



UPACMIC B2 LOGISTICAL MODEL

LOGISTINEN MALLI



LIFE12 ENV/FI/000592 UPACMIC



Logistinen malli (B2 Final technical report on the MSCD-model)

Päivämäärä **28.10.2022**
Kirjoittaja **Pyry Potila**
Emmi Ilonen
Tarkastaja **Harri Jyrävä**
Kuvaus **Raportti**

SISÄLTÖ

Summary	4
1. Johdanto	5
2. Materiaalikartointus	6
3. Logistiikka ja laadunvarmistus	7
3.1 Kuljetus	7
3.2 Välivarastointi	7
3.3 Laadunvarmistus	8
4. Kuljetuskustannukset	9
5. Pyhäsalmen pintarakenteen pilotointi	10
5.1 Varastointi ja rakentaminen	11
5.2 Kokemukset rakentamisesta vaihtoehtoisilla materiaaleilla	12
6. Hituran rikastushiekka-altaan kuitusavipeittokerros	12
6.1 Kokemukset kuitusavesta tiivistyskerroksen materiaalina	12
7. Sorsasalons eristysseinä	13
7.1 Tilanne keväällä 2022	14
8. Hituran esimurskausalueen peittorakenteen pilotointi	15
8.1 Kommentteja rakentamisvaiheen toteutuksesta rakentajalta	15
9. Hituran kalkkipadon pilotointi	15
9.1 Varastointi ja rakentaminen	15
9.2 Kokemukset rakentamisesta	16
9.3 Kokemuksia rakenteen seurannasta	16
9.4 Rakenteen uusiminen	17
10. Kokemukset pilotoinneista	17
11. Logistinen malli	18
11.1 Laadunvalvonta	19
12. Yhteenveto	20
13. Lähteet	21

Liitteet:

Liite 1. Kooste materiaalintuottajien vastauksista

SUMMARY

At the first years of UPACMIC project has been made material survey and estimated cost of transportation. Those cost estimations are revisited after the pilot structures have been constructed and all the costs of materials and transportations are collected. It has noted that the cost is underestimated in short distance (16 km) transportations and overestimated in long distance transportations (150-300 km).

During the construction and after it is collected information about materials handling. It is confirmed that utilization of recovered materials doesn't add more work on the construction phase, but construction is more constrain by weather conditions since heavy rain halt the construction works. Recovered materials needs more care during storing and transportation than traditional virgin rock materials, since those properties can change according to water content, and final structures may not fulfil the initial demands of materials water content is not in right range. Also, the quality control during the supply chain is needed to be able to construct homogenous structure. Storing and quality control model is presented in this report, and it includes multiple steps between material producer and ready structure.

Fiber clay is a lot less dense than traditional rock material. That's why it is not effective to transport it with same machinery than rock material normally since the payload is smaller. For effective logistic of the fiber clay is noted that the trailers which are used for wood chip and peat transportation can be utilized also for fiber clay transportation. With those can be transported bigger volume of material in each trip.

The biggest obstacle that has been noted affect recovered materials utilization is the availability of side stream material is tied on main product production rate. So, in the material survey is necessary collect the availability of recovered material and fit the construction project and logistic by it. Other obstacle is transportation distance since recovered materials production is tend to location. The long transportation distance may be acceptable if also the producer contributes to transporting costs, since the producer may benefit from material utilization in form of avoiding waste taxes and landfilling costs. The critical distance is estimated to be 120 km which is the limit of distance that material producer contribution part of distance is beneficial.

1. JOHDANTO

Hituran ja Pyhäsalmen kaivosalueilla sekä Fortumin hallinnoimalla kaatopaikalla Kuopion Sorsasalossa suoritettiin EU-Life rahoitteen UPACMIC-projektin pilotteja, jotka vaativat suurehkoja määriä maarakennusmateriaalia. Tarkasteltavat pilottirakenteet ovat esiteltynä tarkemmin raportissa *”B1 Final technical report on piloting 2022”*. Tässä raportissa B2 logististen mallien osalta tarkastellaan neljää rakennetta. Nämä ovat: Pyhäsalmen pintarakenteen pilotointi, Hituran 2. rikastushiekka-altaan kuitusavi peittokerros, Sorsasalossa rakenteilla oleva pystyeristysseinä ja Hituran alueella toteutettu esimurskausalueen maisemointikerros. Näissä rakenteissa on pyritty hyödyntämään erilaisia uusiomateriaaleja kuten kuitusavea, ylijäämä-/jättemaita ja tuhkaa, jolloin säästetään merkittäviä määriä neitseellisiä luonnonvaroja.

Rakentamiseen käytettyjä materiaaleja on tutkittu runsaasti projektin aikana ja materiaalitestauksen tulokset on esitetty kattavasti raportissa *”A3 Final technical report on materials 2022”*. Tässä materiaalien kuljetus-selvityksessä on selvitetty materiaalin tuottajilta materiaalien toimituskapasiteettia ja vuosituotannon määrää. Lisäksi on pyritty arvioimaan suuntaa antavasti hintaa materiaalin kuljetukselle, mikäli materiaalia ei ole käytetty pilotissa. Materiaalien käsiteltävyyttä ja työstettävyyttä on seurattu rakentamisen yhteydessä ja rakentamisen jälkeen suoritetuilla kyselyillä urakoitsijoilta. Näiden avulla voidaan vertailla uusiomateriaalien mahdollisesti aiheuttamaa lisätyömäärää tavanomaisiin materiaaleihin verrattuna. Myös parhaaksi todettuja menetelmiä ja työtapoja käsitellään samassa yhteydessä.

Pilotoinneissa vaihtoehtoisten materiaalien käyttöön eniten negatiivisesti vaikuttanut tekijä on ollut materiaalintuottajien pitkä etäisyys käyttökohteesta, jolloin materiaalien hyödyntäminen ei ole kustannustehokasta ja lisäksi kuljetuksen päästöt aiheuttavat haitallisia ympäristövaikutuksia. Vaihtoehtoisten materiaalien hyödyntämiseksi massiivirakenteissa kuljetuksista aiheutuvien kustannusten ja päästöjen arviointi ennen rakentamista on välttämätöntä.

Projektin pitkän aikajänteen aikana zero waste -policy sekä lainsäädännölliset keinot jätteiden hyödyntämisen tehostamiseksi ovat kehittyneet Suomessa. Vaihtoehtoisten materiaalien käyttöä tukevat myös valtion ja kaupunkien hiilineutraaliustavoitteet, joiden näkökulmasta nollapäästöiset jätteet/sivutuotteet ovat erittäin käyttökelpoisia. *Valtion asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017(”MARA-asetus”)* on helpottanut mm. tiili-, asfaltti- ja betonimurskeen sekä jätteenpolton kuonan ja teollisuudessa muodostuvien kalkkijätteiden hyödyntämistä. Myös maa-ainesjätteen hyödyntäminen maarakentamisessa (*”MASA-asetus”*) - ehdotus valtion asetukseksi on vielä kehitteillä, jolloin myös ko. materiaalien hyödyntäminen mahdollistuisi ilman erillistä ympäristölupaa. Kaivosympäristöt eivät kuitenkaan suoraan lukeudu asetuksessa/ehdotuksessa määriteltyihin hyödyntämiskohteisiin, jolloin esimerkiksi MARA-asetuksen mukainen jätteiden hyötykäyttö ei onnistu suoraan, mutta asetuksessa määriteltyjä raja-arvoja voidaan hyödyntää lupaprosessien tukena. Lisäksi kaivoskohteet tyypillisesti luvitetaan joka tapauksessa, jolloin edellisellä rajauksella ei ole merkittävää vaikutusta hyödyntämiseen.

Kaivosympäristössä syntyvä sivukivi käsitetään laillisesti jätteeksi ja sitä koskee valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä (190/2013). Kaivosten sivukivijätteen hyödyntäminen ja loppukäsittely järjestetään ympäristönsuojelulain (86/2000) ja jätelain (646/2011) sekä kaivannaisjäteasetuksen (190/2013) mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että sille on asetettu raja-arvot, joita ei saa ylittää, mikäli sivukiveä halutaan hyödyntää kaivosalueen ulkopuolella. Toisaalta samasta kalliomuodostelmasta louhoksella louhitulta kiviainekselta ei välttämättä vaadita minkäänlaisia liukoisuustutkimuksia.

Raja-arvot voivat siis joissain tapauksissa estää tai ainakin hankaloittaa muuten hyvälaatuisen kiviaineksen hyödyntämistä kaivoksen ulkopuolella.

