

KAIVOKSEN ANALYYTTISEN  
TUOTANTOLABORATORION ANALYYSIMENETELMIEN  
JA TOIMINNAN KEHITTÄMINEN TUOTANNON  
PARANTAMISEN TYÖKALUNA

Leppänen, Rina

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Teknologiaosaamisen johtaminen  
Insinööri (ylempi AMK)

2020

Tekniikan alat  
Teknologiaosaamisen johtamisen koulutus  
Insinööri (YAMK)

---

<b>Tekijä(t)</b>	Rina Leppänen	<b>Vuosi</b>	2020
<b>Ohjaaja(t)</b>	Heli Väättäjä		
<b>Toimeksiantaja</b>	Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Työn nimi</b>	Kaivoksen analyyttisen tuotantolaboratorion analyysimenetelmien ja toiminnan kehittämisen tuotannon parantamisen työkaluna		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	54		

---

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivoksella olevan analyyttisen laboratorion toimintaa analyysiviiveen pienentämisen näkökulmasta sekä tunnistaa analyysiprosessien hidastavat tekijät. Tutkimuksen tarkoituksena oli löytää keinoja, joilla analyysiviivettä voidaan pienentää analyysitulosten laadun siitä kärsimättä. Tutkimuksen tulokset ovat hyödynnettävissä analyyttisen laboratorion analyysimenetelmiä kehitettäessä. Lisäksi nopeammin saatavilla olevat analyysit parantavat tuotannon optimoinnin mahdollisuuksia.

Tietoperustana ovat innovaatiot ja innovaatiojohtaminen sekä erilaiset mittaus-tekniikat ja -laitteisiin analysoitavien analyyttien näkökulmasta. Lean Six Sigma -menetelmä on systeemin tai prosessin parannusmenetelmä, joka perustuu DMAIC-prosessiin. Tutkimuksessa käytettiin DMAIC-prosessia (Define, Measure, Analyze, Improve and Control eli määritä, mittaa, analysoi, paranna ja varmista) työn rajaamiseen ja analyysimenetelmien pullonkaulojen tunnistamiseen TOC-teoriaa eli rajoitteiden teoriaa (Theory of Constraints). Pullonkaulat saatiin tunnistettua mittaamalla analyysiprosesseihin kulunutta aikaa.

Tuloksia arvioitiin johtamisen näkökulmasta. Johtamisella on suuri merkitys luodessa innovatiivista ja hyväksyvää toimintaympäristöä. Nopeita hyötyjä saadaan käytössä olevien menetelmien kehittämisen avulla, jolloin johtamisen merkitys korostuu. Käytössä olevat menetelmät ovat hallittuja, ja niissä tapahtuva muutos saattaa aiheuttaa muutosvastarintaa. Analyysimenetelmien ja -tekniikoiden kehittämisen menestykselliseen toteuttamiseen tarvitaan yhteistyötä ja vuorovaikutusta eri organisaatiotasojen välillä. Uusien analyysimenetelmien ja -tekniikoiden käyttöönottoa edeltää muun muassa riskiarvio ja huolellinen suunnittelu.

Management of Technological Competer  
Master of Engineer

---

<b>Author(s)</b>	Rina Leppänen	<b>Year</b>	2020
<b>Supervisor(s)</b>	Heli Väättäjä		
<b>Commissioned by</b>	Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Development of analytical methods and operations of the mine's analytical production laboratory as a tool for improving production		
<b>Number of pages</b>	54		

---

The goal of the thesis was to develop the operation of Agnico Eagle Finland Oy's analytical laboratory at the Kittilä mine for reducing the analysis delay and to identify the factors that slow down the analysis processes. The objective was to find ways to reduce the analysis delay without compromising the quality of the analysis results. The results of the study can be utilized in the development of analytical methods for the analytical laboratory. In addition, faster throughput of results enables optimization of production.

The theoretical basis consisted of innovations and innovation management, and different measurement techniques and devices from the perspective of the analytes. The Lean Six Sigma method is a system or process improvement method based on the DMAIC (define, measure, analyze, improve and manage) process. The DMAIC process was used in this thesis to limit the work and to identify the bottlenecks in the analytical methods, the TOC theory, i.e. the theory of constraints. The bottlenecks were identified by measuring the time spent for the analysis processes.

The results were evaluated from a management perspective. Leadership plays an important role in creating an innovative and accepting operating environment. Quick benefits are obtained by developing existing methods that emphasize the importance of management. The methods used are controlled and a change in them can cause resistance to the changes. The successful implementation of the development of the analytical methods and techniques requires collaboration and interaction between the different levels of the organization. The introduction of the new analytical methods and techniques is preceded by, among other things, risk assessment and careful planning.

Key words                      analysis, DMAIC, management, mine, laboratory

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	2
1.1	Taustaa .....	2
1.2	Agnico Eagle Finland Oy.....	3
2	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	6
2.1	Tarkoitus.....	6
2.2	Tavoite ja tutkimuskysymykset.....	6
3	TAUSTAKARTOITUS.....	8
3.1	Kittilän kultakaivoksen laboratoriot.....	8
3.1.1	Metallurginen laboratorio .....	8
3.1.2	Analyttinen laboratorio .....	8
3.2	Rikastus.....	9
3.3	Malmi ja mineraalit .....	10
3.4	Analysoitavia alkuaineita.....	11
3.5	Näytteiden analysointi .....	12
3.5.1	Fire Assay -tekniikka .....	13
3.5.2	Gravimetrinen analyysi .....	14
3.5.3	Atomispektrometrit .....	14
3.5.4	XRF .....	16
3.5.5	Rikki- ja hiilianalysointit.....	17
3.6	Innovaatiot.....	18
3.7	Innovaatiojohtaminen .....	19
4	TUTKIMUSPROSESSI.....	22
4.1	Tutkimusmenetelmän valinta ja rajaus.....	22
4.2	Aineiston analyysi .....	24
4.3	Yhteenvedo .....	25
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	28
5.1	Analyttisen laboratorion toiminta .....	28
5.2	Esikäsittely .....	30

5.3	Kullan analysointi .....	32
5.4	Rikki- ja hiilipitoisuuksien määrittäminen .....	34
5.5	Arseeni- ja rautapitoisuuksien määrittäminen .....	35
6	TUTKIMUKSESSA ESILLE NOUSSEITA ASIOITA .....	38
6.1	Esikäsittely .....	38
6.2	Kullan analysointi .....	39
6.3	Rikin, hiilen, arseenin ja raudan analysointi.....	39
6.4	Käytössä olevat laitteet .....	40
6.5	Menetelmien muutosten hallinta ja johtaminen.....	41
7	POHDINTA .....	45
7.1	Luotettavuusarviointi .....	45
7.2	Tutkimustulosten tarkastelu .....	45
7.3	Tulosten hyödynnettävyys.....	47
	LÄHTEET .....	49

## KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Kuva Kittilän kaivoksen rikastamosta (Agnico Eagle Finland Oy 2018)	3
Kuvio 2. Kittilän kaivoksen rikastamon prosessikaavio (Agnico Eagle Finland Oy 2018).....	5
Kuvio 3. AAS-laitteen toiminta .....	15
Kuvio 4. Ideasta innovaatioksi (Yliherva 2006, 24) .....	19
Kuvio 5. Innovatiivisuusjohtamisen kulmakivet (Antola & Pohjola 2006, 170)...	21
Kuvio 6. Prosessin eri työvaiheiden pullonkaulan tunnistaminen (Six Sigma s.a) .....	24
Kuvio 7. Geologisten näytteiden käsittely- ja analysointiprosessi.....	29
Kuvio 8. Rikastenäytteiden käsittely- ja analysointiprosessi .....	29
Kuvio 9. Näyte-erän käsittelyyn ja analysointiin kuluva aika .....	30
Kuvio 10. Geologisten näytteiden esikäsittelyyn kuluva aika .....	31
Kuvio 11. Rikastenäytteiden esikäsittelyyn kuluva aika .....	32
Kuvio 12. Kullan määritykseen liittyvät työvaiheet.....	33
Kuvio 13. Rikin ja hiilen määritykseen menetelmällä 1 liittyvät työvaiheet.....	34
Kuvio 14. Rikin ja hiilen määritykseen menetelmällä 2 liittyvät työvaiheet.....	35
Kuvio 15. Geologisten näytteiden arseenin ja raudan määrityksiin liittyvät työvaiheet .....	36
Kuvio 16. Rikastenäytteiden arseenin ja raudan määritykseen liittyvät työvaiheet .....	36
Kuvio 17. Esimerkki SWOT-analyysistä uuden menetelmän käyttöönottoon ....	42

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Taustaa

Kaivoksissa louhitaan malmia, joka rikastetaan eli erotetaan arvomineraalit arvottomista. Rikastuksen onnistumisen toteamiseen tarvitaan mineraaleista pitoisuudet, jotka saadaan laboratoriossa analysoimalla. Lisäksi analyysituloksia tarvitaan kaivoksesta otetuista näytteistä malmin havaitsemiseksi. Analyysitulokset ovat erittäin tärkeitä kaivoksen ja rikastamon operoinnin kannalta.

Kittilän kultakaivoksen malmi louhitaan maanalaisesta kaivoksesta. Louhittu malmi nostetaan maanalaisesta kaivoksesta maan päälle ja kasataan malmikasoihin, jotka jaotellaan tiettyjen ominaisuuksien perusteella. Ominaisuudet ovat malmin sisältämät mineraalit ja niiden pitoisuudet, esimerkiksi kultapitoisuus. Näiden tietojen saaminen edellyttää näytteenottoa ja näytteiden analysointia malmin nostamista ennen malmin nostamista maan päälle. Saadun tiedon perusteella malmi voidaan nostaa ja kasata oikeaan malmikasaan.

Malmikasat luokitellaan analyttisen laboratorion tuottamien analyysitulosten perusteella. Eri malmikasojen mineraalipitoisuuksien perusteella tehdään rikastamon syötelle resepti, jolla tavoitellaan ja ohjataan rikastamon syötteen tasalautisuutta. Reseptillä pyritään vastaamaan kulloisenkin rikastamon tuotantotilanteen luomaa tarvetta. Resepti kertoo malmikasojen sekoitussuhteen eli mistä kasoista ja kuinka paljon malmia otetaan. Reseptin tarkoitus on saada rikastamon syöte pysymään stabiilina ja ennakoimaan tilanteita, jotka voivat olla prosessin ajolle haasteellisia. Analyysiviiveen kasvaessa malmikasojen hallinta vaikeutuu ja reseptin paikkansapitävyys saattaa kärsiä, jolloin analyysiviive vaikuttaa myös rikastamon toimintaan sekä erityisesti mahdollisuuksiin optimoida tuotantoprosessin eri vaiheita.

Rikastamon syötteen hyvä ennakointi edesauttaa rikastamon prosessin ajamisen tasaisuutta. Rikastamolla prosessia ja sen toimivuutta seurataan muun muassa ottamalla näytteitä prosessin eri vaiheista. Prosessinäytteistä tehtyjen analyysien perusteella voidaan ohjata ja optimoida rikastusprosessia. Lisäksi näytteiden perusteella voidaan todentaa rikastamon tuotantoa metalli- ja massataseiden laskemisen kautta.

Sekä malmista otetut tuotantonäytteet että rikastamon prosessinäytteet analysoidaan Kittilän kultakaivoksen analyttisessä laboratoriossa. Näin ollen analyttisen laboratorion toimintojen riittävä nopeus laadukkaitten tulosten tuottamiseen on ratkaisevaa tuotannon toimimiseen niin maanalaisessa kaivoksessa kuin rikastamollakin. Tulosten tuottamiseen tarvitaan toimivia ja luotettavia analyysiprosesseja sekä laadunhallintajärjestelmää.

Tämän työn tavoitteena on löytää mahdollisuuksia kehittää analyttisen laboratorion toimintaa, sekä löytää keinoja, joilla voitaisiin pienentää näytteiden analyysien viiveaikaa. Tutkimuksessa keskityttiin analyttisen laboratorion toimintoihin. Tutkimus tehtiin DMAIC-prosessin omaisesti tapaustutkimuksena. Aihe rajattiin selkeästi, jolloin tutkimus kohdistui analyttisen laboratorion menetelmiin ja koneisiin.

## 1.2 Agnico Eagle Finland Oy

Kittilän kaivosta operoi kanadalaisen kaivosyhtiön Agnico Eagle Mines Ltd:n tytäryhtiö Agnico Eagle Finland Oy. Agnico Eagle Mines Ltd:llä on toimintaa Suomen lisäksi Kanadassa, Yhdysvalloissa ja Meksikossa. Yhtiöllä on pitkä historia, ja se on perustettu vuonna 1972. Yhtiöllä on vuonna 2020 yhdeksän toiminnassa olevaa kaivosta, joista Kittilän kaivos on yksi. (Agnico Eagle Finland Oy 2018.)



Kuvio 1. Kuva Kittilän kaivoksen rikastamosta (Agnico Eagle Finland Oy 2018)



Kittilän kaivosta (kuvio 1) operoiva Agnico Eagle Finland Oy työllistää noin 460 henkilöä, mutta urakoitsijat mukaan luettuna henkilömäärä nousee yhteensä noin tuhanteen. Yli puolet kaivosyhtiön työntekijöistä on kittiläläisiä ja yli 90 prosenttia kaivosyhtiön työntekijöistä on Lapin kunnista. Kittilän kaivos on siis merkittävä työllistäjä Lapin alueella. Meneillään olevia hankkeista yksi merkittävä on kuilu-projekti, jolla saadaan nostettua tuotantokapasiteettia 1,6 miljoonasta tonnista 2,0 miljoonaan tonniin. Kaivoksen elinikä nykyisen arvion mukaan on vuoteen 2035 saakka. (Agnico Eagle Finland Oy 2018; Juvonen 2018.)

Kaivoshanke sai alkunsa, kun vuonna 1986 oli käynnissä Pokantien parannustyöt, jonka ansiosta kultaesiintymä löydettiin. Tuolloin löytyi kultahippuinen kivi, ja se toimitettiin Geologian tutkimuskeskukseen tutkimuksiin. Geologian tutkimuskeskus alkoi tutkia aluetta tarkemmin ja löysi alueelta kultaa. Riddarhyttan, Ruotsalainen malminetsintäyhtiö, kiinnostui kultatesiintymästä ja osti sen jatkaen alueen tutkimuksia. Agnico-Eagle Mines Ltd osti Riddarhyttanin osakekannasta 14 prosenttia vuonna 2004, ja seuraavana vuonna koko osakekannan. Tällöin aloitettiin Kittilän kaivoksen kannattavuusselvityksen teko. (Agnico Eagle Finland Oy 2018.)

Vuonna 2006 Kittilän kaivoksen kannattavuustutkimuksessa selvisi, että kultaesiintymän malmivarat olisivat 1,6 miljoonaa unssia kultaa. Tämän jälkeen tehtiin kaivoksen rakentamisesta päätös. Seuraavina vuosina jatkettiin laajoja tutkimuksia alueella, ja malmivaroja löytyi lisää. Kaivos sijaitsee hietovyöhykkeellä, ja sen suurimmat kultaesiintymät ovat Suuri, Roura ja Rimpi. Esiintymät koostuvat enimmäkseen refraktorisesta kullasta, eli kulta on jakautunut hienojakoisesti sulfidimnerealeihin. (Davies 2017, 151.)

Kittilän kaivoksen ensimmäinen kultaharkko valettiin vuonna 2009. Seuraavana vuonna aloitettiin tuotanto maanalaisessa kaivoksessa, sitä ennen malmi louhitettiin avolouhoksesta. Kokonaan malmintuotanto siirtyi maanalaiseen kaivokseen vuonna 2012. Vuonna 2014 saatettiin päätökseen rikastamon ensimmäinen laajennus. (Kittilän kaivos 2019.)

Vuonna 2020 malmi louhitaan ainoastaan maanalaisesta kaivoksesta. Malmia louhitaan noin 1,6 miljoonaa tonnia vuodessa. Kittilän kaivos tuottaa kultaa noin



## 2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

### 2.1 Tarkoitus

Tutkimuksen tarkoitus on löytää mahdollisuuksia kehittää analyyttisen laboratorion toimintatapoja sekä kartoittaa esteitä ja pullonkauloja toimintatavoissa, analyysitekniikoissa ja -menetelmissä. Analyyttisen laboratorion käyttämien analyysimenetelmien ja -tekniikoiden keskeisten tekijöiden tunnistaminen ja syvä ymmärtäminen on perusteena analyyttisen laboratorion toiminnan kehittämiseksi. Kittilän kaivoksen tuotannon kasvattamisen ja laajennuksien myötä näytemäärän analyyttiseen laboratorioon odotetaan kasvavan, mikä luo tarpeen kehittää toimintaa ja etsiä uusia innovatiivisia ratkaisuja toiminnan ohjaamiseen.

Analyyttinen laboratorio tuottaa paljon erilaisia tuloksia päivittäin. Aiheen rajaaminen laajasta toimintakentästä on tärkeää tutkimuksen kannalta. Kun aihe on rajattu riittävästi, voidaan tutkimuksessa syventyä hyvin kapeaan alaan analyyttisen laboratorion toiminnassa. Tarkoitus on saada syvää tietoa ja ymmärrystä rajatusta kokonaisuudesta, jolloin kyseistä toiminnan alaa voidaan kehittää ja johdattaa esimerkiksi uusien analyysimenetelmien käyttöön.

### 2.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on löytää innovatiivisia ratkaisuja tutkimuksen kautta ilmenneisiin haasteisiin ja ongelmiin. Lähtökohtaisesti analyyttisen laboratorion toiminnan on oltava laadukasta ja viiveetöntä. Maanalaisen kaivoksen tuottamien geologisten näytteiden ja rikastamon prosessista otettujen näytteiden analyysitulokset tulisi saada tuotannon käyttöön mahdollisimman nopeasti. Tutkimuskysymykset ovat

- Mitkä analyyttisen laboratorion toiminnan osa-alueet hidastavat analyysiprosessien kulkua?
- Millä keinoin hidastavien tekijöiden vaikutus analyysiviiveeseen voidaan minimoida tai mahdollisesti eliminoida?
- Miten kehitystyön tuomat uudet ratkaisut saadaan johdettua toimiviksi?

