



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# RIKKIPITOISEN KALLION KÄYTTÖ INFRARAKENTAMISESSA

TEKIJÄ: Riku Reijonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Riku Reijonen	
Työn nimi Rikkiptoisen kallion käyttö infrarakentamisessa	
Päiväys 26.3.2019	Sivumäärä/Liitteet 30/3
Ohjaaja(t) Kai Auvinen, lehtori; Juha-Matti Aalto, tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Destia Oy, Pekka Jaakkola, Mari Borén	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli antaa yleistä tietoa rikkiptoisesta kalliosta, sekä sen kanssa toimimisesta infrarakennustyömailla. Rikkiptoista kalliota esiintyi muun muassa Destian Valtatie 5 Mikkeli–Juva -projektissa, jossa sitä oli louhittavana suuria määriä. Opinnäytetyössä keskityttiin rikkiptoisen kallion esiintyvyyteen Suomessa, sen ympäristövaikutuksiin sekä sen käyttöä koskeviin lakeihin ja asetuksiin. Lisäksi tutkittiin rikkiptoisen kiviaineksen sopivuutta erilaisiin rakenteisiin, lakien ja asetusten avulla.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin ensimmäiseksi kallion rikkiptoisuutta koskeviin lakeihin ja asetuksiin. Tämän jälkeen tarkasteltiin mustaliuskeita, ja yleisesti niiden esiintymistä sekä ympäristövaikutuksia. Lopulta työssä käsiteltiin rikkiptoisen kiviaineksen käytön tehostamista sekä kuinka rikkiptoista kalliota on käsitelty Destian VT5–urakassa.</p> <p>Lopputuloksena laadittiin tilaajan käyttöön kirjallinen kokonaisuus rikkiptoisesta kalliosta, sekä annettiin muutamia näkökulmia kuinka rikkiptoisen kallion käyttöä voisi tehostaa.</p>	
Avainsanat Rikkiptoisuus, mustaliuske	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Civil and Construction Engineering, Construction Architect			
Author(s) Riku Reijonen			
Title of Thesis Usage of sulfurous rock in infrastructure construction			
Date	26.3.2019	Pages/Appendices	30/3
Supervisor(s) Mr. Kai Auvinen, Senior Lecturer; Mr. Juha-Matti Aalto, Lecturer			
Client Organisation /Partners Destia Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to provide general information about sulfurous rock. Sulfurous rock was found in Destia's Highway 5 Mikkeli–Juva project where it was mined in sizeable quantities. The thesis focused on the prevalence of sulfur-containing rock in Finland, its environmental impacts, and the laws and regulations governing its use. In addition, the suitability of sulfur-containing rock for various structures was studied.</p> <p>The work began by studying the laws and regulations concerning the sulfur content of the rock to make it easier to catch up on the subject. Then, black schists, and generally their occurrence and environmental impacts, were examined. Finally, the work focused on improving the use of sulfur-containing rock and how the sulfur-rich rock was treated in Destia's VT5 contract.</p> <p>The result of the thesis was a document summarizing the key elements of sulfurous rock and its usage in infrastructure construction. In addition, the thesis also provides some viewpoints on how the usage of sulfurous rock could be made more efficient in both design and construction phases.</p>			
Keywords Sulphur concentration, black schist			

## ESIPUHE

Haluan kiittää Destia Oy:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta sekä mahdollisuudesta olla mukana tutkimassa rikki-pitoisen kallion käyttöä infrarakentamisessa. Työni aikana pääsin tutustumaan ja tekemään yhteistyötä monien asiantuntevien ihmisten kanssa, mutta erityisesti haluan kiittää Destian Pekka Jaakkolaa sekä Mari Borénia kaikesta avusta, jota heiltä sain tämän työn tekemisen aikana. Lisäksi haluan osoittaa kiitokset läheisilleni sekä kavereilleni, jotka jaksoivat tukea minua tämän opinnäytetyöprosessin ajan.

Kuopiossa 3.5.2019

Riku Reijonen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Taustat ja tavoitteet .....	6
1.2	Työn tilaaja .....	6
1.3	Keskeiset käsitteet .....	7
2	KALLION RIKKIPITOISUUTTA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ .....	8
2.1	Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä 190/2013.....	8
2.2	Valtioneuvoston asetus 214/2007 (PIMA-asetus).....	10
2.3	MARA- ja MASA-asetukset.....	11
3	RIKKI JA RIKIN YHDISTEET .....	12
4	RIKKI KALLIOPERÄSSÄ .....	13
4.1	Mustaliuskeet.....	13
4.1.1	Mustaliuskeiden esiintyminen Suomessa .....	14
4.1.2	Mustaliuskeiden vaikutukset ympäristölle .....	17
5	RIKKIPITOINEN KALLIO VALTATIE 5–PROJEKTISSA .....	18
5.1	Kallioperän tutkimukset .....	18
5.2	Rikkipitoisen kallion sijoittaminen.....	20
6	RIKKIPITOISEN KALLION SUUNNITTELUN JA KÄYTÖN TEHOSTAMINEN .....	21
7	RIKKIPITOISEN KALLION KÄYTTÖKOhteita INFRARAKENTAMISESSA.....	23
7.1	Kivianeksen käyttö kantavassa kerroksessa .....	23
7.2	Kivianeksen käyttö ratarakenteissa .....	23
7.3	Kiviaineksen käyttö asfaltinvalmistuksessa.....	24
8	PÄÄTELMÄT .....	25
	LÄHDELUETTELO .....	26
	LIITELUETTELO .....	27

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Taustat ja tavoitteet

Destia Oy toteuttaa vuosina 2018–2021 Valtatie 5:n parannustöitä Mikkeli–Juva välillä. Työmaalla on paljon louhittavaa kalliota, ja osa siitä on rikkipitoista. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia rikkipitoisen kallion ominaisuuksia, esiintyvyyttä Suomessa sekä sen käyttökohteita infrarakentamisessa. Lisäksi tässä työssä tarkastellaan rikkipitoisen kallion käyttöä koskevia lakeja ja säädöksiä. Opinnäytetyö rajoittuu koskemaan ainoastaan kallion rikkipitoisuutta, eikä tarkoituksena ole käsitellä maaperää ja siinä esiintyvää rikkipitoisuutta.

VT5 Mikkeli–Juva hankkeessa on tarkoituksena parantaa nykyistä valtatieä, ja vastata ennustettuun liikennemäärien kasvuun. Hanke toteutetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa, jota Destia parhaillaan urakoi, Mikkeli–Nuutilanmäki-osuus rakennetaan nelikaistaiseksi, keskikaiteelliseksi tieksi, jonka liittymät toteutetaan eritasoisina uuteen maastokäytävään. Myöhemmin erikseen alkavassa ja erikseen kilpailutettavassa, toisessa vaiheessa parannetaan Nuutilanmäki–Juva väliä. Liikenneväylälle rakennettavat uudet eritasoliittymät lisäävät liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta, ja uusi nelikaistainen tieosuus luo edellytykset elinkeinoelämän kasvulle. (Väylä.fi.)

Opinnäytetyön aihetta pohdittiin yhdessä Destian projektipäällikkö Harri Korhosen kanssa kesällä 2018. Rikkipitoinen kallio osoittautui sopivaksi aiheeksi, sillä juuri sen tyyppistä kalliota kyseisellä työmaalla esiintyi. Sovimme, että työn lopputuloksen tulisi olla yhtenäinen tietopaketti, joka antaa tietoa ja ohjeita rikkipitoisen kallion kanssa toimimiseen työmaalla.

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimalla aihetta koskevaa kirjallisuutta sekä lakeja ja asetuksia. Lisäksi perehdyttiin työmaalta saatuihin kokemuksiin ja pohdittiin, kuinka rikkipitoista kalliota voisi hyödyntää työmailla vielä tehokkaammin.

### 1.2 Työn tilaaja

Destia Oy on suomalainen infrastruktuurialalla toimiva yhtiö, joka aloitti toimintansa nykyisellä nimellä vuonna 2008. Aiemmin yhtiö on toiminut Suomen valtion omistuksessa nimillä Tie- ja vesirakennushallitus, Tielaitos sekä Tieliikelaitos. Destia toimii koko Suomen alueella, ja sen asiakkaita ovat teollisuus- ja liikeyritykset, kunnat ja kaupungit sekä valtionhallinnon organisaatiot. Kattava toimipaikkaverkko Suomessa takaa sen, että Destia on aina lähellä asiakkaitaan. (Destia Oy.)

Destian tarjoaa asiakkailleen kattavan määrän erilaisia infra-alaan liittyviä palveluita, tärkeimpien ollessa teiden ja rautateiden suunnittelu-, rakentamis- ja ylläpitopalvelut. Monipuolisen osaamisen ansiosta Destia toteuttaa suuria ja edistyksellisiä ratkaisuja asiakkailleen. (Destia Oy.)