2. MATERIAALIKARTOITUS

Hituran kaivokselle toimitettavat potentiaalisimmat materiaalit, niiden tuottajat ja materiaalien läh-
töpaikat on listattu taulukkoon 1. Kooste materiaalitoimittajien vastauksista ja toimituskapasiteeteista on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 1. Materiaalien toimittaja- ja kohdetiedot.

Toimittaja	Sijainti	Lähtöosoite	Etäisyys (km)	Materiaali
Alholmens Kraft	Pietarsaari	Luodontie 149	140	Kuiva LT
				Pohjatuhka
		Spituholmsvägen 81	140	KT
Kanteleen voima	Haapavesi	Turvetie 112	55	Kuiva LT
				KT
Stora Enso	Oulu	Nuottasaarentie 1	175	Kuiva LT
				KT
Oulun Energia	Oulu	Pilpajarventie	180	Kuiva LT
				KT
Laanilan Voima	Oulu	Typpitie 1	175	Kuiva LT
Metsä Group	Mänttä	Tehtaankatu 16	290	Kuiva LT
				Kuitusavi
				KT
SCA	Nokia	Kerhokatu	370	Kuitusavi
Yara	Siilinjärvi	Nilsiäntie 501	200	Kipsi
				Kuivattu kipsi
				Biotiitti
Äänevoima	Äänekoski	Sarvelantie	175	Kuiva LT
				KT
Componenta	Karkkila	Bremerintie	480	Valimohiekka
				Valimopöly (bentoniittipitoinen)
	Pori	Vanhasahankatu 3	385	Valimohiekka (bentoniittia 7-10 %)
				Valimopöly (bentoniittipitoinen)
			Valimohiekka (bentoniittisavipit. 2 %)	

Taulukon 1 perusteella voidaan todeta, että kuljetusmatkat ovat todella pitkiä >140 km suuntansa, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Näin ollen kuljetuskustannukset nousevat merkittävään rooliin vertaillaessa materiaaleja ja toimittajia keskenään.

3. LOGISTIIKKA JA LAADUNVARMISTUS

3.1 Kuljetus

Uusiomateriaalien kuljettamiseen soveltuu sama kalusto kuin tyyppillisten maamassojen kuljettamiseenkin käytetty kalusto. Näitä ovat mm. lavakuorma-autot, kaivinkoneet, puskutraktorit, dumpperit, joissain tapauksissa turverekat sekä traktorit peräkäräykalustoineen. Kuljetuksen aikainen pressulla peittäminen on suotavaa pidemmillä matkoilla, jotta estetään materiaalin kastuminen tai leviäminen ajoviiman vaikutuksesta. Kuivan lentotuhkan kuljettamisessa voidaan käyttää säiliöautoja, jotka soveltuvat kuivan lentotuhkan kuljettamiseen. Lentotuhka voidaan kuljettaa kostutettuna, jolloin se on kuljetettavissa myös katetulla lavakalustolla.

Logistiikan suunnittelussa paluukuljetusten hyödyntämisellä voidaan vaikuttaa kustannuksiin ja ympäristökuormitukseen alentavasti. Tehokas paluukuljetusten hyödyntäminen vaatii kuljetuskosten suunnittelua käytetyn kaluston ehtojen mukaisesti. Näin ollen logistiikka tulee suunnitella mahdollisuuksien mukaan hyvissä ajoin tehokkuuden maksimoimiseksi.

3.2 Välivarastointi

Hituran tiivistyskerroksissa käytetty kuitusavi kuljetettiin ja varastoitettiin talven aikana aumoihin. Kuitusaven kuljettamiseen käytettiin turpeen ja hakkeen kuljetukseen tarkoitettua kalustoa, sillä kuitusaven alhaisen tiheyden vuoksi tavanomaisella kalustolla kuljetettaisiin vajaita kuormia. Nämä vaunut ovat siis seinämiltään korkeampia ja näin voivat kuljettaa tavanomaista maansiirtokalustoa suuremman tilavuuden kerrallaan. Välivarastointi on tarpeen, sillä materiaalia syntyy huomattavasti hitaammin kuin sitä voidaan käyttää. Näin ollen kuitusavea käytettäessä, rakentamisen suunnittelussa täytyy ottaa aikataulusuunnitelmaan huomioon jo hyvissä ajoin. Myös välivarastointialueen talvikunnossapito täytyy huomioida. Kuitusavi vie myös enemmän tilaa välivarastoituna, kuin valmiissa rakennekerroksessa, johtuen suurehkoista kokoonpuristumisesta tiivistettäessä. Kuitusavitonnin vaatima tilavuus kuljetettaessa on tavanomaiseen moreeniin verrattuna noin kaksinkertainen.

Myös lento- ja pohjatuhkien saatavuus vaihtelee runsaasti vuodenaikojen mukaan, sillä lisääntynyt energiantuotanto talvisaikaan parantaa tuhkan saatavuutta. Tuhkarakentamisessa saatavuuden lisäksi tulee huomioida varastoinnin vaikutus tuhkan laatuun. Lentotuhkan ominaisuudet ovat parhaimmillaan tuoreena ja kuivana, ja kuivassa tuhkassa ominaisuudet säilyvät. Kostutettuna välivarastoitaessa tuhkan reaktiivisuus pienenee varastointivesipitoisuuden kasvaessa ja/tai varastointiajan pidentyessä. Toisaalta kasavarastoidun lentotuhkan haitta-aineiden liukoisuudet saattavat pienentyä varastoinnin aikana, kun helposti liukenevat haitta-aineet ovat huuhtoutuneet. Tuhkan välivarastointi kuivana on sen pölyävyyden, käsiteltävyyden ja kuljetuksen kannalta haastavaa. Erityisesti vesipitoisuudella on suuri merkitys tuhkan käsittelyssä, sillä kuiva tuhka pölyää ja liian kostea tuhka liettyy. Pohjatuhkien osalta varastoinnilla ei ole niin suurta vaikutusta tuhkan ominaisuuksiin, jolloin sen käyttö ja saatavuus on lentotuhkaan nähden helpompaa.

Kipsin osalta hyötykäyttöä maarakentamisessa eivät rajoita saatavuus tai varastointi, vaan kriittinen tekijä on kuljetusetäisyys. Hyödynnettäessä tulee kuitenkin huomioida sekoitustyö ja työstettävyys, sillä kostea kipsi voi tarttua sekoitusastian reunoille tai paakkuuntua. Valimohiekkojen osalta hyödynnettävyyteen vaikuttaa saatavuus ja pitkät välimatkat. Käsiteltävyyden kannalta valimohiekka on suhteellisen vähän pölyävää ja helposti käsiteltävissä.

3.3 Laadunvarmistus

Laadunvarmistus on tärkeää jokaisessa materiaalin toimitusketjun vaiheessa, kun hyödynnetään teollisuuden sivuvirtoja ja jättemateriaaleja. Laadunseurantatarve vaihtelee suuresti eri materiaalien osalta, sillä osa materiaaleista on herkempiä ominaisuuden vaihteluille kuin toiset. Yleisesti ottaen laadunvarmistus on tehtävä seuraavissa vaiheissa toimitusketjua:

- Tuottajan tekemä laadunvarmistus
- Varastoinnin aikainen laadunvarmistus
- (Materiaalin käsittelyn jälkeinen laadunvarmistus, jos materiaalia käsitellään ja sen ominaisuudet muuttuvat.)
- Maanrakennusvaiheen aikainen laadunvarmistus
- Lopullisen/valmiin rakenteen laadunvarmistus ja seuranta

Yleisesti laadunvarmistamisen kannalta on tärkeää dokumentoida kaikki työvaiheet ja erityisesti niissä esiin tulleet mahdolliset ongelmat tai yllätykset. Ympäristökelpoisuuden varmistaminen on ensimmäinen askel uusiomateriaalien hyödyntämisessä. Tämä tarkoittaa käytännössä materiaalin testaamista sen liukoisuusominaisuuksien osalta. Maarakentamisessa liukoisuusarvoja verrataan tyypillisesti MARA-asetuksen tai/ja tavanomaisen jätteen raja-arvoihin tai mahdollisiin lupaehtoihin, jotka alitettuaan materiaali kelpaa käytettäväksi maarakentamisessa.

Materiaalin ominaisuuksia, joita verrataan annettuihin raja-arvoihin, määritetään tyypillisesti kahdella menetelmällä: 2-vaiheinen ravistelutesti ja läpivirtaustesti. Ravistelutestissä näytettä sekoitetaan veteen liuos/kiintoaine suhteella 10 ($L/S=10$). Läpivirtaustestissä materiaalin läpi pumpataan vettä alhaalta ylöspäin, ja läpivirranneesta vedestä voidaan ottaa osanäytteitä eri L/S suhteen saavuttamisen jälkeen. Läpivirtaustestissä saavutetaan sama L/S suhde ($L/S=10$) kuin ravistelukoikeessakin. Läpivirtaustestissä tarkkaillaan läpimenneen veden tilavuuden ja kiinteän näytteen painon välistä suhdetta.