Laboratorion analyysimenetelmiä ja -tekniikoita kehittämällä voidaan vaikuttaa analyysiviiveeseen. Analyysiviivettä pienentämällä saadaan analyysitulokset nopeammin tuotannon käyttöön, ja siten ne mahdollistavat nopeamman reagoinnin

tuotannon optimointiin. Analyttisen laboratorion työpisteiden työvaiheiden uudelleen järjestelyillä voitaisiin saavuttaa ajansäästöä. Automatisoimalla joitakin työvaiheita mahdollisesti saadaan näytteenkäsittelyn laatua parannettua ja laboranttien työaikaa vapautettua muihin tai mahdollisesti uusiin työtehtäviin.

Uusien menetelmien ja innovatiivisten ratkaisujen käytäntöön vieminen saattaa aiheuttaa muun muassa muutosvastarintaa kaikissa muutosta koskettavissa osapuolissa. Johtaminen kyseissä tilanteissa on ratkaisevaa, ja sen rooli korostuu. Eri johtamistavoilla voidaan vaikuttaa muutosvastarinnan syntyyn tai mahdollisesti minimoida sitä. Henkilökunnan mukaan saaminen on ensiarvoisen tärkeää muutoksia tehdessä ja menetelmiä kehitettäessä. Kehityskohteenä olevan tutun ja hallitun työmenetelmän muutokseen tarvitaan soveltavia johtamismalleja. (Virtanen & Stenvall 2010, 211–216.)

### 3 TAUSTAKARTOITUS

#### 3.1 Kittilän kultakaivoksen laboratoriot

##### 3.1.1 Metallurginen laboratorio

Kittilän kaivoksella on kaksi laboratoriota, metallurginen ja analyttinen laboratorio. Metallurgisen laboratorion pääasiallinen tehtävä on tehdä rikastamon prosessista kerättävistä näytteistä erilaisia tutkimuksia ja testejä prosessin seuraamisen ja optimoinnin sekä metallurgisten tutkimusten tukemiseen. Metallurgisessa laboratoriossa ei varsinaisesti analysoida näytteitä, vaan siellä tehtyjen metallurgisten tutkimusten ja testien näytteet analysoidaan lähtökohtaisesti aina analyttinen laboratorio. Testi- ja tutkimusnäytteistä saatavilla tuloksilla voidaan prosessin ohjaamisen lisäksi optimoida rikastusprosessia. Metallurginen laboratorio sijaitsee rikastamolla, joten sijainti on optimaalinen prosessinäytteiden keräämisen kannalta katsoen.

##### 3.1.2 Analyttinen laboratorio

Kittilän kaivoksen analyttisen laboratorion pääasiallisena tehtävänä on tuottaa analyysituloksia tuotannon käyttöön. Rikastamon prosessi-, testi- ja tutkimusnäytteiden lisäksi näytteitä vastaanotetaan maanalaisesta kaivoksesta. Maanalaisen kaivoksen tuotantonäytteet kulkeutuvat geologisen yksikön kautta analyttiseen laboratorioon esikäsitteltäväksi ja analysoitavaksi. Analyysitulokset raportoidaan geologiselle yksikölle, joka tulkitsee näytteiden tulokset ja saattavat tarpeellisen tiedon eteenpäin. Tämän vuoksi maanalaisen kaivoksen tuotantonäytteitä kutsutaan geologisiksi näytteiksi.

Analyttisen laboratorion analysoimista tuotantonäytteistä tärkeimmät näytteet ovat rikastamon vuorokausinäytteet ja maanalaisesta kaivoksesta kerättävät geologiset näytteet. Analyttisen laboratorio on toiminnassa vuoden jokaisena päivänä keskeytyvänä yksivuorojärjestelmänä johtuen maanalaisen kaivoksen ja rikastamon keskeytymättömästä toiminnasta. Analyttinen laboratorio sijaitsee Kittilän kaivoksen geologisen yksikön näytteenkäsittelytilojen läheisyydessä, jolloin geologisten näytteiden logistiikka sujuu mutkattomammin.

Koska analyyttisen laboratorion tuottamia tuloksia käytetään tuotannon ohjaamiseen sekä optimointiin, on tulosten oltava luotettavia ja saatavilla tavoiteaikataulussa. Tulosten luotettavuus todennetaan sisäisellä laatujärjestelmällä. Laatujärjestelmän mukaisen laadun seuranta ja tarkkailu analyyttisessä laboratoriossa on hyvin samankaltainen kuin Agnico Eagle Mines Ltd:n muissakin laboratorioissa. Toinen tärkeä tekijä tulosten luotettavuuden lisäksi on saada näytteiden analyysitulokset tuotannon käyttöön mahdollisimman nopeasti operoinnin onnistumisen takaamiseksi niin rikastamalla kuin maanalaisessa kaivoksessa.

Analyyttinen laboratorio on ollut toiminnassa kaivoksen avaamisesta lähtien vuodesta 2008. Tärkeimmät analyysimenetelmät ja -tekniikat ovat olleet kutakuinkin samat alusta lähtien. Toimintavuosien aikana on tehty muutoksia, joilla on saatu optimoitua analyysimenetelmiä ja niihin kuluva aikaa, ja sitä kautta analyysiviive on saatu lyhentymään alkuperäisestä. Tuotannon kasvettua, näytemäärien lisääntyä ja analyysitarpeiden lisääntyessä analyyttisen laboratorion henkilöstö- ja laiteresursseja on kasvatettu vuosien aikana. Analyyttisen laboratorion toiminnan kannalta katsoen joidenkin kriittisten laitteiden elinkaari alkaa tulla päätökseen ja korvaavien laitteiden hankinta tulee lähiaikoina ajankohtaiseksi. Tässä tutkimuksessa pureudutaan analyyttisen laboratorion käytössä oleviin analyysimenetelmien ja laitteiden tuomiin pullonkaulojen tunnistamiseen, menetelmien kehittämiseen, nykyisten laitteiden hyödyntämisen kehittämiseen ja siihen, miten tutkimuksessa löydetyt ratkaisut saadaan johdettua käytäntöön.

### 3.2 Rikastus

Arvomineraalien erottamista arvottomista mineraaleista kutsutaan rikastamiseksi. Louhitusta malmista, joka syötetään rikastamolle, rikastetaan arvomineraalit. Näin ollen arvokasta rikastettua mineraalia kutsutaan rikasteeksi ja arvotonta jätteeksi. Rikastuksen tulee tapahtua mahdollisimman selektiivisesti ja kustannustehokkaasti. (Hukki 1964, 306.)

Yksi tärkeä osa rikastustoimintaa on massa- ja metallitaseiden laskeminen. Tuotantoa seurataan kvantitatiivisesti, kvalitatiivisesti sekä taloudellisesti. Kvantitatiivinen tarkoittaa tuotteiden määrän seuraamista, ja kvalitatiivinen tarkoittaa tuotteiden laadun, saannin sekä pitoisuuksien seuraamista. Taloudellinen seuraami-

nen tarkoittaa budjetoidun taseen sekä toteutuneen tuloksen keskenään vertailua. Nämä kolme asiaa yhdessä muodostavat rikastamon tuloksen. Taseen avulla seurataan rikastamon tuotteiden laatua ja tuottoa. (Tirri 1994, 136.)

Vain taseiden laskemisella voidaan osoittaa suoriutumisen taso rikastusprosessissa. (Wills & Napier-Munn 2006, 64–86.) Taseiden laskemiseen pätee massan häviämättömyyden laki eli massan säilyvyyden laki. Prosessissa ei synnytetä, eikä tuhota, massaa. Yksinkertaisesti ilmaisten prosessiin sisään menevä massa tulee prosessista myös ulos. Taseiden laskemiseen tarvitaan prosessimittausten lisäksi prosessista kerättyjä näytteitä, joista analysoidaan tarvittavat mineraalit ja alkuaineet. (Whitnell & Toner 1969, 99.)

### 3.3 Malmi ja mineraalit

Mineraaleilla on kemiallinen koostumus (Juntunen 2012, 9) ja ne ovat tavallisesti kiteisessä olomuodossa. Mineraali voi koostua yhdisteistä tai se voi olla alkuaine, kuten kulta. Kivilaji sisältää yleensä 3-5 erilaista mineraalia (Turunen 2018). Atomit muodostavat molekyylejä ja yhdisteitä, jotka puolestaan muodostavat mineraaleja. Mineraalit muodostavat kivilajeja (Turunen 2018).

Kaiva.fi-sivustolla (Kaiva.fi) malmi määritetään sellaiseksi luonnolliseksi mineraaliesiintymäksi, jota voidaan taloudellisesti hyödyntää ja tuottaa metalleja tai teollisuusmineraaleja. Taloudellinen näkökulma on otettu esille myös teoksessa Kaivos- ja louhintatekniikka (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 50–52), jossa todetaan malmin olevan taloudellinen käsite. Kirjoittajat perustelevat toteamusta sillä, että malmin on sisällettävä riittävästi arvoainesta, jotta sen hyödyntäminen on taloudellisesti kannattavaa.

Malmiarviota tehtäessä otetaan huomioon teknis-taloudellisia tekijöitä, jotka liittyvät muun muassa malmin louhintaan, metallurgiaan, taloudellisuuteen sekä tuotemarkkinoihin (Paalumäki ym. 2015, 50). Perusedellytys kaivostoiminnalle on, että olemassa oleva mineraaliesiintymä voidaan taloudellisesti hyödyntää. Sijainnin tulee olla infrastruktuuriin nähden suotuisa, ja syntyvillä tuotteilla on markkinat. Lisäksi esiintymän tulee olla riittävä, jotta sillä saadaan katettua toiminnasta syntyvät kustannukset sekä takaavat tuoton sijoitetulle pääomalle. (Paalumäki ym. 2015, 55.)

Kittilän kultakaivoksen malmi on enimmäkseen refraktorista kultaa, eli kulta on jakautunut hienojakoisesti sulfidimineraaleihin (Davies 2017, 151). Härkösen (1997) GTK:lle tekemien tutkimusten mukaan yli 90 prosenttia kullasta on sitoutuneena arseeni- ja rikkikiisun hilaan refraktorisena.

### 3.4 Analysoitavia alkuaineita

Kulta kuuluu jaksollisessa järjestelmässä metallien ryhmään. Kullan järjestysluku jaksollisessa järjestelmässä on 79. Kemiallinen merkki on Au, joka tulee latinan-kielisestä nimestä Aurum, joka tarkoittaa hohtavaa sarastusta. Kullan tiheys on  $19,32 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Kulta johtaa hyvin sähköä ja lämpöä. Kulta ei syövy, ja sillä on korkeat sulamis- ja kiehumispisteet. Kulta sulaa  $1063 \text{ }^\circ\text{C}$  asteessa. Kulta on pehmeämpää metallia kuin esimerkiksi hopea mutta kovempaa kuin tina. (Rose & Merloc, 2008, 1–7.)

Kullan analysointimenetelmät voidaan karkeasti jakaa kahteen osioon näytteen sisältämän kullan tuhoutumisen tai menettämisen mukaan. Esimerkiksi XRF-laitteella mitattu näyte pysyy muuttumattomana, kun taas Fire Assay -menetelmää käyttäen mitatun näytteen kulta menetetään liuokseen. (Nor, Tamuri & Ismail 2019.)

Rikkiä esiintyy sulfidi- ja sulfaattimineraaleissa, mutta sitä löytyy myös alkuaineena. Rikkikiisu  $\text{FeS}_2$ , kuparikiisu  $\text{CuS}_2$ , magneettikiisu  $\text{FeS}$  ja sinkkivälke  $\text{ZnS}$  ovat tärkeimmät sulfidimineraalit. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä & Pohjakallio 2014, 244–245.) Härkösen (Härkönen, 1997) mukaan Kittilän kaivoksen kulta on pääasiassa arseenikiisun,  $\text{AsFeS}$ , ja rikkikiisun hilaan sitoutuneena.

Hiili esiintyy kolmessa eri muodossa eli alkuainehiilenä, epäorgaanisena hiilenä ja orgaanisena hiilenä, jotka hiiltä analysoidessa muodostavat yhdessä kokonaihiilen. Alkuaine hiilimuotoja ovat antrasiitti, grafiitti ja kivihiili. Epäorgaaniset hiilimuodot ovat maaperässä ja sedimenteissä tyypillisesti karbonaatteina. Kaksi yleisintä maaperässä olevia karbonaattimineraaleja ovat kalsiitti,  $\text{CaCO}_3$ , ja dolo-miitti,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_3$ . Orgaanisen hiilen muodot ovat peräisin kasvien ja eläinten hajoamisesta. (Schumacher 2002, 1–2.) Hiilen analysointi prosessin eri vaiheista on tärkeää, esimerkiksi hiilivaahdotuksen onnistumista voidaan laskea tulosten perusteella.



Arseeni on jaksollisessa järjestelmässä 33. alkuaine. Arseenin kemiallinen merkki on As. Arseenin tiheys on 5,78 kilogrammaa litrassa. Arseenia esiintyy maankuoressa, mutta vapaassa muodossa se on harvinainen. Tyypillisesti arseeni esiintyy mineraaleissa, kuten arsenopyriitissä,  $\text{FeAsS}$ . Arseeni esiintyy luonnossa epäorgaanisena ja orgaanisena, joista epäorgaanisella arseenilla on haitallisempia terveysvaikutuksia. Arseenia voidaan löytää esimerkiksi kaivovestistä isohkoissakin pitoisuuksissa. (Pedersen 2016.)

Metallinen arseeni ei ole vesiliukoinen, mutta se liukenee typpihappoon. Metallinen arseeni on väriltään harmaata. Seosaineen arseenia ja sen epäorgaanisia yhdisteitä käytetään esimerkiksi elektroniikkakomponenttien sekä lasin ja keraamiikan valmistuksessa. Käyttömäärät ovat kuitenkin pieniä. Arseenia esiintyy myös epäpuhtautena fossiilisten polttoaineiden tuhkassa. (Työterveyslaitos s.a.)

Rauta on maankuoressa toiseksi yleisin alkuaine, ja sitä esiintyy keskimäärin 4,7 prosenttia maankuoressa. Yleisin rautaa sisältävä mineraali on magnetiitti,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Muita rautaa sisältäviä mineraaleja ovat hematitiitti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ja rikkikiisu eli pyriitti  $\text{FeS}_2$ . Puhdas rauta on metallinhohtoista, hopeanväristä ja pehmeää metallia. Metalliseokset, jotka sisältävät rautaa, ovat yleensä kovia, esimerkiksi teräs. (Ojala 2009, 11; Metla s.a.)

### 3.5 Näytteiden analysointi

Näytteen tai tutkittavan aineen analyysillä tarkoitetaan kohteen koostumuksen määrittämistä kemiallisin tai fysikaalisin keinoin. Määritettävää ainetta kutsutaan analyytiksi. Analyysi voi olla kvalitatiivinen eli laadullinen tai kvantitatiivinen eli määrällinen. Usein analyysimenetelmät perustuvat kemiallisiin tai fysikaalisiin reaktioihin. Instrumenttianalytiikka mittaa usein fysikaalisia suureita, esimerkiksi sähkönjohtokykyä, jännitettä tai valon absorptiota. (Opetushallitus s.a.)

Ennen näytteiden analysointia tulee tehdä suunnitelma, josta selviää, mitä tietoa näytteistä tarvitaan ja millä tarkkuudella tieto on riittävä tarkoitukseensa. Tällöin voidaan valita analysointimenetelmä näytteelle. Näytteelle tehdään usein esikäsittely ennen analysointia. Esikäsittelyn tarkoitus on monesti pienentää näytteen partikkelikoon muuttaminen analysointimenetelmälle sopivaksi ja veden poistaminen. (Opetushallitus s.a.)

### 3.5.1 Fire Assay -tekniikka

Kullan analysoinnin vanhin menetelmä on nimeltään Fire Assay, ja se on ollut käytössä jo 2000 ennen Kristuksen syntymää. (Santos-Munguia, Nava-Alonso & Rodriguez-Chavez 2019, 2). Tekniikka on nykyään kansainvälisesti hyväksytty menetelmä kullan määrittämiseen (Singh, N. 2012, 1). Fire Assay -menetelmä on kvantitatiivinen kemiallinen analyysi, jonka avulla metallit erotetaan sekä mitataan malmeista sekä metallurgisista tuotteista. Tarkoituksena on muodostaa sopivissa olosuhteissa, muun muassa lämpö ja erilaiset reagenssit, näytteestä ja reagensseista sulaa massaa, joka koostuu ainakin kahdesta faasista, kompleksisesta nestemäisestä borosilikaattikuonasta ja nestemäisestä lyijyfaasista. Tarkoituksena on saada epäpuhtaudet siirtymään borosilikaattikuonaan ja jalometallit puolestaan lyijyfaasiin. Kun siirtymälle on annettu riittäväsi aikaa, kaadetaan sula massa valumuottiin, jossa lyijyn ja kuonan ominaispainojen suuri ero saa faasit erottumaan toisistaan. Lyijyfaasi erottuu lejeerinkinä muotin pohjalle, ja jäähtyessään lyijylejeerinki, sekä kuona, muuttuvat kiinteään olomuotoon, jolloin faasit saadaan erotettua toisistaan. Lyijy poistetaan lyijyoksidina huokoisessa näytepokkaassa, jota kutsutaan kupelliksi. Riittävän kuumissa olosuhteissa lyijy saadaan sulamaan uudelleen, jolloin kupelli absorboi lyijyn itseensä erottaen sitten jalometallit lyijystä. Lopputuloksena kupelliin jää helmi, josta analysoidaan jalometallien pitoisuudet. (Haffty, Riley, & Goss 1997, 1.)

Kinneberg, Williams ja Agarwall toteavat julkaisussaan (1998, 2), että Fire Assay -menetelmällä ei saada mitattua näytteestä epäpuhtauksia, vaan tuloksena on jalometallin pitoisuus alkuperäisessä näytteessä. Tämä pätee varsinkin puhuttaessa kultaharkoista, joissa kultapitoisuus on suuri. Fire Assay -menetelmää on tutkittu paljon, esimerkiksi Santos-Munguia ynnä muut mainitsevat Fire Assay -menetelmän olevan kullan ja hopean määrittämisessä tutkittu täysin, selitetty ja validoitu (Santos-Munguia, Nava-Alonso & Rodriguez-Chavez 2019, 2). Tästä syystä menetelmä on maailmalla yleisesti käytössä. Menetelmänä Fire Assay on aikaa vievää ja vaatii asiantuntemusta. Menetelmä on monivaiheinen, jolloin jokainen vaihe tuo menetelmään epävarmuutta tulosta tarkasteltaessa (Singh 2012, 2).

