

Janne Rajaniemi

GEOTEKSTIILITUUBIEN HYÖDYNTÄMINEN

GEOTEKSTIILITUUBIEN HYÖDYNTÄMINEN

Janne Rajaniemi
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Yhdyskuntatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Janne Rajaniemi

Opinnäytetyön nimi: Geotekstiilituubien hyödyntäminen

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Applications of Geotextile Tubes

Työn ohjaaja(t): DI Marko Lehmikangas, AFRY Finland Oy. Lehtori Vesa Kallio, Oulun ammattikorkeakoulu

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 34

Geotekstiilituubi on geotekstiilistä valmistettu putkimainen säkki, jota voidaan käyttää erilaisten massojen käsittelyssä tai varastoinnissa. Suomessa geotekstiilituubeja on käytetty hyvin tuloksin imuruoppausmassojen käsittelyssä ja käytetään yhä enemmän hyvien käyttökokemusten takia. Maailmalla geotekstiilituubeja on käytetty jo yli 50 vuotta rantojen eroosiosuojauksessa ja veden hallintarakenteissa.

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia geotekstiilituubien eri käyttömahdollisuuksia. Lisäksi tavoitteena oli lisätä suunnittelijoiden tietämystä niiden soveltuvuudesta kaivos- ja tehdasympäristöön.

Opinnäytetyöhön koottiin tietoa geotekstiilituubeista ja esimerkkikäyttökohteista Suomesta sekä ulkomailta. Esimerkkikohteilla pyrittiin tuomaan esille mahdollisimman monenlaisia käyttökohteita, joilla nähdään olevan käyttömahdollisuutta Suomessakin.

Sotkamon hopeakaivokselle suunniteltu selkeytsaltaan muuttaminen rikastushiekka-altaaksi ja sen reunavallien korotus Geotuubeilla® on ensimmäistä laatuaan Suomessa ja mahdollisesti myös muualla maailmassa. Tässä työssä on tarkasteltu projektin suunnitelmia ja stabiliteettilaskelmia, joiden perusteella Geotuubeilla® voidaan saavuttaa selkeästi hyötyä hankkeessa.

Sotkamo Silverin hopeakaivoksen suunnitelmat selkeytsaltaan muuttamiseksi rikastushiekka-altaaksi ja sen reunapadon korottaminen Geotuubeja® hyödyntäen toisivat säästöjä työajassa, kustannuksissa sekä rajallisissa luonnonkivimateriaaleissa. Geotekstiilituubien hyödyntäminen patorakenteissa ei kuitenkaan ole aina rahallisesti kannattavaa, mikäli kaivosalueen välittömässä läheisyydessä on saatavilla reilusti luonnonkivimateriaaleja ja rikastushiekka soveltuu patokorotusmateriaaliksi.

Asiasanat: geotekstiilituubi, liete, kuivatus, imuruoppaus, rikastushiekka

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

Author: Janne Rajaniemi

Title of thesis: Applications of Geotextile Tubes

Supervisor(s): M.Sc. (Tech.) Marko Lehmikangas, AFRY Finland Ltd.

Lecturer Vesa Kallio, Oulu University of Applied Sciences

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021

Number of pages: 34

A geotextile tube is a tubular bag made of geotextile that can be used for handling or storing different types of masses. The topic of this work was to explore the different uses of geotextile tubes and to increase the knowledge of designers about their suitability in mining and factory environments. Geotextile tubes have been used in the handling of suction dredging masses in Finland with good results and are increasingly used due to their good performance. Worldwide, geotextile tubes have been used for more than 50 years in beach erosion control and hydraulic construction

The thesis summarises the theory of geotextile tubes and example applications from Finland and abroad. The examples are intended to show the widest possible range of applications, which I believe could be potential for used in Finland as well.

The planned conversion of the Sotkamo silver mine's clarification pond into a tailings pond and raising of the tailings dam with Geotubes® is the first of its kind in Finland and possibly also elsewhere in the world. In this thesis, the project design and stability calculations have been reviewed, showing that Geotubes® can clearly bring benefits to the project.

Plans for the Sotkamo Silver mine to convert the clarification pond into a tailings pond and raise its edge dam using Geotubes® will bring savings in labour time, costs and limited natural stone materials. However, the use of geotextile tubes in dam constructions is not always financially viable if natural stone materials are abundantly available in the immediate vicinity of the mine site and the tailings are suitable for use as a dam material.

Keywords: geotextile tubes, sludge, tailings, dewatering

ALKULAUSE

Kiitän AFRY Finland Oy:n suunnittelupäällikkö Marko Lehmikangasta, projektipäällikkö Iida Kaikosta sekä osastopäällikkö Heikki Hekkalaa mielenkiintoisesta aiheesta. Marko Lehmikankaalle lisäksi kiitos työni ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää lehtori Vesa Kalliota hänen antamistaan työn sisältöä koskevista neuvoista.

Oulussa 18.10.2021

Janne Rajaniemi

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	GEOTEKSTIILITUUBIT	8
2.1	Rakenne	9
2.2	Toimintaperiaate.....	12
2.3	Lujuusominaisuudet	14
2.4	Rajatilatarkastelu.....	19
2.5	Vedenjohtavuus.....	20
2.6	Kuivatuskokeet.....	22
3	TOTEUTUNEITA GEOTEKSTIILITUUBIPROJEKTEJA	23
3.1	Pilaantuneen sedimentin imuruoppaus ja geotekstiilituubikäsitteily	23
3.2	Viherrakentamisen kasvualustana.....	23
3.3	Rikastushiekka-altaan suojaaminen maanvyöryltä Hondurasissa.	24
3.4	Duck pond cellars -viinitilan sakka-altaan puhdistaminen Oreganossa	25
3.5	Meksikon suurimman kananjalostuslaitoksen lietealtaiden puhdistus	26
4	SOTKAMO SILVERIN RIKASTUSHIEKKA-ALTAAN KOROTTAMINEN.....	28
5	LOPPUSANAT.....	32
	LÄHTEET.....	33

1 JOHDANTO

Maailmalla teollisuuden raaka-aineita tarvitaan yhä enemmän, mikä on lisännyt kaivostoimintaa. Kaivostoiminnassa syntyy paljon rikastusjätettä, jonka seurauksena täytyy miettiä keinoja, joiden avulla kasvava jätemäärä saadaan käsiteltyä, varastoitua ja hävitettyä turvallisesti ympäristöä huomioiden. Geotekstiilituubien käyttö kaivoksilla tarjoaa siihen yhden vaihtoehdon. (1, s. 63.)

Märkien massojen kuljetus tai käsittely vaatii usein vesipitoisuuden laskemista merkittävästi. Poistunut vesi pienentää käsiteltävän massan tilavuutta, mikä helpottaa materiaalin käsittelyä. Läjitysaltaissa luonnollisen laskeuttamisen avulla tapahtuva erottuminen on yleensä hidasta. Sedimenttien koko vaikuttaa siihen, miten kauan partikkelien kestää laskeutua ja veden selkeytyä. Mekaaninen vedenerotus puristamalla tai linkoamalla on hyvin rajallista laitteiden pienen kapasiteetin ja korkeiden kustannusten takia. (2, s. 31.)

Geotekstiilituubien käyttö sedimenttien kuivatuksessa on laskeuttamista tehokkaampi vaihtoehto. Lisäksi isojen määrien käsittely on suhteellisen edullista ja nopeaa. Käsittelyaika on muutamista viikoista kuukausiin ja riippuu käsiteltävän sedimentin laadusta. Geotekstiilituubien läpi virtaava vesi on myös puhtaampaa kuin laskeutusaltaalla toteutettu vedenpoisto. Geotekstiilituubien sijoitusalueiksi vaaditut alusrakenteet ovat myös kevyemmät kuin läjitysaltailta vaaditaan. (2.)

Tämän työn tarkoituksena on kartoittaa erilaisia ratkaisuja, joihin geotekstiilituubeja voitaisiin hyödyntää. Kohteita pyritään valikoimaan tarkasteltavaksi mahdollisimman monipuolisesti Suomesta sekä ulkomailta.

Sotkamo Silverin rikastushiekka-altaan laajennussuunnitelmissa on mietitty yhtenä vaihtoehtona rikastushiekalla täytettyjen geotekstiilituubien käyttämistä patorakenteissa. Tämän tyyppistä ratkaisua ei Suomessa ole ennen kokeiltu ja tietoa ulkomailla vastaavasta ratkaisusta ei löytynyt. Opinäytetyössä selvitetään, mitä tällaisella ratkaisulla tavoitetaan

2 GEOTEKSTIILITUUBIT

Geotekstiilituubeja on käytetty massojen varastoinnissa jo vuosien ajan merellisissä kohteissa. Pääasiallisia käyttökohteita ovat olleet rantojen suojarakenteet tai vesien hallintarakenteet. Tunnetuimpia niistä ovat todennäköisesti hiekalla täytetyt säkit, joita on käytetty muun muassa tulvien torjunnassa ympäri maailmaa katastrofien yhteydessä. (3, s. 384-385.)

Geotekstiilituubien käyttö aloitettiin merellisissä rakenteissa 1960-luvulla. Ensimmäiset käytetyt geotekstiilituubit olivat kooltaan pieniä ja niiden teoreettinen halkaisija oli alle kaksi metriä. Näitä pieniä tuubeja kutsuttiin Longard-tuubeiksi. Niiden käyttö stabiliteettiongelmista johtuen oli rajallista varsinkin merellisissä olosuhteissa. Näiden tuubien kudotun geotekstiilin sisäpuolella oli vettä läpäisemätön kalvo, jonka avulla ne paineistettiin vedellä ennen hiekalla täyttämistä. (3, s. 384-385.)

Hienorakeisten massojen varastointia geotekstiilituubeissa on käytetty noin 20 vuoden ajan. Pääsääntöiset kohteet ovat olleet kunnallisen, teollisen ja ympäristöruoppausten puolella. Yhteystyö kemikaali- ja geotekstiiliosaaajien kesken on parantanut myös mahdollisuuksia käyttää geotekstiilituubeja pilaantuneiden maiden käsittelyssä. (4, s.152.)

Vasta 1980-luvulla kehitettiin isomman halkaisijan omaavia geotekstiilituubeja, joissa käytettiin vahvaa kudottua geotekstiiliä, jolla saavutettiin suoraan monia hydraulisia ja merellisiä stabiliteetti-vaatimuksia. Nykypäivän geotuubeja käytetään lietteen kuivatuksessa ja rakenteina tai osana rakennetta. (3, s. 384-385.)