Hankkeen pilottirakentamista edelsi laboratoriossa suoritettujen ennakkotestaukset vesipitoisuuden ja vedenläpäisevyyden osalta ja rakentamisen aikainen laadunvarmistus tehtiin kuitusavi- ja pystyeristysseinärakenteissa pääasiassa Troxler-kenttämittarilla. Troxler-mittarin lukemaa verrattiin laboratoriossa tehdyn, vaadittujen ominaisuuksien täyttävän, kappaleen antamaan lukemaan. Lisäksi materiaaleja testattiin koekentillä, joissa määriteltiin tavoitettavuuden saavuttamiseksi vaadittavat työtavat. Hankkeen pilotoinneissa muita laadunvarmistuskeinoja olivat vesipitoisuuden määrittely, pistoluonteiset kerrospaksuuden mittaukset ja Proctor-kokeet. Vesipitoisuudella on suuri merkitys esimerkiksi tuhalla ja kipsillä rakennettaessa, jolloin ennen rakentamista on syytä selvittää tavoitettavuuden pääsemiseksi vaadittu vesipitoisuus. Kuitusavirakenteiden toimivuutta seurattiin rakenteiden valmistuttua lysimetrien avulla, jotka keräävät peittokerroksien läpi suotautuneen veden. Veden määrää ja laatua tarkkailemalla voidaan seurata rakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä.

Seosmateriaaleja valmistettaessa seoksen homogeenisuuden varmistaminen on tärkeää, jotta lopullisesta rakenteesta tulee tasalaatuinen. Sekoituksen yhteydessä on tarkkailtava materiaalisuhdetta ja visuaalisesti materiaalin homogeenisuutta. Materiaalien oikean vesipitoisuuden varmistaminen on myös tärkeää sekoituksen ja rakenteen tiivistämisen onnistumisen kannalta.

4. KULJETUSKUSTANNUKSET

Kuljetuskustannuksia pyrittiin arvioimaan työn yhteydessä kolmella tavalla:

- kysely tuottajille
- kysely kuljetusliikkeille
- Rapal Oy / Fore-järjestelmä

Materiaalien tuottajien hinnat on esitetty liitteessä 1. On huomattava, että materiaalin tuottajilta saatuja hintatietoja ei ole mitenkään tarkistettu, eivätkä tuottajat ole sitoutuneet esittämiinsä kustannuksiin virallisesti. Hinnat eivät siis ole tarjoushintoja. Hinnat on myös arvioitu vuoden 2014 hintatason mukaan, joten ne ovat varmasti alakanttiin nykyiseen hintatasoon peilattaessa.

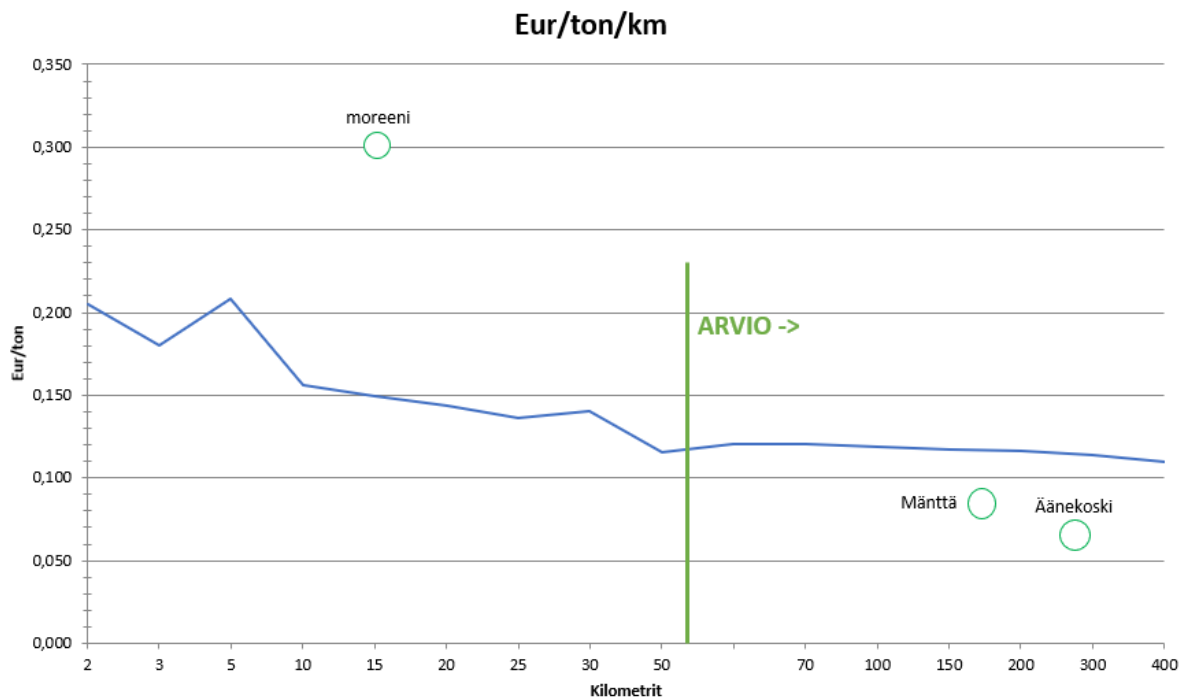
Kolmelta kuljetusliikkeeltä kysyttiin suuntaa antavaa hintaa materiaalien kuljetuksille. Kuljetuskustannuksiin ei saatu kyselyistä huolimatta vastauksia vuonna 2014. Tilanne on tiivistetty taulukkoon 2.

Taulukko 2. Kuljetusliikkeiden antamat vastaukset kyselyihin.

Yritys	Paikkakunta	Vastaus
Kaukokiito / Kuljetusliike Ilmari Lehtonen	Ylivieska	Yrityksellä ei ole irtotavaran kuljetukseen soveltuvaa kalustoa.
Kuljetusliike Pekka ja Jukka Mattila Oy	Nivala	Annettujen tietojen perusteella eivät pysty antamaan edes hinta-arviota.
Kuljetusliike Kinnunen Oy	Oulu	Ei vastausta 15.5.2014 mennessä

Koska kuljetusten hintoja ei saatu kuljetusyrittäjiltä, hintatietoja arvioitiin Rapal Oy:n Fore-järjestelmän avulla. Fore sisältää ajantasaiset ja ylläpidetyt hinnastot, joiden perusteella tähän raporttiin saatiin kuljetusten suuntaa antava hinta-arvio. Koska tietokanta käsittää hinnat eri kilometriosuukille päättyen hintaan, jonka matka on ”yli 50 km”, on tätä pidempien kuljetusmatkojen hinnat arvioitu. Kuva 1 esittää Fore-järjestelmän mukaista kuljetusten hintaa (eur/ton) suhteessa kilometreihin (km). Kuljetusmatkan ollessa 300–400 km, kilometrihinnan on arvioitu olevan noin 0,110 €/t/km. Hinta ei sisällä kuormausta eikä purkua.

Kuvaan 1 on merkitty vihreäreunaisina ympyröinä Hituran peitekerrosten totetuneet kuljetushinnat kahdelle kuitusavelle sekä paikalliselle moreenille €/t/km. Kuljetusten hintatasoa arvioidessa on kuitenkin huomioitava rakennusajankohtana vallitseva polttoaineen hintataso, joka on kuljetuskustannuksiin eniten vaikuttava tekijä. Polttoaineen hinta on tällä hetkellä lähes kaksinkertainen verrattuna vuoden 2019 hintatasoon.



Kuva 1. Kuljetusten hinta Rapal Oy:n Fore-järjestelmästä. Hinta yli 50 km matkoille on arvioitu. Vihreäruunaiset pallot kuvaavat vuoden 2019 hintoja moreenille ja kahden eri toimijan kuitusaville.

Kuvan 1 hinta koskee lähinnä kasavarastoituja, kosteita materiaaleja. Säiliöautolla kuljetettavien kuivien lentotuhkien hinta on arvioitava tarvittaessa erikseen, ko. kuljetustyyppin hintaa ei ole saatavissa myöskään Fore-järjestelmästä. Materiaalin tuottajilta saaduissa vastauksissa on kuitenkin annettu hintoja myös kuiville lentotuhkille.

