



Rikastushiekan hyödyntäminen uusiomateriaalina tierakentamisessa

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Insinööri (AMK)

Kevät 2025

Siiri Salomaa

Koulutus	Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)
Tekijä	Siiri Salomaa
Työn nimi	Rikastushiekan hyödyntäminen tierakentamisessa
Ohjaaja	Elis Kivi

Vuosi 2025

Tämä opinnäytetyö tarkastelee kaivosteollisuuden rikastushiekan hyödyntämistä tierakenteiden kerroksissa osana kiertotalouden edistämistä. Suomessa rikastushiekkaa syntyy suuria määriä ja sen varastointi altaille aiheuttaa ympäristöriskejä, kuten raskasmetallien huuhtoutumista ja happamia valumavesiä. Kiertotalousperiaatteiden mukaisesti rikastushiekkaa pyritään hyödyntämään uusiokäyttävänä raaka-aineena maarakentamisessa, mikä vähentäisi sekä jätteen läjitystä että luonnonmateriaalien tarvetta. Työssä arvioidaan rikastushiekan teknisiä ominaisuuksia InfraRYL, SFS standardin ja Väyläviraston vaatimuksiin nähden sekä muun sääntelyn näkökulmasta.

Opinnäytetyö on tehty kirjallisuuskatsauksena, jossa on tarkasteltu tierakenteiden vaatimuksia, lainsäädäntöä, rikastushiekan rakennusteknistä kelpoisuutta ja ympäristövaikutuksia. Lähteinä on hyödynnetty tieteellisiä artikkeleita, opinnäytetöitä, viranomaisjulkaisuja, asiantuntijatekstejä ja lainsäädäntöä. Analyysien perusteella todettiin, että erityisesti kalsiittipohjainen rikastushiekka soveltuu teknisesti tierakenteiden suodatin- ja jakaviin kerroksiin hyvän vedenläpäisevyyden, routimattomuuden ja tiivistyvyyden ansiosta. Metallimalmien rikastushiekkojen käyttö vaatii usein stabilointia sideaineilla raskasmetallien liukoisuuden hallitsemiseksi ja kantavuuden parantamiseksi. Ympäristökelpoisuus edellyttää haitta-ainepitoisuuksien ja liukoisuuksien pysymistä raja-arvojen alapuolella, mikä voidaan varmistaa stabiloinnilla, rakenteellisella eristyksellä ja käyttöalueiden huolellisella valinnalla.

Työ osoittaa, että rikastushiekka voi tietyin edellytyksin olla teknisesti ja ympäristön kannalta kestävä vaihtoehto tierakentamisessa, edistäen kiertotalouden tavoitteita. Hyödyntämisen onnistuminen edellyttää materiaalin huolellista karakterisointia, riskienhallintatoimia ja voimassa olevan sääntelyn tarkkaa noudattamista. Jatkokehityksenä suositellaan pitkäaikaisseurantoja ja pilottikohteissa sekä stabilointimenetelmien ja standardien kehittämistä rikastushiekan hyötykäytön edistämiseksi maarakentamisessa.

Avainsanat Rikastushiekka, kiertotalous, uusiomateriaali

Sivut 48 sivua

DP Construction and Civil Engineering, Bachelor of Engineering
Author Siiri Salomaa
Subject The Use of Mine Tailings in Road Construction
Supervisors Elis Kivi

Year 2025

This thesis examines the use of mine tailings in the layers of road structures to promote circular economy. In Finland, large quantities of mine tailings are generated, and their storage in reservoirs causes environmental risks, such as leaching of heavy metals and acidic runoff. Based on the principles of circular economy, the aim is to utilize mine tailings as reusable raw material in earthworks, reducing waste disposal and the need for natural materials. The work evaluates the technical properties of mine tailings concerning the requirements of the Finnish Infrastructure and Transport Authority and its environmental suitability from the perspective of other regulations.

The thesis is based on a literature review examining the requirements for road structures, legislation, the construction technical suitability of mine tailings, and their environmental impacts. Scientific articles, theses, official publications, expert texts, and legislation have been used as sources. The analysis found that calcite-based mine tailings are technically suitable for filtering and dividing layers and filling material for embankments of road structures due to their good water permeability, frost resistance, and condensation. Metal ores often require stabilization with binders to control the solubility of heavy metals and improve load-bearing capacity. Environmental suitability requires that the concentrations of harmful substances and solubilities remain below the limit values, which can be ensured by stabilization, structural isolation, and careful selection of areas of use.

The study shows that, under certain conditions, tailings sand can be a technically and environmentally sustainable alternative in road construction, promoting the goals of the circular economy. Successful utilization requires careful characterization of the material, risk management measures, and strict compliance with current regulations. Long-term monitoring in pilot sites and the development of stabilization methods and standards to promote the utilization of mine tailings in earthworks are recommended as further development.

Keywords Mine Tailings, circular economy, recycled material

Pages 48 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tutkimusmenetelmät ja aineisto	3
3	Tierakenteiden mekaaniset ja ympäristölliset vaatimukset	4
3.1	Suodatinkerros	6
3.2	Jakava kerros	8
3.3	Pengertäyttö	11
4	Lainsäädäntö ja sääntely	13
4.1	Kansallinen ja EU-lainsäädäntö	13
4.2	Hyväksyntäprosessi ja lupa-asioiden hallinta	15
5	Rikastushiekan tausta ja ominaisuudet	17
5.1	Rikastushiekan syntyprosessi ja koostumus	19
5.2	Rikastushiekan hyödyntämispotentiaali ja haasteet	21
6	Rikastushiekan rakennetekniset ominaisuudet	24
6.1	Geologiset ominaisuudet	24
7	Rikastushiekan käyttö tierakentamisessa	26
8	Rikastushiekan ympäristökelpoisuus ja vaikutukset	28
8.1	Ympäristönäkökohdat	29
8.2	Ympäristökelpoisuuden arviointi	31
8.3	Riskienhallinta ja ympäristöratkaisut	32
9	Johtopäätökset	33
10	Pohdinta	35
	Lähteet	37

Kuvat

Kuva 1. Tien rakennekerrokset (Räsänen, 2015)	5
Kuva 2. Suodatinkerroksen rakeisuuden raja-arvot (InfraRYL 2024/, luku 21110.1.1).....	7
Kuva 3. Lupaprosessin eteneminen. (Siiri Salomaa, 2025)	16
Kuva 4. Rikastushiekka-allas. (Sotkamo Silver Oy:n rikastushiekka-allasalueen laajentamisen ympäristövaikutusten arviointiohjelma on nähtävillä., 2023).....	18
Kuva 5. Kaivostoiminnan ja malminrikastuksen päävaiheet. (ICMM, n.d.).....	20
Kuva 6. Jätehierarkian tasot. (Siiri Salomaa, 2025).....	28

Taulukot

Taulukko 1. Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuden kynnys- ja ohjearvot (Suomen säädöskokoelma 2007, N:o 210, s.744)	29
--	----

Käsitteet

Rikastushiekka	Kaivosteollisuudessa syntyvä hienojakoinen kiviäite malminrikastuksessa. (Mine Tailings, 2024)
Kiertotalous	Talousmalli, jossa pyritään minimoimaan jätteet ja maksimoimaan resurssien uudelleenkäyttö. (Kiertotalous, n.d.)
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. (InfraRYL 2024/2)
MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus, joka määrittelee ehdot tiettyjen jätteiden hyödyntämiseksi maarakentamisessa ilman erillistä ympäristölupaa. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, 843/2017)
PIMA	Valtakunnallinen strategia riskien hallitsemiseksi pilaantuneilla maa-alueilla. (Pilaantuneet maa-aineet, 2023)
Uusiomateriaali	Jäte tai sivutuote, jota käytetään korvaamaan neitseellisiä rakennusmateriaaleja. (Torkkeli ym., 2022)
CE-merkintä	Euroopan talousalueella vaadittava merkintä, joka osoittaa rakennustuotteen täyttävän olennaiset tekniset vaatimukset. (Ympäristöministeriö, n.d.-a)
Ympäristökelpoisuus	Materiaalin soveltuvuus käyttöön ilman, että siitä aiheutuu merkittävää haittaa ympäristölle tai terveydelle. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, 843/2017)

1 Johdanto

Kaivosteollisuuden sivuvirtojen, erityisesti rikastushiekan, hyötykäyttö on noussut keskeiseksi teemaksi osana kiertotalouden edistämistä. Suomessa kaivosteollisuus tuottaa merkittäviä määriä rikastushiekkaa, joka varastoidaan usein suurille jätealueille altaiden muodossa. Tällainen varastointi aiheuttaa ympäristöriskejä, sillä rikastushiekka voi sisältää haitallisia metalleja, jotka voivat liueta sade- ja pohjavesiin ja aiheuttaa happamia valumavesiä sekä raskasmetallien huuhtoutumista ympäristöön. Kaivoshankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnit ovat toistuvasti tuoneet esiin nämä sivuvirtamateriaalin aiheuttamat riskit sekä tarpeen löytää kestäviä ratkaisuja jätealueiden hallintaan. (ICMM, n.d.-a; Kaivosteollisuuden kiertotaloutta voidaan tehostaa, 2021; Juutinen, 2020)

Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti rikastushiekkaa pyritään hyödyntämään sekundäärisenä raaka-aineena sen sijaan, että se nähtäisiin pelkkänä jätteenä. Tierakentaminen tarjoaa potentiaalisen käyttökohteen rikastushiekalle, sillä maarakentamisessa voidaan hyödyntää suuria määriä materiaalia, mikä auttaa vähentämään kaatopaikkojen tai allasläjityksen tarvetta. Suomessa on jo kokemusta teollisuuden jätevirtojen, kuten lentotuhkan ja muiden sivuvirtojen, käytöstä maarakentamisessa, ja alan ohjeistukset sekä lainsäädäntö ohjaavat tämänkaltaisten materiaalien käyttöä. InfraRYL ja SFS-standardit määrittelevät tierakenteille asetetut materiaalivaatimukset, joiden mukaan uusiomateriaalien tulee täyttää samat tekniset kriteerit kuin perinteisten luonnonmateriaalien. (InfraRYL 2024/2; Kauppila, 2023; Segui, 2023)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, voidaanko kaivosteollisuuden rikastushiekkaa hyödyntää tierakenteiden kerroksissa teknisesti ja ympäristön kannalta kestäväällä tavalla. Työn tarkastelun kohteena ovat rikastushiekan tekniset ominaisuudet suhteessa tierakenteiden vaatimuksiin, sen ympäristökelpoisuus olemassa olevan tutkimustiedon perusteella sekä voimassa olevan lainsäädännön ja ohjeistusten asettamat edellytykset materiaalin hyödyntämiselle. (InfraRYL 2024/2; ICMM, n.d.-a)

Aiemmat tutkimukset ja pilottihankkeet antavat viitteitä siitä, että oikein käsiteltynä rikastushiekka voisi soveltua tierakenteisiin. Erityisesti kalsiittikaivosten rikastushiekka on ympäristöominaisuuksiltaan suotuisampi kuin metallimalmien rikastushiekka, sillä se sisältää huomattavasti vähemmän haitallisia aineita. Kalsiitin rikastushiekka on myös raekoostumukseltaan hiekkaa ja käytännössä routimatonta ainesta, ja sitä on jo käytetty

kokeellisesti päällysrakenteen suodatinkerroksessa sen hyvän vedenläpäisevyyden ansiosta. Metallipitoisten rikastushiekkien osalta on puolestaan tutkittu stabilointia sideaineilla, kuten esimerkiksi lentotuhkalla, kalkilla tai sementillä, jotta materiaalin haitta-aineet saataisiin pidätettyä kiinteään muotoon ja samalla parannettua sen geoteknistä kantavuutta. Tällaiset tutkimukset osoittavat, että oikealla käsittelyllä rikastushiekan raskasmetallit ja sulfaattiyhdisteet voidaan sitoa muodostamalla stabiileja mineraaleja tai erilaisia sulfaattisuoloja, mikä vähentää ympäristöriskejä. Alan taustalla vaikuttaa myös tarve korvata luonnonsoraa ja kalliomursketta uusiomateriaaleilla silloin, kun se on teknisesti ja ympäristöllisesti mahdollista. (Kiventerä, 2019, ss.35-36)

Rikastushiekan tekninen kelpoisuus tierakenteiden pengertäytöissä, suodatin- ja jakavissa kerroksissa arvioidaan tarkastelemalla muun muassa sen raekokojakaumaa, tiivistyvyyttä, kantavuutta ja routivuusominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia verrataan InfraRYL:n asettamiin vaatimuksiin. Arvioinnin tavoitteena on selvittää, onko rikastushiekka sellaisenaan riittävän kantava ja routimaton käytettäväksi tierakenteissa, vai tarvitaanko sen parantamiseksi esimerkiksi sekoitusta toisen materiaalin kanssa tai sideaineiden käyttöä rakenteen kestävyuden varmistamiseksi.

Rikastushiekan ympäristöllinen hyväksyttävyys tienrakennusmateriaalina arvioidaan hyödyntämällä tutkimuksia, joissa on tutkittu raskasmetallien ja muiden haitallisten aineiden pitoisuuksia sekä sulfaattien liukoisuutta. Tarkastelun tavoitteena on varmistaa, ettei materiaalista liukene ympäristöön haitallisia aineita sellaisina pitoisuuksina, jotka ylittäisivät esimerkiksi pilaantumattoman maan taustapitoisuudet tai jäteaineiden hyötykäytölle asetetut raja-arvot.

Rikastushiekan hyödyntäminen tierakentamisessa tapahtuu tiukasti säädellyssä lainsäädännöllisessä kehyksessä. Lainsäädännön keskeisenä tehtävänä on varmistaa, että kaivannaisjätteiden käyttö on sekä ympäristön kannalta turvallista että teknisesti tarkoituksenmukaista. Sekä EU:n että Suomen jätepolitiikka perustuu jätehierarkiaan, jonka mukaisesti ensisijaisesti pyritään ehkäisemään jätteen syntyä ja toissijaisesti edistetään jätteen uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Suomen jätelaki (646/2011) heijastaa näitä tavoitteita korostamalla materiaalikierron ja kiertotalouden edistämistä. Rikastushiekan hyödyntäminen tierakenteissa tukee näitä periaatteita, kunhan käyttö toteutetaan hallitusti ja turvallisesti. Lainsäädäntö määrittelee myös, milloin rikastushiekka voidaan luokitella sivutuotteeksi, jolloin se ei kuuluisi jätelainsäädännön piiriin, tai milloin sen hyödyntäminen edellyttää jätteenä erityistä lupamenettelyä. Kansallinen sääntely, kuten EU:n rakennustuoteasetus ja CE-merkintävaatimukset, ohjaavat tarkasti materiaalin käyttöä ja

asettavat reunaehdot rikastushiekan hyödyntämiselle maarakenteissa. Tämän vuoksi lainsäädäntöä on tarkasteltava huolellisesti, jotta voidaan varmistaa materiaalin laillinen, turvallinen ja vastuullinen käyttö infrastruktuurihankkeissa. (Jätelaki 646/2011, §5; Jätehierarkia, n.d.; Ympäristöministeriö, n.d.-b)

Edellä mainittujen tavoitteiden kautta opinnäytetyössä pyritään muodostamaan kokonaiskuva rikastushiekan käytön mahdollisuuksista ja rajoitteista tierakenteissa. Tavoitteena on tuottaa sellaista tietoa ja arvioita, joita voidaan hyödyntää jatkossa esimerkiksi suunniteltaessa kokeellisia tieosuuksia rikastushiekalla tai laadittaessa ohjeistusta uusiomateriaalien käytöstä infrarakentamisessa.

2 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Opinnäytetyö toteutetaan ensisijaisesti kirjallisuuskatsauksena ja asiantuntijalähteiden analyysinä. Aineistona hyödynnetään alan julkaisuja, standardeja ja tutkimusraportteja, jotka käsittelevät rikastushiekan ominaisuuksia sekä uusiomateriaalien hyödyntämismahdollisuuksia maarakentamisessa.

Teknisten vaatimusten tarkastelussa hyödynnetään InfraRYL:n laatuvaatimuksien asiaankuuluvia osia, joiden avulla on määritetty tierakenteille asetetut tekniset vaatimukset. Näihin kuuluvat muun muassa rakeisuutta, hienoainespitoisuutta, routivuusluokkia ja kantavuusominaisuuksia koskevat rajat, joita uusiomateriaalin kuten rikastushiekan tulee täyttää. Lisäksi Väyläviraston ohjeistoja tarkastellaan erityisesti uusiomateriaalien maarakennuskäytön kannalta.