### 1.3 Keskeiset käsitteet

Kaivannaisjäte	Kaivamisen yhteydessä syntyvää irtomaata, sivukiveä ja rikastushiekkaa, jotka käytöstä poistettuina luokitellaan kaivannaisjätteiksi.
Kaivannaisjäteasetus	Valtioneuvoston asetus, joka määrittelee toimintatavat kaivannaisjätteen kanssa toimimiseen.
Kallionäytekairaus	Näytteenottomenetelmä, jolla saadaan muun muassa tarkka tietoa kalliopinnan sijainnista ja kallion laadusta kairatulta matkalta.
MASA-asetus	Lausuntokierroksella oleva valtioneuvoston asetus, joka mahdollistaisi maa-ainesjätteen käyttämisen maarakennuskohteissa.
Mustaliuskeet	Mustaliuskeet ovat hienorakeisia, mustia metasedimenttikivilajeja, jotka sisältävät suuria määriä erilaisia metalleja.
Petrografinen tutkimus	Kallioperägeologin tekemä tutkimus, jonka tavoitteena on kiviaineksen nimeäminen, geologinen luokittelu ja kiviaineksen kuvaus.
PIMA-asetus	Valtioneuvoston asetus jossa esitetään ohje- ja kynnysarvot maaperässä esiintyville haitta-aineille. Näiden arvojen perusteella tehdään maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi.
Rapautuminen	Kallion tai kiven murenemistä, joka voi olla mekaanista tai kemiallista.
Sivukivi	Louhinnassa syntyvää kiveä, joka ei täytä luonnonkiveltä vaadittuja laatuvaatimuksia.

## 2 KALLION RIKKIPITOISUUTTA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ

### 2.1 Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä 190/2013

Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013) määrittelee toimintatavat jätehuoltosuunnitelman laatimiseen ja täytöntöönpanoon, kaivannaisjätteen jätealueen perustamiseen, hoitoon, käytöstä poistamiseen ja jälkihoitoon, kaivannaisjätteen hyödyntämiseen tyhjässä louhoksessa sekä kaivannaisjätteen jätehuollon seurantaan, tarkkailuun ja valvontaan. Lisäksi sen avulla voidaan määrittää, onko kaivannaisjäte pysyvää vai ei-pysyvää, ja selvittää vaatiiko kaivannaisjätteen sijoitus ja käyttö erikoistoimenpiteitä.

Rikkipitoisuutta tarkasteltaessa jäte on pysyvää kaivannaisjätettä, mikäli sen sulfidirikkipitoisuus on enintään 0,1 %, tai mikäli sulfidirikkipitoisuus on enintään 1 % ja neutralointipotentiaalisuhde on suurempi kuin 3. Tällöin voidaan pitää todennäköisenä, että jäte ei pala, eikä se liukene tai muuta muotoaan siten, että siitä aiheutuisi haittaa terveydelle tai ympäristölle. Pysyvä jäte ei vaadi lisätutkimuksia ja se voidaan loppusijoittaa esimerkiksi maankaatopaikoille. (Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä, 190/2013.)

Mikäli sulfidirikkipitoisuus ylittää kaivannaisjäteasetuksessa asetetun rajan, tai neutralointipotentiaalisuhde jää alle 3:n, ei jätettä voida enää pitää pysyvänä, ja tällöin on mahdollista, että maaperässä muodostuu happamia valumavesiä. Happamuutta syntyy sulfidimineraalien hapettuessa, ja varsinkin silloin, jos hapettumista neutraloivia mineraaleja ei ole saatavilla riittävästi. Ei-pysyvien jätteiden käyttö ja sijoitus edellyttävät lisätutkimuksia. (Ympäristöministeriö 2011.)



Taulukko 1. Kivilajit, joita voidaan pitää pysyvinä kaivannaisjätteinä (Ympäristöministeriö 2011).

Kivilaji	Tarkennus (sisältää kivilajit)
Kvartsiitti	
Arkoosi	
Graniitti	graniitti, gneissigraniitti, graniittinen pegmatiitti
Syenitoidi	syeniitti, (kvartsi)montsoniitti
Granodioriitti	granodioriitti, gneissigranodioriitti, granodioriittineosomi
Tonaliitti	tonaliitti, gneissitonaliitti, tonaliittineosomi, trondhemiitti
Hapan/vaalea gneissi	hapan/vaalea gneissi, granodioriittigneissi, graniittigneissi, kvartsimaasälpagneissi, tonaliittigneissi
Hapan/vaalea migmatiitti	
Anortosiitti	Anortosiitti, gabroanortosiitti
Kalkkikivi	

Taulukossa 1 on esitetty kivilajit, jotka täyttävät pysyville kaivannaisjätteille asetetut kriteerit. On syytä huomioida, että vaikka kivilaji kuuluisi taulukon 1 mukaisiin kivilajeihin, voi kivilajissa siitä huolimatta luonnollisinten olosuhteiden vuoksi esiintyä sulfidimineraaleja. Mikäli geologisessa tarkastelussa todetaan näitä mineraaleja olevan, on kivilajille tehtävä sulfidirikin määräys kaivannaisjätteen pysyvyyden selvittämiseksi. (Ympäristöministeriö 2011.)

Jos kivilaji ei sisälly taulukon 1 kivilajeihin, on jätteen pysyvyyttä tarkasteltava tarkemmin tapauskohtaisesti. Pysyvyyden määrittelystä vastaa toiminnanharjoittaja, mahdollisesti yhdessä asiantuntijoiden kanssa. (Ympäristöministeriö 2011.)

## 2.2 Valtioneuvoston asetus 214/2007 (PIMA-asetus)

Valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007), josta käytetään myös nimitystä PIMA-asetus, määritellään ohje- ja kynnysarvot maaperässä yleisesti esiintyville haitallisille aineille. Mikäli yhden tai useamman haitallisen aineen pitoisuus maaperässä ylittää tämän asetuksen liitteessä säädetyn kynnysarvon, on maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve arvioitava. Alueilla, joilla taustapitoisuus on kynnysarvoa korkeampi, arviointikynnyksenä pidetään taustapitoisuutta. Taustapitoisuudet on mahdollista selvittää Geologian tutkimuskeskuksen taustapitoisuudet karttapalvelusta, ja haitallisten aineiden ohje- ja kynnysarvot löytyvät taulukosta 2.

Kaivannaisjätteen luokittelu pysyväksi raportissa (Ympäristöministeriö 2011, 10) huomautetaan, että asetuksessa ei kuitenkaan ole määritelty ohje- ja kynnysarvoja rikille, vaan rikille voidaan käyttää vertailukohtana kaivannaisjäteasetuksessa 190/2013 määriteltyjä kriteerejä:

- Sulfidirikipitoisuus enintään 0,1 % tai
- Sulfidirikipitoisuus enintään 1 % ja neutralointipotentiaalisuhde vähintään 3

Taulukko 2. Maaperässä olevien metallien ja puolimetallien ohje- ja kynnysarvot (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, liite 1).

Aine (symboli)	Luontainen pitoisuus <sup>1</sup> mg/kg	Kynnysarvo mg/kg	Alempi ohjearvo mg/kg	Ylempi ohjearvo mg/kg
<i>Metallit ja puolimetallit<sup>2</sup></i>				
Antimoni (Sb) (p)	0,02 (0,01-0,2)	2	10 (t)	50 (e)
Arseeni (As) (p)	1 (0,1-25)	5	50 (e)	100 (e)
Elohopea (Hg)	0,005 (< 0,005-0,05)	0,5	2 (e)	5 (e)
Kadmium (Cd)	0,03 (0,01-0,15)	1	10 (e)	20 (e)
Koboltti (Co) (p)	8 (1-30)	20	100 (e)	250 (e)
Kromi (Cr)	31 (6-170)	100	200 (e)	300 (e)
Kupari (Cu)	22 (5-110)	100	150 (e)	200 (e)
Lyijy (Pb)	5 (0,1-5)	60	200 (t)	750 (e)
Nikkeli (Ni)	17 (3-100)	50	100 (e)	150 (e)
Sinkki (Zn)	31 (8-110)	200	250 (e)	400 (e)
Vanadiini (V)	38 (10-115)	100	150 (e)	250 (e)

## 2.3 MARA- ja MASA-asetukset

MARA-asetus, eli Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (843/2017), pyrkii edistämään jätteiden hyödyntämistä määrittelemällä edellytykset, joiden täyttyessä asetuksessa tarkoitettujen jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa. Kyseinen asetus ei kuitenkaan huomio louhinnan, kaivamisen tai ruoppaamisen aikana syntyvää maa-ainesjätettä, vaan keskittyy enemmänkin erilaisten murskeiden, kuonan ja valimohiekan hyödyntämiseen. Näin ollen asetuksella ei ole merkitystä rikkipitoisen kallion käytölle. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, 843/2017.)