Fire Assay -menetelmä vaatii laitteistoa eli sulatusuunin ja kupelliuunin, joilla saadaan aikaiseksi riittävä lämpötila. Uuneja tulee olla vähintään kaksi, koska sulatus ja kupelointi tapahtuvat eri lämpötiloissa. Lisäksi tarvitaan upokkaita, kupelleja ja erilaisia työskentelyvälineitä, kuten hankoja, joilla voidaan siirtää kuumia upokkaita ja kupelleja. (Bugbee 1922, 16–30). Fire Assay —ekniikan avulla saadaan kulta erotettua muista mineraaleista, mutta itse kullan mittaukseen käytetään erilaisia menetelmiä.

### 3.5.2 Gravimetrinen analyysi

Gravimetrinen analyysi tarkoittaa sitä, että näytteen massaa käytetään alkuperäisen analyytin määrän laskemiseen. Tutkittavasta näytteestä tehdään esimerkiksi näytteestä liuottamalla sakka, jossa on tutkittava analyytti. Saadun sakan massaa verrataan alkuperäisen näytteen massaan, jolloin laskemalla saadaan määritettyä analyytin alkuperäinen pitoisuus näytteessä. (Harris 2010, 673–675.)

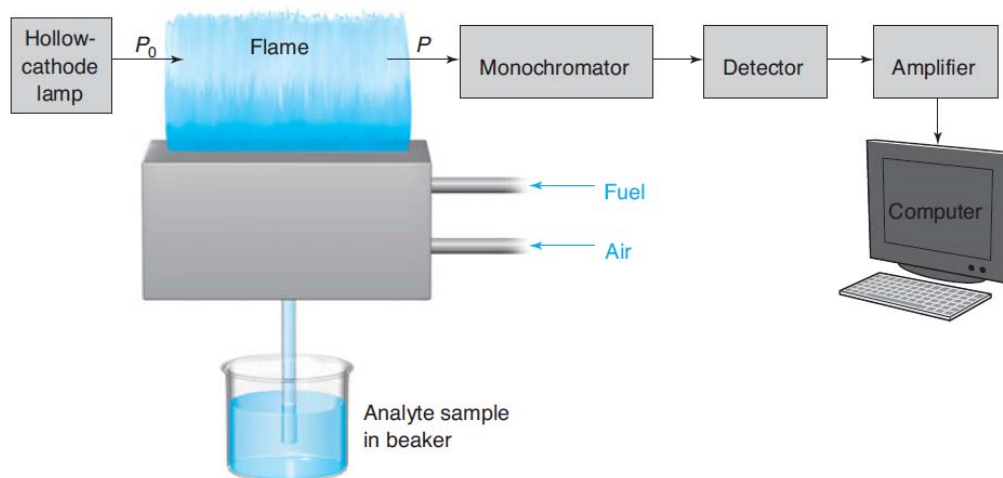
Kullan määrittäminen gravimetrisesti tehdään käyttämällä ensin Fire Assay -tekniikkaa, jolloin saadaan aikaiseksi helmi. Helmi sisältää muun muassa kultan. Helmestä liuotetaan typpihapolla muut metallit kuin kulta pois. Ennen hapon lisäämistä helmi käsitellään kevyesti vasaroimalla, jolloin helmeen tulee pieniä rakoja ja typpihappo pääsee myös helmen sisälle liuottamaan muita metalleja. Lopuksi helmi huuhdellaan tislatulla vedellä hapon poistamiseksi. Helmi käytetään kuumassa uunissa happokäsittelyn ja huuhtelun jälkeen, koska helmen pintaan mahdollisesti jäävä hopeakloridi ja -nitraatti saadaan sulamaan ja haihtumaan pois ja jäljelle jää puhdas kulta. (Wiyantoko 2018, 9–11.)

### 3.5.3 Atomispektrometrit

Atomispektroskopiassa analysoitava alkuaine atomisoidaan liekissä, sähkölämmitteisessä uunissa tai plasmassa, joista liekkitekniikka on yleisin atomisointitapa. Atomiabsorptiospektrometriä (AAS, atomic absorption spectrometry) käytetään metallien määrittämiseen liuoksista. Tekniikalla ei voida mitata yhdisteitä, vaan näytteen sisältämät yhdisteet on hajotettava atomimuotoon. Liuosta sumutetaan liekkiin, jossa se höyrystyy. (Jaarinen & Niiranen 2005, 69–72.) Liekkiin suunnataan tutkittavalle alkuaineelle aallonpituudeltaan ominaista valoa, jolloin kaasutilassa olevat näytteen atomit absorboivat voimakkaasti valoa. Valon voi-

makkuutta mitataan ja valon voimakkuuden vaimeneminen on suoraan verrannollisen näytteen sisältämän alkuaineen pitoisuuden kanssa. Grafiittiuunia käytämällä atomisointi tapahtuu liekittömästi sähkövirran avulla. (Harris 2010, 482.)

Kuviossa 3 on esitetty AAS-tekniikan toiminta. Kammioon syötetään polttoainetta eli kaasua, hapetinta ja näytettä. Yleisin polttoaineen ja hapettimen seos koostuu asetyleenistä ja hapesta. Näyteliuos kulkee ohuen sumuttimen kapillaarisen neulan läpi, jolloin se hajoaa hienoksi sumuksi. Sumu ohjautuu kammiossa olevaan palloon, jolloin sumu murtuu vielä pienemmiksi partikkeleiksi, jolloin se muuttuu suspensioksi kaasussa eli aerosoliksi. Toisin sanoen sumutin muodostaa aerosolin nestemäisestä näytteestä. Aerosoli ohjautuu liekkiin. Alkuperäisestä näytteestä noin viisi prosenttia menee aerosolin mukana liekkiin. Liekkiin tulevat pisarat haihtuvat, ja jäljelle jäävä kiinteä aine höyrystyy ja muuttuu atomeiksi, jotka virittyvät. Ylimääräinen neste kerääntyy kammion pohjalle, ja sitä kautta viemärin kautta jätteeseen. Liekin leveys on tyypillisesti 10 senttimetriä, ja ontokatodilampun tuottama valo kulkee koko liekin läpi. (Harris 2010, 482–483.)



Kuvio 3. AAS-laitteen toiminta

Sähkölämmitteinen grafiittiuuni on herkempi kuin liekki. Se johtuu siitä, että liekkimenetelmällä näyte on alle sekunnin liekissä mitattavana, kun grafiittiuunissa se on useita sekunteja. Näytettä yhteen mittaukseen grafiittiuunilla tarvitaan 1–100 mikrolitraa, liekkimenetelmällä näytettä tarvitaan vähintään 1–2 millilitraa. Lampun tuottama valo kulkee grafiittiuunin läpi. (Harris 2010, 482–484.)

ICP lyhenne tulee englanninkielen sanoista inductively coupled plasma. Laitte on korvannut monessa laboratoriossa liekkiatomiabsorptiospektrometrin, koska laitteen korkea lämpötila, stabiilius ja inertti argon-ympäristö eliminoivat suuren osan liekin aiheuttamista häiriöistä. Laitteen lämpötila on useita tuhansia asteita. Laitteella voidaan mitata yhdellä mittauksella useita eri analyyttejä. Laitteessa on induktiivisesti kytketty plasmapoltin, jonka ympärillä on käämit. Näyte johdetaan kantokaasun mukana polttimoon aerosoloina. Plasma aiheuttaa näytteen liuottimen haihtumisen ja näyte höyrystyy. Höyrystymisen jälkeen näyte atomisoituu ja osittain ionisoituu. Atomit ja ionit virittyvät plasmassa. Atomit ja ionit emittoivat kullekin alkuaineelle tyypillistä elektromagneettista säteilyä viritystilan purkautuessa. Emittoituminen tuottaa valoa. (Harris 2010, 486–496.)

Sekä atomiabsorptiospektrometrin että ICP:n tekniikassa synnytetään valoa, joka kulkeutuu liekistä monokromaattorin kautta detektorille, joka mittaa saapuneen valon. Valon intensiteetti kertoo, kuinka paljon mitattavaa analyyttiä oli alkuperäisessä näytteessä, kun sitä verrataan laitteen kalibrointiin kyseiselle analyyttille. (Harris 2010, 486–496.)

#### 3.5.4 XRF

XRF lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista X-ray fluorescence spectrometry eli röntgenfluoresenssispektroskopia. XRF on analyttinen menetelmä, jolla voidaan määrittää erilaisten materiaalien kemiallinen koostumus. Materiaalit voivat olla erilaisissa olomuodoissa eli kiinteässä, nestemäisessä, jauhemaisessa, suodatetussa tai jossain muussa muodossa. XRF-mittaamisen etu on, ettei näyte tuhoudu mittaamisen aikana. Lisäksi etuina ovat myös mittauksen nopeus sekä esikäsitteilyn vähäinen tarve.

Brouwerin (Brouwer 2018, 5–7) mukaan spektrometrijärjestelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään:

- energiahajotusjärjestelmät (EDXRF) ja
- aallonpituusjakautuvat järjestelmät (WDXRF).

Analysoitavat alkuaineet ja niiden havaitsemistasot riippuvat käytetystä spektrometrijärjestelmästä. Yleensä EDXRF:n alkuainealue alkaa natriumista ja loppuu uraaniin. WDXRF:n alkuainealue on leveämpi, berylliumista uraaniin. Pitoisuusalue on ppm-tasoista 100 prosenttiin saakka. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että

alkuaineilla, joilla on iso atominumero, on paremmat havaitsemisrajat kuin kevyemmällä alkuaineilla. XRF-analyysin tarkkuus ja toistettavuus on hyvä, riippuen alkuaineesta ja sen pitoisuudesta. Näytteen mittausaika riippuu määritettävien alkuaineiden lukumäärästä ja niiden vaaditusta tarkkuudesta. Mittausaika vaihtelee sekunneista puoleen tuntiin.

Mittaus tapahtuu siten, että näytettä säteilytetään jatkuvalla röntgensäteellä, jolloin näytteessä olevat atomit ionisoituu. Röntgensäteilyn tuottaman fotonin osuessa atomin elektroniin, se irtoaa orbitaaliltaan muodostaen vapaan paikan. Fotonin energian tulee olla isompi kuin elektronin. Atomi on tuolloin epävakaa tilassa ja se pyrkii korjaamaan tilanteen siirtämällä ulommalta orbitaalilta elektronin paikkaamaan syntyneen tyhjän paikan. Poislähteneen elektronin energia on pienempi kuin ulomman kuoren elektronin, jolloin energioiden erotus emittoituu fluoresenssisäteilynä. Säteily mitataan, ja saatua mittaustulosta verrataan tunnettuihin kalibrointinäytteiden tuloksiin, jolloin voidaan laskea näytteessä olevan alkuaineen pitoisuus. Alkuaineet erotetaan energiatasojen perusteella, jokaisella alkuaineella on oma energiatasonsa. (Amptek s.a.)

EDXRF-laitteen detektori mittaa säteilyä suoraan näytteestä. WDXRF puolestaan mittaa näytteestä emittoituneen säteilyn, mutta se hajottaa säteilyn analyysikiteen avulla. Tällöin detektori mittaa tiettyä energiaa, joka on alkuaineelle ominaista säteilyä. (Brouwer 2018, 21–22.)

### 3.5.5 Rikki- ja hiilianalysointit

Analysointilaitteita, joilla voidaan mitata kiintoaineesta rikki ja hiili, on markkinoilla erilaisia. Kun tarkoitus on mitata hiiltä, rikkiä ja orgaanista hiiltä kiintoainenäytteestä käytetään menetelmänä laitteita, joissa näytteessä oleva hiili ja rikki poltetaan korkeassa lämpötilassa happiatmosfäärissä, jolloin läsnä oleva rikki ja hiili hapettuvat ja muodostavat hapen kanssa rikkidioksidia ja hiilidioksidia. Palamiskaasut johdetaan suodattimien kautta infrapunakennolle. (Eltra 2017, 5–6; Leco 2019.)

Infrapunakenno mittaa sinne saapuneesta palamiskaasusta rikkidioksidin ja hiilidioksidin määrää, jonka perusteella laitteen ohjelma laskee näytteen sisältämän riksin ja hiilen pitoisuudet käyttäen laitteen kalibrointia. Kalibrointi suoritetaan referenssinäytteillä, joiden rikki- ja hiilipitoisuudet tunnetaan. Analysointilaitteisiin on

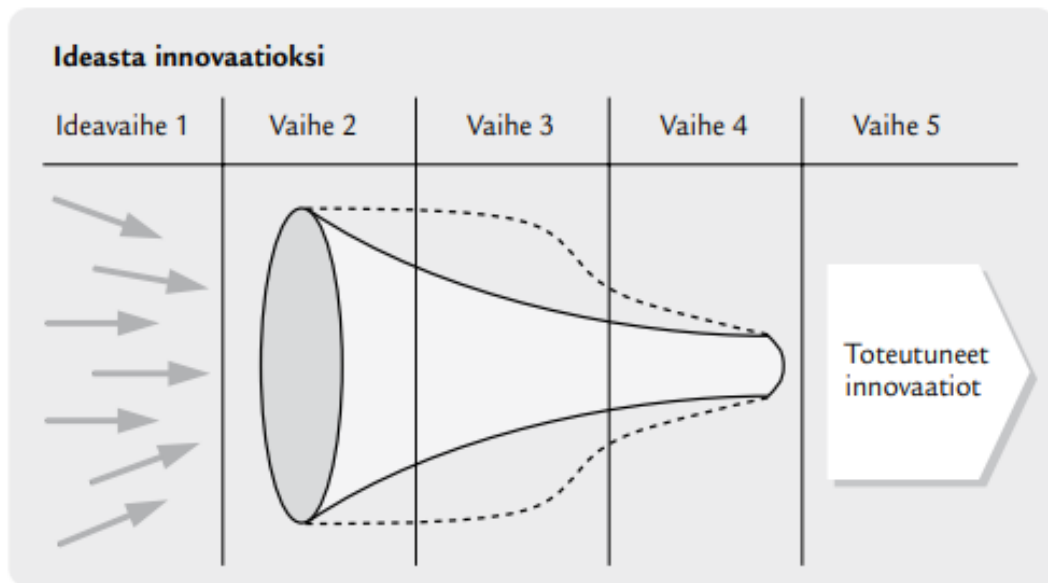
mahdollista lisätä yksikkö, jolla saadaan mitattua epäorgaanisen hiilen pitoisuutta. Näyte asetetaan lisäyksikön sisälle, jossa se käsitellään happoliuoksella. Tällöin näytteen sisältämä epäorgaaninen hiili muuttuu hiilidioksidiksi, joka johdetaan laitteen infrapunakennolle mitattavaksi. (Eltra 2017, 7–10.)

### 3.6 Innovaatiot

Innovaatioilla voidaan luoda taloudelle ja yhteiskunnalle kehitystä ja tuottavuutta. Tuottavuudella tarkoitetaan usein työn tuottavuutta eli kuinka paljon työpanoksella saadaan tuotantoa. Työn tuottavuuden kasvulla tarkoitetaan, että työpanoksella tuotettu määrä kasvaa. Tuottavuuteen vaikuttavat useat eri tekijät, esimerkiksi tuotantoprosessin vaiheet, työn organisointi ja laadulliset tekijät, kuten olemassa olevan osaamisen hyödyntäminen. Tuottavuutta voidaan kasvattaa kehittämällä ja muuttamalla toimintatapoja. Toisin sanoen, jos tuottavuutta halutaan kasvattaa, organisaation nykyiseen toimintaan edellytetään muutosta. Muutos tuo mukanaan kehittymistä ja uudistumista. (Hautamäki 2008, 90–95.) Ylihervan (2006, 15–17) mukaan tuottavuus, uudistuminen ja innovaatio kytkeytyvät kiinteästi yhteen.

Innovaatio ja innovatiivisuus liitetään usein teknologisiin kehityksiin tai uusiin tuotteisiin. Lähtökohtaisesti ajatellaan uusien innovaatioiden olevan lähtöisin yritysten tuotekehitys- ja tutkimusyksiköistä. Innovatiivisuus kattaa kuitenkin laajempia ilmentymiä, kuten palveluita, prosesseja, markkinointia ja johtamista. (Yliherva 2006, 15, 23.) Antolan ja Pohjolan (2006, 20–23) mukaan innovaatiota ovat liiketoimintaa kasvattavat ja toimintaa tehostavat toimet sekä yrityksen toimintaa vahvistavat ja työntekijöitä motivoivat uudet käytännöt. Innovaation lähteitä ovat usein organisaatioiden rajapinnat, joissa yhdistetään luovuutta ja osaamista.

Innovaatiota ei synny ilman ideaa. Useista ideoista vain muutamasta saattaa jatkopaljastua uusi innovaatio. Isommilla työnantajilla on käytössä aloitejärjestelmä, joka on usein helppo tapa kerätä uusia ideoita työntekijöiltä. Aloitejärjestelmän tulisi toimia ripeästi ja ideoiden käsittely tulee olla asiallista. Tämä viestii idean tekijälle, että tekijää ja hänen työpanostaan arvostetaan. Palkitsemiskäytäntö aloitejärjestelmässä tulee olla myös oikeudenmukainen. (Antola & Pohjola 2006, 69–74.)



Kuvio 4. Ideasta innovaatioksi (Yliherva 2006, 24)

Kuviossa 4 on esitettyä ideoiden muuttumista innovaatioksi. Kuvassa oleva suppilo kuvaa sitä, että ideoiden käsittely eri vaiheissa suodattaa hyvät ja toimivat ideat innovaatioiksi. Ideavaiheessa on oivallettu ja havaittu jokin tarve tai puute, jonka korjaamiseksi on saatu idea. Idea siirtyy seuraavaan vaiheeseen, jossa idean toteuttamiskelpoisuutta ja tarpeellisuutta punnitaan. (Yliherva 2006, 24.) Tässä vaiheessa myös tehdään päätös onko idean jatkojalostaminen hyödyttävää. Kun idea on edennyt vaiheesta toiseen ja päättyy esimerkiksi uudeksi tuotteeksi tai toimintamalliksi, voidaan sitä kutsua innovaatioksi. (Fogelholm 2009, 14–15.)