Geotekstiileistä valmistetut säiliöt voidaan jakaa kolmeen ryhmään niiden geometrisen muodon ja tilavuuden perusteella. Nämä ryhmät ovat geotekstiilituubit, geotekstiilisäiliöt ja geotekstiilipussit. Tilavuudeltaan suurimpia ovat geotekstiilituubit, joita täytetään pääsääntöisesti loppusijoituspaikoilla. Geotekstiilisäiliöt ovat tilavuudeltaan isoja. Ne täytetään proomuissa ja upotetaan vedenpinnan alle. Pienet geotekstiilipussit täytetään joko maalla tai vedenpinnan yläpuolella, minkä jälkeen ne sijoitetaan suunnitellusti lähelle vettä tai veden alle. (3, s. 384-385.)

Geotekstiilituubeja käytetään yhtenä käsittelymenetelmänä märkien massojen vedenpoistossa. Veden poistuminen tuubista tapahtuu painovoimaisesti, jolloin lietteen tilavuus laskee merkittävästi alkuperäisestä. Tämän johdosta materiaalin käsittely helpottuu ja pienentää kuljetuskustannuksia. Geotekstiilituubeja voidaan käyttää vedenpoiston jälkeen loppusijoitukseen. Ne voidaan joko peittää paikoilleen tai puretun tuubin sisältö voidaan siirtää toisaalle. (5.)

Geotekstiilituubien täyttö tapahtuu pumpaamalla märkämässä esimerkiksi betoni- tai keskipakolietepumpulla tuubin päällä olevista aukoista sisään. Pumpkauksen aikana lietteeseen lisätään yleensä siirtoputkessa vedenerotuskemikaaleja, kuten flokkulanttia, koagulanttia tai polymeeriä. Nämä kemikaalit tehostavat saostumista lietteessä. Kemikaalien oikea annostelu pystytään määrittämään paikan päällä kenttäkokeilla, joita ovat muun muassa Hangin Bag -testi sekä Pillow-testi (6.)

Pienten massojen käsittelyssä geotekstiilituubi voidaan sijoittaa vaihtolavalle. Suurempia massoja käsiteltäessä isot geotekstiilituubit sijoitetaan kuivausalustalle tai vedenpoistoaltaisiin, joista suodattunut vesi voidaan kerätä tasausaltaan kautta käsiteltäväksi ja purkaa edelleen takaisin vesistöön. (7, s.10.)

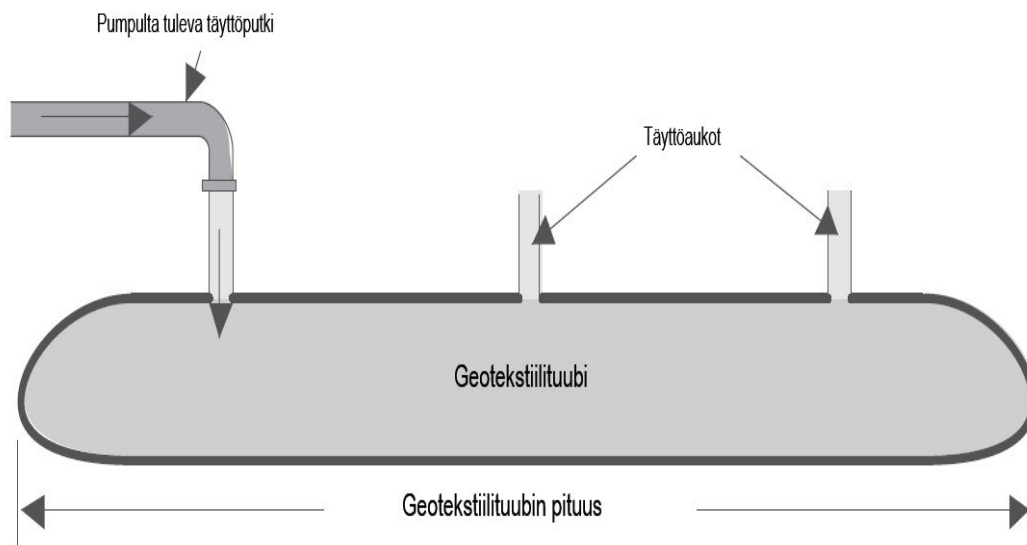
Geotekstiilituubin toiminta perustuu suodatinkerrokseen, joka muodostuu tuubin sisälle tulevasta hienoaineksesta. Tuubin täytön aikana kangas alkaa kostumaan massan mukana tulevasta vedestä ja hienoainepartikkelit alkavat adsorboitumaan kankaaseen tukkien reiät. Suodatinkerroksen synnyttyä säkin sisälle se pystyy pidättämään partikkeleita, joiden halkaisija on jopa viidesosa kudoksen silmäkoosta. (7, s.10.)

2.1 Rakenne

Geotekstiilituubi on kutomalla ja ompelemalla valmistettu putkimainen säkki. Materiaaleina siinä on käytetty esimerkiksi polypropeenilankaa, polyesterimonikuitulankaa tai polypropeenimonikuitulankaa. Sopiva materiaali valitaan testien perusteella. Geotekstiilituubeissa käytetyillä materiaaleilla on hyvä vetolujuus, hyvät venymäominaisuudet sekä UV-, kemikaali- että happo-emäskestävyys.

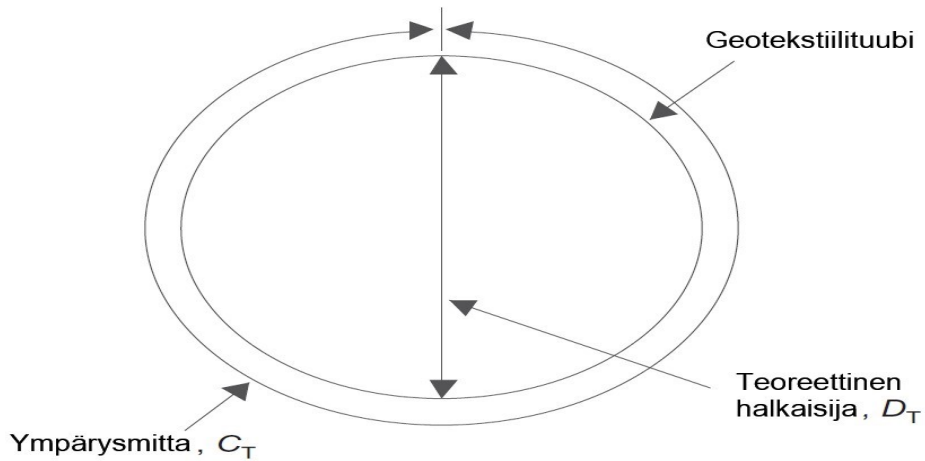
Geotekstiilituubien saumat valmistetaan tehtaalla, mikä varmistaa saumojen erittäin hyvän vetolujuuden. Tuubin tyypillinen tilavuus vaihtelee 10 m³:stä 1 500 m³:iin välillä ja teoreettinen halkaisija on 1–10 m. Geotekstiilituubilla voi olla pituutta jopa 200 m, riippuen käyttökohteesta. (3, s. 385.)

Geotekstiilituubi täytetään täyttöaukoista, jotka sijaitsevat tuubin yläpuolella. Täyttöaukot, joita on aina vähintään kaksi kappaletta, mahdollistavat mahdollisimman tasaisen täyttämisen. Geotekstiilituubin rakenne on esitetty kuvassa 1. Geotekstiilituubirullat puretaan kuivausalustalle täyttöaukot ylöspäin linjattuina. Geotekstiilille on toimivuuden kannalta olennaisia vaatimuksia, joilla varmistetaan tuubien oikeanlainen toimivuus. Geotekstiilin täytyy kestää täytöstä aiheutuva sekä mekaanisen rasituksen aiheuttama kulutus sen koko elinkaaren ajan, minkä vuoksi tekstiilissä on oltava riittävä vetolujuus ja jäykkyys. Lisäksi tuubin pitää pystyä pitämään materiaali sisällä ja tulee päästää vesi tarpeeksi tehokkaasti ulos tuubista. (3, s. 386-407.)



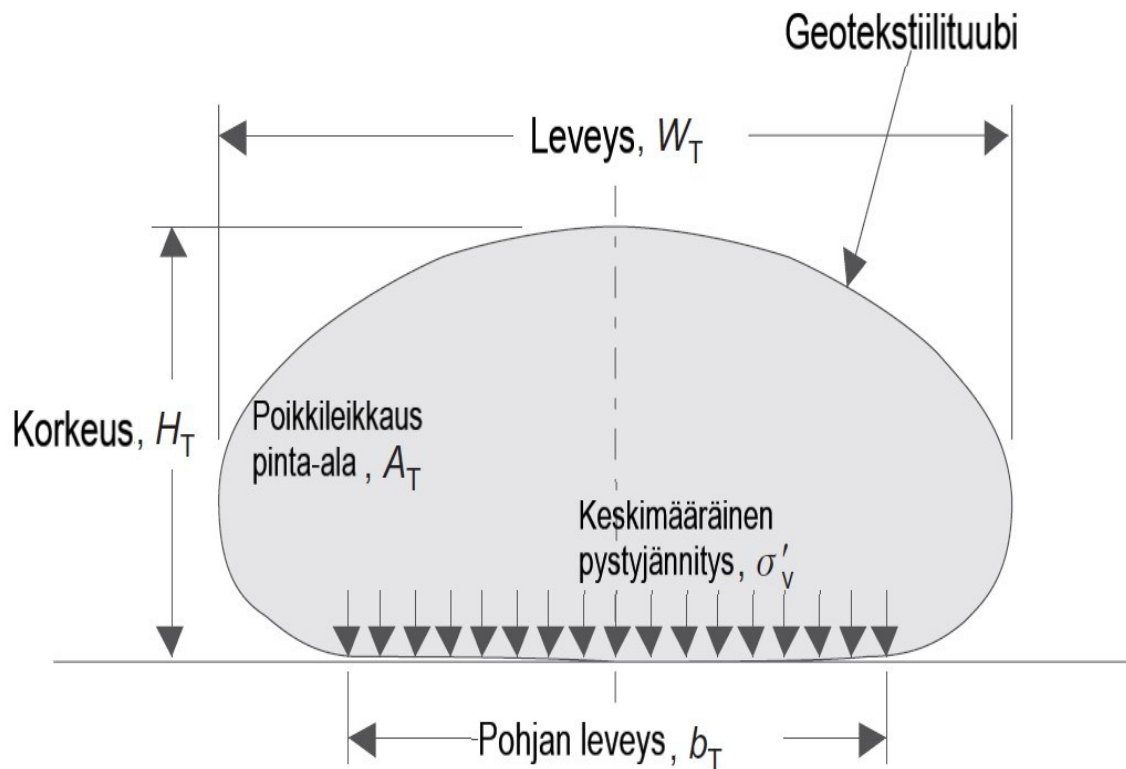
KUVA 1. Geotekstiilituubin rakenne (3, s. 386)

Geotekstiilituubien koko ilmoitetaan tyypillisesti teoreettisella halkaisijalla ja ympärysmittalla. Näiden määrittäminen on esitetty kuvassa 2. Käytännössä täytetyn tuubin muoto ei ole pyöreä, vaan se muistuttaa enemmänkin litistettyä putkiloa. (3, s. 386.)