Kallion rikkipitoisuuden kannalta tärkeämpi asetus on Valtioneuvoston parhaillaan valmistelema MASA-asetus, jonka tavoitteena on maa-ainesjätteiden hyödyntäminen infrarakentamisessa. Asetus pohjautuu MARA-asetukseen, mutta huomioi nyt myös maa-ainesjätteiden hyödyntämisen maarakennuskohteissa. Tällä hetkellä maa-ainesjätteen ammattimainen tai laitospäinen hyödyntäminen edellyttää ympäristölupaa (YSL 27§), mutta MASA-asetus olisi YSL 32.2 §:ssa oleva poikkeus ympäristöluvanvaraisuudesta. Tällöin asetuksen piirissä olevien jätteiden hyödyntämiseen maarakentamisessa riittäisi valvontaviranomaiselle tehtävä rekisteröinti-ilmoitus. Asetus koskee maa-ainesjätteitä sekä kiinteyyksessä käytettäviä jätteitä, jotka on tarkemmin luokiteltu liitteessä 1. MASA-asetus vaatii, että käytettävä jäte luokitellaan edelleen pilaantumattomaksi maa-ainesjätteeksi tai haitallisia aineita sisältäväksi maa-ainesjätteeksi. Luokittelu tehdään vertaamalla maa-ainesjätteen haitallisen aineen pitoisuutta alueen taustapitoisuuteen sekä liitteen 2. mukaisiin kynnys- ja raja-arvoihin. (Järvinen 2018; Reinikainen 2018; Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa, 6629/2018.)

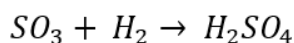
Käytännön tasolla MASA-asetus mahdollistaisi louhitun rikkipitoisen kallion hyödyntämisen rakennuskohteissa ilman ympäristölupaa. Kiviaineksen tulee kuitenkin luokitellun lisäksi täyttää MASA-asetuksessa säädetyt liukoisuuden arvot sekä muut laatuvaatimukset. Tässäkään asetuksessa ei ole suoraan säädetty rikille kynnys-, raja- tai liukoisuusarvoja, vaan asetuksessa puhutaan sulfaateista, jotka ovat rikkihapon suoloja. (Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa, 6629/2018.)

### 3 RIKKI JA RIKIN YHDISTEET

Rikki (S) on erilaisissa yhdisteissä yleisesti esiintyvä, mauton ja hajuton happiryhmään kuuluva epämetalli. Se on tärkeä alkuaine, ja sille on monia käyttökohteita. Siitä voidaan esimerkiksi valmistaa lannoitteita, ja muita teollisuuden tarvitsemia kemikaaleja. Rikki on myös tärkeä ravintoaine eläimille, kasveille ja ihmisille. Aiemmin rikkiä saatiin pääasiassa louhimalla kaivoksista, mutta nykyään suurin osa rikistä otetaan talteen bensiinin ja öljyn valmistuksen sivutuotteena. (Sulphurinstitute.org 2019.)

Luonnossa rikkiä tavataan niin vedessä, kaasussa kun kiinteässä aineessa, joissa se esiintyy sekä epäorgaanisena että orgaanisina yhdisteinä. Tyypillisesti rikki esiintyy sulfideina ja sulfaatteina, tärkeimpien hapetusasteiden ollessa sulfidien -2 ja sulfaattien +6. Sulfideista yleisimpiä ovat esimerkiksi rikkikiisut ( $\text{FeS}_2$ ), kuparikiisut ( $\text{CuFeS}_2$ ) sekä arseenikiisut ( $\text{FeAsS}$ ). Sulfaateista tärkeimpiä ovat kalsiumsulfaatit ( $\text{CaSO}_4$ ), magnesiumsulfaatit ( $\text{MgSO}_4$ ) sekä bariumsulfaatit ( $\text{BaSO}_4$ ). Näiden lisäksi rikki vois myös luonnossa esiintyä täysin puhtaana ( $\text{S}^0$ ). Ympäröivät olosuhteet vaikuttavat rikin käyttäytymiseen, sillä rikki liukenee huonosti pelkistävässä olosuhteissa ja parhaiten hapettavissa happamissa, neutraaleissa ja emäksisissä olosuhteissa. (Pietilä, Eloranta, Räisänen, Tornivaara, Törmänen ja Väisänen 2014, 4.)

Kaava 1. Rikkihapon muodostuminen (Kivinen & Mäkitie 1988, 370).



Rikillä on myös kyky tuottaa syövyttävää rikkihappoa, jota syntyy, kun rikkitrioksidit reagoivat veden kanssa (Kivinen & Mäkitie 1988, 370). Rikkihappo on ongelmana varsinkin mustaliuskeiden kanssa, sillä niiden synnyttämät rikkihapot saastuttavat alueelta purkautuvia valumavesiä, ja samalla koko ympäristöä.

## 4 RIKKI KALLIOPERÄSSÄ

Suomen kallioperässä rikkiä esiintyy erityisesti eloperäisissä sedimenttikivilajeissa, kuten esimerkiksi kivihiihissä ja liuskeissa. Lisäksi rikkiä on paljon kallioperän sulfidirikkaissa vyöhykkeissä. Tavallisimmin rikkimineraalit ovat rikkikiisuina, kuparikiisuina sekä magneettikiisuina. Lisäksi rikkiä voi esiintyä rapautumisjäännöksinä sekä mineraalien pinnalle absorboituneena. (Pietilä ym. 2014, 4.)

### 4.1 Mustaliuskeet

Mustaliuskeet ovat hienorakeisia, mustia metasedimenttikivilajeja, jotka sisältävät yli 1 % sekä eloperäistä hiiltä että rikkiä sekä erilaisia määriä muita metalleja, kuten esimerkiksi alumiinia, rautaa ja magnesiumia. Suomessa mustaliuskeet ovat lämpötilan ja paineen seurauksena kiteytyneet liuskeiksi, ja hiili esiintyy pääsääntöisesti grafiittina, ja rikki puolestaan rautasulfidina. Ominaisuuksiltaan mustaliuskeet ovat hyviä sähkönjohtimia, ja osittain ne voivat olla myös magneettisia. (Äikäs, 2012; Kukkonen, Saranpää ja Heino 1985.)

Mustaliuskeet ovat syntyneet merenpohjissa olleista mätäliejuista. Ajan kuluessa merenpohjassa ollut mätälieju on hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa kerrostunut savisedimenteiksi. Sedimenttaation jälkeen kerrostunut orgaaninen aine on käynyt läpi kaksi muutosprosessia: diageneesin ja metamorfoosin. Näiden vaiheiden jälkeen tuloksena on mustaliusketta. (Kukkonen ym. 1985, 71.)

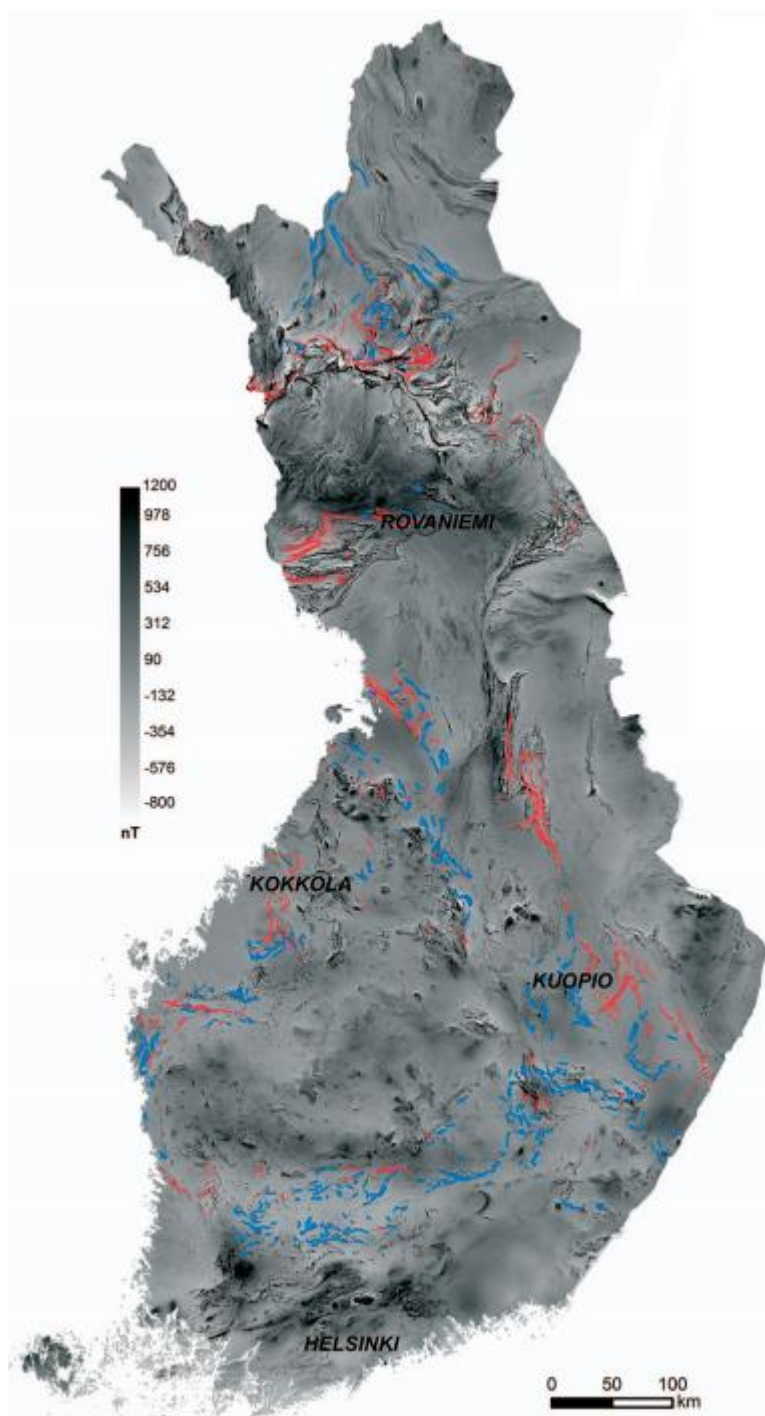
Mustaliuskeet voidaan luokitella esimerkiksi hiili- ja rikkipitoisuuden perusteella kolmeen ryhmään:

