



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ari-Jussi Hakala

Kaivoksen elinkaarisuunnittelu

Opinnäytetyö

Syksy 2023

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Ari-Jussi Hakala

Työn nimi: Kaivoksen elinkaarisuunnittelu

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 41

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia työkaluna myynnissä ja markkinoinnissa kaivosalan yrityksille. Opinnäytetyö itsessään ei ole mainos, vaan tarkoitus on tuoda kokonaiskuvaa kaivosalasta, sekä tuoda esille kohteita infrasuunnittelun näkökulmasta.

Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa käydään läpi kaivoksen elinkaari malmin etsinnästä kaivoksen lopetukseen ja vasta toisessa osassa alkaa myyntiin liittyvät osuudet.

Myytävänä tuotteena on kaivosympäristöön liittyvät maarakennussuunnittelut sekä muut aluesuunnitelmat, joita on opinnäytetyössä avattu tarkemmin. Opinnäytteeseen liittyy myös 3D-demokaivos, josta on tehty opinnäytetyötä varten kuvia, sekä opinnäytetyöstä löytyy linkki verkkoselaimella avattavaan Trimble Connect 3D-katseluympäristöön.

¹ Asiasanat: kaivokset, elinkaari, 3D-mallinnus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Ari-Jussi Hakala

Title of thesis: Life cycle planning of a mine

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2023

Number of pages: 41

Number of appendices: 0

The purpose of the thesis was to serve as a tool for sales and marketing for companies in the mining industry. The thesis itself is not an advertisement. Rather the intention was to provide an overview of the mining sector and to highlight areas from the perspective of infrastructure planning.

The first part of the thesis covers the entire life cycle of a mine, from ore exploration to the closure of the mine and in the second part of the thesis, sales implement begins. The product offered includes construction plans related to the mining environment and other site planning, which are elaborated on in the thesis. The thesis also includes a 3D-demomine, of which images have been created for the thesis, and at the end, there is a link to Trimble Connect 3D-viewing environment that can be accessed through a web browser.

¹ Keywords: Mines (quarries), product life cycle, three-dimensional imaging

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja kuvioluettelo	5
1 JOHDANTO	6
2 KAIVOSTEOLLISUUS SUOMESSA	7
2.1 Kaivosteollisuuden tulevaisuus.....	7
2.2 Malmin etsintä ja luvitus	8
2.2.1 Malmin etsintä Suomessa	8
2.2.2 Kaivoslupa ja kaivosturvallisuuslupa	9
2.3 Kaivosalue.....	11
2.4 Kaivosprosessit	12
2.4.1 Pintamaan poisto	12
2.4.2 Louhinta	12
2.4.3 Hienonnus.....	16
2.4.4 Rikastus	18
2.4.5 Kuljetus	21
2.4.6 Varastointi.....	28
2.5 Kaivostoiminnan päättyminen.....	30
3 INFRASUUNNITTELU KAIVOKSEN ELINKAAREN AIKANA	32
3.1 Yleissuunnittelu	32
3.2 Suunnitteluvaihe ja käyttöönotto.....	34
3.3 Kaivostoiminnan aikainen suunnittelu	35
3.4 Kaivoksen sulkeminen.....	36
4 DEMOKAIVOS	38
5 YHTEENVETO.....	40
LÄHTEET	41

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Kaivosalue.....	11
Kuva 2. Vuoristossa oleva avolouhos.....	13
Kuva 3. Käytöstä poistettu maaanalainen louhos.....	14
Kuva 4. Esimurskauksen jälkeinen hienonnus linjasto.....	17
Kuva 5. Rikastuskenttä Brasiliassa.....	18
Kuva 6. Perinteisen kuorma-autokuljetuksen kalustoa.....	22
Kuva 7. Hihnakuuljetin malmin kuljettamiseen.....	24
Kuva 8. Kaivannaisjätteiden loppusijoituspaikka.....	29
Kuva 9. Suljettu avolouhos täyttynyt vedellä.....	31
Kuvio 1. Asemakuva demokaivoksen aluevarauksista	33
Kuvio 2. 3D-kuva demokaivoksen aluevarauksista.....	33
Kuvio 3. 3D-demokaivoksen mallinnetut toiminnot ja alueet.....	35
Kuvio 4. Esimerkki kaivoksen sulkemiseen liittyvistä toimenpiteistä.....	37

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön päätavoite on toimia Infrasuunnittelu Oy:n työkaluna kaivostoimioille suunnatussa myynnissä ja markkinoinnissa. Opinnäytetyön tavoitteisiin kuuluu tiedon kerääminen kaivoksien elinkaaren jokaisesta vaiheesta ja yhdistää tiedot helposti luettavaan muotoon. Tämä kerätty tieto auttaa ymmärtämään kaivoksen vaiheita ja toimintoja. Opinnäytetyössä ei ole tarkoitus käydä läpi yksittäisiä toimintoja syvällisesti, vaan kertoa pääpiirteittäin toimintojen tarkoitus ja syyt. Opinnäytetyössä käydään myös läpi itse myytävän tuotteen, eli Infrasuunnittelu Oy:n tarjoamat suunnittelut ja konsultoinnit.

2 KAIVOSTEOLLISUUS SUOMESSA

2.1 Kaivosteollisuuden tulevaisuus

Kaivosteollisuuden päästöistä puhutaan paljon, mutta todellisuus on se, että kestävä kehitys vaatii kaivosteollisuuden kasvua (Vasara, 2021, s. 16). Kaivosteollisuuden mineraalituotteiden jatkojalosteita käytetään lähes kaikessa, esimerkiksi autoissa, elektroniikassa, rakentamisessa ja koneissa. Suomessa louhitusta malmista on tähän asti löydetty hopeaa, kobolttia, kromia, kultaa, kuparia, lyijyä, molybdeeniä, nikkeliä, rautaa, sinkkiä, titaania, vanadiinia ja volframia sekä harvinaisia maametalleja. Kansainvälisen talouden kehittyminen, eli elintason nousu, energiamurros, globaali väestönkasvu ja kaupungistuminen ovat vaikuttaneet metallien ja mineraalien kysynnän lisääntymiseen.

Metalleja voidaan kierrättää lähes rajattomasti ja niiden uudelleen hyödyntäminen vähentää syntyvää jätettä sekä säästää energiaa ja luontoa (Vasara, 2021, s. 11). Kuitenkaan kierrätettävissä oleva määrä ei kata energiamurroksen ja teknologiakehityksen luomaa kysyntää pitkällä aikavälillä. Tämänpäiväinen yhteiskunta ei siis toimisi ilman kaivannaislähtöisiä materiaaleja, mikä on pitänyt kaivosteollisuuden näkymät myönteisinä, niin Suomessa kuin globaalisti.

Suomalaiset yritykset johtavat maailmalla kaivoksiin liittyvän teknologian toimittajina (Vasara, 2021, s. 11). Kansainvälisenä kilpailuvaltina suurella nopeudella nousevat korkealaatuinen teknologia ja resurssien viisas käyttö. Raaka-aineiden säästämisestä tulee arkea niin kiertotaloudessa, energiatehokkuudessa kuin yritysten yhteistoiminnassa. Teollisuuden sivuvirrat halutaan hyötykäyttää uutena elinkeinotoimintana, jolloin voidaan leikata kuluja heikentämättä prosessia tai tuotetta.

Harvinaisista maametalleista käydään suurta kilpailua, koska niitä käytetään esimerkiksi sähköautojen, aurinkopaneelien, monien sairaalalaitteiden sekä muun modernin elektroniikan tekemiseen (Kaivosteollisuus, 2022). Maametalleista 90 prosenttia tuotetaan tällä hetkellä Kiinassa, joka on vähentänyt niiden vientiä jalostaakseen ne itse. Samaan aikaan Yhdysvalloissa ja EU:ssa kasvaa huoli kriittisten raaka-aineiden saatavuudesta. EU-maiden teollisuudelle tärkeistä kriittisistä raaka-aineista suuri osa on nimenomaan harvinaisia

maametalleja. Suomesta on havaittu lukuisia esiintymiä, joissa on huomattava määrä 12 erilaista kriittistä raaka-ainetta. Koboltin, fosfaattikiven ja platinaryhmän metallien tuottaminen on Suomessa jo aloitettu.

2.2 Malmin etsintä ja luvitus

2.2.1 Malmin etsintä Suomessa

Tämänhetkinen kaivostuotanto vastaa teollisuuden ja loppukäyttäjien kysyntää, mutta pitkällä aikavälillä malminetsintä on ainoa tapa turvata raaka-aineiden saanti (Vasara, 2021, s. 64). Poiketen muuhun tutkimus- ja kehittämistoimintaan (T&K-toiminta), malmin etsintä kohdistuu paikkaan eikä teknologiaan.

Kaivostoiminta yhdessä paikassa saattaa kestää vuosikymmeniä ja pisimmillään jopa vuosisatoja, muttei kuitenkaan loputtomasti (Vasara, 2021, s. 64). Kaivostoiminnan tuotteista suuri osa on helposti kierrätettävää ja esimerkiksi kupari ja kulta voidaan uudelleen käyttää lähes loputtomasti heikentämättä niiden arvoa, mutta kierrätyksen kautta tuotetut metallit eivät kuitenkaan vastaa kasvavien talouksien kysyntää.

Jatkuvuus pitkällä aikavälillä vaatii uusien mineraaliesiintymien löytämistä kokonaan uusista paikoista (Vasara, 2021, s. 64). Malminetsintä on luonnontieteellis-teknis-taloudellinen arviointiprosessi, joka kestää usein jopa vuosikymmeniä ja siihen vaikuttaa luonnonvarojen lisäksi myös taloudelliset, ympäristölliset sekä monet yhteiskunnalliset tekijät. Malminetsinnästä syntyvää maaperän tietoa voidaan hyödyntää myös maankäytön suunnittelussa ja ympäristön hoidossa.

Suomessa malminetsintää suorittavat kaivosyhtiöt sekä junioriyhtiöt, mutta kaivostoiminnan ollessa liiketoiminnallisesti ja osaamisen kannalta erilaista kuin malminetsintä, uusien esiintymien etsiminen vähän tutkituilla alueilla tai etsinnän keskittäminen tunnettujen esiintymien lähialueille on strategisesti suotuisampaa junioriyhtiöille (Vasara, 2021, s. 64).

Malminetsinnän kustannukset ovat kansainvälisesti kaksinkertaistuneet viimeisen kymmenen vuoden aikana (Vasara, 2021, s. 65). Kustannuksia on nostanut työvoiman

kustannusten kasvaminen, sekä etsinnässä käytetyn teknologian kehittyminen. Syväalmien etsinnässä mittalaitteilta vaaditaan parempaa syvyyksulottuvuutta, mikä on tukenut teknologian tutkimus- ja kehitystyötä. Kehitystä on ollut varsinkin seismisissä mittauksissa, tekoälyssä ja mittausrobottien automaatiassa.

