

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Maa- ja kalliorakentaminen

Simo Pyysing

RIKASTUSHIEKKA-ALUEEN TULEVAISUUDEN STRATEGIA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Simo Pyysing

Rikastushiekka-alueen tulevaisuuden strategia

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2010

Ohjaajat: tehdaspäällikkö Jussi Kaksonen, Nordkalk Oyj Abp

tuotantojohtaja Harri Koivisto, Nordkalk Oyj Abp

yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä alustava hahmottelu rikastushiekka-alueen tulevaisuuden käyttö- ja parannusmahdollisuuksista.

Opinnäytetyön tulosten tarkastelua varten selvitettiin uuden patoturvallisuuslain sisältöä, patorakentamisen historiaa ja rikastushiekka-altaiden toimintaan liittyviä erityispiirteitä. Työssä huomioitiin myös patoturvallisuuteen liittyviä asioita selvittämällä patovaurioihin liittyviä seikkoja ja niiden todennäköisyyksiä sekä tehdasalueen patorakenteissa tapahtuneiden vaurioiden ennaltaehkäisyä ja monitorointia.

Varsinainen tulevaisuuden käyttöön liittyvä selvitys sisälsi laskennallisen arvion nykyisen rikastushiekka-alueen läjitysmahdollisuudesta, nykyisten altaiden optimointimahdollisuuden patorakennetta korottamalla ja muuttamalla, sekä arvioinnin laajennusmahdollisuudesta.

Rikastushiekka-altaiden täyttötilavuuden arvioitiin loppuvan pahimmassa tapauksessa alle viidessä vuodessa, mikäli rikastushiekkaa ei käytetä hyödyksi tai tehdä muutoksia rikastushiekka-altaisiin. Patorakennetta korottamalla tai allas-alueetta laajentamalla saavutettaisiin laskelmien perusteella useita vuosia lisää tilavuuden riittävydelle. Patojen korotus ja altaiden laajennus nostaisi kuitenkin patovaurion syntymisen riskiä ja olisi kustannuksiltaan kohtalaisen suuri hyötyensä nähden.

Kustannuksiltaan ja riskeiltään paras vaihtoehto allaskapasiteetin säilyttämisen kannalta olisi rikastushiekkan riittävä hyötykäyttö tehdasalueella tai ulkopuolisissa kohteissa. Mikäli riittävää hyötykäyttöä ei olisi mahdollista toteuttaa, niin rikastushiekkaa läjitettäisiin varastokasoille lähelle rikastushiekka-altaita. Rikastushiekkan läjityksellä on mahdollista saavuttaa lisäkapasiteettia rikastushiekka-altaille kohtuullisen nopeasti.

Asiasanat: Rikastushiekka, hyötykäyttö, rikastushiekka-allas, patoturvallisuus

ABSTRACT

Simo Pyysing

The Future Strategy of Tailings Ponds

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction Engineering

Final Year Project 2010

Instructors: Plant Manager Jussi Kaksonen, Nordkalk Oyj Abp

Production Manager Harri Koivisto, Nordkalk Oyj Abp

Principal Lecturer Tuomo Tahvanainen, Saimaa University of Applied Sciences

The main goal of this study was to evaluate different possibilities for the future use of the tailings ponds and find alternative solutions for the present operation.

This study compiles information from the new Finnish laws of dam safety, the history of tailings dams and special features concerning operation of tailings ponds. Tailings dams' safety has been considered by the means of typical tailings dams' failure modes and their probabilities. Also preventing and monitoring of possible dam failures has been taken into consideration.

The future operation of the tailings ponds has been studied on three basic fields. These fields were evaluation of the current capacity of the tailings ponds, optimisation of present operation by rising or modifying the dam structure and estimation of costs and capacity of extension of ponds.

The calculations made for this study showed that in the worst case the capacity of the tailings ponds is capable to handle flotation sand less than five years without utilization of it. Rising of dams and extension of ponds would give several years' additional capacity for the tailings ponds area. This could, however, increase the risk of dam failure and would not be cost-efficient considering the overall benefits.

The result of the study has shown that the most cost-efficient way of increasing and preserving the tailings ponds capacity is utilization of flotation sand. If utilization cannot be executed sufficiently storage of filtration sand in heaps next to tailings ponds would be the next option. Increase in tailings ponds capacity can be obtained relatively fast by storing filtration sand in stockpiles.

Keywords: Flotation Sand, Utilization, Tailings Ponds, Tailings Ponds Safety

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	7
2	MAAPATOJEN JA RIKASTUSHIEKKA-ALUEIDEN HISTORIA	9
2.1	Maapatojen historia ja käyttötarkoitus.....	9
2.2	Patorakentaminen Suomessa.....	10
2.3	Kaivospadot.....	10
3	RIKASTUSHIEKKA JA LAPPEENRANNAN TUOTANTO	11
3.1	Lappeenrannan tehtaiden tuotanto.....	12
	Rikastushiekan määrä.....	14
4	PATOTURVALLISUUS.....	14
4.1	Patoturvallisuuslaki- ja asetus	15
4.1.1	Padon määrittely.....	15
4.1.2	Lain valvonta ja poikkeustoimivaltuudet	16
4.1.3	Padon omistajan tai haltijan velvollisuudet	16
4.2	Patoturvallisuuskäytännöt.....	17
4.2.1	Patojen luokittelu	17
4.2.2	Padon suunnittelu.....	18
4.2.3	Padon rakentaminen	19
4.2.4	Patoturvallisuuskansio.....	19
4.3	Patoturvallisuus ja tarkastukset	20
4.3.1	Käyttöönotto tarkastus.....	20
4.3.2	Turvallisuustarkkailuohjelma	21
4.3.3	Tarkkailu.....	21
4.3.4	Vuositarkastus.....	22
4.3.5	Määräaikaistarkastus.....	23
4.3.6	Häiriötilanteet	24
4.3.7	Vahingonvaaran selvittäminen	24
4.3.8	Pato-onnettomuuteen varautuminen	25
5	RIKASTUSHIEKAN LÄJITYS JA PATORAKENTEET	26
5.1	Materiaalin leikkauslujuus.....	26
5.2	Muita tärkeitä materiaaliominaisuuksia	27
5.3	Rikastushiekka-altaat ja niiden sijoittaminen	27
5.4	Patojen rakenteellinen jako ja patotyytit.....	30
5.4.1	Homogeeninen maapato	32
5.4.2	Vyöhykepato.....	32
5.4.3	Louhepato	33
5.4.4	Tavanomainen patorakenne.....	33
5.4.5	Kerroksellinen patorakenne.....	34
5.4.6	Kerroksellinen patorakenne, jossa vedenläpäisevyydeltään matala etupenger.....	35
5.4.7	Vettä läpäisevästä rikastushiekasta tehty tiivistysosa.....	36
5.4.8	Rikastushiekasta rakennettu patorakenne.....	37
5.5	Vapaan veden poistaminen	41
5.6	Suotautuminen	42
5.7	Mitoitustulva.....	44
6	PATOVAURIOT	44

6.1	Maapatojen vauriotyypit ja niiden todennäköisyydet.....	44
6.1.1	Ulkoinen eroosio.....	44
6.1.2	Sisäinen eroosio.....	45
6.1.3	Liukusortuma.....	45
6.1.4	Luiskien valuminen ja sortumat.....	46
6.1.5	Vaurioiden todennäköisyydet.....	47
6.2	Patovauriot ja toimenpiteet, Nordkalk Oyj Abp Lappeenranta.....	47
6.3	Stabiliteetin varmistaminen.....	50
6.4	Käytönaikaiset mittaukset ja varoitusjärjestelmät.....	51
6.4.1	Perinteiset mittausmenetelmät.....	51
6.4.2	Geofysikaaliset mittausmenetelmät.....	53
7	RIKASTUSHIEKKA-ALTAIDEN KÄYTTÖ.....	54
7.1	Rikastushiekka-altaat.....	54
7.2	Rikastushiekka-altaiden kapasiteetti.....	55
7.3	Rikastushiekka-altaiden käyttökustannukset.....	56
7.3.1	Pumppauskustannukset.....	56
7.3.2	Ruoppauskustannukset.....	57
7.4	Riskit ja ympäristönäkökohdat.....	57
8	NYKYISTEN ALTAIDEN OPTIMOINTI.....	59
8.1	Terassirakenne.....	59
8.2	Patorakenteen korottaminen.....	59
8.3	Rikastushiekan hyötykäyttö ja läjitys.....	60
8.4	Vaihtoehtoinen patorakenne.....	61
8.4.1	Vaihtoehtoinen tiivistysmateriaali.....	62
8.4.2	Vaihtoehtoinen suodatinmateriaali.....	63
8.4.3	Vaihtoehtoinen tukipengermateriaali.....	64
9	LAAJENNUSMAHDOLLISUUS.....	64
9.1	Pohjatutkimuksen tulokset.....	64
9.2	Maamassat ja konetyökalusto.....	65
9.3	Pumppausjärjestelyt.....	66
9.4	Kustannusarvio.....	66
9.5	Laajennuksen vaikutus kapasiteettiin.....	67
10	YHTEENVETO.....	68
	KUVAT.....	70
	LÄHTEET.....	72

LIITTEET

- Liite 1 Rikastushiekan määräarvio
- Liite 2 Rikastushiekka-alueen suotovesipumppaamot
- Liite 3 Rikastushiekka-altaat
- Liite 4 Rikastushiekka-altaat ja veden kierto
- Liite 5 Rikastushiekka-altaiden kapasiteetit
- Liite 6 Rikastushiekka-altaiden täyttötilavuuden riittävyys hyötykäytön mukaan
- Liite 7 Täyttötilavuuden muutos
- Liite 8 Pumppaustehot ja pumppauskustannukset
- Liite 9 Pumppauskustannuksien arvio 2009–2014
- Liite 10 Rikastushiekan läjitysalueet
- Liite 11 Uuden rikastushiekka-altaan sijoitus
- Liite 12 Uuden rikastushiekka-altaan rakentaminen, massalaskelma
- Liite 13 Uuden rikastushiekka-altaan rakentaminen, kustannusarvio

- Liite 14 Patorakenteen osuudet kokonaiskustannuksista
- Liite 15 Uuden rikastushiekka-altaan rakentaminen, rakentaminen osissa
- Liite 16 Uuden rikastushiekka-altaan rakentaminen, vaikutus kapasiteettiin
- Liite 17 Suotovesikaivon pumppauksen trendikuvaaja vuototilanteessa

1 JOHDANTO

Nordkalk Oyj Abp:n Lappeenrannan tehtailla tuotetaan kalkkikivipohjaisia tuotteita eri teollisuuden aloille. Kaivoksesta louhitusta kalsiittimarmorista noin kolmasosa käsitellään tehdasalueen kalsiitti- ja wollastoniittirikastamoissa, joiden lopputuotteena saadaan korkealaatuista kalsiittirikastetta.

Rikastusprosessin tarkoituksena on saada rikastamon syötekivestä mahdollisimman hyvälaatuista tuotetta mahdollisimman korkealla saannilla. Tavoitteena on poistaa syötekiven joukossa olevat harmemineraalit. Mineraalisaanti rikastamoilla ei kuitenkaan pääse sellaiseen tasoon, ettei rikastusprosessista poistuisi myös kalsiittia ja wollastoniittia. Tuotannosta prosessin aikana poistuvia harmemineraaleja, kalsiittia ja wollastoniittia kutsutaan rikastushiekaksi, joka varastoidaan niille tarkoitetuilla alueilla, rikastushiekka-alueilla.

Rikastushiekka-alueiden tarkoituksena on varastoida syntyvää rikastushiekkaa mahdollista tulevaisuuden käyttöä varten, selkeyttää ja mahdollistaa prosessiveden palautus rikastamoille sekä pienentää prosessissa käytettävien kemikaalien vaikutusta ympäristöön ja kiertoveden mukana itse tuotantovaiheisiin riittävän viipymäajan kautta. Edelleen lisääntyvä tuotantomäärä pienentää jäljellä olevaa täyttötilavuutta nykyisillä altailla. Tuotannon perusteella rikastushiekan määrän on arvioitu lisääntyvän noin 40 % seuraavan 5 vuoden aikana nykyisillä mineraalisaanneilla. Rikastushiekka-aldaiden kapasiteetin pienentyminen edellyttää rikastushiekka-alueen nykytilanteen kartoitusta ja alustavan tulevaisuuden suunnitelman hahmottamista.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä alustavia selvityksiä rikastushiekka-alueisiin liittyen ja toimia vastaisuudessa tukena opinnäytetyön tekijälle ja teettävälle organisaatiolle. Alustavissa selvityksissä on ajatuksena tutustua uuteen patoturvallisuuslakiin, patorakentamisen historiaan, patotyypeihin, patovaurioihin ja niihin liittyviin syihin ja monitorointimenetelmiin. Lisäksi tarkoituksena on selvittää vaihtoehtoisia ratkaisuja rikastushiekan läjitykseen, tarkastella

optimointimahdollisuutta nykyisten altaiden osalta sekä arvioida rikastushiekka-
alueen laajennusmahdollisuutta.

2 MAAPATOJEN JA RIKASTUSHIEKKA-ALUEIDEN HISTORIA

Maapatojen historia ylettyy tuhansia vuosia taaksepäin, jopa historian tuntemusta myöhäisempiin aikoihin. Vanhimpien löytyneiden maapatojen rakenteiden arvellaan olevan yli 5000 vuotta vanhoja. Maarakennustekniikat ovat kehittyneet ajan kuluessa samalla, kun patorakenteiden käyttötarkoitukset ovat laajentuneet. (Ravaska 2005, 2.)

2.1 Maapatojen historia ja käyttötarkoitus

Ensimmäisten patojen pääasiallinen tehtävä oli toimia varastona kastelu- ja käyttövedelle. Tämän lisäksi patoja käytettiin myös estämään tulvia. Kyseiset padot olivat matalia maa- ja kivivalleja, joiden rakentamisessa ei juuri ollut järjestelmällisiä piirteitä. Patojen rakentamisen ja samalla lisääntyneen kokemuksen pohjalta patojen käyttötarkoitukset muuttuivat: patojen käyttö vettä ohjaavina rakenteina lisääntyi. (Ravaska 2005, 2.)

Patojen rakennustekniikat vaihtelivat maailmanlaajuisesti. Varsinaisesti vasta 1800- ja 1900-luvuilla patojen rakentamisessa käytettiin yhtenäisiä tekniikoita (Ravaska 2005, 3). Patoja rakennettiin massiivisina muurattuina rakenteina aina 1800-luvun puoliväliin saakka. Vasta tämän jälkeen, varsinkin teollistumisen aikana, koneiden käyttö patojen rakentamisessa yleistyi ja näin ollen saavutettiin entistä suurempia rakenteita. (Ravaska 2005, 11.)

Rakentamisessa käytettyjen koneiden ja geotekniikan kehittyessä 1900-luvun lopulla patojen rakentamisen volyymi kasvoi jyrkästi. Esimerkiksi Yhdysvalloissa 1950-luvulta alkaen patoja rakennettiin Falhbuschin (2001) (Ravaska 2005, 16) mukaan yli 120 kappaletta 5 vuodessa. Maa- ja louherunkoisten patojen osuus näistä rakennetuista padoista on kasvanut 1980-luvulle asti. Sotien jälkeinen louherunkoisten patojen lisääntyminen on edesauttanut patojen korkeuksien

kehityksessä (Ravaska 2005, 16). Maailman korkein pato, Rogun, sijaitsee Tadžikistanissa ja on korkeudeltaan 335 metriä (Ravaska 2005, 16).

2.2 Patorakentaminen Suomessa

Suomen patorakentamisen historia liittyy oleellisesti maanviljelykseen, energian tuottamiseen ja kulkuyhteyksien rakentamiseen (Ravaska 2005). Suurimmat patorakennustyöt alkoivat Suomessa 1830-luvulla, jolloin alkoi kanavarakentamisen aikakausi.

Samalla tavalla kuin muuallakin maailmalla, Suomen patorakentamisessa ei myöskään toimittu teoreettisten perusteiden pohjalta (Ravaska 2005, 22). Rakennushankkeet toteutettiin hyväksi havaituilla menetelmillä käyttäen tyypillisiä rakennusmateriaaleja, kuten puuta ja maalajeja, kuten moreenia, silttiä ja savea. Myöhemmin parantunut käsitys muun muassa suodatinmateriaaleista ja koneiden kehittyminen mahdollistivat maapatojen rakentamisen. Rakentamisen kallistuminen maapatojen rakentamisen suuntaan alkoi määrätä yhä enemmän patojen sijoittamista käytettävien rakennusmateriaalien suhteen (Ravaska 2005, 22). Maapatojen rakennusmateriaaliksi yleistyi moreeni.

2.3 Kaivospadot

Kaivoksissa tarvitaan sekä maanalaisia että maanpäällisiä patoja. Maanalaisia patoja käytetään lähinnä louhosten täyttömateriaalin patoamiseksi. Maanpäällisiä patoja käytetään puolestaan vesistöjen ja liejuuntuvan maa-aineksen pitämiseksi erillään kaivoksesta, rikastushiekan varastointiin sekä prosessivesien selkeytykseen. Kaivospatoja on Suomessa tällä hetkellä noin 30 yhteensä 10 eri kaivoksella, minkä lisäksi esimerkiksi avolouhoksilla on joitakin työpatoja.

Kaivospadoiksi luokitellaan patoturvallisuuslaissa kaikki kaivoksessa, avolouhoksessa tai kaivupaikassa olevat padot, joihin liittyy kaivos- tai rikastustointia. Edellinen patoturvallisuuslaki ei koskenut näitä patoja, vaan niihin so-

vellettiin kaivoslain turvallisuutta koskevia säännöksiä ja kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä kaivosten turvallisuusmääräyksistä. Käytännössä maanpäällisten kaivospatojen suunnittelussa ja viranomaisvalvonnassa on kuitenkin noudatettu Teknillisen tarkastuskeskuksen suosituksen mukaisesti soveltuvien osin patoturvallisuuslakia ja asetusta sekä patoturvallisuusohjeita. Kaivoslain piirissä olevien patojen valvonta kuului aikaisemmin kauppa- ja teollisuusministeriön alaiselle Turvatekniikan keskukselle. Patoturvallisuusviranomainen 1.10.2009 alkaen on Kainuun ympäristökeskus. Kaivospatot ovat yleensä suurempia kuin jätepatot, ja niitä korotetaan usein käytön aikana kaivostoiminnan edetessä. Kaivospatoja rakennetaan ja niiden toiminta lakkaa kaivoksen elinkaaren mukaisesti. Kaivospatot ovat siten erottamaton osa kaivoksen tuotantoa. (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 4.)

3 RIKASTUSHIEKKA JA LAPPEENRANNAN TUOTANTO

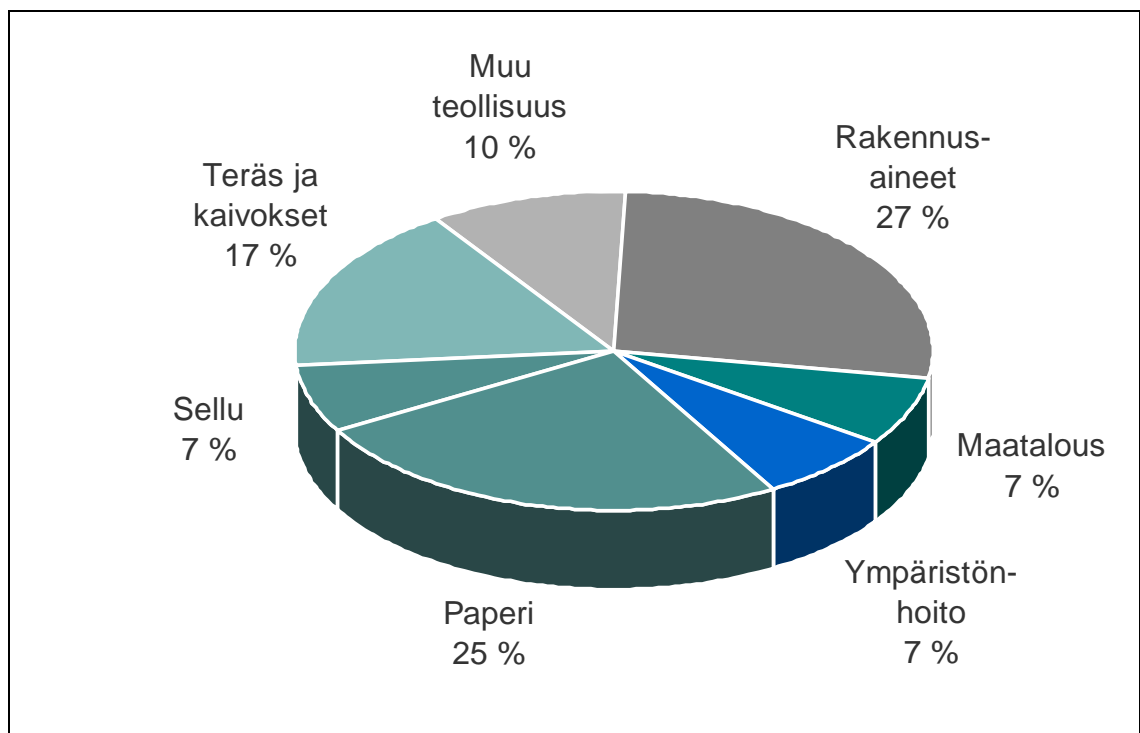
Kaivosteollisuudessa arvokkaan malmin talteenotto vaatii lähes aina rikastusprosessin hyödyntämistä. Rikastettaessa malmia, arvokkaimmat mineraalit erotetaan harmemineraaleista käyttäen hyödyksi fysikaalisia ja/tai kemiallisia erotusmenetelmiä. Rikastuksen jälkeen talteen saadaan yksi tai useampi tuote sekä rikastushiekka, jota useasti nimitetään jätteeksi. (Lukkarinen 1987, 1.)

Useiden tuotantolaitosten kohdalla rikastushiekan määrä on hyvinkin merkittävä ja tämän vuoksi rikastushiekan läjitykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tarkentuneet ympäristövaatimukset ovat myös omalta osaltaan vaikuttaneet läjityksen huolelliseen toteutukseen (Lukkarinen 1987, 348; Wills' 2006, 400). Läjityksen tarkoitus on säilyttää rikastushiekkaa mahdollista myöhempään hyötykäyttöä varten, edesauttaa tehokkaan veden talteenoton saavuttamisessa sekä estää ympäristön saastuminen (Taggart 1947, 20–36).

3.1 Lappeenrannan tehtaiden tuotanto

Nordkalk Oyj Abp:n Lappeenrannan tehtailla tuotetaan kalkkikivipohjaisia tuotteita eri teollisuuden toimijoille. Kaivoksesta louhittu kalsiittimarmori käytetään syötekivenä sementtitehtaalle (Finnsementti Oy), kalkkitehtaalle ja tehdasalueen kolmelle eri rikastamolle.

Nordkalk Oyj Abp:n yksi merkittävimmistä asiakkaista on paperiteollisuus, jonka myynnin osuus oli noin 25 % vuonna 2008 (Kuva 3.1). Lappeenrannassa kaivoksesta tuotantoon nostetusta kivestä noin 1/3 menee paperiteollisuuden raaka-aineeksi, paperipigmentiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että rikastushiekkaa sivutuotteena tuottavilla tehtailla käsitellään noin 600 000 tonnia kiveä vuodessa.



Kuva 3.1 Nordkalk Oyj Abp:n myynti asiakassegmenteittäin 2008

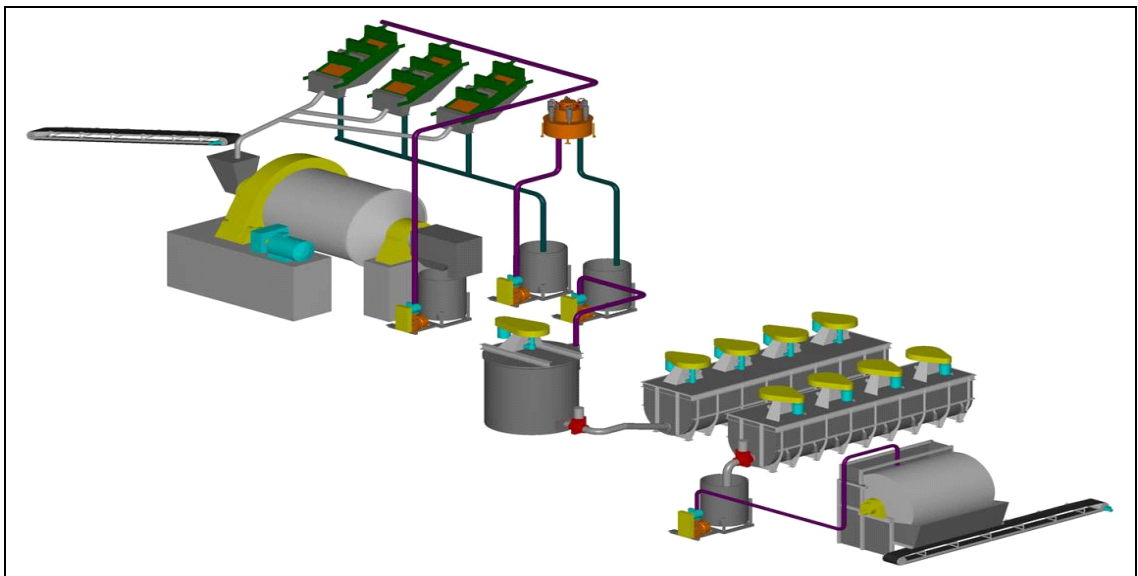
Tehdasalueella on kolme kalsiittirikastetta tuottavaa rikastamoaa: KR-90, KR-97 ja WR. Kalsiittirikasteen lisäksi wollastoniittirikastamolla (WR) rikastetaan wollastoniittia keraamisen- ja muoviteollisuuden tarpeisiin.