- 1) Tavalliset mustaliuskeet, jotka sisältävät muutamia prosentteja (alle 10 %) hiiltä ja rikkiä.
- 2) Grafiittiliuskeet, jotka sisältävät runsaasti (yli 10 %) hiiltä ja hyvin niukasti rikkiä.
- 3) Grafiitti-sulfidiliuskeet, jotka sisältävät yli 10 % rikkiä, mutta vaihtelevasti hiiltä. Mikäli rikkiä on vain vähän (alle 10 %), kyseessä on sulfidipitoinen liuske. (Kukkonen ym. 1985.)

#### 4.1.1 Mustaliuskeiden esiintyminen Suomessa

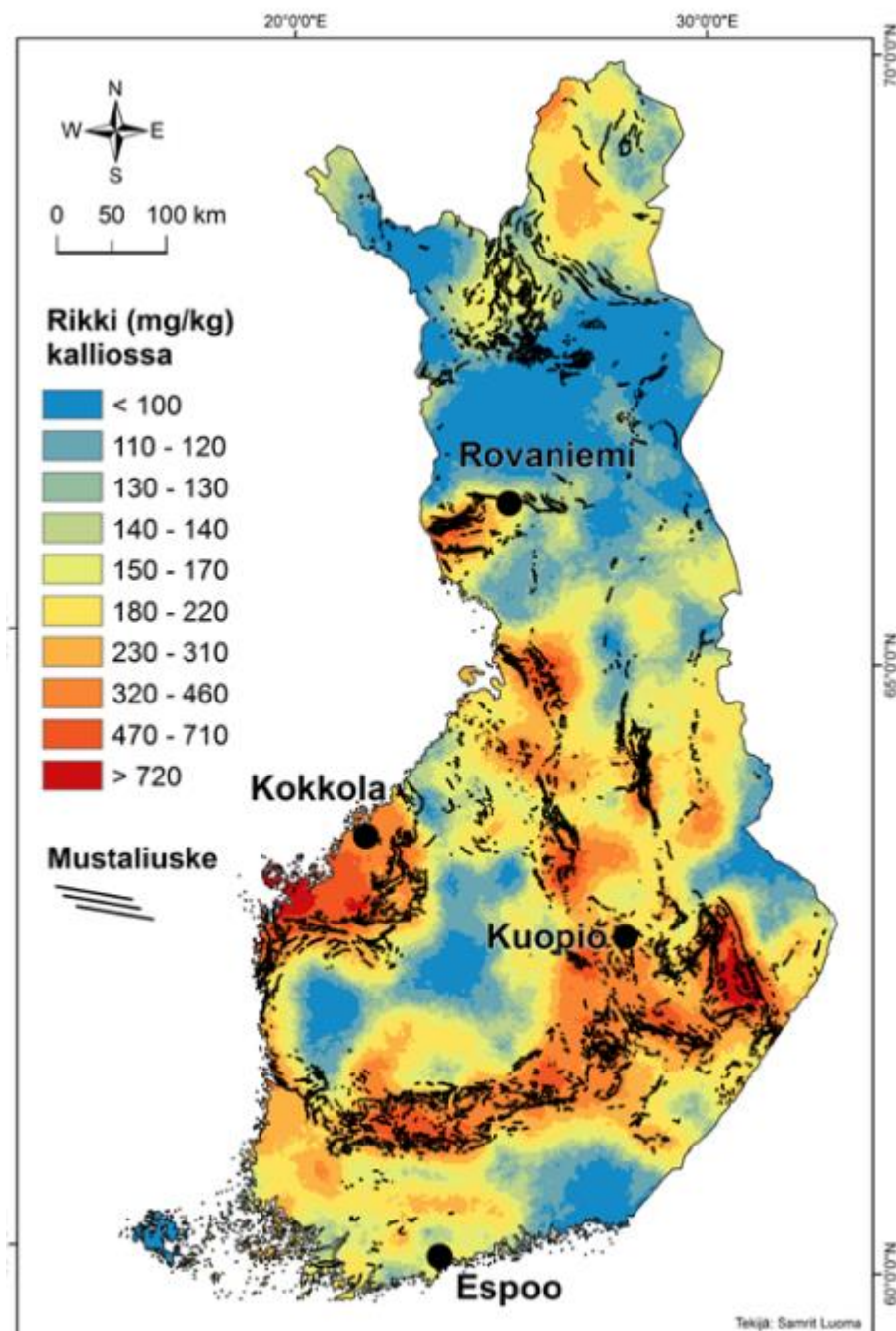
Mustaliuskealueiden sijaintien tunteminen on hyvin tärkeää, esimerkiksi aluesuunnittelussa, sillä mustaliuskeet rapautuvat muita kivilajeja helpommin, ja voivat näin ollen vapauttaa rikkiä ja muita haitallisia aineita ympäristöön. Mustaliuskeet ovat kuitenkin yleensä huonosti paljastuneita, ja niiden havaitseminen vaatii mitä todennäköisimmin geoteknisiä tutkimuksia, tai esimerkiksi tieleikkauksen. Suomessa mustaliuskealueita on pyritty kartoittamaan erilaisin geologisin ja geofysikaalisin menetelmin. Vuonna 2000 julkaistu Suomen mustaliuskekartta pohjautui käytettävissä olleisiin matalalento-havaintoihin, joita Geologian tutkimuskeskus oli suorittanut. Lisäksi karttaa varten oli analysoitu kemiallisesti ja petrofysikaalisesti useita mustaliuskeiden sydännäytekairauksia koko Suomen alueelta sekä haastateltu useita alan asiantuntijoita, kuten geologeja sekä geofysikoita. Vuoden 2000 kartassa havainnot oli jaettu kahteen osaan: kalliopaljastumien tai kairasydännäyteaineistojen perusteella tunnettuihin mustaliuskeisiin sekä matalalentoaineistoista tulkittuihin mustaliuskeisiin.

Mustaliuskekarttaa on myöhemmin päivitetty eri tavoilla, ja nykyään Suomesta löytyy myös mustaliusketietokanta. Tietokannan luomisessa on käytetty hyväksi sekä Geologian tutkimuskeskuksen matalalentoaineistoa, että malminetsintöjen yhteydessä kairattuja sydännäytteitä, jotka tutkittiin uudelleen vertailevan mustaliusketutkimuksen näkökulmasta. Näiden tulosten perusteella on ollut mahdollista luoda tietokanta tunnetuista ja mahdollisista mustaliuskesiintymistä. (Loukola-Ruskeeniemi, Hyvönen, Airo, Arkimaa, Eskelinen, Lerssi, Vanne, Vuoriainen, 2011.)



Kuva 1. Mustaliuskeiden sijainti matalalentokartalla (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2011)

Kuvassa 1 on esitetty punaisella kalliopaljustumien tai sydännäytekairausten avulla havaitut mustaliuskealueet, ja tummilla alueilla on havaittu mustaliuskeista johtuvia, voimakkaita magneettisia anomalioita. Sininen väri kuvastaa geofysikaalisista matalalentoaineistoista tulkittuja alueita, jotka voivat sisältää mustaliuskeita (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2011). Kuvasta voidaan nähdä, että mustaliuskealueita esiintyy melko tasaisesti koko Suomen alueella, aivan eteläisintä rannikkoa lukuun ottamatta. Itä-Suomessa mustaliuskealueet keskittyvät Kuopion ympäristöön.