Tutkimusjulkaisujen osalta aineistona käytetään alan ajankohtaisia tieteellisiä artikkeleita, väitöskirjoja ja opinnäytetöitä. Esimerkiksi Kiventerän (2019) väitöskirjassa tutkittiin sulfidirikastushiekan stabilointia raskasmetallien ja sulfaattien sitomista. Tästä ja muista tutkimusjulkaisuista on koottu tietoa, kuten raskasmetallipitoisuuksia, liukoisuustuloksia ja lujuusmittaustuloksia, sekä havaintoja rikastushiekan käyttäytymisestä maarakenteissa. (Kiventerä, 2019, ss.35-36)

Ympäristöarviointien ja lupadokumenttien analyysi puolestaan täydentää tutkimusaineistoa antamalla käytännönläheistä tietoa rikastushiekkojen ympäristökelpoisuudesta. Kaivoshankkeiden YVA-selostuksista ja ympäristölupahakemuksista on saatu tietoa rikastushiekkojen haitta-ainepitoisuuksista, liukoisuusarvoista sekä viranomaisten

määrittelemistä raja-arvoista. Samalla näissä dokumenteissa esitetyt riskienhallintatoimet ja seurantatulokset antavat näkökulmaa käytännön sovelluksiin, täydentäen tieteellistä kirjallisuutta.

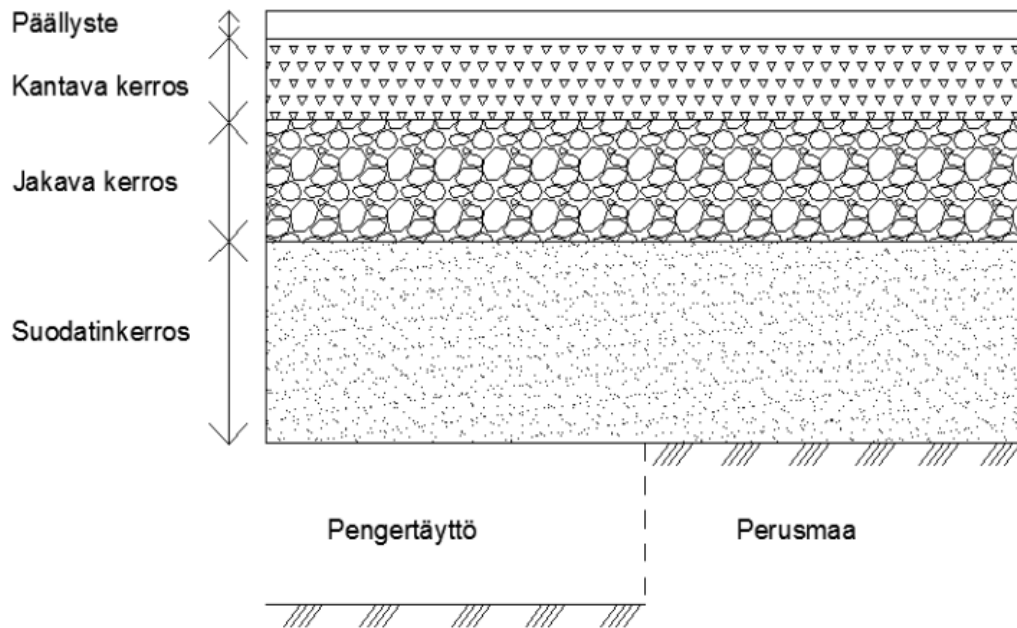
Aineiston analyysissä on yhdistelty edellä mainituista lähteistä saatavaa tietoa kokonaiskuvan muodostamiseksi. Ensiksi on vertailtu rikastushiekan ominaisuuksia InfraRYL:n laatuvaatimukseen. Toiseksi on arvioitu ympäristökelpoisuutta vertaamalla saatavilla olevia liukoisuustestien tuloksia ympäristöhallinnon antamiin raja-arvoihin sekä PIMA-asetuksen viitearvoihin. Tarvittaessa on hyödynnetty myös LCA-arvioiteja kirjallisuudesta arvioimaan, miten rikastushiekan hyötykäyttö vaikuttaa koko elinkaaren aikaisiin päästöihin verrattuna sen läjittämiseen. (Suomen ympäristökeskus, 2023)

Tietoa on haettu monipuolisesti eri lähteistä ja niitä on käsitelty kriittisesti vertaillen. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta on nostettu esiin keskeiset teemat, jotka toistuvat eri lähteissä. Näitä ovat erityisesti rikastushiekkojen raskasmetallipitoisuudet ja niiden hallinta, sulfaattien liukoisuus ja siihen vaikuttavat tekijät, materiaalin stabiloinnin tarve, menetelmät ja vaikutukset, sekä kokonaisuutena materiaalin tekninen kelpoisuus tierakenteen osana. Näitä käytetään jäsentämään tuloksia ja johtopäätöksiä siitä, millaisin edellytyksin rikastushiekka voi toimia kestäväenä ja turvallisena vaihtoehtoisena rakennusmateriaalina tierakenteissa.

3 Tierakenteiden mekaaniset ja ympäristölliset vaatimukset

Laadukas tierakenne koostuu kerroksista, joilla kaikilla on omat tehtävänsä ja tekniset vaatimuksensa. Kuvassa 1 esitetään tienpoikkileikkauksessa eri rakennekerrokset ylhäältä alas. Tienrakenne on suunniteltava kestävä liikenteen kuormitus ja ympäristön rasitukset siten, että tie säilyy tasaisena ja vaurioitumattomana koko suunnittelun käyttöiän. InfraRYL- määräykset sekä Väyläviraston ohjeet määrittelevät yksityiskohtaiset laatu- ja mitoitusvaatimukset tierakenteen kerroksille. (InfraRYL 2024/2; Väylävirasto, 2022, s.9)

Kuva 1. Tien rakennekerrokset (Räsänen, 2015)



Kiviaineksen fysikaaliselle ja kemiallisille ominaisuuksille on asetettu vaatimuksia materiaalin käyttökohteen ja tuotetyypin mukaan. Vaatimukset koskevat muun muassa rakeisuutta, kiintotiheyttä, iskunkestävyyttä sekä kemiallisia koostumuksia. Hienokiviaineksille on määritelty kaikkia tuotetyyppejä ja käyttökohteita koskeva yhtenäinen vaatimustaso rakeisuudelle, raemuodolle ja kiintotiheydelle. Suomessa sovellettava vaatimustaso hienokiviaineksille on G_F80 , mikä varmistaa materiaalin rakenteellisen vakauden ja suodatustoiminnan. (SFS 7005:2022, s.7)

Koostekiviaineksen osalta iskunkestävyydelle on annettu vaatimustasot hydraulisesti sidottuja kerroksia varten. Hyväksyttävät iskunkestävyysluokat ovat LA_{20} , LA_{25} , LA_{30} , LA_{35} ja LA_{40} , riippuen materiaalin käyttökohteesta ja vaaditusta mekaanisesta kestävydestä. (SFS 7005:2022, s.9)

Uusiokiviaineksille on asetettu koostumusta ja määrää koskeva vaatimus, jonka mukaan soveltuvat osa-aineiden luokat on ilmoitettava materiaaliakohtaisesti. Lisäksi epäpuhtauksille on asetettu oma raja-arvonsa $X1$ -, ja muiden osa-aineiden vaatimukset on määriteltävä materiaaliakohtaisesti käyttöolosuhteiden mukaan. Happoliukoisten sulfaattien osalta on annettu laatuvaatimukset hydraulisesti sidotuille kerroksille. Laatuvaatimustasot ovat $AS_{0,2}$ ja $AS_{0,8}$, ja Suomessa happoliukoisten sulfaattien pitoisuudet ilmoitetaan aina sulfiittimuodossa (SO_3). Kokonaisrikille on asetettu vaatimustaso kaikissa käyttökohteissa.

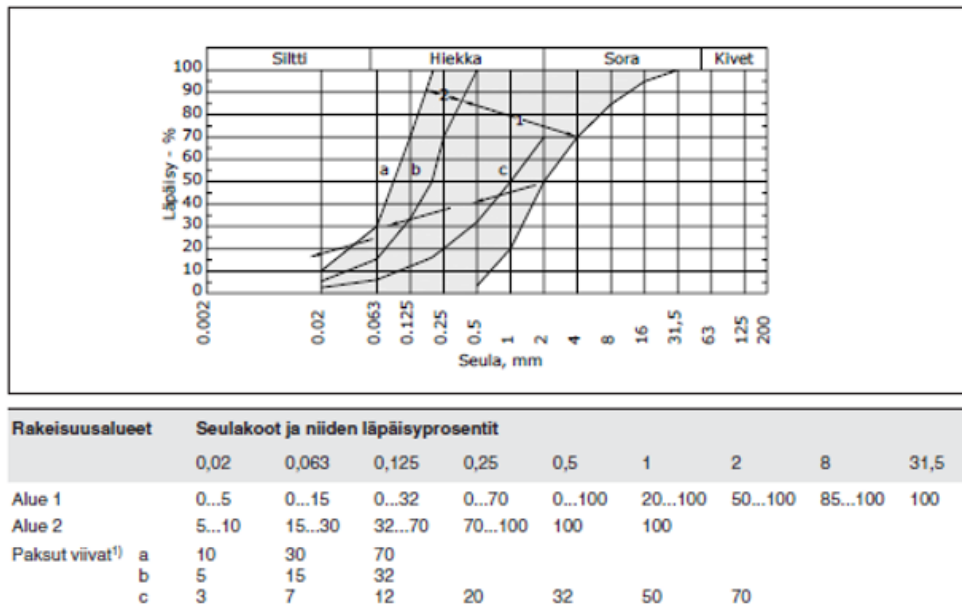
Hyväksyttävä taso on S1, joka rajoittaa kiviaineksen rikkipitoisuuden sallitulle tasolle rakenteen pitkäaikaiskestävyyden turvaamiseksi. (SFS 7005:2022, s.9-10)

3.1 Suodatinkerros

Suodatinkerros sijaitsee tierakenteen alimpana kerroksena jakavan kerroksen alla, pohjamaan päällä. Sen päätehtävä on estää hienoaineksisia sisältävän alusrakenteen materiaalin sekoittuminen ylempiin kerroksiin sekä katkaista kapillaarinen veden nousu tierakenteeseen. Suodatinkerros tasaa myös routanousun vaikutuksia ja vähentää routivan pohjamaan liikkeiden näkymistä päällysteessä keväällä sulamisen aikaan. Oikein mitoitettulla suodatinkerroksella voidaan parantaa heikosti kantavan pohjamaan päälle rakennettavan tierakenteen kantavuutta ja työnaikaista stabiiliteettia. (InfraRYL 2024/2, luku 21110.1.1; InfraRYL 2024/2, luku 21110.3.1; Väylävirasto, 2022, s.13)

Suodatinkerroksen tulee olla riittävän jäykkä ja kantava toimiakseen rakennetta tukevana kerroksena heikon pohjamaan päällä. Käytännössä suodatinkerroksen paksuus valitaan niin, että kerroksen yläpinnalla saavutetaan noin 30-35MPa kantavuus ennen seuraavan kerroksen rakentamista. Kuvassa 2 on esitetty InfraRYL:n asettamat rakeisuuden raja-arvot suodatinkerrokselle. Tiivistettävyydessä InfraRYL edellyttää tierakenteen kaikilta kerroksilta korkeinta tiiveysluokkaa 1 ja tiiveyden varmistamista kokeilla. Hyvin kantava ja tiivis suodatinkerros jakaa kuormia alemmalle pohjamaalle tasaisemmin, vähentäen pysyviä painumia. (InfraRYL 2024/2, luku 21110.1.1)

Kuva 2. Suodatinkerroksen rakeisuuden raja-arvot (InfraRYL 2024/, luku 21110.1.1)



Suodatinkerros rakennetaan yleensä hiekasta, jonka raekokojakauma täyttää suodatukselle asetetut kriteerit. InfraRYL antaa suodatinkerrosmateriaalille ohjeellisen rakeisuusalueen, jonka mukaan materiaali sisältää sopivasti sekä karkeaa ainesta että hienoja partikkeleita. Liian hienojakoinen materiaali läpäisee vettä huonosti ja voi jäätyessään nostaa roudan, kun taas liian karkea materiaali ei pidättäisi pohjamaan hienoainesta riittävästi. Tästä syystä puhtauden hienoainepitoisuus onkin keskeinen ominaisuus suodatinkerroksen materiaalivalinnassa. Rikastushiekalle käytetään hienokiviaineksen ja koostekiviaineksen vaatimustasoja. Hienokiviainesten vaatimustaso suodatinkerroksessa Suomessa puhtaudelle on f_{16} ja koostekiviainekselle f_{15} . (SFS 7005:2022, s.8)

Suodatustehokkuuden varmistamiseksi kerroksen rakeisuus on valittava suhteessa aluspohjan maalajiin siten, että alusrakenteen hienot partikkelit eivät pääse tunkeutumaan suodatinkerrokseen. Käytännössä yleisiä suodatinkerrosmateriaaleja ovat luonnonhiekkia ja karkea hieta. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös teollisuuden sivutuotteita, kunhan ne täyttävät samat rakeisuus- ja suodatusvaatimukset. Mikäli sopivaa suodatinkerrosainesta ei ole helposti saatavilla, suodatinkerros voidaan korvata suodatinkankaalla, mutta tällöin on varmistettava, että koko tukirakenteen paksuus ja toiminta vastaavat vaatimuksia. On olennaista, ettei pohjamaan hieno aines pääse sekoittumaan rakennekerrokseen. Tästä syystä aina tarvitaan joko suodatinkerros tai geotekstiili kerrosten väliin, jos pohjamaa on hienorakeinen. (InfraRYL 2024/2, luku 21110; Lindroos, 2008)

Suodatinkerroksen materiaalin on oltava hyvin vettä läpäisevää, jotta pohjamaasta mahdollisesti kapillaarisesti nouseva tai rakenteeseen pääsevä vesi johtuu pois rakenteesta eikä jää kerrokseen. Käytetty hiekka tarjoaa tyypillisesti korkean vedenjohtavuuden. Hyvä vedenläpäisevyys estää pohjamaan kyllästymisen ja on huono kantavuuden tilanteissa, joissa vesi muuten kerääntyisi rakenteeseen. Samalla suodatinkerros katkaisee pohjaveden kapillaarinousun tehokkaasti, mikä on tärkeää routavaurioiden estämiseksi. Kerroksen on ulotuttava poikkileikkauksessa niin, että vesi pääsee kerroksessa viettäen sivu- tai salaojiin. Jos suodatinkerros on vettä huonosti läpäisevä tai katkonainen, rakenteeseen jäävä vesi voi jäätyessään vaurioittaa tierakennetta. (InfraRYL 2024/2, luku 21110; Lindroos, 2008)

Suodatinkerroksen materiaalin tulee olla routimatonta tai vain lievästi routivaa. InfraRYL-määräyskokoelman mukaan routivia materiaaleja ei saa käyttää tien päällysrakenteissa, joten suodatinkerroksessa ei tule käyttää helposti jäätymällä nostavaa maa-ainesta, kuten silttiä tai savea. Routimattomuus tarkoittaa, että materiaali ei muodosta merkittäviä jäälinssikerrostumia eikä menetä kantavuuttaan toistuvissa jäätymis-sulatusjaksoissa. Suodatinkerros hidastaa roudan tunkeutumista alaspäin rakenteeseen toimien eristävänä kerroksena osaltaan, mutta tämän vaikutus on rajallinen ja routamitoituksessa yleensä huomioidaan koko rakenteen paksuus. Jos pohjamaa on voimakkaasti routivaa, on päällysrakenteen kokonaispaksuutta lisättävä tai käytettävä routasuojausta routavaurioiden välttämiseksi. (InfraRYL 2024/2, luku 21110.5)

3.2 Jakava kerros

Jakava kerros sijoittuu suodatinkerroksen yläpuolelle ja kantavan kerroksen alapuolelle. Sen tehtävänä on jakaa ylempien kerrosten kuormitus laajemmalle alalle alusrakenteelle niin, että alemmat kerrokset kuormittuvat tasaisemmin. Jakava kerros siis jakaa kuormia, mikä lisää koko rakenteen kantavuutta. Lisäksi jakava kerros toimii osaltaan routasuojauksena. Riittävän paksu ja routimaton jakava kerros estää syvän routakiilan muodostumista ja parantaa tierakenteen routakestävyyttä. InfraRYL määrittelee jakavan kerroksen osaksi päällysrakennetta. (InfraRYL 2024/2, luku 21210.4)