Globaali väestönkasvu, elintason nousu ja kaupungistuminen kasvattavat kaivosteollisuuden tuotteiden kysyntää, joka lisää painetta löytää uusia malmiesiintymiä (Kaivosteollisuus, 2022). Malmilöydöksen muuttuminen kaivokseksi on kuitenkin hidas prosessi ja siksi kaivosyhtiöiden on haastavaa vastata kaivosmineraalien nopeaan kysynnän kasvuun. Geologian tutkimuskeskus GTK:n arvion mukaan Suomen uusista kaivoksista suuri osa perustuu löytöihin, jotka on tehty peräti 20 vuotta aikaisemmin. Suomen kallioperässä on suuri malmipotentiali ja sitä tulisi käyttää mineraalien ja metallien yhä kasvavaan kysyntään.

Malminetsinnässä oli Suomessa vuonna 2021 mukana 50 yhtiötä ja niiden yhteenlaskettu investointi oli noin 68,5 miljoonaa euroa, joka oli samalla tasolla kuin edellisenä vuotena (Kaivosteollisuus, 2022). Malminetsinnässä mukana olevien yhtiöiden määrä on pysynyt samana jo noin kymmenen vuotta. Suomesta ei ole löydetty suurista investoinneista huolimatta kymmenen vuoden aikana kuin kaksi merkittävää löytöä.

Malminetsintää harjoitetaan aktiivisimmin Keski-Lapin alueella, mutta aktiivista etsintää kuitenkin harjoitetaan lähes koko Lapin alueella (Kaivosteollisuus, 2022). Malminetsintää harjoitetaan joissain määrin etelämmässäkin, joista laajin etsintä on sijoittunut Outokummun seudulle Joensuun luoteispuolelle.

2.2.2 Kaivoslupa ja kaivosturvallisuuslupa

Kaivoksen perustaminen ja kaivostoiminnan aloittaminen vaatii useita lupia, joista keskeisimmät ovat Tukesin myöntämät kaivoslupa ja kaivosturvallisuuslupa sekä ympäristöviranomaisen myöntämä ympäristölupa (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), i.a.). Kaivosluvan hakija on yleensä Suomeen rekisteröity toimialanaan kaivostoimintaa harjoittava yritys. Lupaa voi myös hakea luonnollinen henkilö. Kaivosluvan myötä luvan haltijalla on oikeus tehdä malminetsintää kaivosalueella sekä hyödyntää kaivosalueella tavatut

kaivosmineraalit, sivukivi, rikastushiekka ja muu kallio- ja maaperään kuuluvat aineet niiltä osin kuin kaivostoiminta kaivosalueella niiden käyttöä edellyttää.

Kaivoslupa voidaan myöntää toistaiseksi voimassa olevaksi tai määräajaksi. Tukes myöntää luvan yleensä toistaiseksi voimassa olevana (Tukes, i.a.). Kaivoslupa myöntää hakijalle kaivosalueen sekä tapauskohtaisesti tarvittaessa apualueen. Kaivosalueen rajat luetaan syvyys-suuntaan.

Kaivosoikeudenhaltija saa oikeudesta ja sen kaivosrekisteriin merkitsemisestä kaivoskirjan (Tukes, i.a.). Suurin osa Suomen kaivoksista toimivat kaivospiireillä (vanha nimitys ennen vuotta 2011 myönnettyistä kaivosoikeuksista). Vuoden 2011 kaivoslain säädökset koskevat oleellisilta osin myös kaivospiireillä toimivia kaivoksia.

Tukes (i.a.) ohjeistaa Suomessa kaivostoiminnan malmien louhinnan seuraavasti:

- metallimalmit (metallimalmikaivokset)
- teollisuusmineraalit (kalkkikaivokset)
- muut teollisuusmineraalit (talkki-, maasälpä-, kvartsi- ja vuorivillakivikaivokset)
- teollisuuskivet (jalokivi- ja vuolukivikaivokset).

Kaivoslupaa on mahdollista muuttaa joko laajentamalla tai pienentämällä aluetta (Tukes, i.a.). Kaivoslupan määräaikaisuudelle voi hakea jatkoaikaa sekä raukeamisen lykkäystä. Lykkäyksen haku on mahdollista, mikäli toimintaa ei ole aloitettu tai toiminta on ollut keskeytettynä viisi vuotta. Kaivoslupa (kaivosoikeus) voidaan siirtää toiselle yritykselle tai henkilölle. Saajaosapuolen tulee täyttää alkuperäisen luvanhaltijan vastaavat, kaivoslain edellyttämät vaatimukset.

Luvanhaltijan on mahdollista pantata kaivoslupan mukaisten kaivosmineraalien hyödyntämisoikeus (Tukes, i.a.). Panttioikeus astuu voimaan kaivosviranomaisen saadessaan kirjallisen ilmoituksen panttauksesta luvanhaltijan toimesta.

2.3 Kaivosalue

Kaivosalueen suuruus ja muoto määräytyy sen mukaan, että sen turvallisuus, kaivostoiminnan sijoittuminen ja kaivostekniikkaakoskevat vaatimukset täyttyvät ja sen pitää olla yhtenäinen alue, joka ei saa olla suurempi kuin kaivostoiminta välttämättä edellyttää (Tukes, i.a.). Alueita, joista mahdollisesti lisämalmia löytyy, voidaan sisällyttää kaivosalueeseen. Kuvassa 1 näkyy kokonainen kaivosalue.



Kuva 1. Kaivosalue (Ungaro, 2021).

Kaivosalueen vieressä olevia alueita voidaan määrätä kaivoksen apualueeksi, jos alueet ovat teitä, kuljetuslaitteita, voima- tai vesijohtoja, viemäreitä, vesien käsittelyä tai riittävään syvyyteen maan pinnasta louhittavaa kuljetusväylää varten kaivostoiminnan kannalta välttämättömiä (Tukes, i.a.). Kaivos- ja kaivoksen apualueen käyttö rajautuu ainoastaan käyttö- ja muun oikeuden määrittelemään tarkoitukseen. Kaivosalue ja kaivoksen apualueet tulee sijoittaa niin, ettei se aiheutettaisi kohtuudella vältettävissä olevaa yleisen tai yksityisen edun loukkaamista kaivostoiminnan kokonaiskustannukset huomioiden.

2.4 Kaivosprosessit

2.4.1 Pintamaan poisto

Yleisesti kaikissa rakennuskohteissa pintamaiden ja raivausmassojen käsittelyssä noudatetaan suunnitelma-asiakirjojen ohjeita (Rakennustieto, 2023). Pintamaat otetaan talteen suunnitelman mukaisesti ja varastoidaan tai hyödynnetään tarkoitukseen osoitetuilla alueille. Rakentamiseen kelpaamaton maa- ja kiviaines kuljetetaan erikseen osoitettuun paikkaan. Pilaantuneiksi tiedetyt tai työn aikana pilaantuneiksi todetut raivausmassat käsitellään suunnitelmien, kirjallisten ohjeiden ja viranomaisten ohjeiden mukaisesti. Varastoinnissa otetaan huomioon pintavesien virtaus, ja varastoauumat ylläpidetään asianmukaisesti.

Kaivosympäristössä pintamaan poisto tarkoittaa, että kaivoksen alta poistetaan pinta- maata, joka yleensä on tarkoitus hyödyntää maisemointiin kaivoksen jälkihoidossa (Naturanen, 2022, s. 11). Tämä pintamaa voi sisältää malmikiviä tai sulfidipitoisia sivukiviä, jotka saat-tavat olla peräisin esimerkiksi jääkausien vaikutuksesta mineralisaation pinnasta ja voivat aiheuttaa vesistöjen pilaantumista. Tämän päivän näkökulmasta kaivosteollisuus pyrkii hyödyntämään maa-aineksia ja kiviä kiertotalouden periaatteiden mukaisesti, erityisesti vastauksena valtavaan kaivosjätteiden määrään. Kuitenkin näiden materiaalien hyödyntäminen ei ole yksinkertaista ja vaatii esimerkiksi haitallisten kiviaineksen mineraalien huolellista erottelua.

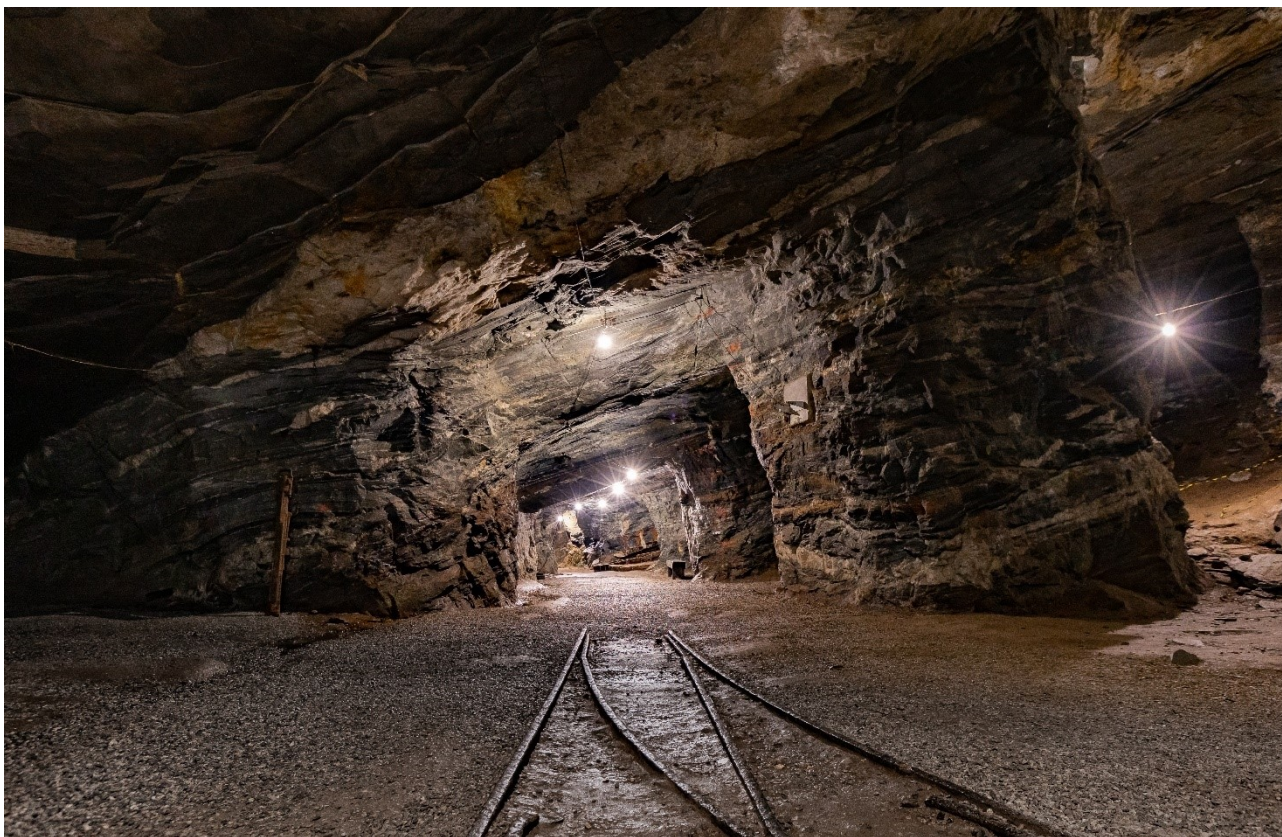
2.4.2 Louhinta

Malmin louhinta voidaan suorittaa joko avolouhoksissa tai maanalaisissa kaivoksissa (EIT RawMaterials, i.a.). Malmiesiintymät louhitaan tyypillisesti 300–400 metrin syvyyteen avolouhoksina, jonka jälkeen siirrytään yleensä maanalaiseen louhintaan. Pohjoismaissa enemmistö louhinnasta suoritetaan maanalaisissa kaivoksissa, kun taas suurin osa maailman kaivoksista on avolouhoksia. Kuvassa 2 on avolouhos, jossa louhintaa tehdään pengerlouhintana. Kuvassa olevan avolouhoksen kokoa voi vertailla louhoksessa olevien koneiden kokoon.