### 3.7 Innovaatiojohtaminen

Uusien innovaatioiden kehittäminen on osa kestävästä kehitystä. (Hautamäki 2008, 90–95.) Kuten aikaisemmin on todettu, innovaatio ei tarkoita pelkästään teknologista kehitystä ja uusia tuotteita, vaan se on myös jatkuvaa ja osallistavaa innovointia sekä innovatiivisia johtamismalleja. Johtaminen voidaan jakaa karkeasti kahteen pääkategoriaan eli Management- ja Leadership-johtamiseen. Management-johtamisen tunnusomaisia piirteitä ovat muun muassa auktoriteetti, vallan keskittäminen, organisaation moniportaisuus, ylhäältä alas käskytyks ja työroolien yksityiskohtaiset kuvaukset. Leadership-johtamisen piirteisiin kuuluvat puolestaan muun muassa vallan jakaminen, uuden tiedon luonti, voimaantumi-



nen ja innovatiivisuus. Leadership-johtaminen tukee siis innovatiivisuutta sallivuudellaan. Mikäli halutaan saavuttaa luova ja innovatiivinen työilmapiiri, johtamisen lähtökohdaksi tulisi asettaa Leadership-johtaminen. (Heikkilä 2010, 304-305.)

Johtajuus nähdään usein perinteisessä valossa management-johtajuutena. Ojan Pro gradu -tutkielman mukaan on erittäin suuri ero, puhutaanko johtajuudesta vai hallitsemisesta. Johtajuudessa johtajilla on visio ja he omaavat luovan ajattelutavan. Näillä elementeillä he pyrkivät ajattelemaan toisin. Hallitseva johtaja keskittyy johtamiseen ja pyrkii parantamaan olemassa olevia asioita. Koska innovointi on asioiden parantamista ja uudelleen tekemistä, pitäisi johtamistyyli olla symbioosi sekä johtajuudesta että hallitsemisesta. (Oja 2017, 35–36.)

Innovatiiviselle organisaatiolle tunnusomaista on hyväksyvä ja salliva ilmapiiri, joka tukee kokeiluja. Sallittuja elementtejä ovat myös riskinotto, epäonnistuminen ja erehdykset, joista opitaan yrityksen ja erehdyksen kautta. Näiden elementtien hyväksymisestä osaksi työskentelyä voidaan saavuttaa isoja läpimurtoja innovaatioiden avulla. (Heikkilä 2010, 302–306.) Yritysten ja erehdysten, eli käytännöllisten kokemusten, kautta opitaan niin kutsuttua hiljaista tietoa. Hiljainen tieto rakentuu pääasiassa paikallisesti ja ilmenee muun muassa tiettyinä toimivina toimintatapoina. (Nuutinen s.a.) Hiljaisella tiedolla on havaittu olevan merkitystä menestyksessä työssä. Innovaatiojohtamisen yksi haasteista onkin luoda työpaikalle innostava ilmapiiri, joka kannustaa ideointiin ja innovointiin. (Antola & Pohjola 2006, 69–74.)

Oja esittää Pro gradu -tutkielmassaan, että yhteinen visio yhdistettynä inspiroivaan kommunikaatioon tuottaa positiivisen vaikutuksen. Hyvällä kommunikaatiolla saadaan aikaiseksi positiivisia tuntemuksia, jotka auttavat ongelman ratkaisussa. Inspiroivalla kommunikaatiolla saadaan tuotettua myös yhteinen visio. Yhteinen visio puolestaan edesauttaa onnistuneisiin suorituksiin eli jaettu visio synnyttää tahtoa innovoida. (Oja 2017, 19–20.)

Innovaatio tuottaa organisaatioon muutoksen, joka saattaa aiheuttaa muutosvastarintaa. Laajalahti toteaa maisterintutkielmassaan, ettei muutosvastarinnalle ole kirjallisuudessa yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää, vaan voidaan puhua vastahakoisuudesta tai esteistä muutokselle (Laajalahti 2016, 24). Muutos voi olla

uuden innovaation tuottama toimintatapamuutos tai organisaatiomuutos, sillä vastarinnan aiheutumisen syyt ovat kuitenkin samankaltaisia. Muutosvastarinta saattaa aiheutua pelosta. Pelon syinä saattaa olla oman valta-aseman menetys tai osaamattomuuden tunteesta. Muutosvastarintaa saadaan heikennettyä esimerkiksi riittävällä vuorovaikutuksella, joka on merkityksellinen ja tärkeä asia. Vuorovaikutuksella saadaan aikaan keskustelua, joka on muutostilanteissa toivottavaa. Kriittinen keskustelu ei välttämättä ole muutosvastarintaa vaan se saattaa edesauttaa muutoksen vaikutusten täsmentymistä ja toteutumista. Vuorovaikutuksen sekä kommunikaation ansiosta muutokselle saadaan looginen, tarpeellinen ja perusteltu vaikutus. (Virtanen & Stenvall 2010, 211–216.)



Kuvio 5. Innovatiivisuusjohtamisen kulmakivet (Antola & Pohjola 2006, 170)

Johtamisella luodaan yhteinen suunta. Kriittinen keskustelu on sallittua, koska sillä tavoin esimerkiksi kehityksen suunta täsmentyy. Innovatiivinen organisaatio on muun muassa oivaltava. Kuviossa 5 on esitetty innovatiivisuusjohtamisen kulmakivet. Innovatiivisuutta edistäviä tekijöitä vahvistamalla saavutetaan oivaltava organisaatio, jolloin voidaan saavuttaa innovoinnin avulla isoja asioita parantavia muutoksia. Samalla saadaan innovatiivisuutta estäviä tekijöitä vähennettyä. (Antola & Pohjola 2006, 169–171.)

## 4 TUTKIMUSPROSESSI

### 4.1 Tutkimusmenetelmän valinta ja rajaus

Vilkan mukaan tieteellisen tutkimuksen on täytettävä tiettyjä ehtoja. Tutkimuskohde tulee määrittää täsmällisesti. Sen lisäksi tutkimuksen on tuotettava jotakin, sen on oltava hyödyksi muille sekä sen on annettava perusteet julkiselle keskustelulle. Toisin sanoen tutkimuksen tulee olla kurinalaista ja se tuottaa uutta tietoa. (Vilka 2005, 17–18.)

Tutkimuksen menetelmäksi valikoitui tapaustutkimus. Tapaustutkimuksen tutkimuskohteena on tyypillisesti yksittäinen tapaus tai tilanne, jota tutkitaan syvällisesti. Tutkimuksen tuloksena syntyy yksityiskohtaista ja intensiivistä tietoa. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.) Kittilän kultakaivoksen analyttinen laboratorio täyttää tapaustutkimuksen kriteerit ja on tutkimukseen kohteena rajattu. Suomessa ei ole toista samankaltaista samoja analyysimenetelmiä käyttävää tuotantolaboratoriota.

On olemassa erilaisia tapaustutkimuksen tyyppejä. Tapaustutkimuksella voidaan vahvistaa, kyseenalaista tai laajentaa jo olemassa olevaa tietoa. (Routio 2007.) Mikäli kyseessä on toteava tutkimus, tavanomaisesti tutkimusmenetelmänä on tapaustutkimus. Jos halutaan tutkimuksen kautta valmistella tapauksen kohteen nykytilaa, tapaustutkimukseen voidaan lisätä ohjaava näkökulma. (Laine, Bamberg & Jokinen 2007, 32–34;.) Opinnäytetyön tarkoituksena on parantaa laboratorion toimintaa siten, että se pystyy vastaamaan kasvavan tuotannon luomaan haasteeseen.

Tapaustutkimuksessa konteksti on tärkeä elementti. Se luo mahdollisuuden problematisointiin ja kehyksen tutkimukselle. Konteksti rajaa tutkimuksen kohdetta ja osaltaan selittää tapausta. (Laine ym. 2007, 149–153.) Konteksti avaa myös näkökulman sekä lähestymistavan tutkimukselle. Konteksti muodostuu tutkittavan tapauksen ympäristöstä, jossa tapaus tapahtuu. Konteksti voi olla monitasoinen, jolloin tasojen laajuus auttaa ymmärtämään tapauksen. (Eriksson & Koistinen 2014, 7–9.)

Lean Six Sigma -menetelmä on systeemin tai prosessin parannusmenetelmä, joka perustuu DMAIC-prosessiin. Menetelmää sovelletaan tässä tutkimuksessa. DMAIC tarkoittaa Define, Measure, Analyze, Improve and Control eli määritä,

mittaa, analysoi, paranna ja varmista. DMAIC-menetelmää voidaan käyttää Lean Six Sigma -projekteissa, joissa prosessin kehittäminen tapahtuu prosessin vaihtelun ja virheiden vähentämisellä. (Järvinen 2020.) DMAIC-prosessia voidaan soveltaa prosesseihin, joita voidaan mitata. Menetelmää voidaan käyttää myös ongelmanratkaisumenetelmänä. Määritä-vaiheessa määritetään mahdollisimman tarkasti ongelma ja parannusten jälkeen saatava hyöty sekä niiden lisäksi muun muassa päämäärä, tavoite ja nykyinen tapa hoitaa asioita. (Piirainen 2018.)

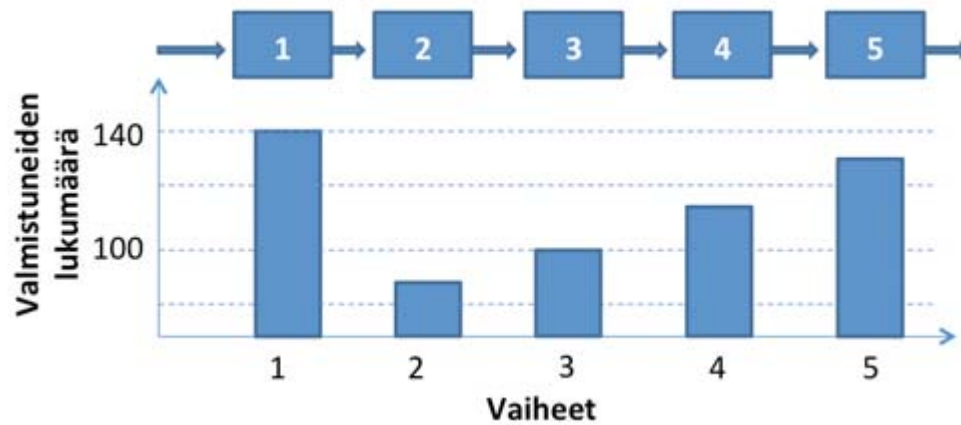
DMAIC-prosessin määritä-vaiheeseen kuuluu myös yksityiskohtainen muuttujien määrittäminen. Kalanruoto-kaaviota käyttämällä pystytään tunnistamaan ongelman muuttujat eli juurisyyt. Kalanruotokaavio tunnetaan monilla eri nimillä, joista yksi on Ishikawa-diagrammi kehittäjänsä Kaoru Ishikawan mukaan. Käytettäessä kalanruoto-kaaviota syy- ja seuraussuhteen määrittämiseen asetetaan ongelma kalanruodon päähän ja keskeiset ongelman aiheuttajat asetetaan selkärudosta lähteviin haaroihin. (Karjalainen 2007.) Yleensä käytetään 6 M -rakennetta:

- Menetelmät (Methods)
- Ihminen (Man)
- Koneet (Machine)
- Materiaalit (Materials)
- Mittaus (Measurement)
- Ympäristö (Mother Nature).

Ongelman tunnistaminen ja rajaaminen tapahtuu määritä-vaiheessa (Järvinen 2020).

DMAIC-prosessin seuraavat vaiheet ovat mittaa, analysoi, paranna ja varmista. Mittaamisella tarkoitetaan määritä-vaiheessa löydetyt ongelman vahvistamista. Mittaaminen voidaan suorittaa eritavoilla, esimerkiksi mittamaalla aikaa tai prosessissa valmistuvia kappalemääriä. Mittausdataa tulee olla riittävästi sekä sen tulee olla luotettavaa. Data tulee kerätä muuttujista ja tekijöistä, joilla on vaikutusta ratkaistavaan ongelmaan. Mittaamisella voidaan selvittää, miten hyvin prosessi toimii ja mikä on sen prosessin suorituskyky. Prosessin mittaamiseen käytettävät mittarit on oltava valideja eli mittareiden tulee olla kattavia ja tehokkaita. Validit mittarit saadaan onnistuneesta määritä-vaiheesta. Mittausajalle on annettava riittävä ajanjakso, joka ei saa kuitenkaan olla liian pitkä. (Järvinen 2020.)

Prosessien ja systeemien pullonkauloja voidaan tunnistaa muun muassa käyttämällä rajoitteiden teoriaa eli TOC-teoriaa (Theory of Constraints). Teorian ydinajatus on, että jokaisella prosessilla on olemassa vähintään yksi rajoite, joka on prosessin tai systeemin suorituskykyä rajoittava tekijä. Tämä tekijä aiheuttaa sen, että koko prosessin tai systeemin kuormituksen kasvaessa alkaa tekijän eteen kasaantumaan asioita. Tästä aiheutuu koko prosessin tai systeemin läpimenoajan kasvaminen ja suorituskyvyn laskeminen. (Six Sigma s.a.)



Kuvio 6. Prosessin eri työvaiheiden pullonkaulan tunnistaminen (Six Sigma s.a)

Kuviossa 6 on havainnollistettu pullonkaulan tunnistaminen. Työvaihe kaksi on selkeästi prosessin pullonkaula. Koko prosessi ei pysty pitkällä aikavälillä parempaan suorituskykyyn kuin työvaihe kaksi, joten suorituskykyä voidaan nostaa keskittämällä parannuskeinojen etsintä työvaiheeseen kaksi. (Six Sigma s.a.)

#### 4.2 Aineiston analyysi

Tapaustutkimusta voidaan tehdä monella erilaisella aineistonkeruumenetelmällä. Aineistonkeruussa on hyvä huomioida, että käytetään tapoja, joilla tapausta pysytään ymmärtämään syvällisesti sen omassa ainutlaatuisessa ympäristössä. (Aaltio-Marjasalo 1999.) Koska tapaustutkimukseen voidaan käyttää monia eri aineistonkeruumenetelmiä, myös aineiston analyysimenetelmiä on useita. Tyypillisimpiä aineistonkeruumenetelmiä ovat muun muassa suora tulkinta, aineiston koodaus, aikasarja-analyysi ja havainnointi. (Eriksson & Koistinen 2014, 34–37.)

Tutkimusaineistoa voidaan kerätä havainnoimalla, joka tapahtuu esimerkiksi tarkkailemalla ihmisten toimintaa jossain tietyssä tilanteessa tai ihmisten tuottamia

esineitä. Havainnointitapahtuma vaikuttaa havainnointitapaan. (Vilkkä 2015, 142–143, 149). Osallistuvaa havainnointia käytetään, kun tutkimuksen kohteena on toiminnassa tapahtuva vuorovaikutus. Mikäli tutkijan aktiivinen vuorovaikutus tutkimuskohteessa ei ole tarpeellista, käytetään ulkopuolelta tapahtuvaa havainnointia. (Valli 2018, 164.)

Analysoinnin tarkoituksena on saada vastaus tutkimuksen kysymyksiin. Analysoinnissa erotetaan aineistosta olennainen, jolla voidaan ymmärtää ilmiötä tai tapausta syvällisesti. DMAIC-prosessin analysointi-vaihe tuottaa eron suorituskyvyn lähtötason ja tavoitteiden välillä. Lisäksi saadaan selville ne muuttujat ja tekijät, joilla on suurin vaikutus ongelmaan ja prosessiin. Mittausdatan analysointi tulee tehdä tarkasti, datan perusteella selvitetään ongelman aiheuttavat prosessin tekijät. Analysointi tehdään yleensä käyttäen tilastollisia menetelmiä, ja erilaisia työkaluja analysointiin ovat esimerkiksi korrelaatiot ja regressiot. (Järvinen 2020.)

Analysointi-vaiheessa löydettyä ongelmaa lähdetään ratkaisemaan paranna-vaiheessa käytettäessä DMAIC-prosessia. Parantamisen toimenpiteet kohdistuvat prosessiin. Tässä vaiheessa luodaan ideoita ja ratkaisuja, joilla saadaan ongelman ydinsyyt poistettua. Uudet ideat ja ratkaisut tulee testata ja mitata. Mikäli ratkaisu on toimiva ja sillä saadaan haluttu tulos, ratkaisun tulee standardoida ja vakiinnuttaa käytäntöön ja luoda uudet toimintamallit. (Järvinen 2020.)

### 4.3 Yhteenveto

Kun tarkoitus on ymmärtää syvällisesti tutkimuksen kohteen tilanne ja tuottaa tutkimuksen avulla kehitysehdotuksia, käytetään usein tapaustutkimusta. Tapauksen koko tai laajuus voivat vaihdella yrityksen koko organisaatiosta yrityksen yksikön prosessiin saakka. Tapaustutkimuksen kohteena on suppea kohde, josta tutkimuksen aikana saadaan paljon syvällistä tietoa. Tiedon perusteella kasvatetaan ymmärrystä tapauksen kokonaisuudesta ja ymmärretään miten jokin toimii tai tapahtuu. Tapaus voi olla hyvin tavanomainen tapahtuma tai sitten tavanomaisesta täysin poikkeava. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 37, 52–53.)

Analyttisen laboratorion tuottamien analyysien läpimenoaikaan vaikuttavat monet eri seikat. Työhön valittiin DMAIC- prosessissa käytettävästä kalanruodon haaroista menetelmät ja koneet. Analyttisen laboratorion toimintaympäristö on

toimia tuotannon tukena tarjoten tuotannolle prosessin ohjaamiseen tarvittavia analyysituloksia. Sekä maanalainen kaivos että rikastamo ovat analyttisen laboratorion toiminnan säätelijöitä. Molemmat tarvitsevat analyysituloksia ohjaamaan päivittäistä toimintaa. Tuloksia käytetään kuitenkin eritavoilla. Voidaan ajatella, että riippuen tulosten vastaanottajasta kontekstit ovat hiukan erilaisia. Kontekstin luo myös käytössä olevan analytiikan eriyttäminen muusta laboratorion toiminnasta.