Jakavan kerroksen on kestettävä liikenteen aiheuttamat toistuvat kuormitukset ilman pysyviä muodonmuutoksia. Käytännössä tämä tarkoittaa suurta jäykkyyttä ja kantavuutta. Jakavan kerroksen yläpinnan tulee alustan kanssa yhdessä saavuttaa yleensä noin 80–100 MPa kantavuus, jotta päälle voidaan rakentaa kantava kerros raskaalle liikenteelle. Kerros suunnitellaan niin, että päällystettä lähimpänä olevat kerrokset kokevat pienempiä

jännityksiä. Jakava kerros vaimentaa ja levittää kuormaa alaspäin. Kantavuusvaatimusten toteutumista valvotaan työmaalla esimerkiksi pudotuspainolaitteella tai levykuormituskokeilla ennen seuraavan kerroksen rakentamista. Oleellista on myös riittävä kerrospaksuus. Ohjeellisesti jakavan kerroksen paksuus on luokkaa 200–400 mm rakenteen mukaan, mutta tarkka arvo mitoitetaan kantavuustavoitteiden ja liikennekuormituksen perusteella. Myös jakava kerros on tiivistettävä erittäin tiiviiksi kerroskohtaisesti, jotta se saavuttaa parhaan kantokykynsä eikä myöhemmin painu liikenteen vaikutuksesta. (InfraRYL 2024/2, luku 21210.4)

Jakavalle kerrokselle on standardissa 7005:2022 kerrottu uusiokiviainesten ja koostekiviainesten teknisiä vaatimuksia. Nämä ominaisuudet varmistavat, että rakennekerros pystyy jakamaan kuormia tasaisesti ja säilyttämään kantavuutensa myös vaihtelevissa sääolosuhteissa. Hienoainepitoisuus on yksi keskeisistä vaatimuksista, sillä liiallinen hienoainepitoisuus voi heikentää materiaalin kuivankestävyyttä ja lisätä routimisalttiutta. Standardin mukaisesti jakavan kerroksen koostekiviaineksen rakeisuus tulee vastata vähintään luokkia f_3 , f_5 , f_7 tai f_9 . (SFS 7005:2022, s. 8)

Iskunkestävyys on toinen tärkeä ominaisuus, erityisesti kantavuutta ja pitkäikäisyyden ajatellen. Sekä kiviainesten että uusiokiviaineksina käytettävien materiaalien iskunkestävyydelle ei ole asetettu yksittäistä yleistä vaatimustasoa, vaan vaatimustaso on aina ilmoitettava materiaalikohtaisesti. (SFS 7005:2022, s. 9)

Jakavan kerroksen veden imeytymiselle asetettu vaatimustaso Suomessa koostekiviaineksille on $WA_{25}1$. Jäähdytysulatuskestävyys on kaikille tuotteille sama, eikä jakavalle kerrokselle ole annettu tarkkaa vaatimustasoa, mutta mikäli vedenimeytymistestin tulos ei täytä asetettuja vaatimuksia, materiaalille tehdään vaihtoehtoisesti jäätymis-sulamiskestävyystesti 1 % NaCl-liuosta käyttäen. Testin perusteella materiaalin massahäviö saa olla enintään 4 %. (SFS 7005:2022, ss. 9,11)

Jakavan kerroksen materiaalina on tyypillisesti kalliomurske tai soramurske, joiden raekokojakauma on laaja. Isorakeinen murske lukittuu hyvin ja tiivistyy tiiviiksi kerrokseksi. InfraRYL suosittelee jakavaan kerrokseen esimerkiksi raekokoa 0/63 mm tai 0/90 mm. Numeerisesti tämä tarkoittaa, että kiviaineksen suurin raekoko on 63 tai 90 mm, ja joukossa on myös hienompia rakeita. Laajan rakeisuuden ansiosta materiaali voidaan saada tiivistettyä niin, että sen huokostilavuus pienenee ja kantavuus kasvaa. Standardissa SFS 7005:2022 on esitetty jakavan kerroksen suositeltavina raekokoina 0/16 mm, 0/32 mm, 0/40 mm, 0/45 mm, 0/56 mm, 0/63 mm ja 0/80 mm. (SFS 7005:2022, s.13)

Rakeisuudelle asetetaan vaatimukset myös standardin SFS-EN 13285 mukaisesti. (SFS-EN 13285/2018, ss. 7,10,11,12,17; InfraRYL 2024/2, luku 21210.4)

Jakavaan kerrokseen voidaan käyttää suurempaakin maksimiraekokoa erikoistapauksissa, mutta vain jos kerroksen laatuvaatimukset saavutetaan eikä suurikokoinen aines haittaa työnaikaista liikennöintiä työmaalla. Liian hienojakoista materiaalia ei saa olla liikaa, koska hienoaines parantaa tiivistymistä tiettyyn pisteeseen asti, mutta ylimääräinen hienoaines >~12–15 % alle 0,063 mm voi heikentää murskeen kuivakestävyyttä ja tehdä siitä routivaa. Tämän vuoksi InfraRYL rajaa hienoainespitoisuudet sitomattomille kerroksille ja edellyttää materiaalin. Oikean rakeisuuden lisäksi kiviaineksen laadulla on merkitystä. Murskeen tulee olla lujaa ja pitkäikäistä murskautumatta liikenteen vaikutuksesta. Jakavan kerroksen materiaalin on siis oltava sopivasti lajittunutta karkeaa raetta, jotta se on sekä kantava että routivuutta estävä. (InfraRYL 2024/2, luku 21210.4)

Jakavan kerroksen on sekä suojattava ylempiä kerroksia alhaalta päin tulevalta kosteudelta että johdettava rakenteeseen päätyneet vesi pois. Toisin sanoen, kerroksen tulee läpäistä vesi sivusuunnassa kohti oja ja toisaalta estää veden kapillaarinen nousu alhaalta. Jakava kerros toimii usein kuivatuskerroksena päällysteen ja kantavan kerroksen vedelle. Päällysteen rikkoontumien tai saumojen kautta rakenteeseen päässyt vesi imeytyy kantavasta kerroksesta jakavaan kerrokseen, josta sen on päästävä valumaan sivulle pois kuivatukseseen. Siksi jakavassa kerroksessa on yleensä poikkikaltevuus, kuten päällysteessäkin, jotta vesi ohjautuu pois. Rakeisuudessa pyritään siihen, että materiaalissa on riittävästi hienoainesta kantavuuden takia, mutta ei niin paljoa, että vedenläpäisevyys estyy tai kapillaari-ilmiö mahdollistuu. Hyvin tiivistetty kalliomurske 0/63 tai 0/90 on tyypillisesti kohtuullisen vettä johtavaa, lisäksi alapuolinen karkea suodatinkerros varmistaa, että pohjamaasta tuleva vesi ei nouse jakavaan kerrokseen asti. Kapillaarikatkona jakava kerros on tehokas silloin, kun siinä ei ole jatkuvaa hienoa huokostilaverkkoa, eli se on routimaton. Mikäli jakava kerros pysyy routimattomana, se samalla katkaisee käytännössä veden kapillaarinousun pohjamaasta ja ehkäisee näin roudan synnyttämää jäälinssien muodostumista. (InfraRYL 2024/2, luku 21210.4; Torkkeli, 2022)

Jakavan kerroksen tulee olla routimaton, jotta se ei heikennä tierakenteen routakestävyyttä. Karkearakeiset ja alhaisen hienoainespitoisuuden omaavat kiviainekset ovat routimattomia tai vain vähän routivia, minkä vuoksi ne soveltuvat hyvin routivien kerrosten materiaaliksi. InfraRYL kieltää routivan materiaalin käytön päällysrakenteen kerroksissa, eli jakavassa kerroksessa ei saa olla routivaa maa-ainesta merkittäviä määriä.

Hyvä jakava kerros hidastaa roudan etenemistä rakenteessa ja suojaa alempia kerroksia jäätymiseltä. Se myös takaa, että keväällä sulamisvaiheessa rakenteen kantavuus ei romahda. Routimaton karkea materiaali säilyttää tukevuutensa paremmin myös vedellä kyllästyneenä, toisin kuin routiva hienorakeinen maa, joka muuttuu pehmeäksi sulaessaan. Käytännössä routimattomuus varmistetaan rakeisuus- ja hienoainespitoisuusvaatimuksilla, kuten edellä todettiin. Myös kerrospaksuus auttaa, sillä mitä paksumpi jakava kerros, sitä enemmän sillä on lämpövaraa ja massaa vastustaa roudan tunkeutumista. Jakava kerros yhdessä suodatinkerroksen kanssa muodostaa usein ns. tukikerroksen, jonka kokonaispaksuus suunnitellaan riittäväksi sekä kantavuuden että routasuojauksen kannalta. (InfraRYL 2024/2, luku 21210.4; Lindroos, 2008)

3.3 Pengertäyttö

Pengertäyttö kuuluu alusrakenteeseen ja muodostaa tien perustan silloin, kun pintamaa korotetaan ympäröivää maastoa korkeammalle. Rakennesuunnittelussa penger tasoittaa maanpinnan luonnolliset korkeuserot ja varmistaa, että päällysrakenne voidaan rakentaa tasaiselle ja kantavalle alustalle. Toisin sanoen pengertäyte on massa, jolla maaperä nostetaan halutulle tielinjauksen korkeudelle. Tiealueilla pengertäyttö ulottuu pohjamaan pinnasta suodatinkerroksen pohjapintaan. Vaikka pengertäyte ei ole osa päällysrakennetta, sen laatu on erittäin tärkeä koko tierakenteen pitkän aikavälin toimivuuden kannalta. Epähomogeeninen tai vajoava pengerrys voi aiheuttaa epätasaista painumaa ja vaurioita ylemmissä kerroksissa. (InfraRYL 2024/2, luku 18360.1)

Pengertäyttömateriaalin tulee olla mahdollisimman homogeenista eli tasalaatuista, jotta penkereeseen ei synny kerroksittaisia heikkouksia tai eroavia painumaominaisuuksia. Kerroksittain vaihteleva tai epätasainen materiaali voi johtaa erisuuruisiin painumiin, jotka heijastuvat tien pintaan epätasaisuutena. Tämän välttämiseksi InfraRYL suosittaa, että pengertäyte tehdään yleensä materiaalista, joka on kauttaaltaan tiivistettävissä, käytännössä hiekasta tai sitä karkeammasta materiaalista. Hienoimmat maat pyritään joko parantamaan tai korvaamaan, koska ne painuvat ja tiivistyvät jälkikäteen enemmän. Suuri orgaanisen aineksen pitoisuus on erityisen haitallista. Eloperäisiä maalajeja ei saa käyttää pengertäyteenä, sillä ne ovat kevyitä, puristuvat kokoon ja menettävät kantavuutensa ajan myötä. Penger rakennetaan kerroksittain ja jokainen täyttökerros tiivistetään huolellisesti vaadittuun tiiveyteen ennen seuraavan kerroksen lisäämistä. Yleensä tiiveysvaatimus on sama korkea luokka 1 kuin rakennekerroksissakin. Jälkitiivistymän tulee olla vähäistä, sallitulle kokoonpuristumiselle asetetaan enimmäisarvot suunnitteluasiakirjoissa ja tämä

vaatimus varmennetaan käytännössä materiaalivalinnoilla ja tiivistystyöllä. Hyvin tiivistetty ja oikeasta materiaalista tehty pengeri painuu käytössä vain vähän ja ennustettavasti, jolloin tien pinta pysyy tasaisempana pitkällä aikavälillä. InfraRYL määrittelee tarkat kelpoisuusvaatimukset tiepenkereen materiaaleille, esimerkiksi täyttökerrosten kerrospaksuudet, tiivistyskaluston vaatimukset ja sallitut painumat on esitetty InfraRYL:n maa- ja pohjarakenteiden laatuvaatimuksissa. (InfraRYL 2024/2, luku 18360.1)

Vaikka varsinainen liikenteen kuormien kesto syntyy päällysrakenteen kerroksista, on myös pengertäytteen tarjottava riittävä kantavuus, jotta ylempät kerrokset voivat toimia suunnitellusti. Pengertäytteen tulee kestää oman massansa ja ylempien kerrosten aiheuttama kuormitus ilman sortumia tai liiallista painumaa. Erityisesti pehmeillä korkeat penkereet voivat olla alttiita liukupintasortumille, joten tarvittaessa käytetään stabilointia tai vastapenkereitä lisäämään varmuutta. Yleensä kivennäismaat antavat hyvän kantavuuden pengertäyttöön, kun ne tiivistetään tiukasti kerroksittain. Pehmeät tai orgaaniset maat eivät ole kantavia ja voivat vaatia pohjanvahvistustoimia. Suunnittelussa voidaan antaa arvoja sallitulle painumalle ja odotetulle kantavuudelle. (InfraRYL 2024/2, luku 18360.1; Kiventerä, 2019, ss.35-36)

Ihanteellinen pengertäyttömateriaali on karkeaa tai keskikarkeaa maalajia, jolla on hyvä kitkaominaisuus ja joka ei ole liian hienoa. Hiekka- ja sora-ainemateriaalit sopivat hyvin, koska ne tiivistyvät kantavaksi, eikä niissä ole liikaa vettä pidättäviä hienoja osia. Vedenläpäisevyys on plussaa pengertäytteessä; karkea materiaali läpäisee veden, jolloin pohjamaan kosteus voi purkautua penkereen läpi eikä paineistu rakenteen alle. Myös sade- ja sulamisvedet, jotka mahdollisesti päätyvät tierakenteeseen, on hyvä pystyä johtamaan pois penkereen kautta sivuille. Pengertäytteen pinta muotoillaan yleensä kaarevaksi tai sivukaltevuuteen jo rakentamisvaiheessa, jotta vesi valuu pois eikä lammikoidu penkereen päälle tai sisään. InfraRYL:n mukaisesti routivia materiaaleja voidaan käyttää penkereessä vain, jos rakenteelle ei ole asetettu muita toimivuusvaatimuksia, kuten erityistä kantavuustavoitetta. Yleensä kuitenkin routivan materiaalin käyttö penkereessä edellyttää, että rakenne kuivataan tehokkaasti ja jos routivaa maa-ainesta käytetään, tulee jokaisen penkeretäyttökerroksen yläpinta tasoittaa ja muotoilla riittävään sivukaltevuuteen. Näin mahdollisesti imeytyvä vesi valuu nopeasti pois ennen jäätymistä. Tämä vähentää routanousun riskiä penkereessä. Lisäksi routivien maiden käyttö penkereessä tarkoittaa, että päällysrakenteen on oltava tavallista paksumpi routaurioiden estämiseksi tai on käytettävä routaeristystä. Yleisperiaatteena on suosia routimatonta materiaalia myös penkereessä, jotta rakenne pysyy vakaana. (InfraRYL 2024/2, luku 18360.1; Väylävirasto, 2022; UUMA-inventaariprojektin loppuraportti, 2008)

4 Lainsäädäntö ja sääntely

Rikastushiekan hyödyntäminen tierakentamisessa tapahtuu tiukasti lainsäädännön ja viranomaisohjeiden määrittelemissä rajoissa. Lainsäädäntö on keskeisessä roolissa sen varmistamisessa, että kaivannaisjättemateriaalien käyttö on ympäristön kannalta turvallista ja teknisesti tarkoituksenmukaista. EU-tasolla jättepolitiikka perustuu jätehierarkiaan, jonka mukaan ensisijaisesti on ehkäistävä jätteen syntyä ja toissijaisesti edistettävä jätteen uudelleenkäyttöä sekä kierrätystä ennen loppukäsittelyä. (Jätehierarkia, n.d.) Tämä periaate on otettu käyttöön Suomen kansallisessa jätelainsäädännössä. Jätelain tavoitteena on vähentää jätteen määrää ja lisätä sen uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. (Jätelaki ja määräykset – Mikä muuttui, miten toimin?, n.d.) Kaivosjätteen, kuten rikastushiekan, hyödyntäminen tierakenteissa tukee näitä tavoitteita, kunhan käyttö toteutetaan turvallisesti. Suomessa jätelaki (646/2011) sisältää myös säännökset sivutuotteeksi luokittelusta, joiden mukaan tietyt kaivosjätteet, kuten rikastushiekka, voidaan tietyin edellytyksin määritellä tuotantoprosessin sivutuotteiksi eikä jätteiksi. (Jätelaki 646/2011) Mikäli materiaali ei kuulu jätelainsäädännön piiriin jätteenä, käyttö voi yksinkertaistua. Jos rikastushiekkaa ei kuitenkaan katsota sivutuotteeksi, se katsotaan jätteeksi ja sen hyödyntämiseen sovelletaan jätelainsäädännön vaatimuksia. (Pokka ym., 2024:14, s.26)

4.1 Kansallinen ja EU-lainsäädäntö

Euroopan unionin jättepuitedirektiivi muodostaa perustan jäsenmaiden jätehuollon sääntelylle. Direktiivi velvoittaa jäsenvaltiot noudattamaan jätehierarkiaa ja edistää uusiomateriaalien käyttöä kestävässä resurssienhallinnassa osana. Suomi on pannut direktiivin täytäntöön kansallisella jätelailla. Jätelaki korostaa, että jätteitä hyödynnettäessä on varmistettava toiminnasta aiheutuvien terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäisy. Lain uudistuksessa täydennetään entistä enemmän kiertotaloutta. Jätteen syntymistä on vähennettävä ja syntyvä jäte ohjattava materiaalkiertoon aina kun mahdollista. Jätelainsäädäntö määrittelee myös, milloin jäte lakkaa olemasta jätettä sivutuotemääritelmän tai jätetestauksen päättymiskriteerien kautta. (Jätehierarkia, n.d.)