Kuva 2. Vuoristossa oleva avolouhos (Cheţan, 2019).

Maanalainen louhinta on kalliimpaa ja teknisesti vaativampaa kuin avolouhokset, siksi sen kannattavuus edellyttää yleensä runsaampia malmiesiintymiä (EIT RawMaterials, i.a.). Esimerkiksi kaivoksessa, jossa louhinta tapahtuu syvemmissä tasoissa, malmin kuljetusmatka maanpinnalle pitenee, mikä lisää kustannuksia ja energian tarvetta. Suuret syvyydet lisäävät myös kalliojännitystä, mikä vaatii tiukempia kallion vahvistustoimenpiteitä ja kasvattaa näin ollen kustannuksia. Syvissä maanalaisissa kaivoksissa tarvitaan myös tehokkaampaa ilmanvaihtoa, mikä lisää kustannuksia entisestään. Kuva 3 on brasilialaisesta kultakaivoksesta, joka suljettiin 1954 ja avattiin turisteille 1979.



Kuva 3. Käytöstä poistettu maanalainen louhos (I Love Pixel, 2021).

Maanalaisissa kaivoksissa malmiin päästään käyttämällä vinotunneleita tai kuiluja, jotka vievät alas sille tasolle, jossa malmin louhinta tapahtuu (EIT RawMaterials, i.a.). Monissa maanalaisissa kaivoksissa ei ole vinotunneleita, joten työntekijät ja koneet on kuljetettava kuilujen kautta. Louhintatasoilla valmistellaan tuotantoalueita, eli tunneleita, jotka ohjaavat malmin louhintakohteille. Valmistelutunnelit voivat ulottua jopa 200 metrin pituuteen. Tarvittaessa tunnelien seiniä ja kattoa vahvistetaan pulteilla, verkoilla ja ruiskubetonilla.

Louhintamenetelmän valinta tehdään huolellisen harkinnan jälkeen ja ottaen huomioon useita tekijöitä, kuten malmin sijainti, geologiset ominaisuudet, esiintymän geometria, kalliomekaniikka sekä malmin ja sivukiven suhde (EIT RawMaterials, i.a.). Etsintätöiden avulla selvitetään esiintymän muoto, joka vaikuttaa merkittävästi oikean louhintamenetelmän valintaan. Yleensä suuret ja tiiviit esiintymät voidaan louhia kustannustehokkaammin ja tehokkaammin kuin pienet ja epäsäännölliset esiintymät, koska suurempia mittasuhteita mahdollistavat menetelmät, kuten levysorroslouhinta, ovat käytettävissä.

Levysorroslohinnassa louhintatyö aloitetaan poraamalla onkaloja, jotka sitten räjäytetään (EIT RawMaterials, i.a.). Räjäytetty aines luhistuu itsestään, ja malmi kuljetetaan pois alaspäin samalla, kun antaa tilaa ympäröivien sivukivien täyttää muodostuvaa tyhjää tilaa. Kaikki tarvittava infrastruktuuri, kuten tiet, kuilut ja ilmanvaihtojärjestelmät, sijoitetaan kallion sisään lähellä malmin esiintymää.

Pienemmissä ja epäsäännöllisemmissä malmiesiintymissä käytetään muita louhintamenetelmiä, kuten täyttölouhintaa (EIT RawMaterials, i.a.). Suurissa ja tasaisissa malmiesiintymissä voidaan sen sijaan hyödyntää pilarilouhintaa. Riippumatta valitusta menetelmästä, louhinta suoritetaan usein noudattaen tiettyntyyppistä panostussykliä. Levysorros-louhinnassa tällainen sykli voi olla seuraavanlainen:

1. Perän valmistelu: Ensiksi valmistellaan perä, jotta päästään käsiksi kalliossa olevaan malmiin.
2. Sorrosporaus: Suoritetaan sorrosporaus, jossa porataan pitkiä pystysuoria reikiä esiintymän läpi muodostaen viuhkanmuotoisen kuvion.
3. Räjähdysainelataus: Kun poraus on valmis, reikiin ladataan räjähdysainetta.
4. Räjäytys: Tavallisesti yöllä, kun kaivos on tyhjä, suoritetaan räjäytys (ammunta).
5. Ilmanvaihto: Räjäytyskaasut tuuletetaan pois, ja kaivos varmistetaan turvalliseksi ennen jatkamista.
6. Lastaus: Aamulla aloitetaan irronneen malmin lastaus.

Suurissa kaivoksissa, esimerkiksi LKAB:n Kiirunassa ja MalMBERGETissä, malmi poistetaan peristä lastauskoneilla, joilla on suuri kauhakapasiteetti, usein 17–30 tonnia (EIT RawMaterials, i.a.). Malmi pudotetaan sitten jyrkkään kivikuiluun. Kivikuilusta malmi kulkee läpi ja kerätään kalliotaskuihin aivan päätason yläpuolella.

Kalliotaskuista malmi kuljetetaan suurilla trukeilla (MalMBERGET) tai junalla (Kiiruna) ja tyhjennetään suuriin kalliotaskuihin, jotka ovat ylempänä murskainten luona (EIT RawMaterials, i.a.). Murskaimissa malmi hienonnetaan noin 10 sentin kokoisiksi palasiksi ja kuljetetaan sitten pitkillä hihnakuljettimilla malmihisseihin, jotka tunnetaan myös nimellä kipot. Nämä hissit nostavat malmin maanpinnalle, missä malmi lastataan automaattisesti

kippoihin. Kukin kippovaunu voi kuljettaa noin 40 tonnia malmia ja noin nopeudella 17 metriä sekunnissa.

Yksi avolouhoksen edellytyksistä on, että malmiesiintymä ulottuu maan pinnalle tai on peitetty vain ohuilla maa- ja kalliokerroksilla (EIT RawMaterials, i.a.). Useimmissa avolouhoksissa käytetään pengerialouhintaa malmin irrottamiseen. Tämä menetelmä perustuu avolouhoksen porrasmaiseen muotoon, jossa malmi louhitaan peräkkäisinä alaspäin suuntautuvina "pengermiksi".

Avolouhoksen louhintaprosessi koostuu useista vaiheista (EIT RawMaterials, i.a.). Ensimmäkin maan ja kallioiden päällyskerrokset poistetaan paljastaen malmi. Tämän jälkeen malmi louhitaan vaakasuorina levyinä, jotka tunnetaan nimellä pengerialouhinta. Räjätysreiät porataan suunnattuna alaspäin, ja kun malmi on räjäytetty irti, tuotanto etenee vähitellen syvemmälle esiintymään. Räjätetty malmi lastataan kuormaajilla kaivoskuorma-autoihin, jotka tunnetaan myös nimellä dumpperit. Hylkykivi kuljetetaan dumppereilla kivijätövarastoon, kun taas malmi kuljetetaan murskaimelle, joka voi sijaita joko avolouhoksen sisällä tai maanpinnalla. Murskauksen jälkeen malmi siirretään rikastamoon, jossa se käy läpi jauhatuksen, vaahdotuksen ja kuivatuksen.

2.4.3 Hienonnus

Hienonnuksella viitataan prosessiin, joka sisältää murskaamista, jauhamista sekä raekoon jakautumisen ohjausta seulonnan ja luokituksen avulla (Geologian tutkimuskeskus (GTK), i.a., s. 3). Tämä hienonnusprosessi on merkittävä osatekijä monissa valmistusprosesseissa, eikä sitä käytetä pelkästään kaivosteollisuudessa, vaan myös muilla aloilla. Hienonnuksen avulla pyritään saavuttamaan useita tavoitteita, kuten halutun partikkelikoon saavuttaminen, arvokkaan mineraalin erottaminen sivukivestä rikastusprosessin mahdollistamiseksi, pinta-alan kasvattaminen kemiallisia reaktioita varten sekä kuitujen ominaisuuksien muuttaminen massa- ja paperiteollisuuden sovelluksissa. Kuvassa 4 näkyy malmin hienonnuksen käytettävä murskaus- ja jauhatuslinjasto.



Kuva 4. Esimurskauksen jälkeinen hienonnuks linjasto (Fisk, 2019).

Hienonnuksessa kuluu suuria määriä energiaa, koska prosessin itsensä vaatiman energian lisäksi energian kulutusta lisäävät mekaaniset häviöt ja prosessissa syntyvä lämpöenergia (GTK, i.a., s 4). Hienonnuksessa on kolme päätyövaihetta: malmikiven louhinta, sen murskaus ja lopuksi murskeen jauhatus. Hienonnuks suoritetaan yleensä useammassa vaiheessa, koska hienonnukslaitteilla on tietty optimaalinen toiminta-alue ja niillä voidaan saavuttaa vain tietty hienonnuksuhde.

Malmin murskaus tapahtuu karkean louhitun malmin tai muun karkean aineksen hienontamista yhdessä tai useammassa perättäisessä käsittelyvaiheessa, joita on yleensä 1–3 (GTK, i.a., s 9). Murskauksen tavoitteena on pienentää malmin raekoko tarpeeksi pieneksi, jotta se sopii raekooltaan syötettäväksi jauhatuslaitteisiin. Ennen jauhatusvaiheita raekoko pyritään pitämään maksimissaan noin 10 millimetrin kokoisena, mikäli jauhatus suoritetaan tavanomaisella metallisilla jauhinlaitteistolla varustetussa myllyssä. Erilaisia murskaimia ovat leukamurskain, kartiomurskain, valssimurskain ja iskumurskain.

Jauhatusessa jatketaan murskatun aineksen hienontamista (GTK, i.a., s 20). Jauhatusprosessi toteutetaan myllyissä, joissa rummun pyöriessä irtaimet jauhinkappaleet saadaan liikkeelle ja sopivaan jauhatustilaan, jauhautuminen tapahtuu iskujen, puristuksen ja hiertämiseen. Jauhatus on yksi teollisuuden keskeisistä perusprosesseista, mutta siihen liittyy korkea energiankulutus. Jauhatus voidaan suorittaa joko märkä- tai kuivamenetelmillä.

2.4.4 Rikastus

Rikastuksella tarkoitetaan mineraalivarojen käsittelyä mineraalien erottamiseksi, mihin luokituu erottelu, koon muuttaminen, luokittelu, uuttaminen sekä jätteen jälkikäsittely (Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä 190/2013). Kuvassa 5 on rautamalmin rikastuskenttä.