KUVA 2. Geotekstiilituubin teoreettinen halkaisija ja ympärysmitta (3)

Täytetyn geotekstiilituubin tekniset parametrit poikkeavat teoreettisista parametreista. Käytön kannalta oleelliset tekniset parametrit on esitetty kuvassa 3. (3, s. 386.)



KUVA 3. Täytetyn geotekstiilituubin oleelliset parametrit (3, s. 386)

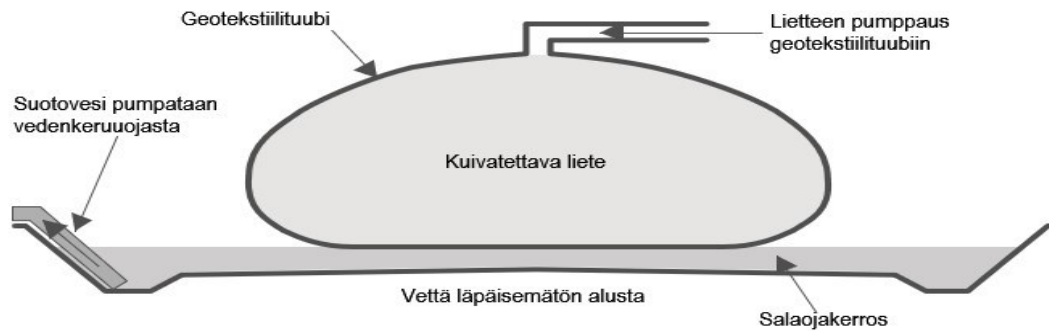
Geotekstiilituubien mitoittamista varten on määritetty muuntokertoimia, jotka ovat suuntaa antavia. Muuntokertoimet esitetty taulukossa 1. Ne ovat voimassa vain tuubeilla, jotka on täytetty hiekkamaisella materiaalilla. Tuubien alustan tulee olla tasainen, sivuueton viruma vähäistä ja materiaalin enimmäisvenymä $\leq 15\%$. (3, s. 387.)

TAULUKKO 1. Suuntaa antavat geotekstiilituubien perusparametrien ja teknisten parametrien väliset muuntokertoimet (3, s. 387)

Tekninen parametri	Riippuvuus teoreettisesta halkaisijasta D_T	Riippuvuus teoreettisesta ympärysmitasta C_T
Suurin sallittu täyttökorkeus, H_T	$H_T \approx 0,55x D_T$	$H_T \approx 0,18xC_T$
Täytetyn tuubin leveys, W_T	$W_T \approx 1,5xD_T$	$W_T \approx 0,5xC_T$
Pohjan leveys, b_T	$b_T \approx D_T$	$b_T \approx 0,3xC_T$
Poikkileikkauspinta-ala, A_T	$A_T \approx 0,6xD_T^2$	$A_T \approx 0,06xC_T^2$
Keskimääräinen pystyjännitys pohjalla, σ'_v	$\sigma'_v \approx 0,7x\gamma x D_T$	$\sigma'_v \approx 0,22x\gamma x C_T$
Huomautus: γ on täytemateriaalin irtotilavuuspaino.		

2.2 Toimintaperiaate

Geotekstiilituubin toimintaperiaate perustuu yksinkertaisuudessaan tuubin sisälle hienoaineksista muodostuvaan suodatinkerrokseen, jonka läpi vesi kulkeutuu vedenpoistoaltaaseen jättäen kiintoainekset tuubin sisälle. Altaasta vesi pumpataan jatkokäsittelyyn tai mahdollisuuksien mukaan takaisin ympäristöön. Kuvassa 4 on esitetty geotekstiilituubi vedenkeruualtaassa. (3, s. 413.)

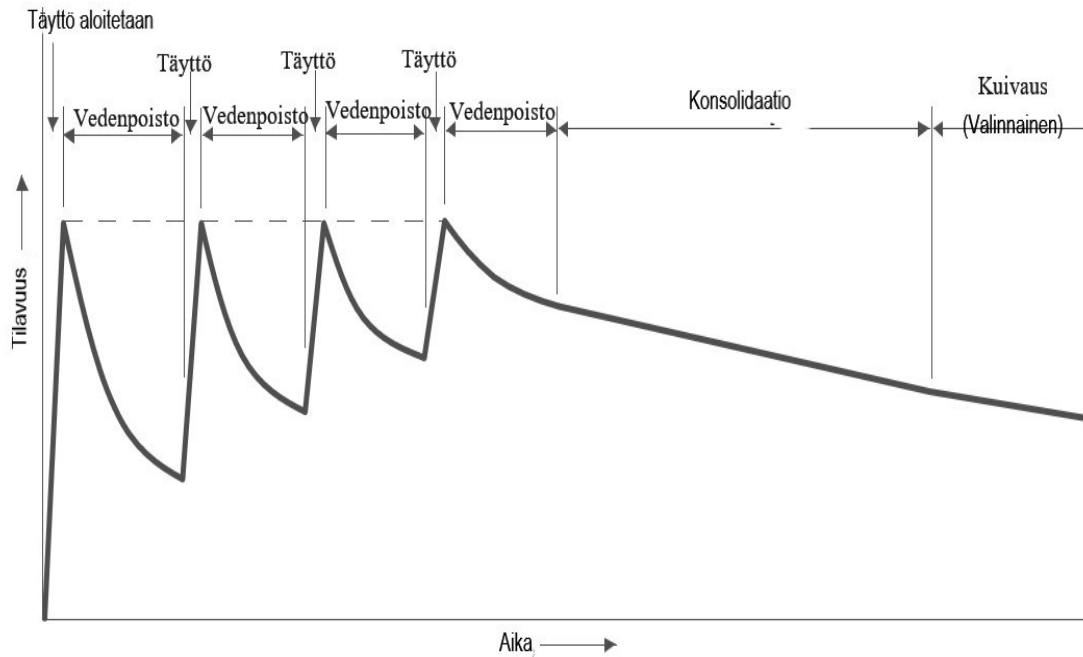


KUVA 4. Geotekstiilituubi vedenkeruualtaassa (3, s. 407)

Geotekstiilituubikäsitelyssä on käytännössä neljä vaihetta: täyttö, kuivatus, konsolidaatio ja loppusijoitus. Ensimmäisessä vaiheessa geotekstiilituubi täytetään pumpaamalla liete tuubin yläpuolella olevien aukkojen kautta täyteen. Pumppausvaiheessa lisätään yleensä vedenerotuskemikaa- leja pumppauslinjastoon parantamaan saostumista lietteessä.

Tuubin tullessa täyteen, pumppaus lopetetaan ja annetaan veden suotautua geotekstiilissä olevien reikien kautta pois. Tätä vaihetta kutsutaan kuivatukseksi, jota jatketaan kahdesta viikosta kahteen kuukauteen riippuen kohteesta ja kuivatettavasta lietteestä. Hienorakeisilla materiaaleilla kuivuminen on hitaampaa ja karkearakeisilla nopeampaa. Kuivumisen aikana geotekstiilituubissa olevan lietteen tilavuuden pienentyessä riittävästi, voidaan täyttö aloittaa uudelleen. Täyttö- ja kuivatusvaiheita toistetaan normaalisti 4–6 kertaa, kunnes tilavuuden pienentymä muuttuu merkityksettömäksi. (3, s. 407-408; 8, s.130.)

Käsittelyprosessi etenee täytön ja kuivatuksen jälkeen kolmanteen vaiheeseen. Tätä kutsutaan konsolidaatiovaiheeksi. Tässä vaiheessa huokosvesi alkaa poistumaan käsiteltävästä lietteestä, jolloin liete kuivuu tavoiteltuun kiintoainepitoisuuteen. Konsolidaatiovaihe kestää huomattavasti pidempään, sillä huokosveden virtaus on pientä. Huokosveden poistuminen kestää 2–6 kuukautta riippuen käsiteltävästä lietteestä ja tavoitekiintoainepitoisuudesta. Kuvassa 5 on esitetty näiden kolmen ensimmäisen vaiheen tilavuus ajan funktiona. (3, s. 407-408.)



KUVA 5. Täyttö-, kuivaus- ja konsolidaatiovaiheet geotekstiilituubikäsitelyssä (3, s. 408)

Viimeisenä vaiheena on geotekstiilituubissa olevan kiintoaineksen loppusijoitus. Yhtenä vaihtoehtona on jättää geotekstiilituubi paikalleen ja maisemoida se. Toisena vaihtoehtona on avata geotekstiilituubi ja kuljettaa sisällä oleva kiintoaines kaatopaikalle, poltettavaksi tai käytettäväksi maa-rakennuksessa. (3, s. 407-408.)

2.3 Lujuusominaisuudet

Geotekstiilituubin saumoilla on oltava riittävät vetolujuudet, jotta ne kestävät täyttämistä, pinoamisesta ja kuljetuksesta syntyvät kuormat. Suurimmat kuormat geotekstiiliin syntyvät täyttövaiheen aikana.

Geotekstiilin kimmomoduuli lasketaan kaavalla 1 (9, s. 12).

KAAVA 1. Kimmomoduulin laskentakaava

$$E = \frac{T_m}{\varepsilon_m \times t_g}$$

E = geotekstiilin kimmomoduuli [kN/m²]

t_g = geotekstiilin paksuus [m]

ε_m = geotekstiilin enimmäisvenymä [-]

T_m = suurin sallittu vetokuorma [kN/m].

Geotekstiilin vetojäykkyys lasketaan kaavalla 2 (9, s. 12).