Kaivosteollisuudessa syntyvä rikastushiekka voidaan luokitella tapauskohtaisesti jätelain nojalla sivutuotteeksi, jos lain vaatimukset täyttyvät, jolloin sitä ei pidetä jätteenä. Luokittelu

edellyttää muun muassa, että materiaalia käytetään suoraan ilman jatkokäsittelyä tiettyyn tarkoitukseen, että sille on varmaa kysyntää ja että käyttö on laillista ja ympäristön kannalta hyväksyttävää. Mikäli edellytykset eivät täyty, rikastushiekka pysyy jätteenä ja sen käyttöä säännellään kuten jätteen hyötykäyttöä yleensäkin. (Pokka ym., 2024:14, s. 26)

Suomessa valtioneuvoston asetus tiettyjen jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, niin sanottu MARA-asetus, on keskeinen säädös, jolla edistetään uusiomateriaalien käyttöä maarakenteissa. MARA-asetuksen tarkoituksena on yksinkertaistaa tiettyjen jätteiden hyödyntämistä esimerkiksi tierakenteissa osana kiertotaloutta. Asetuksessa määritellään tietyt jätemateriaalit, kuten betonimurske, tiilijäte, lentotuhka, masuunikuona, joita saa käyttää tietyissä maarakennuskohteissa ilman yksilöllistä ympäristölupaa, mikäli asetuksen vaatimukset täyttyvät. Keskeisiä vaatimuksia ovat materiaalikohtaiset laatu- ja puhtauskriteerit, sekä se, että käyttö tapahtuu sallituilla alueilla. Haitallisten aineiden pitoisuuksille ja liukoisuuksille on asetettu raja-arvot. MARA-asetusta ei saa soveltaa vaativiin kohteisiin, kuten tärkeisiin pohjavesialueisiin tai asuinalueisiin. Hyödyntämisestä tulee tehdä ilmoitus ELY-keskukselle ennen töiden aloittamista. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus valvoo ilmoituksenvaraista toimintaa rekisteröimällä hankkeen ympäristönsuojelu tietojärjestelmään. Rikastushiekka ei tällä hetkellä kuulu MARA-asetuksessa listattuihin jätteisiin, koska kaivannaisjätteiden ympäristökelpoisuus vaihtelee tapauskohtaisesti. Tästä syystä rikastushiekan hyödyntäminen tienrakennuksessa edellyttää joko ympäristölupaa tai jätelain mukaista sivutuotetestausta, ellei lainsäädäntöä laajenneta tulevaisuudessa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 843/2017; Jätteen hyödyntäminen maanrakennustöissä, n.d.)

Mikäli kaivannaisjätteestä jalostettu materiaali on tarkoitettu käytettäväksi tierakenteessa materiaalina, joka saatetaan markkinoille rakennustuotteena, sovelletaan EU:n rakennustuoteasetusta. Rakennustuoteasetus edellyttää, että kaikki harmonisoidun tuotestandardin piiriin kuuluvat rakennustuotteet on CE-merkitty ja niille on laadittu suoritustasoilmoitus. Tierakenteissa käytettävien materiaalien, mukaan lukien jätteistä peräisin olevat uusiomateriaalit, katsotaan kuuluvan rakennustuoteasetuksen piiriin, mikä tarkoittaa, että myös uusiomateriaaleilla on oltava voimassa olevan standardin mukainen CE-merkintä. (Ympäristöministeriö, n.d.-a; Jätteen hyödyntäminen maanrakennustöissä, n.d.)

Esimerkiksi kalkkikiven rikastuksessa syntyvälle rikastushiekalle on olemassa käyttöä vastaava tuotestandardi, joten sen hyödyntäminen tierakenteissa edellyttää CE-merkintää ja tuotteelle ilmoitettuja ominaisuuksia. CE-merkintäprosessi edellyttää mm. materiaalin

rakeisuuden, lujuuden, kulutuskestävyyden ja mahdollisten haitta-ainepitoisuuden testaamista standardin vaatimusten mukaisesti. Rakennustuoteasetuksen vaatimukset tulevat yleensä kuvaan silloin, kun jäte jalostetaan tuotteeksi ja saatetaan markkinoille. (Tiehallinto, 2022, s.19)

4.2 Hyväksyntäprosessi ja lupa-asioiden hallinta

Rikastushiekan käyttöä tierakentamisessa valvovat Suomessa ympäristöviranomaiset, joista keskeisimmät ovat ELY-keskukset ja Aluehallintovirastot AVI. Rikastushiekan käyttö edellyttää aina ympäristöluvan hakemista. (Jätteiden hyödyntäminen maanrakennustöissä, 2024; Ilmoitus jätteiden hyödyntämisestä maanrakennustöissä, 2025)

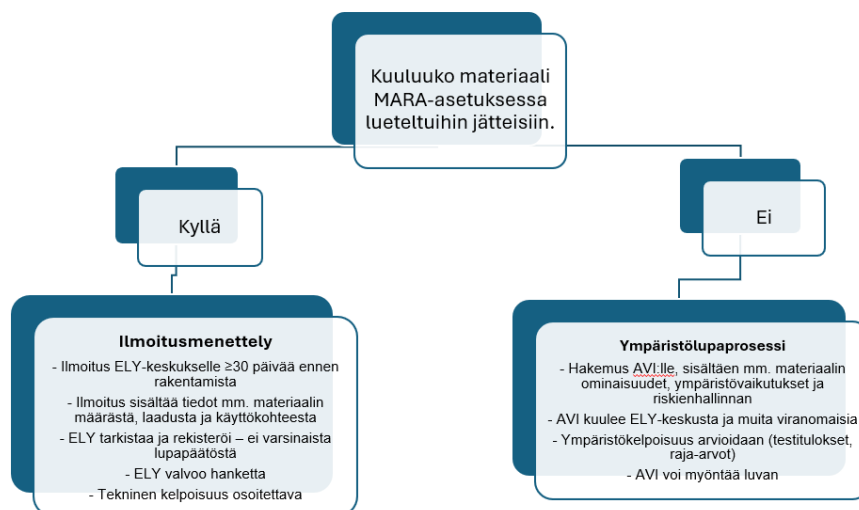
Jos hanke kuuluu MARA-asetuksen piiriin, eli käytetty jättemateriaali ja käyttötarkoitus täyttävät määräyksen ehdot, erillistä ympäristölupaa ei tarvita. Sen sijaan aineiston hyödyntäjä tekee ilmoittautumisilmoituksen ELY-keskukseen vähintään 30 päivää ennen rakentamisen aloittamista. (Jätteen hyödyntäminen maanrakennustöissä, n.d.) Ilmoituksesta saa tietoa mm. materiaalin laadusta, määrästä, käyttötarkoituksesta ja menetelmästä. ELY-keskus tarkistaa ilmoituksen ja kirjaa hankkeen rekisteriin. ELY toimii valvontaviranomaisena, joka voi puuttua asiaan, jos määräyksen vaatimukset eivät täyty. Ilmoitusmenettely on varsinaista lupaprosessia kevyempi, mikä on tarkoituksenmukaista, jotta kierrätysmateriaalien käyttö ei ole tarpeettoman monimutkaista tilanteissa, joissa ympäristöriskit ovat pieniä ja hyvin hallittavissa. Materiaalin käyttäjän on kuitenkin aina varmistettava, että käyttö ei aiheuta vaaraa ympäristön saastumisesta tai haitasta terveydelle. Tämä periaate on kirjattu jätelakiin ja velvoittaa toimijaa riippumatta siitä, vaaditaanko lupa vai ei. ELY-keskukset ovat laatineet ohjeet ja lomakkeet ilmoitusmenettelyn tueksi, ja ne neuvovat tarvittaessa projektivaiheessa. On syytä mainita, että vaikka MARA-menettely vähentää hallinnollista taakkaa, on asetuksen ehdot tiukat. Näin varmistetaan, että kierrätysmateriaalien käyttö ei vaaranna ympäristöä. (Liikennevirasto, 2022, s.15; Jätteiden hyödyntäminen maanrakennustöissä, 2024)

Jos hanke ei kuulu MARA-asetuksen piiriin, esimerkiksi käytettävä jäte ei ole määräyksessä lueteltu tai käyttöehdot eivät muuten täyty, on haettava ympäristölupa ennen kuin rikastushiekka voidaan hyödyntää ympäristönsuojelulain mukaisesti. Kuvassa 3 on esitetty rikastushiekan hyödyntämiseen liittyvä lupaprosessi ja sen eteneminen riippuen siitä kuuluuko materiaali MARA-asetuksen piiriin. Ympäristöluvan myöntää yleensä aluehallintovirasto kuultuaan lausunnoilla tarvittavia viranomaisia, kuten ELY-keskusta.

Hakijan tulee toimittaa virastolle selvitykset materiaalin laadusta, suunnitellusta käyttörakenteesta, ympäristövaikutuksista ja riskinhallintatoimenpiteistä. Ympäristövirasto arvioi, voidaanko materiaalia käyttää tavalla, joka ei aiheuta ympäristön saastumisvaaraa. Ympäristöluvassa määritellään tapauskohtaiset lupaehdot. Aiemmissä päätöksissä on esimerkiksi määrätty, että rikastushiekan käyttö on rajoitettava tärkeiltä pohjavesialueilta ja materiaalin on täytettävä tietyt laatuvaatimukset ennen käyttöä. (Valtioneuvoston asetus tiettyjen jätteiden hyödyntämisestä maansiirtotyössä, 843/2017 4 §; Karjalainen, 2016; Kivikytö-Reponen, 2020)

Viranomaiset voivat myös vaatia seurantaa, kuten pohja- tai pintaveden laadun seurantaa hankkeen aikana ja sen jälkeen. Ympäristöluvan tarve lisää suunnitteluaiakataulua, mutta toisaalta se mahdollistaa tapauskohtaisesti myös MARA-asetuksen ulkopuolisten materiaalien käytön. Ympäristöluvan saamisen kynnys on käytännössä se, että hakija pystyy osoittamaan tutkimustiedoilla aineiston ympäristösoveltuvuuden. Ympäristöluvan saanti perustuu suurelta osin standardoituihin laboratoriokokeisiin ja vertailuun raja-arvoihin. Jos materiaalin havaitaan aiheuttavan liian suuren riskin ympäristölle, lupaa ei myönnetä. Jos lupa myönnetään, siitä tulee oikeudellisesti sitova velvoite noudattaa asetettuja ehtoja. (Liikennevirasto, 2022, s.15; Valtioneuvoston asetus tiettyjen jätteiden hyödyntämisestä maansiirtotyössä, 843/2017, 4 §)

Kuva 3. Lupaprosessin eteneminen. (Siiri Salomaa, 2025)



Ympäristöasioiden lisäksi viranomaiset varmistavat materiaalin teknisen soveltuvuuden. Tiehankkeissa materiaalien on täytettävä infrastruktuuristandardit ja laatuvaatimukset. Kierrätysmateriaalin käyttö edellyttää, että se on teknisesti yhtä toimiva kuin perinteiset

neitseelliset materiaalit kyseisessä sovelluksessa. Liikenneviraston ohjeiden mukaan jätteistä peräisin olevia materiaaleja saa käyttää tierakenteissa vain, jos ne täyttävät tekniset vaatimukset ja niille on hankittu joko MARA-asetuksen ehdot tai ympäristölupa. Käytännössä hankkeessa tehdään usein erillinen tekninen soveltuvuusarviointi, esimerkiksi laboratoriotesteillä määritetään rikastushiekan raekokokäyrä, tiivistyvyys ja kantokyky. Jos materiaalista tai testitulosdokumenteista on aikaisempaa hyvää kokemusta standardien mukaisesti, voidaan tekninen hyväksyntä tehdä helpommin. Muuten testirakenteet voidaan toteuttaa ennen laajamittaista käyttöä. Viranomaiset vaativat yleensä osana lupa- tai ilmoitusmenettelyä hankkeen vastuuhenkilöltä, että sekä ympäristö- että laatuvaatimukset täyttyvät. (Liikennevirasto, 2022, s.17)

5 Rikastushiekan tausta ja ominaisuudet

Rikastushiekka on kaivosteollisuuden sivutuote, jota syntyy malmin rikastusprosessissa. Määrällisesti se on erittäin merkittävä jätemateriaali. Arviolta 71 % Suomen kaivosten louhitusta maa-aineksesta päätyy rikastushiekaksi jätteenä. Vuonna 2018 kaivos- ja louhintatoiminnassa Suomessa syntyi jätettä arviolta 96 tonnia, mikä on yli kolme neljäsosaa maan kokonaisjättemäärästä. (Kivikytö-Reponen, 2020)

Suurin osa tästä on mineraalijätettä eli rikastushiekkaa ja sivukiveä, joten kyse on määrällisesti kaivosteollisuuden merkittävimmästä ympäristöhaasteesta. Rikastushiekka varastoidaan yleensä suurille allasalueille. Kuvassa 4 on Sotkamo Silver Oy:n rikastushiekka-allas. Suomessa on kymmeniä rikastushiekka-altaita, joiden pinta-alat voivat yksittäin olla satoja hehtaareja ja tilavuudet kymmeniä miljoonia kuutiometrejä. (Karjalainen, 2016, s.7) Tämä tarkoittaa suurta maankäyttöä ja merkittäviä ympäristöriskejä, ellei rikastushiekkaa hallita asianmukaisesti.

Kuva 4. Rikastushiekka-allas. (STT Info., 2023)



Rikastushiekka muodostuu, kun malmista erotetaan arvomineraalit ja jäljelle jäävä hienoksi jauhettu kiviaines poistetaan jätteenä. Tyypillisesti rikastushiekka on erittäin hienojakoista kivimurskaa, joka sisältää sekä malmikiven että sivukiven mineraaleja hienojakoisessa muodossa sekä mahdollisia rikastusprosessissa käytettyjen kemikaalien jäämiä.