Kuva 5. Rikastuskenttä Brasiliassa (Mattos, 2021).

Malmista erottelu tapahtuu rikastamossa, jossa pyritään erottelemaan arvokkaat mineraalit vähemmän arvokkaista mineraaleista (EIT RawMaterials, i.a.). Rikastamoprosessi vaihtelee kaivoksittain, mutta esimerkkinä voidaan mainita, että rautamalmeissa noin 50 prosenttia mineraaleista sisältää rautaa, kun taas kuparimalmi voi sisältää vain 0,5–1,5 prosenttia

kuparimineraaleja (kuten kuparikiisu). Esimerkiksi kultakaivos voi olla taloudellisesti kannattava, vaikka jokaisessa tonnissa malmia olisi vain muutama gramma kultaa. Kaikki materiaali, jolla ei ole arvoa, poistetaan prosessin aikana ja luokitellaan "jättekiveksi".

Rikastusprosessi alkaa yleensä murskauksella ja jauhatuksella (EIT RawMaterials, i.a.). Tietyissä tapauksissa, erityisesti rautakaivoksissa, suoritetaan esirikastusvaihe, jossa karkeat jättekivet erotetaan malmivirrasta varhaisessa vaiheessa. Tämä voidaan saavuttaa esimerkiksi kuivamagneettisella erotuksella ja muilla optisilla erotusmenetelmillä. Esirikastus on taloudellisesti ja ympäristön kannalta tehokasta, koska se lisää tuotantokapasiteettia seuraavissa vaiheissa ja vähentää energian, veden ja kemikaalien tarvetta.

Esirikastus ei aina ole mahdollista, erityisesti silloin kun arvomineraali on hyvin hienojakoista (EIT RawMaterials, i.a.). Tämä voi johtaa arvometallien hävikkiin. Murskauksen ja jauhatuksen tavoitteena on hienontaa malmipartikkelit niin pieniksi, että arvomineraali voidaan erottaa tehokkaasti jätteestä seuraavissa erotusprosesseissa. Tyypillisiä erotusprosesseja ovat erotusmineraalien tiheyteen, magneettisuuteen tai pintaominaisuuksiin perustuvat menetelmät. Myös sähkönjohtavuuteen tai optisiin ominaisuuksiin perustuvia menetelmiä käytetään rikastamoissa.

Magneettierotusmenetelmä valitaan rautapitoisten mineraalien tyyppin mukaan, joko heikko- tai voimakasmagneettisena (EIT RawMaterials, i.a.). Magnetiittimalmi reagoi voimakkaasti magneettikenttiin ja voidaan erottaa vähemmän magneettisilla menetelmillä, kun taas hematitiitti on heikommin magneettinen mineraali ja sen erottamiseksi tarvitaan voimakkaampaa magneettikenttää.

Painovoimaan perustuvia menetelmiä voidaan käyttää, kun erotettavien mineraalien tiheysero on merkittävä (EIT RawMaterials, i.a.). Esimerkiksi tinaa, kultaa, lyijyä ja volframia sisältävät mineraalit ovat yleensä raskaampia kuin sivukivi, joten niitä voidaan erottaa käyttämällä painovoimaa.

Perusmetalleille, kuten kuparille, sinkille ja lyijylle, käytetään usein menetelmiä, jotka perustuvat mineraalien pintaominaisuuksiin (EIT RawMaterials, i.a.). Näissä menetelmissä käytetään kemikaaleja (kerääjiä), jotka adsorboituvat valikoivasti mineraalipinnoille, muuttaen ne hydrofobisiksi (vettähylykiviksi). Vaahdotustankkeja käytetään sitten sekoittamaan

mineraalisuspensioon ilmaa, joka kiinnittyy hydrofobisiin partikkeleihin ja nostaa ne ylös vaahtofaasiin, kun taas muut mineraalit painuvat tankin pohjalle. Myös niin kutsuttua käänteistä vaahtotusta voidaan käyttää, jossa jätemineraali vaahtotetaan pois hyötymineraalista.

Kemikaaleja voidaan rikastuksessa käyttää myös liuottimena (AZoMining, 2014). Liottaminen on kemiallinen prosessi kaivoksissa arvokkaiden mineraalien erottamiseksi malmista. Liottaminen tapahtuu myös luonnossa, missä kivet liukenevat veden vaikutuksesta. Liottamisen jälkeen kivet sisältävät vähemmän mineraaleja kuin alun perin.

Kaivoksissa liotusprosessi suoritetaan joko keko- tai paikallaan olevana liuotuksena (AZoMining, 2014). Jalometallit, kuten kulta, uutetaan malmeistaan syanidi- tai otsoniliuotusprosessin avulla. Radioaktiiviset metallit, kuten uraani, uutetaan happoliuotuksen avulla. Oikean liotusmenetelmän valinta metallien erottamiseksi perustuu taloudellisiin ja ympäristöllisiin näkökohtiin. Liotuksen kaksi päätyyppiä ovat keko- ja paikallaan oleva liotus.

Kekoliotus tunnetaan myös nimellä happiliotus (AZoMining, 2014). Tämä menetelmä on tehokkain metallien uuttamiseen vaikeista malmeista ja yksi kokeilluimmista ja testatuimmista menetelmistä. Ennen liottamista malmi käsitellään murskaamalla ja kuumentamalla poistaakseen malmin sisällä olevat hiiliyhdisteet. Esikäsitelyn jälkeen malmi liuotetaan happo- tai alkaliliuoksilla metallin erottamiseksi. Kekoliotusta käytetään kuparin, nikkelin, uraanin ja jalometallien uuttamisessa.

Paikallaan oleva liotus tunnetaan myös paikallaan olevana talteenottona tai liuotuskaivoksena (AZoMining, 2014). Tätä menetelmää käytetään erityisesti kuparin ja uraanin uuttamiseen. Tässä prosessissa malmin esiintymään porataan reikiä räjähteiden tai hydraulisen murtamisen avulla. Liotusliuos pumpataan sitten näiden kanavien läpi liuottamaan malmia, jonka jälkeen liuos pumpataan ulos ja käsitellään.

Liotus on kemiallinen prosessi, eikä se ole vailla haittoja (AZoMining, 2014). Liuotus on voimakkaasti hapan prosessi ja se johtaa myrkyllisten päästöjen muodostumiseen, sekä prosessin tehokkuus laskee matalissa lämpötiloissa. Liuotuksen tehoa voidaan parantaa

tai se voidaan jopa täysin perustaa bakteeritoimintaan, mikä tunnetaan bioliuotuksena (Karlsson, 2018).

Rikastusprosessin lopputuotteena syntyvä rikaste kuivataan ja varastoidaan odottamaan kuljetusta asiakkaalle jatkokäsittelyä varten (Karlsson, 2018). Yleisesti ottaen rikaste on hienojakoista mineraalimateriaalia tai se voi olla harkkomaisessa muodossa, esimerkiksi monissa kultakaivoksissa. Rikastusprosessissa ylimääräinen materiaali yleensä siirretään rikastushiekka-altaisiin veden kuljettamana.

2.4.5 Kuljetus

Avolouhosten pääkuljetusjärjestelmät ja laitteistot voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: perinteinen kuorma-autokuljetus, kuorma-autojen sähköajoneuvorata, sekä paikallaan tehtävä murskaus ja kuljetus (In-pit crushing and conveying, IPCC) (Adams, 2022). Yleisin kaivoskuljetusjärjestelmä kuljettaa kaiken louhitun materiaalin perinteisillä maasto-kuorma-autoilla. Malmi kuljetetaan murskaimeen, josta se siirretään kuljetushihnan avulla käsittelylaitokselle. Kuljetushihna voi sijaita maan pinnalla tai kulkea tunnelissa. Kaikki louhosjätteet kuljetetaan perinteisillä kuorma-autoilla yhdelle kaatopaikoista.

Perinteisessä kuorma-autokuljetuksessa maastokuorma-autot ovat vakiinnuttaneet asemansa ensisijaisena keinona, jolla sekä malmia että jätettä siirretään suurissa avolouhoksissa (Adams, 2022). Kuorma-autot lastataan kaivinkoneella, jonka jälkeen ne ajavat joko kaatopaikalle tai käsittelypaikalle/in-pit-murskaimelle. Kaivinkoneen ja kuljetuskaluston on sovittava yhteen optimaalisten täyttökiertojen varmistamiseksi. Kaivoskuorma-autoja on eri kokoisina, aina 450 tonniin saakka. Kuvassa 6 on esimerkki kaivoskuorma-autosta ja kaivonkoneesta.



Kuva 6. Perinteisen kuorma-autokuljetuksen kalustoa (Arnoldes, 2020).

Perinteisen kuorma-autokuljetuksen etuja (Adams, 2022) ovat:

- Korkea joustavuus ja luotettavuus.
- Alhaiset pääomakustannukset.
- Soveltuu kaikenlaisten materiaalien kuljettamiseen.
- Mahdollisuus valikoivaan louhintaan.
- Ulkoistaminen on mahdollista.

Perinteisen kuorma-autokuljetuksen haittoja ovat (Adams, 2022) puolestaan:

- Korkeat käyttökustannukset.
- Työvoimavaltaista.
- Kaivosväyliä on ylläpidettävä.
- Tehottomuutta tyhjien kuorma-autojen matkustamisen takia.

- Korkea dieselhiukkaspäästöjen taso.

Kuorma-autojen sähköajoneuvoradan käyttö juontaa juurensa vuoteen 1882, kun Werner von Siemens kehitti ensimmäisen sähkökäyttöisen vaunun, joka kulki yläpuolella olevien sähköjohtojen mukana (Adams, 2022). Tätä järjestelmää on kehitetty ja se on ollut käytössä kaivosalalla vuodesta 1967 lähtien, jolloin se otettiin käyttöön Chino-kaivoksessa New Mexicossa. Suuren sähkökaluston puuttumisen vuoksi kuorma-autojen sähköajoneuvo-rata järjestelmää ei kuitenkaan ole laajalti hyödynnetty. Kiinnostus järjestelmää kohtaan elpyi, kun Caterpillar esitteli ensimmäisen dieselsähkökäyttöisen kuorma-autonsa vuonna 2006, jolla oli 345 tonnin kantavuus.

Kuorma-autojen sähköajoneuvoradan etuja (Adams, 2022) ovat:

- Korkea joustavuus ja luotettavuus.
- Alhaiset pääomakustannukset.
- Sopii kaikenlaisten materiaalien kuljetukseen.
- Mahdollisuus valikoivaan louhintaan.
- Vähemmän päästöjä, kun diesel polttoaine korvataan sähköllä.
- Suurempi ylämäkivauhti, mikä lyhentää syklin kestoa.
- Moottorin ylikuormituksen huoltojakson pidentäminen.

Kuorma-auton sähköajoneuvoradan haittoja (Adams, 2022) ovat

- Korkeat käyttökustannukset.
- Työvoimavaltaisuus.
- Kaivosreittejä on ylläpidettävä.
- Tehottomuus tyhjen kuorma-autojen matkustaessa.
- Lisäinvestointi veturijohtojärjestelmän asentamisesta.