Kaikkiin rikastamoihin kuuluu erillinen mylly- ja vaahdotuspiiri. Kaivoksesta nostetut kivet syötetään rikastamoiden myllyihin, joissa ne jauhetaan haluttuun hienouteen. Luokituksessa käytetään myllyjen jälkeen seuloja, joiden avulla pyritään hallitsemaan raekokojakaumia sekä jauhatuksen kapasiteettia. Karkeat raeluokat palautuvat uudelleen jauhatukseen, kun taas hienot, seulat läpäisevät, raeluokat pumpataan liejunpoistoon.

Liejunpoisto toteutetaan rikastamoilla hydrosykloneilla. Hydrosyklonien ylitteenä poistuvat hienoimmat partikkelit, jotka mahdollisesti haittaisivat vaahdotusta. Syklonien ylite on rikastushiekkaa ja se johdetaan pois prosessista rikastushiekka-altaille. Syklonien alite vastaavasti on varsinainen jauhatuspiirin tuote. Tämä tuote siirtyy seuraavaksi vaahdotukseen.

Kalsiitin ja wollastoniitin vaahdotuksessa pyritään poistamaan mahdollisimman paljon muita silikaattimineraaleja niin, että jäljelle jäisi pitoisuudeltaan korkea rikaste mahdollisimman hyvällä saannilla.

Kuvassa 3.2 on esiteltyä periaatekuva Nordkalkin rikastamoiden mylly- ja vaahdotuspiireistä. Vaahdotuksessa poistetut harmemineraalit päätyvät rikastushiekka-altaille, kuten liejunpoiston ylite.



Kuva 3.2 Periaatekuva rikastamon mylly- ja vaahdotuspiireistä

Rikastushiekan määrä

Rikastushiekan määrä on arvioitu tätä opinnäytetyötä varten tuotantomäärien pohjalta. Arviossa on huomioitu vuosittainen tuotannonkasvu ja tämän tiedon pohjalta on laskettu vaadittavat kivitonnit. Laskennassa on otettu huomioon myös syötekiven sekä rikasteen kalsiitti- ja wollastoniittipitoisuudet. Vaadittavien kivitonnien laskemiseen on tarvittu myös rikastamo- ja syötekivikohtaisia saan- teja sekä lopputuotteen pitoisuuksia.

Kuuden vuoden tuotannosta on arvioitu syntyvän noin 1,3 miljoonaa tonnia rikastushiekkaa (ks. Liite 1) keskimäärin 220 000 t vuosivauhdilla. Liitteessä 1 on tarkempi laskenta ja kuvaus syötekivi- ja rikastetonneista sekä rikastushiekan määrästä.

4 PATOTURVALLISUUS

Mahdollisia patoja koskevia muutoksia varten on huomioitava, mitä padoista määrätään patoturvallisuuslaissa ja patoturvallisuusasetuksessa. Uusi patoturvallisuuslaki on annettu Helsingissä 26.6.2009 ja tämä laki tulee voimaan loka- kuussa 2009. Uusi patoturvallisuuslaki sisältää yksityiskohtaisempia asetuksia ja määräyksiä patojen turvallisuudesta. Tässä opinnäytetyössä käsitellään uutta patoturvallisuuslakia, koska kyseinen laki on voimassa työn valmistuessa.

Patoturvallisuuslain keskeisimpänä muutoksena on saattaa säädökset vastaa- maan nykykäytäntöä. Muita keskeisiä muutoksia patoturvallisuuslaissa Wester- holmin (2008) mukaan ovat:

- kaivospatojen valvonta siirtyy ympäristökeskuksiin ja kaivospatot pato- turvallisuuslain piiriin
- patoturvallisuusviranomaisen saa päätösvallan luokittelusta ja patoturval- lisuusasiakirjojen hyväksymisestä

- olosuhteiden tai padon kunnan muuttumiseen reagoiminen
- kevyempi valvontakäytäntö 2- ja 3-luokan padoille
- turvajärjestelyjen parempi huomioiminen
- vastuunjaon selkeytyminen pelastusviranomaisen kanssa
- vesilain mukaisten lupien patoturvallisuusasiat patoturvallisuusviranomaisen valvontaan.

4.1 Patoturvallisuuslaki- ja asetus

Patoturvallisuuslain tarkoituksena on varmistaa turvallisuus padon rakentamisessa, kunnossapidossa ja käytössä. Lisäksi patoturvallisuuslaki pyrkii vähentämään patorakenteista aiheutuvaa vahingonvaaraa.

Patoturvallisuuslakia sovelletaan kaikkiin patoihin riippumatta siitä, mistä materiaalista tai siitä, miten padot on rakennettu. Patoturvallisuuslakiin kuuluu myös patoihin kuuluvat rakennelmat ja patojen lisälaitteet. Rikastushiekka-alueiden kohdalla pitää soveltaa myös ympäristönsuojelu-, jäte-, kaivos-, maankäyttö- ja rakennuslakeja. Lisäksi patoturvallisuuteen liittyy oleellisesti pelastuslain noudattaminen.

4.1.1 Padon määrittely

Patoturvallisuuslaki määrittelee padoksi sellaisen rakenteen, joka on seinämäinen tai vallimainen ja jonka tarkoituksena on pysyvästi tai tilapäisesti estää rakenteen takana olevan nesteen tai nestemäisesti käyttäytyvän aineen leviäminen tai säädellä padotun aineen pinnankorkeutta: vesistöpadot, jätepadot ja tulvapenkereet.

Padon omistajalla tarkoitetaan padon omistajaa, haltijaa tai sitä, jonka tehtävänä on huolehtia suunnittelusta, rakentamisesta, kunnossapidosta ja käytöstä. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 4 §.)

4.1.2 Lain valvonta ja poikkeustoimivaltuudet

Patoturvallisuuslain sekä sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten noudattamisen valvonta kuuluu patoturvallisuusviranomaiselle (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 5 §). Patoturvallisuuslaissa mainittu patoturvallisuusviranomainen on alueellinen ympäristökeskus. Ylin valvonta ja ohjaus kuuluvat Maa- ja metsätalousministeriölle, joka voi kuitenkin tarvittaessa määrätä alueellisen ympäristökeskuksen toimimaan jonkun muun ympäristökeskuksen toimialueella patoturvallisuusasioissa (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 5 §); Nordkalk Oyj Abp:n patoturvallisuuden valvonta kuuluu Kainuun ympäristökeskukselle.

Patoturvallisuusviranomainen voi kieltää padon omistajaa jatkamasta tai toistamasta patoturvallisuuslaissa ja asetuksessa asetettuja määräyksiä, mikäli tapauksessa ei rikota muuta lakia (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 30 §). Viranomainen voi myös tarvittaessa asettaa padon omistajalle korjaus- ja oikaisumääräyksen (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 31 §) tai vastaavasti määrätä padon omistajalle uhkasakon sekä teettämis- ja keskeyttämishan laiminlyönneistä (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 32 §). Padon omistaja voidaan myös tuomita sakko- ja sakkorangaistuksiin patoturvallisuusrikkomuksesta (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 5 §), mikäli tämä syyllistyy patoturvallisuuslain 35 § mukaisiin rikkeisiin ja muussa laissa ei määrätä ankarampaa rangaistusta (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 35 §).

4.1.3 Padon omistajan tai haltijan velvollisuudet

Padon omistaja on velvollinen pitämään padon sellaisessa kunnossa, että se on turvallinen ja että se toimii suunnitellulla tavalla (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 7 ja 15 §). Padoille määrätään myös patoturvallisuuslain 3 luvun 10 § luokittelovelvollisuus (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 7 ja 10 §) ja 4 luvun 15 § kunnossapitovelvollisuus (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 7 ja 15 §). Jos padon omistaja on jostain syystä estynyt tai kykenemätön huolehtimaan padon turvallisuudesta tai padolle asetetuista turvallisuustarkkailuvelvoitteista, on siitä ilmoitettava välittömästi patoturvallisuusviranomaiselle (Patoturvallisuuslainsäätöryhmän loppuraportti

2007, 6). Vaikka padon omistaja tekeekin edellä mainitun ilmoituksen viranomaisille, niin se ei kuitenkaan vapauta padon omistajaa huolehtimasta padon turvallisuudesta. Tilanteista, jotka voivat johtaa patomurtumaan tai sen uhkaan, on ilmoitettava viipymättä hätäkeskukseen ja aloitettava tarvittavat toimenpiteet (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 7).

Patoa koskevien määräyksien noudattaminen ja niiden selvittäminen on padon omistajan tai haltijan velvollisuus. Padon omistajan tai haltijan tukena toimii ympäristökeskus, joka auttaa säännösten ja ohjeiden tulkinnoissa. Ympäristökeskus antaa patojen omistajille tai haltijoille tiedotteita säännöksistä, määräyksistä ja ohjeista. Padon omistaja tai haltija on tästä huolimatta velvollinen ottamaan asioista selvää. (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 7.)

4.2 Patoturvallisuuskäytännöt

Suomen patoturvallisuuskäytännöt perustuvat patoturvallisuuslain ohella Maa- ja metsätalousministeriön patoturvallisuusohjeisiin (Patoturvallisuusryhmän loppuraportti 2007, s. 7). Patoturvallisuuskäytännöillä pyritään takaamaan patojen turvallinen käyttö.

4.2.1 Patojen luokittelu

Ennen padon käyttöönottoa pato pitää luokitella sen aiheuttaman mahdollisen vahingonvaaran mukaisesti johonkin seuraavista kolmesta luokasta: 1-, 2- ja 3-luokan pato (Patoturvallisuuslaki 494/2009 10 ja 11 §). Aikaisemmin luokittelussa käytettiin merkintöjä P-pato, N-pato ja O-pato (Patoturvallisuuslaki 574/1987).

1-luokan padolla tarkoitetaan patoa, joka mahdollisen onnettomuuden sattuessa aiheuttaa vaaran ihmishengelle ja terveydelle tai huomattavan vaaran ympäristölle ja omaisuudella. (Patoturvallisuuslaki 494/2009 11 §.)

2-luokan patoihin kuuluvat ne padot, joiden voidaan olettaa aiheuttavan vaaran terveydelle ja vähäistä suuremman vaaran ympäristölle tai omaisuudelle. (Patoturvallisuuslaki 494/2009 11 §.)

3-luokkaan kuuluvat padot, jotka onnettomuustilanteissa saattavat aiheuttaa vähäisen vaaran. (Patoturvallisuuslaki 494/2009 11 §.)

Patoturvallisuusviranomaisen voi pakollisesta luokittelusta huolimatta jättää padon luokittelun ulkopuolelle, mikäli patoturvallisuusviranomaisen katsoo, että padosta ei aiheudu vaaraa (Patoturvallisuuslaki 494/2009 11 §). Tästä huolimatta padon omistajan on huolehdittava patoturvallisuuslaissa mainituista 15,16 ja 24 §:ssä mainituista kunnossapitoon, käyttöön ja onnettomuuksien ehkäisemiseen liittyvistä asioista sekä patoturvallisuuslain 6 luvussa mainituista säännösten valvonnasta (Patoturvallisuuslaki 494/2009 11 §).

4.2.2 Padon suunnittelu

Padon rakenteellisen varmuuden sekä käyttövarmuuden on täytettävä sellaiset vaatimukset, ettei siitä aiheudu vaaraa turvallisuudelle. Padon varmuus määräytyy lopullisesti suunnittelussa ja toteutuksessa. Padon varmuuteen vaikuttavat myös ajan myötä padossa ja sen käyttöolosuhteissa tapahtuneet muutokset sekä tehdyt korjaus- ja kunnossapitotoimenpiteet. Patojen suunnittelun ja toteutuksen tulee tapahtua noudattaen kulloinkin hyväksytyä rakentamistapaa. (Patoturvallisuusryhmän loppuraportti 2007, 7.)

Padon suunnittelun on tapahduttava riittävän pätevän ja kokeneen henkilön johdolla ja vastuulla (Patoturvallisuuslaki 494/2009 6 §). Padosta tehdään toiminnallinen tarkastelu olosuhteiden edellyttämässä laajuudessa. Tarkasteltavia tilanteita eri olosuhteissa ovat padon ja uomien toiminta sekä mahdollisen ylipadotuksen suuruus ja kesto. Eri olosuhteita ovat tavanomaiset käyttötilanteet kesä- ja talviaikaan, tulvatilanteet kuten mitoitustulvatilanteet sekä käyttöhäiriöistä ja -virheistä johtuvat tilanteet (Patoturvallisuusryhmän loppuraportti 2007, 8).

4.2.3 Padon rakentaminen

Padon rakentamisen aloittamisesta on ilmoitettava kirjallisesti alueelliselle ympäristökeskukselle, sillä ympäristökeskuksella on oltava mahdollisuus ennakoon tutustua suunnitelma-asiakirjoihin. Rakentamisvaiheessa on noudatettava hyvää rakentamistapaa ja rakennustyö on tehtävä suunnitelman mukaisesti sekä henkilökunnalla, joka on tehtäviinsä perehtynyt ja pätevä. (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 8.)

Laadunvalvonnan pitää lähteä riippumattomasta työntekijästä. Työn valvojalla tulee olla oikeus tarvittaessa keskeyttää työt. Muutostyön mahdolliset vaikutukset padon turvallisuuteen on huomioitava muutosvaihtoehtoja tutkittaessa jo suunnittelu- ja rakennusvaiheissa. Olosuhteiden ja rakenteiden muutoksia seurataan tarkkailulla ja määräaikaistarkastuksilla. (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 8.)

4.2.4 Patoturvallisuuskansio

Patoturvallisuuslain 33 §:n mukaan padon omistajan tai haltijan on säilytettävä patoturvallisuuden kannalta merkityksellinen aineisto erityisessä turvallisuuskansiossa (patoturvallisuuskansio). Kansio on säilytettävä sellaisessa paikassa, että se on onnettomuusuhan alla asianomaisten helposti saatavissa ja tarpeen vaatiessa valvontaviranomaisten tarkastettavissa. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 33 §.)

Turvallisuuskansion sisältö on määritetty patoturvallisuusasetuksessa. Turvallisuuskansion sisällön rakenne on ohjeistettu seuraavasti (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 8):

1. Kansilehti, yhteystiedot, sisällysluettelo, toteutuma-asiakirjaluetelo ja päätökset

2. Mitoitusarvot
 - padon ja padotusalueen päämitat
 - hydrologinen mitoitus
3. Padon vaikutusalueen kartta ja padon sijoituspiirustus sekä padon rakennetta koskevat piirustukset ja selvitykset
4. Patoturvallisuuslain 12, 13 ja 14 §:n mukainen tarkkailuohjelma
5. Tarkastusten ja tarkkailun asiakirjat
6. Viranomaisten kirjeet
7. Patoturvallisuuslain 9 ja 12 §:ssä tarkoitetut vahingonvaaraselvitys ja turvallisuussuunnitelma
8. Jätepatoja koskevat erityispiirteet kuten padotun aineen laatu ja suotautumisselvitys.

4.3 Patoturvallisuus ja tarkastukset

Patoturvallisuuden ylläpitäminen on tärkeää paitsi ympäristön, myös tuotantolaitosten toimivuuden kannalta. Patoturvallisuudesta huolehditaan hyvissä ajoin, alkaen jo suunnittelusta ja rakentamisesta. Suunnittelu ja huolellinen rakentaminen eivät kuitenkaan ole riittäviä toimenpiteitä turvallisuuden kannalta, sillä patorakenteet ovat usein pitkäikäisiä ja vaativat jatkuvaa tarkkailua.

Patoturvallisuutta voidaan tehostaa esimerkiksi käyttöönottotarkastuksella, tarkkailulla ja määräaikoina tehtävillä laajemmilla tarkastuksilla.

4.3.1 Käyttöönottotarkastus

Käyttöönottotarkastukseen sisältyy pääsääntöisesti useita maastotarkastuksia rakentamisen eri vaiheissa. Käyttöönottotarkastus siihen liittyvineen eri vaiheineen on pidettävä aina, kun on kyseessä uuden padon rakentaminen. Vanhan padon osalta käyttöönottotarkastus tulee kyseeseen, kun tehdään merkittäviä muutos- tai korjaustöitä. (Patoturvallisuustyöryhmä loppuraportti 2007, 9.)

Käyttöönottotarkastuksessa kuuluu selvittää padon kelpoisuus niin, että kaikki patoturvallisuuteen vaikuttavat asiat tulevat riittävästi huomioon otetuiksi. Tarkastuksen suorittamisesta vastaa padon pääsuunnittelija tai muu henkilö, joka on pätevä kyseiseen tehtävään. (Patoturvallisuustyöryhmä loppuraportti 2007, 9.)

4.3.2 Turvallisuustarkkailuohjelma

Padosta aiheutuvan vahingonvaaran vähentämiseksi on patoturvallisuuslaissa tarkoitettulle padolle laadittava turvallisuustarkkailuohjelma (Patoturvallisuustyöryhmä loppuraportti 2007, 9). Ohjelman laatii tai hankkii padon omistaja tai haltija, jolta edellytetään sama pätevyys kuin vastaavan rakenteen suunnittelijalta. Erillisen turvallisuustarkkailuohjelman laatiminen ei ole välttämätöntä, mikäli padon turvallisuutta tarkkaillaan jonkun muun lain mukaisesti patoturvallisuusviranomaisen hyväksymällä tavalla (Patoturvallisuuslaki 404/2009, 13 §).

Turvallisuustarkkailuohjelma on laadittava hyvissä ajoin ennen padon valmistusta siten, että se voidaan hyväksyä noudatettavaksi ennen padon käyttöönottoa (Patoturvallisuustyöryhmä loppuraportti 2007, 9). Ehdotus turvallisuustarkkailuohjelmaksi tulee toimittaa patoturvallisuusviranomaiselle (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 14 §).

Mikäli tarkkailuohjelmaa halutaan muuttaa, koskee sitä sama menettely kuin uuden tarkkailuohjelman laatimista (Patoturvallisuustyöryhmä loppuraportti 2007, 9). Turvallisuustarkkailuohjelman tai sen muutoksen hyväksymisestä päättää patoturvallisuusviranomainen (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 3 Luku).

4.3.3 Tarkkailu

Yhtenä osana padon turvallisuuden ylläpidossa voidaan pitää ennakkoon suunniteltuja tarkkailuja. Patoturvallisuuslain 17 §:n mukaan padon omistajan tulee suorittaa säännöllisiä tarkastuksia padolle suunnitelman mukaan. Padon tark-

kailuun voidaan sisällyttää mm. seuraavat seikat (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 9):

- altaan veden tai muun padotun aineen korkeuden seuranta
- patorakenteiden näkyvien osien sekä padon taustan tarkastukset
- tarkkailuohjelmassa määrätyt havainnot ja mittaukset
- muut patoon liittyvät asiat
- jätepatojen mahdolliset muut turvallisuuteen liittyvät erityiskysymykset.

Henkilöt, jotka suorittavat tarkkailua on perehdytettävä ja koulutettava tehtäviinsä. Jokaisesta tarkastuskerrasta on pidettävä päiväkirjaa, johon on myös kirjattava tehdyt havainnot. Padon luokitus määrää tarvittavat tarkastuskerrat ja niiden tiheydet. Ohjeellisesta jaksollisuudesta on mahdollista poiketa, jos käytössä on tarkkailua korvaavia järjestelmiä, kuten esimerkiksi kaukovalvontalaitteet ja niihin kytketyt hälytysjärjestelmät. Poikkeuksellisten sääolojen kuten tulvien, rankkasateiden ja kovien tuulien aikana ja jälkeen voidaan tarkastuskäyntejä lisätä. (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 9.)

4.3.4 Vuositarkastus

1- ja 2-luokan patojen kunto ja turvallisuus on tarkastettava vähintään kerran vuodessa padon omistajan toimesta. 1-luokan padon tarkastuksesta on annettava kirjallinen selonteko patoturvallisuusviranomaiselle. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 18 §.)

Vuositarkastuksessa käydään läpi vuoden aikana tehtyjen mittausten tulokset ja muut havainnot. Samalla tarkistetaan mittauslaitteiden kunto ja toimivuus sekä tutkitaan korjauksia vaativat kohdat padosta ja siihen liittyvistä laitteista. Padon vuositarkastus tulee ajoittaa sulaan vuodenaikaan. (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 10.)

Padon vuositarkastuksen yhteydessä tarkistetaan ja päivitetään edellä mainitun lisäksi padon turvallisuussuunnitelman henkilö- ja yhteystiedot sekä muut tiedot.

Samassa yhteydessä tarkastetaan patovaurion havaitsemiseen ja väestön varoittamiseen liittyvien laitteiden ja hälytysyhteyksien toiminta. Näiden järjestelmien tarkastus tehdään toimintakokeiluilla (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 10). Vuositarkastuksista ja koekäytöistä pidetään pöytäkirjaa, joka säilytetään padon omistajan turvallisuuskansion yhteydessä.

4.3.5 Määräaikaistarkastus

1–3-luokan padoille on järjestettävä määräaikaistarkastus vähintään viiden vuoden välein (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 19 §). Määräaikaistarkastuksia voidaan pitää myös useammin tarpeen vaatiessa. Patoturvallisuusviranomaisella ja pelastusviranomaisella on oikeus osallistua määräaikaistarkastukseen (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 19 §). Ensimmäisen määräaikaistarkastuksen ajankohta lasketaan käyttöönottotarkastuksesta alkaen (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 10).

Padon omistajan on hyvissä ajoin toimitettava yhteenveto padon tarkkailutiedoista tarkastusta edeltävän viiden vuoden ajalta. Ennen määräaikaistarkastusta patoturvallisuusviranomaiselle on toimitettava myös patoturvallisuuslain 6 §:n mukaisen riittävän pätevän henkilön alustava arvio padon kunnosta. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 19 §.)

Määräaikaistarkastuksessa selvitetään padon kunnan muutokset ja sen turvallisuuden vaikuttavat seikat. Tarkastuksessa huomioidaan muutokset maankäytössä ja sää- ja vesioloissa. Jos määräaikaistarkastuksessa ei voida riittävästi varmistua padolle asetettujen turvallisuusvaatimusten toteutumisesta, padon omistajan on tehtävä perusteellinen selvitys padon tai sen osan kunnosta (kuntoarvio). Padon omistajan on annettava laadittu kirjallinen raportti tiedoksi patoturvallisuusviranomaiselle 1- ja 2-luokan padon tarkastuksesta. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 19 §.)

4.3.6 Häiriötilanteet

Padon omistajan tulee ilmoittaa padolla sattuneesta turvallisuuden kannalta poikkeuksellisesta tilanteesta viipymättä patoturvallisuusviranomaiselle. Toimitettavassa ilmoituksessa on kuvattava tilanne ja annettava valvontatoimenpiteiden kannalta tarpeelliset selvitykset. Patoturvallisuusviranomaisen voi antaa tiedotteen tarvittaessa pelastusviranomaiselle. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 27 §.)

4.3.7 Vahingonvaaran selvittäminen

Vahingonvaaraselvityksen tavoitteena on luoda edellytykset onnettomuuden sattua pelastustoiminnan järjestämiselle ja onnettomuuden torjumiseksi tai rajoittamiseksi tarpeellisille toimenpiteille sekä varmentaa padon luokitus. (Patoturvallisuusyöryryhmän loppuraportti 2007, 10.)

Padon omistajan on selostettava tarpeellisessa määrin padosta aiheutuvaa vahingonvaaraa ja sen vaikutusta padon mitoitusperusteisiin padon rakentamista suunnitellessa. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 9 §.)

Patoturvallisuuslain 9 § mukaan 1-luokan padon omistajan on tehtävä tarkempi selvitys vahingonvaarasta, jossa käydään läpi padosta ihmisille, omaisuudelle ja ympäristölle aiheutuvia vaaroja. Patoturvallisuusviranomaisen voi myös päättää, että vahingonvaaraselvitys on tehtävä muihin luokkiin kuuluvista padoista, mikäli se on tarpeen padon luokittelua tai luokan muuttamistarpeen arviointia varten. (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 12 §.)

Patoturvallisuusviranomaisen voi määräaikaistarkastuksen perusteella määrätä padon rakentajan, omistajan tai haltijan päivittämään padolle laaditun vahingonvaaraselvityksen (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 20 §) esimerkiksi sellaisissa tilanteissa, joissa tähän on tarvetta uuden asutuksen tai tulva-alueelle rakennettujen mahdollisten virtausta rajoittavien rakenteiden takia (Patoturvallisuusyöryryhmän loppuraportti 2007, 10). Päivitetty vahingonvaaraselvitys pitää toimittaa

patoturvallisuusviranomaiselle hyväksyttäväksi määräaikaistarkastuksen yhteydessä tai erikseen. Päivitetyn vahingonvaaraselvityksen hyväksymispäätös annetaan tiedoksi padon omistajalle, alueen pelastusviranomaiselle ja padon vaikutusalueen kunnille (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 20 §).

Vahingonvaaraselvityksessä käydään läpi sortumatapausten vertailu, tulvan etenemisen selvittäminen, vahinkoarvioiden laatiminen, padotun jätteen tai jäteveden sisältämät haitalliset tai vaaralliset aineet, niiden ominaisuudet, vaikutustavat ja kulkeutumisreitit sekä vaurion sattuessa aineille altistuvat toiminnot. (Patoturvallisuusryhmän loppuraportti 2007, 10.)

4.3.8 Pato-onnettomuuteen varautuminen

Onnettomuuksien ehkäisemiseksi ja vahinkojen rajaamiseksi padon omistajan on ryhdyttävä tarpeellisiin toimenpiteisiin huomioiden samalla vahingonvaara (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 24 §). Pelastustoimien suunnittelua varten patoturvallisuusviranomaisen on toimitettava pelastusviranomaiselle suunnitelmien kannalta tarpeelliset tiedot (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 25 §).

Varsinaisen pelastustoimen suunnitelma tehdään pelastuslain 9 § mukaisesti pelastusviranomaisen ja asianomaisen laitoksen kanssa (Pelastuslaki 468/2003, 9 §). Näiden kahden ja patoturvallisuusviranomaisen välistä yhteistyötä edellytetään myös pelastustoiminnan aikana (Patoturvallisuuslaki 494/2009, 26 §).