Tutkimuksen rajauksella saadaan tutkimus kapea-alaisemmalle alueelle ja voidaan keskittyä syventämään ymmärrystä keräämällä aineistoa kohdennetusti. DMAIC-prosessilla saadaan rajattua aihetta systemaattisesti. (Järvinen 2020.) Kohteesta kerättyä aineistoa analysoidessa saattaa tulla tarve kasvattaa ymmärrystä tapahtumien teoriasta. Tässä tutkimuksessa ymmärryksen kasvattaminen tapahtui tutkimalla analyysilaitteiden teoriaa tiettyjen mineraalien analysoinnin näkökulmasta.

Tässä tutkimuksessa käytettiin havainnointia ja aikaisempaa mittausdataa eri käytössä olevien analyysimenetelmien suorittamiseen kuluneesta ajasta, joka on mitattu yhteistyössä analyttisen laboratorion henkilökunnan kanssa. Mittausdataan on laskettu usean eri henkilön mittausajan keskiarvo. Menetelmät pilkottiin pieniksi kokonaisuuksiksi, joita oli helppo mitata ajassa. Menetelmien osien suorittamista mitattiin, jolloin saatiin menetelmään kuluva kokonaisaika sekä työntekijältä kulunut aktiivinen aika työn suorittamiseen. Samalla tarkasteltiin laiteresurssit eli käytössä olevien laitteiden suoriutumiskykyä. Näin päästiin käsiksi pulonkauloihin käsittelemällä saatua aineistoa Six Sigman mukaisesti.

Tutkimuksen aikana syntyy innovatiivisia ideoita kohteen kehitystyöhön. Suppilo-tekniikkaa käyttämällä innovaatioista jatkojalostuu yksittäisiä toteuttamiskelpoisia kehitysideoita. (Yliherva 2006, 24.) DMAIC-prosessin mukaisesti kehitysideoita kannattaa testata ja mitata, jolloin voidaan todeta idean hyödyllisyys kehitystyössä (Järvinen 2020). Johtaminen nousee isoon rooliin kehitysideoiden käyttöönotossa. Mikäli ilmapiiri kohteessa on epäilevä ja vastarintainen, se voi johtua muun muassa pelosta. Pelkoa voidaan lievittää ylläpitämällä hyvää vuorovaikutusta ja avointa keskustelua. Keskustelemalla saadaan aikaan kritiikkiä, joka par-

haimmillaan jatkojalostaa jo olemassa olevaa kehitysideaa entisestään. Keskustelulla ja vastuuta jakamalla saadaan myös työntekijät sitoutumaan muutokseen paremmin. (Antola & Pohjola 2006, 169–171.)



## 5 TUTKIMUKSEN TULOKSET

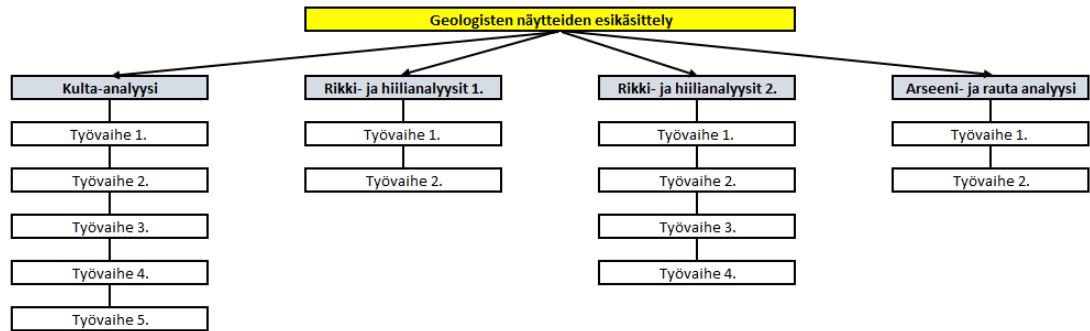
### 5.1 Analyttisen laboratorion toiminta

Tutkimuksessa käytettiin geologisten näytteiden erän kokona näytemäärää, joka on vuoden 2020 keskimääräinen geologisten näytteiden lukumäärä päivässä. Geologisiin näytteisiin laskettiin mukaan sekä kauha- että chips-näytteet. Kauhanäytteet kerätään malmin lastauksen yhteydessä. Chips-näytteitä kerätään peränajon yhteydessä oletettujen malmilinsien yhteydestä. Muut geologiset näytteet jätettiin huomioimatta. Rikastenäytteitä on päivittäin muuttumaton kappalemäärä.

Kaikki käsittelyyn ja analysointiin liittyvät työvaiheet kelloitettiin. Näin päästiin käsi jokaiseen vaiheeseen kuluvaan aikaan. Pitää ottaa huomioon, että analyysiin kuluva aika ei voida laskea yhteen, koska analyysit valmistuvat rinnakkain eri työpisteissä. Kelloitukseen laskettiin mukaan myös laaduntarkkailuun liittyvien referenssinäytteiden kuluva aika. Analyysitulosten luotettavuus voidaan todentaa referenssinäytteillä, jotka kulkevat näytteenomaisesti jokaisen näyte-erän mukana. Kelloitetut ajat kirjattiin ylös.

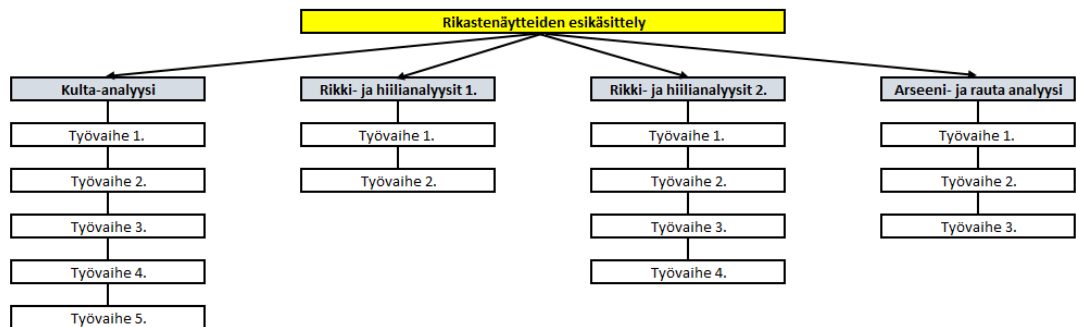
Analyysilaboratoriossa on useita eri työpisteitä:

- Geologisten näytteiden esikäsittely
  - Geologisten näytteiden murskaus, ositus ja jauhatus
- Rikastelaboratorio
  - Rikastenäytteiden esikäsittely, ja kulta-analyysin työvaiheita sekä geologisten näytteistä että rikastenäytteistä
- Kullan analysointi
  - Kulta-analyysin työvaiheita tulosten raportointiin saakka
- Rikki- ja hiili-analyysit
  - Rikki- ja hiilianalyysien kaikki työvaiheet
- Liuoslaboratorio
  - Liuoslaboratorion työtehtävät, joihin rikastenäytteiden arseenin ja raudan määrittäminen kuuluvat.



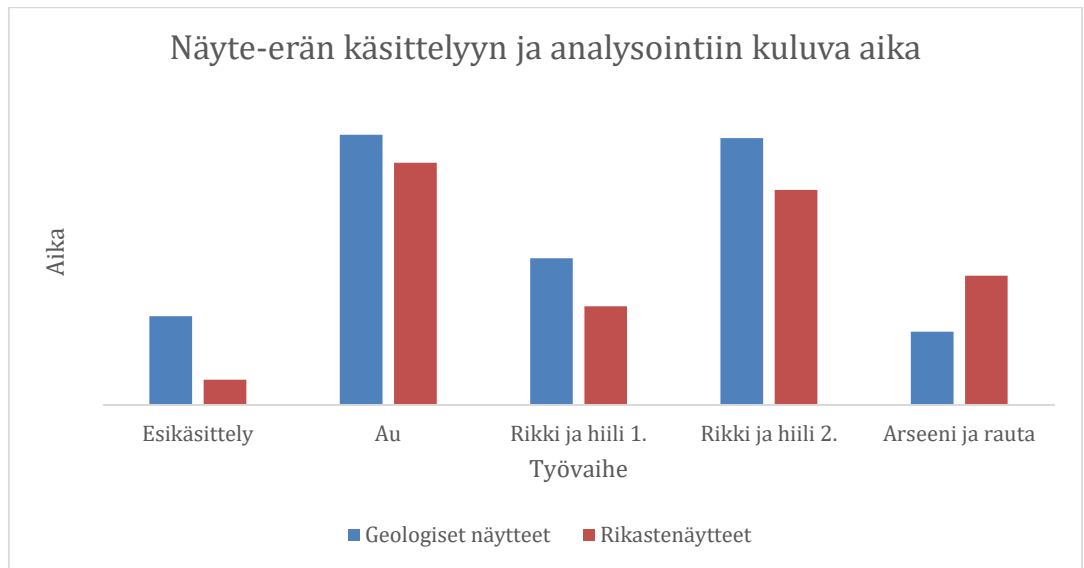
Kuvio 7. Geologisten näytteiden käsittely- ja analysointiprosessi

Kuvioissa 7 ja 8 on esitettyä sekä geologisten että rikastenäytteiden käsittely- ja analysointiprosessit analyttisessä laboratorioissa. Erona prosesseissa esikäsittelyn lisäksi on arseenin ja raudan analyysimenetelmässä. Kaikki analyttisen laboratorion analyysimenetelmät ovat kvantitatiivisia menetelmiä.



Kuvio 8. Rikastenäytteiden käsittely- ja analysointiprosessi

Kuviossa 9 on esitetty jokaiseen työvaiheeseen kulunut aika. Kuten kuvasta voi nähdä, kullon sekä menetelmällä 2 rikin ja hiilen määrittämiseen kuluu eniten aikaa. Rikin ja hiilen analysointi on hitain vaihe, joten se muodostuu suurimmaksi syyksi analyysien viiveeseen. Geologisia näytteitä ja rikastenäytteitä viedään eteenpäin esikäsittelyn jälkeen rinnakkain jokaisessa analyysiprosessissa.

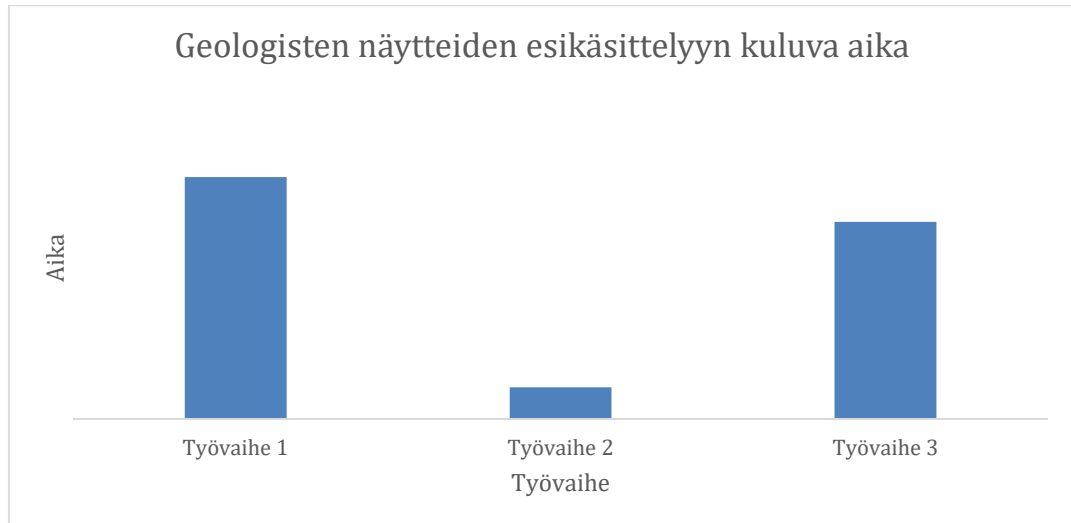


Kuvio 9. Näyte-erän käsittelyyn ja analysointiin kuluva aika

Kaikkiin vaiheisiin liittyvät punnitukset ynnä muu sellainen numeerinen data on sähköisessä muodossa. Laboratoriossa on käytössä LIMS (Laboratory Information Management System), johon kaikki laitteet ja vaa'at ovat yhdistetty inhimillisten virheiden minimoiseksi. LIMS suorittaa laskutoimitukset automatiikalla, jolloin eri laitteiden ajojen tulokset saadaan suoraan tuloksiksi. Tulokset raportoidaan sähköisesti käytössä oleviin ohjelmiin.

## 5.2 Esikäsittely

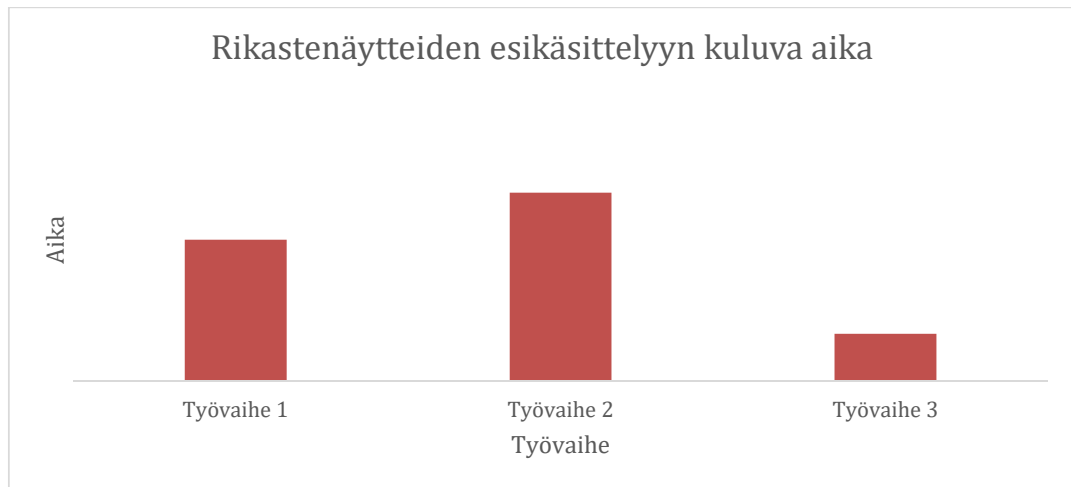
Geologisia näytteitä ja rikastenäytteitä käsitellään eri tiloissa kontaminaatoriskin minimoimiseksi. Riskin muodostavat rikastenäytteiden pitoisuudet, jotka ovat suurempia kuin geologisten näytteiden. Kittilän kaivoksen analyttisessä laboratoriossa on käytössä murskaimia, jakolaite ja jauhin geologisten näytteiden esikäsittelyyn. Sekä murskaimien että jauhimen toimintakykyä seurataan päivittäin seula-analyyseillä. Murskaimien tavoitepartikkelikoko on sovitettu sopivaksi muun muassa jauhimen vaatiman partikkelikoon mukaisesti. Toisin sanoen tavoitteen määrittää pääosin käytössä olevan jauhimen vaade sille syötettävästä näytteen partikkelikoosta. Jauhimella tavoitepartikkelikoko on riittävä analyysien onnistumisen takaamiseksi. Jakolaitteen toimivuutta seurataan päivittäin osittamalla näyte kahteen kertaan ja ottaen molemmista osituksista näyte. Molemmista osanäytteistä määritetään sama analytti, joita verrataan toisiinsa.



Kuvio 10. Geologisten näytteiden esikäsittelyyn kuluva aika

Kuviossa 10 on esitetty aika, joka kuluu yhden geologisen näytteen käsittelyyn työvaiheittain. Geologisia näytteitä käsitellään jatkuvana prosessina, jolloin ajallisesti määrääväksi tekijäksi nousee työvaihe 1, joka on esikäsittelyn pullonkaula ensimmäisenä työvaiheena. Murskattavaa materiaalia on noin useita kilogrammoja per näyte. Passiivista aikaa syntyy vähän kerrallaan, mutta yhtäjaksoista passiivista aikaa ei muodostu. Yhden jauhettavan näytteen määrä on riittävä määrä analyyseihin ja näytteen lopulliseen säilytykseen. Nykyisellä yhtä näytettä jauhettavalla näytemäärällä jauhinta suorituu kohtuullisesti, koska yksi jauhimen kupillinen riittää sekä analyyseihin että geologisen osaston näytteiden säilytysprotokollan mukaiseen näytemäärään.

Rikastenäytteiden esikäsittely suoritetaan manuaalisesti kolmessa eri työvaiheessa. Näyte saatetaan homogeeniseksi ja sellaiseen muotoon, että analysointi onnistuu mahdollisimman luotettavasti. Rikastenäytteiden partikkelikokoon ei tehdä muutoksia, vaan analysointi suoritetaan prosessissa jo olevalla partikkelikoolle. Näytteiden määrä massaltaan on yleensä sopiva, joten näytteitä ei juurikaan tarvitse jakaa.



Kuvio 11. Rikastenäytteiden esikäsittelyyn kuluva aika

Rikastenäytteiden esikäsittelyyn kuluva aika on esitettyä kuviossa 11. Näytteiden käsittely etenee prosessina alusta loppuun yksi näyte kerrallaan. Tästä johtuen rikastenäytteiden esikäsittelyssä ei muodostu passiivista aikaa. Näytteet käsitellään köyhimmästä pitoisuudesta rikkaimpaan kontaminaation estämiseksi.