In-pit crushing and conveying (IPCC) -järjestelmiin kuuluu täysin mobiilin, puolimobiilin tai paikallaan olevan ensisijaisen murskauskalaitteen soveltaminen, joka on liitetty kuljetinjärjestelmään (Adams, 2022). IPCC-järjestelmät voisivat osittain tai kokonaan korvata kuorma-autot niiden alhaisempien käyttö-, huolto- ja energiakustannusten vuoksi. Viisi mahdollista kuljetusjärjestelmää ovat hihnakuuljetin, kuljetintunneli, jyrkkäkulma-kuljetin, heittokuuljetin ja kuorma-autojen nostojärjestelmä.

Hihnakuuljetin on kaikkein perusmuotoisin järjestelmä (Adams, 2022). Kuljetushihna joko seuraa nousurampin suuntaa ylöspäin tai sillä on kaltevuus kuopan seinämää pitkin. Se jatkuu, kunnes se saavuttaa käsittelylaitoksen tai siirtoaseman, joka on yhteydessä käsittelylaitokseen. Kuva 7 on perinteisestä hihnakuuljetimesta, josta näkee hihnan muodon, sekä hihnan liikettä auttavan rullaston.



Kuva 7. Hihnakuuljetin malmin kuljettamiseen (Ingelrest, 2021).

Hihnakuljettimen etuja (Adams, 2022) ovat:

- Vähemmän asennettua tehoa kuin perinteisellä kuorma-autokuljetuksella.
- Vähemmän työvoimavaltaista kuin perinteinen kuorma-autokuljetus.
- Vähemmän kaasupäästöjä kuin perinteisellä kuorma-autokuljetuksella.
- Vähemmän tien kunnossapitoa.
- Vähemmän pölyä, melua ja veden käyttöä.
- Vähemmän kunnossapitoa kuin perinteisellä kuorma-autokuljetuksella.
- Pitkä käyttöikä jopa 60 vuotta.

Hihnakuljettimen haitat haittoja (Adams, 2022) ovat:

- Korkea pääomapanos.
- Kaivoksen syvyys vaatii erittäin pitkän kuljetushihnan.
- Ei joustava.

Kuljetintunnelit porataan tunnelinporauskoneilla, ja sen jälkeen niiden läpi asennetaan maanalainen kuljetushihna (Adams, 2022). Tunnelien poikkileikkaus on 35–51 metriä, ja niiden maksimikaltevuus on 15 astetta, vaikka 12 astetta on suotuisampi hihnosten helpomman huollon takia.

Kuljetustunnelin etuja (Adams, 2022) ovat:

- Ei riipu ilmastosta.
- Helppo ja edullinen ylläpito.
- Vähemmän asennettua tehoa kuin perinteisellä kuorma-autokuljetuksella.
- Vähemmän työvoimavaltaista kuin perinteinen kuorma-autokuljetus.
- Vähemmän kaasupäästöjä kuin perinteisellä kuorma-autokuljetuksella.
- Vähemmän tien kunnossapitoa.
- Vähemmän pölyä, melua ja veden käyttöä.
- Yrityksessä on jo olemassa olevaa tietotaitoa.

Kuljetustunnelin haittoja (Adams, 2022) ovat:

- Tunnelin poraaminen on tarpeen.
- Pitkä tunneli tarvitaan.
- Kallis alkuinvestointi.

Jyrkkäkulmainen kuljetinjärjestelmä tulee yhä suosittumaksi kaivosalan ja tunnelointiteollisuudessa (Adams, 2022). Jyrkkäkulmainen kuljetin voi olla nousukulman 25 ja 90 asteen välillä. Nykyinen maksimikapasiteetti jyrkkäkulmaisella kuljettimella on 5000 tonnia tunnissa 90 metrin nousulla. Materiaalien paakkukoko on kriittinen tekijä jyrkkäkulmaisen kuljettimen onnistumisen kannalta.

Jyrkkäkulmaisen kuljettimen etuja (Adams, 2022) ovat:

- Vähemmän asennettua tehoa verrattuna kuorma-autoihin.
- Ihanteellinen jyrkille avolouhoksille.
- Vähemmän työvoimavaltaista kuin perinteinen kuorma-autokuljetus.
- Vähemmän kaasupäästöjä kuin perinteinen kuorma-autokuljetus.
- Vähemmän tien kunnossapitoa.
- Vähemmän pölyä, melua ja veden käyttöä.
- Toimii hyvin tunnelointiteollisuudessa.
- Helppo huollettavuus, koska käytössä ovat tavalliset kuljetushihnat.

Jyrkkäkulmaisen kuljettimen haittoja (Adams, 2022) ovat:

- Korkeat pääomakustannukset.
- Vaatii lopullisen louhosseinän.
- Vaatii tilaa.
- Kapasiteetti enintään 5000 tonnia tunnissa.
- Maksimisirpalekoko 250 mm.

Thyssenkrupp on kehittänyt **heittokuljetusjärjestelmän** materiaalin tehokkaampaan kuljetukseen ja huomattavasti pienemmällä ympäristövaikutuksella (Adams, 2022). Tämä järjestelmä käsittää integroidun kuljetus- ja käsittelyjärjestelmän, jonka avulla vältetään raskaiden kuorma-autojen käyttö syvissä avolouhoksissa.

Heittokuljetuksen etuja (Adams, 2022) ovat:

- Vähemmän asennettua tehoa verrattuna kuorma-autoihin.
- Ihanteellinen jyrkissä avolouhoksissa.
- Vähemmän työvoimavaltaista kuin perinteinen kuorma-autokuljetus.
- Vähemmän kaasupäästöjä verrattuna perinteiseen kuorma-autokuljetukseen.
- Vähemmän tien kunnossapitoa.
- Vähemmän pölyä, melua ja veden käyttöä.

Heittokuljetuksen haittoja (Adams, 2022) ovat

- Korkeat pääomakustannukset.
- Vaatii lopullisen avolouhoksen seinämän.
- Vaatii tilaa.
- Vain yksi järjestelmän toimittaja saatavilla.
- Menetelmä ei ole vielä osoittautunut luotettavaksi.
- Riittämätön määrä käytettävissä olevia tietoja.
- Kapasiteetti enintään 4000 tonnia tunnissa.

Kuorma-autojen nostojärjestelmä on uusi kehitys kuljetusjärjestelmissä, jonka on kehittänyt Siemag Tecberg (Adams, 2022). Tämä kaltevuushissijärjestelmä nopeuttaa kuljetusta kaivoksesta. Se voi voittaa leposuhdekulman 50 astetta 8 m/s nopeudella. Perinteinen kuljetus vaatii monia kuorma-autoja, mikä voidaan vähentää tällä menetelmällä. Järjestelmän kapasiteetti voi olla jopa 4000 tonnia tunnissa, ja suurin syvyys on 300 metriä. Alkuperäinen investointi on suhteellisen korkea, mutta se vähentää kunnossapitoa, varosia ja henkilöstökustannuksia.

Kuorma-autojen nostojärjestelmän etuja (Adams, 2022) ovat:

- Vähemmän asennettua tehoa verrattuna kuorma-autoihin.
- Käyttökelpoinen jyrkillä rinteillä aina 55 asteeseen asti.
- Vähemmän työvoimavaltaista kuin perinteinen kuorma-autokuljetus.
- Vähemmän kaasupäästöjä kuin perinteinen kuorma-autokuljetus.
- Vähemmän tien kunnossapitoa.
- Vähemmän pölyä, melua ja veden käyttöä.

Kuorma-autojen nostojärjestelmän haittoja (Adams, 2022) ovat:

- Korkeat pääomakustannukset.
- Tarvitaan lopullinen kaivosseinä.
- Vaatii tilaa.
- Vain yksi järjestelmän toimittaja.
- Kapasiteetti enintään 4000 tonnia tunnissa.

Maanalaisen kaivoksen kuljetusjärjestelmissä malmipitoisuus sekä maanalaisen esiintymän koko ja syvyys ovat tärkeitä tekijöitä oikean kuljetusjärjestelmän valinnassa tietylle maanalaiselle kaivokselle (MiningTechnology, i.a.). Vaikka rautatiet, kaivoskuorma-autot ja kuljetushihnat muodostavat kolme yleistä maanalaista kuljetusjärjestelmää, kaivoskuorma-autojen käyttö on yleisin maanalaisissa kaivoksissa ympäri maailmaa.

2.4.6 Varastointi

Rikastusprosessin lopputuotteena saadaan yleensä kuiva, hienoksi jauhettu mineraalaines, joka sisältää arvometalleja (Kauppila, 2015, s.14). Tietyt malmit, kuten esimurskattu kalkkikivi, voivat olla käyttökelpoisia sellaisenaan ilman erillistä rikastusvaihetta. Lopulliset tuotteet ja rikasteet varastoidaan kaivosalueella kasoihin tai erilaisiin säiliöihin ja kuljetaan asiakkaille jatkokäsittelyä varten kuorma-autoilla, junilla tai laivoilla.

Yleissuunnitteluvaiheessa täytyy huomioida kaivannaisjätteen käsittelyyn, kuljetukseen ja sijoittamiseen liittyviä tekijöitä (Kivipelto ym., 2020, s. 36–37). On tärkeä pohtia, onko

esimerkiksi louhin-nasta syntyvän kaivannaisjätteen kuljetuksessa ja käsittelyssä kuorma-autoja, dumpereita ja/tai kuljetinhihnoja? Tai kuljetetaanko/käsitelläänkö rikastusjätettä samoilla menetelmillä tai esimerkiksi putkistojen avulla. Kaivannaisjätteiden väliaikaisessa varastoinnissa on pohdittava, onko louhinnassa muodostuvaa kaivannaisjätettä tarpeellista varastoida läjittämällä tai rikastusjätettä varastoitava altaissa tai kasoissa. Kaivannaisjätettä täytyy myös sijoittaa pysyvästi. On mietittävä, toteutetaanko louhinnasta syntyvän kaivannaisjätteen pysyvä sijoittaminen kasaan, sekaläjäytysenä altaisiin vai louhostiloihin (tunnelilouhoksissa). Rikastusjätteen pysyvä sijoittaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi kasoissa, rajatuissa altaissa sekä padoilla rajatuissa altaissa riippuen rikastusjätteen laadusta. Altaiden, patojen ja kasojen rakentamisessa otetaan myös huomioon pohjarakenteet sekä mahdolliset peittoratkaisut mitä kaivoksen sulkemisessa tullaan toteuttamaan. Kuvassa 8 on esimerkki rikastushiekan lopullisesta läjityksestä.



Kuva 8. Kaivannaisjätteiden loppusijoituspaikka (Schoonderwalt, 2020).