Jokaisella, joka huomaa tai saa tietää pato-onnettomuuden tapahtuneen tai uhkaavan eikä voi heti torjua vaaraa, on velvollisuus viipymättä ilmoittaa siitä vaarassa oleville, tekemään hätäilmoituksen sekä ryhtymään kykynsä mukaan pelastustoimintaan. (Pelastuslaki 468/2003, 28 §.)

Pelastusviranomaisen tehtävänä on huolehtia patomurtuman ja siitä johtuvan tulvan edellyttämistä toimenpiteistä (Patoturvallisuusryhmän loppuraportti 2007, 11): toimintaorganisaatioiden hälyttäminen (hätäkeskus), väestön varoit-

taminen, evakuoiminen ja pelastaminen sekä pelastustoiminnan ja kokonaistilanteen johtaminen.

Alueellisen ympäristökeskuksen huolehdittavaksi jää tarvittaessa erityisesti vesistöön ja vesirakenteisiin kohdistettavista toimenpiteistä. Nämä toimenpiteet vaativat ennalta suunnittelua ja niiden suorittamiseen tarvittavaa asiantuntemusta sekä paikallisten mahdollisuuksien mukaan myös toimenpiteisiin osallistumista. (Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti 2007, 11.)

5 RIKASTUSHIEKAN LÄJITYS JA PATORAKENTEET

Nordkalk Oyj Abp:n Lappeenrannan tehtailla rikastushiekka läjitetään rikastushiekka-altaille, kuten suuressa osassa maamme rikastamoista. Rikastushiekan ja jätekiven hallintaan on käytettävissä myös muita toimenpiteitä (European Commission 2004, 69):

- sakeutetun jätteen läjitys kuivana
- suhteellisen kuivan jätteen läjitys kasoihin
- kaivostäyttöön maanalaisiin kaivoksiin ja avolouhoksiin
- rikastushiekka-aitaiden patorakenteisiin
- jätteen poisto pinta- tai pohjavesiin
- rikastushiekan hyötykäyttö esim. maatalouteen tai maarakennukseen.

Sivukivet läjitetään useasti sivukivikasoille. Seuraavissa kappaleissa on esiteltyinä läjitysmenetelmiä ja läjitettävien materiaalien tärkeitä ominaisuuksia.

5.1 Materiaalin leikkauslujuus

Materiaalien leikkauslujuudet ovat tärkeimpiä ominaisuuksia patojen ja sivukivikasojen suunnittelun kannalta (European Commission 2004, 69). Leikkauslujuuksien perusteella voidaan tarkastella patojen ja sivukivikasojen stabiiliteettia, kun se suhteutetaan rakenteeseen kohdistuviin jännityksiin.

Hyvin pienet vaihtelut leikkauslujuuksissa voivat aiheuttaa stabiliteettiongelmia ja vaarantaa näin rakenteiden turvallisuuden. Edellä mainittuihin muutoksiin voidaan varautua riittävän kattavalla näytteenotolla. (European Commission 2004, 69.)

5.2 Muita tärkeitä materiaaliominaisuuksia

Edellisessä luvussa mainitun leikkauslujuuden lisäksi materiaaleilla on muitakin tärkeitä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat patorakenteiden stabiliteetteihin ja itse leikkauslujuuteen. Näitä ominaisuuksia ovat (European Commission 2004, 70):

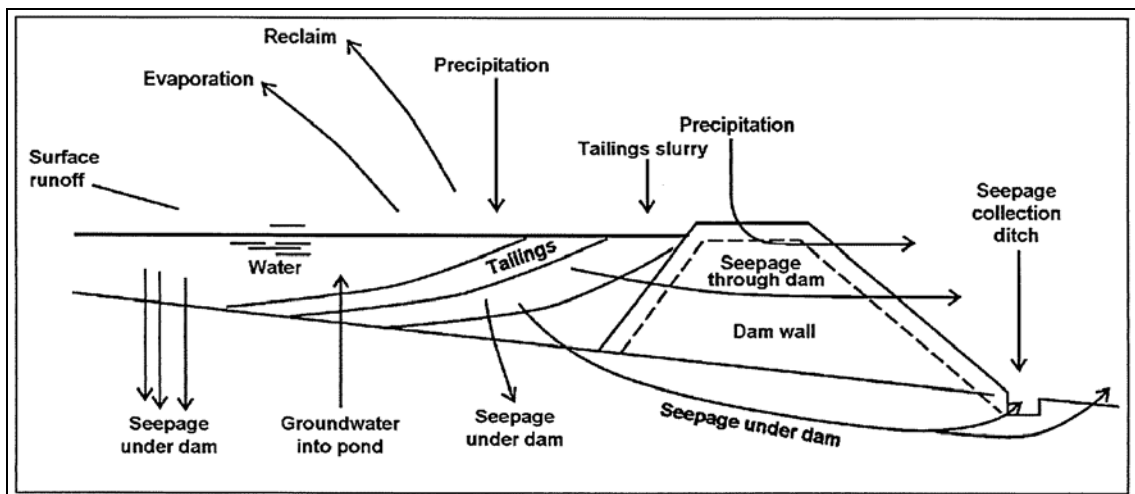
- partikkelikokojakaumat: vaikuttavat leikkauslujuuksiin
- tiheys
- plastisuus
- kosteuspitoisuus
- vedenläpäisevyys (m/s):
 - erittäin korkea vedenläpäisevyys $>1 \cdot 10^{-2}$
 - korkea vedenläpäisevyys $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-2}$
 - vettä läpäisevä $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$
 - matala vedenläpäisevyys $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-6}$
 - erittäin matala vedenläpäisevyys $<1 \cdot 10^{-8}$
- konsolidaatio: rikastushiekan laskeutuminen riippuu materiaalin konsolidaatio-ominaisuuksista
- huokoisuus.

5.3 Rikastushiekka-altaat ja niiden sijoittaminen

Rikastushiekka-altaat ovat maanpäällisiä rakenteita, joissa käsitellään pääasiassa märkäprosessissa syntyviä lietemäisiä jätteitä (European Commission 2004, 70). Yleensä rikastushiekka-altaille varastoitavan lietteen kiintoainepitoi-

suudet vaihtelevat 20–40 p-% välillä. Nordkalkin rikastushiekka-altaille pumpattavan lietteen kiintoainepitoisuus on noin 2 %.

Rikastushiekka-alueiden valinnassa pitää olla huolellinen, sillä suurimmassa osassa tapauksista rikastushiekkaa varastoidaan altailla pitkiä ajanjaksoja (European Commission 2004, 70). Paikan valinnan ja rikastushiekka-aitaiden rakenteiden pitää olla riittävän hyvin suojattuja. Rikastushiekka-alueisiin kohdistuu rasituksia muun muassa ulkoisesta eroosiosta johtuen. Samalla altaiden pitää kestää rikastushiekan, lietteen ja veden aiheuttamia kuormituksia, jotka saattavat saastuttaa ympäröiviä alueita, kuten pinta- ja pohjavesiä sekä ilmakehää (European Commission 2004, 70). Kuvassa 5.1 on havainnollistettu veden kiertokulku rikastushiekka-altailta ja patorakenteissa.



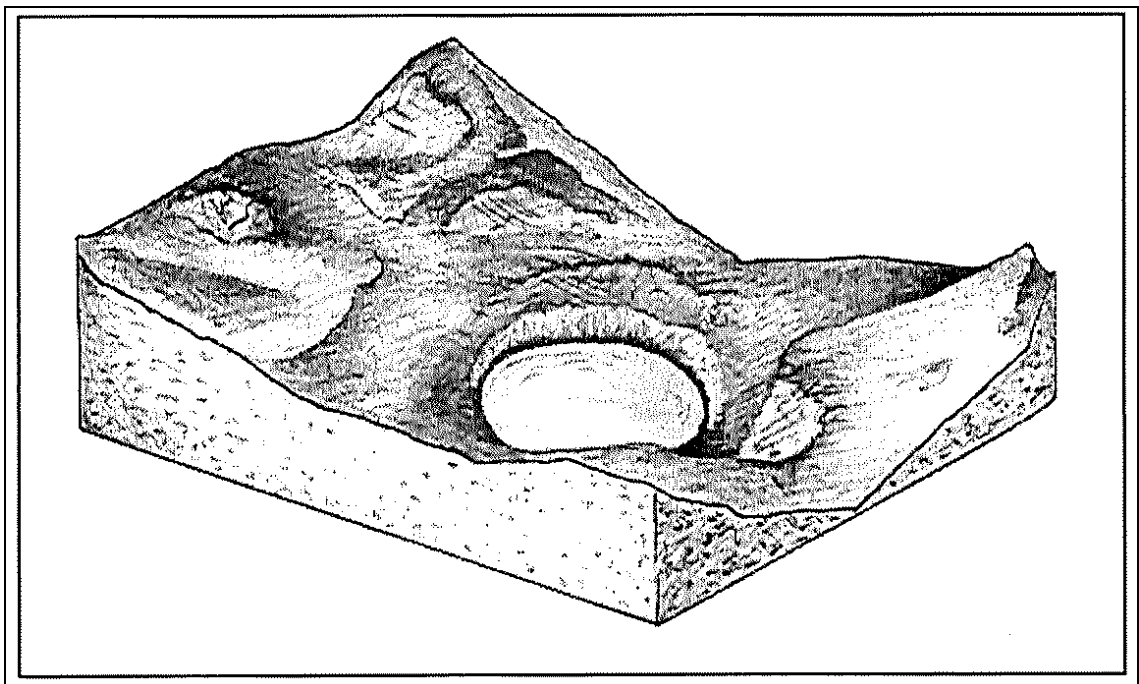
Kuva 5.1 Veden kiertokulku rikastushiekka-altalla (European Commission 2004, 70)

Rikastushiekka-alueelle lietteenä pumpattu jäte voi pysyä suspension muodossa tai lajittua nesteeksi ja kiintoaineeksi. Tämän takia altaiden rakenteella on pyrittävä turvaamaan rikastushiekan ja nesteen pysyminen halutulla alueella. Yleensä rikastushiekka alkaa laskeutua heti altaaseen pumppauksen jälkeen. Tästä johtuen rikastushiekka-altaat sisältävät varsinaisen rikastushiekan ja vapaan veden. Vapaa vesi voidaan palauttaa takaisin tehtaille prosessivedeksi, varastoida altailla tulevaisuutta varten tai purkaa pintavesiin. (European Commission 2004, 71.)

Varsinainen rikastushiekka-altaan sijoittaminen määräytyy hyvin pitkälti edellä käsiteltyjen asioiden sekä tietysti käytettävissä olevan tilan mukaan. Yleisesti käytettyjä maa-alueita rikastushiekka-altaille ovat (European Commission 2004, 71):

- luonnossa olemassa olevat kuopat
- laaksoalueet
- tasaiset maa-alueet.

Kuvassa 5.2 on havainnollistettuna rikastushiekka-alueen sijoittaminen olemassa olevaan kuoppaan. Rikastushiekka-altaita voidaan rakentaa esimerkiksi luonnon muovaamiin alueisiin ja käytöstä poistettuihin avolouhoksiin.



Kuva 5.2 Rikastushiekka-allas olemassa olevassa kuopassa (European Commission 2005, 71)

Rikastushiekka-alueen käyttöönotossa pitää myös huomioida seuraavia asioita (European Commission 2004, 73):

- lietteen toimitus rikastushiekka-alueelle rikastamolta

- tilanteeseen sopivat padot, jotka rajoittavat rikastushiekan ympäristöstä
- jätteiden poistaminen rikastushiekka-altaalta
- vapaan veden poistaminen
- ympäröivän alueen suojele ympäristöön kohdistuvilta iskuilta
- instrumentointi ja hälytysjärjestelmien asennus valvontaa varten
- pitkän aikavälin asiat, kuten esimerkiksi laitoksen sulkeminen ja jälkihoito.

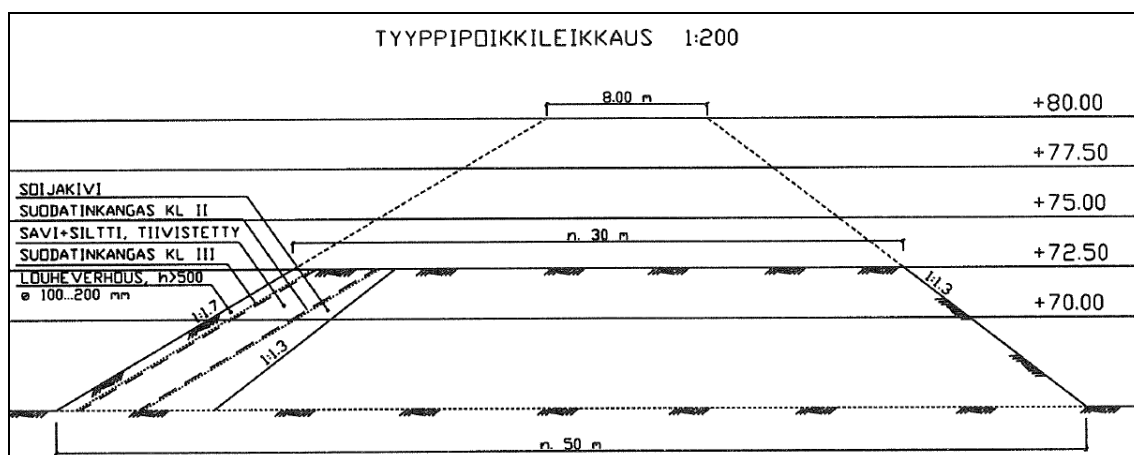
5.4 Patojen rakenteellinen jako ja patotyypit

Rikastushiekka-alueiden patojen rakentamiseen käytettävät rakennusmateriaalit ja rakentamistavat määräytyvät hyvin pitkälti saatavissa olevien materiaalien, kustannuksien, valitun alueen ja koko toiminnan perusteella. (Lukkarinen 1987, 354–355; European Commission 2004, 73).

Padon rakenne voidaan jakaa kolmeen selvästi erotettavaan osa-alueeseen (European Commission 2004, 74):

1. Etupenger (engl. upstream section) on padotun materiaalin puoleinen penger, jonka tehtävänä on rajoittaa padotun materiaalin pääsy ympäristöön kestävästi tämän aiheuttama eroosio.
2. Suodatinkerros (engl. middle section) sallii hallitun suotautumisen patorakenteen läpi niin, että em. kerros ei tukkeudu hienoista materiaaleista.
3. Tukipenger (engl. downstream section) takaa padon stabiliteetin ja sen on pysyttävä kuivana kaiken aikaa.

Joissakin tapauksissa rakennekerrosten väleihin on asennettava suodatinkankaita, mikäli patorakenteessa on riski voimakkaalle suotautumiselle ja tämän aiheuttamalle hienojen materiaalien liikkeelle (European Commission 2004, 74).



Kuva 5.3 Lappeenrannan kaivoksen rikastushiekka-alueen padon tyyppipoikkileikkaus

Patotyypit voidaan jakaa yleisesti kahteen pääryhmään, joissa molemmissa on kolme alaryhmää (European Commission 2004, 74):

1. Vettä läpäisemätön patorakenne

- tavanomainen patorakenne (engl. conventional dam)
- kerroksellinen patorakenne (engl. staged conventional dam)
- kerroksellinen patorakenne, jossa vedenläpäisevyydeltään matala etupenger (engl. staged dam with upstream low permeability zone)

2. Vettä läpäisevä patorakenne

- vähän vettä läpäisevästä rikastushiekasta tehty tiivistysosa (engl. dam with tailings low permeability core)
- rikastushiekasta rakennettu patorakenne (engl. dams with tailings in structural zone)
- etupenger, jonka rakentamisessa käytetty laskeutuvaa rikastushiekkaa (engl. upstream construction using beach or paddock).

Suomessa ja Pohjoismaissa on yleisesti käytössä homogeenisia maapatoja, pysty tai vinosydämellä varustettuja vyöhykepatoja, louhepatoja ja erilaisia betonipatoja. (Slunga 2004, 2.)

5.4.1 Homogeeninen maapato

Homogeenin maapato on useimmiten yhdestä materiaalista valmistettu patorakenne. Tällaiselle rakenteelle on ominaista sen yksinkertainen rakentaminen, tiivistäminen ja valvonta. Savea ja silttiä käytettäessä voi kuitenkin ilmaantua haasteita tiivistämisessä olosuhteista johtuen. Muita haittoja aiheuttavat padon suuret massat ja tukipenkereen vettyminen. (Slunga 2004, 2.)

5.4.2 Vyöhykepato

Vyöhykepadon rakenteessa on useita vedenläpäisevyydeltään erilaisia kerroksia ja erillisen tiivistysosan avulla estetään veden virtaus patorakenteen läpi. Tiivisteosa on yleensä maasta tai jostain muusta tekoaineesta, kuten betonista, teräksestä, asfaltista tai muovista, rakennettu pystysuora rakenne padon keskellä, tai vino rakenne padon yläveden puolella. (Slunga 2004, 3.)

Vyöhykepadoille on ominaista, että useita eri materiaaleja voidaan käyttää eri suhteissa saavuttamaan erilaisia ominaisuuksia. Karkeat raeluokat esimerkiksi pienentävät padon kokonaistilavuutta, koska näiden avulla voidaan rakentaa jyrkempiä luiskia. Hienoilla materiaaleilla vastaavasti saavutetaan pienempiä vedenläpäisevyyksiä. (Slunga 2004, 3.)

Vyöhykepadon yhtenä etuna (mts.) on se, että poikkileikkaus voidaan suunnitella sellaiseksi, että patoa pystytään rakentamaan eri vuodenaikoina. Haasteita vyöhykepadoissa aiheuttavat erilaisten materiaalien käyttö valvonnan ja rakentamisen hankaloitumisena. Lisäksi toistensa kanssa kosketuksiin tulevien erilaisten materiaalien suodatinkriteerit (mts.) voivat jäädä liian alhaiselle tasolle ja näitä on paranneltava ylimääräisillä massojen käsittelyillä. Erilaiset materiaalien ominaisuudet voivat aiheuttaa myös muodonmuutoksiin liittyviä haasteita.

5.4.3 Louhepato

Louhepadon rakennusmateriaalina toimii pääasiassa hyvin vettä läpäisevä louhe tai luonnonkivi. Louhepadossa voidaan tehdä tiivistysosa samalla tavalla kuin vyöhykepadossa tekoaineesta. Tämän takia joitakin louhepatoja voidaan ajatella myös eräänlaisina vyöhykepatoina. (Slunga 2004, 3.)

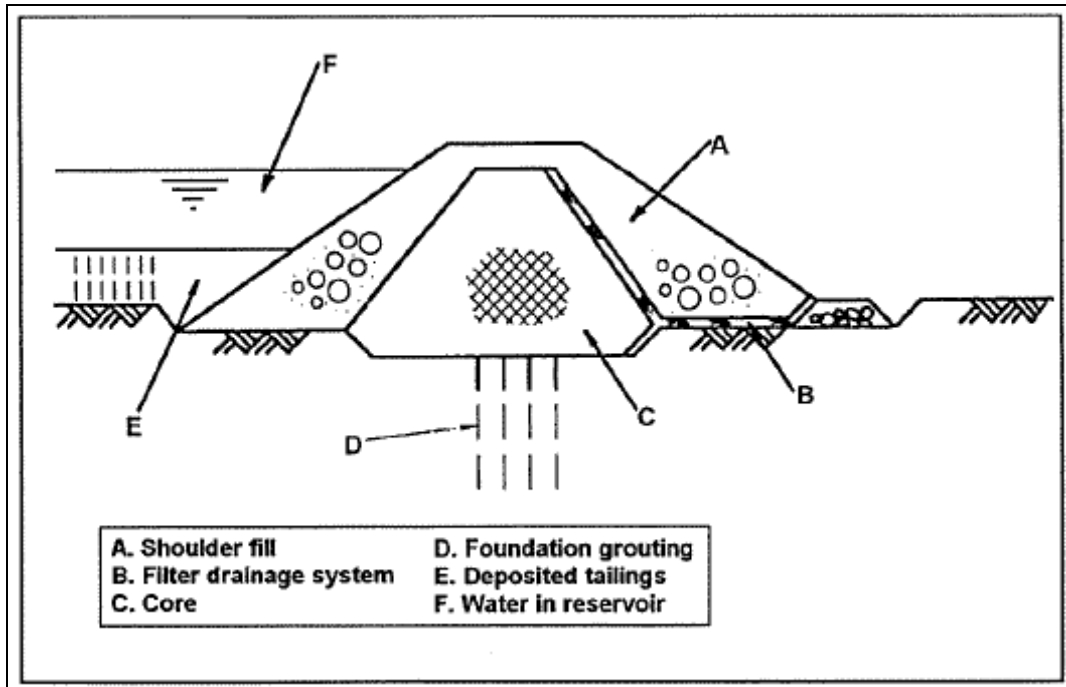
Louhepatojen rakentamisen ajankohta on huomattavasti muita patoja joustavampi. Louhepatoja voidaan myös rakentaa (mts.) talvella, kunhan vain huolehditaan siitä, että louheen sekaan ei jää lunta eikä jäätä. Talvella rakentamisen ainut este on pohjan tiivistysosan tekeminen, joka joudutaan yleensä rakentamaan sulana vuodenaikana. Louhepatojen rakentamisessa on huomioitava (mts.) myös pohjarakentaminen toisella tavalla: louhepatojen massa on huomattavasti suurempi kuin muiden vastaavan kokoisten edellä mainittujen patojen. Rakenteensa puolesta louhepadot voidaan tehdä myös kestäväksi ylivirtauksia. (Slunga 2004, 3.)

5.4.4 Tavanomainen patorakenne

Tavanomaisella patorakenteella (engl. conventional dam) (European Commission 2004, 75) tarkoitetaan patoa, joka rakennetaan ennen rikastushiekka-altaan käyttöönottoa. Tällaisessa patorakenteessa on hyvin havaittavissa kappaleessa 5.4 mainitut kolme perusosaa.

Tavanomaisen patorakenteen toimintaperiaate tähtää siihen, että varastoitava rikastushiekka ja vesi pysyvät hallinnassa padon käyttöönotosta aina laitoksen tai kyseisen alueen loppuun asti, eli koko toiminnan elinkaaren. (European Commission 2004, 75.)

Kuvassa 5.4 on lueteltuina tavanomaisen patorakenteen tärkeimmät rakenneosat. Padon rakenteisiin kuuluvat mm: rungon verhous (A, engl. shoulder fill), vedenpoistojärjestelmä (B, engl. filter drainage system), runko-osa (C, engl. core).

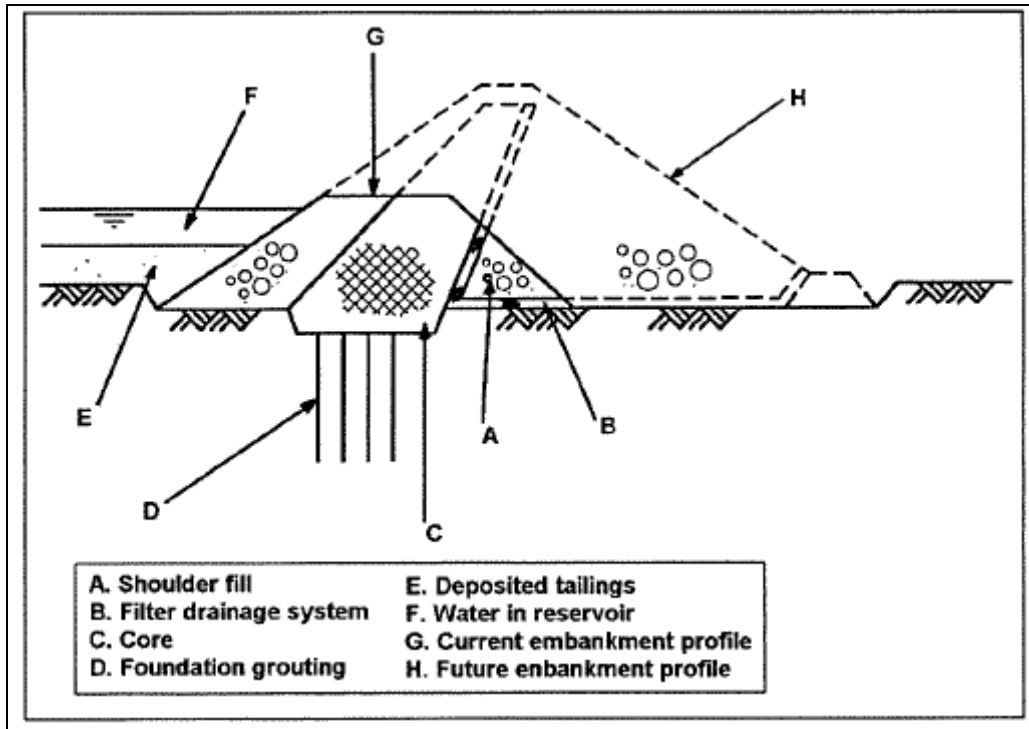


Kuva 5.4 Tavanomainen patorakenne (European Commission 2004, 75)

5.4.5 Kerroksellinen patorakenne

Tavanomainen patorakenne, joka rakennetaan kerroksittain rikastushiekaltaan laajennustarpeen mukaan (engl. staged conventional dam), tähtää kustannusten pienentämiseen padon rakennuksen aloitusvaiheessa ja kustannusten jakautumiseen tasaisemmin koko altaan elinkaaren ajalle. (European Commission 2004, 75.)

Kuvassa 5.5 on havainnollistettu edellä mainitun patorakenteen korotussuunnitelma. Pato rakennetaan samanlaisella periaatteella, kuin tavanomainen patorakenne (European Commission 2004, 75). Padon korottamisen kannalta on huomioitava tiivistysosan sijoittuminen leikkauspiirustuksessa. Tiivistysosan tulee jatkua myös korotettavan padon rakenteissa.

