



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

PETRI LEHTONEN

Pohjavedensuojaus väylärakentamisessa

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

2020

Tekijä(t) Lehtonen Petri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Lokakuu 2020
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Pohjavedensuojaus väylärakentamisessa		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tutkittiin pohjavedensuojauksen rakentamista tienparannushankkeen yhteydessä oikeassa kohteessa. Pohjaveden ja pohjavesialueiden ollessa yhteiskunnallemme tärkeä luonnonvara, on näiden alueiden kanssa työskenneltäessä määritetty tarkat laatuvaatimukset. Opinnäytetyössä keskityttiin erityisesti pohjavedensuojaurakenteen rakentamista koskeviin laatuvaatimuksiin ja laatudokumenttien oikeaoppiseen laatimiseen työmaalla. Opinnäytetyössä pohdittiin myös työn toteuttamisen haasteita, mikäli suojausrakenteet toteutetaan rakentamisen yleisten laatuvaatimusten mukaan.</p> <p>Teoriaosuudessa käsiteltiin pohjavettä yleisesti, miksi pohjavesi ja sen suojeleminen on yhteiskunnallemme niin tärkeää ja millaisena pohjavesi maaperässämme esiintyy. Teoriaosuudessa esiteltiin pohjavedensuojauksessa käytetyt materiaalit ja työtavat, joista keskeisimpänä työssä esiintyy bentoniitti ja bentoniittimatto. Teoriaosuuden tärkeimpänä lähteenä toimi infraRYL 2010 kirja sekä väyläviraston ohje pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004.</p> <p>Laatudokumenttien tekemisessä onnistuttiin hyvin ja laaditut asiakirjat kelpasivat tilaajalle ilman täydentämistä. Työssä onnistuttiin kokoamaan laadukas yhteenvedo tilaajalle luovutettavista asiakirjoista ja pystyttiin pureutumaan ongelmiin laatuvaatimuksissa.</p>		
<u>Asiasanat</u> Pohjavedensuojaus, Bentoniitti, Ohutmuovi, RYL – Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset		

Author(s) Lehtonen, Petri	Type of Publication Bachelor's thesis /	Date October 2020
	Number of pages 40	Language of publication: Finnish
Title of publication Groundwater protection in highway infrastructure		
Degree programme Construction and civil engineering		
Abstract <p>This thesis studied the implementation of groundwater protection in the context of the road improvement project. The thesis focused in particular on the quality requirements for the construction of the groundwater protection structure. Groundwater is an important resource for our society, for that reason precise quality standards have been defined to protect it. The work considered the difficulty of implementing the protecting structures if the stuctures are implemented according to quality standards.</p> <p>The theory section dealt with groundwater in general, why groundwater and protection of groundwater is so important to our society and how groundwater is present in our soil. The theory section dealt with the materials and working methods used for constuction of the groundwater protection, the most important of which is the bentonite mat. The main source of the theory section was the book infraRYL 2010, as well as the guide of väylävirasto: pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004.</p> <p>Quality documents were successful and the documents were valid for the customer without supplementation. The thesis was successful in compiling a summary of the documents to be handed over to the customer and was able to address problems in quality standards.</p>		
<u>Key words</u> Groundwater protection, Bentonite, Plastic film		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 POHJAVESI	6
2.1 Pohjavesialueet.....	7
2.2 Pohjaveden suojele.....	7
2.3 Pohjavedensuojauksen tavoitteet.....	8
3 POHJAVEDENSUOJAUKSEN SUUNNITTELU	10
3.1 Pohjavedensuojauksen tarve.....	10
3.2 Suojausluokat	12
3.3 Suojauksen rakenne.....	13
3.4 Materiaalit	14
3.4.1 Asennusalusta	15
3.4.2 Bentoniittimatto	15
3.4.3 Bentoniittimaa.....	16
3.4.4 Ohutmuovi	17
3.4.5 Suojaus- ja kuivatuskerros	17
3.4.6 Pintakerros	18
3.5 Materiaalien kelpoisuuden osoittaminen.....	20
3.6 Laatuvaatimukset.....	21
4 POHJAVEDENSUOJAUKSEN TOTEUTUS VT12 EURA-RAIJALA.....	26
4.1 Kohteen tiedot	26
4.2 Olosuhteet rakentamisen aikana	27
4.3 Suojattava alue	27
4.4 Suunnitelmapaketti ja yleisleikkaukset	29
4.5 Resurssit	30
4.6 Valokuvaus.....	31
4.7 Kartta levitetyistä rullista	32
4.8 CE-merkinnät ja suoritustasoilmoitukset	32
4.9 Tilajalle luovutettava laatudokumentointi	33
4.10 Riskitekijät toteutuksen aikana.....	34
5 ONGELMAT POHJAVEDENSUOJAUKSEN LAATUVAATIMUKSISSA	36
5.1 Yleisesti	36
5.2 Bentoniittimatto.....	36
5.3 Läpiviennit.....	37
6 POHDINTA	39