2.5 Kaivostoiminnan päätyminen

Kaivostoiminnan päätyminen tarkoittaa kaivosluvan raukeamista tai luvan peruuntumista (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), i.a.). Kaivosyhtiön tulee kahden vuoden kuluessa kaivostoiminnan päättymisestä hoitaa kaivosalue ja sen apualue yleisen turvallisuuden mukaiseen kuntoon, tehdä alueiden kunnostus, siistiminen ja maisemointi sekä suorittaa kaivos- ja kaivosturvallisuuslupien määräämät toimenpiteet. Kaivosyhtiö voi säilyttää kaivosmineraalit ja maan pinnalla olevat rakennukset sekä rakennelmat kahden vuoden ajan kaivostoiminnan päättymisestä, jonka jälkeen rakennukset, rakenteet ja mineraalit siirtyvät kiinteistön omistajalle ilman korvausta, ja kaivosyhtiön on poistettava ne omalla kustannuksellaan, jos kiinteistön omistaja vaatii sitä.

Kaivosyhtiön on ilmoitettava kirjallisesti Tukesille välittömästi, kun kaivosalue on kunnostettu (Tukes, i.a.). Tämän jälkeen Tukes järjestää lopputarkastuksen, ellei se ole ilmeisen tarpeeton. Lopputarkastuksessa Tukes tarkistaa, ovatko kaivostoiminnan lopettamiseen liittyvät toimenpiteet olennaisilta osin suoritettu ja arvioi tarvittavat toimenpiteet yleisten ja yksityisten etujen turvaamiseksi.

Lopputarkastukseen kutsutaan kaivosyhtiön lisäksi asianosaiset, kuten maanomistajat, kunnan edustajat, paikallinen ELY-keskus ja tarvittaessa muita viranomaisia, jotka valvovat yleistä etua (Tukes, i.a.). Tarkastuksen aikana arvioidaan, ovatko lopettamiseen liittyvät toimenpiteet olennaisilta osin tehty ja turvataanko yleiset ja yksityiset edut asianmukaisesti. Lopputarkastuksesta laaditaan tarkastuskertomus, joka sisältää tarkastuksen kulun, havainnot ja keskeiset muistutukset ja mielipiteet. Kun kaivostoiminnan lopettamiseen liittyvät toimenpiteet on suoritettu, Tukes tekee päätöksen kaivostoiminnan lopettamisesta. Kuvassa 9 on kaivos täyttynyt vedellä kaivostoiminnan päätyttyä.



Kuva 9. Suljettu avolouhos täyttynyt vedellä (Oliveira, 2023).

3 INFRASUUNNITTELU KAIVOKSEN ELINKAAREN AIKANA

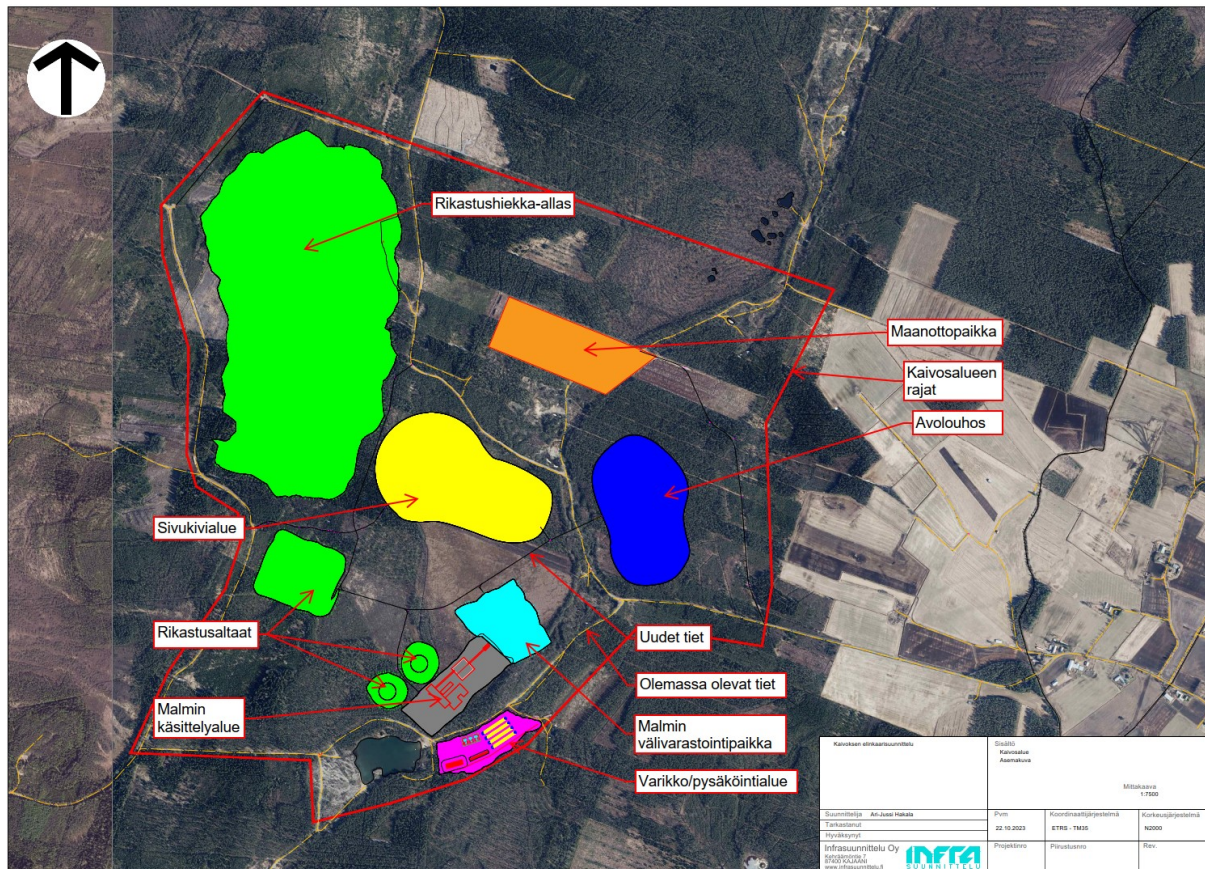
3.1 Yleissuunnittelu

Infrasuunnittelu voi toimia osana kaivoksen yleissuunnittelua. Toimintojen sijoittelu, liikennöinnin suunnittelu ja erilaisten alueiden varaukset ovat osa kaivoksen kokoaikaista toimintaa. Usein suunnitteluvaiheessa käydään läpi usea eri vaihtoehto ”layoutista” ja liikennöinnin toteutuksen vaihtoehtoista. Lopputuotteena on usein havainnollistavaa materiaalia 2D- ja 3D-muodossa, joista käy ilmi kaivoksen rajat, maankäytön perusteet ja toimintojen suunniteltu sijoittelu.

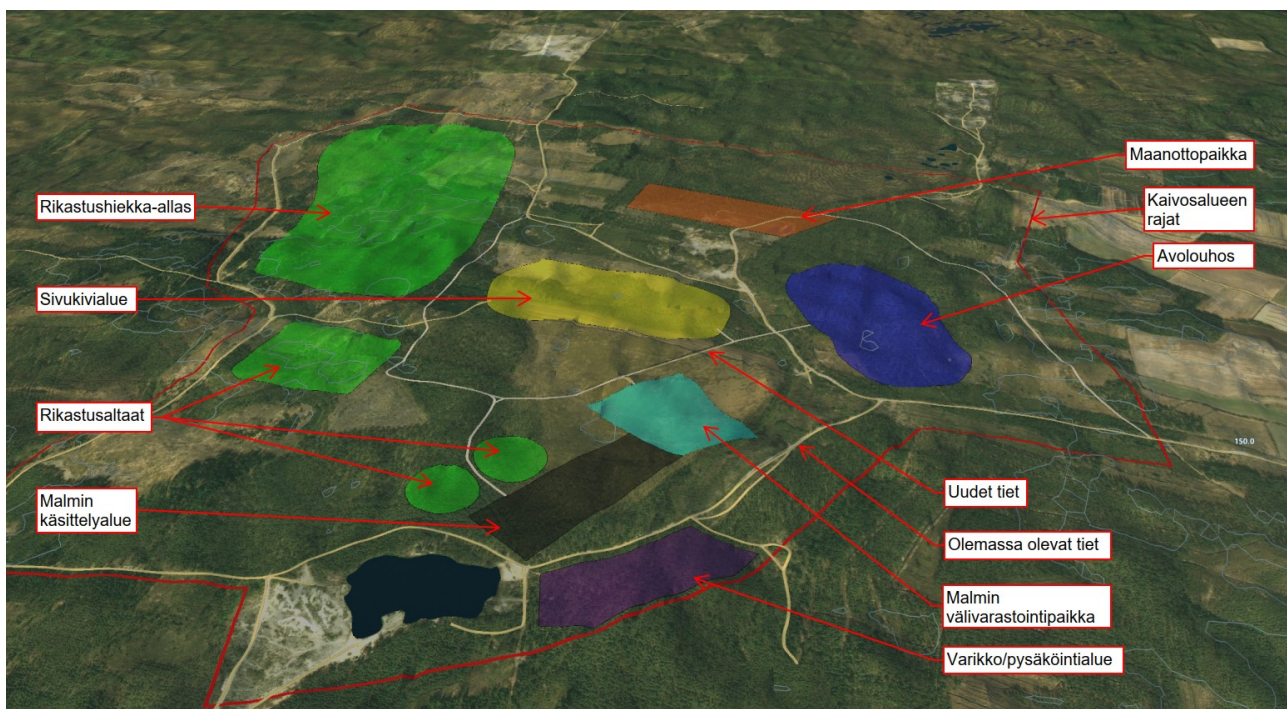
Suunnitteluvaihe on tiiviisti yhteistyössä lupien haun kanssa esimerkiksi ympäristölupaa hakiessa. Yleissuunnitelmavaiheessa pyritään vaikuttamaan myös ympäristötekijöihin, kuten esimerkiksi vesien hallintaan, melun ja pölyn hallintaan. Toimintojen erilainen sijoittelu tuo näkemyksiä esimerkiksi vesien hallinnan osalta putkitusten pituuksiin ja pumppujen kapasiteettiin. Liikennöinnin hyvä suunnittelu luo alueelle työturvallisuutta, sujuvuutta ja tehokkuutta käyttöön. Yleissuunnitelmaa luodessa pystytään myös ottamaan huomioon koko kaivoksen elinkaarta, alueille voidaan suunnitella varauksia, vaihtoehtoisia käyttökohteita ja sulkemisen rakenteiden sijoittelua.

Vaikka toiminnot olisivat liikennöinnin kannalta hyvin lähellä toisiaan, voidaan vaikkapa malminkäsittelykenttiä joutua laajentamaan toiminnan aikana, mikäli laajennusmahdollisuutta ei ole, toiminto joudutaan sijoittamaan muualle, jolloin koko alueen liikennöinti taas muuttuu. Sijoitettavia toimintoja ovat rikastamoalue, sosiaalitalat, toimistotilat, urakoitsijoiden alueet, pysäköinnit, lastausalueet, polttoaineiden käsittelyyn soveltuvat alueet. Toimintoja suunnitellessa ainoastaan louhoksen sijoittelua ei juuri voida muuttaa.

Avolouhostoiminnassa täytyy suunnitella aluevaraukset murskauksille, sivukiven sijoitukselle, murskatun aineksen käsittelylle sekä malmin varastoinnille. Yleissuunnitelmassa myös hahmotellaan yleisellä tasolla kaivoksen sisäinen tiestö. Toimintoja ei tarvitse vielä suunnitella rakennussuunnitteluasteella vaan yleisesti riittää tilavaraukset ja ajatukset alueen toiminnasta. Kuvioissa 1 ja 2 on näkyvissä opinnäytetyössä tehdyn 3D-demokaivoksen aluerajauksista.