Kuva 2. Suomen mustaliuskealueet, sekä rikkipitoisuudet kalliassa (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2011)

Kuva 2 tukee käsitystä mustaliuskeiden korkeasta rikkipitoisuudesta, sillä kuvan mukaan rikkipitoisimmat kallioperäalueet löytyvät juurikin mustaliusketta sisältäviltä alueilta. Voimakkaimmillaan rikkipitoisuus on länsirannikolla Kokkolan lähistöllä, sekä Itä-Suomessa Kuopion ja Joensuun ympäristössä. Kartta on myös yhteneväinen kuvan 1 kanssa, sillä molemmat kartat asettavat Suomen mustaliuskealueet suunnilleen samoille paikoille.



#### 4.1.2 Mustaliuskeiden vaikutukset ympäristölle

Mustaliuskeet sisältävät paljon rikkiä ja muita metalleja, jotka voivat mustaliuskeiden rapautumisen seurauksena päätyä maaperään ja vesistöön. Kun mustaliuske päätyy kosketuksiin veden kanssa, se alkaa rapautua, samalla kun sulfidit hapettuvat. Hapettumisen seurauksena syntyy rikkihappoa, ja rapautuessaan mustaliuske vapauttaa rikkiä ja haitallisia metalleja, saastuttaen esimerkiksi valumavesiä. Valumavedet puolestaan kuljettavat rikkiä ja metalleja eteenpäin, vapauttaen ne laajemmin ympäristöön. (Loukola-Ruskeeniemi 1992, 34.)

## 5 RIKKIPITOINEN KALLIO VALTATIE 5–PROJEKTISSA

### 5.1 Kallioperän tutkimukset

Destia Oy:n asiantuntijapalvelut suorittivat kallionäytekairauksia Valtatie 5:llä Mikkeli-Juva välillä loppuvuodesta 2016 ja alkuvuodesta 2017. Kairaukset, joita tehtiin yhteensä 21 kappaletta, kohdistettiin hankkeen merkittävimpiin kallioleikkauksiin. Nämä kallioleikkaukset sijaitsivat paaluväleillä 12500–12800, 14000–14300, 15200–15550, 16200–16780, 16850–17130, ja 19400–19600. Vuonna 2016 kairatut näytteet tutkittiin visuaalisesti ja valokuvattiin sekä kuivana että märkänä. Tämän jälkeen näytteet murskattiin, ja seulottiin, jonka jälkeen niistä tehtiin Los Angeles- ja Kuulamylytestit. Murskatuille näytteille tehtiin lisäksi myös laboratoriossa monialkuainemääritys ICP-CES-tekniikalla, jolloin saatiin kuvaus yleisimpien alkuaineiden pitoisuuksista näytteissä, rikki mukaan lukien. Näitä pitoisuuksia verrattiin valtioneuvoston asetuksen 214/207 ohje- ja kynnysarvoihin. Rikille käytettiin kuitenkin kaivannaisjäteasetuksen mukaisia vaatimuksia, sillä valtioneuvoston asetus 214/207 ei määrittele ohje- ja kynnysarvoja rikille.

Vuonna 2017 otetut näytteet valokuvattiin, jonka jälkeen ne murskattiin. Alle 2 mm:n kiviaines otettiin talteen kustakin näytteestä syvyysväleittäin. Jokaisesta sydänkairauksesta tehtiin koko näytettä edustavat kuulamyly- ja Los Angeles- kokeet, ja samalla määritettiin kiviaineksen kiintotiheys. Vuoden 2017 näytteistä ei kuitenkaan tutkittu rikkipitoisuutta.

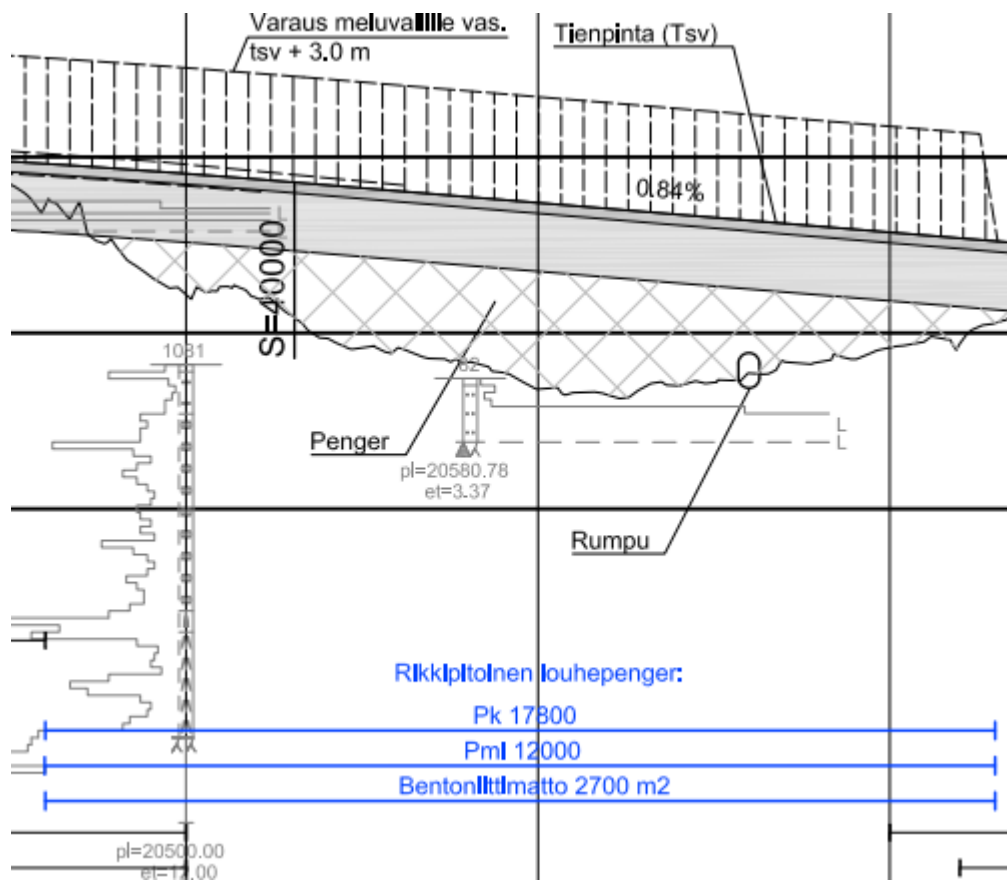
Tutkimuksissa joissakin näytteissä havaittiin kohonneita rikkipitoisuuksia, ja tämän seurauksena kolme näytettä (KN4, KN8 ja KN11) analysoitiin uudelleen, kuitenkin tällä kertaa syvyysväleittäin, jotta voitaisiin saada kuva pitoisuusvaihteluista kairasydännäytteen syvyysuunnassa. Lopullisissa tuloksissa kalliossa oleva rikkipitoisuus ylitti kahdeksassa eri näytteessä Valtioneuvoston kaivannaisjäteasetuksessa 190/2013 asetetun jätteen kokonaispitoisuusarvoajan 0,1%. Kahdessa pisteessä rikkiä oli myös enemmän kuin sallittu 1 % enimmäismäärä. (Peltoniemi, 2017.) Yhteenveto tutkituista näytteistä on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kalliosydännäytteiden lujuustesti- ja rikkianalyysiyhteenveto (Peltoniemi, 2017)

Tutkimuspiste / Paalu	LosA	KM	Kt	S %	NPR
KN12 / 12610 KL	30,0	24,5	2,78	1,58*	
KN1 / 12720 KL	20,6	17,5	2,76	0,05	
KN13 / 12660 KL	27,0	27,0	2,84	0,04*	
KN2 / 14090 KL	30,0	19,1	2,78	0,06*	
KN14 / 14135 KL	30,0	28,2	2,81	0,02*	
KN15 / 15260 KL	33,0	20,8	2,78	0,71*	
KN3 / 15305 KL	21,6	20,1	2,77	0,08	
KN16 / 15334 KL	32,0	21,8	2,74	0,34*	
KN4 / 15370 KL	28,8	16,8	2,75	1,33*	
KN17 / 15432 KL	33,0	21,8	2,73	0,03*	
KN5 / 15485 KL	23,7	15,2	2,74	0,04	
KN18 / 15520 KL	27,0	16,0	2,72	0,05*	
KN6 / 16360 KI	28,9	18,5	2,74	0,05	
KN7 / 16500 KL	25,5	13,4	2,68	0,04	
KN8 / 16715 KI	25,0	15,4	2,74	0,25*	1,28
KN9 / 16920 KL	31,1	18,9	2,70	0,05*	
KN10 / 17080 KL	38,1	30,1	2,73	0,01*	
KN19 / 19456 KL	28,0	19,7	2,82	0,61*	
KN11 / 19520 KL	22,0	17,1	2,77	0,35*	0,545
KN20 / 19555 vas 1	23,0	21,0	2,86	0,69*	