LÄHTEET

1 JOHDANTO

Pohjavesi on yksi maamme tärkeimmistä luonnonvaroista, josta useat kaupungit ja kunnat Suomessa saavat talousvetensä. Pohjavettä onkin syytä suojella tiealueilla, joissa vaarana on pohjaveden saastuminen liikenneonnettomuuden tai vaarallisen aineen vuodon takia.

Pohjavedensuojauksen rakentaminen on yksittäisen tienparannus tai rakennusprojektin vaikeimpia ja aikaa vievimpiä työvaiheita siihen liittyvien määräysten ja vaatimusten, sekä työn toteuttamisen hitauden takia. Tässä opinnäytetyössä käsitellään pohjaveden suojausrakenteen oikeaoppista ja turvallista rakentamista ja riittävä laatuaineiston laatimista työn tilaajaorganisaatiolle.

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään pääosin pohjavedensuojauksen toteutusta. Työssä sivutaan myös suunnitteluvaiheen prosessia sen liittyessä oleellisesti toteutusvaiheeseen. Työn oleellisena osana on pohtia rakennettavan suojausrakenteen laatuvaatimuksia, materiaalien soveltuvuuden todentamista rakenteeseen ja siihen käytettäviä testausmenetelmiä.

Työn on tarkoitus toimia lyhennettynä ohjeena bentoniittimatolla ja ohutmuovilla toteutetun vaativimman luokan pohjavesialueen suojausrakenteen toteuttamiseen ja ohjeena työn tilaajalle luovutettavan laatuaineiston keräämisessä.

Tilajana työssä toimii Destia Oy

2 POHJAVESI

Pohjavedellä tarkoitetaan maanpinnan alapuolella olevaa vettä, joka on kyllästännyt maan. Pohjavesi kerääntyy tiiviiden, huonosti vettä läpäisevien maakerrosten kuten kallion päälle. Pohjavesi sijaitsee yleensä 1–50 metrin etäisyydellä maanpinnasta, joten kulkeutuakseen kovaan kerrokseen pitää veden läpäistä hienorakeisia maan pintakerroksia. Pohjaveden muodostumiseen vaikuttaa erityisesti maalaji, jonka läpi vesi kulkee saavuttaakseen tiiviimmän kerroksen. Hiekka- ja soramuodostumien hyvän vedenläpäisykyvyn vuoksi tällaisilla alueilla jopa 30–60 % vuotuisesta sademäärästä suotautuu pohjavedeksi. Tästä määrästä saadaan yleensä tarpeeksi vettä yhteiskunnan tarpeisiin. (Ympäristöhallinnon [www-sivut](#))

Veden virratessa maankuoren pintakerroksien läpi, hienojakoiset maakerrokset suodattavat vedestä epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia suodattavien maalajien ansiosta pohjavesi on selvästi puhtaampaa kuin pintavesi. Puhtautensa ansiosta pohjavesi soveltuu hyvin vesilaitosten raakavedeksi. (Maa- ja metsätalousministeriön [www-sivut](#))

