu 26. 8 2015 osoitteesta <http://www.vale.com/brasil/en/aboutvale/news/pages/comeca-montagem-sistema-truckless-s11d.aspx>

Tässä julkaisussa esitetään muutamien kaivosalan yritysten, tutkimusorganisaatioiden ja kansallisten strategioiden näkemyksiä ja visioita tulevaisuuden kaivostoiminnasta. Lisäksi kuvataan joitakin kaivostoimintaan liittyviä teknisiä ratkaisuja, joita jo käytetään tai jotka ovat mahdollisesti tulossa käyttöön ja siten mahdollistavat tulevaisuuden kaivostoiminnan visiot. Tekniset ratkaisut liittyvät pääasiassa kaivostoiminnan prosesseihin louhinnasta murskaukseen. Julkaisun tavoitteena on antaa tukea ja herättää ajatuksia kaivosalan asiantuntijoissa, kun he pohtivat tulevaisuuden kaivostoimintaa.

Julkaisu liittyy Lapin ammattikorkeakoulussa Optisen mittaustekniikan laboratorion toteuttamaan selvityshankkeeseen Automaatio ja mittaustekniikan tarpeet kaivoksissa louhinnasta primäärimurskaukseen. Hankkeessa selvitetään tulevaisuuden kaivosalan automaatio- ja mittaustekniikan tarpeita sekä laaditaan suunnitelma tarpeita vastaavien ratkaisujen kehittämiseen yhdessä yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa. Hanke toteutetaan 2015–2016 välisenä aikana ja sitä rahoitetaan EU:n aluekehitysrahastosta Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelmasta Lapin liiton toimesta.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



LAPIN LIITTO

LAPIN AMK⁷
Lapland University of Applied Sciences

www.lapinamk.fi

ISBN 978-952-316-109-2