Kuvio 1. Asemakuva demokaivoksen aluevarauksista



Kuvio 2. 3D-kuva demokaivoksen aluevarauksista

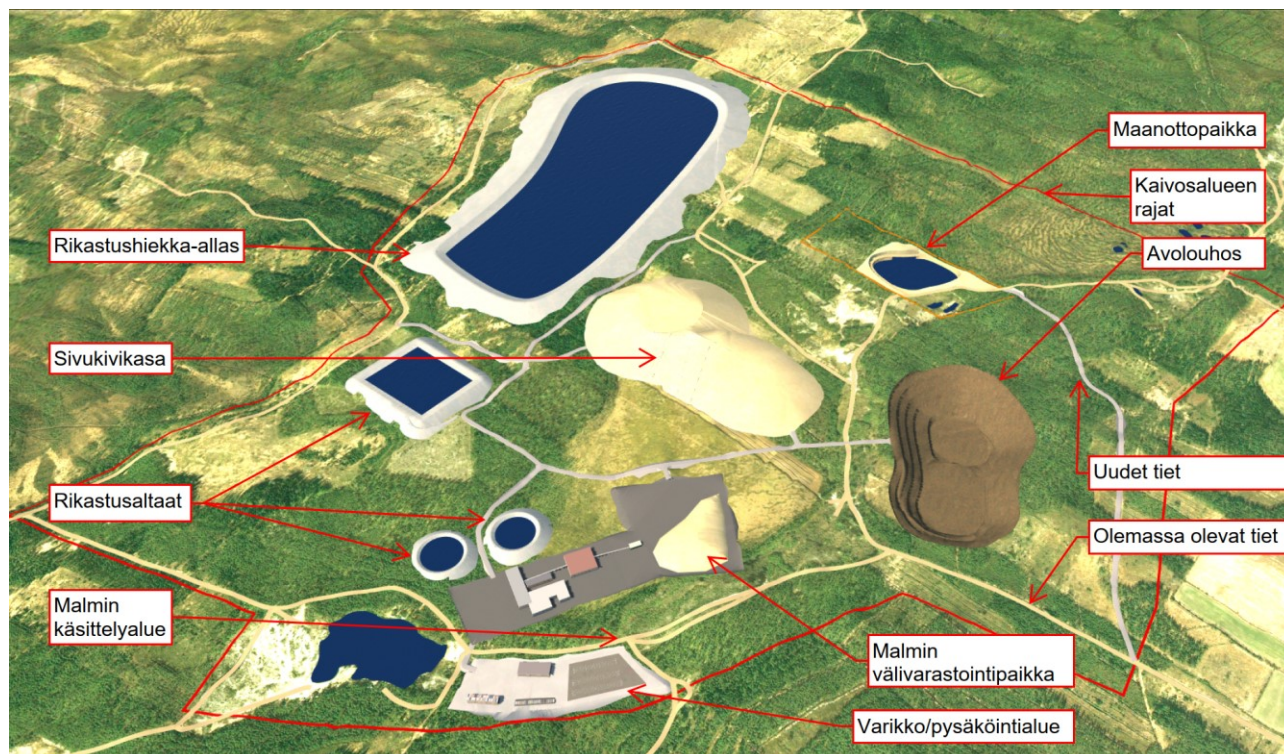
3.2 Suunnitteluvaihe ja käyttöönotto

Käyttöönotto on seuraava vaihe yleissuunnitelmasta. Ennen käyttöönottoa alueiden ja toimintojen sijoittelu on toteutettu rakennussuunnitelman mukaan. Alueiden ja teiden rakenteet mitoitetaan käyttötarkoitusten mukaisesti. Tie- ja väyläsuunnittelussa otetaan myös huomioon erilaisten kohteiden tilantarpeet tietyille kalustolle sekä turvallisuustekijöitä kuten suojavalleja.

Yksi iso osatekijä kaivosympäristön suunnittelussa on alueiden mahdolliset muutostarpeiden huomioimiset sekä laajentamiset. Erilaisten malminkäsittelyalueiden ja sivukivialueiden suunnittelussa laajentumiset ja sulkeminen ovat tilantarpeidensa osalta avainasemassa. Tulevaisuudessa on myös mahdollista, että louhoksesta löytyy uusia malmioita tai malmisuonia, joiden louhinnan alkaessa alkuperäinen tilantarve voi kasvaa merkittävästi. Etenkin pienet kaivoskohteet hyötyvät tilankäytön suunnitelmallisuudesta ja laajentamisen helppoudesta. Kuviossa 3 olevassa 3D-demokaivoksen esimerkissä toiminnoille on myös varattu tilaa laajennuksille tai kokonaan uusille toiminta-alueille.

Kaivosalueilla käsitellään paljon vettä, erilaiset prosessivesiputkistot ja allasrakenteet tulee suunnitella sijoituksensa puolesta niin, ettei etäisyydet ole tarpeettoman pitkiä ja prosessiputkistot eivät risteäisi turhaan toisiaan. Altaiden sijoitukset on tarpeellista suunnitella myös niin, että niiden mahdolliset korotukset ja laajennukset ovat mahdollista toteuttaa.

Käyttöönottovaiheessa ja rakennussuunnittelussa pyritään ratkaisulla optimoimaan käytössä olevia maa-aineksia sekä leikkaus- ja täyttömassoja. Rakennussuunnitteluvaiheessa toteutetaan myös liikenteenohjaus, kuinka raskas liikenne kulkee, saadaanko raskaan kaluston tieltä tarpeeton kulkeminen estettyä erilaisten huoltoteiden kautta sekä kiinnitetään huomiota jalankulkijoihin etenkin rikastamo- ja toimitila-alueilla.



Kuvio 3. 3D-demokaivokseen mallinnetut toiminnot ja alueet

3.3 Kaivostoiminnan aikainen suunnittelu

Toiminnan aikaista suunnittelua tapahtuu pääasiassa erilaisten laajennusten muodossa, alueiden muokkauksia uusia käyttötarpeita varten tai käytössä jo olleiden rakenteiden korjauksena. Tyypillisiä korjauskohteita voivat olla esimerkiksi pitkään käytössä olleita allasrakenteita sekä prosessivesiputkistoja. Tiivisrakenteet käytön seurauksena voivat alkaa vaurioitumaan saumoista, rakenteita halutaan muuttaa tai vaikka altaiden kapasiteettia kasvatetaan.

Toiminnan aikaisessa suunnittelussa tärkeitä huomioitavia asioita ovat muiden alueella toimivien prosessin osien yhteensovittaminen kyseisen kohteen suunnitteluun ja rakentamiseen eli ei estetä uusilla suunnitelmilla olemassa olevia toimintoja tai vaikeuteta tarpeettomasti muiden alueella toimivien osastojen toimintaa. Toiminnan aikana tapahtuvassa suunnittelussa täytyykin olla jatkuvasti eri osastojen ja urakoitsijoiden kanssa tiiviissä yhteistyössä, etenkin suurissa kohteissa organisaatio voi olla suuri ja päätöksenteon ketjut pitkiä, tällöin hyvät esisuunnitelmat ja luonnokset ajatuksista kantaa ideoita ja ajatuksia

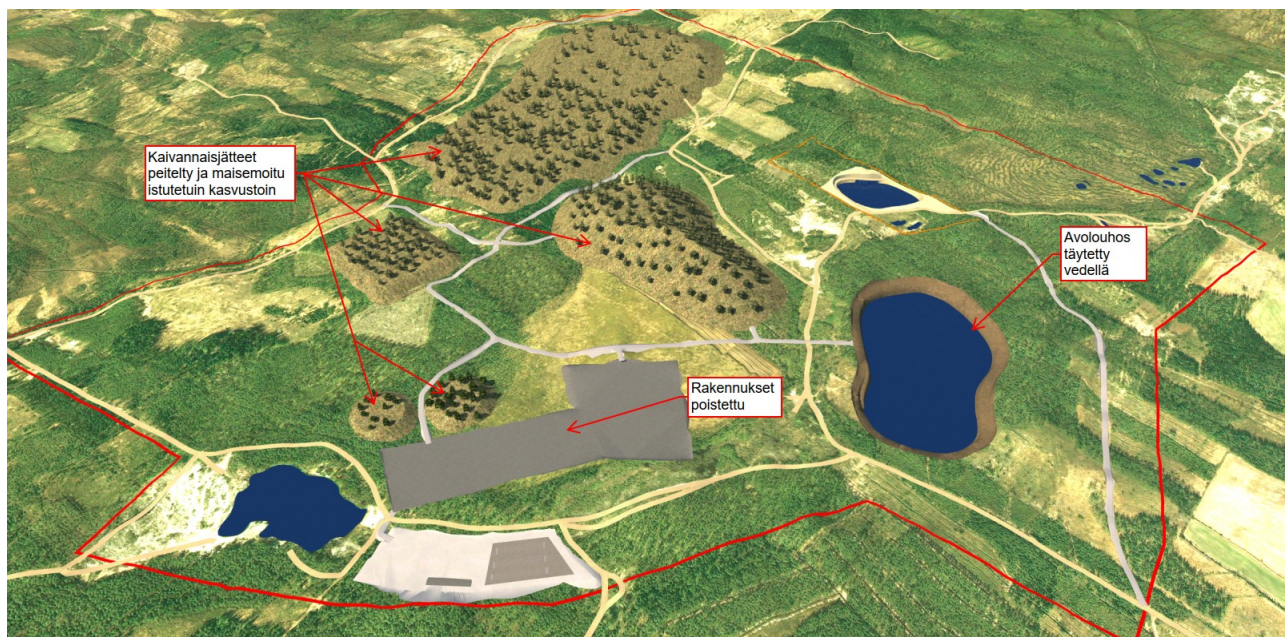
pitkälle. Monesti useita osastoja käsittävässä kaivosteollisuuden kohteessa ei välttämättä kaikilta osastoilta löydy vaikkapa maanrakentamisen osaamista, jolloin hyvä maanrakentamisen kumppani osaa toimia näiden osastojen kesken ja pitää ison kuvan hallinnassa.

Kun organisaatiot ovat osastoituja sekä jokaisen osaston sisällä tarvitaan vielä monesti osaamista prosessi-, kone-, sähkö-, automaatio- ja maanrakentamisen suunnittelusta, täytyy kokonaisuus olla hyvin hallussa ja suunnittelijan ajatella myös muita toimialoja. Usein maanrakennusurakoinnin aikana alueella toimii näiden edellä mainittujen toimialojen urakoitsijoita ja monet työvaiheet risteävät useassa kohtaa, jolloin kokonaiskäsitely helposti kärsii ja pirstoutuu. Infrasuunnittelu on toiminut useissa suunnittelukohteissa tilaajan maanrakentamisen suunnittelun lisäksi eri toimialojen suunnitelmien yhteensovittajana sillä maanrakentamisessa mittaus- ja merkintäaineistot elävät suunnitelmapohjissa kaiken aikaa ja eri toimintojen on oltava oikeilla paikoillaan jatkuvasti, jotta kentällä ei pääse syntyämään ristiriitoja.