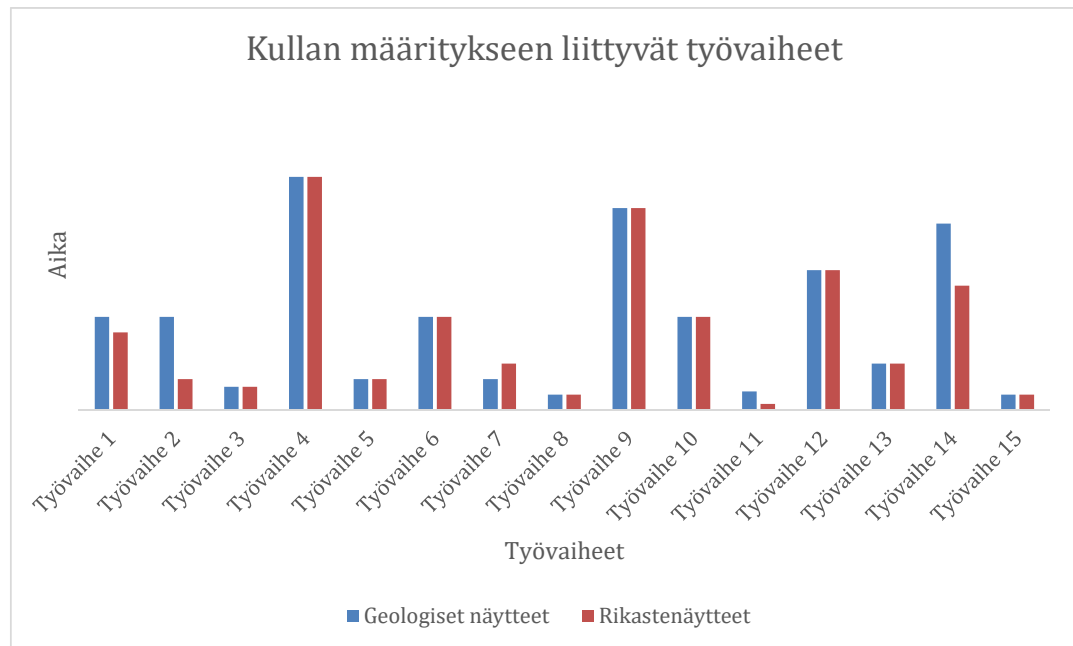
### 5.3 Kullan analysointi

Esikäsittelyn jälkeen molemmilla näytetyypeillä aloitetaan kullan määrittämiseen liittyvät toimenpiteet. Analyttisessä laboratoriossa on käytössä kullan määrittämiseen menetelmä, mitä sovelletaan kullan analysoinnissa molemmille näytetyypeille. Käsittely suoritetaan laboratorion eri tiloissa kontaminaatoriskin vuoksi. Kultapitoisuudet vaihtelevat rikastenäytteiden välillä paljon, joten niiden käsittelyyn kiinnitetään paljon huomiota. Rikastenäytteiden kultapitoisuus voidaan estimoida historiatiedon perusteella.

Näytetyypistä riippuen analyttisessä laboratoriossa tehdään rinnakkaisia analysejä muun muassa kullasta. Rinnakkaistuloksilla saadaan seurattua kulta-analyysin onnistumista ja saadaan tarkennettua tuloksia laskemalla useammasta analyysistä keskiarvo sekä keskihajonta. Lisäksi näytteiden mukana kulkee aina referenssimateriaalia, missä on tunnettu pitoisuus. Referenssimateriaalia käsitellään samalla tavoin kuin näytteitä. Näin ollen saatua analysoitua tulosta voidaan verrata tunnettuun pitoisuuteen. Analyysin jälkeen tarkastellaan ensin referens-

sinäytteiden tulokset ja verrataan niitä annettuihin raja-arvoihin. Jos referenssinäytteiden tulokset ovat hyväksyttäviä, koko analyysi hyväksytään, jolloin saadaan näytteiden kultatulokset.

Mittauslaitteet kalibroidaan riittävän useasti. Kalibroinneista kirjataan ylös parametreja, jolloin laitteiden toimintakuntoa voidaan seurata. Laitteiden toimintakunnon ylläpitämiseksi tehdään viikoittain toimenpiteitä. Laitteen huollot tehdään pääsääntöisesti laboratorion henkilökunnan toimesta. Laitteelle on tehty myös huoltosopimus ulkopuolisen toimijan kanssa.



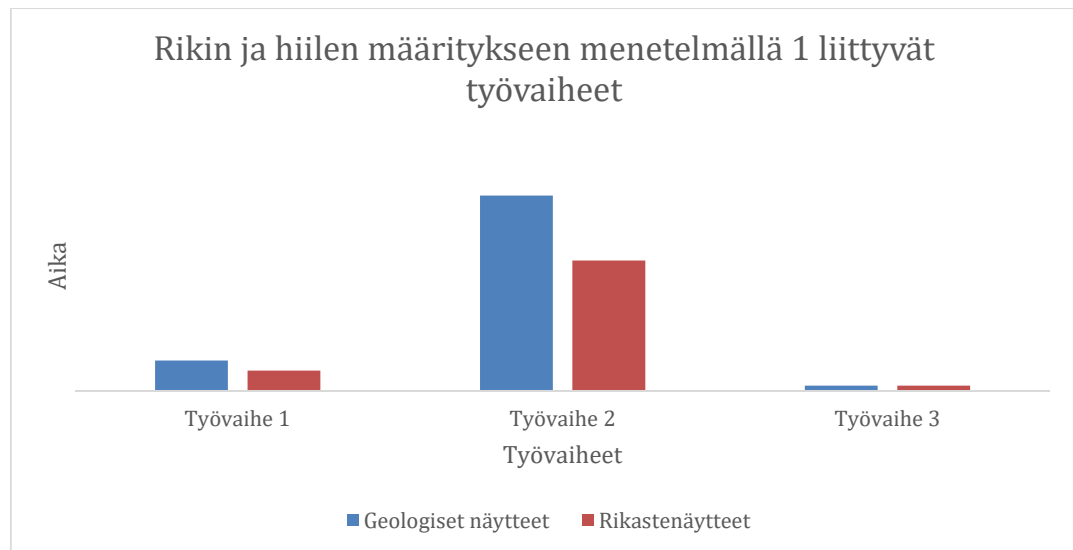
Kuvio 12. Kullan määrittämiseen liittyvät työvaiheet

Kullan määrittämisessä pullonkauloiksi muodostuvat työvaiheet 4, 9, 12 ja 14, kuten kuviossa 12 ovat nähtävissä. Näille yhteinen nimittäjä on se, että ne ovat laitteista riippuvaisia ja aikoja ei voida sen vuoksi lyhentää. Geologisten näytteiden yhteenlaskettu aika kullan määrittämisessä on enemmän kuin rikastenäytteiden vastaava aika. Ero johtuu siitä, että rikastenäytteitä on lukumääräisesti vähemmän kuin geologisia näytteitä. Passiivista aikaa muodostuu tietyissä työvaiheissa.

#### 5.4 Rikki- ja hiilipitoisuuksien määrittäminen

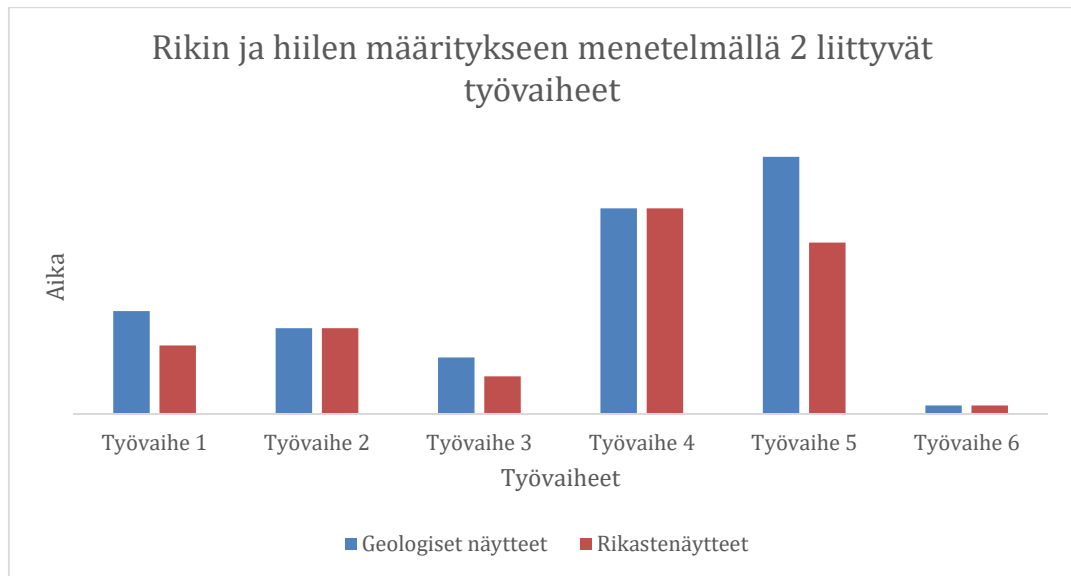
Analyttisessä laboratoriossa on käytössä kaksi erityyppistä menetelmää rikin ja hiilen määrittämiseksi. Ne ovat eritetty tässä opinnäytetyössä toisistaan numeroinnilla. Myös rikin ja hiilen määrittämisen yhteydessä käytetään referenssimateriaalia, joilla voidaan todentaa analyysien onnistuminen ja tulosten hyväksyttävyyttä. Referenssimateriaali käsitellään samalla tavoin kuten näytteitä ja niitä mitataan sekä ennen näytteiden analysointia että analysoinnin lopussa. Laitteiden huoltotoimenpiteet suorittavat pääosin kaivoksen sähkökunnossapito. Lisäksi laitteille ylläpidetään huoltosopimusta laitetoimittajan kanssa.

Laitteiden kalibrointi yltää matalista pitoisuuksista melko korkeisiin pitoisuuksiin, koska näytteiden pitoisuudet saattavat vaihdella merkittävästi toisistaan. Geologisten näytteiden rikki- ja hiilipitoisuudet vaihtelevat maltillisemmin kuin rikastennäytteiden. Kalibroinnin onnistumista seurataan myös referenssimateriaalilla.



Kuvio 13. Rikin ja hiilen määrittämiseen menetelmällä 1 liittyvät työvaiheet

Geologisten näytteiden kokonaisaika rikin ja hiilen määrittämisessä menetelmällä 1 on pidempi kuin rikastennäytteillä. Menetelmällä 2 on nähtävissä sama ilmiö. Eri työvaiheisiin kuluvat ajat on nähtävissä kuvioissa 13 ja 14.



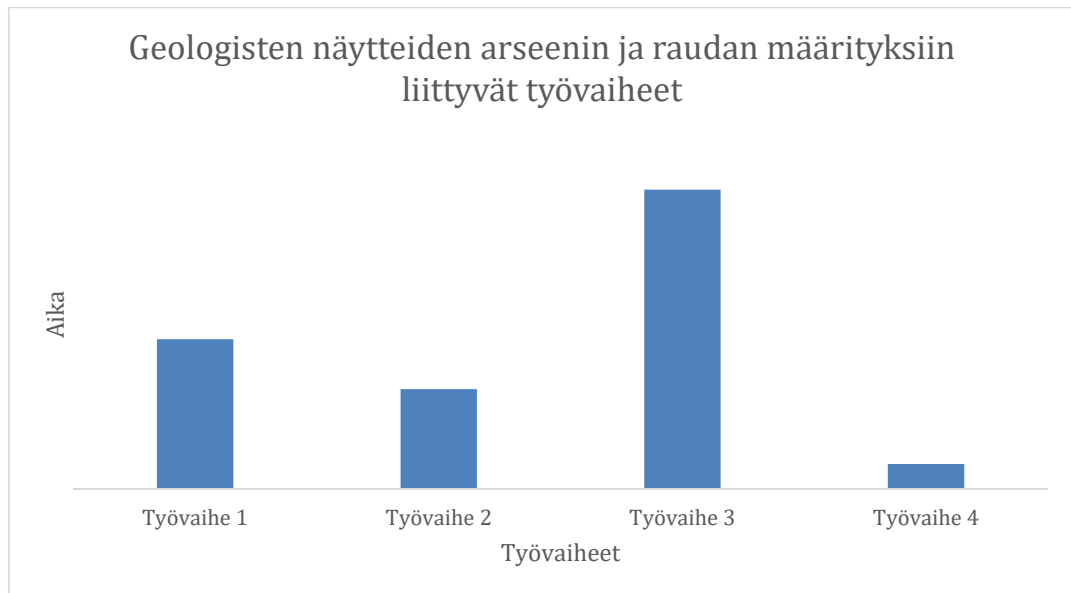
Kuvio 14. Rikin ja hiilen määrittämiseen menetelmällä 2 liittyvät työvaiheet

Ero näytetyyppien välillä kuluvan ajan suhteen muodostuu näytteiden lukumäärästä johtuvasta työvaiheisiin kuluvasta ajasta. Tämä ilmenee molemmilla menetelmillä määritettäessä rikkiä ja hiiltä. Passiivista aikaa syntyy joissain työvaiheissa. Pullonkaula menetelmällä 1 on työvaihe 2, ja vastaavasti menetelmällä 2 pullonkauloja ovat työvaiheet 4 ja 5.

### 5.5 Arseeni- ja rautapitoisuuksien määrittäminen

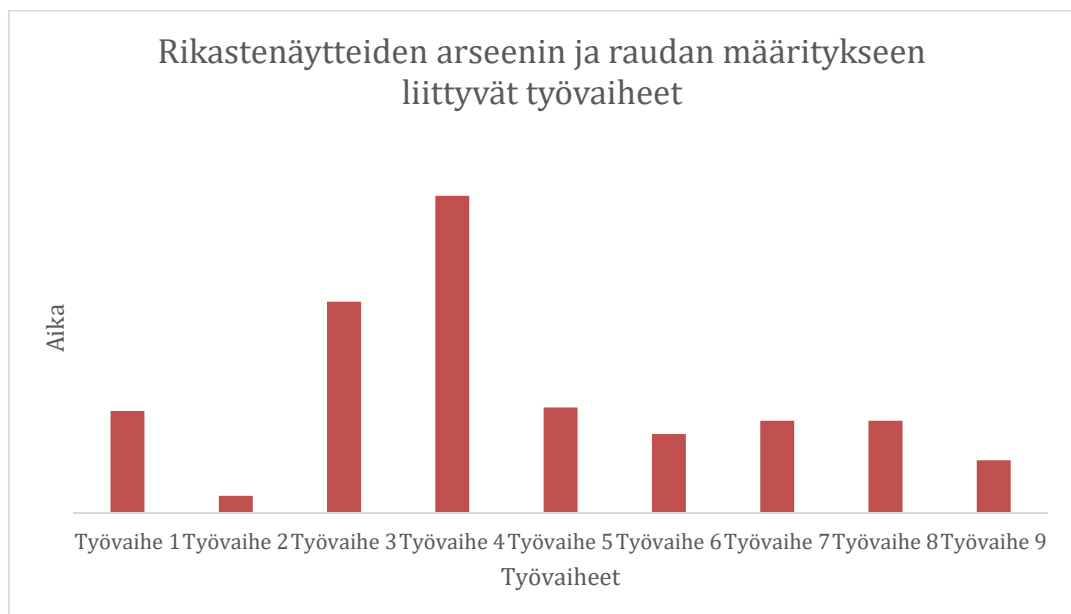
Geologisten näytteiden arseeni- ja rautapitoisuuksien mittaaminen suoritetaan eri tavoin kun rikastenäytteiden. Menetelmät eroavat hyvin paljon toisistaan. Suurin ero löytyy näytteiden käsittelystä analysointia varten. Myös arseenia ja rautaa mitattaessa käytetään referenssimateriaalia analyysien onnistumisen todentamiseksi molemmilla mittausmenetelmillä.





Kuvio 15. Geologisten näytteiden arseenin ja raudan määrittäisiin liittyvät työvaiheet

Geologisten näytteiden pullonkaulaksi muodostuu työvaihe 3. Kaikkien työvaiheiden kuluva aika on nähtävissä kuviossa 15. Mittaamiseen käytettävää laitetta kalibroidaan tarvittaessa. Mittaamisen tarkkuutta seurataan mittaamalla referenssinäytteitä ennen ja jälkeen näyte-erien. Laitte tarvitsee hyvin vähän huoltotoimenpiteitä. Suurimman osan huoltotoimenpiteistä suorittaa analyttisen laboratorion henkilökunta sekä sähkökunnossapito.



Kuvio 16. Rikastenäytteiden arseenin ja raudan määrittäykseen liittyvät työvaiheet

Rikastenäytteiden arseenin ja raudan mittaamisen kuluva aika on nähtävissä kuviossa 16. Pullonkauloiksi muodostuvat työvaiheet 3 ja 4, jotka vievät eniten aikaa analyysiprosessissa. Loput työvaiheet ovat hyvin tasaväkisiä. Passiivista aikaa syntyy hiukan, mutta se ei ole yhtä jaksoista.

## 6 TUTKIMUKSESSA ESILLE NOUSSEITA ASIOITA

### 6.1 Esikäsittely

Näytteiden esikäsittely on yksi tärkeimmistä vaiheista koko ketjussa näytteenotosta tulokseen saakka. Esikäsittelyn aikana usein näyte ositetaan, jonka tulee tapahtua siten, ettei näytteen edustavuus kärsi alkuperäiseen materiaaliin nähden. Ositetun näytteen tulee vastata kaikilta osin edustamaansa materiaalia. (Leppänen 2019.)

Murskaamista voidaan nopeuttaa pienentämällä näytemäärää, mutta silloin näytteen edustavuus alkuperäiseen materiaaliin nähden saattaa kärsiä, jolloin tulokset eivät ole enää yhtä luotettavia. Nopeuttamista voitaisiin tavoittaa partikkelikoon tavoitekoko kasvatamalla. Silloin jauhatusaikaa tarvittaisiin enemmän, koska analysoinnin onnistumiseksi näytteen partikkelikoko tulee olla analyytissä laboratorioissa oleville analysointimenetelmille riittävän pieni. Nopeutta voidaan saada korvaamalla nykyiset murskat uusilla, jotka olisivat tehokkaampia ja nopeampia. Nykyiset murskaimet ovat suhteellisen hitaita, joten ne hidastavat jokaista analyysiprosessia.

Jauhin ei aiheuta nykyisellä jauhatukseen käytettävällä näytemäärällä viivettä. Mikäli paine näytemäärän kasvattamiseksi kasvaa, todennäköisesti jauhimesta tulee muodostumaan pullonkaula. Tällä hetkellä jauhin pystyy yhdellä kerralla jauhamaan riittävän grammamäärän näytettä. Mikäli näytemäärää tulee kasvattaa, joudutaan näytettä jauhamaan kahdessa tai useammassa osassa ja yhdistämään jauhetut osat. Tämän jälkeen näyte tulee vielä homogenisoida uudelleen, joka kasvattaisi viiveaikaa. Uudella jauhimella, jonka yhden näytteen grammamääräinen kapasiteetti olisi isompi, saataisiin nopeutettua jauhamista. Nykyinen jauhin on automatisoitu, jolloin työntekijän ei tarvitse huolehtia esimerkiksi näytteiden välissä tapahtuvasta jauhimen pannun puhdistamisesta. Uuden jauhimen tulisi olla isompi, tehokkaampi ja automatisoitu. Vanha laite jäisi mahdollisesti toimintakuntoisena varalaitteeksi.