## 5.2 Rikkiptoisen kallion sijoittaminen

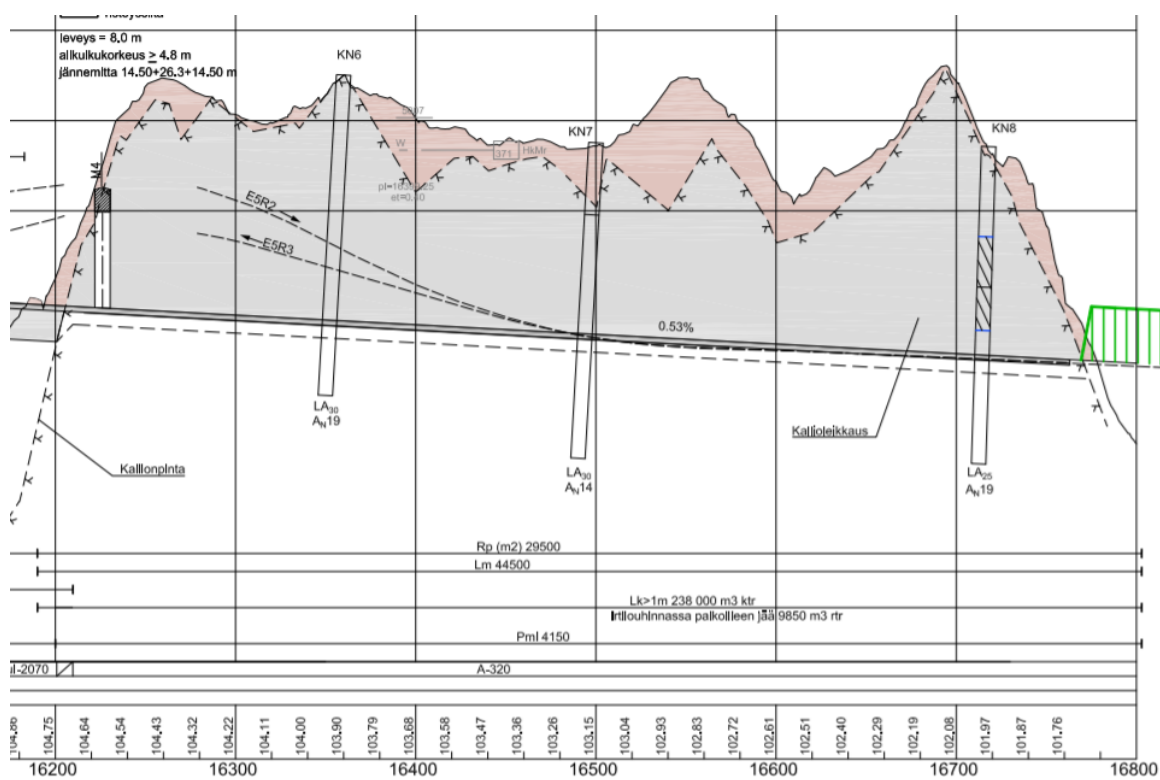
VT5 Mikkeli–Juva urakassa rikkiptoisen kallion sijoituskohdat on esitetty pituusleikkauksissa. Louhitua rikkiptoista kalliota on käytetty väylän alusrakenteissa sekä massanvaihoissa korvaamaan huonosti kantava maa-aines rikkiptoisella kalliolla. Rikkiptoiisiin louhepenkereisiin asennetaan bentoniittimatto, joka estää mahdollisesti vapautuvan rikin pääsyn suoraan maaperään. Vesistöpenkereisiin rikkiptoista kalliota ei ole lupa sijoittaa, sillä on vaarana, että kivi rapautuu ja vapauttaa rikkiä ympäristöön. (Destia, 2017.)



Kuva 3. Rikkiptoinen louhepenker (Destia, 2017)

## 6 RIKKIPITOISEN KALLION SUUNNITTELUN JA KÄYTÖN TEHOSTAMINEN

Rikkipitoisen kallion käyttöä voisi tehostaa huolellisella suunnittelulla ja riittävällä määrällä kallionäytekairauksia. VT5-projektissa tehtiin sydännäytekairauksia yhteensä 21 kappaletta, ja ne kohdistettiin hankkeen suurimpiin kallioleikkauksiin. Joissakin kallioleikkauksissa kairauspisteiden välimatka on parhaimmillaan 70 metriä, jolloin on hyvin mahdollista, että sydännäytekairausten antamat tulokset eivät ole paikkansapitäviä koko leikkauksen matkalta. Toisaalla, paaluvälillä 16200 – 16800, on 600 metrin matkalla puolestaan 3 sydännäytekairausta, jolloin epävarmuustekijät kasvavat huomattavasti. Tällöin olisi paikallaan pohtia, olisiko sydännäytekairauksia järkevää tehdä tiheämmin, ja näin saada vielä varmempaa kuvaa kallioperästä, ja siinä mahdollisesti esiintyvistä rikistä. Tämä kasvattaisi tutkimusvaiheen kustannuksia, mutta voisi tuoda säästöjä suunnittelu- ja toteutusvaiheissa. Tiheämmät kairaukset tarkoittaisivat sitä, että rikkipitoisen kallion sijainti ja määrät olisivat tarkemmin selvillä ja näin ollen osattaisiin esimerkiksi tehokkaammin suunnitella rikkipitoisen kallion sijoituspaikat, eikä mahdollisesti "puhdasta" kiviainesta tarvitsisi turhaa ajaa näille sijoituspaikoille.



Kuva 4. Kallionäytekairauksia paaluvälillä 16200-16800 (Destia, 2017)

Ennen louhinnan aloittamista tulee myös varmistaa alueella esiintyvien haitta-aineiden luontaiset taustapitoisuudet, jotta tiedetään, pidetäänkö kiviaineksen pilaantuneisuuden arviointikriteerinä taustapitoisuutta vai itse kiviaineksessa esiintyvää rikki-pitoisuutta. Mikäli taustapitoisuuksia ei selvitetä eikä niitä huomioida tutkimuksissa, on vaarana, että kiviaines päätyy ns. käyttökieltoon liian korkean rikki-pitoisuuden vuoksi.

Louhinnan aikana yksi tapa rikki-pitoisuuden tarkkailuun ja määrittämiseen olisi porauksessa muodostuneesta kivijauheesta otetut näytteet eli porasoijanäytteet. Kaivoksilla porasoijaa käytetään malmihavantojen tekemiseen, ja infratyömailla puolestaan voitaisiin selvittää esimerkiksi kallion rikki-pitoisuutta ja verrata sitä suunnitteluvaiheessa saatuihin tietoihin. Louhinnan yhteydessä porasoijanäytteen ottaminen onnistuisi hyvin, sillä louhinnassa ei juurikaan käytetä huuhteluvettä, vaan porasoija on kuivaa ja helposti talteen otettavaa. Huuhteluvesi myös lajittelee aineksen ja saattaa kontamoida näytteen. (Hatakka, Backman, Härmä, Kuula-Väisänen, Reinikainen, Tarvainen & Vuokko, 2013.)

Louhinnan jälkeen voisi olla paikallaan miettiä, että saisiko louhitusta alueesta selville joitakin mahdollisesti tulevaisuudessa hyödyllisiä tietoja. Louhinnan jälkeen voisi selvittää esimerkiksi sitä, kuinka hyvin kallioperäkairaukset ja niiden antamat tiedot rikki-pitoisuuden osalta lopulta pitivät paikkansa vai olisiko tulevaisuudessa tarvetta vieläkin tarkemmille tutkimuksille.

VT5-projektilla on Destian maanrakennustöistä vastaavan Pekka Jaakkolan mukaan ollut riittävästi kallionäytekairauksia eikä itse kivessä oleva rikki ole aiheuttanut työmaalla juurikaan ongelmia. Suurimmat ongelmat ovat johtuneet rikki-pitoisen kiviaineksen kelpaamattomuudesta eri rakenteisiin, mikä puolestaan on aiheuttanut haasteita työnsuunnittelulle. Projektilla ollut rikki-pitoinen kiviaines on kelvannut ainoastaan alusrakenteisiin, eikä sitä ole voinut käyttää esimerkiksi louherakenteen tekemiseen. Jaakkolan mukaan nämä työnsuunnitteluun liittyvät ongelmat olivat kuitenkin tiedostettu jo projektia tarjottaessa.

## 7 RIKKIPITOISEN KALLION KÄYTTÖKOHTTEITA INFRARAKENTAMISESSA

### 7.1 Kivianeksen käyttö kantavassa kerroksessa

Mikäli louhittua kiviainesta aiotaan käyttää tierakenteen sitomattomassa kantavassa kerroksessa, tulee muiden vaatimusten lisäksi varmistaa, että kiviaines ei ole rapautunutta eikä rapautumisherkkää, ja että se kestää jäädytys-sulamisrasituksia. Luonnonkiviaineksien rapautumattomuus ja jäädytys-sulamiskestävyys osoitetaan aina petrografisella tutkimuksella ja vedenimeytymistestillä. Petrografisen tutkimuksen perusteella saadaan lisäksi selville mahdollinen rikki-pitoisuuden määrittästarve.