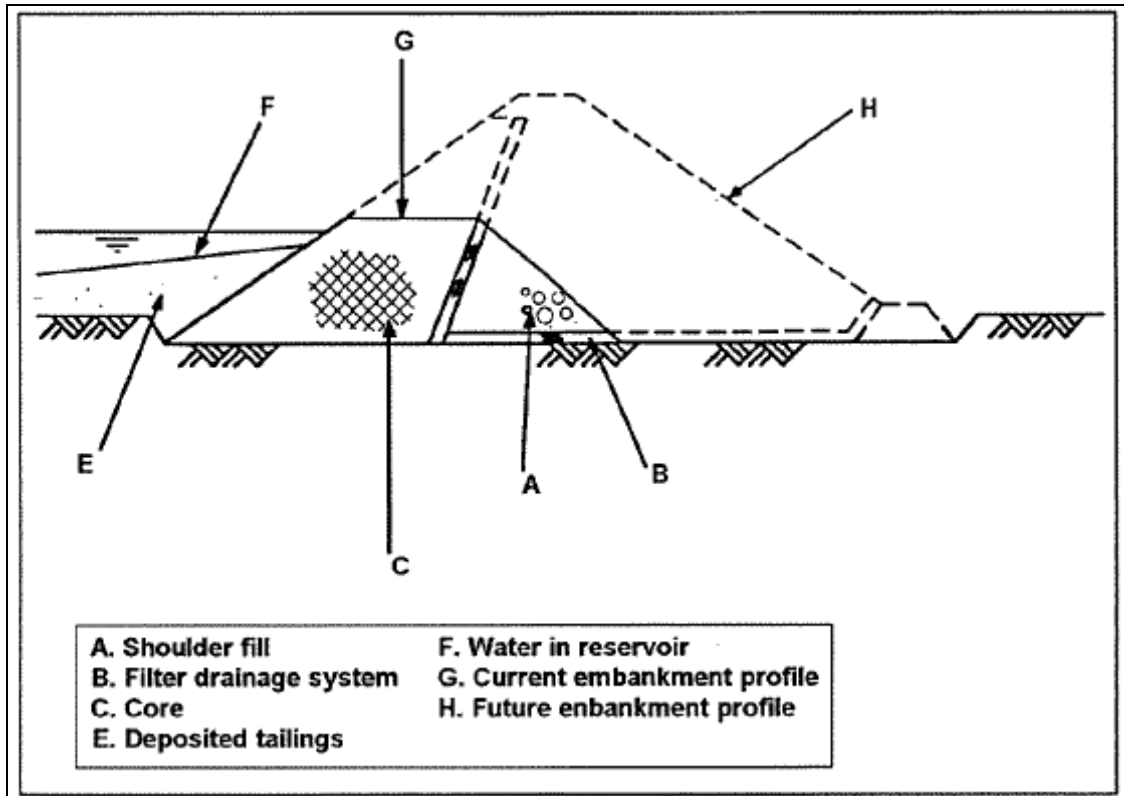


Kuva 5.5 Kerroksellinen patorakenne (European Comission 2004, 75)

5.4.6 Kerroksellinen patorakenne, jossa vedenläpäisevyydeltään matala etupenger

Jos rikastushiekka on lähellä vedenpintaa tai sen yläpuolella, etupenger voi olla rakennettu vedenläpäisevyydeltään matalasta materiaalista. Tämä on mahdollista siksi, että rikastushiekka suojaa etupengertä eroosiolta, jota aiheuttavaa muun muassa veden pinnan aaltoilu. (European Comission 2004, 76.)

Kuvassa 5.6 on havainnollistettu patorakenne, jossa on käytetty vedenläpäisevyydeltään matalaa etupengertä.



Kuva 5.6 Kerroksellinen patorakenne, jossa vedenläpäisevyydeltään matala etupenger (European Commission, 76)

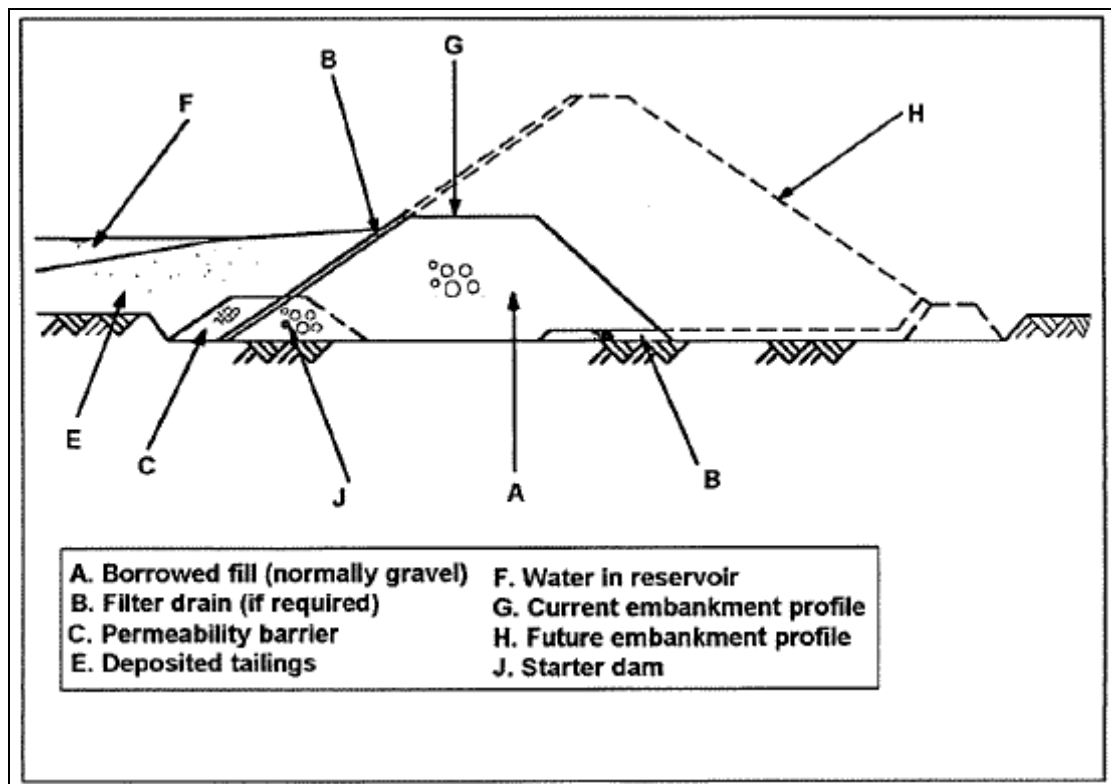
5.4.7 Vettä läpäisevästä rikastushiekasta tehty tiivistysosa

Kun liete ohjataan patorakenteen päältä rikastushiekka-altaaseen, saattaa padon etupenkereen viereen muodostua patja (engl. beach) laskeutuneesta rikastushiekasta. Tällaisessa tapauksessa laskeutunut rikastushiekkapatja voi itsessään muodostaa patorakenteeseen vähemmän vettä läpäisevän osan. (European Commission 2004, 76.)

Patorakenteen, jossa rikastushiekkaa käytetään tällä tavoin tiivistykseen, rakentaminen on mahdollista vain, mikäli veden pinta pysyy varmuudella laskeutuneen rikastushiekan yläpinnan alapuolella. Kyseisen patorakenteen toimivuuden takaamiseksi on käytettävä aina jonkinlaista valvontajärjestelmää.

Jatkuvan valvonnan lisäksi edellä mainittuun patorakenteeseen pitää rakentaa vettä läpäisemätön muuri (Kuvassa 5.7 kohta C, permeability barrier), joka huo-

lehtii padon tiivistämisestä ennen kuin rikastushiekka on saavuttanut tarpeeksi korkean tason. (European Comission 2004, 76.)



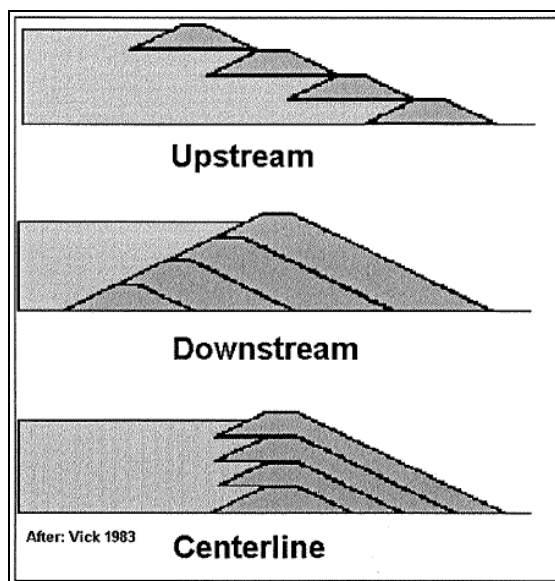
Kuva 5.7 Vähän vettä läpäisevästä rikastushiekasta tehty tiivistysosa (European Comission 2004, 76)

5.4.8 Rikastushiekasta rakennettu patorakenne

Rikastushiekkaa voidaan käyttää paitsi padon tiivistysosissa, myös itse rungon rakentamisessa (Lukkarinen 1987, 356; European Comission 2004, 77). Rikastushiekan hyödyntäminen patorakenteisiin suoraan rakennusvaiheessa vaatii tuotannosta tulevan lietteen ja partikkelien luokituksen. Patorakenteen päälle asennetaan useita hydrosykloneja, joiden avulla luokitus tapahtuu. Karkeat rae- luokat käytetään varsinaisen padon rungon valmistamiseen, kun taas hienot rae- luokat muodostavat etupenkereen puolelle tiivistävän kerroksen. (European Comission 2004, 76.)

Rikastushiekasta rakennetun padon työtapoja on kolme erilaista (Lukkarinen 1987, 256–357; European Commission 2004, 77): padon korkeuden kasvatus vastavirtamenetelmällä (engl. upstream method) ja myötävirtamenetelmällä (engl. downstream method) sekä korkeuden kasvatus padon keskilinjan mukaisesti (engl. centerline method) (tms.). Näillä työmenetelmillä patoa voidaan korottaa jaksottain pienentäen aloitusvaiheen kustannuksia.

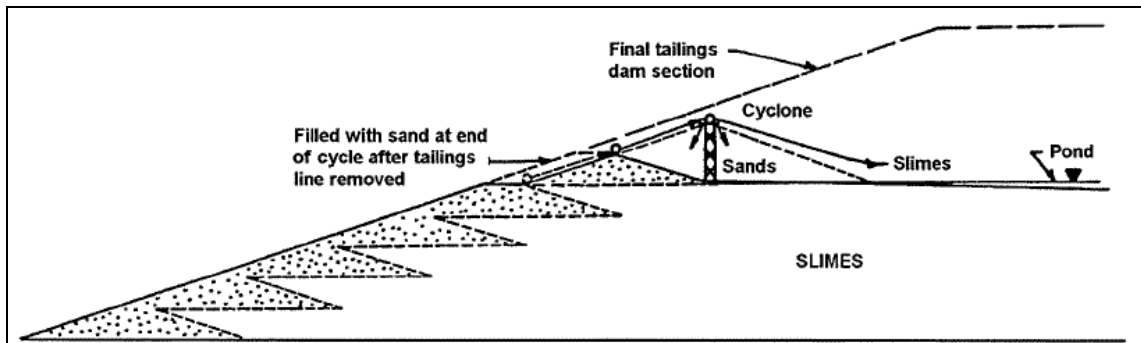
Kuvassa 5.8 on havainnollistettu rikastushiekasta rakennetun padon korotustapoja ja mahdollisuuksia.



Kuva 5.8 Rikastushiekasta rakennetun padon korotustavat (European Commission 2004, 78)

5.4.8.1 Padon korotus vastavirtamenetelmällä

Korotettaessa patoja vastavirtamenetelmällä (engl. upstream method), saavutetaan karkeiden raeluokkien suhteen edullisin tilanne, sillä ulkoreunaan muodostuu ainoastaan ohut kerros karkeita raeluokkia. Kuva 5.9 havainnollistaa tilannetta paremmin. (European Commission 2004, 78.)



Kuva 5.9 Karkean raeluokan käyttö padon rakentamisessa (European Commission 2004, 78)

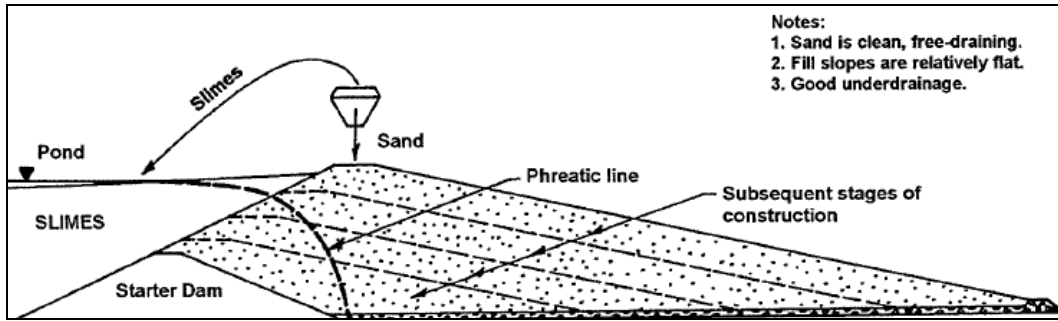
Kuva 5.9 eroaa edellä esitetystä esimerkistä (kuva 5.8) siinä, että pato rakennetaan osittain käyttäen täyttömateriaalina hiekkaa kohdissa, joihin karkeat raeluokat eivät muuten päädy luokituksen aikana (tms.).

Haasteena tällaisella rakenteella on ollut lähinnä riittävän stabiiliteetin saavuttaminen ja patorakenteeseen joutuvan veden hallinta. Rikastushiekasta valmistetun padon haittatekijänä voi myös olla rikastushiekasta ympäristöön pääsevät mahdolliset haitalliset aineet. Esimerkiksi rikastushiekkaa, josta on mahdollista liueta liian suuria pitoisuuksia happamia päästöjä ympäristöön, ei saa kyseisessä tapauksessa käyttää. (European Commission 2004, 79.)

5.4.8.2 Padon korotus myötävirtamenetelmällä

Hydrosyklonilla luokitellut karkeat raeluokat voidaan hyödyntää osittain tai kokonaan padon rungossa (European Commission 2004, 79). Hydrosyklonien oikeanlainen mitoittaminen ja asettaminen aloituspadon päälle mahdollistavat karkeiden raeluokkien ohjaamisen padon tukipenkereen puolelle (engl. downstream method) (tms.).

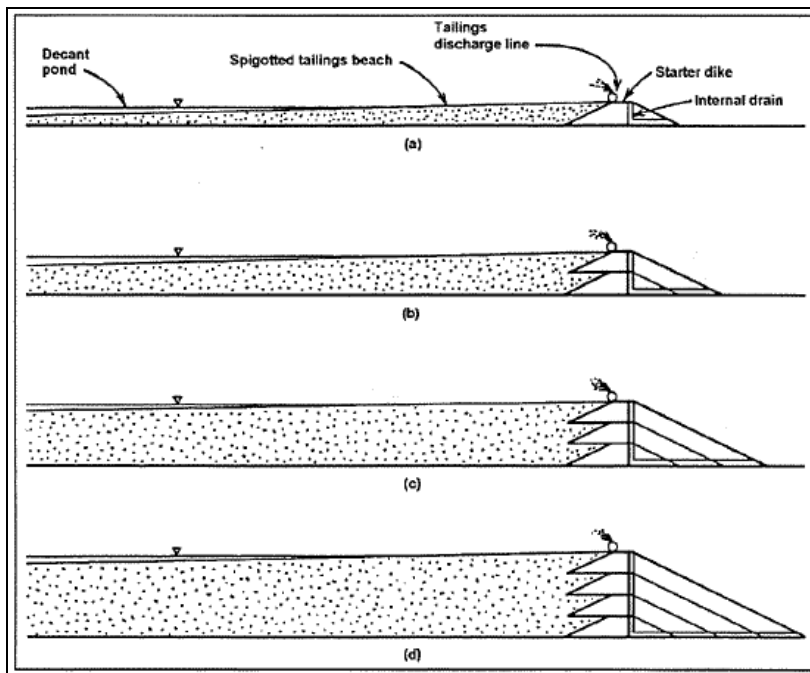
Karkeiden raeluokkien läjitys padon tukipenkereeseen kasvattaa kuvan 5.10 mukaisesti rikastushiekka-altaan pinta-alaa tukipenkereen suuntaisesti. Korotus vaatii myös kohtuullisen suuria määriä karkeita raeluokkia onnistuakseen (tms.).



Kuva 5.10 Padon korotus tukipenkereen puolelle (European Commission 2004, 79)

5.4.8.3 Padon korotus keskilinjan mukaisesti

Edellä mainittujen menetelmien vaihtoehtoisena padon rakennusmenetelmänä voidaan käyttää padon korotusta keskilinjan mukaan (engl. centerline method). Käyttämällä keskilinjan mukaista korotusta luokiteltu hienoaines muodostaa etupenkereen puolelle tiivistyskerroksen (Kuva 5.11). Tämä on mahdollista, koska padon koron kasvaessa karkeat raeluokat tukevat samalla muodostuvaa etupengertä. (European Commission 2004, 79.)



Kuva 5.11 Padon korotus keskilinjan mukaisesti (European Commission 2004, 79)

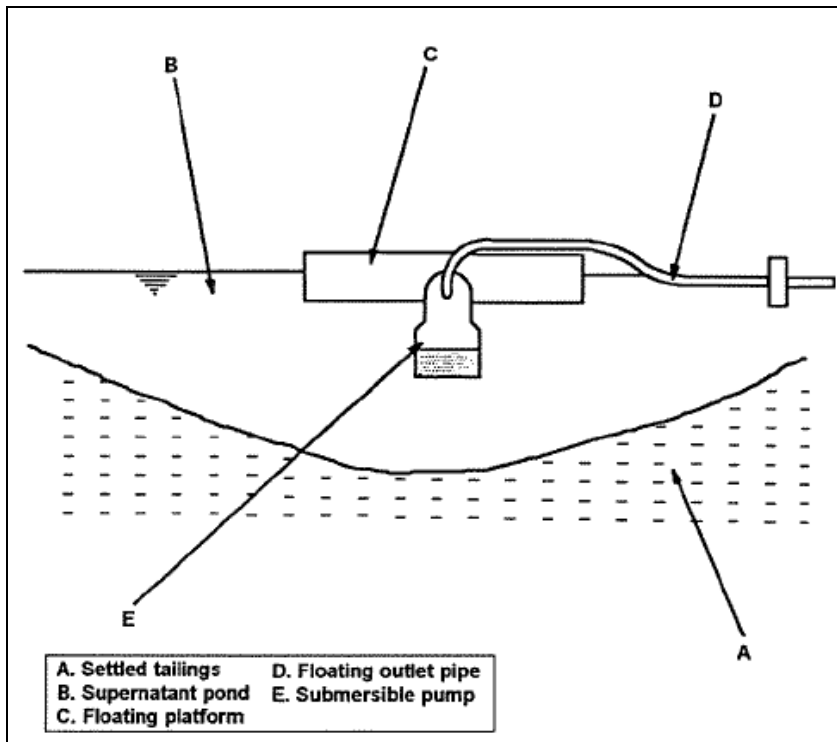
5.5 Vapaan veden poistaminen

Patoturvallisuuden kannalta vapaan veden pinta pyritään pitämään mahdollisimman alhaalla. Tämä ei ole kuitenkaan riittävä pohjatieto vapaan veden poiston suunnitteluun, vaan huomioon on otettava myös muita asioita, kuten esimerkiksi riittävä laskeutumisaika partikkeleille sekä tarpeeksi pitkä viipymäaika kemikaalien hajoamiselle. Joissakin tapauksissa rikastushiekkaa voidaan pitää veden pinnan alapuolella pölyämisen estämiseksi.

Vedenpinnan korkeuden ja muiden huomioon otettavien asioiden optimoimiseksi voidaan tarvita erillistä allasosaa, jota kutsutaan selkeytysaltaaksi (European Commission 2004, 81). Kaikkein hienoimmilla partikkeleilla on aikaa laskeutua selkeytysaltaan puolella, jossa on suurin osa rikastushiekka-aitaiden vedestä. Näin ollen altaasta, jossa pääasiassa on kaikki rikastushiekka, voidaan vedenpinta laskea riittävän alas.

Vapaan veden poistamisen järjestämisen tärkein edellytys on rakentaa jonkinlainen vedenpintaa säätelevä menetelmä. Käytössä olevia menetelmiä ovat pumppaus ja dekantointi (European Commission, 81). Joissakin tapauksissa näiden lisäksi on patorakenteisiin tehty juokutusjärjestelmä, jolla voidaan hallita nopeasti vedenpinnan tasoa, mikäli muu käytössä oleva vedenpoistojärjestelmä ei toimi (European Commission 2004, 83).

Kuvassa 5.12 on esimerkki pumppausjärjestelystä, jonka tarkoituksena on poistaa vapaa vesi rikastushiekka-aitailta. Kuvan pumppausjärjestelyssä laskeutunut rikastushiekka sijaitsee patojen vieressä ja antaa suojan eroosiota vastaan. Vapaa vesi poistetaan rikastushiekka-aitaan keskeltä (ks. Luku 9.3).

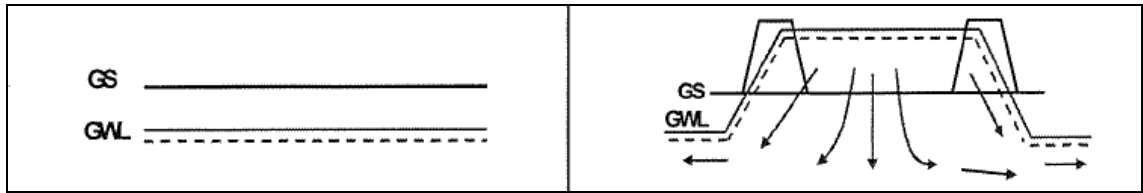


Kuva 5.12 Esimerkkikuva pumppausjärjestelystä (European Commission 2004, 82)

5.6 Suotautuminen

Luvussa 5.3 on painotettu rikastushiekka-alueen ja rakenteen valinnan tärkeyttä perustellen asiaa ympäristöön vapautuvien päästöjen kannalta. Kuvassa 5.1 on esitetty rikastushiekka-alueilla tapahtuva vedenkiertokulku. Kuvassa toistuu useasti maininta suotautumisesta (engl. seepage flow), joka on yksi tärkeimmistä toimintaan ja turvallisuuteen vaikuttavista asioista (European Commission 2004, 83).

Rikastushiekka-altaan rakentaminen vaikuttaa aina pohjaveden virtauksiin, kuten kuvassa 5.13 on esitetty. Virtauksien muuttuminen johtuu alueelle syntyvästä hydraulisesta gradientista (European Commission 2004, 83), joka kuvaa veden virtausnopeutta tietyn pinta-alan läpi. Rikastushiekka-altaassa oleva vesi kasvattaa hydraulista gradienttia, joka saa pohjaveden virtaamaan sille suotuisampaan suuntaan: kohti pienempää energiatasoa (Karvonen 2004, 13).



Kuva 5.13 Tasaiseen maastoon rakennetun rikastushiekka-altaan aiheuttama suotoveden virtaus (European Commission 2004, 83)

Kuvan 5.13 esimerkki on hyvin pelkistetty ja todellisuudessa virtauksiin vaikuttaa useita eri tekijöitä (European Commission 2004, 84):

- padon ominaisuudet
- vedenpinnan taso
- pohjarakenteiden vedenläpäisevyys
- eri maakerrokset
- alkuperäinen pohjaveden virtaus.

Suotautumista voidaan estää kaikkein tehokkaimmin sopivan rikastushiekka-altaan sijoituspaikan etsimisellä (European Commission 2004, 367). Vaihtoehtoisesti rikastushiekka-altaan rakenteissa voidaan käyttää vähän vettä läpäiseviä materiaaleja, kuten esimerkiksi savea, jonka vedenläpäisevyys on $<10^{-8}$ m/s.

Mikäli suotautumista ei saada täysin estettyä, voidaan apuna käyttää esimerkiksi rikastushiekka-aitaiden ulkopuolella suotovesikaivoja- ja oja (European Commission 2004, 370). Suotovesikaivoissa on yleensä valvontajärjestelmä, jolla voidaan tarkkailla suotovesien määrää. Lisäksi kaivoissa on jonkinlainen palautusjärjestelmä, jolla suotautuneet vedet voidaan pumpata takaisin rikastushiekka-altaaseen tai jatkokäsittelyyn.

Liitteessä 2 on kuvattu Nordkalkin Lappeenrannan rikastushiekka-aitaiden suotovesikaivojen ja pumppaamoiden sijoittelu. Rikastushiekka-alueella on yhteensä neljä suotovesikaivoa, joilla hallitaan suotautuvia vesiä ja hälytetään mahdollisesta patovuodosta, mikäli veden pinta ylittää sille asetetun raja-arvon pinnanmittauksessa.

5.7 Mitoitustulva

Suurimpien patorakenteiden ongelmana on yleensä ollut ylivirtaukset. Padon käytön aikana tulisi huomioida tietyn ajanjakson aikana ilmenevät tulvia aiheuttavat rankkasateet. Ylivirtauksesta johtuvien murtumien aiheuttavia tulvia tarkastellaan patoluokittain, esimerkiksi 1-luokan padoille käytetään 5000–10000 vuoden aikana toistuvan mitoitusluvun toistuvuutta. (Laasonen 2004, 1.)

Tulvista aiheutuvat virtaamat johdetaan tätä tarkoitusta varten rakennettujen aukkojen läpi (Laasonen 2004, 1).

6 PATOVAURIOIT

Patovauriot ja niitä aiheuttavat asiat voidaan jakaa kolmeen ryhmään (Leskelä 2004, 51): ulkoinen eroosio, sisäinen eroosio ja liukusortumat. Yleensä patovauriotapauksissa pelkästään yksi edellä mainituista asioista ei itsessään aiheuta vauriota (Saarela 2005, 18). Vauriot syntyvät eri asioiden summasta ja niiden yhteensattuvuudesta.