Kaivoksen rikastusmenetelmän mukaan saatetaan vaatia myös jatkuvaa maanmittausta, kartoitusta ja merkintätyötä. Uusia laajennusosia kartoitetaan jatkuvasti, prosessia ja materiaalmääriä voidaan seurata mittaamalla sekä uusia urakkakohteita merkitä maastoon. Tällöin mittausorganisaation ja suunnittelun täytyy toimia saumattomasti yhteistyössä luoden pohjan luotettavalle suunnittelulle. Nykyään suuri osa töistä tehdään koneohjausta hyödyntämällä, jolloin merkinnät kentälle ovat usein suuntaviivoja ja rajoja, mutta mittamiehen näkemys kentällä on oltava jatkuvasti ajan tasalla koneohjausmallien kanssa.

3.4 Kaivoksen sulkeminen

Elinkaaren loppu on kaivoksen sulkemisessa. Sulkemisen rakenteet on usein ehditty jo suunnittelemaan hyvissä ajoin, mutta sulkemusrakenteiden ja käytännön toteutusta joudutaan seuraamaan monesti toiminnan aikana. Erilaiset laajennukset muuttavat helposti sulkemusrakenteiden tarpeita. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon ympäristöluvassa läpi käytyjä seikkoja liittyen erilaisten materiaalien sijoituksiin, täytyykö joltain alueelta poistaa tiettyjä materiaaleja ja rakennustarvikkeita tai onko esimerkiksi alueiden käyttötarkoitus muuttunut alkuperäisestä, sulkemissuunnitelman laatimisen aikaisista suunnitelmista. Kuvion 4 3D-demokaivoksessa näkyy esimerkkinä kaivoksen sulkemiseen liittyviä ratkaisuja.



Kuvio 4. Esimerkki kaivoksen sulkemiseen liittyvistä toimenpiteistä

4 DEMOKAIVOS

Demokaivoksen tarkoitus on toimia markkinoinnin, myynnin sekä suunnittelun työkaluna. Demokaivosympäristössä voidaan havainnollistaa erilaisia osakokonaisuuksia ja referenssikohteita, minkä parissa Infrasuunnittelu on toiminut. Koska kaivosteollisuuden kohteita ei voida markkinoinnissa julkisesti esitellä, voidaan tällaiseen ympäristöön tuoda kuvitteellisia kohteita, joissa on hyödynnetty todellisen maailman ratkaisuja. Useimmiten yhteistyö kaivosteollisuuden kohteeseen luodaan ensin yhden ongelman ympärille, jonka kautta päästään toimimaan eri osastojen kanssa yhteistyössä ja mahdollisesti löytämään eri osastojen tarpeista muita suunnittelua vaativia kohteita. Demokaivosympäristö antaa raamit esitellä jokaisen eri osaston tarpeita yhdessä ympäristössä ja näin ollen toimii helppona keskustelunavauksena eri osastojen ja toimialojen henkilöiden kesken.

Mallin rakentuminen lähtee aikaisempien referenssikohteiden sisäisestä kartoittamisesta. Vuosien varrella Infrasuunnittelu Oy on toiminut usealla kaivoksella sekä monissa teollisuuden ympäristöissä. Demokaivokseen valitaan relevantit referenssit eri kohteista, mukana on edellä mainittuja toimintoja eri vaiheisiin liittyen sekä mukaan voidaan liittää enemmän teollisuudessa olleita kohteita. Referensseistä valitut mallinnuskohteet on pyritty mallintamaan rakenneratkaisuiltaan sellaisenaan kuin ne referenssikohteisiin on suunniteltu, mutta muodoista ja esimerkiksi tielinjauksista tunnistettavuus ja liitettävyyys kohteisiin on poistettu kokonaan. Tarkoitus ei ole esitellä 1:1 rakenneratkaisuja vaan enemmänkin ympäristöjä, joihin ratkaisuja on luotu. Sopivien referenssikohteiden löydyttyä laaditaan aluemalli kuviteltuun kohteeseen esimerkiksi hyödyntämällä maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen palvelua.

Maastotiedot käsitellään Autodesk Civil3D -ohjelmistossa sekä pistepilviaineistot Autodesk Recap -ohjelmistossa. Kohteiden mallinnus suoritetaan pääosin Civil3D:llä, tiestöt, maanrakentamisen suunnittelut tehdään samoilla rakenteilla kuin oikeisiin kohteisiin. Kaikki demokaivokseen tehty suunnittelu on koneohjaustasoista ja sellaista materiaalia, mitä oikeissa kohteissa tilaajalle ja urakoitsijoillekin toimitettaisiin. Erinäisiä visuaalisia elementtejä voidaan hakea avoimista kirjastoista, kuten 3D Warehouse:sta tai mallintaa itse Autodesk 3DS Max- tai Trimble SketchUp -ohjelmistoilla. Kun maastomalli eli aluemalli, suunnittelukohteet ja muut visuaaliset elementit ovat valmiit, voidaan varsinainen demokaivos

koostaa Autodesk Infracore -ohjelmistolla. Infracore sisällä kaikki liitetään yhdeksi kokonaisuudeksi, joka luo vielä tekstuureja ja visuaalista ilmettä havainnollistamisen helpottamiseksi. Infracore sisällä demokaivoksesta voidaan tehdä ylilentoja tai ottaa näyttökuvia, joita pystytään liittämään markkinointimateriaaliin tai käyttämään keskustelupohjana asiakkaiden kanssa. Demokaivoksen voisi myös rakentaa pelimoottorin sisälle, jolloin mallia pystyttäisiin tarkastelemaan esimerkiksi VR (virtual reality) -ympäristössä. Tulevaisuudessa erilaiset showroomit ja VR-ratkaisut tulevat olemaan suuressa roolissa hankkeiden markkinoinnissa, suunnittelussa sekä toteutuksessa. Demo-kaivos pyrkii avaamaan tietä Infracore suunnittelun osaamista kohti tulevaisuuden rakentamisen suunnittelua.

Kaivoksen käytön aikaiset mallit ovat tarkasteltavissa Trimble connect -palvelussa, jota pystyy käyttämään verkkoselaimella. Tarkastelu vaatii kirjautumisen palveluun, mutta se ei maksa mitään, ja projektin omistajan luvan. Lupaa pystyy hakemaan Trimble Connect -sivustolta. <https://web.connect.trimble.com/projects/PQ0WLvYI7Hw/viewer/3d/?projectId=PQ0WLvYI7Hw&viewId=5IOYRANZ7CE>.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli toimia työkaluna myynnissä ja markkinoinnissa. Tavoite toteutui. Yleinen tieto kaivostoiminnasta auttaa niin suunnittelua kuin myyntiä ja markkinointia, ja mahdollisten suunnittelu- ja konsulttitoiden läpi käyminen auttaa kohdentamaan myyntiä ja markkinointia oikeaan paikkaan.

Opinnäytetyössä tehty 3D-demokaivos on myös hyvä ympäristö esitellä mahdolliselle asiakkaalle myytäviä tuotteita, ilman että käytettäisiin toiselle asiakkaalle jo tehtyjä tuotteita referenssinä. Demokaivos ympäristöön on tarkoitus jatkaa myös muiden referenssi koiteiden mallintamista, niin kaivosteollisuuteen kuin muihinkin teollisuuden ympäristöihin.

LÄHTEET

- Adams, T. (3.5.2022). *Haulage systems for open pit mines*. Global Road Technology. <https://globalroadtechnology.com/haulage-systems-for-open-pit-mines/>
- Arnoldes, P. (7.12.2020). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/luonto-maa-teollisuus-metalli-6109677/>
- AZoMining. (29.4.2014). *Leaching - Mining Fundamentals*. <https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1227>
- Chetan, V. (4.9.2019). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/maisema-hiekka-vesi-kesa-2892618/>
- EIT RawMaterials. (i.a.). *Geologia ja kaivostoiminta*. <https://www.minefacts.eu/geologia-ja-kaivostoiminta>
- Fisk, T. (5.4.2019). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/lintuperspektiivitie-maisema-teollisuus-2101140/>
- Geologian tutkimuskeskus (GTK). (i.a.). *Hienonnus*. https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Hienonnus_Kaiva-fi.pdf
- I Love Pixel. (12.12.2022). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/teollisuus-luola-maanalainen-rata-14747539/>
- Ingelrest, P. (8.10.2021). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/teollisuus-maet-tuotanto-suola-10182828/>
- Kaivosteollisuus. (29.3.2022). *Malminetsintä vastaa tulevaisuuden raaka-aineiden tarpeeseen*. <https://www.kaivosteollisuus.fi/fi/kaivosala-suomessa/malminetsinta-vastaa-tulevaisuuden-raaka-aineiden-tarpeeseen>
- Karlsson, T. (3.7.2018). *Kaivostoiminta ja kaivoksen elinkaari*. Suomen Kansallinen Geologian Komitea. <https://www.geologia.fi/2018/07/03/kaivostoiminta-ja-kaivoksen-elinkaari/>
- Kauppila, T. (2015). *Tutkimusraportti 222*. Geologian tutkimuskeskus. https://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_222.pdf
- Kivipelto, J., Nieminen, S., Jokiranta, T., Nurmi, H., Koivuhuhta, A., Kauppila, P., Karlsson, T., Tornivaara, A., & Kauppila, T. (2020). *Opas kaivannaisjätteiden hallinnan MWEI BREF -vertailuasiakirjan parhaita käyttökelpoisia tekniikoita koskevien päätelmien so-*

veltamiseen. Ympäristöministeriö.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162281/YM_2020_12.pdf

Mattos, T. (26.8.2021). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/kaupunki-maisema-maa-rakennus-9330369/>

MiningTechnology. (i.a.) *Mining trucks, loaders and haulage equipment for the mining industry*. <https://www.mining-technology.com/buyers-guide/mining-loaders-trucks-haulage/>

Natunen, J. (2022). *Kaivosjäteraportti*. Suomen luonnonsuojeluliitto. https://www.sll.fi/app/uploads/2022/12/Kaivosja%CC%88teraportti_NatunenSLL_2022.docx-1-1.pdf

Oliveira, M. (4.10.2023). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/meri-maisema-vesi-valtameri-18618326/>

Rakennustieto. (2023). *InfraRYL 2023/1: Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset*. https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2023_1/11400.html.

Schoonderwalt, M. (2.10.2020). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/maisema-maa-kurjet-tekstuuri-5505971/>

Turvallisuus ja kemikaalivirasto (Tukes). (i.a.). *Kaivostoiminta*. <https://tukes.fi/teollisuus/kaivostoiminta>

Ungaro, F. (8.5.2021). [valokuva]. Pexels. <https://www.pexels.com/fi-fi/kuva/ilmasto-flunssa-lumi-maisema-7074799/>

Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä 190/2013. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130190>

Vasara, H. (2021). *Kaivosteollisuuden toimialaraportti (TEM Toimialaraportit 2021:4)*. Työ- ja elinkeinoministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-655-0>