On huomioitava, että selvityksessä esitetyt kustannustiedot ovat vain suuntaa antavia ja ne tulee tarkastaa siinä vaiheessa, kun tarvittavien materiaalien laadut/määrät sekä aikataulutus ovat selvillä. Kuljetettavan materiaalin tiheys vaikuttaa myös sopivan kaluston valintaan sekä kuljetuksen hintaan. Kuvaan 1 on merkattu ympyröin vuonna 2019 lasketut hinnat materiaalikuljetuksille. Lyhyellä matkalla (15 km) 2014 vuonna tehty hinta arvio osoittautuu noin puolta pienemmäksi kuin todellinen hinta viiden vuoden kuluttua, kun taas pitkillä matkoilla hinta on ollut hieman huokeampi kuin arviossa.

5. PYHÄSALMEN PINTARAKENTEEN PILOTOINTI

Pyhäsalmen kaivosalueella pilotointiin happoa tuottavan rikastushiekan peittokerrokseen vaihtoehtoisina materiaaleina tuhkan ja kipsin käyttöä. Pintarakenneratkaisuilla pyritään vähentämään hapon muodostumista ja haitta-aineiden liukenemista rikastushiekasta. Taulukon 3 perusteella vaihtoehtoisten materiaalien etäisyydet olivat todellisissa massiivirakenteissa hyödyntämisen näkökulmasta kaukana (>130 km), mutta se ei kerro koko totuutta hyödyntämisen kannattavuudesta kaikille osapuolille. Kuluja muodostuu myös materiaalin jätteenä hävittämisestä esimerkiksi läjitysalueen ylläpito ja sulkemiskustannusten muodossa.

Taulukko 3. Materiaalien toimittaja- ja kohdetiedot.

Materiaali	Materiaalin tuottaja	Kuljetusmatka (km)
Hieno ja karkea rikastushiekka	Pyhäsalmi Mine Oy	<1
Moreeni	Pyhäsalmi Mine Oy	<1
Tuhka	Oulun Energia Oy	169
Kipsi	Yara	136
Kasvukerros	Rönkön Puutarha Oy	2
Inertti materiaali	Tenhusen Maansiirto Oy	27

5.1 Varastointi ja rakentaminen

Rakentamista aloittaessa materiaalien homogeenisuutta arvioitiin silmämääräisesti, mutta erilliselle homogenisoinnille lastauksen ja purun aikana tapahtuneen sekoittumisen lisäksi ei ollut tarvetta. Materiaaleista määritettiin vesipitoisuus ja tehtiin tiivistyskoe, sekä otettiin näytteet laboratoriotutkimuksia varten ennen rakentamista. Rikastushiekat varastoitiin pressun päällä vastaavalla tavalla kuin kipsi, kostutettu tuoretuhka varastoitiin pressun päällä peitettynä (Kuva 2).



Kuva 2. Tuhkan ja kipsin varastointi Pyhäsalmissä.

Pyhäsalmen pilotointi oli kokoluokaltaan suhteellisen pieni ja edellinen vaikutti myös työmenetelmien valintaan. Rakenteet olivat kooltaan noin 10 m³ säiliöitä, joita oli 10 kappaletta. Lieriöiden halkaisijat olivat 2,4 m ja pinta-alat 4,5 m². Pilottirakentamisen on tarkemmin esitelty raportissa "B1 Final technical report on piloting 2022". Rakentaminen toteutettiin tavanomaisella maarakennuskalustolla. Materiaalit tiivistettiin kaivinkoneen kauhalla tai tärylätkällä sekä jalkavoimin. Materiaaliseokset valmistettiin traktorin perässä olleen betonimyllyn avulla. Sekoituksen jälkeen homogeenisuus arvioitiin silmämääräisesti. Tuhkan ja rikastushiekan seosta valmistettaessa ongelmaksi muodostui taikinamaisuus ja tuhkan erottuminen sekoitusastian laidoille. Kipsi-moreeni seoksen sekoittaminen onnistui helposti ja seos oli silmämääräisesti homogeenista. Tuhkakerroksissa tuhkan vesipitoisuutta nostettiin, koska alkuperäinen vesipitoisuus oli tiivistämisen kannalta optimivesipitoisuutta selvästi pienempi. Vesi lisättiin kastelukannulla rakentamisvaiheessa ja veden lisäyksen aikana tuhkaa sekoitettiin haralla, tiivistys tehtiin vasta kun vesi oli imeytynyt tasaisesti.

5.2 Kokemukset rakentamisesta vaihtoehtoisilla materiaaleilla

Koerakentamisen aikana materiaalien käsiteltävyyttä arvioitiin. Rikastushiekan tiivistäminen oli korkean vesipitoisuuden vaikutuksesta haastavaa, mutta varsinaisen rikastushiekka-altaan peittämisen kannalta asialla ei ole suurta vaikutusta. Rikastushiekan tiivistäminen kaivinkoneen kauhalla ei sallinut voimakasta painelua. Hienomman rikastushiekkamateriaalin todettiin käyttäytyvän savimaisesti. Ominaisuuksiltaan haastaviksi todettiin myös rikastushiekka-tuhkaseokset, joiden sekoittaminen homogeeniseksi oli vaikeaa. Tuhkan käytön kannalta liian alhaisessa vesipitoisuudessa tiivistetty materiaali jää helposti liian löyhäksi. Kipsin osalta tiivistäminen oli helpompaa ja vesipitoisuudella oli tiivistykseen merkittävä vaikutus.

6. HITURAN RIKASTUSHIEKKA-ALTAAN KUITUSAVI-PEITTOKERROS

Kolmella kuitusavella rakennetun tiivistyskerroksen laajuus oli 148 850 m², joka oli hieman yli puolet koko peitetyn rikastushiekka-altaan alasta (265 092 m²). Loput altaasta peitettiin käyttäen tavanomaista moreenirakennetta. Kuitusavikerrospaksuuden ollessa ≥ 250 mm on kuitusavea rakenteessa ≥ 37 212,5 m³ltr. Käytetty kuitusaven irtotilavuus on tätä suurempi, sillä tiivistyksen yhteydessä kuitusavi puristuu kokoon huomattavasti. Tarvittava kuitusaven määrä irtokuutioina oli noin 1,5 kertainen verrattuna rakennetilavuuteen. Irtotilavuus on otettava huomioon materiaalin välivarastointia suunniteltaessa, jolloin välivaraston tilavuus on suurempi kuin rakennetilavuus.

Hituran pilottikohteessa tarpeeksi hyvälaatuisen moreenin saatavuus lähiseudulla asetti haasteita. Tiivistyskerrokselta vaadittiin vedenläpäisevyyden arvoa $< 1 \times 10^{-8}$ m/s, jota kaikki paikalliset moreeniesiintymät eivät täyttäneet. Tällöin kuitusaven hyödyntäminen, yli puolessa tiivistyskerroksen alasta, pienensi materiaalitarvetta merkittävästi. Logistiikkaa ja materiaalivalintoja suunniteltaessa saatavuus voi asettaa ylitsepääsemättömiä esteitä yksittäisen materiaalin tapauksessa. Jo suunnitteluvaiheessa kannattaa kartoittaa myös tarpeeksi hyvälaatuisten maamateriaalien määrällinen saatavuus, jotta ei tulisi ikäviä yllätyksiä rakennusvaiheessa.

Rakentaminen toteutettiin kaivin- ja puskukonetyönä. Työn aikana laadunvalvonta toteutettiin seuraamalla kerrosvahvuutta koneohjauksen (Infrakit verkkoalusta) ja pistokoeluontoisten paksuusmittausten avulla. Kasvukerros tiivistettiin jyrällä, sille määritettyjen yliajokertojen mukaisesti. Tiivistys suoritettiin, jottei materiaali pölyäisi ja lentäisi tuulen mukana pois, ennen sitovan kasvillisuuden kasvua.

6.1 Kokemukset kuitusavesta tiivistyskerroksen materiaalina

Fortumin mukaan kuitusavesta valmistettu tiivistyskerros maksoi noin 55 % enemmän kuin tavanomaisesti moreenista rakennettu kerros. Hinnasta huolimatta uusiomateriaaleja olisi haluttu käyttää enemmän, mutta niiden käyttöä rajoitti saatavuus. Suurin osa rakentamisen kustannuksista muodostui pitkistä kuljetusmatkoista. Peittorakenteeseen käytettyä kuitusavea tuotiin Oulusta 167 kilometrin päästä, Mäntästä 282 kilometrin päästä ja Äänekoskelta 176 kilometrin päästä.