Tässä luvussa tarkastellaan patovaurioita aiheuttavia asioita tarkemmin sekä tarkastellaan eri mahdollisuuksia niiden välttämiseksi.

6.1 Maapatojen vauriotyypit ja niiden todennäköisyydet

6.1.1 Ulkoinen eroosio

Ulkoista eroosiota aiheuttavat tuuli ja vesi. Veden virtauksesta muodostuva aallokkoeroosio voi rikkoa patorakenteita riittämättömän luiskaverhouksen takia (Leskelä 2004, 52). Aallokkoeroosiosta aiheutuvia vaurioita voidaan estää parantamalla luiskaverhoususta. Lisäksi patorakenteiden ulko-osiin kohdistuvaa eroosiota voidaan vähentää esimerkiksi istutuksilla. Muita mahdollisia menetel-

miä ovat veden virtauksen pysäyttäminen, veden virtausreittien täyttäminen sekä kuivatusjärjestelmien rakentaminen (Saarela 2005, 18).

Tuulesta aiheutuva eroosio on hyvin harvoin, jos ollenkaan, pääasiallinen patovaurioita aiheuttava eroosion muoto. Tuulieroosio aiheuttaa patovaurioita vain välillisesti, mikäli se edesauttaa vesieroosion muodostumista. Tuuli voi muokata pintakuivatusjärjestelmien rakenteita. Tällaisessa tapauksessa tuuli muodostaa poikkeavia reittejä veden virtauksille. Uusia virtausreittejä vedelle voi syntyä myös silloin, kun tuuli kuljettaa materiaaleja, jotka tukkivat paikallisia kuivatusoja. (Saarela 2005, 18.)

6.1.2 Sisäinen eroosio

Patorakenteiden sisäiseksi eroosioksi luokitellaan tiivistysoosassa ja pohjamaassa tapahtuvat rakenteiden kulumiset (Leskelä 2004, 52). Sisäisen eroosion aiheuttaa veden virtaus patorakenteessa ja sen muodostama vuotokanava. Virtaava vesi kuljettaa materiaaleja vuotokanavassa ja kuluttaa padon rakenteita. Sisäinen eroosio etenee yleensä erittäin nopeasti ja sen estämiseksi on ryhdyttävä nopeisiin toimenpiteisiin (Saarela 2005, 18).

Sisäistä eroosiota voidaan estää tehokkaalla suodatusrakenteella. Sisäisen eroosion korjaavia toimenpiteitä ovat muun muassa tiivistysoosan halkeamisherkkyuden pienentäminen, vuotopaikkojen suodatuksen parantaminen sekä riittävien kuivatusjärjestelmien rakentaminen (Leskelä 2004, 52). Patoa voidaan myös tukea louheella tukipenkereen puolelta (Saarela 2005, 18). Patorakenteiden saumakohdat ovat erityisen herkkiä sisäiselle eroosiolle ja näihin tulisi kiinnittää erityistä huomiota (Leskelä 2004, 52).

6.1.3 Liukusortuma

Tyypillisiä syitä liukusortuman syntymiseen ovat korkea huokosvedenpaine, heikko perustus tai soveltumattomat pengermateriaalit. Liukusortumaa ei kui-

tenkaan pidetä mitenkään yleisenä vauriotyyppinä, sillä jätepadot rakennetaan useasti loiviksi ja luiskissa käytetään materiaaleja, joilla on suuret leikkauslujuudet. (Saarela 2005, 19.)

Liukusortumaa voidaan estää rakentamalla tukipenkereitä, parantamalla kuivatusjärjestelmiä (Leskelä 2004, 52) tai loiventamalla luiskia (Saarela 2005, 19). Luiskan loivennus toteutetaan yleensä välialueen avulla, jonka ansiosta luiskan keskimääräinen kaltevuus pienenee.

6.1.4 Luiskien valuminen ja sortumat

Yleisin patovauriotyyppi on luiskien valuminen, joka tapahtuu vähitellen. Valumisen käynnistäjänä on yleensä suotoveden pinnan nousu. Tämäkään ei välttämättä itsessään aiheuta vauriota, vaan useimmissa tapauksissa patorakenteen alaosassa on havaittu puutteellisia vedenpoistojärjestelyjä. Veden jääminen patorakenteeseen nostaa huokosvedenpainetta. Huokosvedenpaine aiheuttaa vastaavasti lujuuden heikkenemisen tai sisäisen eroosion syntymisen. (Saarela 2005, 20.)

Ratkaisuna suotautumiseen ja valumisongelmiin voidaan pitää seuraavia toimenpiteitä (Saarela 2005, 20):

- ei läjitetä uutta jätettä rikastushiekka-alueelle
- alkuperäisen luiskan korjaus ja tasoitus
- riittävien kuivatusjärjestelmien asennus (esim. salaojat)
- suodatinkankaan asennus ja painopenkereen rakennus
- luiskan suojaus pintaeroosiota vastaan
- leveän tukiosan rakentaminen vuotokohtaan (sora)
- kapean tukiosan rakentaminen vuotokohtaan (louhe).

Patovaurion korjaaminen saatetaan joutua tekemään kaksivaiheisena toimenpiteenä: välitön korjaus ja pysyvä korjaus (Saarela 2005, 22). Välittömällä korjauksella voidaan reagoida nopeasti vaurioon ja estää mahdolliset muut ongel-

mat. Välitön korjaus voidaan tehdä esimerkiksi siirtämällä patorakennetta altaan sisäosaa kohti tai rakentamalla työpato, jonka jälkeen on mahdollista aloittaa pysyvä korjaus.

Pysyvän korjauksen ideana on se, että pato jää alkuperäiselle paikalleen (Saarela 2005, 22).

6.1.5 Vaurioiden todennäköisyydet

Penmanin ja Milliganin (1993) (Leskelä 2004, 55) mukaan patovaurion todennäköisyys pienenee padon rakennusvaiheesta ja käyttöönotosta alkaen. Ennen 1900-lukua rakennettujen patojen ja nykyaikaisten patojen välillä on huomattava ero.

Suomessa patovaurion synnyn todennäköisyytenä voidaan pitää 1/10 000 (Leskelä 2004, 55). Jos tätä todennäköisyyttä sovelletaan Suomen 500 suurimpaan (tms.) patoon, tapahtuisi vakavampi patovaurio vähintään kerran kahdessakymmenessä vuodessa. Lähivuosien aikana vakavien patovaurioiden taajuus on ollut kuitenkin paljon tiheämpi: vaurioita on sattunut peräti 4 vuoden välein (tms.). Edellä mainittua todennäköisyyttä ei voida soveltaa kuitenkaan jätepatoihin, joissa vaurioiden ilmeneminen näyttäisi olevan 10-kertaista (Hustrulid & McCarter & Van Zyl 2000, 365).

6.2 Patovauriot ja toimenpiteet, Nordkalk Oyj Abp Lappeenranta

Alla luetellut tiedot patovaurioista ovat rikastamon rikastushiekka-altaiden patoturvallisuuskansiosta nro. 1.

Ensimmäinen patovaurio rikastushiekka-altailla havaittiin vuoden 1992 lopulla. Padon taustassa oli esillä vuotopisteitä, joita päätettiin seurata seuraavan talven aikana ja tehdä tarvittavat korjaukset keväällä 1993. Normaalin tarkastuskierroksen aikana 30.4.1993 padon vedenpinnan havaittiin laskeneen. Tämän ve-

denpinnan laskua seuranneen tarkastuskierroksen aikana löydettiin vuotokohta vanhan ja uuden padon liitoksessa sekä padon altaan puoleisella harjalla isoja vajoamia. Vedenpinnan laskun perusteella arvioitu vuotavan veden määrä oli noin 5 000–10 000 m³. Korjaustoimet aloitettiin välittömästi kaivamalla patorakenteeseen syntyneet onkalot esiin. Onkalot täytettiin soijakivellä (0–25 mm) ja padon sisäpuoleinen rakenne maatilakalkilla (lähes savimainen materiaali). Maatilakalkin päälle ajettiin lisäksi sepeliä (0–35 mm) suojaksi vesieroosiolta ja painoksi. Rikastushiekan pumppauspaikka muutettiin vuotokohdan päälle ja näin saatiin rikastushiekasta tiivistävä kerros vuotoalueelle.

Syksyllä 1997 käyttöönotetussa padossa havaittiin kaksi vauriotapausta joulukuun 1997 aikana. 11.12.1997 uuden ja vanhan patorakenteen tiivistyskerrosten risteyksessä havaittiin noin 5 m² ja 15 m³ kokoinen vajoama. Korjaustoimenpiteenä vajoaman ympäriltä poistettiin kaikki jäinen maa-aines ja asennettiin uusi suodatinkangas. Tämän jälkeen vajoama täytettiin kuivalla jäävapaalla savella. Lähellä vajoamaa todettiin pieni vuoto 22.12.1997, jonka arveltiin johtuvan tiivistykseen käytetyn märän saven kuivumisesta. Vuotokohta korjattiin uudella tiivistysmateriaalilla (sula savi), soijakivellä ja louheella.

27.7.1998 rikastushiekka-altailla havaittiin lietevuoto. Lisätarkastukset osoittivat, että vuoto on ensimmäistä havaintoa suurempi ja niinpä toimenpiteisiin ryhdyttiin välittömästi. Korjaustoimenpiteenä vuotokohtaan ajettiin soijakiveä ja samaan nurkkaan purkavia rikastushiekkaputkia jatkettiin noin 10 metriä altaaseen päin. Varsinainen vuotokohta sijaitsi allasalueen luoteis- ja lounaisreunojen kulmauksessa sellaisessa paikassa, jossa ei ollut käytetty samanlaista patorakennetta kuin aikaisemmin.

Vuoden 2005 aikana sattui kaksi patovuotoa. Ensimmäinen vuoto havaittiin alkuvuodesta viimeisimmän rikastushiekka-altaan Toikansuon kaatopaikan puoleisessa padossa. Patovuodon syyksi todettiin riittämätön tiivistys, joka johtui siitä, että tiivistys ja altaan täyttö tehtiin pakkasten aikaan. Lisäksi vuodon syynä pidettiin riittämätöntä tiivistyskerrosta ja alimman suodatinkankaan pettämistä, jolloin savi ja louhe sekoittuivat keskenään. Toinen vuoto sattui 6.7.2005 saman padon Toikansuon kaatopaikan puoleisessa kulmassa täyttövaiheessa. Tässä

tapauksessa patovuoto eteni louherungon sisällä kohti paloharjoittelualuetta ja purkautui suotovesikaivo 4 lähetyvillä. Korjausta varten altaaseen rakennettiin välipato, jonka taakse pystytettiin pumppaamaan vesi viallisen padon vierestä. Vuotokohdassa havaittiin savessa leikkauma ja lisäksi saven ja louheen sekoitumista, kuten aikaisemmassa tapauksessa. Korjausvaiheessa uusittiin suodatinkankaat tiivistyskerroksen ylä- sekä alapuolelta ja tehtiin tarvittavat paikkaukset savella ja louheella.

18.9.2006 rikastamonhoitaja havaitsi patovuodon lähellä suotovesipumppaamo (pumppu 1). Pumppausjärjestelyiden uudelleen koordinointi alkoi välittömästi, jotta altaasta saatiin vedenpinta laskemaan. Patorakenteesta löytyi painauma vedenpinnan laskiessa. Avattaessa vioittunutta pato-osuutta, suodatinkankaan alta löydettiin kivi, joka oli aiheuttanut mitä todennäköisimmin epäjatkuuskohdan suodatinkankaaseen. Vioittunut alue puhdistettiin huolellisesti kivistä ja täytettiin uudelleen savella, suodatinkankaalla sekä verhouskivellä.

14.5.2007 rikastamonhoitaja huomasi uudella patoalueella vuodon. Vuoto oli sen verran suuri, että suotovesipumppu ei pystynyt pumppaamaan vettä takaisin altaalle. Vuodon havaitsemisen jälkeen rikastushiekan pumppausta muutettiin toiseen pisteeseen ja aloitettiin vuotavan altaan kuivatus. Tässä tapauksessa syyksi osoittautui rikastushiekan purkuputken virheellinen sijoittaminen, jonka ansiosta rikastushiekka purkautui suoraan tiivistyssaven päälle ja kulutti tämän kohdan rikki. Myös suodatinkangas vaurioitui. Alue korjattiin vaihtamalla uusi suodatinkangas ja rakentamalla parempi tiivistyskerros. Päälle ajettiin uutta louhetta.

Viimeisin patovuoto tapahtui 13.11.2008. Vuotokohta sijaitsi vanhojen altaiden paluuvesipumppaamo vastapäätä olevassa patovallissa. Patorakenteessa oli muutaman metrin kokoinen painauma, joka ylettyi vesipinnan alapuolelle. Vuotavan veden ja mukana kulkeutuneen kiintoaineen määrä oli niin suuri, että suotovesipumppaus ei kyennyt pumppaamaan vettä takaisin altaille, vaan osa vedestä pääsi aina Koirinojaan asti. Vuotokohta tukittiin välittömästi ajamalla savea sen päälle. Varsinainen padon korjaus tehtiin työpatoa apuna käyttäen. Vuotokohdan ympärille rakennettiin puolipyörän muotoinen työpato. Rakenne

ei pitänyt tarpeeksi vettä, vaan työpadon ja alkuperäisen padon välinen tila jouduttiin täyttämään savella. Tämän vuodon jälkeen otettiin käyttöön etävalvontajärjestelmä, jonka avulla voidaan samanlaisiin tilanteisiin reagoida nopeammin ja välttää tehdasalueen ulkopuolelle pääseviltä vuodoilta.

Vuotoja aiheuttaneiden patovaurioiden lisäksi patorakenteissa on valmistumisen jälkeen havaittu lukuisia painumia, joiden on oletettu johtuneen pintarakenteiden tai saven routimisesta sekä mahdollisten laajennustöiden aikaan syntyneistä kuormituksista (käytetty työkalusto). Myös joitakin pieniä vuotoja on paikallistettu.

6.3 Stabiliateetin varmistaminen

Patorakenteissa ilmeneviin ongelmatilanteisiin voidaan esittää yhdeksi syyksi riittämätön osaaminen patoasioissa kaivosyhtiöiden organisaatioissa. Szymanskiin (1999) (Hustrulid ym. 2000, 367) mukaan voidaankin olettaa, että kaivosyhtiöiden osaaminen painottuu pelkästään malmin hyödyntämiseen, eikä suinkaan patojen operointiin.

Stabiliateettiongelmiin vaikuttaa monta eri tekijää ja niiden yhteisvaikutukset. Useasti nämä tekijät ovat riittämätön asiantuntemus kaivosyhtiön sisällä ja mahdollisesti myös ulkopuolisella suunnittelijalla. Kolmannen osapuolen suunnitelmat saattavat myös jäädä puutteelliseksi tai niiden valvonta on heikolla tasolla. Monissa tapauksissa asiantuntijat tarkastelevat patovaurioita ja niiden syitä vasta vaurion tapahduttua, kun vastaavasti olisi parempi miettiä menetelmiä, joilla estää mahdolliset vauriot. Yksi tärkeä asia stabiliateetin varmistamiseksi on miettiä aikaisemmin tapahtuneita onnettomuuksia ja ottaa niistä oppia. Usean eri laitoksen patovaurioiden perusteella voidaan esimerkiksi todeta, että suotautumisesta aiheutuneet vauriot ovat yleisimpiä perinteisissä patorakenteissa (johtuvat esim. riittämättömästä suodatuksen suunnittelusta). Tärkeintä näiden havaintojen pohjalta on se, että yhdessäkään vauriotapauksessa ei ole tapahtunut mitään selittämätöntä tai mitään, mitä ei olisi voitu ennustaa. Stabiliateetin me-

nettäminen ja patovaurion syntyminen voivat aiheuttaa seurauksia, kuten (Hustrulid ym. 2000, 367):

- pitkäaikainen keskeytys tuotantoon
- kuolemantapaus
- ympäristön vahingoittuminen
- yrityksen tai teollisuuden imagon vaurioituminen
- taloudelliset menetykset
- pakotteet tiukempiin vaatimuksiin (turhat tai liian tiukat vaatimukset).

Stabiliteetin onnistumisen edellytyksiksi voidaan osoittaa kolme asiaa (Hustrulid ym. 2000, 369): yhtenäinen termistö, suunnitteluvaatimusten ymmärtäminen ja patorakenteiden hoitaminen. Seuraavat asiat on hyvä ottaa huomioon suunnittelussa (Hustrulid ym. 2000, 369):

- perustukseen liittyvät ominaisuudet
- ilmastolliset ominaisuudet
- tektoniset ominaisuudet
- rikastushiekan ominaisuudet
- geotekniset ominaisuudet
- geokemialliset ominaisuudet
- toimintaperiaate
- tarkkailu
- toiminnan loppumisen jälkeiset suunnitelmat.

6.4 Käytönaikaiset mittaukset ja varoitusjärjestelmät

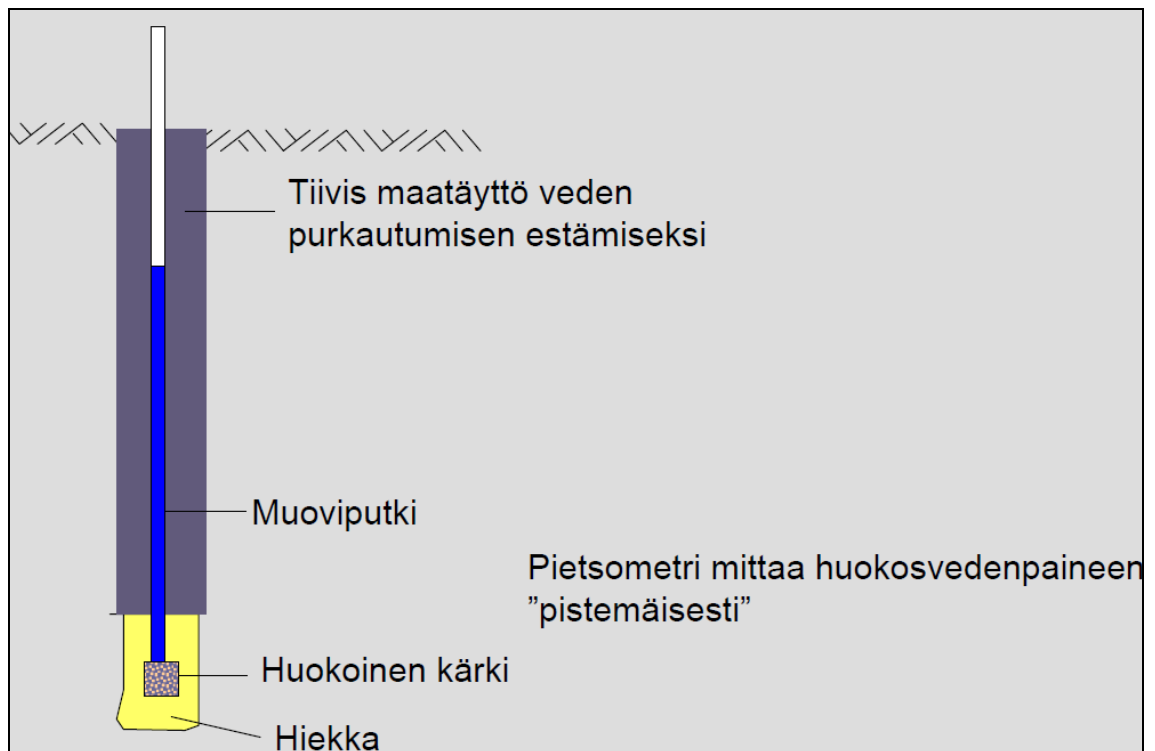
6.4.1 Perinteiset mittausmenetelmät

Perinteisten mittausten lähtökohtana on toiminnan tunteminen patorakenteissa. Mittausten ja instrumentointien tulisi kohdistua toimivuuden kannalta kriittisiin kohtiin. Yleisiä suureita, joita mittauksissa tarkkaillaan, ovat huokosveden paine,

pohjaveden korkeus, suotoveden määrä ja laatu, virtaussuunta ja nopeus, lämpötila, siirtymä ja maanpaine. (Kujala 2005.)

Huokosveden paineen mittauksissa voidaan hyödyntää putkietsometriä, pneumaattista pietsometriä, värähtelevään lankaan perustuvaa pietsometriä tai BAT-pietsometriä. Pohjaveden pinnan ja huokosveden paineen mittauksella voidaan hahmottaa esimerkiksi vedenjohtavuuden arvoja. (Kujala 2005.)

Kuvassa 6.1 on esitelty avoimen putkietsometrin rakenne ja sen asentaminen maahan huokosvedenpaineen mittaamista varten.



Kuva 6.1 Avoimen putkietsometrin periaatekuva (Kujala 2005, 9)

Patorakenteessa vallitsevan lämpötilan ja roudan syvyyden mittauksella voidaan paikallistaa mahdollisia suotokohtia (lämpötila) sekä tarkastella rakenteisiin syntyviä roudan aiheuttamia vaurioita: routunut materiaali löyhtyy ja vedenläpäisevyys kasvaa. Lämpötiloja voidaan mitata käyttämällä lämpötila-antureita, joihin kuuluvat termoelementti, vastusanturi sekä termistori. Roudan syvyyden

mittauksessa voidaan hyödyntää metyleenisinitäyteistä putkea (Gandhal-putki) tai resistiivistä roudan syvyysanturia. (Kujala 2005.)

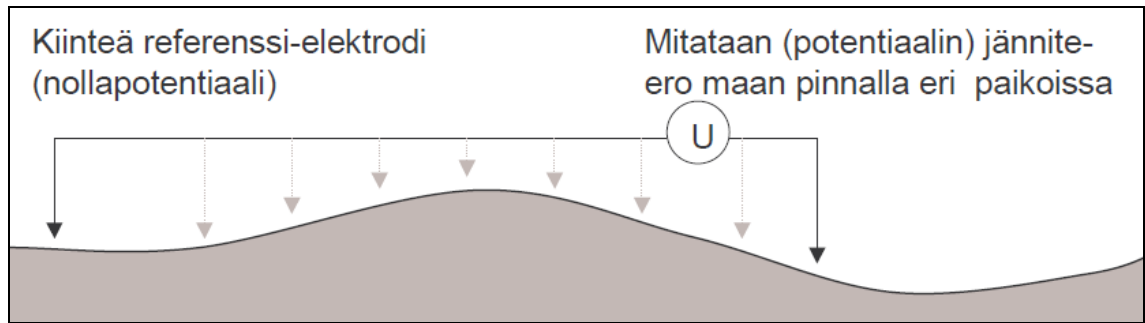
Patorakenteen vaakasiirtymiä voidaan tarkkailla inklinometrillä, joka mittaa siirtymiä x- ja y-suunnassa. Suotovedestä voidaan taas tarkkailla sen määrää suotovesien pumppauksen ja virtausmittauksen avulla tai kiintoainepitoisuutta, joka kertoo mahdollisesta tiivistysosan vauriosta (Kujala 2005; Kylmänen 2005). Automaattisten valvontajärjestelmien avulla tiedot voidaan siirtää raja-arvojen ylityessä tai alittuessa reaaliaikaisesti esimerkiksi tuotantolaitosten valvomoihin tai matkapuhelimiin.

6.4.2 Geofysikaaliset mittausmenetelmät

Geofysikaalisen tutkimusmenetelmän perustana ovat maaperän eri materiaalien väliset fysikaaliset eroavaisuudet ja niiden epätasaiset jakautumat maan sisällä. Geofysikaaliset menetelmät voidaan luokitella 5 eri ryhmään menetelmän perusteella (Pirttijärvi 2005): seismiset menetelmät, sähköiset menetelmät, maatutkamenetelmä, sähkömagneettinen pulssimenetelmä ja painovoimamenetelmä.

Maatutkamenetelmä hyödyntää korkeataajuuksisen sähkömagneettisen pulssin heijastumiseen kuluvaan aikaan maamateriaalien rajapinnoista. Tärkein saavutettava havainto maatutkamenetelmällä on poikkeamat rajapintojen jatkuvuuksissa, jotka saattavat kertoa mahdollisesta vuotokohdasta. (Pirttijärvi 2005.)

Sähköisiin menetelmiin kuuluva omapotentiaalimittaus (ks. Kuva 6.2) mittaa luonnollista sähkökentän jännite-eroa. Jännite-eroon vaikuttaa vedessä olevien ionien määrä ja virtausnopeus. Menetelmä on halpa ja helppo monitorointia ajatellen ja sillä voidaan löytää vuotokohtia jännite-erojen aiheuttamien piikkien perusteella. (Pirttijärvi 2005.)



Kuva 6.2 Omapotentiaalimittaus (Pirttijärvi 2005, 7)

Geofysikaaliset menetelmät eivät anna suoraa tietoa rakenteista ja väliaineiden ominaisuuksista (Pirttijärvi 2005). Esimerkiksi maatutkamenetelmä antaa Saimaan ammattikorkeakoulun lehtori S. Kurkelan mukaan (henkilökohtainen tiedonanto 8.9.2009) hyvin tulkinnanvaraista tietoa maaperän rakenteesta varsinkin silloin, kun patorakenteessa pitäisi tutkia louherunkoa ja savesta tehtyä tiivistysosaa.

7 RIKASTUSHIEKKA-ALTAIDEN KÄYTTÖ

Kalsiitin ja wollastonitiitin tuotannosta syntyvä rikastushiekka läjitetään tehdasalueen rikastushiekka-altaisiin (ks. Liite 3). Seuraavissa kohdissa käydään tarkemmin läpi rikastushiekka-alueen toimintaa, sijoittumista tehdasalueelle ja nykyistä kapasiteettia.

7.1 Rikastushiekka-altaat

Tehdasalueella on viisi rikastushiekka-allasta. Altaat sijaitsevat kaivospiirin kaakkoisosassa rajoittuen Hanhijärven läpi kulkevaan Mustolan rataan (ks. Liite 2).