KAAVAN 2. Vetojäykkyyden laskentakaava

$$J = E \times t_g = \frac{T_m}{\varepsilon_m}$$

J = geotekstiilin vetojäykkyys [kN/m]

t_g = geotekstiilin paksuus [m]

ε_m = geotekstiilin enimmäisvenymä [-]

T_m = suurin sallittu vetokuorma [kN/m]

Yleisimpiä käytössä olevia geotekstiilien raaka-aineita ovat polyesteri, polypropyleeni ja polyetyleni. Vetolujuuden ja vetojäykkyyden kasvaessa materiaalin maksimivenymä pienenee. Geotekstiilien materiaaliarvoja on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Yleisimpien geotekstiilien vetolujuuksia ja venymiä (9, s. 12)




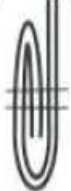

Geotekstiili	T_m [kN/m]	ϵ_{max} [%]	J [kN/m]
Polyesteri (PET)	100–1600	8–15	870–16000
Polypropyleeni (PP)	40–300	10–15	320–2400
Polyetyleni (PE)	20–50	20–30	80–200

T_m = vetolujuus

ϵ_{max} = venymä suurimmalla sallitulla vetovoimalla

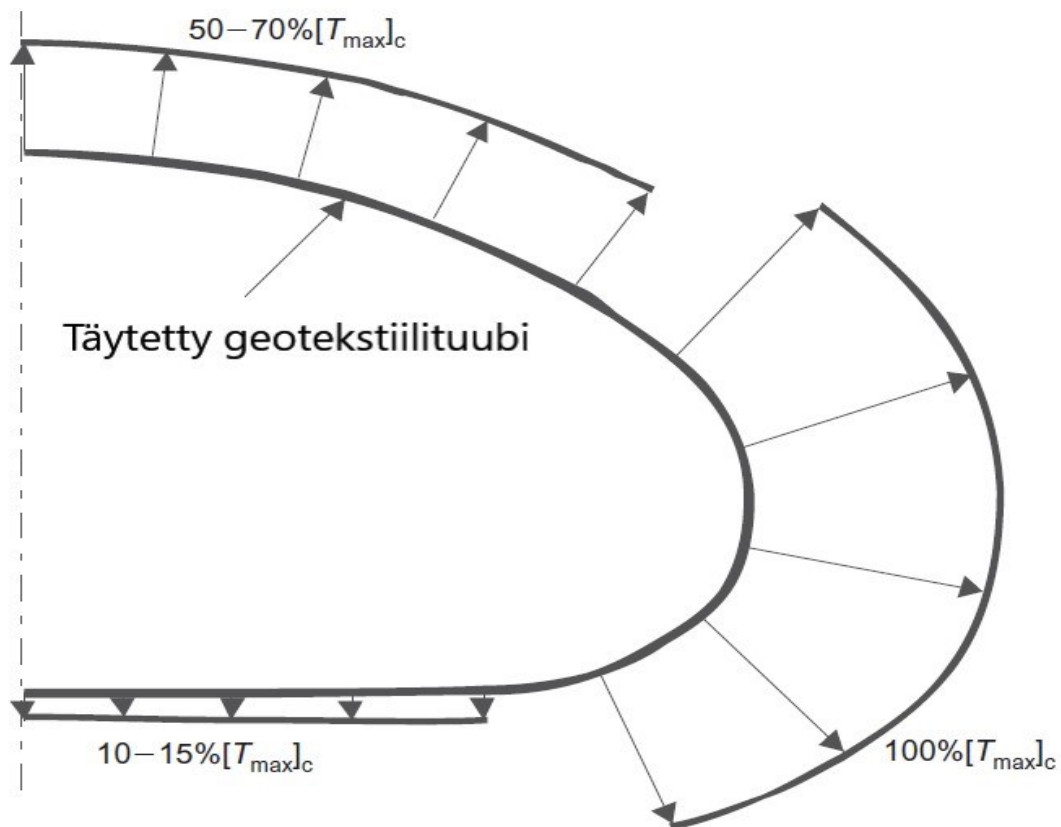
J = vetojäykkyys

Vetolujuudessa on otettava huomioon, että geotekstiilituubin saumojen kestävyys on n. 30–80 % geotekstiilin lujuudesta. Sauman kestävyteen vaikuttaa saumatyyppi, käytetty lanka sekä ommel-tiheys. Yleisimmät saumatyypit ja niiden vetolujuudet on esitetty kuvassa 6. Kuvassa 6 olevia ar-voja voidaan soveltaa tehtaalla valmistettuihin saumoihin. Työmaalla käsin tehdyt saumat ovat ole-tetusti heikompia. (9, s. 12-13.)

Sauma	Nimi ja kuvaus	Saumun vetolujuus
	Prayer seam. Yleinen geotekstiilisäiliöissä kun sauma ommellaan paikan päällä.	30-50 % geotekstiilin vetolujuudesta.
	Butterfly seam	40-70 % geotekstiilin vetolujuudesta.
	J-seam	30-60 % geotekstiilin vetolujuudesta.
	Double J-seam	50-70 % geotekstiilin vetolujuudesta.
	Overlap Z-seam. Voidaan ommella vain tehtaalla erikoisvälineillä.	>80 % geotekstiilin vetolujuudesta.

KUVA 6. Käytetyt saumatyypit ja niiden vetolujuudet (9, s. 13)

Täytetyn geotekstiilituubin kehäjännityksen suuruus muuttuu suhteessa pinnan kaarevuuden mukaan. Reunoilla kehäjännitys on suurimmillaan, kun vastaavasti pohjassa on pienimmillään pohjan ollessa tasainen. Geotekstiilituubin saumojen sijaintia mietittäessä on kehäjännitys otettava huomioon. Kuvassa 7 on esitetty kehäjännityksen sijaintia ja suuruutta prosentiosuutena maksimi kehäjännityksestä ($[T_{\max}]_c$). (3, s. 390.)

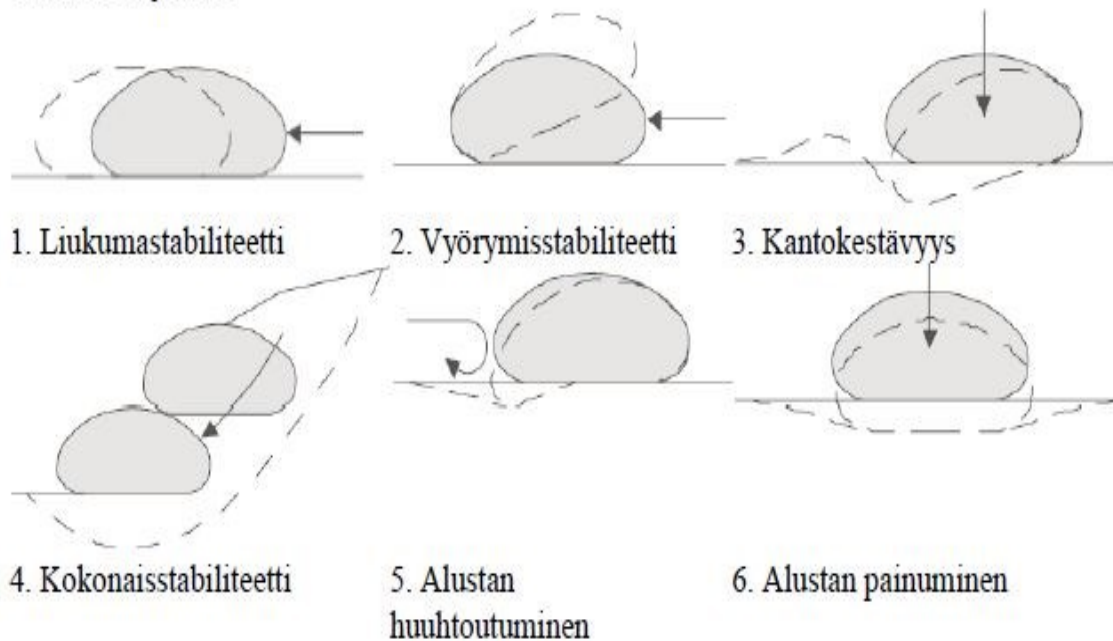


KUVA 7. Kehäjännitykset prosentiosuuksina maksimi kehäjännityksistä $[(T_{\max})_c]$ (3, s. 390)

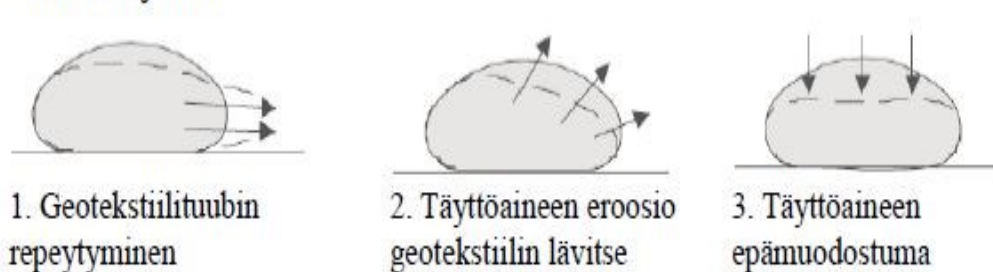
2.4 Rajatilatarkastelu

Käytettäessä geotekstiilituubeja rakenteissa on suunnittelussa huomioitava erilaisia ulkoisia- ja sisäisiä rajatiloja, joilla on suoraan tai välillisesti vaikutusta rakenteen kestävyteen tai pysymiseen. Ulkopuolelta tulevat häiriöt vaikuttavat koko geotekstiilituubirakenteeseen ja sisäiset häiriöt vaikuttavat yhteen geotekstiilituubiin ja sen toimintaan. Tarkasteltaessa rajatiloja voidaan käsitellä kokonaisvarmuus- tai osavarmuustekijöitä. Ulkoisia- ja sisäisiä rajatiloja on esitetty kuvassa 8. (3, s.388-389.)