Hintalaskennassa täytyy ottaa huomioon myös materiaalin tuottajan säästöt mm. jäteveron osalta, jota ei tarvinnut tässä tapauksessa maksaa, kun materiaali hyödynnettiin rakentamisessa. Jos tuote olisi esimerkiksi hävitetty kaatopaikalle, pelkästään jätevero olisi ollut 70 €/t (Suomessa vuodesta 2021 lähtien). Materiaalin tuottaja voi päätyä polttamaan materiaalin, jolloin materiaalin massasta häviää merkittävä osa veden ja savukaasujen muodossa. Kuitusaven tapauksessa materiaalin massasta häviää karkeasti arvioiden 80 %. Materiaalista kuitenkin jää tuhkaa noin 20 %, joka täytyy lopulta hävittää. Lisäksi näinkin toimittaessa syntyy kustannuksia kuljetuksista sekä

mahdollisista kuitusaven vastaanottomaksuista voimalaitoksella, jossa se poltetaan. Materiaalituottajat saavuttivat siis merkittäviä säästöjä rakentamisen yhteydessä verrattuna siihen, että kuitusavi olisi jouduttu hävittämään tuhkana. Kun ajatellaan yhden kuitusavitonnista jäävän viidesosa tuhkaa, on yhden kuitusavitonnin potentiaalinen jäteveron määrä 14 €/kuitusavitonni. Jäteveron hinnalla tuotetta olisi kannattavaa kuljettaa noin 120 km:n päähän vuoden 2014 hintatason mukaan. Tällä hetkellä kuljetus on kannattavaa noin 80 kilometrin päähän. Laskelma ei ota huomioon kuin jäteveron, kustannuksiin voidaan vaikuttaa myös huomioimalla loppusijoituspaikan esimerkiksi polttolaitoksen etäisyys sekä mahdolliset paluukuljetukset. Jätteenä hävittäminen tuo myös muita vähemmän näkyviä kustannuksia jätteen käsittelijälle, joita ovat läjitysalueen rakentaminen, ylläpito ja sulkeminen. Joka tapauksessa materiaalia joudutaan lastaamaan ja kuljettamaan paikasta toiseen, joten pelkän kuljetuskustannuksen ja jäteveron vertaaminen toisiinsa ei anna kokonaisvaltaista vertailua, mutta osoittaa suunnan.

Aikataulutus oli yksi suurista haasteista, sillä kuitusavi on tiivistettävä suhteellisen nopeasti sen jälkeen, kun se on siirretty välivarastoautoista rakennuspaikalle ja levitetty kentälle. Kuitusavi kuljetettiin täysperävaunuilla sekä turpeenkuljettamiseen käytetyillä vaunuilla kaivosalueelle pääasiassa talvisaikana ja se varastoitiin kolmeksi aumaksi, syntypaikkansa mukaan. Tämä aiheutti lisäkustannuksia, sillä kuljetusväylät ja läjitysalueet oli pidettävä auki talvisaikaan.

Myös sää aiheutti haasteita rakentamisen aikana, sillä sade keskeytti useamman kerran kuitusaven levittämisen. Kuitusaven siirtäminen varastoaumasta rakenteeseen ja tiivistäminen ei onnistunut sateen aikana tehokkaasti kuitusaven kastuessa liikaa. Kuitusavi pitää kuitenkin tiivistää kosteana, sillä se ei tiivisty kunnolla, mikäli materiaali pääsee kuivumaan liikaa. Kosteuden seuraaminen onkin tärkeää kuitusavea hyödynnettäessä.

Fortumin mukaan kuitusavea oli lähes yhtä helppoa työstää rakennusvaiheessa kuin esimerkiksi moreenia. Materiaalivirtojen seuraaminen rakentamisen aikana on hyvin tärkeää, jotta pystytään dokumentoimaan mitä materiaaleja on käytetty missäkin kohtaa rakennustyömaata ja voidaan käyttää lauseurannassa oikeita, materiaalikohtaisia, vaatimustasoja. Hyvä dokumentointi auttaa seuraamaan rakenteiden käyttäytymistä pitkällä aikavälillä ja tunnistamaan mahdolliset ongelma-kohtat sekä materiaalit.

Kun sääolosuhteet, pohjat ja työkoneet ovat kunnossa, päästään urakoitsijan mukaan kuitusavella peittämisessä noin 1 hehtaarin päivävauhtiin. Tällöin työskennellään 12 h päivässä ja kerrospaksuudet ovat 250 mm kuitusavea ja tämän päällä 100 mm kasvukerros.

7. SORSASALON ERISTYSSEINÄ

Kuopion Sorsasaloon Fortumin hallinnoimalle jätekeskukselle rakennettiin pystyeristysseinämä, jonka tarkoitus on estää suotoveden kulkeutuminen vaarallisen jätteen sijoitusalueelta tavanomaisen jätteen sijoitusalueelle. Seinämän pituus on noin 150 m ja sen ylijäämäsavesta rakennetun tiiviskerroksen paksuus on noin 1 m. Suurin osa siinä käytetystä savesta on Hamulan-alueelta, joka sijaitsee noin 22 km päässä rakennuskohteesta. Vähemmän käytetty savi on peräisin Mäkelän-alueelta, joka sijaitsee Kouvolassa 270 km päässä. Kaikki rakenteeseen käytetyt materiaalit ja niiden kuljetusmatkat on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Käytettyjen materiaalien määrät ja kuljetusmatkat talvella 2021.

Materiaali	Kerros	Määrä (m³)	Kuljetusmatka
Mäkelän alueen savi	Tiivis	300	Kouvola-Sorsasalo n. 270 km -suunta
Hamulan alueen savi	Tiivis	1700	n. 22 km -suunta
Riikinvoima Oy:n tuhka	Kuivatus	1950	Riikinvoima Oy – Sorsasalo -82 km suunta
Hituran vesienkäsittelysakka	Tuki	2000	Hitura-Sorsasalo 206 km -suunta
Mondi Powerflute Oy:n tuhka	Tuki	2000	noin 1 km -suunta
Jäte-/ylijäämämaat	Tuki	Tukikerrokset (pois lukien tuhka ja sakka) kokonaisuudessaan 150 x 10 x 13 - 4000 = 15500 m ³	0 km (Jätekeskukseen toimitettuja materiaaleja)

Eristysseinän rakentamiseen tarvitaan runsaasti materiaaleja, joista tukitöyttö vaatii suurimman osan. Käytetyt materiaalit on valittu sen mukaan, mitä kaatopaikalle tuodaan jo normaalitilanteesakin. Näin ollen kuljettaminen ei aiheuta lisäkustannuksia eikä varsinaista rakennetta varten tarvitse tehdä materiaalihankintoja, pois lukien suodatinkankaat, joita käytettiin materiaalikerrosten rajaamiseen erilleen toisistaan.

Logistiikka aiheuttaa haasteita rakentamisessa käytettävien materiaalien hankinnan osalta. Esimerkiksi tuhkaa muodostuu kausiluontoisesti pääasiallisesti talvisaikaan ja ylijäämämaita sulan aikaan. Maarakentaminen puolestaan ajoittuu useimmiten kesän ajalle, joten välivarastointi on yleensä tarpeellista. Kesän aikana kaatopaikalle tulevia maamassoja voidaan kuljettaa suoraan rakennuspaikalle, jolloin vältytään ylimääräisiltä materiaalin siirtelyiltä.

Eristysseinän tukikerroksien tiivistäminen tapahtui rakentamisen aikana hyödyntäen materiaalien kuljetuskalustoa. Materiaalit kuljetettiin ajamalla tukikerroksen päällä pituussuuntaisesti, jolloin tukikerroksen yliajoja kertyi runsaasti. Tukikerrosta ei tarvinnut tämän ansiosta tiivistää erikseen. Tiivistyskerros rakennettiin muotin avulla, johon savi tiivistettiin kaivurin kauhalla. Kuivatuskerroksen tuhkamateriaali tasattiin rakenteeseen sopivaksi kaivurin kauhalla.

7.1 Tilanne keväällä 2022

Seinämän rakentaminen on kesken ja sitä korotetaan tulevaisuudessa tarpeen mukaan, kunnes kaatopaikat on täytetty suunniteltuun loppukorkeuteensa asti. Seinämä on tällä hetkellä noin 130 m pitkä, ja se rakennetaan kesällä 2022 lopulliseen 150 m pituuteen. Tavoite seinäpinta-ala on 2000 m², josta nyt on rakennettu noin puolet (1000m²). Arvioitu keskiarvokorkeus tällä hetkellä on 6 m, mutta korkeus vaihtelee todella paljon (150x6=900 m²), eli lopullinen keskiarvokorkeus on noin 13 m (150 m x 13 m =1950 m²).

8. HITURAN ESIMURSKAUSALUEEN PEITTORAKENTEEN PILOTOINTI

Esimurskausalueen peittämiseen käytettiin kaivoksen avolouhoksen tieltä poistettua maamateriaalia. Pintamaa jouduttiin poistamaan kallion tieltä, jolloin siitä tuli ylijäämämaata, joka läjitettiin kaivoksen alueelle. Materiaalikartoituksessa huomattiin, että maa aines oli läjitetty siten että savi oli alla ja karkeampi maa-aines päällä. Osa savesta saatiin entisen kaivospiirin alueella olevalta pellolta, joka oli myyty maanomistajalle konkurssin jälkeen. Omistaja halusi rakentaa kyseiselle peltoalueelle kosteikon, joten kosteikon kaivuun yhteydessä saatiin runsaasti ylijäämäsavea. Materiaalien kuljetusmatka oli noin 300 m.