Liitteessä 4 altaat on numeroitu ja kuvaan on merkattu rikastushiekan purkupaiikat sekä veden kierto. Altaaseen 1 pumpataan rikastushiekkaa kaikilta kolmelta rikastamolta (KR-90, KR-97 ja WR). Pumpkauksen jälkeen liete virtaa kohti al-

taan 1 ja 2 välissä olevaa porttia kiintoaineen samalla laskeutuessa. Samalla periaatteella toimivat myös altaat 3 ja 4. Allas 5 poikkeaa edellä mainituista, sillä kyseisen altaan vapaa vesi pitää pumpata altaan 4 puolelle erikseen. Allas 2 toimii varsinaisena selkeytysaltaana, jossa kaikkein hienoimmat partikkelit laskeutuvat. Veden kierto on toteutettu niin, että viipymäaika altaassa kasvaa mahdollisimman suureksi. Tällä edesautetaan veden selkeytymistä ja pienennetään takaisin prosessiin joutuvien kemikaalien konsentraatioita.

Rikastushiekka-altaita voidaan käyttää tilanteen mukaan eri tavoin. Käytössä olevaan tapaan vaikuttaa eri rikastamoiden tuotannot ja rikastushiekan ruoppauksen tarve. Osa altaista voidaan pitää tuotannon aikana kuivana ruoppausta varten.

7.2 Rikastushiekka-altaiden kapasiteetti

Rikastushiekka-alueiden kapasiteettia on arvioitu syntyvän rikastushiekan, alueen täyttötilavuuden, hyötykäytön ja tuotannon vaihteluiden pohjalta.

Rikastushiekka-altailta on mitattu 1.9.2008 sillä hetkellä vallitseva rikastushiekan pinnankorkeus. Jokaiselta altaalta on laskentaa varten käytössä useita mittapisteitä, joiden perusteella on laskettu kunkin altaan keskimääräinen rikastushiekan korko. Tämä korko on vähennetty kunkin altaan kohdalla alimmasta reunavallin korosta. Alin reunavallin korko on teoreettinen korkeus, johon rikastushiekan pinta voi parhaimmillaan nousta (padon harjan taso). Jäljellä olevasta täyttökorkeudesta ja altaan pinta-alasta on laskettu jäljellä oleva täyttötilavuus kiintoteoreettisina kuutioina (m^3 ktr). Tämän jälkeen jäljellä oleva täyttötilavuus on arvioitu tonneina. Altaalle pumpattavan rikastushiekan ominaispainona on laskennassa käytetty $1\,500\text{ kg}/m^3$. Kaikkien rikastushiekka-altaiden jäljellä oleva täyttötilavuus on yhteensä noin $707\,727\text{ m}^3$ ktr, eli $1\,055\,590$ tonnia.

Liitteessä 1 esitettyjen vuosittain syntyvien rikastushiekan määrien vuosikeskiarvo on noin $224\,386\text{ t/a}$. Suhteutettaessa vuosikeskiarvo jäljellä olevaan täyttötilavuuteen saadaan rikastushiekka-altaiden täyttötilavuuden riittävydeksi

noin 4,7 vuotta (ks. Liite 5). Tuotannon vaihtelun on arvioitu olevan 50 000 t. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotannon lisääntyessä 50 000 tonnilla vuodessa täyttötilavuuden riittävyys putoaa 3,8 vuoteen. Vastaavasti tuotannon laskiessa saman määrän täyttötilavuus riittäisi noin 6 vuotta.

Täyttötilavuuden riittävyttä on arvioitu myös rikastushiekan hyötykäytön pohjalta. Arviossa on huomioitu eri hyötykäytön määriä, jotka vaihtelevat 10 000–80 000 tonnin välillä (ks. Liite 6).

7.3 Rikastushiekka-aitaiden käyttökustannukset

Rikastushiekka-alueiden käyttökustannukset muodostuvat pääasiassa pump-pauksesta ja ruoppauksesta aiheutuvista kustannuksista. Pumppauskustannukset muodostuvat tehtailta pumpattavasta rikastushiekkalietteestä sekä altailla tapahtuvasta paluueden ja suotoveden pumppauksesta.

7.3.1 Pumppauskustannukset

Pumppauskustannusten arviointi on tehty käyntituntien, syntyneen rikastushiekan, sähköenergian hinnan sekä hetkellisten pumppaustehojen perusteella. Pumppaukseen vaaditun tehon määrä on arvioitu hetkellisen taajuusmuuntajan lukeman perusteella. Tämän on oletettu pysyvän samalla tasolla jatkuvasti tehtaisten ollessa tuotannossa.

Pumppauskustannuksien muodostumisessa on huomioitu jokaisen tehtaan jätepumppauksissa tarvittavien pumppujen tehot. Liitteessä 8 on lueteltuina pumput sekä niiden tehonotot tuotannon ollessa käynnissä.

Sähköenergian hintana on arvioinnissa käytetty vuoden 2008 keskiarvoa, joka oli KR-90:llä ja KR-97:lla noin X €/MWh ja wollastoniittirikastamolla X €/MWh. Pumppauskustannukset tonneja kohti olivat noin X € vuonna 2008, kokonaiskustannuksen ollessa hieman alle X euroa (ks. Liite 8).

Pumppauskustannusten tulevaisuuden arvioinnissa on käytetty vuoden 2009 tammi-kesäkuun hinnan keskiarvoa. Näillä näkymin sähköenergian hinta on edelleen kasvamassa, joten hinta-arvio on hieman matala. Vaadittava pumppausteho on arvioitu syntyvän rikastushiekan ja siihen vaadittavien käyntituntien perusteella. Vastaavasti vaadittava tehonotto on arvioitu syntyvän rikastushiekan suhteen (ks. Liite 9).

Laskennassa ei ole huomioitu pumppujen pyörintänopeuksien vaihteluiden aiheuttamia tehonoton muutoksia eikä myöskään sitä, että kaikki lattiakaivopumput eivät pyöri jatkuvasti. Näin ollen kustannusarvio todellisessa tilanteessa voi vaihdella huomattavasti ja arvio saattaa olla liian suuri. Pumppauskustannukset eivät sisällä myöskään pumppujen ja laitteiden kunnossapitoa.

7.3.2 Ruoppauskustannukset

Rikastushiekan ruoppauskustannukset muodostuvat urakoitsijan henkilöstön palkasta sekä koneiden tuntiveloituksista. Rikastushiekka aumataan veden pumppauksen jälkeen ja kuivatetaan. Tämän jälkeen rikastushiekka lastataan kaivukoneella kuorma-autojen kyytiin ja kuljetetaan varastokasoille tai suoraan hyötykäyttökohteeseen.

Vuoden 2008 aikana rikastushiekkaa kuljetettiin varastokasoille noin 21000 tonnia. Varastokasoille kuljetetun rikastushiekan kokonaiskustannukseksi aumauksen, ruoppauksen ja kuljetuksen jälkeen tulee noin X €/tonni.

7.4 Riskit ja ympäristönäkökohdat

Ympäristönäkökohtia huomioitaessa on tarkasteltava seuraavia osa-alueita (Kaksonen 2008):

- päästöt veteen

- päästöt ilmaan
- jätteet
- maan saastuminen
- raaka-aineiden ja luonnonvarojen käyttö
- muut yhteisöasiat
- vaikutus ekosysteemiin.

Ympäristöön kohdistuvat haittatekijät liittyvät pääasiassa rikastushiekka-alueiden ja varastokasojen pölyämiseen. Pölyämistä pyritään vähentämään kastelulla ja pitämällä rikastushiekka-altaissa rikastushiekan päällä vettä mahdollisimman pitkään. Myös altaiden ruoppauksen tehostamisella ja ajoittamisella voidaan vaikuttaa pölyämiseen.

Ympäristöön suotautuvat ja ylijooksutuksessa poistetut vedet eivät sisällä ympäristölle haitallisia kemikaaleja. Vesistöön pääseviä kiintoainepitoisuuksia tarkkaillaan suotatuista vesistä.

Rikastushiekka-alueella sattuneesta patovauriosta ei aiheudu varaa ihmisille tai ympäristölle. Vaikutukset tällaisessa tapauksessa kohdistuvat suoraan padon omistajaan ja aiheuttavat taloudellisia haasteita. Kustannuksia aiheuttavat sortuman korjausta vaativat työt sekä mahdolliset tuotannonkeskeytykset. Patosortuman tapahtuessa kiintoainetta arvellaan leviävän ympäristöön 2 000–7 000 m³ (30 000–100 000 m³ lietettä) niin kauan, kunnes veden virtaus allasalueelta loppuu.

Mahdollista patosortumaa tai vuotoa varten tehdasalueelle on varattu suodatin-kangasta, louhetta, savea, konekalustoa ja pumppauskalustoa.

8 NYKYISTEN ALTAIDEN OPTIMOINTI

8.1 Terassirakenne

Rikastushiekka-altaiden välipatoihin on suunniteltu asennettavaksi terassirakenne. Tällä rakenteella voidaan säännöstellä patoaltaiden välistä lietteen virtausta. Säännöstelyllä saavutetaan parempia tuloksia esimerkiksi partikkelien laskeutumisessa. Terassirakenteella pyritäisiin myös täyttämään rikastushiekka-altaita allas kerrallaan.

8.2 Patorakenteen korottaminen

Nykyistä patorakennetta on korotettu altaan 4 Hanhijärven puoleiselta reunalta lopulliseen suunniteltuun korkoon +80.00. Mikäli jokaisen padon harja nostettaisiin suurimpaan mahdolliseen korkoon, saataisiin täyttötilavuutta lisää noin 3 500 000 m³. Olettaen rikastushiekan täyttömahdollisuuden olevan padon harjan korkeudella, kuten luvussa 7.2, läjitettävän rikastushiekan määrä voisi olla peräti 5 300 000 tonnia. Korottamalla patorakenteet edellä mainittuun korkoon, täyttötilavuuden riittävyden voidaan arvioida olevan noin 24 vuotta.

Suurimpana haasteena padon korottamiseen liittyen on Toikansuon kaatopaikan viereinen vuotokohta. Patovuoto on korjattu rakentamalla vuotokohdan ympärille työpato. Työpadon ja alkuperäisen padon väliin jäänyt tyhjä tila on täytetty savella. Ennen padon korotusta vuotokohdan korjaamiseen käytetty rakenne pitäisi muuttaa.

Vapaan vedenpinnan nousu voi myös aiheuttaa stabiliteettiongelmia kyseisellä patojaksolla. Padon korotus Toikansuon kaatopaikan viereisellä patojaksolla on näiden lähtötietojen pohjalta haasteellinen toteuttaa.

8.3 Rikastushiekan hyötykäyttö ja läjitys

Paras ratkaisu rikastushiekka-aldaiden kapasiteetin kasvattamiseksi olisi rikastushiekan hyötykäytön riittävä toteutuminen. Yleensä kaivannaisteollisuudesta syntyvillä jätteillä ja rikastushiekoilla on eniten käyttöä rakennusmateriaalina teollisuusalueen sisäpuolella (Nikkarinen & Räisänen 2008). Vain hyvin pieni osa rikastushiekasta ja muista kaivosteollisuudesta syntyvistä jätteistä menee hyötykäyttöön.

Kaivosteollisuudessa syntyvät jätteet ovat Saimaan ammattikorkeakoulun lehtorin S. Kurkelan mukaan (suullinen tiedonanto 2.10.2009) vuosittaisilta volyymeiltään suurimmat ja niiden kierrättäminen ja hyötykäyttö vastaavasti kaikkein pienintä. Kaivosalueen ulkopuolella rikastushiekkaa voidaan käyttää mm. teiden ja kaatopaikkojen rakenteissa. Rikastushiekan hyötykäyttöä kaivosalueen ulkopuolella helpottaa huomattavasti rikastushiekan tuotteistaminen. Nordkalkin Lappeenrannan tehtailla syntyvä rikastushiekka on tuotteistettu Itä-Suomen ympäristölupaviraston päätöksessä 110/09/2 Dnro ISY-2009-Y-111 25.9.2009.

Rikastushiekan vuosittaisella hyötykäytöllä voidaan saavuttaa jopa 2 vuoden lisäys rikastushiekka-aldaiden kapasiteettiin. Tämä edellyttää peräti 80 000 t hyötykäyttöä joka vuosi (ks. Liite 6).

Mikäli rikastushiekan hyötykäyttöä ei pystytä toteuttamaan, voidaan rikastushiekkaa läjittää tehdasalueelle varastokasoihin myöhempää käyttöä varten. Liitteessä 10 on esitetty kolme vaihtoehtoista aluetta rikastushiekan läjitykselle. Alueet on merkattu liitteeseen kirjaimilla A, B ja C.

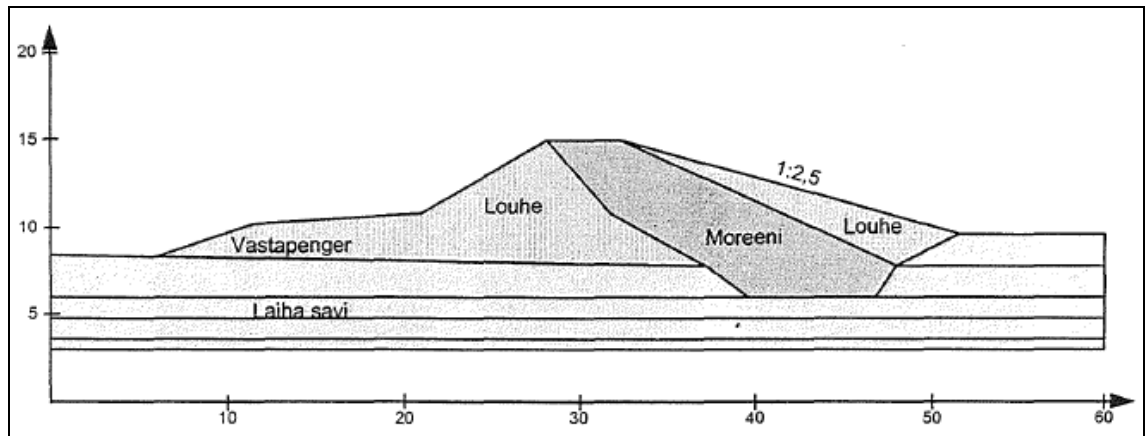
A-alue sijaitsee lähimpänä rikastushiekka-aldaita Lohja Ruduksen kentän vieressä. Kyseiselle alueelle on jo läjitetty rikastushiekkaa. Tehdasalueelle voidaan tehdä läjitysalueita, joiden korko on suurimmillaan tasossa +80.00. Tämä tarkoittaa sitä, että A-alueella korosta +64.5 on 15,5 m suurimpaan sallittuun läjityskorkoon. A-alueen pinta-ala on noin 2,8 hehtaaria, joten alueelle on mahdollista läjittää noin 434 000 m³ (noin 540 000 tonnia) rikastushiekkaa. A-alueita

hyödyntämällä on mahdollista saada noin 2,9 vuotta lisää rikastushiekka-
altaiden käyttöikään.

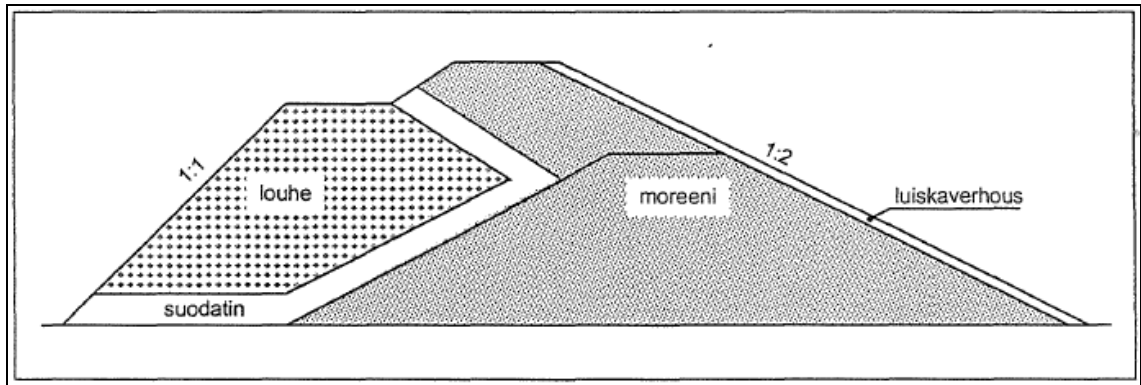
B-alue sijaitsee A-alueen ja Mustolan radan eteläpuolella. Tälle 19,0 hehtaarin
alueelle voidaan läjittää parhaimmillaan noin 2 850 000 m³ (3 600 000 tonnia)
rikastushiekkaa. Mikäli kaikki tuotannosta syntyvä rikastushiekka läjitettäisiin
tälle alueelle, saataisiin altaiden täyttötilavuuden riittävyudeksi 19 vuotta lisää.
Lisäksi maanlajitysalueen länsipuolella sijaitsee C-alue, jonka pääasialliseksi
käytöksi on suunniteltu maanpoiston massojen läjitys. Tälle alueelle voidaan
kuitenkin tarvittaessa läjittää myös rikastushiekkaa.

8.4 Vaihtoehtoinen patorakenne

Suomessa olevista rikastushiekka-alueiden padoista useat ovat vyöhykepatoja,
joissa materiaaleina on käytetty louhetta, moreenia sekä mursketta. Kuvissa 8.1
ja 8.2 on kaksi esimerkkiä tällaisista patorakenteista.



Kuva 8.1 Kemin kaivoksen Eljärven rikastushiekka-alueen pato (Ahonen 1998,
5)



Kuva 8.2 Siilinjärven kaivoksen rikastushiekka-alueen pato (Ahonen 1998, 25)

Nordkalkin Lappeenrannan kaivoksen patorakenne on yleisistä rakennetyypeistä poikkeava vyöhykepato, jonka rakennuksessa on käytetty louhetta, savea, silttiä, sekasepeliä, soijakiveä sekä hienoa louhetta. Patorakenteeseen käytettävien materiaalien helppo saatavuus on hyvin pitkälti määrännyt käytettävän rakenteen. Rikastushiekka-altaat sijaitsevat alueella, jolta löytyy pohjatutkimusten perusteella parhaimmillaan jopa 20 metriä paksuja savi- ja silttikerroksia.

Savea ja silttiä saadaan rakennusmateriaaliksi altaiden sisäpuolelle jääviltä alueilta sekä kaivoksen maanpoistosta. Tukipenkereeseen ja verhokukseen saadaan louhetta kaivoksen louhinnan yhteydessä. Suodatinkerroksen materiaalina on käytetty soijakiveä ja sekasepeliä.

8.4.1 Vaihtoehtoinen tiivistysmateriaali

Aluetta ympäröivän maaperän savi- ja silttimateriaalit täyttävät lähes poikkeuksetta vaadittavat tiivistyskerroksen vedenläpäisevyyden arvot. Maaperästä otettujen näytteiden perusteella vedenläpäisevyyden arvo k on lähes jokaisessa tapauksessa pienempi kuin 10^{-9} m/s. (Ahonen 1998.)

Mahdollinen rikastushiekkan käyttö tiivistysmateriaalina suurentaisi tiivistysosan vedenläpäisevyyttä noin 16-kertaiseksi. Rikastushiekkaa voidaan käyttää tiivistysmateriaalina patorakenteessa, mikäli alueen savi- ja silttimateriaalit ehtyvät. Mikäli rikastushiekkaa käytetään tiivistysmateriaalina, on huomioitava muun

muassa rikastushiekan eroosioherkkyys (suojaus suodatinkankaalla tms.) sekä suurempi mitoitus suotovesien poistojärjestelmissä. Laboratoriossa rikastushiekan vedenläpäisevyydeksi on saatu 95 %:n tiiveysasteessa noin $10^{-7,8}$ m/s. Vedenläpäisevyyden kasvaminen suurentaa materiaalin eroosioherkkyttä. Näin ollen saven korvaaminen rikastushiekalla kasvattaisi patovaurion riskiä. (Ahonen 1998.)

Maaperätutkimuksissa on alueelta löydetty myös moreenia, jota on käytetty useissa Suomen rikastushiekka-aldaiden patorakenteissa. Moreenin käyttö tiivistysosassa todennäköisesti kasvattaa patovaurion riskiä, samalla tavalla kuin rikastushiekan käyttö (Ahonen 1998). Rikastushiekka-aldaiden patorakenteiden tiivistysosassa kannattaa siis käyttää savi- ja silttimateriaaleja, joiden vedenläpäisevyydet ovat pieniä ja joita löytyy alueelta suuria määriä.

8.4.2 Vaihtoehtoinen suodatinmateriaali

Tiivistysosan materiaali asettaa vaatimuksia käytettävälle suodatinkerroksen materiaalille. Oikein toimiva ja tehokas suodatinkerros muodostaa vettä läpäisevän vyöhykkeen, jossa kiintoaineksen liikkuminen on kuitenkin estynyt. Oikein mitoitettu suodatinkerros estää tiivistyskerroksen eroosiota ja liiallisen huokosvedenpaineen nousun. (Ahonen 1998.)

Oikeanlaisen suodatinmateriaalin valinnassa voidaan hyödyntää kuvaajia partikkelikokojakaumista (Ahonen 1998). Suodatinmateriaalin sopiva koostumus valitaan suojattavan materiaalin raekokojakauman perusteella: tässä tapauksessa tiivistyskerroksen. Tiivistyskerrosta voidaan suojata myös suodatinkankaan avulla, joka asennetaan tiivistyskerroksen ja suodatinkerroksen väliin. Huolellisesti asennettu suodatinkangas ei päästä tiivistysosan partikkeleja liikkumaan veden virtauksen mukana (Ahonen 1998). Epäjatkuvuuskohtat suodatinkankaassa lisäävät eroosioriskiä. Rikastushiekka-alueiden suodatinkerroksissa on käytetty soijakiveä vanhoilla patojaksoilla ja sekasepeliä uusilla.

8.4.3 Vaihtoehtoinen tukipengermateriaali

Rikastushiekka-altaiden padot voidaan myös rakentaa homogeenisina maapaitoina pelkästään rikastushiekasta. Tässä tapauksessa on huomioitava lisääntynyt luiskan eroosiovaara, jota voidaan vähentää esimerkiksi rakentamalla padon keskelle vaaka- ja pystysuodatin. (Ahonen 1998.)

9 LAAJENNUSMAHDOLLISUUS

Rikastushiekka-alueen laajennuksesta on tehty alustava suunnitelma sijoituksen kannalta. Uuden altaan sijoittamista on suunniteltu Toikansuon kaatopaikan läheisyyteen (ks. Liite 11): kaatopaikan ja Hanhijärventien väliin, rikastushiekka-altaan 5 jatkoksi. Tämä alue on Hanhijärventien osayleiskaavassa kaavoitettu erityisalueeksi EL-1, joka on varattu kaivoksen sivutuotteiden läjitys- ja varastoalueeksi.

9.1 Pohjatutkimuksen tulokset

Suunnitellulta rikastushiekka-altaan laajennusalueelta ei ole saatavilla tarkempia tietoja pohjasuhteista. Tässä työssä on arvioitu pohjatutkimusten antavan samanlaisia tuloksia uudelta allasalueelta kuin edellisen allasalueen laajennusta varten tehdyistä tutkimuksista.

Maanpinta laajennusalueella on keskimäärin tasossa +66.00. Edellisen laajennuksen yhteydessä on poistettu pintamaita noin 1,5 m syvyydelle. Arvioitu padon perustustaso on siis +64.50. Altaan 5 laajennuksen padon harjan korko on tasossa +72.50, joten uuden padon korkeudeksi tulisi 8 metriä. Korkeimmillaan padon harjan korko voidaan nostaa tasoon +80.00. Padon korotus lopulliseen korkeuteen on tehtävä kahdessa osassa louheen saatavuuden ja kustannusten takia.

9.2 Maamassat ja konetyökalusto

Suunniteltu laajennusalue on yhteensä noin 30 hehtaaria. Alueelle rakennettavan reunapadon pituus on noin 2052 metriä. Mikäli laajennus rakennettaisiin kolmessa osassa, käytettävien välipatojen pituudet olisivat noin 300 (välipato 1) ja 330 (välipato 2) metriä.

Padon rakenteena on massojen arviointia varten käytetty samanlaista poikkileikkausta kuin edellisessä laajennuksessa. Padon louherunko rakennetaan luiskan kaltevuudella 1:1.3 ja altaan sisäpuolinen luiska on viimeisessä rakennusvaiheessa kaltevuudessa 1:1.7. Padon pohjan leveys poikkileikkauksessa on n. 50 m ja harjan leveys n. 30 m. Altaan sisäpuolelle jäävän louheluiskan päälle rakennetaan suodatinkerros sekasepelistä, tiivistyskerros savesta sekä luiskan verhous louheesta, jonka raekoko on noin 100–200 mm. Suodatinkerroksen ja tiivistyskerroksen päälle asennetaan suodatinkangas niin, että saumat limitetään 500 mm verran.

Louhetta padon rakentamiseen tarvitaan noin 1 500 000 tonnia. Tähän määrään on huomioitu myös verhouksessa käytettävä pienempi raekokoinen louhe sekä välipadoissa tarvittava louhe, mikäli välipadot rakennetaan saman poikkileikkauksen mukaisesti. Suodatinkerroksen sekasepelin määrä on noin 36 000 tonnia ja tiivistyskerroksen saven määrä noin 96 000 tonnia. Tarkempi massalaskenta on liitteessä 12.

Louheen lastaukseen ja kuljetukseen padon laajennusalueelle on mahdollista käyttää kaivoksen kalustoa samaan aikaan normaalin tuotannon lomassa tai erikseen. Lastaukseen on parhaimmillaan käytettävissä kaksi Caterpillarin 385 C LME -kaivukonetta ja kuljetukseen kaksi Komatsun 650 -maansiirtoautoa. Louheen kuljetus voidaan järjestää myös aliurakoitsijan puolesta. Muuhun rakentamiseen, kuten pintamaiden poistoon ja luiskien tekoon, tarvitaan kaivukonetta, pitkäpuomista kaivukonetta sekä kuorma-autoja.