Rikastushiekan koostumus vaihtelee huomattavasti kaivoksittain. Se riippuu louhittavan malmin tyypistä ja rikastusmenetelmästä. Geoteknisesti rikastushiekka muistuttaa yleensä hienoa hiekkaa tai silttiä. Se on pääosin rakeisuudeltaan $<0,063$ mm kokoista ainesta ja varastoituna se on märkää lietettä. (Juutinen, 2020; Karjalainen, 2016)

Rikastushiekan ainekoostumus heijastaa rikastettavan malmin mineralogiaa. Kalkkikiven rikastuksessa syntyvä rikastushiekka on miltei puhdasta kalsiittia CaCO_3 ja muistuttaa siten ominaisuuksiltaan hiekkamaata. Siinä on hyvin vähän haitallisia aineita verrattuna esimerkiksi metallimalmien rikastushiekkaan. Tällainen kalsiittipitoinen rikastushiekka on todettu routimattomaksi ja hyvin vettä läpäiseväksi materiaaliksi, ja sitä on jo hyödynnetty tierakenteiden suodatinkerroksessa hiekan korvaajana. Sen sijaan metallipitoisten malmin rikastushiekat voivat sisältää huomattavasti enemmän sulfideja sekä metalleja, jotka liuetessaan aiheuttavat ympäristöriskin. Tällaiset rikastushiekat luokitellaan usein vaarallisiksi jätteiksi, ellei niiden haitta-ainepitoisuuksia saada stabiloitua. (Väylävirasto, 2022) Rikastushiekka pumpataan kaivosalueella yleensä vesilietteenä rikastamolta altaisiin, missä kiintoaine laskeutuu ja vesi kierrätetään takaisin prosessiin. Altaaseen jäävä

hienoainesta sisältävä lieju kuivuu ajan myötä muodostaen laajoja hiekkakenttiä, joita on tarvittaessa pölynsidonnalla ja peittokerroksilla hallittava. Koska jopa 95 % louhitusta malmista saattaa päätyä jätteeksi, kertyy rikastushiekkaa kaivoksilla valtavia määriä. Tämä on lisännyt tarvetta kehittää keinoja rikastushiekan hyötykäyttöön uusiomateriaalina altaisiin loppusijoittamisen sijaan. (Passoja, 2022)

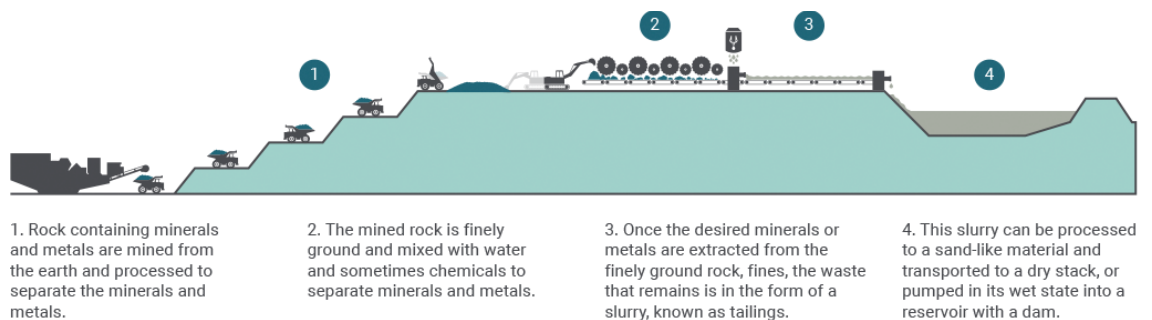
Rikastushiekan varastoinnin ympäristöhaasteet liittyvät mm. hulevesien hallintaan, pölyämiseen ja mahdollinen happamoituminen. Esimerkiksi sulfidipitoisten rikastushiekkojen happovaara voi johtaa happamiin valumiin, jotka liuottavat metalleja ympäristöön. Rikastushiekka-altaiden patojen rikkoutuminen tai vuotaminen voi aiheuttaa vakavia ympäristövaikutuksia, joten materiaalin turvallinen käsittely on ensisijaisen tärkeää. Näistä syistä on alettu korostamaan kiertotalousratkaisuja, joissa rikastushiekalle pyritään löytämään hyötykäyttökohteita. Hyödyntämällä kaivosjätettä voidaan säästää luonnollisia raaka-aineita ja vähentää hiilidioksidipäästöjä verrattuna luonnonmateriaalien käyttöön. Rikastushiekan arvon nostaminen tuotteiksi edistää samalla kaivostoiminnan kestävyttä ja voi vähentää altaisiin sijoitettavan jätteen määrää. Suomessa kuitenkin vain noin 7,5 % mineraalisesta jätteestä hyödynnetään uudelleen, joten potentiaalia on paljon nykyistä laajemmalle uudelleenkäytölle. (Segui ym., 2023; Passoja, 2022; Kauppila, 2023)

5.1 Rikastushiekan syntyprosessi ja koostumus

Rikastushiekka syntyy kaivosmalmin rikastusprosessissa, jossa malmista erotellaan arvokkaat komponentit erilaisin fysikaaliskemiallisin menetelmin. Tyypillinen rikastusprosessi alkaa malmin murskauksella ja jauhamisella, minkä jälkeen hienontuneesta materiaalista erotetaan haluttu aines esimerkiksi vaahdotuksella, magneettierotuksella tai gravimetrisellä menetelmällä. Vaahdotuksessa malmi hienonnetaan lähes jauheeksi ja rikastuskemikaaleja apuna käyttäen halutut mineraalipartikkelit erotetaan vaahtona. Prosessin sivutuotteena jää jäljelle hienojakoinen rikastushiekka, joka koostuu kaikista niistä kiviaineksen mineraaleista, joita ei saatu talteen, sekä pienistä määristä prosessissa käytettyjä kemikaaleja. Tämä rikastushiekka pumpataan lietteenä rikastushiekka-altaisiin odottamaan loppusijoitusta. Altaissa kiintoaine laskeutuu ja prosessivesi kierrätetään takaisin, jolloin altaan pohjalle kerääntyy kiinteä rikastushiekka. Osa karkearakeisimmasta rikastushiekasta voidaan hyödyntää suoraan kaivoksen sisäisissä täytöissä, kuten maanalaisten kaivostilojen täyttämisenä, mutta valtaosa hienosta aineksesta jää altaaseen. (ICMM, n.d.-b; Kiventerä, J., 2019, ss. 37-39)

Rikastushiekan syntyprosessi alkaa louhinnalla, jossa maaperästä irrotetaan kiviainesta, joka sisältää arvokkaita mineraaleja ja metalleja. Kuvassa 5 on kuvattu rikastushiekan syntyprosessi alusta varastointiin. Louhittu materiaali kuljetetaan rikastamolle, jossa se murskataan ja jauhetaan hienoksi. Tämän jälkeen seokseen lisätään vettä ja tarvittaessa kemikaaleja, jotka edistävät metallien ja mineraalien erottumista muusta aineksesta. Rikastusvaiheessa halutut aineet erotetaan, ja prosessin sivutuotteena syntyy hienojakoinen, vetinen jäte, jota kutsutaan rikastushiekaksi tai lieteseokseksi. Tämä rikastushiekka voidaan joko pumpata nestemäisessä muodossa varastoaltaaseen, jota ympäröi pato, tai se voidaan käsitellä edelleen kuivaksi hiekkamaiseksi materiaaliksi, joka voidaan varastoida kasana niin sanottuna kuivavarastona. (ICMM, n.d.-a)

Kuva 5. Kaivostoiminnan ja malminrikastuksen päävaiheet. (ICMM, n.d.-a)



Rikastusmenetelmä vaikuttaa rikastushiekan määrään ja ominaisuuksiin. Jos malmi on köyhää, tarvitaan suuri määrä kiveä pienen metallimäärän erottamiseksi, ja tällöin syntyy suhteessa paljon rikastushiekkaa. Esimerkiksi metallimalmeilla jopa 80–95 % louhitusta kiviaineksesta päätty rikastushiekaksi jätteeksi. Rikastushiekan määrä per tuotettu malmitonni riippuu myös rikastuksen erotustehokkuudesta. Mitä paremmin arvomineraalit saadaan talteen, sitä vähemmän jää arvokkaita jäänteitä rikastushiekkaan. Kuitenkin täydellistä talteenottoa ei yleensä saavuteta, joten rikastushiekka saattaa sisältää pieniä pitoisuuksia hyödykkeitä. (Passoja, 2022)

Koostumukseltaan rikastushiekka on pääosin kivimineraalien seos. Siitä löytyy tyypillisesti esimerkiksi kvartssia, maasälpä, kiillettä ja muita mineraaleja, jotka olivat osa alkuperäistä kiveä. Mikäli malmi sisälsi sulfideja, jää rikastushiekkaan usein jonkin verran näitä sulfideja rikastusprosessista huolimatta. Samoin arvometalleja voi jäädä pieniä määriä sitoutuneena rikastushiekan mineraaleihin. Kemikaalijäämät rikastushiekassa riippuvat prosessista, esimerkiksi vaahdotuksessa käytetyt kemikaaleja voi esiintyä vähäisinä pitoisuuksina. Yleensä prosessikemikaalien pitoisuudet rikastushiekassa ovat kuitenkin pieniä ja monet niistä hajoavat ympäristössä ajan mittaan. Tärkeä ominaisuus on rikastushiekan rakeisuus. Jauhatuksen vuoksi rikastushiekka on hienoa. Hienous riippuu siitä, kuinka pieneksi malmi

on täytynyt jauhaa arvomineraalien vapauttamiseksi. Kultamalmien rikastuksessa saatetaan jauhaa hyvin hienoksi, jopa $<0,074$ mm, kun taas karkeammalla jauhatuksella osa rikastushiekasta voi olla hiekkankokoista. Raekokojakauma vaikuttaa sekä geoteknisiin että ympäristöominaisuuksiin. Hienojakoinen rikastushiekka voi pidättää vettä ja siinä on suuri ominaispinta-ala, mikä altistaa sen kemiallisille reaktioille. Toisaalta hyvin hieno aines pölyää kuivana helposti, mikä on pölyhallinnan kannalta haaste. (Juutinen, 2020, ss.8-16; Kiventerä, 2019, s.37-39; Kivikytö, 2020; ICMM, n.d.-b)

Rikastushiekan pH ja kemiallinen luonne riippuvat myös malmista. Esimerkiksi Siilinjärven apatiittikaivoksen rikastushiekka on kalkkipitoista ja jopa lievästi emäksistä, mikä ehkäisee raskasmetallien liukoisuutta. Vastaavasti Talvivaaran nikkeli-kaivoksen sivutuotteena syntyvä metallipitoinen sakka oli hapanta ja metallirikasta, mikä vaati neutralointia. Yleisesti teollisuusmineraalien rikastushiekat ovat kemiallisesti melko harmittomia, kun taas metallimalmien rikastushiekat sisältävät useammin ympäristölle haitallisia alkuaineita. Tämä heijastuu jätteiden hyödyntämismahdollisuuksiin: inertti, vaaraton rikastushiekka voidaan helpommin käyttää uudelleen, kun taas metallipitoisen rikastushiekan hyötykäyttö edellyttää huolellista ympäristöriskien arviointia ja mahdollisesti käsittelyä ennen käyttöä. (Kauppila, 2023)

5.2 Rikastushiekan hyödyntämispotentiaali ja haasteet

Rikastushiekalle on tunnistettu merkittävä hyödyntämispotentiaali erityisesti maarakentamisessa, mukaan lukien tierakentaminen. Uusiomateriaalina rikastushiekka voisi korvata neitseellisiä maa-aineksia, kuten hiekkaa ja soraa, joita perinteisesti käytetään teiden pohjarakenteissa. Tällä on kaksi keskeistä hyötyä: vähennetään luonnonmateriaalien ottoa ja pienennetään kaivannaisjätteen määrää varastoaltaissa. Kiertotalouden näkökulmasta rikastushiekan käyttäminen tierakenteissa edistää materiaalien tehokasta kiertoa ja voi vähentää teollisuuden hiilijalanjälkeä. Kansainvälisesti kaivosjätteiden hyötykäyttö tierakenteissa on kuitenkin vasta kehitysasteella, eikä sitä ole laajamittaisesti vielä toteutettu. Pilottihankkeita ja tutkimuksia on tehty muun muassa USA:ssa, Kanadassa ja Euroopassa, joissa on testattu rikastushiekan soveltuvuutta erilaisiin tiekerroksiin. Esimerkiksi Yhdysvalloissa on kokeiltu kuparikaivoksen rikastushiekan käyttöä asfaltin seosaineena. Laboratoriokokeissa todettiin, että jopa 20 % asfaltin hienoagregaatista voidaan korvata kuparirikastushiekalla säilyttäen riittävä lujuus ja kestävyys. Myös Marokossa on raportoitu hankkeista, joissa rikastushiekkaa on hyödynnetty tiekerroksissa ja penkereissä sekoitettuna sideaineisiin. Nämä esimerkit osoittavat, että potentiaalia on olemassa, mutta käytännön toteutus vaatii tapauskohtaista

suunnittelua. (Segui ym., 2023; Karjalainen, 2016, ss.9-14; Pokka, 2024, ss.16-19; Jätehierarkia, n.d.)

Rikastushiekan käyttö tierakenteissa edellyttää, että materiaali täyttää tierakenteiden tekniset vaatimukset. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kantavuus, tiivistyvyys, rakeisuus ja routaominaisuudet. Hienorakeinen rikastushiekka voi sellaisenaan olla haastava materiaalina, koska sen kantavuus heikkenee kosteana ja se voi olla altis routivuudelle, jos huokosveden jäätyessä muodostuu nousevaa routaa. Toisaalta eräät rikastushiekat, kuten kalsiittipitoinen hiekka eivät roudi ja läpäisevät vettä hyvin, mikä tekee niistä geoteknisesti kelvollisia esim. suodatinkerroksiin tai kantavan kerroksen materiaaliksi. Yleisesti rikastushiekka on kitkamaista materiaalia ilman koheesiota, koska se ei sisällä savipartikkeleita; tämä tarkoittaa, että se käyttäytyy siltin tai hienon hiekan tapaan. Hyvin tiivistettynä kuivana se voi kantaa kuormia, mutta jo pieni vesipitoisuuden nousu voi pudottaa kantokykyä. Siksi usein nähdään tarpeelliseksi parantaa rikastushiekan ominaisuuksia sideaineilla. Yksi käytetty menetelmä on stabilointi sementillä tai muilla sideaineilla. Rikastushiekkaan sekoitetaan esimerkiksi 3–10 % sementtiä seos tiivistetään kerrokseksi, joka kovettuu betonimaiseksi. Tällainen sementillä stabiloitu rikastushiekka saavuttaa paremman lujuuden, kestää toistuvaa kuormitusta ja ennen kaikkea sitoo mahdollisia haitta-aineita kiinteään massaansa. Tutkimusten mukaan stabilointi parantaa sekä fysikaalimekaanisia että ympäristökelpoisuusominaisuuksia. Se pienentää raskasmetallien liukoisuutta ja estää sulfideja hapettumasta vapaasti. Myös kuitulujitteiden tai teollisuusjätteiden lisäämistä on tutkittu rakenteellisen kestävyuden parantamiseksi. (Väylävirasto, 2022; Karjalainen, 2016, ss.9-14; Segui ym., 2023; Kiventerä, 2019, ss.35-36)

Rakentamiskäytössä tärkeää on myös materiaalin yhtenäinen laatu ja rakeisuus. Monesti rikastushiekka on lähes pelkästään hienoa jauhetta, josta puuttuu karkeampi osa. Tällöin sen käyttäytyminen paranee, jos sitä sekoitetaan esimerkiksi karkeaan sivukivimurskeeseen tai luonnonsoraan. Sekoitteella voidaan saada jatkuva raekokojakauma, mikä parantaa tiivistyvyyttä ja vähentää huokoisuutta. Suomessa kaivosten sivukiveä on jo hyödynnetty teiden rakenteissa, ja samanlaisia periaatteita voidaan soveltaa rikastushiekkaan. Käyttämällä kaivoksen omia kiviaineksia seoksina voidaan vähentää uuden materiaalin tarvetta ja pienentää jätekuormia. CE-merkintä ja standardit asettavat vaatimuksia, tierakenteissa käytettävän uusiomateriaalin tulee täyttää soveltuvan tuotestandardin vaatimukset. Rikastushiekan kohdalla tämä tarkoittaa, että sen tuotesertifiointi tuotteeksi on tehtävä, mikäli sitä halutaan käyttää ilman tapauskohtaista ympäristölupaa. Suomessa onkin mietitty, voisiko rikastushiekka tietyissä tapauksissa

luokitella sivutuotteeksi tai jalostaa tuotteeksi, jolloin käyttö helpottuisi. Esimerkiksi kalsiittirikastushiekka on CE-merkitty suodatinkerrosmateriaaliksi ja on tietyin ehdoin jo käytännössä. (Väylävirasto, 2022)

Yksi suurimmista haasteista rikastushiekan tierakentamiskäytössä on varmistaa, ettei siitä aiheudu haitallisia ympäristövaikutuksia. Tämä edellyttää haitta-aineiden liukoisuuden tarkastelua. Rikastushiekasta voi liueta mm. raskasmetalleja ja suoloja, etenkin jos materiaali on happamoituvaa. Siksi ennen käyttöä on tehtävä standardoituja liukoisuustestejä ja analysoitava rikastushiekan sisältämät haitalliset alkuaineet. (Segui ym., 2023) Mikäli rikastushiekka luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi, sen käyttö maarakenteissa on hyvin rajoitettua ja vaatii tiukkoja eristämistoimia. Tavanomainen jäte, jota säilytetään tilapäisesti, edellyttää käyttöpaikalla tiivistä pohjarakennetta vuotojen estämiseksi. Suomen viranomaisvaatimukset edellyttävät, että mikäli rikastushiekkaa halutaan käyttää vaikkapa tienpohjissa, on oltava osoitettua, ettei siitä liukene ylimääräistä kuormitusta pohjaveteen tai ympäröivään maaperään. Esikäsittelyt, kuten tuhkan, kuonan tai kalkin sekoitus rikastushiekkaan ovat lupaavia keinoja parantaa materiaalin ympäristökelpoisuutta ennen käyttöä. On myös huomattava, että teollisuusmineraalien rikastushiekat usein jo itsessään alittavat haitta-ainepitoisuuksille asetetut raja-arvot. Muun muassa kalsiittipohjainen rikastushiekka sisältää niin vähän raskasmetalleja, että se luokitellaan vaarattomaksi jätteeksi, mikä madaltaa hyötykäytön kynnyksiä. Sen sijaan sulfidista malmeista peräisin oleva hiekka voi vaatia luokitukseltaan ongelmajätteenä erityistoimia, kuten täysin vesitiiviin eristyksen rakenteessa. (Karjalainen, 2016, ss.9-14; Kainuun ELY-keskus, n.d.)