Vedenlähteenä pohjavettä on käytetty sellaisenaan kautta aikojen, mutta 1960-luvulla aloitettiin alueellisten pohjavesivarantojen laajempi kartoitus ja hyödyntämisen suunnittelu. 1970-luvulla määritettiin pohjavesialueet, jotka ovat vedenhankinnan kannalta tärkeitä. Pohjaveden käyttö on vuosien mittaan kasvanut ja sen tärkeys raakaveden hankinnassa korostunut. (Maa- ja metsätalousministeriön [www-sivut](#))

Suomessa vesilaitosten, kotitalouksien ja elintarviketeollisuuden vedenhankinta perustuu vakaasti pohjaveteen tai tekopohjaveteen, lukuun ottamatta länsirannikkoa ja pääkaupunkiseutua. Vesilaitosten käyttämästä vedestä noin 65% on pohjavettä tai tekopohjavettä, joten suurin osa maamme talousvedestä saadaan pohjavesialueilta. (Ympäristöhallinnon [www-sivut](#))

2.1 Pohjavesialueet

Pohjavesialueita on suomessa kartoitettu noin 6000. Yhteensä näistä alueista muodostuu vuorokauden aikana noin 5,4 miljoonaa kuutiometriä pohjavettä. Suuresta määrästä huolimatta ovat Suomen pohjavesialueet suhteellisen pieniä kansainvälisessä vertailussa. Suurin osa Suomen pohjavesialueista sijaitsee Lapin ELY-keskuksen alueella, noin kolmannes maamme pohjavesialueista. Vähiten pohjavesialueita esiintyy puolestaan Pohjois- ja Etelä-Savon sekä Ahvenanmaan ELY-keskusten alueella. (Maa- ja metsätalousministeriön www-sivut)

Vesien- ja merenhoidon järjestämisestä säädetyn lain nojalla ELY-keskus jakaa pohjavesialueet kolmeen luokkaan:

- 1-luokka, jonka vettä käytetään tai on tarkoitus käyttää yhteiskunnan vedenhankintaan yli 10 kuutiometriä päivässä, tai yli 50 hengen käyttöön.
- 2-luokkaan kuuluvat muuhun vedenkäyttöön soveltuvat alueet, joiden vesi soveltuu yhteiskunnan vedenhankintaan tai talousvedeksi.
- E-luokkaan kuuluvissa pohjavesialueissa pintavesi tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen pohjavedestä.

(Maa- ja metsätalousministeriön www-sivut)

2.2 Pohjaveden suojele

Suomen pohjavesialueet ovat kooltaan pieniä ja niitä suojaa yleisesti vain ohut maakerros, jonka takia Suomen pohjavesialueet ovat erittäin herkkiä pilaantumiselle. Pohjavesi kulkeutuu maaperässä omia reittejään, on yhteydessä pintaveteen eikä kunnioita geologisia rajoja. Pohjavesialueiden suojele onkin oman lähiympäristön sekä vesistöjen suojele. Pohjavesialueiden suojele koskevat säädökset pohjautuvat ympäristön-suojele- ja vesilakiin sekä lakiin vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä:

- pohjaveden pilaamiskielto (YSL 17 §)
- vedenottamon vesioikeudelliset suoja-alueet (VL 4:11 §)
- vesitaloushankkeiden luvanvaraisuus, jos se voi muuttaa pohjaveden laatua tai määrää (VL 3:2 §)

- pohjavesialueiden määrittämisestä ja luokittelusta sekä suojelusuunnitelmista on sääntelyä lain vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä.