9.3 Pumppausjärjestelyt

Edellisessä laajennuksessa pumppausjärjestely on toteutettu niin, että liete purkautuu liitteen 4 mukaisesti joko rikastushiekka-altaan alkupäähän tai keskelle. Selkeytynyt vesi pumpataan altaan 5 kulmasta seuraavaan altaaseen, jossa lopullinen selkeytyminen tapahtuu ja paluuvesi pumpataan takaisin tuotantoon. Tällä on pyritty pitämään mahdollisimman pieni vedenpinnan taso patorakenteen vieressä, etenkin kohdissa, joissa on ollut vuotoja. Uuden altaan laajennuksen kohdalla edellä mainittu pumppaussuunnitelma on todennäköisesti taloudellisin toteuttaa. Uudelta altaalta pumpattaisiin siis vesi altaaseen 5 ja siitä edelleen eteenpäin.

Uudella allasalueella voisi mahdollisesti kokeilla myös pumppausjärjestelyä, jossa vapaa vesi poistetaan keskeltä allasta. Tällä menetelmällä olisi mahdollista pitää padon reunat vapaana vedestä ja suojattuna rikastushiekalla. Pumppauksen järjestelyn kustannukset olisivat suurempia, sillä rikastushiekan purku pitäisi toteuttaa useammassa pisteessä ja altaan keskelle olisi rakennettava jonkinlainen kelluva tai perustuksille rakennettu pumppausjärjestelmä.

Nykyisillä patoalueilla edellä mainitun pumppausjärjestelyn toteuttaminen olisi todennäköisesti hankalaa. Pumppausjärjestelmän rakentaminen edellyttäisi vanhan alueen hetkellistä käytöstä poistoa, sillä allasalue pitäisi ruopata keskeltä tyhjäksi. Tuotannosta johtuen vanhaa allasaluetta (altaat 1–4) ei voi kokonaan ottaa käytöstä pois, sillä 5 altaan pumppausjärjestelyt ja kapasiteetti eivät anna mahdollisuutta käyttää pelkästään kyseistä allasta. Myös viipymääjan riittävyys kyseenalaistuu, mikäli vapaan veden poisto toteutettaisiin keskeltä rikastushiekka-allasta: veden kierto altaissa lyhenisi oleellisesti.

9.4 Kustannusarvio

Kustannusarvio on laskettu rikastushiekka-alueen allaslaajennukselle maamasojen pohjalta. Laskennassa on käytetty Kuljetusliike Nikkilä Oy:n (toimitusjoh-

taja Esa Lempiäinen, Kuljetusliike Nikkilä Oy, henkilökohtainen tiedonanto 10.11.2009) ja kaivoksen (kaivospäällikkö Matti Permi, Nordkalk Oyj Abp, henkilökohtainen tiedonanto 9.11.2009) antamia arvioita tarvittavien maamassojen käsittelystä.

Laajennuksen kokonaiskustannus edellä mainittujen tiedonantojen perusteella on noin X € (ks. Liite 13). Suurin osuus kokonaiskustannuksista muodostuu pintaamaanpoistosta (n. 27 %) ja louherunkojen rakentamisesta (n. 64 %) (ks. Liite 14). Todennäköisesti padon rakennus toteutettaisiin kuitenkin pienemmissä osissa. Kolmessa osassa rakennettaessa kustannukset jakautuisivat seuraavasti (ks. Liite 15): 1. laajennus X €, 2. laajennus X € ja 3. laajennus X €.

Kustannusarviota tarkasteltaessa pitää huomioida se, että arviossa on huomioitu pelkästään maamassojen käsittelyyn liittyvät kustannukset. Arviossa ei siis huomioida pumppausjärjestelyiden, salaojien, eikä myöskään suotovesikaivojen ja niihin liittyvien valvontajärjestelmien aiheuttamia kustannuksia.

9.5 Laajennuksen vaikutus kapasiteettiin

Täyttötilavuutta on aikaisemmin tässä työssä arvioitu rikastushiekan läjityksen korkeimmasta mahdollisesta pinnasta, joka on noin tasossa +75.00. Arvioinnissa on siis oletettu, että rikastushiekkaa voidaan läjittää allasalueelle nykyisen padon harjan korkeudelle. Laajennuksen tuoman lisäkapasiteetin määrää on arvioitu vastaavalla tavalla.

Rikastushiekka-altaan laajennuksen kokonaispinta-ala allasosan sisällä on noin 18,5 hehtaaria ja padon harjan korkeus perustustasosta on 8 metriä. Allaslaajennuksen yhteensä mahdollistama rikastushiekan läjityskapasiteetti on noin 2 200 000 tonnia. Tämä tarkoittaa 224 386 t syntyvän rikastushiekan vuosikeskiarvolla noin 10 vuoden täyttötilavuutta. Mikäli laajennus tehtäisiin kolmessa pienemmässä osassa, niin arvioitu täyttötilavuus tulisi täyteen ensimmäisen vaiheen osalta 3,4 vuodessa, toisen vaiheen osalta 3,5 vuodessa ja viimeisen vaiheen osalta 3 vuodessa (ks. Liite 16).

10 YHTEENVETO

Patoturvallisuuden toteutuminen on erittäin tärkeää tuotannon jatkuvuuden ja ympäristön kannalta. Riittävä tarkkailu rikastushiekka-alueella voi estää mahdollisia patovaurioita, joiden syntyminen aiheuttaa pääasiassa suuria taloudellisia menetyksiä. Lappeenrannan Ihalaisten tehdasalueen patovaurioissa syyt ovat todennäköisesti olleet riittämätön valvonta ja huolimattomat työsuoritukset rakennusaikana. Näistä johtuen suodatinkankaaseen on päässyt muodostumaan epäjatkuvuuskohtia, joista patovauriot ovat alkaneet. Huolimattomuudesta aiheutuvia vaurioita voidaan pienentää lisäämällä rakennusaikaista valvontaa ja toteuttaa valvonta ulkopuolisen henkilön toimesta.

Kaikissa patovauriutilanteissa reagointi ja tarvittaviin toimenpiteisiin ryhtyminen on tapahtunut vasta vaurion havaitsemisen jälkeen. Rikastushiekka-alueella ei ole sellaista valvontaa, jolla olisi mahdollista ennakoida patovaurioiden syntyä. Alueen suotovesikaivojen pinnanmittauksista saa jonkinlaista tietoa suotautuvan veden määrän muutoksista, mutta esimerkiksi viimeisimmässä tapauksessa pinnanmittauksen trendistä ei pystynyt havaitsemaan muutosta ennen vaurion syntyä. Tämä selviää liitteestä 17, jossa keltainen viiva edustaa suotovesikaivon pinnanmittauksen arvoa. Pinnanmittauksen hälytyksen sattuessa vuotokohdat pystytään kuitenkin korjaamaan nopeasti ja ympäristöön ei pääse suotautuvia vesiä. Patoturvallisuuden kehittämisen kannalta olisi hyvä tehdä tarkempia selvityksiä erilaisista mittausmenetelmistä, joita voisi hyödyntää ennakoivan tiedon saamiseksi padoissa tapahtuvista ilmiöistä.

Rikastushiekka-alueen sijoittamiseen vaikuttaa käytettävissä oleva tila ja muut tuotannolliset sekä taloudelliset tekijät. Samalla tavalla alueelta löytyvät hyödynnettävät maa-ainekset määräävät rikastushiekka-aitaiden patojen rakenteelliset toteutukset. Patorakenteita on useita erilaisia hyväksi havaittuja, mutta käytännössä niiden hyödyntäminen juuri Lappeenrannan rikastushiekka-alueella on tuskin järkevää, sillä nykyisissä padoissa käytettäviä materiaaleja on saatavissa paljon ja lyhyillä kuljetusmatkoilla.

Uuden suunnitellun rikastushiekka-altaan käyttöön on mahdollista hyödyntää erilaista vapaan veden poistoa pumppausjärjestelmällä, joka poistaa veden keskeltä allasta ja jättää padon reunalle eroosiolta suojaavan kerroksen rikastushiekkaa. Tällaisen pumppausjärjestelmän rakennuskustannukset saattavat olla suuremmat kuin nyt toteutetun pumppauksen, mutta toisaalta patoa suojaava rikastushiekka ja vedenpinnan keskittäminen altaan keskelle pienentävät mahdollisen patovaurion riskiä. Nykyisten altaiden kohdalla toisenlaisen pumppausjärjestelmän toteuttaminen on haasteellista johtuen jatkuvasti käynnissä olevasta tuotannosta ja tässä tapauksessa varalla olevan altaan (allas 5) kapasiteetista.

Rikastushiekka-altaiden tämän hetkinen täyttötilavuus rajoittaa altaiden kapasiteetin alle 5 vuoteen, mikäli tuotannossa ei tapahdu merkittäviä muutoksia. Rikastushiekan hyötykäyttö tehdasalueella ja sen ulkopuolella olisi tällä hetkellä kaikkein järkevin vaihtoehto parantaa allaskapasiteettia ja samalla hyödyntää rikastushiekkaa tehokkaasti. Mikäli rikastushiekalle ei löydy hyötykäyttökohteita, allaskapasiteettia voidaan kasvattaa läjittämällä rikastushiekkaa varastokasoille. Hyödyntämällä rikastushiekka-alueen vieressä (ks. Liite 10) olevaa aluetta, allaskapasiteettiin saadaan noin 3 vuotta lisää täyttöaikaa. Rikastushiekan läjitys kuitenkin kasvattaa varastokasojen määrää.

Patojen korotukseen ja allasalueen laajennukseen ei kannata käydä, ellei jokin yllättävä asia siihen pakota. Patojen korotus ja laajennus lisäävät riskejä allasalueilla. Lisäksi laajennuksesta ja korotuksesta aiheutuvat kustannukset ovat suuria, vaikkakin näillä toimenpiteillä saavutettaisiin yli 30 vuoden täyttökapasiteetti.

Rikastushiekka-altaiden kapasiteetin ylläpitoa toteutetaan seuraavien vuosien aikana riittävällä hyötykäytöllä tai vastaavasti rikastushiekan läjityksellä varastokasoille. Korottamalla patorakenteita tai laajentamalla rikastushiekka-aluetta ei saavuteta riittävää hyötyä kustannuksiin nähden: rikastushiekka voidaan varastoida pienemmillä kustannuksilla varastokasoille, joista se voidaan helpommin hyödyntää.

KUVAT

Kuva 3.1 Nordkalk Oyj Abp:n myynti asiakassegmenteittäin 2008, s. 12

Kuva 3.2 Periaatekuva rikastamon mylly- ja vaahdotuspiiristä, s. 13

Kuva 5.1 Veden kiertokulku rikastushiekka-altaalla (European Comission 2004, 70), s. 28

Kuva 5.2 Rikastushiekka-allas olemassa olevassa kuopassa (European Comission 2005, 71), s. 29

Kuva 5.3 Lappeenrannan kaivoksen rikastushiekka-alueen padon tyyppipoikkileikkaus, s. 31

Kuva 5.4 Tavanomainen patorakenne (European Comission 2004, 75), s. 34

Kuva 5.5 Kerroksellinen patorakenne (European Comission 2004, 75), s. 35

Kuva 5.6 Kerroksellinen patorakenne, jossa vedenläpäisevyydeltään matala etupenger (European Comission, 76), s. 36

Kuva 5.7 Vähän vettä läpäisevästä rikastushiekasta tehty tiivistysosa (European Comission 2004, 76), s. 37

Kuva 5.8 Rikastushiekasta rakennetun padon korotustavat (European Comission 2004, 78), s. 38

Kuva 5.9 Karkean raeluokan käyttö padon rakentamisessa (European Comission 2004, 78), s. 39

Kuva 5.10 Padon korotus tukipenkereen puolelle (European Comission 2004, 79), s. 40

Kuva 5.11 Padon korotus keskilinjan mukaisesti (European Comission 2004, 79), s. 40

Kuva 5.12 Esimerkkikuva pumppausjärjestelystä (European Comission 2004, 82), s. 42

Kuva 5.13 Tasaiseen maastoon rakennetun rikastushiekka-altaan aiheuttama suotoveden virtaus (European Comission 2004, 83), s. 43

Kuva 6.1 Avoimen putkietsometrin periaatekuva (Kujala 2005, 9), s. 52

Kuva 6.2 Omapotentiaalimittaus (Pirttijärvi 2005, 7), s. 54

Kuva 8.1 Kemin kaivoksen Elijärven rikastushiekka-alueen pato (Ahonen 1998, 5), s. 61

Kuva 8.2 Siilinjärven kaivoksen rikastushiekka-alueen pato (Ahonen 1998, 25), s.62

LÄHTEET

Ahonen, M., 1998. Rikastushiekka-alueiden teknis-taloudellinen käyttö. MINP-RO, Rikastushiekan läjitystekniikat, Oulun yliopisto: Geotekniikan laboratorio.

European Comission, 2004. Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities.

Hakapää A., Lappalainen P., 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus, Vammalan Kirjapaino Oy.

Hustrulid W.A., McCarter M.K., Van Zyl, D.J.A., 2000. Slope Stability in Surface Mining. Society for Mining, Metallurgy, and Elxploration, Inc., Littleton, Colorado, USA.

Kaksonen, J., 2008. Rikastamon toiminnan ympäristönäkökohtien yhteenveto. Nordkalk Oyj Abp.

Karvonen, T., 2004. Hydrologisen kierron komponentit: sadanta, haihdunta, valunta. Patu-kurssi 2: Hydrologia.

Kujala, K., 2005. Maapatoihin liittyvät perinteiset mittaukset. Patu-kurssi 8: Tarkkailut ja mittaukset.

Kylmänen, I., 2005. Patoturvallisuustarkkailun automatisointi ja monitorointi. Patu-kurssi 8: Tarkkailut ja mittaukset.

Laasonen, J., 2004. Tulva-aukot, rakenteet ja niiden mahdolliset häiriöt. Patu-kurssi 7: Mekaaniset laitteet ja niiden kaukokäyttö.

Leskelä, A., 2004. Maapatojen rakenteet. Patu-kurssi 6: Maapadot.

Lukkarinen, T., 1987. Mineraalitekniikka osa 2, Mineraalien rikastus. 1. painos, Insinööritieto Oy: Helsinki.

Nikkarinen M., Räisänen, M., L., 2008. Johdatus kaivannaisjätteisiin. Geologian tutkimuskeskus.

Nordkalk Oyj Abp, 1997. Rikastamon rikastushiekka-altaiden patoturvallisuuskansio nro. 1. Nordkalk Oyj Abp: Lappeenranta.

Patoturvallisuuslaki 574/1987

Patoturvallisuuslaki 494/2009

Maa- ja metsätalousministeriö, 2007. Patoturvallisuustyöryhmän loppuraportti. Työryhmämuistio.

Pelastuslaki 468/2003

Pirttijärvi, M., 2005. Geofysikaaliset menetelmät maapatojen tutkimisessa. Patu-kurssi 8: Tarkkailut ja mittaukset.

Ravaska Olli, 2005. Maapatojen historia ja rakennustekniikka. Patu-kurssi 6: maapadot.

Saarela, J., 2005. Jäte- ja kaivospatojen erityispiirteet. Patu-kurssi 10: Jäte- ja kaivospadot sekä niihin liittyvät ympäristövaikutukset.

Slunga, E., 2004. Patojen rakentaminen ja tekniset ratkaisut erilaisilla pohjilla. Patu-kurssi 3: Geotekniikka.

Taggart A.F., 1947. Handbook of Mineral Dressing, Ores and Industrial Minerals. 2. painos, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

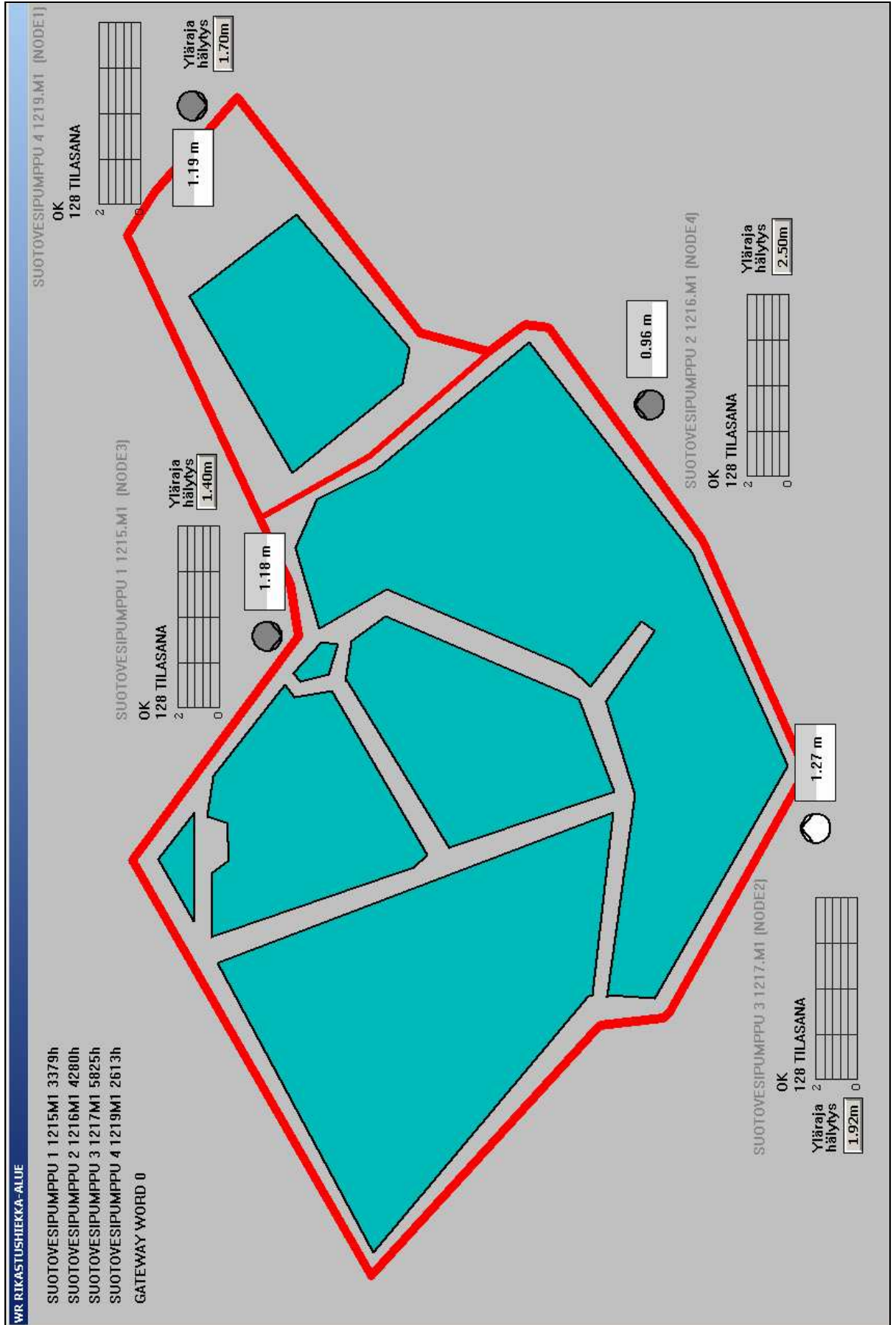
Ukkonen, J., 2008. Rikastamon allasalueen vahingonvaaraselvitys. Insinööri-toimisto Geosaimaa Ky.

Westerholm, L., 2008. Patoturvallisuuslainsäädännön- ja oppaan uusiminen. Maa- ja metsätalousministeriö, Tulva- ja patopäivä.

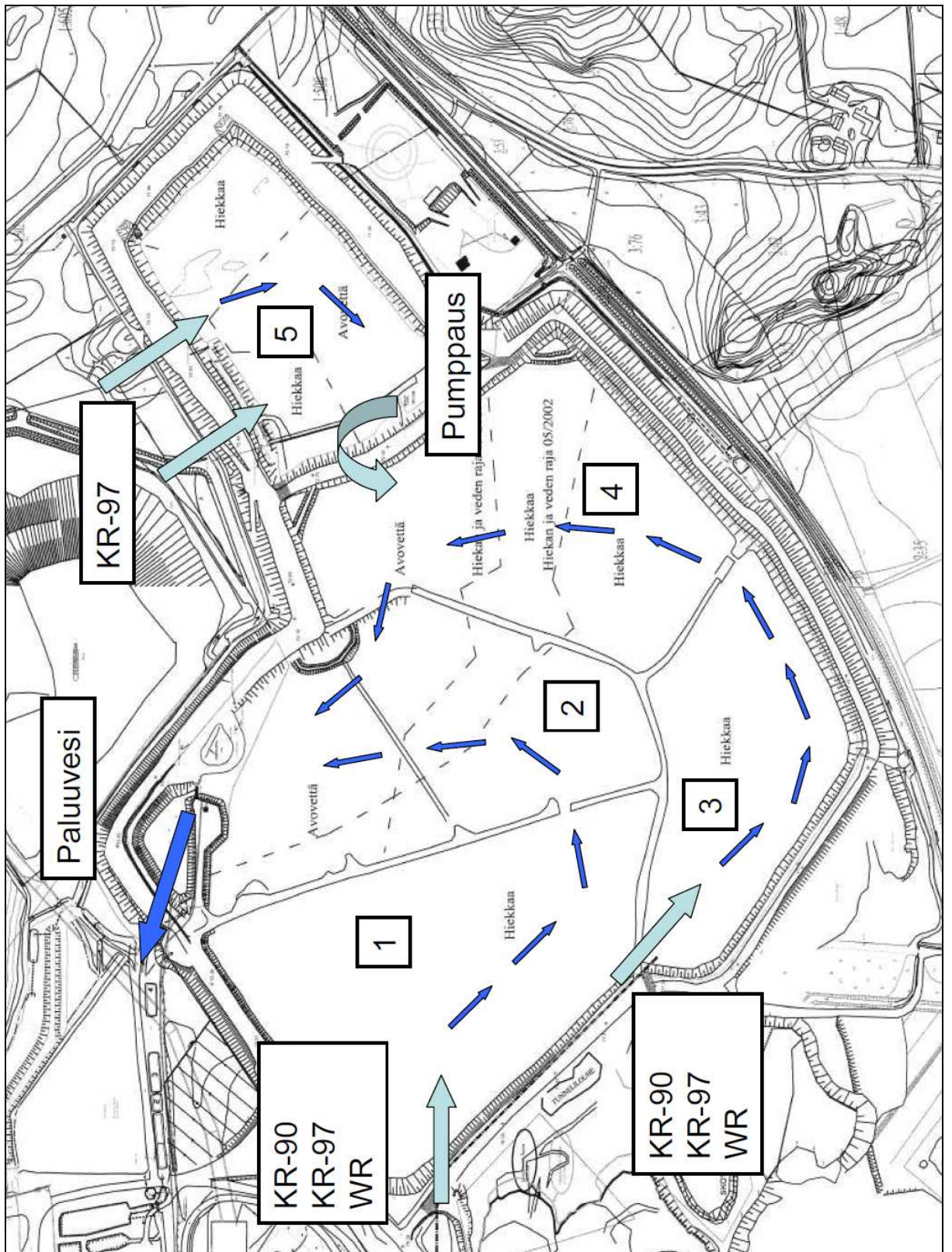
Wills', B.A., Napier-Munn, T.J., (toim.), 2006. Wills' Mineral Processing Technology. 7. painos, Butterworth-Heinemann, Burlington, USA.