Rikastushiekkaa voitaisiin hyödyntää teiden rakenteissa usealla tavalla, kun edellä mainitut reunaehdot täyttyvät. Rikastushiekkaa voidaan käyttää tierakenteen alimmissa kerroksissa täyteaineena. Kaivosalueilla on käytetty sivukiven ja rikastushiekan seoksia tiepenkereiden rakentamiseen. Stabiloitu rikastushiekka sopii kantavaan kerrokseen, jossa se kovettuneena jakaa liikenteen kuormia laajemmalle alueelle. Hyvin vettä läpäisevä ja routimaton rikastushiekka soveltuu salaojittaviin kerroksiin, jotka estävät hienoaineksen nousemista rakenteisiin. Kalsiittirikastushiekkaa on jo käytetty päällysrakenteen alla suodatinkerroksena korvaamaan luonnon hiekkaa. (Karjalainen, 2016, ss.9-14)

6 Rikastushiekan rakennetekniset ominaisuudet

Rakenneteknisellä kelpoisuudella tierakentamisessa viitataan siihen, täyttääkö tämä materiaali tierakenteissa vaadittavat mekaaniset vaatimukset. Tarkastelussa ovat erityisesti rikastushiekan geologiset ominaisuudet kuten rakeisuus, lujuus, tiivistettävyyys, vedenläpäisevyys ja routakestävyys, sekä käyttäytyminen kuormituksessa ja sääolosuhteissa. Lisäksi arvioidaan materiaalin ympäristökelpoisuutta, mahdollisia haitta-aineiden liukenemista ja yhteensopivuutta ympäristön kanssa. Nämä tekijät vaikuttavat siihen, missä tierakenteen kerroksissa rikastushiekkaa voidaan turvallisesti hyödyntää ja millaisin menetelmin käyttö on mahdollista. (Kiventerä J., 2019, ss.37-39)

6.1 Geologiset ominaisuudet

Rikastushiekan mekaaniset ja geologiset ominaisuudet voivat vaihdella riippuen malmityypistä ja rikastusmenetelmästä. Yleisesti ottaen rikastushiekat ovat hienojakoisia mineraalipartikkeleita, joiden raekoko, mineraalikoostumus ja muut ominaispiirteet eroavat luonnon sorasta tai hiekasta. (Väylävirasto, 2022)

Rikastushiekka on yleensä hienorakeista materiaalia. Esimerkiksi kalkkikiven rikastuksesta syntyvä rikastushiekka vastaa raekokojakaumaltaan hienoa hiekkaa, keskimääräisen raekoon ollessa noin 0,1–0,2 mm. (Väylävirasto, 2022) Metallimalmien rikastushiekka sisältää usein sekä karkeaa silttiä että hiekkaa, ja siihen voi silti jäädä jonkin verran hyvin hienoa ainesta. Hienoaineksen osuus vaikuttaa olennaisesti materiaalin käyttäytymiseen. Suuri hienojakoisen aineksen pitoisuus voi heikentää kantavuutta ja lisätä routivuutta. (Kiviniemi ym., 2012)

Rikastushiekka on yleensä melko tiivistettävää materiaalia, joskin optimaalisessa kosteudessa. Laboratoriokokeissa kalsiittirikastushiekalle on mitattu optimi vesipitoisuus noin 13 % ja maksimi kuivatiheys $\sim 1,8 \text{ g/cm}^3$ (noin $17,8 \text{ kN/m}^3$) standardi Proctor -kokeessa. Nämä arvot ovat samansuuntaisia kuin vastaavan raekoon luonnonhiekalla, mikä tarkoittaa, että rikastushiekka saadaan tiivistettyä kerrokseksi suhteellisen helposti hyvällä tiivistyskalustolla. Nordkalkin tuotteen on raportoitu olevan jopa helpommin tiivistettävissä kuin luonnonhiekka sen kulmikkaamman raemuodon ansiosta. Kuitenkin kosteuspitoisuuden hallinta on tärkeää, sillä liian märkänä hienojakoinen rikastushiekka voi liejuuntua, ja liian kuivana tiivistystulos jää vajaaksi. Tiivistettävyyys voidaan arvioida Proctor-kokeen lisäksi esimerkiksi kantavuuskokeilla. (Karjalainen N., 2016)

Rikastushiekan leikkauslujuus riippuu pitkälti sen rakeisuudesta, tiivistystilasta ja veden

kyllästysasteesta. Erot eri kaivosten rikastushiekkojen välillä voivat olla suuria. (Kiventerä J., 2019)

Rikastushiekka on rakeisuutensa vuoksi usein hyvin vettä läpäisevä materiaali, mikä erottaa sen monista luonnon silttimaista. Karkean hiekan ja silttimäisen aineksen seoksena sen läpäisykerroin on tyypillisesti luokkaa $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$ m/s, kun taas puhtaiden silttien läpäisevyys on tätä pienempi esim. $10^{-6} - 10^{-7}$ m/s. Nordkalkin kalkkikivirikastushiekalle on mitattu läpäisevyydeksi $k \approx 1 \times 10^{-4}$ m/s suuruusluokkaa, mikä vastaa hyvin vettä johtavaa maalajia. Korkea vedenläpäisevyys tarkoittaa, että materiaali ei pidätä vettä, vaan vesi voi valua sen läpi suhteellisen helposti. Tämä on tierakenteessa toisaalta hyvä ja toisaalta huono asia. Hyvä läpäisevyys voi estää haitallista huokosveden ylipainetta ja routanousua, mutta toisaalta se tarkoittaa, että vesi ja siihen liuenneet aineet voivat kulkeutua materiaalin läpi ympäristöön. Jos rikastushiekassa on liukoisia haitta-aineita, korkea vedenläpäisevyys voi edistää niiden huuhtoutumista. Kapillaarinen nousukorkeus kalsiittirikastushiekassa on kuitenkin melko alhainen ($< 0,9$ m), eli hienohuokoinen kapillaarinen vedenimu on vähäisempää kuin hienommilla maalajeilla. (Karjalainen N., 2016)

Routivuus kuvaa materiaalin taipumusta jäätyessään muodostaa haitallisia jäälinssikerrostumia ja aiheuttaa routanousua. Hienorakeinen, vettä pidättävä maa-aines on routivaa, kun taas karkeampi ja hyvin vettä läpäisevä aine on routimatonta. Kalkkikivipohjainen rikastushiekka voidaan luokitella routimattomaksi materiaaliksi. (Väylävirasto, 2022) Tämä perustuu sekä alhaiseen hienoainesmäärään että pieneen kapillaariseen nousuun. Nordkalkin rikastushiekalla on mitattu hyvin pieni segregatiopotentiaali ($< 0,2$ mm²/Kh), mikä alittaa routivuuden raja-arvot. Toisin sanoen kyseinen materiaali ei juurikaan muodosta jäätyessään erillisiä jäälinssikerroksia, jotka nostaisivat tierakennetta. On kuitenkin huomattava, että kaikki rikastushiekat eivät ole routimattomia. Jos materiaalissa on yli noin 5–10 % hienoainesta tai jos huokostilavuus on sellainen, että kapillaarinen veden nousu on mahdollista, voi rikastushiekka muuttua routivaksi. Erityisesti sulfidi- ja silttipitoisten malmien rikastushiekat saattavat sisältää enemmän hyvin hienoja fraktioita, mikä voi tehdä niistä routaherkempiä. Routakestävyys on tärkeää arvioida laboratorio-olosuhteissa, mikäli rikastushiekkaa aiotaan käyttää routarajan yläpuolisissa kerroksissa. (Karjalainen, 2016)

Rikastushiekkojen kemiallinen koostumus vaihtelee paljon malmiesiintymän mukaan. Kalsiitin rikastushiekka on kemiallisesti hyvin tasaista kalkkikiveä. Sen pH on emäksinen johtuen kalkkikivestä liukenevasta emäksisyydestä. Korkea pH itsessään ei ole geotekninen ongelma, mutta se voi aiheuttaa yhteensopivuuskysymyksiä. Alumiinia

sisältävien rakenteiden korroosio voi kiihtyä emäksisessä ympäristössä ja tietyt muoviset geomateriaalit voivat heikentyä korkeassa pH:ssa. Metallimalmien rikastushiekoissa suurempi huoli ovat mahdolliset sulfidi- ja raskasmetallipitoisuudet. Sulfidimineraalit voivat kosteassa ja hapellisessa ympäristössä hapettua muodostaen happamia yhdisteitä ja liuottaa ympäristöön raskasmetalleja. Nämä reaktiot eivät välttämättä vaikuta suoraan materiaalin mekaaniseen kantavuuteen lyhyellä aikavälillä, mutta voivat pitkällä aikavälillä muuttaa rikastushiekan koostumusta ja heikentää ympäristökelpoisuutta. Siksi geokemiallinen vakaus on oleellinen osa rikastushiekan käytön edellytysten arviointia. Käytännössä tämä tarkoittaa laboratoriotestejä, kuten happoneutralointikapasiteetin määrittystä, liukoisuustestejä ja haitta-ainepitoisuuksien mittauksia. Mikäli rikastushiekka osoittautuu potentiaalisesti happoa tuottavaksi tai sisältää haitallisia aineita yli raja-arvojen, sen käyttöä tierakenteissa joudutaan rajoittamaan tai materiaali on kapseloitava suljettuun rakenteeseen. Toisaalta, jos rikastushiekka on ympäristökelpoisuudeltaan puhdasta, kuten kalkkikivirikastushiekka, sen kemiallinen pysyvyys on etu ja helpottaa hyötykäyttöä. (Väylävirasto, 2022; Karjalainen N., 2016; Kiventerä J., 2019)

7 Rikastushiekan käyttö tierakentamisessa

Rikastushiekan hyödyntämisessä tierakenteissa on huomioitava sekä tekninen soveltuvuus eri kerroksissa että ympäristökelpoisuus ja turvallisuus. Käytännössä on arvioitava, mihin kerrokseen rikastushiekka parhaiten sopii ja millä ehdoilla. Lisäksi joissakin tapauksissa voidaan parantaa rikastushiekan ominaisuuksia stabilointimenetelmillä käyttökelpoisuuden lisäämiseksi. Nykyisten kokeiden ja tutkimusten perusteella rikastushiekka soveltuu parhaiten tierakenteen alempiin ja välikerrokseen, joissa sen hieno raekoko ja hyvät suodatusominaisuudet pääsevät hyödyksi. (Väylävirasto, 2022; Kiventerä, 2019, ss.35-36)

Suodatinkerrokseen käytetään tyypillisesti hiekkamateriaalia. Rikastushiekka, etenkin kalsiittipohjainen on todettu hyvin soveltuvaksi suodatinhiekaksi. Se on riittävän hienoa toimiakseen suodatuksena, mutta samalla routimatonta ja hyvin vettä läpäisevää. Väyläviraston ohjeissa on todettu, että kyseistä rikastushiekkaa on jo käytetty päällysrakenteiden suodatinkerroksessa menestyksekkäästi. Nordkalk Oy on kehittänyt Lappeenrannassa rikastushiekasta CE-merkityn tuotteensa, jonka rakeisuus on 0–0,5 mm ja joka täyttää suodatinkerrosmateriaalin vaatimukset. Tutkimusten mukaan tiivistettynä se voi suoraan korvata luonnon hiekan suodatinkerroksessa. Samankaltaista suodatinhiekaksi soveltuvaa rikastushiekkaa syntyy myös Outokummun Kemin kaivoksella kromiitin rikastuksessa, mikä osoittaa, että muillakin kaivoksilla voi olla hyödyntämiskelpoisia

sivuvirtahiekkoja. On tärkeää varmistaa, että mahdolliset haitta-aineet eivät kulkeudu suodatinkerroksesta ympäristöön. (Väylävirasto, 2022; UUMA-inventaariprojektin loppuraportti, 2008)

Jakavalla kerroksella tarkoitetaan yleensä kantavan kerroksen alapuolista kerrosta, joka levittää ylempien kerrosten kuormia laajemmalle alalle pohjamaahan. Tällaisessa kerroksessa voidaan käyttää karkeampaa hiekkaa tai soraa. Rikastushiekka saattaa soveltua sekoitettuna tai kerroksittain yhdistettynä jakaviin kerroksiin erityisesti silloin, kun tavoitteena on parantaa alusrakenteen suodatusta tai routaominaisuuksia. Esimerkiksi Lappeenrannassa toteutetussa Vihtola-Jäkkö -tien pilottikohteessa (2006) rakennettiin koekohde, jossa rikastushiekkaa hyödynnettiin osana tierakenteen jakavaa ja kantavaa kerrosta. Kyseisessä hankkeen pilotissa Nordkalkin rikastushiekkaa sekoitettiin turpeen polton lentotuhkan kanssa ja käytettiin seosmateriaalia tien kantavassa kerroksessa. Tämä rakenteellinen ratkaisu osoitti, että rikastushiekka voi toimia myös kantavassa roolissa, kun sitä lujitetaan ja kun päälle asennetaan kulutuskerrokset. Jakavissa kerroksissa rikastushiekan hyvää kantokykyä voidaan hyödyntää, mutta on huomioitava, että pelkkänä hienona aineksena se voi olla alttiimpi muodonmuutoksille toistuvassa kuormituksessa kuin karkeampi murske. Siksi usein suositellaan, että rikastushiekkaa käytetään jakavassa kerroksessa kerrosrakenteena siten, että sen ylä- ja alapuolella on karkeampi materiaali tukena, tai että rikastushiekka stabiloidaan. (UUMA-inventaariprojektin loppuraportti, 2008)

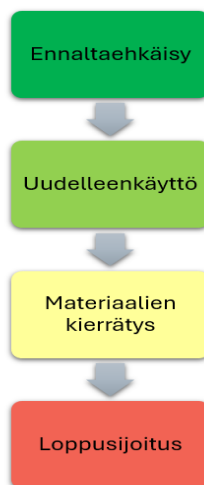
Penkereissä ja massatäytöissä rikastushiekkaa voidaan hyödyntää suurten tilavuuksien täyttämiseen, esimerkiksi tiepenkereen rungossa. Etuna on, että rikastushiekkaa on usein saatavilla runsaasti kaivoksen lähellä, jolloin neitseellistä kiviainesta voidaan säästää. Korkean sisäisen kitkakulman ansiosta hyvin tiivistetty rikastushiekka voi muodostaa vakaan penkereen rungon. Kuitenkin, koska materiaali on hienoa, luiskakaltevuudet on suunniteltava loivemmiksi kuin karkealla kivimateriaalilla, tai luiskat tulee suojata esimerkiksi murskeella tai kasvillisuudella eroosion estämiseksi. Tiehallinnon ohjeissa on mainittu, että jos sivutuotemateriaali on routimatonta, soveltuu se jopa korkeisiin penkereisiin penkeretäytteenä. Rikastushiekka, joka täyttää routimattomuuden kriteerit, kuuluu tähän luokkaan. Kaivosalueilla on rakennettu jätealaiden sulkemiseksi penkereitä rikastushiekasta. Näissä on usein käytetty kerrosrakennetta ja mahdollisesti sideaineita lujuuden parantamiseksi. Jos penkereeseen käytetään rikastushiekkaa, on suositeltavaa tehdä koerakenne ja seurata penkereen käyttäytymistä muutaman vuoden ajan, jotta varmistutaan pitkäaikaisesta toimivuudesta. (Väylävirasto, 2022; UUMA-inventaariprojektin loppuraportti, 2008)

8 Rikastushiekan ympäristökelpoisuus ja vaikutukset

Rikastushiekan hyödyntämisen ympäristökelpoisuus tarkoittaa, että materiaalia voidaan käyttää tierakenteissa ilman, että siitä aiheutuu haittaa ympäristölle tai terveydelle. Ennen kuin kaivosten rikastushiekkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi tierakenteen kerroksissa, on varmistettava sen ympäristöturvallisuus säädösten vaatimalla tavalla. Tämä edellyttää haitallisten aineiden pitoisuuksien ja liukoisuuden arviointia sekä riskienhallintatoimia, jotta varmistetaan ettei käytöstä aiheudu esimerkiksi pohjavesien pilaantumista. (Suomen säädöskokoelma 2007, N:o 210, s.744; Jätehierarkia, n.d.)