Kivianeksen rikki-pitoisuus saa olla enintään 0,1 %, mutta mikäli kiviaines sisältää magneettikiisua, on suurin sallittu kokonaisrikin määrä 0,4 %. Kiviaines ei saa myöskään sisältää muita epäpuhtauksia tai ympäristölle haitallisia aineita. (Rakennustieto, 2017.)

### 7.2 Kivianeksen käyttö ratarakenteissa

Ratarakenteissa kalliomurskeen kelpoisuus eristys- ja välikerrokseen osoitetaan esisijaisesti standardin SFS-EN 13242 mukaisella CE-merkinnällä. Mikäli kalliomurske valmistetaan suoraan rakennuskohteessa murskaamalla tai muulla keinolla, sitä ei CE-merkitä. Kalliomurskeen tulee kuitenkin tästä huolimatta täyttää standardin SFS-EN 13242 mukaiset vaatimukset. Tämä tarkoittaa sitä, että sopivan rakeisuuden, hienoainepitoisuuden ja lujuusominaisuuksien lisäksi, lopullinen kiviaines ei saa sisältää haitallisessa määrin rapautumisherkkiä mineraaleja. InfraRYL:n laatuvaatimusten mukaan sulfideja, eli rikin yhdisteitä, saa kiviaineksessa olla enintään 3 %. Sulfidien ja muiden rapautumisherkkien mineraalien määrä voidaan tarvittaessa selvittää standardin SFS-EN 932-3 mukaisilla ohut- tai pintahietutkimuksilla. (Rakennustieto, 2017.)

### 7.3 Kiviaineksen käyttö asfaltinvalmistuksessa

Mikäli kiviainesta suunnitellaan käytettäväksi asfaltinvalmistuksessa, tulee sen olla mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi myös kemiallisilta ominaisuuksiltaan sopivaa. Tämä tarkoittaa sitä, että kiviaines ei saa olla rapautunutta tai rapautumisaltista, mikä taas johtaa siihen, että kiviaineksen sulfidimineraalipitoisuuksien on oltava riittävän alhaisia. (PANK ry, 2017, 83.) Tutkimalla kiviaineksen mineraalikoostumusta, saadaan selvitettyä niin sulfidimineraalien kuin muidenkin mineraalien pitoisuudet kiviaineksessa. Mineraalikoostumuksen perusteella kiviaines on rapautumatonta, ja asfaltin valmistukseen sopivaa, mikäli seuraavat edellytykset täyttyvät:

- Kiviaineksen sulfidimineraalien (esimerkiksi magneetti-, rikki- ja kuparikiisu) määrä on  $\leq 5\%$  määritettynä ohuthieestä (PANK 2302) tai
- Kiviaineksen kokonaisrikkipitoisuus  $S \leq 0,1 \%$  (SFS-EN 1744-1). Jos rikkipitoisuus on  $> 0,1 \%$ , sulfidimineraalien määrä ja laatu on selvitettävä ja vaatimus on ensimmäisen kohdan mukainen. (PANK ry, 2017, 84.)

Kiviaineksen kemiallista soveltuvuutta mineraalikoostumuksen perusteella asfaltin kiviaineksi tutkitaan ensisijaisesti ohuthietutkimuksella (PANK 2017, 83). Ohuthietutkimuksella kiviaineksesta saadaan selvitettyä mineraalikoostumus, mineraalien raekoko, raekovaihtelu, mikrorakenne ja mineraalien muuttuneisuus. Tutkimus kertoo vain näytteenottokohdan koostumuksen, joten laajoilta kalioalueilta näytteitä on otettava useampia. (PANK, 1997.)



## 8 PÄÄTELMÄT

Yhtenä työn tarkoituksena oli tutkia rikkiptoisen kallion esiintyvyyttä Suomessa. Työn tuloksena voidaan todeta, että korkeita kallioperän rikkiptoisuuksia esiintyy erityisesti mustaliuskealueilla. Nämä alueet sijoittuvat länsirannikolle Kokkolan seudulle, Itä-Suomeen Kuopio-Joensuu akselille sekä Keski-Suomeen Jyväskylän eteläpuolelle. Näillä alueilla on hyvin mahdollista, että suurissa infrahankkeissa, joissa louhittavaa kiveä on paljon, ollaan tekemisissä rikkiptoisen kallion kanssa. Tällöin on varmistettava riittävä tutkimusten määrä, ja varauduttava mahdollisiin lisäkustannuksiin, joita nämä tutkimukset voivat aiheuttaa. Tutkimuksilla varmistetaan se, että rikkiptoisuus ei tule yllätyksenä, ja ettei se pääse aiheuttamaan ongelmia työmaalla työsuunnittelun kanssa. Rikkiptoisen kiviaineksen kanssa toimittaessa on hyvä pitää mielessä myös mahdolliset ympäristövaikutukset, sillä rikkiptoisella kiviaineksella on esimerkiksi mahdollisuus muodostaa ympäristölle haitallisia happamia valumavesiä.

Keskeisimmät kallioperän rikkiptoisuutta käsittelevät asetukset ovat Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013) sekä Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007), eli PIMA-asetus. Jälkimmäisessä asetuksessa säädetään maaperässä luontaisesti esiintyville haitta-aineille ohje- ja kynnyksarvot, jotka määrittävät maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen. Rikille kyseisiä rajoja ei kuitenkaan ole säädetty, vaan sen osalta on mahdollista käyttää kaivannaisjäteasetuksessa määritettyä kriteeriä. MARA-asetus, eli Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa, ei koske louhinnassa syntyvää rikkiptoista kiviainesta, sillä se käsittelee erilaisten murskeiden, kuonan ja valimohiekan hyödyntämistä. Lausuntokierroksella olevalla MASA-asetuksella saattaa puolestaan tulevaisuudessa olla vaikutusta louhitun rikkiptoisen kiviaineksen käyttömahdollisuuksiin, sillä se sallii maa-ainesjätteen käytön eri maarakennuskohteissa. MASA-asetus sai kuitenkin lausuntokierroksellaan niin paljon palautetta ja parannusehdotuksia, että tätä työtä tehtäessä se ei vielä ehtinyt astua voimaan (Lausuntopalvelu.fi).

## LÄHDELUETTELO

- Destia.fi** [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-02-01] Saatavissa: <https://www.destia.fi/>
- Destia Oy. 2017.** Suunnitelmakartta ja pituusleikkaus plv 14900-16750. 2017.
- Destia Oy. 2017.** Suunnitelmakartta ja pituusleikkaus plv 16760-19000. 2017.
- Destia Oy. 2017.** Suunnitelmakartta ja pituusleikkaus plv 19000-20800. 2017.
- Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa, 6629/2018.** [verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?attachmentId=9586>
- HATAKKA, Tarja, BACKMAN, Brigitta, HÄRMÄ, Paavo, KUULA-VÄISÄNEN, Pirjo, REINIKAINEN, Jussi, TARVAINEN, Timo ja VUOKKO, Jouni. 2013.** Näytteiden otto geokemiallisia analyysejä ja liukoisuustestejä varten kalliokiviainesten sekä soran ja hiekan tuotantoalueilla ja rakennuskohteissa luontaisesti korkeiden arseenipitoisuuksien alueilla. Espoo: Geologian tutkimuskeskus
- JÄRVINEN, Kaija. 2018.** Ehdotus VNA maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maanrakentamisessa, "MASA-asetus" [verkkoaineisto] [viitattu: 2019-04-03] Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/no-name/%7B812123EE-4898-4968-9A1B-0C033925992F%7D/142427>
- KIVINEN, Antti ja MÄKITIE, Osmo. 1988.** Kemia. Keuruu: Otava
- KUKKONEN, Ilmo, SARANPÄÄ, Olli ja HEINO, Timo. 1985.** Mustaliuskeiden synty, koostumus ja esiintyminen. [kirjan tekijä] Kauko Puustinen. *Geologiaa geofyysikoille*. Espoo : Geologian tutkimuskeskus, 1985.
- Lausuntopalvelu.fi** [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-04-21] Saatavissa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=1c6a5969-09d7-4c75-8c80-b405b7063b42>
- Liikennevirasto. 2017.** VT 5 Mikkeli-Nuutilanmäki urakkaohjelma.
- Loukola-Ruskeeniemi, Kirsti. 1992.** Geochemistry of Proterozoic metamorphosed black shales in eastern Finland with implications for exploration and environmental studies. Espoo: Geologian tutkimuskeskus
- LOUKOLA-RUSKEENIEMI, Kirsti, HYVÖNEN, Eija, AIRO, Meri-Liisa, ARKIMAA, Hilikka, ESKELINEN, Jukka, LERSSI, Jouni, VANNE, Jouko ja VUORIAINEN, Satu. 2011.** Onko Suomessa uusia Talvivaara-tyyppisiä malmeja? [verkkoaineisto] [viitattu: 2019-01-09] Saatavissa: <http://www.geologinenseura.fi/geologi-lehti/3-2011/mustaliuske.pdf>.
- PANK. 1997.** PANK-2302 OHUTHIETUTKIMUS. Helsinki: PANK ry
- PANK, ry. 2017.** Asfalltinormit 2017. Helsinki: PANK ry
- PELTONIEMI, Hannu. 2017.** Vt 5, Mikkeli – Juva; Kalliokairausnäytteiden tutkimusraportti. Seinäjoki: Destia Oy
- PIETILÄ, Raija, ELORANTA, Taina, RÄISÄNEN, Marja-Liisa, TORNIVAARA, Anna, TÖRMÄNEN, Tuomo ja VÄISÄNEN, Ulpu. 2014.** Rikkiyhdisteiden vaikutusten arviointi - Sulka-hankkeen loppuraportti. Rovaniemi: Geologian tutkimuskeskus
- Rakennustieto. 2017.** InfraRYL: Päälyys- ja pintarakenteet. Helsinki : Rakennustieto Oy