(Ympäristöhallinnon www-sivut)

Geologisista ja taloudellisista syistä on maantieverkkoa jouduttu rakentamaan 1. luokan pohjavesialueen läpi 5970 kilometriä ja 2. luokan pohjavesialueen läpi 2670 kilometriä. Näillä alueilla on syytä hankeen suunnitteluvaiheessa selvittää pohjavesialueen suojaustarve ennen rakentamiseen tai kadunparannushankkeeseen ryhtymistä. Suomessa on noin 500 riskialueeksi luokiteltua pohjavesialuetta, joista suurin osa on määritelty riskialueeksi tieverkoston takia. (Ympäristöministeriön www-sivut)

2.3 Pohjavedensuojauksen tavoitteet

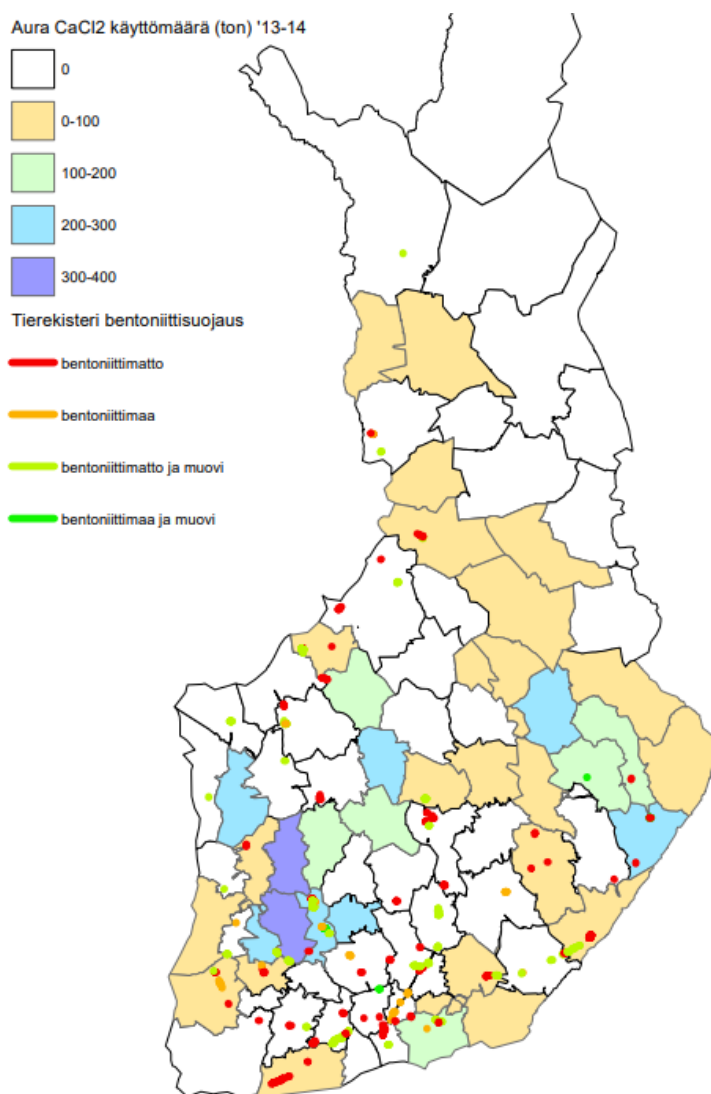
Pohjavedensuojauksen tarkoitus on estää haitallisten aineiden päätyminen pohjaveteen. Esimerkiksi teiden talvikunnossapidossa käytettävän suolan tai onnettomuustilanteesta johtuvan öljy- tai muun vaarallisen aineen vuodon aiheuttaman pilaantumisvaaran vuoksi. Suojaustapoja ovat suolauksen vähentäminen, pintavesien ohjaaminen pois pohjavesialueelta, tieympäristön pehmentäminen, suojakaiteen rakentaminen ja pohjavedensuojaurakenteen rakentaminen tienparannushankkeen yhteydessä. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

Bentoniittimaton- ja maan avulla tehtävä pohjavedensuojaurakenne on luotettavin tapa estää haitallisten aineiden kulkeutuminen maaperään ja edelleen pohjaveteen. Pohjavesien tilannetta ja veden laatua seurataan säännöllisesti riskialueilla. Seuranalla pyritään saamaan realistinen kuva ihmisen aiheuttamasta pohjaveden saastumisesta. Taustapitoisuuksien tutkinta on vuodesta 2007 ollut ympäristöhallinnon vastuulla. (Suomen ympäristökeskuksen www-sivut)

Lisäksi vesilaitokset seuraavat vedenottoa, pohjaveden korkeutta sekä raakaveden laatua vesilain edellyttämien seurantavelvoitteiden edellyttämällä tavalla.