Ulkoiset rajatilat

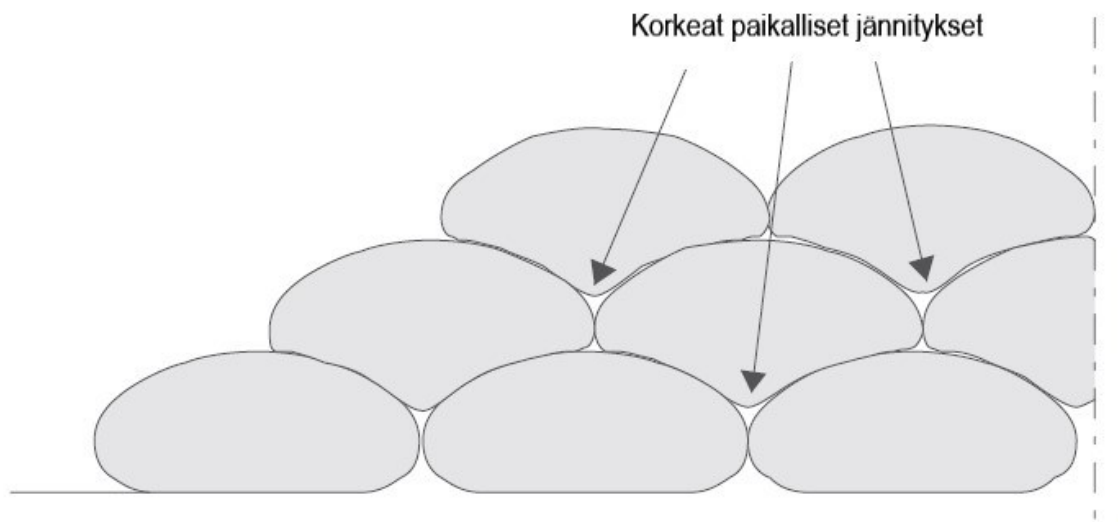


Sisäiset rajatilat



KUVA 8. Geotekstiileistä tehtävien rakenteiden suunnittelussa huomioitavia rajatiloja (3, s. 388)

Geotekstiilituubin pohjanleveys on suuri suhteessa korkeuteen, jolloin tuubi on itsessään vakaa yksikkö. Tuubin halkaisijan ollessa alle kaksi metriä on tärkeää varmistua riittävästä stabiiliteetista, etenkin pyörähtämisen ja liukumisen osalta. Geotekstiilituubin paino jakautuu yleisesti ottaen tasaisesti leveään pohjansa takia. Kantavuutta tulisi tarkastella kuitenkin, jos pohjamaa on pehmeää tai tuubeja on tarkoitus asentaa päällekkäin. Päällekkäin asennettaessa geotekstiilituubeja on syytä huomioida alempien geotekstiilituubikerrosten väliin jäävät raot. Rakojen kohdalla voi syntyä suuria paikallisia jännityksiä, kuten kuvassa 9 on esitetty. (3, s. 389.)



KUVA 9. Geotekstiilituubeja pinottaessa on huomioitava väliin jäävät raot, joihin voi syntyä suuria paikallisia jännityksiä (3, s. 416)

Geotekstiilituubeista poistuva vesi voi virratessaan huuhtoa alustasta maa-aineksia pois, jolloin riski pyörähtämiseen kasvaa. Tätä voidaan ehkäistä asentamalla muovikalvo geotekstiilituubin alle ennen täyttöä. (3, s. 389.)

2.5 Vedenjohtavuus

Geotekstiilituubin toiminta perustuu vedenpoistumiseen tuubin sisältä ja sisällä olevasta täyttömateriaalista. Geotekstiilin vedenjohtavuuden tulisi olla yli kymmenkertainen täyttömateriaaliin verrattuna, jottei huokosveden paine kasvaisi liian suureksi. Vedenvirtausnopeuteen vaikuttaa lisäksi

geotekstiilin ulkopuolinen maa-aines. Geotekstiilin vedenläpäisevyys voidaan määrittää CEN-standardin (EN ISO 11058) mukaisesti, jossa asetetaan 50 mm:n vedenpaine-ero geotekstiilin läpi. (9, s. 102-104.)

Geotekstiilin vedenjohtavuus muuttuu täyttömateriaalin mukaan. Täyttömateriaali voi muuttaa vedenjohtavuutta kolmella eri tavalla geotekstiilissä. Näitä ovat estäminen, tukkiminen sekä holvaaminen. Täyttömateriaalissa olevat isot rakeet voivat kulkeutua geotekstiilin reikiin estäen vedenvirtausta. Tukkeutuminen voi tapahtua, jos hienoaines kulkeutuu geotekstiilin reikiin ja kiinnittyy reikien reunoihin lopulta tukkien reiät kokonaan. Laaja-alainen tukkeutuminen on mahdollista, jos hienoaineksen partikkelien koko on suhteessa (O_{90}/D_{90}) geotekstiilin silmäkokoan 0,5–1,0. (9, s. 103-104.)

Holvaamisen aiheuttaa täyttömateriaalissa olevat hienoainekset, jotka tarttuvat geotekstiilikuitujen väliin ja tämän jälkeen toisiinsa. Holvaamisesta huolimatta vedenjohtavuus geotekstiilissä voi pienentyä jopa 50 % ollen kuitenkin isompi kuin täyttömateriaalin vedenjohtavuus. (9, s. 103-104.)

Geotekstiilituubien käyttötarkoituksen mukaan toivotaan joko pientä tai suurta vedenjohtavuutta. Lietteen kuivatuksessa pyritään saamaan vedenjohtavuus pieneksi, jotta geotekstiilin sisäpintaan muodostuisi vedenlaatua parantava suodatinkerros. Merellisissä ja hydraulisissa rakenteissa, joissa täyttömateriaalina käytetään hiekkaa, on toivottavaa, ettei tukkeutumista synny, sillä se pidentää konsolidoitumiseen tarvittavaa aikaa. (8, s. 130.)

Geotekstiilin optimaallisen aukkokoon määrittämisellä on merkitystä käyttökohteen mukaiseen vedenpoistoon geotekstiilituubista. Liian suurella aukkoolla täyttömateriaalia virtaa ulos tuubista. Vastaavasti liian pienillä aukoilla voi muodostua liian suuria jännityksiä saumoihin ja geotekstiiliin. Suodatinkerroksen muodostuminen mutkistaa geotekstiilin vedenläpäisevyyttä. Tätä voidaan tutkia erilaisten kuivatuskokeiden avulla, näitä kuvataan tarkemmin luvussa 2.7. (8, s. 130.)

2.6 Kuivatuskokeet

Geotekstiilituubeilla käsiteltävien maa-aineksien ja lietteiden ominaisuudet voivat vaihdella eri koh-teissa paljon. Tästä johtuen jokainen kohde arvioidaan tapauskohtaisesti kuivatuksen optimoi-miseksi. Arviointi suoritetaan vaiheittain ja ennakkokokeiden perusteella suoritetaan lopullinen oi-keassa mittakaavassa tehty kenttäkoe. (3, s. 411.)

Arviointi aloitetaan tekemällä yksinkertaisia ennakkokokeita joko laboratoriossa tai työmaalla. Täl-lainen ennakkokoe on esimerkiksi kartiokoe, jossa geotekstiilituubissa käytettävästä kankaasta tai-tellaan kartion muotoinen kappale mitta-astian päälle. Tämän jälkeen kartioon kaadetaan lietettä, johon on lisätty kuivatuskemikaaleja ja tarkastellaan ennen ja jälkeen tuloksia. Ennakkokokeita on helppo ja nopea tehdä, joten kokeita pystytään tekemään useita yhtä aikaa. Ennakkokokeilla arvi-oidaan muun muassa kuivatuskemikaalien tarpeellisuutta, lopullista kiintoainepitoisuutta sekä täyt-tömateriaalin tilavuuden pienenemistä. (3, s. 411.)

Yleensä ennakkokokeista siirrytään tekemään pienoismittakaavassa kenttäkokeita esimerkiksi hanging bag- tai geotekstiilituubikuivatuskoe. Näillä kokeilla pyritään luomaan todellisia proses-siolosuhteita, josta saadaan tärkeää tietoa geotekstiilin kuivatustehosta ja suotoveden laadusta. Hanging bag -koe suoritetaan tuubin valmistuksessa käytettävästä geotekstiilikankaasta valmiste-tussa säkissä, jonka mitat ovat 1,7 m x 0,6 m. Säkki asetetaan roikkumaan telineeseen, johon kaadetaan täyttömateriaalia ja tarkastellaan suotoveden määrää, laatua ja kiintoainepitoisuutta tai säkkiin jääneen kiintoaineen määrää. Hanging bag -koetta käytetään yleensä aina geotekstiilituu-biprojektien arviointivaiheessa. Geotekstiilituubikuivatuskokeella voidaan arvioida samoja asioita kuin hanging bag -kokeella, mutta kuivatuskokeessa käytetään säkin sijasta pientä tyynynmuo-toista geotekstiilisäiliötä, johon liete johdetaan putken kautta. (3, s. 411.)

Ennakkokokeiden ja pienenmittakaavan kenttäkokeiden jälkeen voidaan siirtyä lopullisiin isoihin oikean mittakaavan kokeisiin. Nämä kokeet suoritetaan erillisellä prototyyppituubilla tai vaihtoeh-toisesti kuivatusprojektin ensimmäisellä geotekstiilituubilla. Tässä viimeisessä kokeessa voidaan varmistaa tai muokata edellisten kokeiden pohjalta tehtyjä arviointeja oikean mittakaavan mukai-siksi. (3, s. 411.)

3 TOTEUTUNEITA GEOTEKSTIILITUUBIPROJEKTEJA

Luvuissa 3.1–3.5 käydään läpi muutamia valmistuneita projekteja, joissa on käytetty geotekstiilituubeja menestyksellisesti. Näitä esimerkkejä kuvailemalla on pyritty antamaan mahdollisimman laaja kuva geotekstiilien käyttömahdollisuuksista.

3.1 Pilaantuneen sedimentin imuruoppaus ja geotekstiilituubikäsitely

Joensuun kaupunki halusi asuinkäyttöön ranta-alueita, jossa oli toiminut vanha Penttilän saha vuosina 1871–1988. Teollisen toiminnan seurauksena alueen maaperä oli pilaantunutta ja sisälsi muun muassa dioksiini- ja furaaniyhdisteitä, PAH-yhdisteitä, öljyhiilivetyjä sekä raskasmetalleja. Sahan tukkialtaasta imuruopattiin pilaantunutta sedimenttiä noin 53 000 m³, joka pumpattiin rannalle geotekstiilituubeihin käsiteltäväksi. Geotekstiilituubikäsitely onnistui hyvin ja käsittelyn jälkeen sedimenttiä jäi jäljelle noin 36 000 tonnia. Tämä hanke oli Suomen suurin toteutettu maan kunnostusurakka. (10, s. 8-10.)

Tukki-altaan pinta-ala oli kolme hehtaaria ja tilavuutta noin 90 000 m³. Altaassa oli pohjasedimenttiä 1–1,5 m, josta imuruopattiin pilaantunut pohjasedimentti pois ja pumpattiin putkistoa pitkin geotekstiilituubeihin käsiteltäväksi. Pumpauksen aikana linjastoon syötettiin kemikaaleja kiintoainepitoisuuden lisäämiseksi ja suotoveden puhdistamiseksi. Suotovesi ohjattiin lopuksi takaisin altaaseen. Geotekstiilituubikäsitelyn toimivuutta seurattiin kattavilla näytteidenotoilla, jotta voitiin varmistua käsittelyn toimivuudesta. (10, s. 8-10.)