Peitettävän alueen laajuus oli 33 941 m² ja savikerroksen paksuus 500 mm, joten rakenteeseen käytettiin ylijäämäsavea yhteensä teoreettiselta rakennetilavuudeltaan 16 970 m³. Savikerroksen päälle rakennettiin vielä 100 mm kasvukerros käyttäen ylijäämä peltomultaa, kasvukerrokseen kului teoreettiselta rakennetilavuudeltaan 3394 m³ materiaalia. Yhteensä säästettiin 20364 m³ veran neitseellisiä luonnonvaroja suojarakentamisen aikana. Saven irtotiheys on noin 1500 kg/m³.

8.1 Kommentteja rakentamisvaiheen toteutuksesta rakentajalta

Rakentajan mukaan kaivosalueen omien maa-ainesten hyödyntäminen koettiin käteväksi, käytännölliseksi ja ympäristöä säästäväksi toimintamalliksi. Heidän mukaansa jatkossakin kannattaisi jo suunnitteluvaiheessa miettiä alueella olevien maa-ainesten hyödyntämistä sulkemistöissä. Työtettävyyden rakennuttajan mukaan ylijäämämailla on samaa luokkaa kuin tavanomaisilla maamateriaaleilla.

Tätä näkemystä voidaan laajentaa koskemaan lähialuetta ja sen tarjoamia jätemaita. Materiaalin laatu ja soveltuvuus täytyy kuitenkin tarkastaa ennen rakentamiseen ryhtymistä. Saatavuus on kuitenkin monin paikoin rajoittava tekijä, sillä kaivokset sijaitsevat usein etäällä muusta infrastruktuurista, joten ylijäämämaiden saatavuus lähietäisyydeltä voi olla vaikeaa. Materiaalien saatavuus ja soveltuvuus on siis tarkastettava aina kohdekohtaisesti.

9. HITURAN KALKKIPADON PILOTOINTI

Hituran kiillegneissikasasta suotautuvaa vettä käsiteltiin reaktiivisella rakenteella, joka oli valmistettu SMA Mineralsin kivenleikkauksessa muodostuvasta seulotusta sivukivestä. Kalkkikivi oli pääasiassa kalsiittia, joka koostui kalsiumkarbonaatista (CaCO₃). Pilotoinnissa reaktiivinen patorakenne toimi veden vapaalla virtauksella eikä vaatinut erillisiä energianlähteitä. Suotautuessaan kalkkikivipadon läpi veden pH nousee ja haitalliset metallit saostuvat niukkaliukoisina hydroksideina ja sulfideina padon partikkelien pinnalle sekä padon jälkeiseen tasausaltaaseen. Patoallas oli mitoiltaan 4 x 14 m ja padon leveys vedenpinnan tasolla noin 3 m, padon tilavuus oli noin 15 m³. Pilotoinnissa käytetty kalkkikivi oli raekooltaan 5-20 mm.

9.1 Varastointi ja rakentaminen

Kalkkikivi toimitettiin tavanomaisella maansiirtokalustolla rakennuspaikalle. Kuljetuksen aikana kalkkikivimurske oli selkeästi lajittunut kuljetuksen aikaisen tärinän seurauksena. Lajittuminen on havaittavissa seuraavassa kuvassa 3.



Kuva 3. Kalkkikivikasa, jossa karkeampi rakeinen murske jaottunut ulkoreunoille.

Kalkkikivi varastointiin kasalla (kuva 3). Rakenteeseen valittiin kasan reunoilta karkeampi jae, jolla varmistettiin veden esteetön virtaus padon läpi. Pilotointia varten kiillegneissikalta vettä johtanut oja padottiin, ja vesi ohjattiin putkea pitkin kalkkipatoaltaaseen. Rakentaminen toteutettiin tavallisella telakaivinkoneella, jonka kauhalla tiivistettiin patoaltaan reunat veden läpisuotautumisen estämiseksi. Kalkkikivipato rakennettiin kaivinkoneen kauhalla, jolla kalkkikivimateriaali levitettiin ja tasattiin.

9.2 Kokemukset rakentamisesta

Kalkkikivi oli helposti käsiteltävää ja karkea rae lähes pölyämätöntä. Käsittelyssä ja varastoinnissa tulee kuitenkin huomioida materiaalin emäksisyys ja sen vaikutus työturvallisuuteen tarvittavin suojarustein. Materiaalin asettaminen ja patorakenteen tekeminen oli vaivatonta.

9.3 Kokemuksia rakenteen seurannasta

Kalkkikivipatorakenteessa huomattiin kipsaantumista eli pato kovettui kipsin muodostumisen seurauksena. Tällöin patorakenteesta tulee huomattavasti kestävämpi, mutta kipsaantuminen huonontaa virtausta padon lävitse. Seurantajakson aikana ei huomattu patorakenteen täydellistä tukeutumista pilottirakenteen olosuhteissa. Padon lujuus kasvoi huomattavasti ja noin kuukauden jälkeen patovalli kesti päällä kävelemistä ilman muodonmuutosta. Lujuuden kasvusta voi olla myös hyötyä, mikäli rakenteeseen virtaavan veden määrä vaihtelee kausiluontoisesti ja runsaasti. Kovettunut pato ei lähde virtaavan veden mukaan niin helposti kuin irtonaisesta materiaalista tehty pato, varsinkin jos vesi tulvii padon ylitse.

9.4 Rakenteen uusiminen

Kalkkikivirakenteen elinikä pilottirakenteessa oli noin 1,5 kk, joten se tulisi vaihtaa useaan kertaan vuodessa. Materiaalin hävittämistä ei ole tutkittu tämän projektin aikana, mutta yksi mahdollinen vaihtoehto olisi hävittää se esimerkiksi kippaamalla täyttyvään avolouhokseen. Tällöin kalkkikiven koko saostuspotentiaali tulisi hyödynnetyksi. Tämä ratkaisu toimisi eritoten silloin, jos kalkkikivipadolla puhdistettaisiin kaivosalueelta ulospäin virtaavia, metallien pilaamia ja happamia vesiä, ja samalla vähennetään kaivoksen aiheuttamaa ympäristökuormitusta.

10. KOKEMUKSET PILOTOINNEISTA

UPACMIC-hanke tuo yhteen metsäteollisuuden, kaivosteollisuuden ja urakoitsijat, joiden yhteistyö on välttämätöntä yhteisten ratkaisujen luomiselle ja resurssitehokkuuden parantamiselle. Tehokkaalla yhteistyöllä saadaan sivutuote suoraan kaivosalueelle ja rakentajan hyödynnettäväksi. Vaihtoehtoisten uusiomateriaalien hyödyntäminen luo myös positiivista kuvaa kaivosteollisuudelle, joka on aikaisemmin kokenut kovia kolauksia ympäristöimagonsa osalta, esimerkiksi vuonna 2012 Talvivaaran kaivoksella tapahtuneen kipsisakka-altaan vuodon seurauksena (Rönty, 2014).

Kaivosteollisuuden rikastushiekka-altaiden sulkemisessa voisi peittotyön vaiheistuksella vaikuttaa jo toiminnan aikana, jolloin osittaisella sulkemisella vähennetään suotovesien aiheuttamaa ympäristökuormitusta. Samalla tiivistyskerrokseen tarvittavan materiaalin kulutus jakautuisi pidemmälle aikavälille, jolloin kausittain saatavien vaihtoehtoisten materiaalien tuotanto pystyisi helpommin vastaamaan kysyntään, kuin kertaluontoisen ison urakan tapauksessa. Samalla välttyttäisiin esimerkiksi konkurssien aiheuttamilta peittämisvastuun siirtymiseltä viranomaisille. Tällöin peittäminen yleensä viivästyy ja esimerkiksi happoa tuottavien rikastushiekkojen happamat suotovedet voivat rasittaa ympäristöä koko toimenpidesuunnitteluprosessin ajan. Myös peittämisskustannukset todennäköisesti nousevat mitä myöhemmin peittämiseen ryhdytään yleisen hintatason nousun seurauksena.