Rikastushiekan hyödyntäminen maarakentamisessa voidaan sijoittaa jätehierarkian kolmannelle tasolle, eli materiaalien kierrätykseen. Kuvassa 5 esitetään jätehierarkian portaat ylhäältä alaspäin järjestettynä vaikuttavuuden ja kestävyysasteen mukaan. Hierarkian huipulla on ennaltaehkäisy, joka tarkoittaa jätteen synnyn välttämistä esimerkiksi tehostamalla kaivosten materiaalitehokkuutta. Seuraavalla tasolla on uudelleenkäyttö, kuten rikastushiekan hyödyntäminen kaivoksen sisäisissä täyttötarkoituksissa. Kolmas taso, materiaalien kierrätys, on se, mihin rikastushiekan käyttö tierakenteissa selkeimmin sijoittuu. Neljäs taso on loppusijoitus, eli heikoin vaihtoehto, koska se ei edistä materiaalien kiertoa eikä luonnonvarojen säästöä. (Jätehierarkia, n.d.; Suomen säädöskokoelma 2007, N:o 210, s.744)

Kuva 6. Jätehierarkian tasot. (Siiri Salomaa, 2025)



8.1 Ympäristönäkökohdat

Rikastushiekan koostumus ja siinä olevat haitta-aineet määrittävät pitkälti sen ympäristökelpoisuuden. Metallimalmien rikastuksessa syntyvä hiekka sisältää usein erilaisia raskasmetalleja ja sulfideja, jotka voivat altistua ilmassa ja vedessä tapahtuvalle hapettumiselle. Tämä voi johtaa esimerkiksi metallien liukenemiseen vesiin sekä happamien valumiin muodostumiseen. Tyypillisiä haitallisia alkuaineita metallipitoisissa rikastushiekoissa ovat esimerkiksi arsenikki (As), antimoni (Sb), kadmium (Cd), nikkeli (Ni), sinkki (Zn) ja lyijy (Pb). Taulukossa 1 kerrotaan näiden metallien ja puolimetallien pitoisuuksien kynns- ja ohjearvot. Esitetyt ominaisuudet ja arvot tarjoavat yleiskuvan, mutta käytännössä metallien ja puolimetallien käyttäytyminen voi vaihdella huomattavasti, minkä vuoksi tapauskohtainen tutkimus ja analyysi on aina tarpeen. Jos rikastushiekka sisältää sulfideja voi niiden hapettuminen muodostaa rikkihappoa, joka edelleen liuottaa metalleja ympäristöön. Ympäristöriskinä on siis ennen kaikkea raskasmetallien ja muiden haitta-aineiden liukeneminen ja kulkeutuminen maaperään, pohjaveteen tai pintavesiin. (Lausunto Kittilän kaivoksen uuden rikastushiekka-altaan YVA-ohjelmaluonnoksesta, 2015; Karjunen, 2021, ss. 9, 13; Suomen säädöskokoelma 2007, N:o 210, s.744)

Taulukko 1. Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuden kynns- ja ohjearvot (Suomen säädöskokoelma 2007, N:o 210, s.744)

Aine (symboli)	Luontainen pitoisuus mg/kg	Kynnsarvo mg/kg	Alempi ohjearvo mg/kg	Ylempi ohjearvo mg/kg
Metallit ja puolimetallit				
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 (e)	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)

Esimerkkinä ympäristöriskeistä voidaan mainita Kittilän kultakaivoksen rikastushiekka, jossa liukoisuustesteissä havaittiin arseenin, antimonin ja sulfaattien pitoisuuksien ylittävän pysyvälle jätteelle asetetut raja-arvot. Myös seleenin ja lyijyn liukoisuus todettiin normitasoja korkeammaksi. Tämä tarkoittaa, että käsittelemättömänä tällaisen rikastushiekan hyödyntäminen voisi aiheuttaa ympäristön kannalta kestämättömiä päästöjä. Vastaavia huolia nousi esiin Sotkamo Silver Oy:n hopeakaivoksen YVA-menettelyssä, jossa erityistä huomiota kiinnitettiin kaivannaisjätteiden hallintaan ja vesistövaikutuksiin. Riskinä on, että valumavedet kuljettavat metalleja lähivesiin, ellei hiekkaa hallita oikein. (Lausunto Kittilän kaivoksen uuden rikastushiekka-altaan YVA-ohjelmaluonnoksesta, 2015; Karjunen, 2021, s. 9; Kainuun ELY-keskus, n.d.)

Kaikki rikastushiekat eivät kuitenkaan ole yhtä ongelmallisia. Rikastushiekan ympäristökelpoisuus vaihtelee huomattavasti alkuperän mukaan. Kuten kalsiittikiven rikastuksesta syntyvä hiekka sisältää hyvin vähän haitallisia aineita verrattuna sulfidi- ja metallimalmirikastamoiden hiekkaan. (Lindroos, 2008, s.110) Kalsiitin rikastushiekka on käytännössä kalkkikivipitoista hienoa hiekkaa, joka on routimatonta ja hyvin vettä läpäisevää materiaalia. Sitä onkin hyödynnetty tierakenteiden suodatinkerroksissa. (Väylävirasto, 2022) Tällaisen materiaalin ympäristökuormitus on vähäinen, kun haitta-ainepitoisuudet ovat matalia. Nordkalk Oy:n Lappeenrannan kaivoksessa syntyvää kalsiittirikastushiekkaa on pystytty käyttämään korvaamaan luonnon hiekkaa tierakenteen suodatinkerroksessa, mikä osoittaa, että tietyt rikastushiekat voivat olla ympäristökelpoisia oikeissa käyttökohteissa. (Lindroos, 2008, s.110)

Mikäli rikastushiekka todetaan turvallisesti hyödynnettäväksi, sen käyttö maarakentamisessa voi tuoda myös ympäristöetuja. Kaivosjätteen hyödyntäminen vähentää neitseellisten kiviainesten tarvetta ja pienentää näin luonnonvarojen kulutusta. Samalla voidaan pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä, koska uuden materiaalin louhinnan ja kuljetuksen tarve vähenee. Rikastushiekan hyötykäytöstä syntyvät hyödyt konkretisoituvat vain, jos ympäristöriskit saadaan hallintaan ja materiaali täyttää viranomaisten ympäristökelpoisuusvaatimukset. Muutoin haittavaikutukset voivat kumota hyödyt. (Väylävirasto, 2022)

8.2 Ympäristökelpoisuuden arviointi

Rikastushiekan hyötykäyttöä suunniteltaessa on ensisijaisen tärkeää arvioida materiaalin ympäristökelpoisuus, eli sen soveltuvuus käyttöön ilman kohtuutonta ympäristön kuormitusta. (Juutinen M., 2020) Kaivannaisjätteen ympäristökelpoisuus määräytyy sen geokemiallisten ominaisuuksien sekä jätteen pitkäaikaiskäyttämisen testauksen perusteella. Käytännössä tämä tarkoittaa, että rikastushiekasta tutkitaan haitallisten aineiden kokonaispitoisuudet ja erityisesti niiden liukoisuus ympäristöolosuhteissa. (Karjalainen N., 2023) Ympäristökelpoisuuden arvioimiseksi materiaaleille tehdään tavallisesti laboratorionkokeita, joilla selvitetään haitta-aineiden liukenemista veteen. Tyypillinen menetelmä on kaksivaiheinen ravistelutesti (esim. nesteytyssuhde $L/S=10$), jolla simuloidaan materiaalin huuhtoutumista ja mitataan liuenneiden metallien ja muiden haitta-aineiden pitoisuudet. (Karjunen E., 2021) Lisäksi materiaaleista analysoidaan kokonaispitoisuudet raskasmetalleille ja muille haitta-aineille, mikä antaa viitteitä siitä, kuinka paljon potentiaalisesti vaarallisia aineita materiaalista voi vapautua. (Juutinen M., 2020; Karjunen E., 2021)

Rikastushiekan ympäristökelpoisuutta määrittää myös pilaantuneiden maa-alueiden hallintaa ohjaavan PIMA-asetuksen periaatteiden mukaisesti. PIMA-asetuksessa on määritelty kynnyksarvot ja ohjearvot yleisimmille maaperän haitta-aineille. Kynnyksarvo on pitoisuustaso, jonka alittuessa maa-ainesta ei yleensä katsota pilaantuneeksi, mutta ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja käytön riskit on selvitettävä tarkemmin kohdekohtaisella riskinarvioinnilla. Ohjearvot toimivat viitearvoina pilaantuneisuuden tulkinnassa eri maankäyttötilanteissa. Alemman ohjearvon ylitys viittaa siihen, että kyseinen maa-aineksi, kuten rikastushiekka on ympäristökelpoisuudeltaan kyseenalainen ilman puhdistustoimia. Vastaavasti teollisuusalueella ylemmän ohjearvon ylitys indikoi kohonnutta riskiä kyseisessä käyttöympäristössä. PIMA-asetuksen mukaisesti rikastushiekan mahdollisten haitta-aineiden pitoisuuksia verrataan näihin arvoihin, ja mikäli pitoisuudet ylittävät kynnyks- tai ohjearvot, on tehtävä tarkempi riskinarviointi haittojen ja riskitasojen selvittämiseksi. Näin varmistetaan, että rikastushiekan käytöstä ei aiheudu ihmisten terveydelle tai ympäristölle hyväksymätöntä haittaa. (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, 214/2007, § 4; Pilaantuneet maa-alueet, 2023)

Mikäli testitulokset osoittavat, että rikastushiekasta liukenee ympäristöön haitallisia aineita yli säädösten raja-arvojen, materiaali ei sellaisenaan täytä ympäristölle turvallisen käytön vaatimuksia. Tällöin rikastushiekka luokitellaan ongelmajätteeksi tai ei-pysyväksi kaivannaisjätteeksi, mikä edellyttää tiukempia hallintatoimia. Vastaavasti vähäisiä

pitoisuuksia ja liukoisuuksia sisältävä, kemiallisesti vakaa rikastushiekka voidaan luokitella pysyväksi jätteeksi, jota on mahdollisuus hyödyntää ympäristössä kevyemmin suojatoimin. Ympäristökelpoisuusarvio on edellytys sille, että rikastushiekkaa voidaan harkita hyödynnettäväksi ja varmistaa, että materiaalin käyttö ei aiheuta pitkäaikaisia ympäristöriskejä maarakentamisessa. (Jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa, 2024)

8.3 Riskienhallinta ja ympäristöratkaisut

Riskienhallintakeinot voidaan jakaa kolmeen ryhmään: materiaalin käsittelyyn ja esikäsittelyyn liittyvät ratkaisut, rakennesuunnittelun ja tekniset suojaukset, sekä käytön aikainen valvonta ja varotoimet.

Yksi tehokkaimmista keinoista vähentää rikastushiekan ympäristöriskejä on stabiloida tai käsitellä materiaali ennen käyttöä. Stabiloinnissa rikastushiekkaan sekoitetaan sideaineita (esimerkiksi sementtiä, kalkkia tai masuunikuonaa) sitomaan haitta-aineita kiinteään muotoon. (Kiventerä J., 2019, ss.37-39) Stabiloinnin myötä monet haitta-aineet jäävät niin lujasti sidottuun matriisiin, että ne eivät enää vapaudu ympäristöön merkittävästi edes veden vaikutuksesta. Mikäli rikastushiekka osoittautuu sellaisenaan lievästi ympäristöriskejä aiheuttavaksi, stabilointi tai sekoittaminen puhtaampiin maa-aineksiin ovat keinoja parantaa sen ympäristökelpoisuutta käytännössä.

Tierakenteen suunnittelussa voidaan toteuttaa useita ratkaisuja, joilla estetään haitallisten aineiden pääsy ympäristöön. Rikastushiekkaa sisältävä kerros pyritään pitämään selvästi pohjaveden pinnan yläpuolella. Viranomaisvaatimuksena on usein, että jäteperäistä materiaalia sisältävä rakenne ei saa joutua kosketuksiin pohjaveden kanssa. Näin varmistetaan, ettei pohjaveteen liukene aineita. (Kiventerä, 2019, ss.35-36) (Jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa, 2024)

Rikastushiekkakerros pyritään eristämään ympäristöstä tiiviillä kerroksilla. Esimerkiksi hiekkaa voidaan käyttää tierakenteen sisäkerroksissa siten, että sen yläpuolella on asfaltointi tai muu vettä läpäisemätön pintakerros. Lisäksi ala- ja sivupuolille voidaan asentaa suodatinkankaita tai jopa tiivis kalvo, jos halutaan estää hienoaineksen ja veden liikkumista. Tämä vähentää huomattavasti sade- ja sulamisvesien pääsyä rikastushiekkaan

ja siten vähentää valumavesien muodostumista. (Ilmoitus jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, 2025)

Jätteen käyttömäärää rakenteessa on rajoitettu. Kun rikastushiekkaa käytetään vain teknisesti tarpeellinen määrä, pienenee mahdollinen haitta-ainekuormituskin vastaavasti. Suuremmat massat yhdessä paikassa voisivat aiheuttaa isomman riskin, joten niiden käyttö vaatisi järeämpiä suojauksia tai on kokonaan kielletty ilman lupaa. Riskienhallintaan kuuluu myös se, että herkkiä ympäristökohteita vältetään. Esimerkiksi pohjaveden muodostumisalueille tai vedenhankinnan läheisyyteen ei tule sijoittaa rikastushiekkaa sisältäviä rakenteita. Samoin pinta- ja suotovesien hallinta on huomioitava. Rakenteesta mahdollisesti valuva vesi voidaan tarvittaessa johtaa keräysojien ja suotautumiskenttien kautta, jotta päästöt ympäristöön jäävät vähäisiksi. Vaikka suunnittelulla ja stabiloinnilla pyritään varmistamaan, ettei ongelmia synny, on seuranta tärkeä osa riskienhallintaa. Suurissa hankkeissa ympäristöviranomaiset voivat edellyttää esimerkiksi pohjavesiputkien tarkkailua alueella tai pintavalumavesien laadun seuranta. Mikäli poikkeavia pitoisuuksia havaitaan, on varauduttava korjaaviin toimiin, kuten suotovesien keräämiseen ja puhdistamiseen. Myös rakenteen kunnossapito on tärkeää. Rakentamisen aikana riskienhallintaan kuuluu pölyämisen estäminen ja huolellinen työmaajärjestely, jottei rikastushiekkaa leviä ympäristöön kuljetusten ja käsittelyn yhteydessä. (Karjalainen N., 2016) (Lausunto Kittilän kaivoksen uuden rikastushiekka-altaan YVA-ohjelmaluonnoksesta, 2015)

9 Johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu kaivosteollisuuden rikastushiekan hyödyntämismahdollisuuksia tierakenteiden materiaalina teknisestä ja ympäristön näkökulmasta. Työssä keskityttiin erityisesti rikastushiekan geoteknisiin ominaisuuksiin suhteessa InfraRYL-ohjeistuksen vaatimuksiin ja arvioitiin materiaalin ympäristösoveltuvuutta olemassa olevaa tutkimustietoa, standardeja ja lainsäädännön vaatimuksia hyödyntäen.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että rikastushiekka, erityisesti kalsiittipohjainen rikastushiekka, täyttää monissa tapauksissa tierakenteiden pengertäytölle, suodatin- ja jakavalle kerrokselle asetetut rakeisuus-, vedenläpäisevyys- ja routimattomuusvaatimukset. Kyseinen materiaali on myös osoittautunut tiivistettäväksi ja kantavaksi oikein käsiteltynä, ja sen käytöstä on jo kokemusta yksittäisistä pilottihankkeissa Suomessa.

Kalsiittirikastushiekka on CE-merkittyä, ympäristöystävällistä ja sen käyttöä tierakenteissa voidaan pitää lupaavana keinona edistää kiertotaloutta maanrakentamisessa.

Sen sijaan metallipitoisten rikastushiekkojen tekninen käyttökelpoisuus on tapauskohtaista ja vaatii lisätoimenpiteitä. Näiden materiaalien käyttö tierakenteissa vaatii usein stabilointia sideaineilla, kuten sementillä, kalkilla tai lentotuhkalla riittävän kantokyvyn saavuttamiseksi ja haitta-aineiden liukoisuuden hallitsemiseksi. Stabilointi voi parantaa merkittävästi sekä geoteknisiä että ympäristökelpoisuusominaisuuksia.

Ympäristönäkökulmasta rikastushiekan käyttöä rajoittaa ensisijaisesti sen sisältämien haitta-aineiden, erityisesti raskasmetallien ja sulfaattien, pitoisuus ja liukoisuus. Vain sellaista rikastushiekkaa, joka ei ylitä haitta-aineiden raja-arvoja eikä aiheuta pohja- tai pintavesien pilaantumisvaaraa, voi olla käytettävissä laajassa mittakaavassa tienrakennuksessa ilman ympäristölupaa.

Rikastushiekan hyödyntäminen tierakenteissa on teknisesti ja ympäristön kannalta mahdollista tietyin ehdoin. Materiaalin käyttökelpoisuus on kuitenkin vahvasti riippuvainen sen alkuperästä, koostumuksesta ja käsittelymenetelmistä. Parhaat käyttömahdollisuudet rikastushiekalla ovat tierakenteen alemmissa kerroksissa, kuten suodatinkerroksessa tai penkereissä, joissa rakeisuus, routimattomuus ja vedenläpäisevyys korostuvat. Käyttö kantavassa tai jakavassa kerroksessa voi olla perusteltua stabiloinnin tai sekoitemateriaalien avulla.