Pilaantunutta pohjasedimenttiä kuivatettiin geotekstiilituubeissa noin vuoden ajan, minkä jälkeen kuivunut sedimentti poistettiin geotubeista ja kuljetettiin kaatopaikalle. Käytetyt geotekstiilituubit ja kuivatusrakenteet vietiin Penttilän teollisuuskaatopaikalle kapseloitavaksi. (10, s. 8-10.)

3.2 Viherrakentamisen kasvualustana

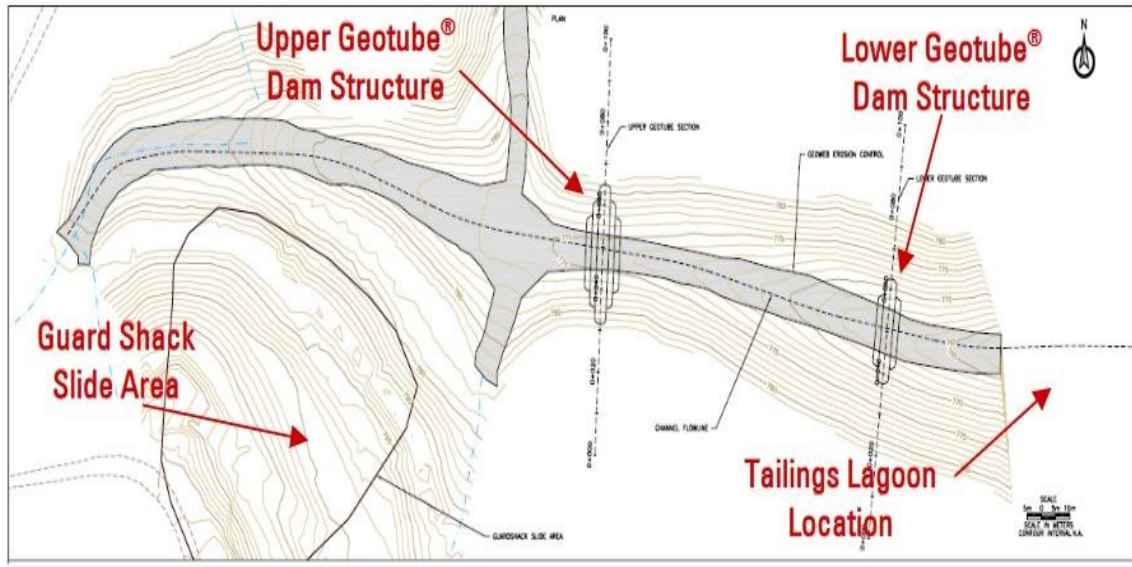
Vantaan Korsossa sijaitsevassa Ankkapuistossa ruopattiin alueen lammikoista ja läpi virtaavasta Korsonojasta lietettä noin 1 500 m³. Vantaan kaupunki halusi hyödyntää lietteen Ankkapuistossa,

jotta ruoppausmassoja ei olisi tarvinnut kuljettaa maankaatopaikalle 20–40 km:n päähän. Ruopattu liete pumpattiin puistossa tuotuihin geotekstiilituubeihin, joiden annettiin kuivua kevään ja kesän yli paikan päällä. Kuivumisen jälkeen tuubit avattiin ja kolmas osa savea sisältävä kuiva liete sekoitettiin muihin materiaaleihin, kuten puistosta kuorittua ja seulottua nurmea ja toiselta maanrakennustyömaalta tuotua hiekkaa. Jokainen materiaali kasvualustassa analysoitiin ja sen perusteella lisättiin ravinnelisäyksiä sekä määriteltiin seostussuhteet. Tämän jälkeen käsitellyn lietteen ja muiden materiaalien seos käytettiin alueen kasvualustana. Tämä pilottihanke onnistui lopulta yli odotusten. (11.)

3.3 Rikastushiekka-altaan suojaaminen maanvyöryltä Hondurasissa.

El Mochiton kaivoksessa on padolla eristetty rikastushiekka-allas, jossa on suuri määrä saastunutta rikastushiekkaa. Altaan yläpuolella on suuri epävakaa alue, jota kutsutaan Guard Shack Slideksi. Alueesta tekee epävaakaan mahdollinen maanvyörymä rankkasateen aikana, jolloin liikkeelle voi lähteä jopa 400 000 m³ maaperää, kiviä ja roskia. Maanvyöryn massat voivat siirtää rikastushiekka-altaan rikastusjätteet padon toiselle puolelle aiheuttaen suuria vahinkoja herkälle ympäristölle. (12.)

Ratkaisuja vaurioiden lieventämiseksi analysoitiin useita eri vaihtoehtoja. Lopulta päädyttiin rakentamaan Geotubeista® kaksi hidastepatoa 10 metriä syvään HDPE-kalvolla vuorattuun uomaan rikastusaltaan yläpuolelle. Suunnitelma esitetään kuvassa 10. Geotubeja® laitettiin päällekkäin pyramidirakenteiseksi. Ensimmäisessä padossa Geotubeja® oli 3–2–1 ja toisessa 2–1. Tuubien ympärysmitat olivat 10, 12 ja 13 m. Geotubeja®-padoissa täytyi olla paljon massaa vastustaakseen maanvyörymää. Alemman geotubeja® -padon paino asennettuna oli 1 500 t ja ylemmän padon paino asennettuna oli 3 000 t. Geotubeja® täyttöön käytettiin paikallisesti saatavilla olevaa rakeista kaivosjätettä. (12.)



KUVA 10. Suunnitelmapartta alueesta (12)

Geotube®-patojen kohdalla hitsattiin uoman vuorauksessa olevaan HDPE-kalvoon HDPE-vuorauskaistat kitkaa lisäämään. Tämän jälkeen Geotube®-patorakenteen alle rakennettiin sorapatja, jotta tuubeista valuva vesi pääsisi pois. Samaan sorapatjaan asennettiin neljä muoviputkea, joiden halkaisija oli 0,6 m. Näiden putkien tarkoitus oli päästää vesi geotubi®-patojen ohi, sillä patojen tarkoitus oli pitää vain maanvyörymän materiaali takana. (12.)

Geotubeilla® toteutettuna tämän projektin kustannuksia saatiin pienemmäksi, koska rakennusaika oli lyhyt ja tuubien täyttömateriaaleina pystyttiin käyttämään paikallista rikastushiekkaa. Todellisia maanvyörymiä ei alueella ole vielä ollut, mutta padot ovat joutuneet pidättelemään suuria vesimääriä rankkasateiden aikaan. (12.)

3.4 Duck pond cellars -viinitilan sakka-altaan puhdistaminen Oregonossa

Viinivalmistuksessa syntyvien jätemassojen varastoinnissa käytetään yleisesti jäteallasta, jonne mäski ja sakat lasketaan. Jätealtaissa muodostuu epämiellyttäviä hajuja, jotka aiheuttavat ympäristöhaittoja. Oregonin Willamette valleyssa sijaitsevan Duck pond cellarsin viinitilalla oli ongelmia heidän jätealtaassaan, joka tuli puhdistaa. (13.)

Hankesuunnittelun tavoitteena oli muuttaa nykyistä jätevedenkäsittelyjärjestelmää ja korvata se Geotubi®-yksiköllä, jotta saataisiin vähennettyä biologista hapenkulutusta (BOD) ja veteen liukenevia kiintoaineita (TSS). (13.)

Geotube® sijoitettiin jätealtaan viereen, johon käsiteltävä materiaali pumpattiin. Ennen geotube®-käsittelyä mäski ja sakka esikäsiteltiin polymeereillä. Puhdistettavan sakka-altaan kokonaistilavuus oli 1 137 000 litraa jätevettä, josta oli 2 % hienoaainesta. Tästä muodostui 25 t kuivattua mäskiä ja sakkoja, jonka kuiva-ainepitoisuus oli 22 %. Tavoitteena oli 28 %:n kuiva-ainepitoisuus kahdeksan viikon vedenpoiston jälkeen. (13.)

Puhdistetussa altaassa on nykyään käytössä ilmastusjärjestelmä, jonka vesi levitetään viereisille pinot noir -rypäletarhoille. Geotube® toimi tehokkaasti tässä puhdistusprosessissa, eikä hajuhaittoja enää ole ympäristölle. (13.)

3.5 Meksikon suurimman kananjalostuslaitoksen lietealtaiden puhdistus

Meksikon suurimman kananjalostuslaitoksen aiheuttamat ympäristöhaitat läheiseen jokeen olivat suuret, sillä laitoksen kaksi korkean kiintoainepitoisuuden omaavaa lieteallasta oli täynnä. Laitoksella ei ollut enää sijoituspaikkaa uusille lietteille ja eikä heillä ollut toimivaa vedenpuhdistusjärjestelmää. Laitoksen laajentuessa piti etsiä nopeita ratkaisuja kyseiseen ongelmaan, sillä heidän päästönsä ylittivät toimintalupien rajat, johon paikalliset ympäristöviranomaiset vaativat nopeita toimenpiteitä tai laitoksen toiminta pitäisi sulkea. (14.)