Kaivoksien tavallisesti syrjäinen sijainti asettaa haasteita hyödynnettävien uusiomateriaalien valinnalle, sillä pitkät kuljetusmatkat todettiin projektin kuluessa useissa tapauksissa ainoaksi merkittäväksi esteeksi hyödynnettävyydelle. Näin ollen jokainen materiaali täytyy kartoittaa tapaus-/kohdekohtaisesti. Pitkää kuljetusmatkaa voi pyrkiä kompensoimaan yhteistyöllä uusiomateriaalia tuottavan yrityksen kanssa, käytännössä yritys kompensoisi osan kuljetuksen aiheuttamista kustannuksista. Tämä olisi perusteltua ainakin sellaisissa tapauksissa, että materiaali jouduttaisiin muuten hävittämään jätteenä, jolloin materiaalin tuottajalle pelkästään jäteveron osuus on 70 €/t. Materiaali joudutaan joka tapauksessa lastaamaan ja siirtämään tuotantopaikalta käsiteltäväksi, joten nämä kustannukset eivät ole vältettävissä. Muita jätemateriaalin tuottajalle ainakin välillisesti tulevia kustannuksia ovat läjitysalueen perustamisen, ylläpidon ja sulkemisen tuottamat kustannukset. Näin ollen jätetonnin hävittäminen kustantaa todellisuudessa noin 100 €/t. Hinta voi olla korkeampi jätteestä ja käsittelijästä riippuen.

Sorsasalossa rakennettu eristysseinä tuo uutta näkökulmaa suojausrakentamiselle ja materiaalitehokkuudelle. Kun jätteitä pystytään hyödyntämään kaatopaikan omissa suojausrakenteissa, säästetään neitseellisiä maa-aineksia. Logistiikka on suuressa roolissa, jotta rakentaminen olisi jouhevaa ja materiaaleja ei tarvitsisi käsitellä useaan kertaan. Ideaalilanteessa kaikki rakentamiseen käytettävät materiaalit saataisiin vietyä suoraan rakennusalueelle rakennettavaan rakenteeseen ilman välivarastointia.

Uusiomateriaaleista valmistettavat reaktiiviset rakenteet voivat olla toimiva ratkaisu tulevaisuuden tarpeisiin. Passiiviset ulkoisesta energiasta vapaat ratkaisut luovat mahdollisuuksia niin hiilineutraaliuden kuin kiertotalouden näkökulmista.

11. LOGISTINEN MALLI

Logistiikan suunnittelu kannattaa aloittaa selvittämällä tarvittavien materiaalien määrät ja ominaisuudet. Näiden pohjalta voidaan aloittaa lähiseudulla saatavilla olevien materiaalien kartoitus niiden soveltuvuuden, ominaisuuksien ja riittävyden osalta. Kuljettamiseen tarvittava ja soveltuva kalusto voi vaihdella materiaalikohteisesti, joten soveltuvan kuljetuskalustokapasiteetin kartoittaminen on suositeltavaa tehdä myös tässä vaiheessa. Materiaalin hinta ja kuljetuksen aiheuttamat kustannukset tulee huomioida materiaaleja vertailtaessa. Materiaalivalinnoissa tulee huomioida myös mahdollisen paikallisen maa-aineksen/materiaalin parantaminen uusiomateriaaleilla, jolloin voidaan säästää neitseellisiä luonnonvaroja ja parantaa rakenteen ominaisuuksia. Yhteistyö materiaalintuottajan kanssa voi mahdollistaa materiaalin kuljettamisen myös kauempaa, mikäli tuottaja osallistuu kuljetuskustannusten kattamiseen ja paluukuljetukset saadaan hyödynnettyä. Tämä on mahdollista varsinkin silloin, jos tuottaja joutuisi hävittämään materiaalin jätteenä, joka aiheuttaa huomattavia kustannuksia mm. loppusijoituskustannusten ja jäteveron muodossa.

Materiaalivalinnan jälkeen, kuljetus on suunniteltava valittujen materiaalien mukaisesti. Esimerkiksi lentotuhkan kuljettaminen kuivana vaatii säiliöauton, kun taas kostutettuna se voidaan kuljettaa peitettyinä normaalia maansiirtokalustoa käyttäen. Muita UPACMIC-hankkeen aikana tutkittuja materiaaleja voidaan kuljettaa samalla kalustolla kuin tavanomaisia maamateriaaleja. Kuitusaven kuljettamiseksi suositeltavaa on kuitenkin käyttää turpeen ja hakkeen kuljetukseen käytettävää kalustoa, sillä kuitusaven alhaisen tiheyden vuoksi tavanomaisella kalustolla kuljetettaisiin vajaita kuormia. Logistiikassa tulee huomioida myös mahdolliset paluukuljetusmahdollisuudet. Välivarastoinnissa tulee huomioida materiaalien laadun muuttuminen varastoinnin vaikutuksesta, mahdolliset valunnat ja niiden aiheuttama kuormitus ympäristöön esimerkiksi kalkin ja tuhkan osalta, sekä mahdollinen lupatarve. Varastoinnissa saattaa olla tarpeen peittää materiaalit valunnan ehkäisemiseksi. Vaihtoehtoisten materiaalien ominaisuudet hankkeen eri vaiheissa on tiivistetty taulukkoon 5.

Taulukko 5. Yhteenveto uusiomateriaalien ominaisuuksista hankkeen eri vaiheissa. (Karjalainen, 2016)

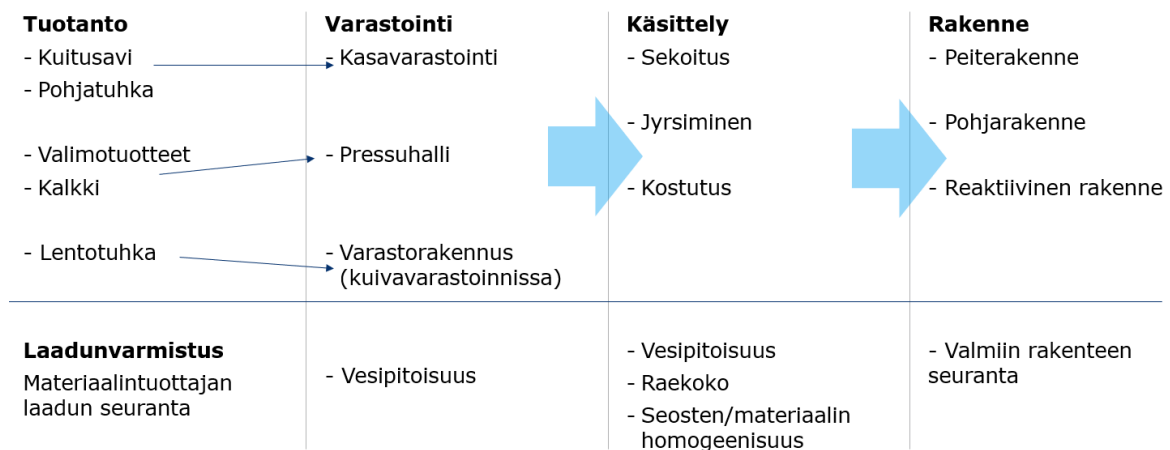
Materiaali	Saatavuus	Varastointi	Rakennettavuus ja käsittely
Lentotuhka	<ul style="list-style-type: none"> - Vaihtelee vuodenaikojen mukaan - Kasavarastoidun tuhkan saatavuus kuiva-tuhkaa parempi 	<ul style="list-style-type: none"> - Kuivana varastointi haastavaa - Varastointi vaikuttaa ominaisuuksiin 	<ul style="list-style-type: none"> - Helposti pölyävä - Keveä - Vesipitoisuus oleellinen rakennettavuuden kannalta - Lujittuva
Pohjatuhka	<ul style="list-style-type: none"> - Vaihtelee vuodenaikojen mukaan 	<ul style="list-style-type: none"> - Varastointi lentotuhkaa helpompaa - Varastointi kosteana 	<ul style="list-style-type: none"> - Käsittely helpohkoa - Kuivana pölyää jonkin verran
Kipsi	<ul style="list-style-type: none"> - Hyvä saatavuus, mutta vain paikallisesti 	<ul style="list-style-type: none"> - Kasavarastointi 	<ul style="list-style-type: none"> - Sekoittaminen voi olla työlästä - Vesipitoisuus vaikuttaa rakennettavuuteen
Valimohiekka	<ul style="list-style-type: none"> - Saatavuus heikohko, vähäiset tuotantomäärät - Pitkät kuljetusmatkat, potentiaalinen syntypaikkojen läheisyydessä 	<ul style="list-style-type: none"> - Varastointi suojattuna - Kuljetus tuotannon tahdissa 	<ul style="list-style-type: none"> - Ei pölyä merkittävästi - Helppo käsitellä
Kuitusavi	<ul style="list-style-type: none"> - Saatavuus epävarma suurille massamäärille - Tuotanto paikallista, joten sijainti huomiotava - Nykyään poltetaan iso osa materiaalista 	<ul style="list-style-type: none"> - Kasavarastointi helppoa 	<ul style="list-style-type: none"> - Ei pölyä - Kevyt - Joustava/kimmoisa - Vesipitoisuuden alentaminen vaikeaa - Vesisade haittaa rakennustyötä
Kalkki	<ul style="list-style-type: none"> - Useita eri jakeita, joilla erilaiset ominaisuudet 	<ul style="list-style-type: none"> - Kasavarastointi vaikuttaa reaktiivisuuteen - Mahdollinen emäksinen valunta varastoinnin aikana 	<ul style="list-style-type: none"> - Pölyäminen vähäistä - Helppo käsitellä

Materiaalikartoituksen yhteydessä on hyvä keskustella materiaalituottajan kanssa myös soveltuvan kuljetuskaluston ja kuljetuspalveluntarjoajan valinnasta. Materiaalituottajalla on paras kokemus ko. materiaalin kuljetuksesta.