Pohjavettä saastuttaa erityisesti tiesuolana käytettävä natriumkloridi ja kalsiumkloridi, joista vapautuu pohjaveteen natriumia ja kloridia. Kalsium- ja natriumpitoisuuksia pyritään seuraamaan vuosittain riskialueiksi luokitelluista kohteista. Pohjavesialueilta

mitataan lisäksi sähkönjohtavuutta sekä alkaliniteettia ja sulfaatin määrää. Uutena vaihtoehtona tiesuolalle on yleistynyt kaliumformiaatin käyttö, joka on huomattavasti ympäristöystävällisempi vaihtoehto tiesuolalle. Suojusrakenteita on kuitenkin vilkaasti liikennöidyille ja runsaasti suolattaville teille rakennettava, sillä liian suurella tiesuolan käytöllä tai onnettomuustilanteen sattuessa pohjavesialueella voidaan saastuttaa ja pilata koko pohjavesiesiintymä. (Suomen ympäristökeskuksen www-sivut)



Kuva 1. Kalsiumkloridiliuoksen käyttömäärät talvikaudella 2013–2014 urakoittain ja bentoniittiset pohjavedensuojusrakenteet tierekisterin mukaan. (Marja-Terttu Sikiö 2016. Bentonitista rakennettujen pohjavedensuojusrakenteiden taustaselvitys)

3 POHJAVEDENSUOJAUKSEN SUUNNITTELU

Pohjavedensuojaus on väylärakentamisen haastavimpia tehtäviä. Laadukaan ja kestävä pohjavedensuojauksen toteuttaminen vaatii kokemusta ja ammattitaitoa läpi rakennushankkeen suunnittelun eri vaiheista rakentamiseen asti. On tärkeää, että rakennusvaiheen aikana laadunvalvontaa suoritetaan aktiivisesti niin materiaalien kuin työtekniisten laatuvaatimuksien täyttämiseksi. Laiminlyönnit asennuksen aikana tai materiaalien sopimattomuus voivat aiheuttaa pohjavedelle mittavan vahingon, jopa koko pohjavesialueen pilaantumisen. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

Pohjavedensuojauksen suunnittelu rakennettavalle tai parannettavalle tiealueelle alkaa esi- ja kehittämisselvityksellä, joissa pohditaan vaihtoehtoja tulevan tien tai kadun rakentamisesta pohjavesialueen ulkopuolelle tai ulottumaan mahdollisimman vähän pohjavesialueella. Lisäksi pyritään selvittämään kustannustehokkain ja turvallisin vaihtoehto. Tienpidon riskien kartoittaminen pohjavesialueelle ja vedenottamoille tehdään suunnittelun alkuvaiheessa, jolloin arvioidaan alustavasti suojaustarve ja keinot vähentää tieliikenteestä ja tienpidosta koituvia riskejä pohjaveden laadulle. Esisuunnittelun aikana kerättäviin lähtötietoihin kuuluvat tiedot pohjaveden virtaussuunnista, maaperästä, pohjaveden laadusta sekä alueen kloridilähteistä. Maastotutkimukset ja olemassa olevan mittausdatan hyödyntäminen esiselvitysvaiheessa ovat perusta kokonaistaloudelliselle ja tehokkaalle pohjavedensuojaukselle. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

3.1 Pohjavedensuojauksen tarve

Pohjavedensuojaus on aina tarveharkintainen ja toteutetaan vain, jos asentamiselle vaadittavat kriteerit täyttyvät. Suojauksen tarpeen arviointiin vaikuttavia asioita ovat:

- Tien aiheuttama riski. (tiesuolan käyttömäärä, vaarallisten aineiden kuljetukset, tien sijainti pohjavesialueella)
- Pohjavesialueen merkitys. (alueen merkitys vedenhankinnalle, luokitus sekä maaperän ja veden laatu)
- Pohjavesialueen herkkyys ulkoisille tekijöille. (veden virtaussuunta, alueen koko, mitatut kloridi- ja natriumpitoisuudet)

(Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

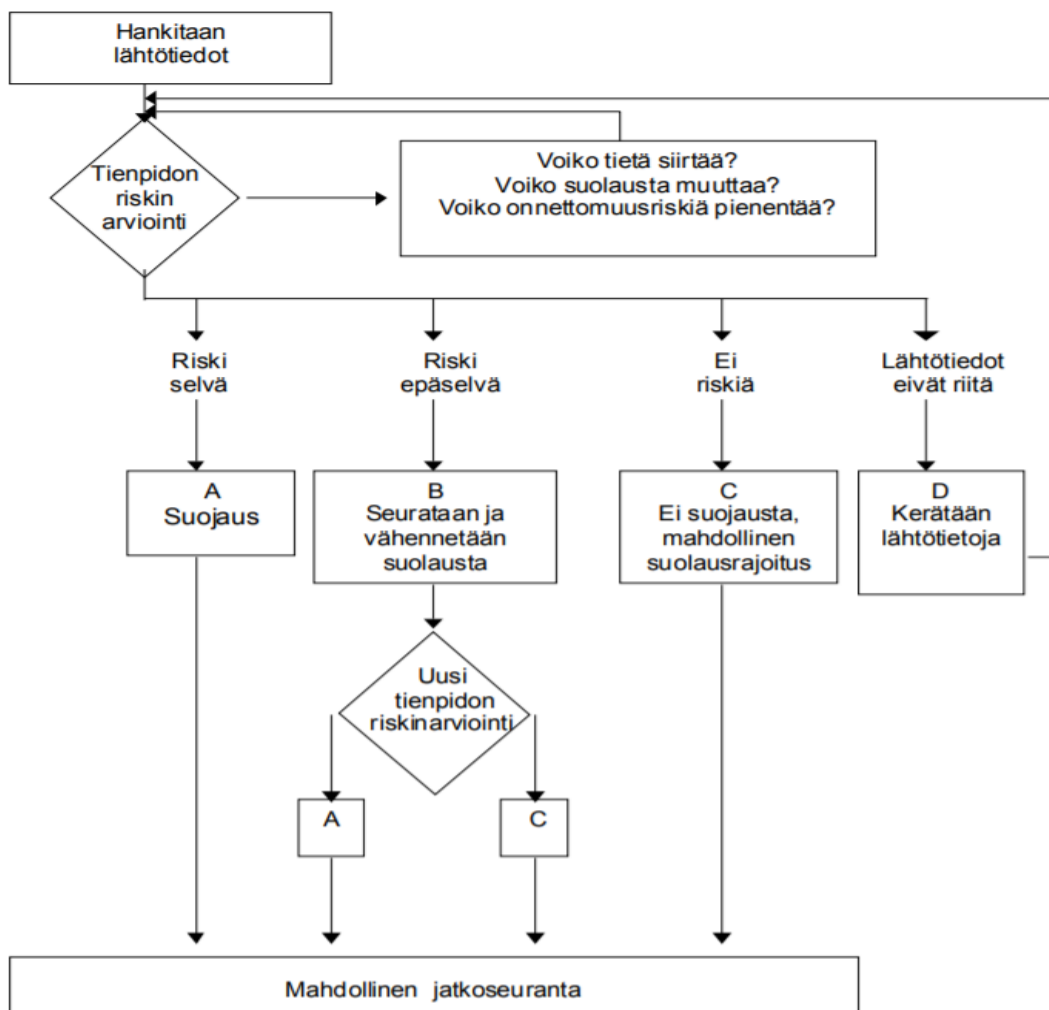
Suojauksen tarpeen arvioinnissa käytetään hydrogeologisia lähtötietoja, joita ovat pohjaveden virtaussuunta, virtausta ohjaavat hienoaineskerrokset ja kallionkynnykset tien ja vedenottamon tai suunnitellun vedenottoalueen välissä. Lisäksi tarvitaan tiedot tie-suolan käyttömääristä sekä vedenlaadun tiedot pohjavesiputkista tai vedenottamolta. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