**REINIKAINEN, Jussi. 2018.** MASA- valtioneuvoston asetus maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. [verkkoaineisto] [viitattu 2019-04-03] Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B1616C33E-0705-4D92-8706-E27FDC4507FE%7D/142428>

**The sulphur institute.org** [verkkoaineisto] [viitattu 2019-01-31] Saatavissa: <https://www.sulphurinstitute.org/learnmore/faq.cfm#where>.

**Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa**

**843/2017.** [verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

**Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista**

**214/2007.** [verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>.

**Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä 190/2013.** [verkkoaineisto]. Saatavissa:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130190>.

**Väylä.fi** [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-02-05] Saatavissa: <https://www.vayla.fi>

**Ympäristöministeriö. 2011.** Kaivannaisjätteen luokittelu pysyväksi. Helsinki

**Äikäs, Olli. 2012.** Uraani, mustaliuske ja talvivaara. [verkkoaineisto] [viitattu 2019-01-10]

Saatavissa: <https://www.sonkajarvi.fi/loader.aspx?id=e59ecc34-0444-4ac6-a7cf-810f6c2e520d>

## LIITELUETTELO

Liite 1. Valtioneuvoston MASA-asetukseen kuuluvat jätteet

Liite 2. Haitallisen aineiden kynnysarvot ja raja-arvot sekä hyödynnettävän jätteen muut laatuvaatimukset

LIITE 1. MASA-asetukseen sisältyvät jätteet (Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa, 6629/2018)

## ASETUKSEN SOVELTAMISALAAN KUULUVAT JÄTTEET

### 1. Maarakentamisessa hyödynnettävät maa-ainesjätteet

Maarakentamisessa voidaan hyödyntää seuraavia teknisiltä ominaisuuksiltaan käyttötarkoitukseensa soveltuvia ja liitteen 2 mukaiset vaatimukset täyttäviä maa-ainesjätteitä:

Tunnusnumero	Jättenimike
17 05 04	maa- ja kiviainekset
17 05 06	ruoppausmassat
17 05 08	ratapenkereiden sorapäällysteet
19 03 07	kiinteytetyt maa-ainekset
19 12 09	mineraalit (ml. esikäsitelty hiekoitushiekka ja -murske)

### 2. Maa-aineksen tai maaperän kiinteytyksessä sideaineena käytettävät jätteet

Maa-aineksen tai maaperän kiinteytyksen sideaineena voidaan hyödyntää seuraavia teknisiltä ominaisuuksiltaan käyttötarkoitukseensa soveltuvia ja liitteen 2 mukaiset vaatimukset täyttäviä jätteitä:

Tunnusnumero	Jättenimike
10 01 01	kattilatuhka
10 01 02	kivihiihen poltossa syntyvä lentotuhka
10 01 03	turpeen ja käsittelemättömän puun poltossa syntyvä lentotuhka
10 01 05	savukaasujen rikinpoistossa syntyvät kiinteät kalsiumpohjaiset reaktiojätteet (rikinpoiston lopputuote)
10 01 15	rinnakkaispoltossa syntyvä kattilatuhka
10 01 17	rinnakkaispoltossa syntyvä lentotuhka
03 03 09	meesa (kalsiumoksidi)
06 09 04	kipsi (fosforikemikaalien valmistuksessa syntyvä jäte)
10 13 01	polttamattomat raaka-aineseosjätteet
10 13 04	kalkin kalsinointi- ja hydratointijätteet

LIITE 2. Haitallisen aineiden kynnysarvot ja raja-arvot sekä hyödynnettävän jätteen muut laatuvaatimukset MASA-asetuksessa (Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa, 6629/2018)

### HAITALLISTEN AINEIDEN KYNNYSARVOT JA RAJA-ARVOT SEKÄ HYÖDYN- NETTÄVÄN JÄTTEEN MUUT LAATUVAATIMUKSET

**Taulukko 1.** Pilaantumattoman maa-ainesjätteen määrittelyssä sovellettava haitallisen aineen kynnysarvo sekä haitallisia aineita sisältävän maa-ainesjätteen haitallisen aineen suurin sallittu pitoisuus määritettynä maa-aineserittäin liitteen 3 mukaisesti.

Haitallinen aine	Kynnysarvo (mg/kg)	Raja-arvo (mg/kg)
Antimoni (Sb)	2	50
Arseeni (As)	5	100
Elohopea (Hg)	0,5	2
Kadmium (Cd)	1	10
Koboltti (Co)	20	250
Kromi (Cr) <sup>1)</sup>	100	500
Kupari (Cu)	100	500
Lyijy (Pb)	20	500
Nikkeli (Ni)	50	150
Sinkki (Zn)	200	1000
Vanadiini (V)	100	250
Syanidi (CN)	1	10
Bentseeni	0,02	0,02
TEX <sup>3)</sup>	1	1
Naftaleeni	1	5
PAH <sup>4)</sup>	15	100
PCB <sup>5)</sup>	0,1	0,5
PCDD-PCDF-PCB <sup>6)</sup>	0,00001	0,0001
Dikloorimetaani	0,01	0,01
Vinyylkloridi	0,01	0,01
Dikloorieteenit <sup>2)</sup>	0,01	0,01
Trikloorieteeni	0,01	0,01
Tetrakloorieteeni	0,01	0,01
Triklooribentseenit <sup>2)</sup>	0,1	5
Tetraklooribentseenit <sup>2)</sup>	0,1	1
Pentaklooribentseeni	0,1	1
Heksaklooribentseeni	0,01	0,05
Monokloorifenolit <sup>2)</sup>	0,5	0,5

Dikloorifenolit <sup>2)</sup>	0,5	0,5
Trikloorifenolit <sup>2)</sup>	0,5	0,5
Tetrakloorifenolit <sup>3)</sup>	0,5	0,5
Pentakloorifenoli	0,5	0,5
Atratsiini	0,05	0,05
DDT-DDD-DDE <sup>7)</sup>	0,1	1
Dieldriini	0,05	0,05
Endosulfaani <sup>8)</sup>	0,1	0,1
Heptakloori	0,01	0,2
Lindaani	0,01	0,01
TBT-TPT <sup>9)</sup>	0,1	1
MTBE-TAME <sup>10)</sup>	0,1	0,1
Bensiinijakeet (C5-C10) <sup>11)</sup>		100
Keskittisleet (>C10-C21) <sup>11)</sup>		300
Raskaat öljyjakeet (>C21-C40) <sup>11)</sup>		600
Öljyjakeet (>C10-C40) <sup>11)</sup>	300	

1) Määritettynä kokonaiskromin pitoisuutena.

2) Summapitoisuus sisältäen aineen rakenneisomeerit.

3) Summapitoisuus sisältäen seuraavat yhdisteet: tolueni, etyylibentseeni ja ksyleeni.

4) PAH-yhdisteiden summapitoisuus sisältäen seuraavat yhdisteet: antraseeni, asenafteneeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-c,d)pyreeni, kryseeni, naftaleeni ja pyreeni.

5) Summapitoisuus sisältäen PCB-kongeneerit 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.

6) Summapitoisuus WHO:n toksisuusekvivalenttina ilmoitettuna sisältäen PCDD/F-yhdisteet sekä dioksiinien kaltaiset PCB-yhdisteet.

7) Summapitoisuus sisältäen seuraavat yhdisteet: diklooridifenyylitrikloorietaani (DDT), diklooridifenyylidikloorietaani (DDD) ja diklooridifenyylidikloorietyleeni (DDE).

8) Summapitoisuus sisältäen seuraavat yhdisteet: alfa-endosulfaani ja beta-endosulfaani.

9) Summapitoisuus sisältäen seuraavat yhdisteet: tributyylitina (TBT) ja trifenyylitina (TPT).

10) Summapitoisuus sisältäen seuraavat yhdisteet: metyyli-*tert*-butyylicetteri (MTBE) ja *tert*-amyylimetyylieetteri (TAME).

11) n-parafiinisarja kaasukromatografisessa analyysissä.