Rikastushiekan määräravio

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Tuotanto						
x	386 500	426 000	457 500	481 000	503 500	527 000
x	381 500	420 000	451 000	474 000	496 500	520 000
x	5 000	6 000	6 500	7 000	7 000	7 000
x	8 200	8 700	9 600	10 400	11 200	11 900
x	400	500	600	700	700	700
x	100	200	500	700	1 000	1 200
x	350	0	0	0	0	0
x						
x	67 037	69 630	79 259	87 407	95 556	102 222
x	29 943	31 101	35 402	39 042	42 681	45 659
x	22 594	22 594	25 822	29 050	32 278	35 506
x	514 928	570 029	609 477	638 379	665 845	695 698
x	35 000	35 000	40 000	45 000	50 000	55 000
x	479 928	535 029	569 477	593 379	615 845	640 698
x	28 044	29 128	33 157	36 565	39 974	42 763
x	158 372	175 130	187 379	196 421	205 026	214 357
Rikastushiekka	186 416	204 258	220 536	232 987	245 000	257 120







Rikastushiekka-altaiden kapasiteetit

Tilanne 1

Mittaustulosten pohjalta (Aka 1.9.2008)

Rikastushiekkan määrän vuosikeskiarvon mukaan ajalta 2009-2014

Jäljellä oleva allaskapasiteetti	1 055 590 t	
Täyttötilavuuden riittävyys	4,7 a	Rikastushiekkan KA 2009-2014: 224 386 t/a
Täyttötilavuuden riittävyys	3,8 a	Tuotannon vaihtelu +50 000 t/a
Täyttötilavuuden riittävyys	6,1 a	Tuotannon vaihtelu -50 000 t/a
Täyttötilavuuden riittävyys	4,9 a	Hyötykäyttö 10 000 t/a
"	5,2 a	Hyötykäyttö 20 000 t/a
"	5,4 a	Hyötykäyttö 30 000 t/a
"	5,7 a	Hyötykäyttö 40 000 t/a
"	6,1 a	Hyötykäyttö 50 000 t/a
"	6,4 a	Hyötykäyttö 60 000 t/a
"	6,8 a	Hyötykäyttö 70 000 t/a
"	7,3 a	Hyötykäyttö 80 000 t/a

Tilanne 2

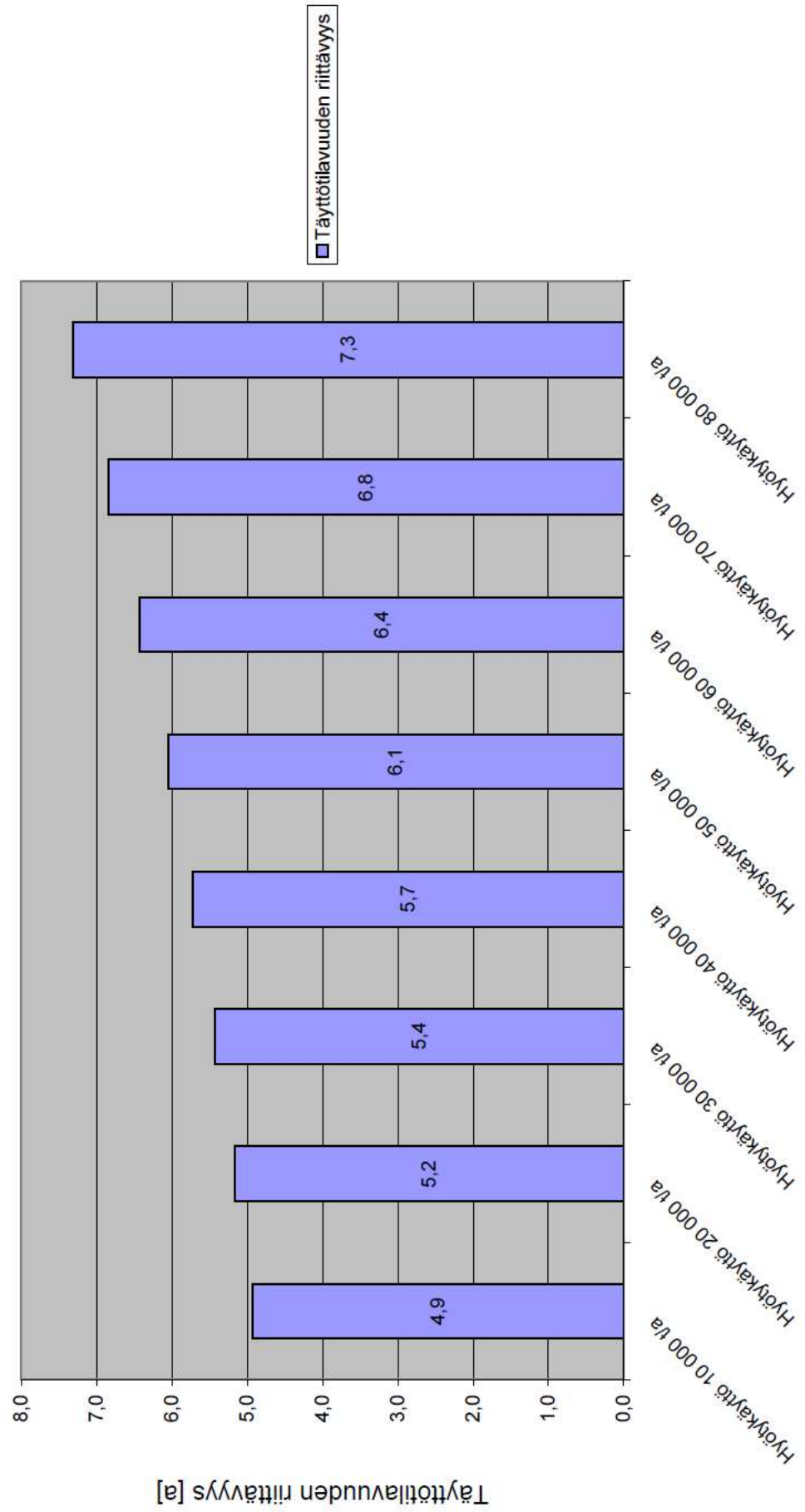
Mittaustulosten pohjalta (Aka 1.9.2008)

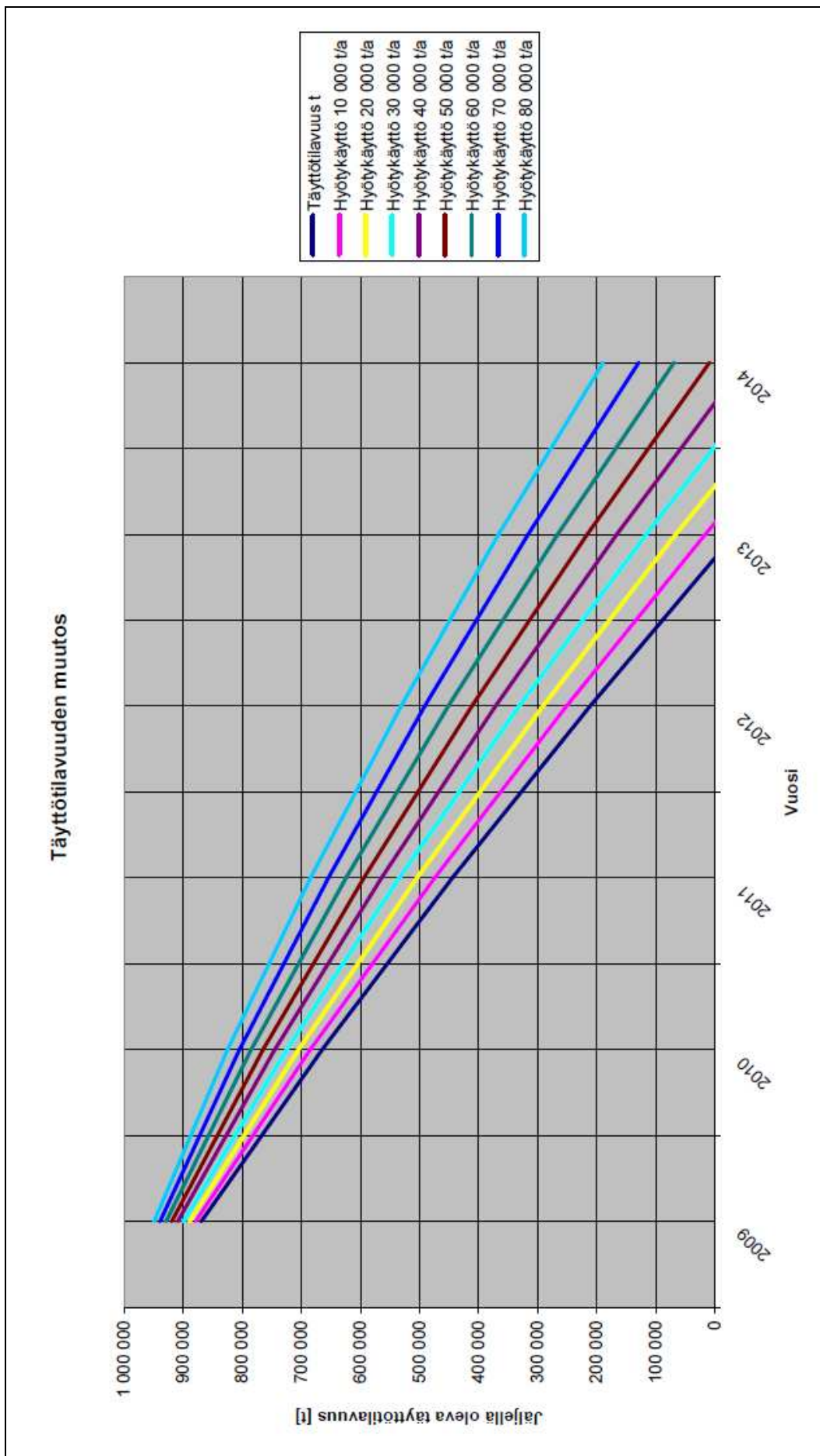
Rikastushiekkan määrän vuosikeskiarvon mukaan ajalta 2009-2014

Patorakenne korotettu tasoon +80.00

Jäljellä oleva allaskapasiteetti	5 278 878 t	
Täyttötilavuuden riittävyys	23,5 a	Rikastushiekkan KA 2009-2014: 224 386 t/a
Täyttötilavuuden riittävyys	19,2 a	Tuotannon vaihtelu +50 000 t/a
Täyttötilavuuden riittävyys	30,3 a	Tuotannon vaihtelu -50 000 t/a
Täyttötilavuuden riittävyys	24,6 a	Hyötykäyttö 10 000 t/a
"	25,8 a	Hyötykäyttö 20 000 t/a
"	27,2 a	Hyötykäyttö 30 000 t/a
"	28,6 a	Hyötykäyttö 40 000 t/a
"	30,3 a	Hyötykäyttö 50 000 t/a
"	32,1 a	Hyötykäyttö 60 000 t/a
"	34,2 a	Hyötykäyttö 70 000 t/a
"	36,6 a	Hyötykäyttö 80 000 t/a

Rikastushiekka-aitaiden täyttötilavuuden riittävyys hyötykäytön mukaan





Pumppaustehot ja pumppauskustannukset

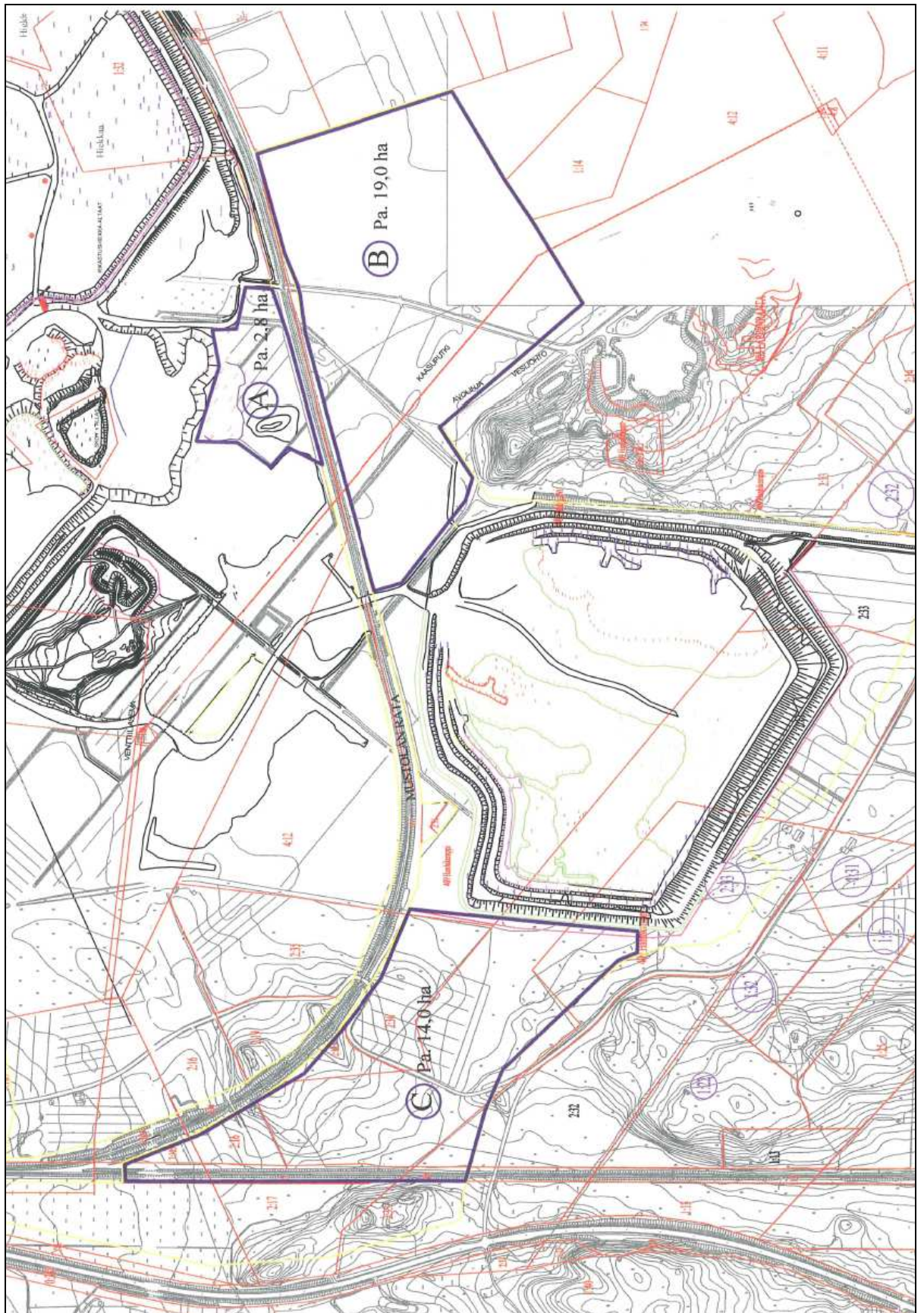
KR-90, KR-97 ja WR

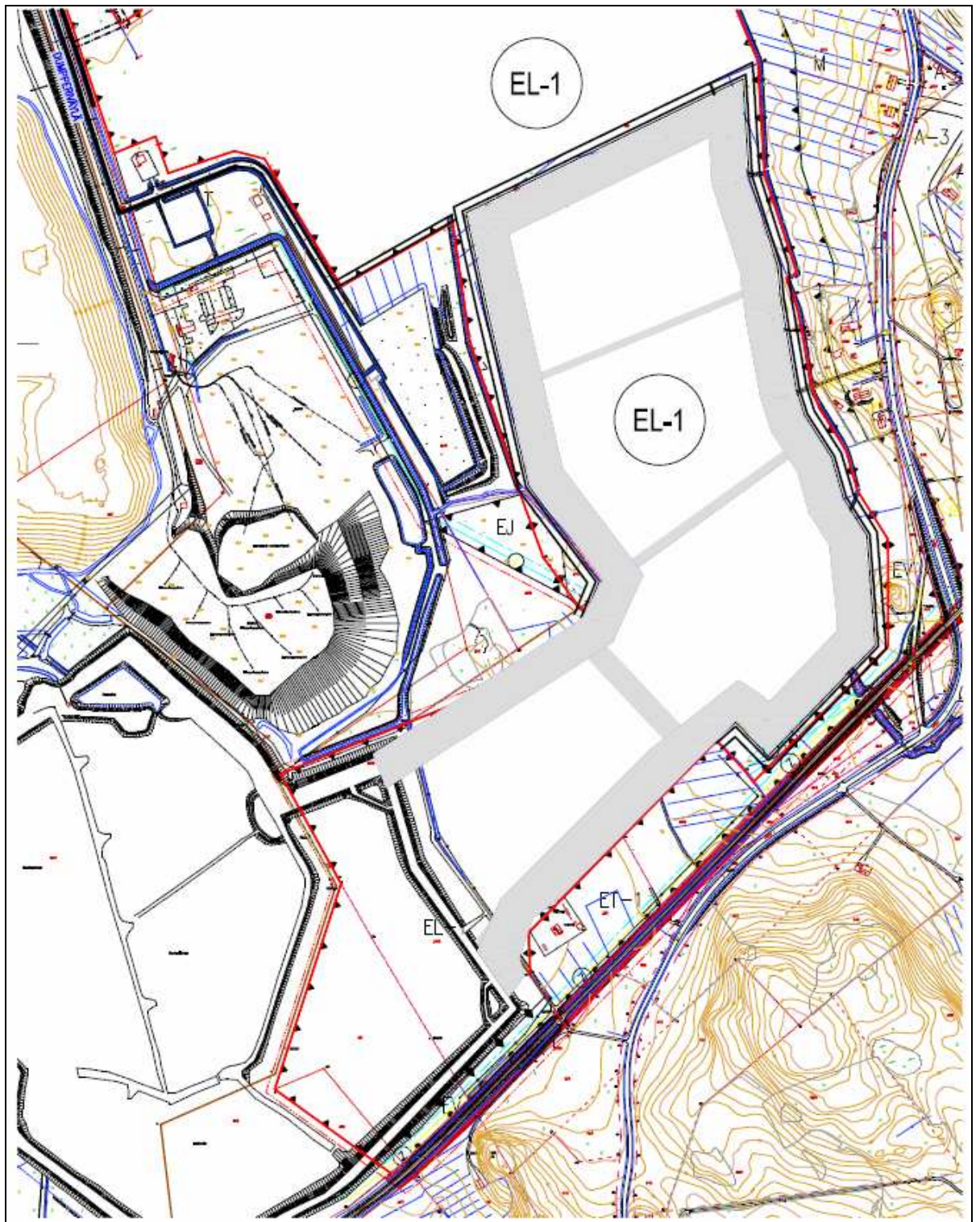
Hinta	x Sähkön hinnan keskiarvo 2008 KR-90 ja KR-97
Hinta	x Sähkön hinnan keskiarvo 2008 WR
Käyntitunnit	6 352 KR-90
Käyntitunnit	7 641 KR-97
Käyntitunnit	6 480 WR
Tonnit	229 891 Rikastushiekkatonnit vuonna 2008

<i>Paluovesi</i>	A	kW	MWh/vuosi	€/vuosi
Vauhtipumppu	70	36	315,36	x
<i>WR</i>				
Paluovesipumppu 1	57	31	200,88	x
Paluovesipumppu 2	77	43	278,64	x
<i>KR-90</i>				
Paluovesipumppu		40	254,08	x
Prosessivesipumppu		40	254,08	x
<i>KR-97</i>				
Paluovesipumppu 1	62	33	252,15	x
Paluovesipumppu 2	65	34	259,79	x
Prosessivesipumppu 1	120	68	519,59	x
Prosessivesipumppu 2	17	8,5	64,95	x

Jätepumppaus

<i>WR</i>	A	kW		
Jätepumppu 1	37	19	123,12	x
Jätepumppu 2	70	38	246,24	x
Lattiakaivopumppu 1		5	32,40	x
Lattiakaivopumppu 2		5	32,40	x
<i>KR-90</i>				
Jätepumppu	60	33	209,62	x
Lattiakaivopumppu		7,5	47,64	x
<i>KR-97</i>				
Jätepumppu 1	80	45	343,85	x
Jätepumppu 2	52	29	221,59	x
Jätepumppu 3	14	7	53,49	x
Lattiakaivopumppu 1		11	84,05	x
Lattiakaivopumppu 2		5,5	42,03	x
<i>Yhteensä</i>				
WR				x
KR-90				x
KR-97				x
Kaikki				x
€/rikastushiekkatonni				x





Uuden patoaltaan rakentaminen

Massalaskenta

Suunniteltu allaslaajennus:

Pinta-ala	31,84 ha
Padon pituus	2052 m
Välipadon 1 pituus	300 m
Välipadon 2 pituus	330 m
Pojan korko ka	66
Perustustaso	64,5
Padon korko	72,5
Padon lopullinen korko	80

Padon rakenne (poikkileikkaus):

Padon korkeus	8 m	
Padon ajotien leveys	27 m	
Kaltevuus tukipenger	1:1.3	1,3
Kaltevuus padon sisäpuoli	1:1.7	1,7
Louherunko	280 m ²	
Suodatinkerros	17 m ²	
Tiivistyskerros	21 m ²	
Luiskaverhous	8,4 m ²	
Padon taustan verhous	8,4 m ²	

Massalaskelma (reunapato):

Poistettava pintakerros	1,5 m
Pintamaan poisto	477 600 m ³ ktr
Altaan pohjan savitiivistys	19 741 m ³ ktr
Louherunko	575 151 m ³ ktr
Suodatinkerros	34 884 m ³ ktr
Tiivistyskerros	43 092 m ³ ktr
Luiskaverhous	17 237 m ³ ktr
Padon taustan verhous	17 237 m ³ ktr

Pintamaan poisto	t	
Altaan pohjan savitiivistys	33 559 t	
Louherunko	1 096 094 t	louhe < 1000 mm
Suodatinkerros	27 605 t	sekasepeli
Tiivistyskerros	73 256 t	savi
Luiskaverhous	32 849 t	louhe 100...200 mm
Padon taustan verhous	17 881 t	multa pintamaan poistosta

Massalaskelma (välipadot):

	Välipato 1	Välipato 2
Louherunko	160 248	176 272 t
Suodatinkerros	4 036	4 439 t
Tiivistyskerros	10 710	11 781 t
Luiskaverhous	4 802	5 283 t
Padon taustan verhous	2 614	2 876 t

Uuden patoaltaan rakentaminen

Kustannusarvio

Reunapato:

		Kustannus €
Pintamaan poisto		x
Altaan pohjan savitiivistys	33 559 t	x
Louherunko	1 096 094 t	x
Suodatinkerros	27 605 t	x
Tiivistyskerros	73 256 t	x
Luiskaverhous	32 849 t	x
Padon taustan verhous	17 881 t	x

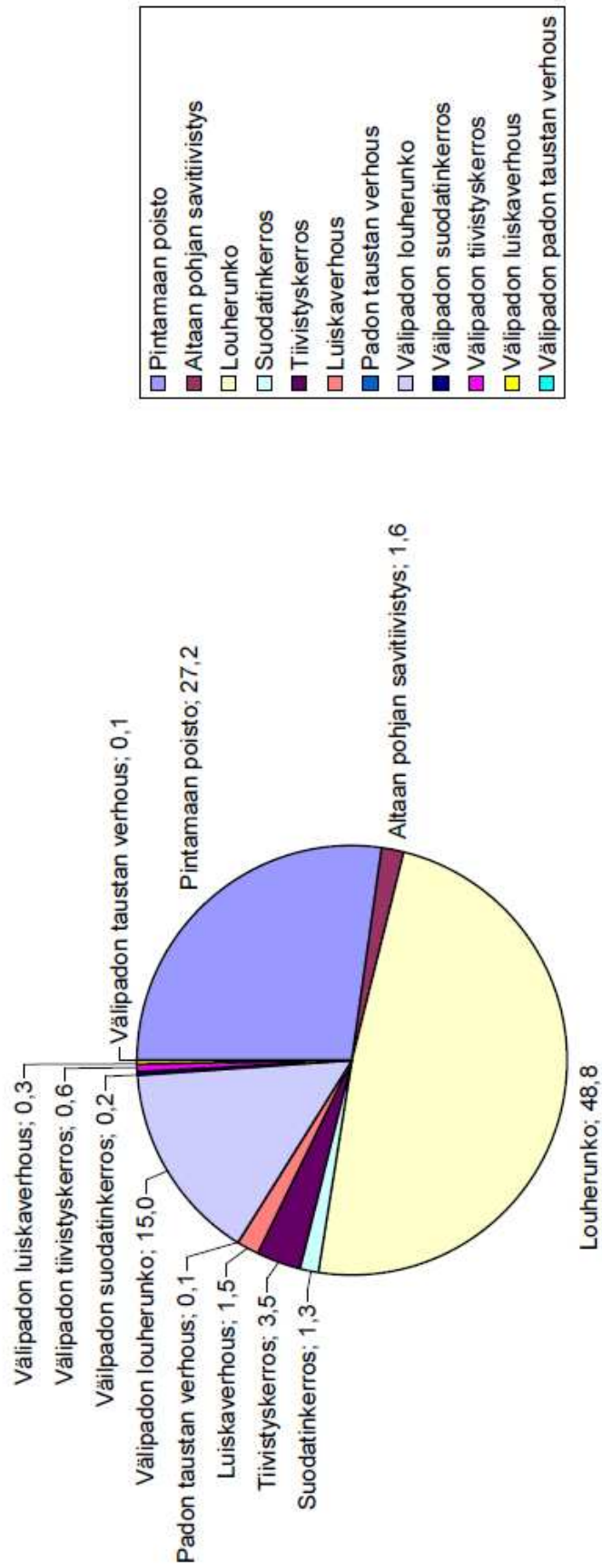
Välipadot:

	Välipato 1	Välipato 2	
Louherunko	160 248	176 272 t	x
Suodatinkerros	4 036	4 439 t	x
Tiivistyskerros	10 710	11 781 t	x
Luiskaverhous	4 802	5 283 t	x
Padon taustan verhous	2 614	2 876 t	x

Yhteensä:

Kustannusarvio/patometri:	x
----------------------------------	---

Patorakenteiden osuudet kokonaiskustannuksesta [%]



Uuden patoaltaan rakentaminen

Patoaltaan rakentaminen kolmessa osassa

Massalaskelma [t]:

Laajennus 1	Reunapadon pituus	Välipadon pituus	Reunapato	Välipato 1
	692	300		
Louherunko			369 638	160 248
Suodatinkerros			9 309	4 036
Tiivistyskerros			24 704	10 710
Luiskaverhous			11 078	4 802
Padon taustan verhous			6 030	2 614

Laajennus 2	Reunapadon pituus	Välipadon pituus	Reunapato	Välipato 2
	550	330		
Louherunko			293 787	176 272
Suodatinkerros			7 399	4 439
Tiivistyskerros			19 635	11 781
Luiskaverhous			8 805	5 283
Padon taustan verhous			4 793	2 876

Laajennus 3	Reunapadon pituus	Reunapato
	810	
Louherunko		432 669
Suodatinkerros		10 897
Tiivistyskerros		28 917
Luiskaverhous		12 967
Padon taustan verhous		7 058

Kustannusarvio:	Kustannus €
Laajennus 1	x
Laajennus 2	x
Laajennus 3	x

Uuden patoaltaan rakentaminen

Laajennuksen vaikutus kapasiteettiin

Laajennus 1:

Pinta-ala	63 579 m ²
Padon korkeus	8 m
Täyttökapasiteetti	508 632 m ³ kr
Täyttökapasiteetti	762 948 t

Laajennus 2:

Pinta-ala	65 102 m ²
Padon korkeus	8 m
Täyttökapasiteetti	520 816 m ³ kr
Täyttökapasiteetti	781 224 t

Laajennus 3:

Pinta-ala	56 195 m ²
Padon korkeus	8 m
Täyttökapasiteetti	449 560 m ³ kr
Täyttökapasiteetti	674 340 t

Tilavuuspaino	1,50
---------------	------

Yhteensä:	2 218 512 t
Rikastushiekkaa/vuosi	224 386 t (rikastushiekan vuosikeskiarvo)
Kapasiteetti yht.	9,9 a
Kapasiteetti laajennus 1	3,4 a
Kapasiteetti laajennus 2	3,5 a
Kapasiteetti laajennus 3	3,0 a