Suojauksen tarpeellisuuden arviointia sovelletaan kaikilla alueluokilla. (1,2 ja E luokan alueet) Tarpeellisuuden arvioinnissa tulee käyttää Väyläviraston (ent. liikennevirasto) ja alueellisten asiantuntijoiden apua. Kaaviossa 1 esitetään suojaustarpeen arvioinnin eteneminen esiselvitysvaiheessa. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

Suojaus on rakennettavalle tai parannettavalle tiealueelle tehtävä silloin, kun kolme ehtoa täytyy:

- Pohjavesialueella on käytössä oleva vedenottamo tai suunniteltu vedenottoalue.
- Pohjaveden virtaus suuntautuu tieltä vedenottamolle tai suunnitellulle vedenottoalueelle.
- Tien suolaus tulee olemaan yli 8 tn/km/v tai vaarallisten aineiden kuljetuksia tulee olemaan yli 100 000 tn/v.

(Väylävirasto. Pohjaveden suojaus tien kohdalla 2004)



Kaavio 1. Pohjaveden suojaustarpeen arviointi. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

3.2 Suojausluokat

Suojauksen luokka määritetään tien liikennekuorman, tiesuolauksen ja vaarallisten aineiden kuljetusten vuoksi ja siksi suojausrakenteet on lajiteltu vaativuuden mukaan kolmeen eri luokkaan.

- onnettomuussuojaus
- kloridisuojaus
- vaativa kloridisuojaus

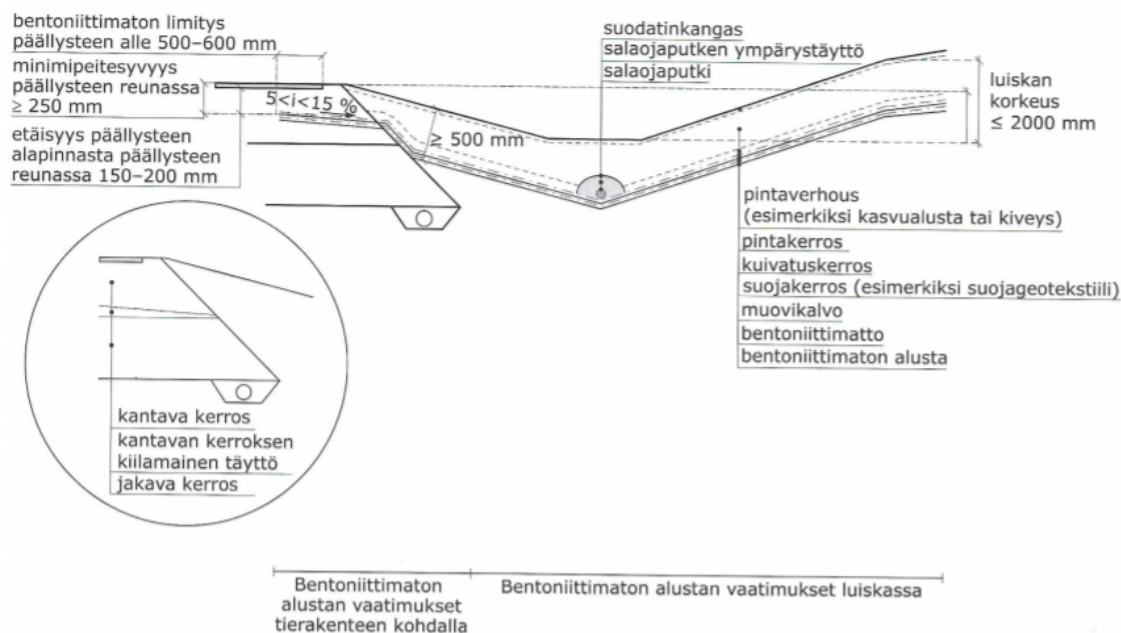
Onnettomuussuojausta on heikoin suojaus ja sitä voidaan käyttää vain, jos kohdan 3 Tiesuolauksen raja-arvo alittuu selvästi. Kloridisuojausta käytetään, kun tietä suolataan yli 8 tn/km/v. kloridisuojaus suojaa pohjavettä myös vähäisissä onnettomuustilanteissa. Vaativa kloridisuojaus on suojausrakenteista järein ja tulee kysymykseen, kun rakennettavalla tiealueella on vedenottamo, tai alue on muuten vedenhankinnan kannalta yhteiskunnalle tärkeä. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