11.1 Laadunvalvonta

Uusiomateriaaleilla rakennettaessa materiaalin laadun varmistaminen on hyvin tärkeää, sillä joidenkin materiaalien, kuten tuhkan, laatu vaihtelee suuresti syntypaikan ja polttoprosessin mukaan. Laaduntarkkailun olisi hyvä ajoittua tuotantoon, toimitusketjuun ja rakentamiseen, lisäksi reaktiivisten rakenteiden toimivuutta olisi syytä seurata myös rakenteen valmistuttua. Ensimmäinen laaduntarkkailu tehdään materiaalin tuotantoprosessin yhteydessä, toinen varastoinnin aikana ja/tai käsittelyn ja siirtelyn yhteydessä. Kolmas laaduntarkkailuvaihe sijoittuu rakentamisvaiheeseen ja viimeinen rakentamisen päättymiseen. Laaduntarkkailuperiaatteet vaihtelevat myös sen mukana missä prosessin vaiheessa sitä suoritetaan. Esimerkiksi syntypaikalla ja varastoinnin yhteydessä vesipitoisuuden mittaaminen on tärkeää, mutta rakentamisen yhteydessä mitataan esimerkiksi

tiheyttä, toteutunutta kerrospaksuutta ja vedenläpäisevyyttä. Laaduntarkkailu vaiheittain on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Materiaalien laadun tarkkailu vaiheittain.

Laaduntarkkailu riippuu kuvan 4 mukaisesti materiaalista. Laaduntarkkailuun vaikuttaa myös rakenteelta vaaditut ominaisuudet. Valmiin rakenteen seurantavelvoite tulee useimmiten valvojan viranomaisen toimesta ja se riippuu ympäröivän alueen herkkyydestä. Uusiomateriaaleilla rakentamisesta on suhteellisesti vähemmän tietoa kuin tavanomaisista materiaaleista, joten rakenteen pidempiaikainen seuranta voi antaa arvokasta ja uutta tietoa materiaalin pitkäaikaiskäyttyymisestä.

12. YHTEENVETO

Tässä raportissa tarkasteltiin eri materiaalien kuljettamista ja niiden laaduntarkkailua. Kuljetuskustannukset osoittautuivat korkeiksi pitkien kuljetusmatkojen vuoksi, mutta pitkänkin matkan kuljetuskustannukset on hyväksyttävä, mikäli materiaali on hyödyntämisen sijaan muutoin hävitettävä jätteenä. Jätteen hävittämiskustannukset ovat aina materiaalikohtaisia ja vaihtelevat alueellisesti käsittelijän mukaan.

Materiaalia joudutaan joka tapauksessa varastoimaan, lastaamaan ja kuljettamaan, joten materiaalin hyödyntämisen aiheuttamat kuljetuskustannukset eivät automaattisesti ole täysin lisäkustannuksia. Yhteistyö materiaalin tuottajan ja hyödyntäjän välillä tunnistettiin tärkeäksi tekijäksi, jotta mahdollinen kuljettamiskustannusten jakaminen ja logistiikka voidaan suunnitella mahdollisimman hyvin.

Kuitusaven ollessa sivumateriaali sitä syntyy rajallinen määrä, muiden tuotteiden ehdoilla. Tämän vuoksi suuren määrän hetkellinen saatavuus on mahdotonta. Jotta materiaalia on riittävästi hyödynnettävänä, vaaditaan hyvää ja riittävän aikaista suunnitelmallisuutta sen logistiikassa ja varastoimisessa. Talvisaikaan varastoiminen aiheutti lisätyötä ja kustannuksia varastointialueen huolto- toimissa, mutta se oli tarpeellista riittävän materiaalmäärän saamiseksi rakennuskohteelle. Kuljetuskustannuksia voi mahdollisesti kompensoida hyödyntämällä paluukuljetuksia, jolloin kuljettamiseen käytetty kalustoa tulee hyödynnetyksi suuremmalla potentiaalilla.

Varsinkin uusiomateriaaleilla rakentamisessa materiaalin laaduntarkkailu on tärkeää valmiin rakenteen toimivuuden kannalta. Materiaaleille määritellään esimerkiksi optimivesipitoisuus tiivistymisen kannalta, johon tulisi päätyä rakentamisen aikana. Uusiomateriaaleista on pääsääntöisesti

vähemmän valmista tietoa rakentamisen aikaisesta ja sen jälkeisestä materiaalin käyttäytymisestä, joten näitä laaduntarkkailuvaiheita ei ole syytä unohtaa.

13. LÄHTEET

Karjalainen Noora. 2016 UUSIOMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN RIKASTUSHIEKKA-ALTAIDEN PINTARAKENTEISSA. Diplomityö. Oulun Yliopisto. Saatavilla: <https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Karjalainen%20Noora.%202016.%20Uusiomateriaalien%20hy%C3%B6dynt%C3%A4minen%20rikastushiekka-altaiden%20pintarakenteissa.%20Oulun%20yliopisto%2C%20Diplomity%C3%B6.%20139%20s.pdf>

Rapal Oy. 2014. Fore-järjestelmä

Rönty Heikki. 2014. Talvivaaran kipsisakka-altaan vuoto oli tietoista riskinottoa. Yleisradio. Verkko lehti. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-7065969>

LIITE 1 Kooste materiaalin tuottajien vastauksista.

Toimittaja	Sijainti	Lähtöosoite	Etäisyys (km)	Materiaali	MATERIAALITUOTTAJAN ANTAMA HINTA kuljetettuna €/t alv 0 % (suluissa tuottajan tukema hinta*)	RAPAL-HINNASTOON PERUSTUVA HINTA (0,110 €/t/km)	Vuosituotanto t/a min	Vuosituotanto t/a max	Per / kk min	Per / kk max
Alholmens Kraft	Pietarsaari	Luodontie 149	140	Kuiva LT	12,94	15,40	30000	60000	2500	5000
				Pohjatuhka	11,57		6000	12000	500	1000
		Spituholmsvägen 81	140	KT	11,57					
Kanteleen voima	Haapavesi	Turvetie 112	55	Kuiva LT	> 8	6,05	6000	8000	500	667
				KT	> 8				0	0
Stora Enso	Oulu	Nuottasaarentie 1	175	Kuiva LT	14,00	19,25	15000	15000	1250	1250
				KT	16,00				0	0
Oulun Energia	Oulu	Pilpajärventie	180	Kuiva LT		19,80			0	0
				KT	20,00 (10,00)		41600	83200	3467	6933
Laanilan Voima	Oulu	Typpitie 1	175	Kuiva LT		19,25	10000	15000	833	1250
Metsä Group	Mänttä	Tehtaankatu 16	290	Kuiva LT	30,00	3,19	6000		500	0
				Kuitusavi	30,00		55000		4583	0
				KT	30,00				0	0
SCA	Nokia	Kerhokatu	370	Kuitusavi	27,5 (22)	40,70			0	0
Yara	Siilinjärvi	Nielsiäntie 501	200	Kipsi	25	22,00	52000	78000	6000	9000
				Kuivattu kipsi					0	0
				Biotiitti	25		52000	78000	6000	9000
Äänevoima	Äänekoski	Sarvelantie	175	Kuiva LT	13,45	19,25	6000		500	0
				KT	13,45				0	0
Componenta	Karkkila	Bremerintie	480	Valimohiekka	-	-	10000	10000	833	833
				Valimopöly (bentoniittipitoinen)	-	-	300	500	25	42
	Pori	Vanhasahankatu 3	385	Valimohiekka (bentoniittia 7-10 %)	-	-	3000	3000	250	250
				Valimopöly (bentoniittipitoinen)	-	-	1200	1200	100	100
				Valimohiekka (bentoniittisavipit. 2 %)	-	-	900	900	75	75