Geologisten näytteiden kokonaisanalyysiviivettä voitaisiin pienentää esimerkiksi henkilökunnan työvuoroja porrastamalla. Jos työaikoja porrastettaisiin alkavaksi

esimerkiksi siten, että osa henkilökunnasta aloittaisi työt aikaisemmin, niin näytteet saataisiin mahdollisesti esikäsiteltyä aikaisemmin. Porrastuksen ei tarvitse olla jatkuvaa vaan sitä voitaisiin kokeilla poikkeavissa tilanteissa.

Rikastenäytteiden esikäsitteleminen on nopeaa ja se tehdään pääsääntöisesti manuaalisesti. Laboratorion henkilökunta nopeuttaa kulta-analyysiä aloittamalla kulta-analyysiin liittyvät toimenpiteet samanaikaisesti kuin niitä esikäsitellään. Rikastenäytteiden lukumäärä on päivässä vakio.

## 6.2 Kullan analysointi

Agnico Eagle Mines Ltd:n sisäisillä laboratorioilla on yksi hyväksytty kulta-analyysiä tuottava menetelmä, jolle on sisäinen laadunvalvontamenetelmä. Tästä syystä myös Kittilä kaivoksen analyttisessä laboratoriossa on käytössä sama menetelmä. Analyttinen laboratorio pystyy käsittelemään geologiset ja rikastenäytteet. Näiden näytteiden lisäksi on olemassa myös muita näyte-eriä. Joskus päiväkohtaiset näytemäärät vaihtelevat, jolloin henkilöstö- ja laiteresurssit ovat toisinaan tiukalla. Tilannetta voidaan lievittää näytteiden selkeällä priorisoinnilla.

Kullan analysointi tulee olla luotettavaa. Kultatuloksia käytetään rikastamon päivittäisen tuotannon raportoimiseen sekä kuukausittaiseen inventaarioraportointiin. Tulosten perusteella lasketaan tuotetun kullan määrä, joka raportoidaan eteenpäin. Tulosten tulee olla tarkkoja, jolloin raportointi ei ole harhaan johtavaa. Sen vuoksi analytiikan on toimittava hyvin ja analysoinnin tulee olla läpinäkyvää yhtiön sisällä.

## 6.3 Rikin, hiilen, arseenin ja raudan analysointi

Rikin ja hiilen mittaamisen nopeuttaminen molemmilla menetelmillä on haasteellista, koska useat työvaiheet vaativat oman aikansa analyysimenetelmän vuoksi. Menetelmien työvaiheita jaksotetaan eri näytetyyppien välillä, jolloin menetelmien vuoksi syntyvä passiivinen aika hyödynnetään hyvin. Käytössä olevien laitteiden käyttöä voitaisiin teoriassa lisätä, mutta henkilöstöresurssit eivät anna siihen edellytyksiä.

Arseenin ja raudan mittaamisen analyysimenetelmistä voitaisiin valita käyttöön vain toinen. Tällöin voitaisiin hyödyntää toisen analyysimenetelmän nopeus tuot-

taa tuloksia. Tällöin avautuisi mahdollisuus vapauttaa henkilöstöresursseja muuhun käyttöön. Pullonkauloja tarkastellessa molemmilla analyysimenetelmällä oli yksi selkeä pullonkaula, jota on haasteellista minimoida.

#### 6.4 Käytössä olevat laitteet

Käytössä olevien laitteiden hyödyntäminen voitaisiin viedä pidemmälle. Useammalla käytössä olevalla laitteella voitaisiin kasvattaa käyttökapasiteettia muuttamalla esimerkiksi kalibrointia tai mittaamalla useampaa analyyytiä yhdessä mitauksessa. Mikäli kalibroinnin ajankohta valittaisiin esimerkiksi rikastamon tuotantoseisakin ajalle, kalibrointi saataisiin tehtyä ilman vaikutusta tuotantoon. Kalibrointi tulisi validoida huolellisesti ilman, että jää pienintäkään epäilystä tuloksen luotettavuudesta.

Nykyisten käytössä olevien laitteiden korvaaminen uusilla laitteilla on yksi vaihtoehto, jolla voitaisiin pienentää analyysiviivettä. Tehokkuus voi tuoda nopeutta usean analyytin yhtäaikaista mittaamisella tai prosessoimalla näytteitä lyhemässä ajassa. Laitteiden elinkaari olisi hyvä huomioida punnitessa eri vaihtoehtoja. Laitteiden elinkaaren tullessa loppupuolelle, olisi hyvä olla jo suunnitelma korvaavasta laitteesta ja menetelmästä.

On saatavilla erilaisia automatisoituja kokoonpanoja, jotka käyttävät joitakin kappaleessa 3.4. esiteltyjä mittaustekniikoita. Esimerkiksi Chrysos Corporation tarjoaa heidän valmistamaa PhotonAssay-laitetta, joka käyttää XRF-tekniikkaa (Chrysos Corporation 2020). Laite vaatii paljon tilaa sekä murskaus- ja jauhatuslaitteiston uusimista, jotta uudesta menetelmästä saataisiin selkeästi hyötyjä. Nopeasta PhotonAssay-menetelmästä saataisiin hyötyä nimenomaan näytteiden lukumäärää kasvattamalla, joka vaatii panostuksia näytekäsittelyyn. Analyyttisen laboratorion tilat ovat jo nyt täysin hyödynnetty, joten mikäli päädyttäisiin PhotonAssay-laitteeseen, jouduttaisiin analyyttisen laboratorion tiloja laajentamaan. Automatisoimalla joitain työvaiheita voitaisiin saada vapautettua henkilöstöresursseja.

Työvaiheiden uudelleenjärjestäminen voisi vapauttaa henkilöstöresursseja. Mikäli laitteita sijoitettaisiin uudelleen analyyttisen laboratorion tiloissa, voitaisiin saada keskitettyä samantyyppisiä analyysilaitteita lähekkäin, jolloin niitä voisi

operoida yksi ja sama henkilö. Tällöin analyysimenetelmien vaatimat hyödykkeet olisivat myös samassa tilassa.

### 6.5 Menetelmien muutosten hallinta ja johtaminen

Tämän tutkimuksen edetessä ratkaisuksi analyysiviiveen minimoimiseksi havaittiin useita ideoita. Analysoitaessa menetelmien kehittämisen ideoita suppilomallin mukaisesti, kaikki kehitysehdotukset olisi hyvä käydä vuorovaikutuksessa analyttisen laboratorion henkilökunnan sekä linjaorganisaation kanssa. Tämän opinnäytetyö pohjalta syntyneistä ideoista voisi jatkojalostua tarkoituksenmukaisia käytänteitä analyttisen laboratorion toimintaan. Muutosten johtaminen käytänteiksi on helpompaa muutosvastarinnan ollessa pieni (Virtanen & Stenvall 2010, 211–216). Tästä johtuen analyttisen laboratorion henkilökunta tulisi ottaa mukaan hyvin varhaisessa vaiheessa.

Käytännössä analyttisen laboratorion henkilökunnalle viestittäisiin kaikista kehityskohteista. Valituista kehityskohteista laadittaisiin yhteistyössä henkilökunnan kanssa aikataulu, jossa huomioitaisiin jokaiselle kehityskohteelle vastuuhenkilöt analyttisen laboratorion henkilökunnan keskuudesta. Selkänahon mukaan avoimen viestinnän tuloksena ihmiset kokevat olevansa osa palveluiden ja tuotteiden kehittämistä (Selkänaho 2017).

Riskien arvioiminen ennen muutoksien toteuttamista on tarkoituksenmukaista. Riskiarvion tekemiseen tulisi ottaa mukaan henkilöitä eri organisaatiosta eri tasoilta työntekijästä tulosten käyttäjiin saakka. Viestintä mahdollisesta menetelmämuutoksesta heti alussa parantaa menetelmän käyttöönottoa, joten viestintä linjaorganisaatioon olisi myös syytä aloittaa hyvissä ajoin. Yhtiön sisällä tarkastellaan laatujärjestelmän mukaisesti analysoinnissa käytettyjen referenssinäytteiden tasoa sekä tehdään ristikkäisanalysejä eri laboratorioden välillä. Uuden menetelmän tulee täyttää kaikki yhtiön laatuvaatimukset.

Vahvuudet	Heikkoudet
Kehitystyön motivaatio Tiimityö Ammattitaito	Vaatii henkilöstöresursseja Vaatii aikaa, mm. validointiin
Mahdollisuudet	Uhat
Kehittyminen Analyysiviiveen lyhentyminen Henkilöstöresursseja vapautuu	Kustannukset Muutosvastarinta Tilan puute

Kuvio 17. Esimerkki SWOT-analyysistä uuden menetelmän käyttöönottoon

Riskiarvion tekemiseen voidaan käyttää esimerkiksi SWOT-analyysiä (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). Nelikenttään kirjataan uuden kehitystyön vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat, kuten kuviossa 17 on esimerkin omaisesti esitetty. (Oulun ammattikorkeakoulu s.a.) Uudet laitteet ja menetelmät vaativat aina muun muassa aikaa sekä henkilöstöresursseja. Mikäli resursseja ei ole käytettävissä, kehitystyö saattaa olla jopa mahdotonta. Analyttisen laboratorion vahvuuksiin kuuluvat ehdottomasti tiimityö ja ammattitaito, lisäksi heillä on halu kehittyä.

Laitteiden korvaaminen uusilla tehokkaammilla laitteilla aiheuttaa kustannuksia. Ennen elinkaaren päättymistä olisi hyvä olla valmis suunnitelma laitteiden korvaamiseen uusilla. Suunnitelman perusteella voidaan hankinnat esittää hyvine perusteluineen budjettiin. Uuden laitteen tuomista eduista tuotantokustannusten säästö on hyvä pitää mielessä. Esimerkiksi säästöä voi syntyä laboranttien työajassa ja laitteiden huoltokustannuksissa. Kun säästöt ovat tiedossa, voidaan laskea laitteelle takaisinmaksuaika, silloin saadaan käsitys kokonaiskustannuksista. Korvaavia laitteita voidaan perustella kustannussäästöillä sekä analyysien viiveajan pienenemisellä, joka vaikuttaa suoraan rikastamon syötteen ennakkointiin. Syötteen reseptissä voitaisiin ennakoida eri analyyttien pitoisuuksia nopeammin.

Uusien laitteiden hankkimisprosessiin olisi hyvä ottaa mukaan laitteiden käyttäjät sekä kunnossapidon asentajat. Käyttäjäkokemukset ja heidän huomionsa nykyisestä tilanteesta ohjaavat laitteiden valintaa oikeaan suuntaan. Uusien laitteiden

käyttöönotto sujuu jouhevammin, kun käyttäjät ovat olleet osallisena valintaprosessissa. Kunnossapidon edustajien huomiot ovat tärkeitä laitteita asennettaessa. Kuten jo edellä todettiin, analyttisen laboratorion tilat ovat käyneet ah-  
taiksi. Uusille laitteille ei näin ollen välttämättä löydy tilaa.

Uudet menetelmät ja laitteet aiheuttavat tarpeen perehtymisille ja koulutuksille. Kaikki uusia menetelmiä ja laitteita käyttävät laborantit tulisi järjestelmällisesti ja tasapuolisesti perehdyttää ja kouluttaa. Kunnossapidon henkilökunnalle tulisi myös järjestää koulutus, mieluiten laitetoimittajan toimesta. Tasapuolinen kohtelu pitää muutosvastarinnan vaimeampana. Lisäksi uudet menetelmät ja laitteet tulevat validoida. Menetelmien ja laitteiden soveltuvuus ja suorituskyky tulee vastata käyttötarkoitustaan. Validoinnilla saadaan myös selville menetelmän ja laitteen luotettavuus tuottamalla vertailuarvoja parametreille, jotka kuvaavat menetelmän ja laitteen luotettavuutta. (Hägg 2016, 7.)

Häggin (2016, 15–18) mukaan menetelmien ja laitteiden käyttöönotto tulee suunnitella huolellisesti. Menetelmää tai laitetta käytetään, jotta saadaan tuloksia. Saatua tuloksia on arvioitava kriittisesti; validoinnissa havaitaan uuden menetelmän tai laitteen heikoimmat kohdat. Näitä tulee menetelmää tai laitetta käyttäessä seurata säännöllisesti. Tuloksista saadaan laskettua tilastollisin menetelmin kokonaisuusmittaepävarmuus, jota verrataan sallittuun analyttiseen kokonaisvirheeseen. Tällä tarkoitetaan tavoitteellista kokonaisuusmittaepävarmuutta, joka asetetaan joko tuloksia hyödyntävän tahon, analyttisen laboratorion itsensä tai laidansäädännön lähtökohdista. (Hägg 2016, 15–18.) Uutta menetelmää tai laitteen suorituskykyä tulisi seurata analyttisen laboratorion laatu järjestelmän mukaisesti. Lisäksi tulee huomioida kyseisen menetelmän kansalliset ja kansainväliset standardit, jotta voidaan tuottaa laadukkaita ja luotettavia tuloksia.

Avointa ilmapiiriä ja keskustelua kaikkien osapuolten välillä on hyvä ylläpitää koko kehitysprosessin ajan. Kehitysprosessiin osallistujilla tulee olla luottava ilmapiiri, jossa jokainen voi kertoa mielipiteensä. Tavoitteet ja kehitystyön tarkoitus on hyvä pitää selkeänä. (Virtanen & Stenvall 2010, 211–216.) Johtamisen olisi hyvä olla leadership- ja management-johtamisen kombinaatio, kuten Oja (2017, 35–36) tutkimuksessaan toteaa. Uusien laitteiden käyttöönotto on havaittu olevan helpompaa, kun uudelle laitteelle on valittu laboranttien keskuudesta vastuuh-



kilöt. He ovat saaneet uudelle laitteelle koulutuksen ja osallistuvat aktiivisesti laitteen käyttöönottoon. Sen lisäksi he ovat kantaneet vastuun muiden laboranttien perehdytyksestä laitteen käyttöön.

## 7 POHDINTA

### 7.1 Luotettavuusarviointi

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää analyttisen laboratorion toiminnan osa-alueet, jotka hidastavat analyysiprosessien kulkua. DMAIC-prosessia hyödyntämällä tutkimuksessa saatiin rajattua aihetta koskemaan menetelmiin ja koneisiin. Pullonkaulat eri analyysiprosesseissa saatiin selvitettyä mittaamalla analyysiprosessiin kuuluva aika. Mittaaminen on tehty yhteistyössä analyttisen laboratorion henkilökunnan kanssa. Mittaaminen tapahtui usean eri henkilön toimesta, ja ajoista laskettiin keskiarvo. Näin ollen mittaustulos on luotettava, ja keskiarvoa tutkimuksessa käyttämällä saatiin hyvä näkemys analyysiprosessien suorittamiseen kuluva ajasta.

Tutkimuksen kohteena on analyttisen laboratorion toiminta, ei henkilökunta. Kellotuksien tulokset on laskettu siten, ettei yksilön kellotusta voida tunnistaa. Kellotukset on suoritettu analyttisen laboratorion henkilökunnan kanssa yhteistyössä. Ennen kellotuksia on analyttisen laboratorion henkilökunnalle kerrottu, ettei saatavilla tuloksilla ole tarkoitus seurata yksilön työskentelyä vaan tutkia analyysimenetelmiin kuluva aikaa ja sitä kautta kehittää analyysimenetelmiä.

### 7.2 Tutkimustulosten tarkastelu

Tutkimuksen on täytettävä tietyt ehtoja. Tutkimuskohde tulee määrittää täsmällisesti ja tutkimuksen on tuotettava jotakin, jota voidaan hyödyntää. (Vilka 2005, 17–18.) Tämän työn tarkoituksena oli syventyä Kittilän kultakaivoksen analyttisen laboratorion analyysiprosessien viiveajan syntymiseen ja syihin, mistä viive johtuu. Tutkimuksen tuloksena syntyi useita erilaisia kehityskohteita ja -ideoita.

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin Lean Six Sigmaa, jonka periaatteen Lintula (2015) kiteyttää seuraavasti: ”Lean Six Sigma, LSS, tarkoittaa prosessien systemaattista ja tuloshakuista kehittämistä. Kyse on ennen kaikkea siitä, miten opimme nykyisestä tavastamme toimia ja miten kehitämme systemaattisesti tekemistämme asetettujen tavoitteiden ja organisaatiomme tehtävän saavuttamiseksi.” Lean Six Sigman yksi tärkeä elementti on DMAIC-prosessi, jota käyttämällä tutkimus saatiin rajattua hyvin. Kohteena on Kittilän kultakaivoksen analyttisessä laboratoriossa käytössä olevat menetelmät ja koneet. Tutkimuksessa

myös perehdyttiin ymmärryksen syventämiseksi teoriaan koskien joihinkin analysoitaviin analyytteihin, ja niiden ominaisuuksiin, sekä saatavilla oleviin erilaisiin analyysimenetelmiin ja -laitteisiin.

DMAIC-prosessin mukaan ideat ja ratkaisut prosessin parantamiseen kohdistuvat aina itse prosessiin. Uudet ideat ja ratkaisut tulee testata ja mitata prosessissa, jolloin pystytään arvioimaan ja todentamaan ratkaisun hyöty. Mikäli idea tai ratkaisu antaa toivotun tuloksen sekä prosessia saadaan kehitettyä ja parannettua, idea tai ratkaisu tulee standardoida käytäntöön. Suorituskykyä varten tulee luoda mittareita, joilla voidaan seurata ja ylläpitää saavutettua parannusta. (Six Sigma s.a.; Järvinen 2020.)