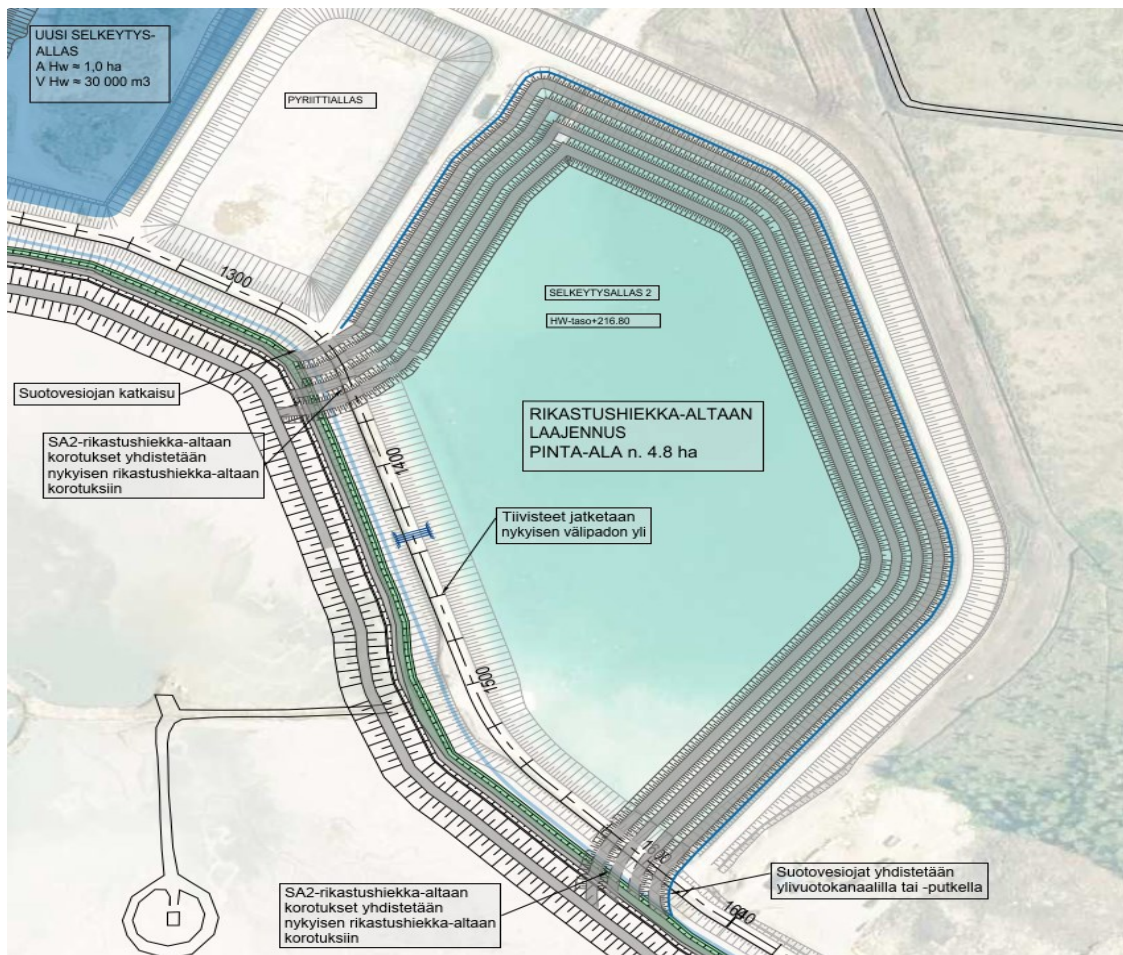
Kananjalostuslaitoksen ongelmiin löydettiin ratkaisu Geotubeista®. Geotube®-käsittelyn jälkeen kiintoaineen tilavuus voisi pudota jopa 90 % alkuperäisestä. Alueella olevalle baseball-kentälle asennettiin vettä läpäisemätön suojakalvo, jonka päälle asennettiin kolmiulotteinen verkko helpottaen suotautuvan veden keräämistä. Tarkoituksena oli pinota geotubeja kahteen kerrokseen, joiden ympärysmitta oli 27 metriä. (14.)

Liete pumpattiin altaista imuruoppaajalla Geotubeihin® jakoputkijärjestelmän kautta. Lietteen flokulaation ja vedenpoiston nopeuttamiseen sekä jäteveden laadun parantamiseen käytettiin polymeeriä. Polymeeri sekoitettiin paikan päällä ja injektoidiin linjastoon. (14.)

Lietealtaista poistettiin 90 päivän aikana yli 25 800 m³ kiintoainetta, jonka hienoainepitoisuus oli 12 %. Geotubeihin® liete pumpattiin viiden prosentin hienoainepitoisuutena, jonka seurauksena Geotubien® kautta kulki 63 000 m³ lietettä. Geotubeista® poistuva vesi oli kirkasta ja yli 95 % kiintoaineista poistettiin lietteestä. Koko ruoppaus- ja vedenpuhdistusprojekti suoritettiin ilman laitostoinnin keskeytystä. Molemmat lietealtaat palautettiin toimintakykyiseksi ja jokeen päätyvät päästöt alittivat sallitut rajat. Geotubeissa® käsitelty jäte meni paikallisille viljelijöille lannoitteeksi. (14.)

4 SOTKAMO SILVERIN RIKASTUSHIEKKA-ALTAAN KOROTTAMINEN

Opinnäytetyössä tarkasteltiin Sotkamossa sijaitsevan hopeakaivoksen suunnitelmat Geotuben® hyödyntämiseksi vuonna 2018 rakennetun selkeytysaltaan reunapadon korotuksessa. Selkeytysallas 2 on suunniteltu muutettavaksi rikastushiekan läjityskäyttöön. Kuvassa 11 esitetään suunnitelmakartta kohteesta. Reunapatojen korotus tullaan toteuttamaan sisäänpäin korottamalla, joista osa tai mahdollisesti kaikki toteutettaisiin Geotubeja® hyödyntämällä. Vastaavanlaista toteutusta geotekstiilitubeilla ei ole ennen tehty Suomessa ja ulkomailtakaan ei etsinnöistä huolimatta löytynyt vastaavaa. (15.)

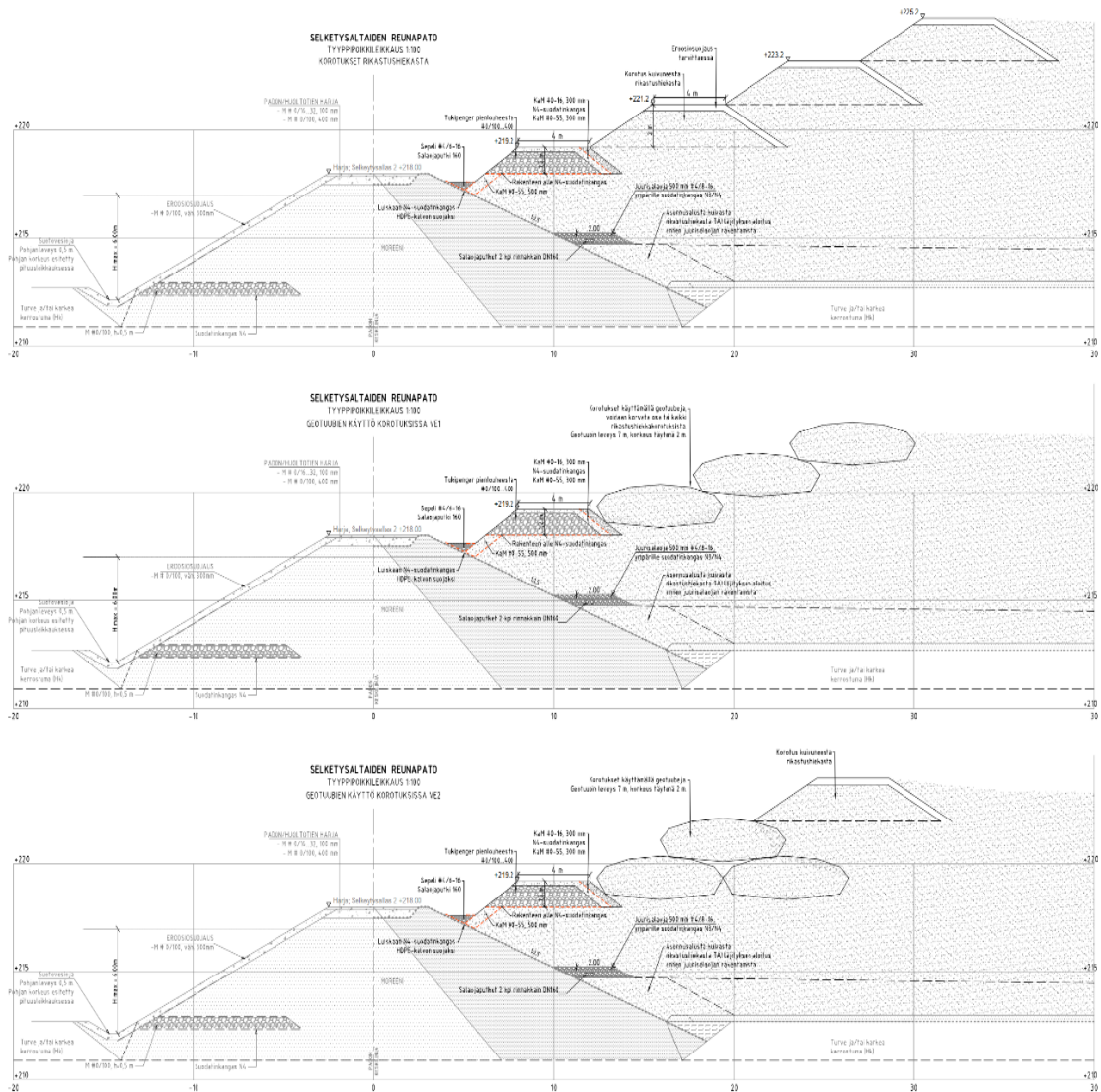


KUVA 11. Suunnitelmakartta rikastushiekka-altaan laajennuksesta, josta on ympäristölupahakemus vireillä. Hanke on tarkoitus toteuttaa vuoden 2022 aikana (16)

Erilaisia korotusvaihtoehtoja on tarkasteltu projektissa ja selvitetty vaihtoehtojen soveltuvuutta reunapadon korotuksessa. Tarkasteluissa olivat mukana rikastushiekalla täytettävät Geotubit®, joiden todettiin soveltuvan hyvin reunapadon korotuksessa. Ennakkokokeiden perusteella on määritetty Geotubeen® soveltuva geotekstiili. Kaikki vaihtoehdot ovat mallinnettu ja lisäksi on tehty stabiiliteettitarkasteluja eri rakenteiden välillä.