Jatkotutkimuksen kannalta keskeisiä kehityskohteita ovat metallipitoisten rikastushiekkojen pitkän aikavälin ympäristöriskien arviointi erityisesti kenttäolosuhteissa sekä fysikaalis-kemiallisen stabiloinnin vaikutusten tarkastelu kantavuuteen ja haitta-aineiden liukoisuuteen eri sideaineseoksilla. Lisäksi tarvitaan koekohteiden pitkäaikaista seuranta vaihtelevissa ilmasto- ja maaperäolosuhteissa, jotta materiaalin käyttäytymisestä voidaan tehdä luotettavia johtopäätöksiä käytännön rakentamishankkeissa. Lainsäädännön osalta olisi tarkoituksenmukaista kehittää MARA-asetusta siten, että ympäristökelpoiset rikastushiekat voitaisiin tietyin selkein laatuvaatimuksin sisällyttää asetuksen soveltamisalaan, mikä edistäisi uusiomateriaalien hallittua hyödyntämistä maanrakentamisessa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että rikastushiekka voi olla merkittävä kiertotalouden uusiomateriaali infrarakentamisessa, mikäli sen tekninen ja ympäristökelpoisuus voidaan osoittaa luotettavasti ja käyttö toteutetaan hallitusti sääntelyn puitteissa.

10 Pohdinta

Tutkimuksen perusteella rikastushiekan hyödyntämisellä tierakenteissa on lupaavia mahdollisuuksia, kunhan materiaalin ominaisuudet tunnetaan tarkasti. Rakennusteknisesti rikastushiekan soveltuvuus vaihtelee alkuperäisestä malmista ja käsittelyprosessista riippuen. Monissa tapauksissa se voi toimia täyttö- tai alusrakenteen materiaalina, etenkin kun sen jykevyyttä varmistetaan asianmukaisella stabiloinnilla. Materiaalin kiviainekseen verrattuna etuna on usein hyvä rakeisuus ja tilavuuspaino, mikä voi parantaa kantavuutta ja vähentää materiaalin tiivistykseen tarvittavaa energiaa. Toisaalta varsinkin hienommat rikastushiekan raekokojakaumat saattavat olla routivia ja hauraita, joten pohjarakenteen suunnittelussa on otettava huomioon riittävä kuivatus ja routasuojauksen riittävyys.

Ympäristönäkökulmasta rikastushiekan käyttö tie- ja maarakentamisessa vaikuttaa sekä mahdollisuudelta että haasteelta. Negatiivisena puolena on materiaalin mahdollinen haitta-ainepitoisuus. Monet rikastushiekat sisältävät metalleja, sulfaatteja tai muita kaivostoiminnan sivutuotteita, jotka voivat liueta maaperään tai pohjaveteen. Ilmastoidut pilottitutkimukset osoittavat, että oikeilla suodatus- ja vesienhallintatoimenpiteillä liukenevien aineiden leviämistä voidaan merkittävästi rajoittaa. Esimerkiksi eristetty pohjakerros ja suodatinhiekkakerros voivat vähentää haitta-aineiden kulkeutumista ympäristöön. Positiivisena puolena rikastushiekka tarjoaa kiertotalouden näkökulmasta arvokkaan sivuvirtalähteen. Käyttö vähentää tarvetta neitseellisten maa-ainesten ottoon ja kaivostuotannon jätteeksi päätyvän massan määrää. Näin ollen rikastushiekan hyödyntäminen voi pienentää koko maarakennus- ja kaivannaisteollisuuden ympäristöjalanjälkeä, mikä edistää kestävästä kehitystä.

Käytännön tasolla rikastushiekan vahvuuksia ovat erityisesti sen runsas saatavuus ja korkea materiaalisuodatettavuus, mikä tekee siitä potentiaalisesti taloudellisen vaihtoehdon tavanomaisille kiviaineksille. Materiaalin kaivuperäinen alkuperä tarkoittaa kuitenkin, että sen laatu voi vaihdella suuresti jopa saman kaivosalueen sisällä. Tämä heterogeenisyys on sekä haaste että käytännön huomioitava tekijä. Toisaalta käyttäjälle myönteisenä puolena on se, että hyvin testattu ja dokumentoitu rikastushiekka voidaan helposti hyväksyä rakennusmateriaaliksi. Suurimpia haasteita ovat tarvittavat lisätoimet stabiloinnin ja laaduntarkkailun muodossa.

Rikastushiekan hyödyntämisen merkitys kiertotalouden edistämisessä on merkittävä. Kun materiaali otetaan talteen kaivosten jätealueilta ja johdetaan hyötykäyttöön tierakentamisessa, vähentyy metsien ja sora-alueiden avartaminen uusien kaivosten

perustamiseksi. Rikastushiekan tekninen potentiaali on lupaava, mutta sen ympäristövaikutuksia on tarkasteltava huolellisesti tapauskohtaisesti. Rikastushiekka voi olla osa tulevaisuuden maarakennuksen resurssikiertoa, kunhan käytön riskit hallitaan ja materiaalille löydetään sopivia käyttökohteita.

Käytännön suosituksina tierakentamisen toimijoille voidaan ehdottaa, että rikastushiekkaa käytetään ensisijaisesti rakennekerroksissa, joissa materiaalin kantavuutta voidaan lisätä tarvittaessa stabiloinnilla. Esimerkiksi täyttö- tai pohjarakenteissa rikastushiekka voidaan sijoittaa alimmaiseksi kerrokseksi tai sekoittaa tavallisiin murskeisiin kantavuuden parantamiseksi. Liikennealueella käytettäessä suositellaan aina stabilointia sideaineella, mikä parantaa materiaalin lujuutta ja vähentää haihtuvien yhdisteiden kulkeutumista. Lisäksi rakenteen kosteus- ja routaolosuhteet on huomioitava. Hyvä kuivatus, suodatinkankaat ja vesien hallinta ovat välttämättömiä, jotta rakenteeseen varastoituneen veden aiheuttamat vauriot voidaan estää. Yleisesti ottaen suurin varotoimi onkin varmistaa, ettei rikastushiekkaa altisteta jatkuvasti muuttuville kosteus- ja happamuusolosuhteille, joissa haitta-aineet saattaisivat liueta.

Mahdollisina jatkotutkimusaiheina voisi olla pitkäaikaisseuranta tien rakenteessa. Käytännössä tämä tarkoittaa pilottikohteiden perustamista, joissa seurataan rakenteen painumaa, routakäyttäytymistä ja kenties vesien pitoisuuksia. Näin saadaan arvokasta tietoa siitä, kuinka rikastushiekka toimii todellisessa olosuhteessa pitkällä aikavälillä.

Lisäksi haitta-aineiden hallintaan on kiinnitettävä huomiota. Tulevissa tutkimuksissa voitaisiin keskittyä siihen, miten tietyn rikastushiekan pH-arvo, suolapitoisuus ja orgaanisen materiaalin määrä vaikuttavat liukoisten metallien kulkeutumiseen ja kasvien/eläinten altistumiseen. Tarvitaan myös käytännön testejä, joissa mitataan esimerkiksi sateen vaikutusta rakenteessa ja tutkitaan, miten paljon haitta-aineita kulkeutuu poistovesiin. Lopuksi käytännön ohjeistuksen kehittäminen olisi tärkeää: standardien ja sertifiointien avulla rakennusalan toimijat saavat selkeät reunaehdot rikastushiekan käytölle. Myös rikastushiekan liittäminen MARA-asetuksen piiriin helpottaisi sen käyttöä jatkossa ja nopeuttaisi lupaprosessia. Tällainen säädöstö sekä kokonaisvaltainen kustannus-hyöty-analyysi auttaisivat edistämään rikastushiekan turvallista hyötykäyttöä tierakenteissa tulevaisuudessa.

Lähteet

- ICMM. (n.d.-a) About Tailings. <https://www.icmm.com/en-gb/our-work/tailings/about-tailings>
- ICMM. (n.d.-b) Mine Tailings. <https://www.icmm.com/mine-tailings>
- InfraRYL 2024/2, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto Oy ja Rakennustietosäätiö RTS sr. https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/infraryl/2024_2/
- Jouav. (2024) Mine Tailings. <https://www.jouav.com/blog/mine-tailings.html>
- Juutinen, M. (2020). *Rikastushiekan ja peittomoreanin mineraloginen ja geokemiallinen karakterisointi Rautuvaaran rikastushiekka-altaan keskiosassa.* (pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto). <https://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202005212136>
- Jätehierarkia (n.d.). EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/FI/legal-content/glossary/waste-hierarchy.html>
- Jätelaki 646/2011. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2011/646>
- Jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa. (2024). Ely-keskus. <https://www.ely-keskus.fi/ptv/-/fsc/view/service/7b440372-7c8b-409e-87e2-81436bfe69fc/jatteiden-hyodyntaminen-maarakentamisessa/KR2%3BMaanrakennusala>
- Kainuun ELY-keskus. (n.d.) Perusteltu päätelmä Sotkamo Silver Oy:n rikastushiekka-allasalueen laajentamisen ympäristövaikutusten arviointiselostuksesta. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70494541/perusteltu-paatelma-sotkamo-silver-oy-n-rikastushiekka-allasalueen-laajentamisen-ymparistovaikutusten-arviointiselostuksesta?publisherId=69817878&lang=fi>
- Kainuun ELY-keskus. (2022). Sotkamon hopeakaivoksen rikastushiekka-allasalueen laajentamiseen sovelletaan YVA-menettelyä. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69946248/sotkamon-hopeakaivoksen-rikastushiekka-allasalueen-laajentamiseen-sovelletaan-yva-menettelya?publisherId=69817878>
- Kaivosteollisuuden kiertotaloutta voidaan tehostaa. (2021). Kaivosteollisuus. <https://www.kaivosteollisuus.fi/kaivosteollisuuden-kiertotaloutta-voidaan-tehostaa/>
- Karjalainen, N. (2016). *Uusiomateriaalien hyödyntäminen rikastushiekka-altaiden pintarakenteissa* [Diplomityö, Oulun yliopisto]. <https://uusiomarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2023/10/Diplomityo-Noora-Karjalainen.pdf>
- Karjunen, E. (2021). *Kovettuvien kaivostäyttömateriaalien ympäristöominaisuudet* (opinnäytetyö, Savonia-ammattikorkeakoulu).

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/519360/Karjunen_Eetu.pdf?sequence=2&isAllowed=y

- Kauppila, P. (2023). Miksi iso osa kaivannaissektorin sivuvirroista jää hyödyntämättä ja miten voisimme hyödyntää mineraaliset raaka-aineet paremmin? GTK. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/miksi-iso-osa-kaivannaissektorin-sivuvirroista-jaa-hyodyntamatta-ja-miten-voisimme-hyodyntaa-mineraaliset-raaka-aineet-paremmiin/>
- Kivikytö-Reponen, P. (2020). *Suunnitellaan jäte pois – kaivosteollisuuden sivuvirroista arvokasta raaka-ainetta*. VTT. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/suunnitellaan-jate-pois-kaivosteollisuuden-sivuvirroista-arvokasta-raaka-ainetta>
- Kiventerä, J. (2019). *Stabilization of sulphidic mine tailings by different treatment methods: heavy metals and sulphate immobilization*. (C 721) (väitöskirja, Oulun yliopisto). <https://oulurepo oulu.fi/bitstream/handle/10024/36454/isbn978-952-62-2396-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kuikka-Niemi, P. (2019 Joulukuu). *Geoblogi: Rikastushiekan hyötykäyttö kovettuvana kaivostäyttömateriaalina ja sementtiä korvaavat sekundaariset raaka-aineet*. GTK. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/geoblogi-rikastushiekan-hyotykaytto-kovettuvana-kaivostayttomateriaalina-ja-sementtia-korvaavat-sekundaariset-raaka-aineet/?utm.com>
- Lindroos, P. (2008). *Ympäristögeotekniikan perusteet*. Suomen geoteknillinen yhdistys ry. <https://sgy.fi/content/uploads/2017/04/ympaeristoegeotekniikan-perusteet.pdf>
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 12.12.2017/843. Haettu 3.4.2025 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2017/843>
- Passoja, A. (2022). *Suomen suurimmat kasat eivät ehkä olekaan vain jätettä – kaivosten sivukivi ja hiekka voivat saada uuden elämän jopa hiilinieluna*. Yle Uutiset. <https://yle.fi/a/3-12369560>
- Pokka, H., Alkio, J., Sivonen, T., & Tasa, S. (2024:14). *Kaivannaisteollisuuden sivukivien kiertotalouden koordinaatiotyöryhmän loppuraportti*. Valtioneuvosto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-992-6>
- Pyysing, S. (2010). *Rikastushiekka-alueen tulevaisuuden strategia*. (opinnäytetyö, Saimaan ammattikorkeakoulu). <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005199831>
- Rajaniemi, K. (2015). *Teollisten sivutuotteiden stabilointi geopolymeerejä käyttäen*. (diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto). <https://uusiomaarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2023/10/Diplomityo-Kyosti-Rajaniemi.pdf>

- Räsänen, T. (2015). *Tien ja kadun päällysrakenteen laatuvaatimukset*. (opinnäytetyö, Savonia-ammattikorkeakoulu).
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94720/Rasanen_Toni.pdf?sequence=1
- Segui, P., Safhi, A. E. M., Amrani, M., & Benzaazoua, M. (2023). *Mining waste as road construction material: A review*. *Minerals*, MDPI. <https://doi.org/10.3390/min13010090>
- SFS 7005:2022. (2022). Sitomattomiin ja hydraulisesti sidottuihin materiaaleihin käytettäviltä kiviaineksilta talonrakentamisessa, maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. SFS Online.
- SFS-EN 13285:2018. (2018). Sitomattomat kiviainesseokset. Tuotevaatimukset. SFS Online.
- STT Info. (2023). Sotkamo Silver Oy:n rikastushiekka-allasalueen laajentamisen ympäristövaikutusten arviointiohjelma on nähtävillä. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69970090/sotkamo-silver-oy-n-rikastushiekka-allasalueen-laajentamisen-ymparistovaikutusten-arviointiohjelma-on-nahtavilla?publisherId=69817878>
- Suomen luonnonsuojeluliitto Lapin piiri. (2015) Lausunto Kittilän kaivoksen uuden rikastushiekka-altaan YVA-ohjelmaluonnoksesta. <https://www.sll.fi/lappi/kannanotot/lausunto-kittilan-kaivoksen-uuden-rikastushiekka-altaan-yva-ohjelmaluonnoksesta/>
- Suomen säädöskokoelma 843/2017. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2017/843>
- Suomen säädöskokoelma N:o 210-215 (2007). <https://www.finlex.fi/api/assets/extra/statute-book-of-finland-pdf/fin/2007/20070035.pdf>
- Suomen ympäristökeskus. (2023). Pilaantuneet maa-aineet. <https://www.ymparisto.fi/fi/saasteettomuus-ja-ymparistoriskit/pilaantuneet-maa-alueet>
- Suomen ympäristökeskus, ympäristöministeriö. (2025) Ilmoitus jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. <https://www.ymparisto.fi/fi/luvat-ja-veloitteet/ysln-kertaluonteiset-ilmoitusmenettelyt/jatteiden-hyodyntaminen-maarakentamisessa>
- Torkkeli, M., Joutsensaari, J., Nummelin, M., Toivola, J., Valokoski, L., Ahlqvist, E., Mattila, T., Petäjä, S., Tirkkonen, T., & Uotinen, V.-M. (2022). *Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa*. Väylävirasto. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-20_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf
- Tuomela, A. (2022). *Enhancing the safety and surveillance of tailings storage facilities in cold climates*. (C830) (väitöskirja, Oulun yliopisto).

<https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/36909/isbn978-952-62-3336-9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UUMA-inventaariprojektin loppuraportti. (2008). Uusiomaarakentaminen.

<https://uusiomaarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2023/09/UUMA-materiaalien-ja-rakenteiden-inventaari-raportti.pdf>

UNDRR. (2023b). Tailings. <https://www.undrr.org/understanding-disaster-risk/terminology/hips/tl0044>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. (2019). Soveltamisohje.

<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2017/843>

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. 214/2007. Finlex.

<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2007/214>

What are Tailings (n.d.). Society for Mining, Metallurgy & Exploration. <https://www.smenet.org/What-We-Do/Technical-Briefings/What-are-Tailings>

Ympäristöministeriö. (n.d.-a) CE-merkintä. <https://ym.fi/ce-merkinta>

Ympäristöministeriö. (n.d.-b) Kiertotalous. <https://ym.fi/kiertotalous>