Analyttisen laboratorion menetelmiä mitattiin ajassa käyttäen rajoitteiden teoriaa eli TOC-teoriaa (Six Sigma s.a.). Työssä selvitettiin jokaiseen analyysiprosessiin kuluva aika kellottamalla prosesseihin kuuluvat työvaiheet. Kuluva aika kuvattiin pylväsdiagrammeihin, jolloin nähdään visuaalisesti jokaisen analyysiprosessin pullonkaulat eli suorituskykyä rajoittavat tekijät. Työn edetessä arvioitiin pullonkaulojen aiheuttajia. Joissain tapauksissa pullonkaulan aiheuttajana on laite tai analyysimenetelmän vaatima aika esimerkiksi kemiallisen reaktion tapahtumiseen. Näiden kahden viiveen aiheuttavassa tekijässä on yhteistä se, että niiden vaatimaa aikaa ei voida lyhentää muuta kuin vaihtamalla analyysimenetelmää kokonaisuudessaan.

Ennen uusien kehityskohteiden ja -ideoiden käyttöönottoa ja muutoksen tekoa on hyvä tehdä riskianalyysi. Uusia kehityskohteita ja -ideoita tarkasteltaessa voidaan käyttää esimerkiksi SWOT-analyysiä. SWOT-analyysissä on nelikenttä, jossa jokaisella kentällä on oma otsikkonsa. Otsikot ovat vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Otsikkoina voidaan käyttää muitakin aihealueita. Analyysillä saadaan parempi käsitys ja johtopäätösten tekeminen helpottuu. (Oulun ammattikorkeakoulu s.a.) Tässä työssä tehty SWOT-analyysi on esimerkinomainen, ja se olisi hyvä tehdä uudelleen henkilöstön kanssa sen jälkeen kun on päätetty, mitä kehityskohteita päätetään toteuttaa.

Uudet menetelmät ja laitteet tulee myös validoida. Validoinnilla saadaan selvitettyä vastaako menetelmä tai laite käyttötarkoitustaan ja onko se suorituskyvyltään

sopiva. Laboratoriotoiminnassa on hyvin olennaista tuottaa luotettavia analyysituloksia. Myös sen vuoksi validointi on hyvä tehdä uusia menetelmiä tai laitteita käyttöönotettaessa. (Hägg 2016, 7–11; 15–18.)

Muutosvastarintaa saattaa ilmentyä kaikilla tasoilla organisaatiossa (Laajalahti 2017, 30). Tämän vuoksi on tärkeää, että muutoksien johtaminen tapahtuu järjestelmällisesti ja suunnitellusti. Tavoitteiden selkeä määrittäminen selkeyttää muutoksen tuomaa tilannetta. Käytännön toteutukseen liittyvät vaiheet on hyvä suunnitella huolellisesti yhteistyössä eri organisaatioiden ja organisaatiotasojen kanssa. (Kavalainen s.a.)

Avoimessa ilmapiirissä henkilöstö on vastaanottavaisempi kehitystyölle ja muutoksille. (Virtanen & Stenvall 2010, 211–216.) Tässä työssä ilmenneet kehitys-ideat ja -ratkaisut tulee viestiä analyttisen laboratorion henkilökunnalle ja aloittaa keskustelu kehityskohteista ja niiden ratkaisuista heidän kanssaan. Hyvällä tasolla oleva vuorovaikutus on muutostilanteissa tärkeää muutoksen minimoimiseksi. Lisäksi keskustelun kautta voidaan saada uusia ideoita, joilla voidaan analyttisen laboratorion toimintaa kehittää. Tässä työssä esille tulleet ideat ovat osittain heti toteutettavissa, osa vaatii enemmän suunnittelua ja arviointia.

### 7.3 Tulosten hyödynnettävyys

Vuorovaikutus ja yhteistyö ovat merkittävä tekijä muutosten tuomissa tilanteissa (Virtanen & Stenvall 2010, 211–216). Mikäli ilmapiiri pidetään johtamalla vuorovaikutteisena viedessä muutosprosessia eteenpäin, onnistumisen edellytykset nousevat. Vuorovaikutteisessa ilmapiirissä innovaatiot syntyvät helpommin ja myönteisessä epäonnistumisen hyväksyvässä työyhteisössä voidaan kokeilla uusia innovaatioita käytännössä. (Heikkilä 2010, 302–306.)

DMAIC-prosessia käyttäen tutkimuksen kohde saatiin rajattua hyvin, ja siten päästiin pureutumaan todellisiin analyysiprosessiin kuuluvien työvaiheiden pulonkauloihin. Näin ollen tämän työn tuomat tulokset vastaavat alkuperäisiin tutkimuskysymyksiin. Innovatiiviset ideat voidaan jatkojalostaa kehitystyöksi yhteistyössä analyttisen laboratorion henkilökunnan sekä muiden analyysituloksia käyttävien osapuolten kanssa.

Uusien menetelmien ja laitteiden käyttöönotto tulee suunnitella yhteistyössä ja validoida huolellisesti (Hägg 2016, 15–18; Virtanen & Stenvall 2010, 211–216). Analyysiviiveen pienentämiseen liittyvät kehitystyöt voidaan suunnitella pitemmälle ajanjaksolle, jolloin yksittäisien muutoksien tuomat hyödyt ovat todennettävissä. Mikäli tehdään monta muutosta samanaikaisesti, ei välttämättä voida testata, mitata ja arvioida tuloksia kuin isona kokonaisuutena.

Antola ja Pohjola (2006, 19) toteavat, ettei aina voida ideoida uutta villisti vaan on myös keskityttävä päätettyjen hankkeiden kehittämiseen ja läpivientiin. Innovatiiviset ratkaisut eivät aina tarkoita uutta teknologiaa vaan myös olemassa olevien menetelmien ja laitteiden uudenlaista hyödyntämistä. Ratkaisut, jotka tämän tutkimuksen aikana tuotettiin, ja joilla voitaisiin korvata käytössä oleva menetelmä joko kokonaan tai osittain, lyhentäisivät molempien näytetyyppien analyysiviivettä samalla säästäen kustannuksissa. Samalla vapautuisi analyttisen laboratorion henkilökunnalta työaika, joka voitaisiin ohjata muihin työtehtäviin. Tutkimuksen tulokset on esitelty Kittilän kultakaivoksella. Palautteena oli muun muassa, että työstä sai selkeän ja konkreettisen kuvan, miten analyttisen laboratorion resursointia kannattaa ohjata. Esitetyjä ratkaisuja pidettiin innovatiivisina ja toteutettavissa olevana. Tämän tutkimuksen tulokset kehittämiskohteista ovat suoraan hyödynnettävissä analyttisessä laboratoriossa ja sen toiminnassa.

## LÄHTEET

- Aaltio-Marjasalo, I. 1999. Case-tutkimus metodisena lähestymistapana. Viitattu 25.2.2020. <https://metodix.fi/2014/05/19/aaltio-marjosola-casetutkimus/>
- Agnico Eagle Finland Oy 2018. Yhtiön sisäiset dokumentit. Viitattu 6.12.2019.
- Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio M. 2014. Tekniikan kemia. 10.–13. painos. Helsinki: Edita.
- Antola, T. & Pohjola, J. 2006. Innovatiivisuuden johtaminen. Helsinki: Edita Publishing.
- Amptek s.a. What is XRF? Viitattu 14.12.2019. <https://www.amptek.com/resources/xrf>
- Brouwer, P. 2018. Theory of XRF. Alankomaat: Malvern Panalytical.
- Bugbee, E. E. 1922. A Textbook Of Fire Assaying. Kessinger Publishing.
- Chrysol Corporation 2020. Chrysol™ PhotonAssay. Viitattu 1.4.2020 <https://chrysol.com.au/our-technology/>
- Davies, C. 2017. Kultakanta. Kanada.
- Eltra 2017. Carbon / Hydrogen / Sulfur ANALYZERS. Viitattu 1.4.2020 [https://www.eltra.com/dltmp/www/53e4b57b-b94c-4f8c-8590-636500000000-31f146f4f9fc/brochure\\_cs-580\\_chs-580\\_en.pdf](https://www.eltra.com/dltmp/www/53e4b57b-b94c-4f8c-8590-636500000000-31f146f4f9fc/brochure_cs-580_chs-580_en.pdf)
- Eriksson, P. & Koistinen, K. 2014. Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä 11/2014. Viitattu 16.2.2020 <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153032/Tutkimuksia%20ja%20selvityksi%C3%A4%2011%202014%20Monenlainen%20tapaustutkimus%20Eriksson%20Koistinen.pdf?sequence=1>
- Fogelholm, C-M. 2009. Tuoteideasta innovaatioksi. Tampere: Mediapinta.

- Haffty, J., Riley, L. B. & Goss, W. D. 1997. A Manual on Fire Assaying and Determination of the Noble Metals in Geological Materials. Viitattu 8.12.2019. <https://pubs.usgs.gov/bul/1445/report.pdf>
- Harris, D. C. 2010. Quantitative chemical analysis. 1. painos. USA: W. H. Freeman and Company
- Hautamäki, A. 2008. Sitran raportteja 76. Kestävä innovointi. Innovaatiopoliittikka uusien haasteiden edessä. Viitattu 2.2.2020. <https://media.sitra.fi/2017/02/27172618/raportti76-2.pdf>
- Heikkilä, J. 2010. Luovasta ideasta innovaatioon. Turku: Enostone.
- Hukki, R.T. 1964. Mineraalien hienonnus ja rikastus. 1. painos. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Hägg, M. 2016. Validoinnin suunnittelun opas. VTT Technology 276. Viitattu 2.4.2020. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T276.pdf>
- Härkönen, I. 1997. TUTKIMUSTYÖSELOSTUS KITTILÄN KUNNASSA VALTAUSALUEILLA SUURIKUUSIKKO 2 JA ROURAVAARA 1-10 (KAIVOSREKISTERINUMEROT 5965/1, 6160/1,6288/1- 6288/9) SUORITETUISTA KULTATUTKIMUKSISTA VUOSINA 1987 – 1997. Viitattu 16.11.2019. [http://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06\\_2743\\_97\\_1\\_10.pdf](http://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_2743_97_1_10.pdf)
- Jaarinen, S. & Niiranen, J. 2005. Laboratorion analyysitekniikka. 5. uudistettu painos. Helsinki: Edita.
- Juntunen, S. 2012. Geologiaa helposti. Viitattu 16.11.2019 <https://www.uef.fi/documents/640649/725289/GH+opettajalle.pdf/8cb303b7-f15f-4730-9375-8cc2873059a4>
- Juvonen, A. 2018. Uusi kuilu 1044 metrin syvyyteen – Kittilän kultakaivosta laajennetaan 160 miljoonalla eurolla.. Viitattu 2.2.2020 <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/uusi-kuilu-1044-metrin-syvyyteen-kittilan-kultakaivosta-laajennetaan-160-miljoonalla-eurolla/9f1ba957-3df0-3e73-a8dc-bc80c5050b75>
- Järvinen, T. 2020. Business Excellence Finland Oy. Asiantuntijan luento 26.2.2020

Kaiva.fi. 2009. Malmit. Viitattu 16.11.2019 <https://kaiva.fi/geologia/kivilajit-ja-malmien-synty/malmit/>

Karjalainen, T. 2007. Yhdistä ideointityökaluilla luovan ajattelun eri ulottuvuudet - Aivoriihi, ryhmittelykaavio sekä kalanruotokaavio. Viitattu 27.2.2020 <http://www.gk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/luova-ajattelu/>

Kavalainen, S. a.s. Muutosjohtaminen. Viitattu 7.4. <https://www.ttl.fi/palvelu/muutosjohtaminen/>

Kinneberg, D. J., Williams, S. R. & Agarwal, D. P. 1998. Origin and Effects of Impurities in High Purity Gold. Viitattu 8.12.2019 <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F03214762.pdf>

Kittilän kaivos. Agnico Eagle Finland Oy 2019. Viitattu 6.12.2019. <http://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/toiminta/>

Laajalahti, T. 2016. Paha, pahempi, muutos. Miksi muutosta vastustetaan? Viestintätieteiden laitos. Maisterintutkielma.

Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. 2007. Tapaustutkimuksen taito. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus.

Lintula, R. 2015. Lean Six Sigma on prosessien systemaattista ja tuloshakuista kehittämistä! (osa 1). Viitattu 7.4.2020 <https://www.aaltoopro.fi/aalto-leaders-insight/2015/lean-six-sigma-on-prosessien-systemaattista-ja-tuloshakuista-kehittamista-osa-1>

Leco 2019. Carbon And Sulfur By Combustion. Viitattu 30.3.2020 <https://www.leco.com/product/744-series>

Leppänen, R. 2019. Taselaskennan laadunohjaus. Viitattu 19.3.2020. Agnico Eagle Finland Intranet.

Metla 2012. Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa. Viitattu 8.2.2020 <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-rauta.htm>

Nor, F. M., Tamuri, A. R. & Ismail, A. K. 2019. Fake Gold: Gold Purity Measurement Using Non Destructive Method. Viitattu 12.12.2019. <https://www.re->



[searchgate.net/profile/Fazrul\\_Nor/publication/330440901\\_Fake\\_Gold\\_Gold\\_Purity\\_Measurement\\_Using\\_Non\\_Destructive\\_Method/links/5c40398c92851c22a37ae4b5/Fake-Gold-Gold-Purity-Measurement-Using-Non-Destructive-Method.pdf](https://searchgate.net/profile/Fazrul_Nor/publication/330440901_Fake_Gold_Gold_Purity_Measurement_Using_Non_Destructive_Method/links/5c40398c92851c22a37ae4b5/Fake-Gold-Gold-Purity-Measurement-Using-Non-Destructive-Method.pdf)

Nuutinen, O. a.s. Jyväskylän yliopisto. Kansalaisyhteiskunnan tutkimusportaali. Hiljainen tieto. Viitattu 2.2.2020 <http://kans.jyu.fi/sanasto/sanat-kansio/hiljainen-tieto>

Oja, J-P. 2017. Innovatiivisen organisaation sekä johtajan ominaisuudet – Mistä innovatiivinen organisaatio rakentuu ja kuinka sitä johdetaan. Kansainvälisen liiketoiminnan johtaminen. Pro gradu -tutkielma.

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2015. Kehittämistyön menetelmät - Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Ojala, L. 2009. Täyttä terästä. Teknologiateollisuus. Viitattu 21.3.2020. [https://www.kunkoululoppuu.fi/assets/uploads/2018/01/Taytta\\_Terasta\\_web\\_teknologiateollisuus.pdf](https://www.kunkoululoppuu.fi/assets/uploads/2018/01/Taytta_Terasta_web_teknologiateollisuus.pdf)

Opetushallitus a.s. Laboratorioanalyysit. Viitattu 27.3.2020 [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat\\_1\\_johdanto.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_1_johdanto.html)

Oulun ammattikorkeakoulu a.s. SWOT-analyysi. Viitattu 1.4.2020 <https://www.oamk.fi/hankkeet/pkk/pakki/nykytila2.htm>

Paalumäki, T., Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintakniikka. 3. uudistettu painos. Tampere: Juvenes Print Oy.

Pedersen, T. 2016. Facts About Arsenic. Viitattu 18.2.2020 <https://www.live-science.com/29522-arsenic.html>

Piirainen, A. 2018. Lean Six Sigma –metodi ja kaksi tärkeää ”ympyrää”. Viitattu 18.2.2020 <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/lean-six-sigma-metodi/>

Rose, T. K. & Merloc, W. T. 2008. The Metallurgy of Gold. 6. painos. USA: Wexford Press.

- Routio, P. 2007. Tapaustutkimus. Viitattu 18.2.2020 <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/079.htm#case>
- Saaranen-Kauppinen A. & Puusniekka A. 2006. KvaliMOTV. Tapaustutkimus. Viitattu 18.2.2020 [https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L5\\_5.html](https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L5_5.html)
- Santos-Munguia, P. C., Nava-Alonso, F. & Rodriguez-Chavez, V. M. 2019. Hidden gold in fire assay of gold telluride ores. Viitattu 8.12.2019. <https://www.sciencedirect.com/getaccess/pii/S0892687519302444/drawdown>
- Schumacher, B. A. 2002. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. Viitattu 3.1.2020. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100S8MB.PDF?Dockey=P100S8MB.PDF>
- Selkäinaho, H. 2017. Miten avoin sisäinen viestintä lisää työhyvinvointia? Viitattu 7.4.2020 <https://www.wgh.fi/miten-avoin-sisainen-viestinta-lisaa-tyohyvinvointia/>
- Six Sigma s.a. Esteiden teoria (TOC). Viitattu 27.2.2020 <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/esteiden-teoria-toc/>
- Singh, N. 2012. A rugged, precise and accurate new gravimetry method for the determination of gold: an alternative to fire assay method. Viitattu 8.12.2019 <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2F2193-1801-1-14.pdf>.
- Tirri, T. 1994. Mekaaninen prosessitekniikka. Oulu: Oulun yliopisto.
- Turunen, M. 2018. Mitä mineraalit ovat? Viitattu 16.11.2019. <http://www.geologia.fi/index.php/2018/05/25/mita-mineraalit-ovat/>
- Työterveyslaitos. Arseeni ja sen epäorgaaniset yhdisteet. Viitattu 6.2.2020. <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/Arseeni.pdf>
- Valli, R. 2018. Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. 5. uudistettu painos. Jyväskylä: PS-Kustannus.
- Vilkka, H. 2005. Tutkimusmetodeja ammatilliselle kentälle. Viitattu 25.2.2020 <http://hanna.vilkka.fi/wp-content/uploads/2014/02/Tutki-ja-kehit%c3%a4.pdf>

Vilkka, H. 2015. Tutki ja kehitä. 4. uudistettu painos. Jyväskylä: PS-Kustannus.

Virtanen, P. & Stenvall, J. 2010. Julkinen johtaminen. Helsinki: Tietosanoma Oy

Whitwell, J. C. & Toner, R. K. 1969. Conservation of mass and energy. USA: Blaisdell Publishing Company.

Wills, B. A. & Napier-Munn, T. J. 2006. Wills' Mineral Processing Technology. 7. painos. Iso-Britannia: Butterworth-Heinemann.

Wiyantoko, B. 2018. Quantitative analysis of gold concentrate using fire assay by gravimetry and spectrophotometry method. Viitattu 25.3.2020. <https://acadpubl.eu/hub/2018-118-24/1/47.pdf>

Yliherva, J. 2006. Sitran raportteja 64. Tuottavuus, innovaatiokyky ja innovatiiviset hankinnat. Viitattu 1.2.2020 <https://media.sitra.fi/2017/02/27173648/Raportti64-2.pdf>