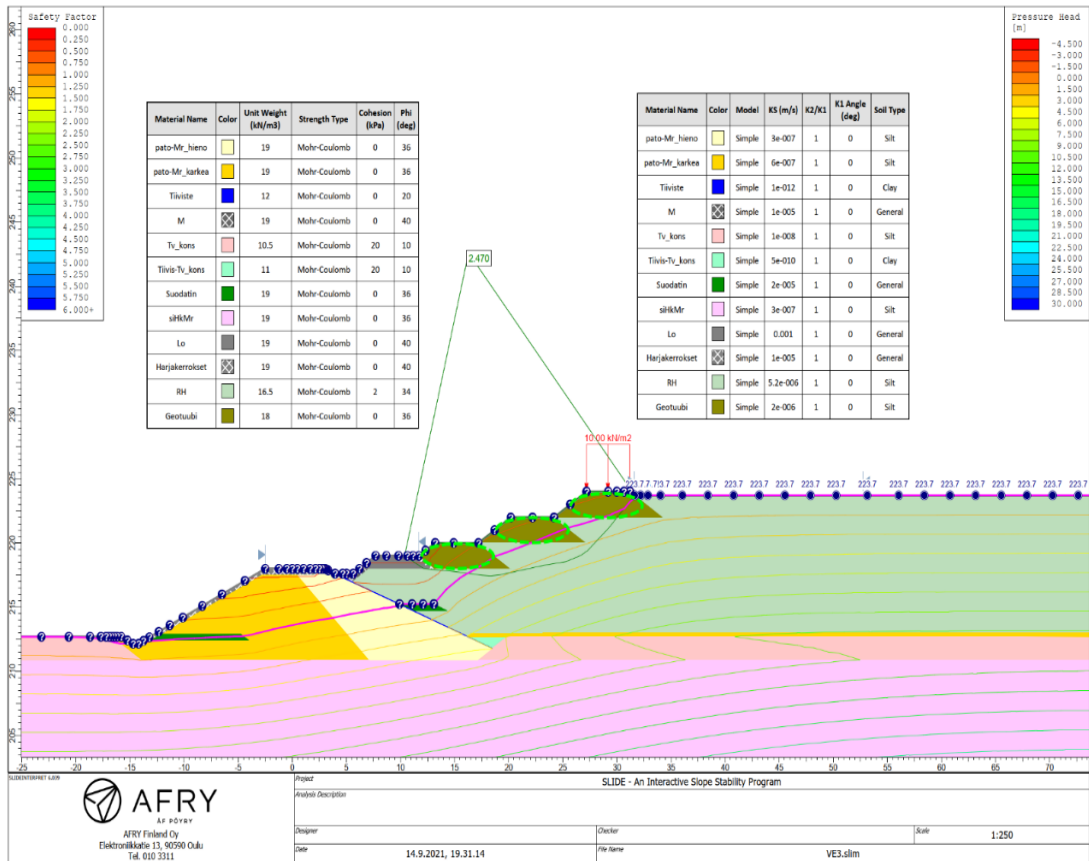
Selkeytys-altaan reunapatoja tullaan korottamaan sisäänpäin kuivuneen rikastushiekan päälle. Rikastushiekalla tehtävässä korotuksessa rikastushiekkaa lasketaan altaan reunoille tasaisesti ja välillä rikastushiekkapatoa muotoillaan ja annetaan kuivua, jotta korotusta voidaan jatkaa tavoiteltuun korkeuteen. Geotubeja® käytettäessä voidaan rikastushiekka pumpata suoraan Geotubeihin®, jossa se kuivuu valmiiksi padon rakenteeksi. Tämä vähentänee patokorotuksessa tarvittavaa aikaa ja työtä. (15.)

Patorakenteissa käytettäviä luonnonkiviaineita on kaivosalueella rajoitetusti, jolloin ne täytyy tuoda kauempaa alueelle. Geotubeja® käyttämällä pystytään säästämään kuljetuksesta aiheutuvia kustannuksia sekä alueen kiviainesvarantoja. Kuvassa 12 on esitetty suunnitellut korotusvaihtoehdot ja rakenteiden tilantarve eri vaihtoehdoilla. (15.)



KUVA 12. Reunapadon korotuksista on tehty erilaisia toteutusvaihtoehtoja. Ylimpänä on pelkällä rikastushiekalla tehtävä korotus. Toisissa vaihtoehdoissa on hyödynnetty Geotubeja® (17)

Stabiiteettilaskelmilla on pystytty todentamaan jokaisen korotusvaihtoehdon riittävä laskennallinen kokonaisvarmuus patorakenteessa. Riittävänä kokonaisvarmuutena pidetään lukua 1,50. Kuvassa 13 on esitetty yhden Geotube®-korotusvaihtoehdon laskentatulokset (2,470). Laskelmissa on otettu huomioon myös vaihtoehto, jossa suotovesi pääsee nousemaan rakenteisiin, mikä vastaavasti heikentää rakenteen stabiileettia. Laskennallinen kokonaisvarmuus saavutettiin myös tällaisissa tarkasteluissa. Stabiiteettilaskelmat on tehty Slide-ohjelmalla.



KUVA 13. Laskentatuloste, jossa on tarkasteltu Geotuubeilla® tehtyä korotusta. Kuvan stabiiliteettilaskennassa on lisäksi oletettu, ettei suotovesi pääse nousemaan rakenteisiin (18)

5 LOPPUSANAT

Tämän työn tarkoituksena oli lisätä tietoa geotekstiilituubien hyödyntämisestä kaivos- ja teollisuusympäristössä. Suomessa on saatu hyviä tuloksia geotekstiilituubeista imuruoppauksessa syntyvien massojen läjityksessä ja vedenpuhdistuksessa. Käsitykseni mukaan geotekstiilituubeja tullaan tulevaisuudessa käyttämään yhä enemmän, koska käyttökokemukset onnistuneista projekteista lisääntyvät sekä tieto geotekstiilituubien mahdollisuuksista kasvaa. Halusin tuoda esimerkkitapauksissa esille mahdollisimman monenlaisia geotekstiilituubiprojekteja, jotta esimerkiksi suunnittelijat saisivat niistä vinkkejä tulevia projektejaan suunnitellessaan. Minun osuuteni Sotkamo Silverin rikastushiekka-altaan laajennussuunnitelmissa tulee vasta toteutusvaiheen suunnittelussa. Tämä opinnäytetyö toimi sitä ajatellen hyvänä perehdytyksenä.

Sotkamo Silverin hopeakaivoksen suunnitelmat selkeytyksaltaan muuttamiseksi rikastushiekka-altaaksi ja sen reunapadon korottaminen Geotuubeja® hyödyntäen tuo säästöjä työajassa, kustannuksissa sekä rajallisissa luonnonkivimateriaaleissa. Geotekstiilituubien hyödyntäminen patorakenteissa ei kuitenkaan ole aina rahallisesti kannattavaa, mikäli kaivosalueen välittömässä läheisyydessä on saatavilla reilusti luonnonkivimateriaaleja ja rikastushiekka soveltuu patokorotusmateriaaliksi.

Imuruoppauksessa syntyvien märkien massojen läjityksessä ja kuivatuksessa geotekstiilituubeilla on saavutettu Suomessa ja maailmalla erinomaisia lopputuloksia. Korkeammilla kuiva-ainepitoisuuksilla on materiaali saatu helpommin käsiteltävään muotoon ja sitä on voitu käyttää paikan päällä esimerkiksi kasvualustana tai kuljetetaan maankaatopaikoille. Purettujen geotekstiilituubien kangasta voidaan hyödyntää tarvittaessa alueelle rakennettavien teiden rakenteissa.

Tutkiessani geotekstiilituubien käyttömahdollisuuksia Suomessa kävi ilmi, että geotekstiilituubien toimivuus talvipakkasilla on herättänyt kysymyksiä. Näihin kysymyksiin saadaan todennäköisesti vastaus tulevaisuudessa, kun käyttökokemukset talvella lisääntyvät. Geotekstiilituubiin kohdistuu monenlaisia jännityksiä täyttövaiheen aikana ja sen ymmärtäminen suunnittelussa on tärkeää geotekstiilituubin rikkoontumisen estämiseksi.

LÄHTEET

1. Journal of Geological Resource and Engineering 2 2016. s. 63-72. Hakupäivä 27.9.2021. <http://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/56e26b5d74eb2.pdf>.
2. Vahanne, Pasi & Vestola, Elina (Eds.) 2007. TBT-BAT MANUAL: Organotinapitoisten sedimenttien ruoppaus ja käsittely. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes No. 2371. Hakupäivä 16.10.2021 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2007/T2371.pdf>.
3. Lawson, C.R 2008. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. Geosynthetics International, 15(6), s. 384-427.
4. Mastin, J. Brian 2010. Environmental dredging using geotextile tubes - Lessons learned. 41st Texas A&M dredging seminar. s. 152-167.
5. Geosynt 2020. Geotuubit. Hakupäivä 29.9.2021. <https://www.geosynt.fi/tuote-osasto/geotuubit/>.
6. Kaitos Oy. Tuotekortti 08/2014. Hakupäivä 27.9.2021. <https://www.geosynt.fi/wp-content/uploads/2017/06/SoilTain-lietteenkuivatus.pdf>.
7. FCG Finnish consulting Group Oy 2010. Pintasedimentin kunnostusmenetelmien kustannus-hyötytarkastelu. Hakupäivä 8.11.2021. <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/c6/c6fed44ad0f084a85b5e3375cc091813d9d306a7.pdf>.
8. Koerner, R. George & Koerner, M. Robert 2006. Geotextile tube assessment using a hanging bag test. Geotextiles and Geomembranes, 24(2), s. 129-137.
9. Bezuijen, Adam & Vastenburg, E.W 2013. Geosystems. Design Rules and Applications. Leiden: CRC Press.

10. Palolahti, Anton 2013. Maaperän kunnostaminen. Penttilän saha Joensuussa. Geofoor. SGY:n jäsenlehti, numero 39. s.8-10. Hakupäivä 6.10.2016. <https://sgy.fi/wp-content/uploads/2020/08/geofoor-39-kevat-2013.pdf>.
11. Viherympäristöliitto. Vantaan Ankkapuiston kunnostukselle kunniaininta. Hakupäivä 15.10.2021. <https://www.vyl.fi/uutiset/vantaan-ankkupuiston-kunnostukselle-kunniamaininta/>.
12. Tencate Geotube. Case study lagoon dewatering. Hakupäivä 10.10.2021. <https://www.tencategeotube.com/en/case-studies/environmental-dewatering/R1x6/EI-Mochito-Mine>. Vaatii sähköpostitilauksen.
13. Tencate Geotube. Case study lagoon cleanup. Hakupäivä 9.10.2021. <https://www.tencategeotube.com/en/case-studies/environmental-dewatering/XciR/Duck-Pond-Cellars>. Vaatii sähköpostitilauksen.
14. Tencate Geotube. Case study dewatering of lagoon sludge. Hakupäivä 9.10.2021. <https://www.tencategeotube.com/en/case-studies/environmental-dewatering/MGuv/Food-Processing-Plant>. Vaatii sähköpostitilauksen.
15. Lehmikangas, Marko 2021. Suunnittelupäällikkö, AFRY Finland Oy. Keskustelut syksyn 2021 aikana.
16. AFRY Finland Oy 2020. Liite3_SA2_suunnitelmakartta_korotukset. Suunnitelma-asiakirjat. Sisäinen lähde.
17. AFRY Finland Oy 2020. Liite4_SA2_tyyppipoikkileikkaukset_korotukset. Suunnitelma-asiakirjat. Sisäinen lähde.
18. AFRY Finland Oy 2020. Liite1_Stabiliteettilaskelmat_SA2_korotukset. 2020. Suunnitelma-asiakirjat. Sisäinen lähde.