3.3 Suojauksen rakenne

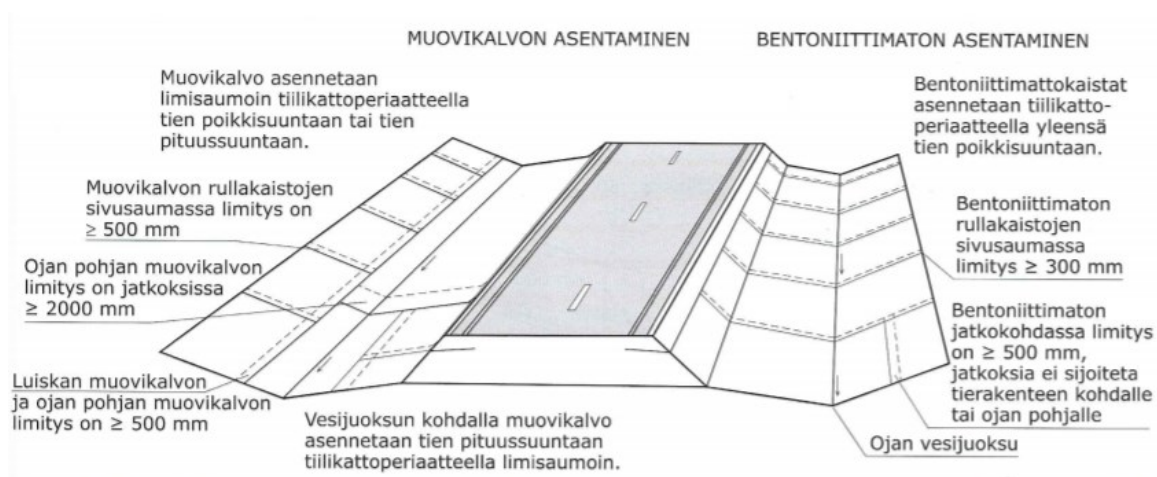
Pohjaveden suojausrakenne koostuu monen eri rakennekerroksen yhdistelmästä. Jokaiselle rakennekerrokselle on osoitettu omat vaatimuksensa, jotka kyseisessä kerroksessa käytettävän materiaalin tulee täyttää, että rakenne olisi toimiva ja vettä läpäisemätön. materiaalien oikeanlaisuuden lisäksi tulee materiaalit asentaa suunnitelmien ja rakentamisen yleisten laatuvaatimusten mukaisesti. Kuvassa 2 on esitetty periaatekuva pohjavedensuojausrakenteesta. Suojaus koostuu useasta kerroksesta, joiden yhteisvaikutuksen vuoksi rakenteesta saadaan pohjavedensuojauksen kannalta toimiva. Ojaluis-kan muotoilu ohjaa veden ja mahdolliset haitta-aineet ojan pohjalle.

(InfraRYL. 14230)

Kuvassa 3 esitetään yleiskuva bentoniittimatton ja ohutmuovin asennusperiaatteesta ja järjestyksestä. Kuvasta nähdään asennuksen tapahtuvan tiilikattoperiaatteella niin, että saumat limittyvät veden kulkusuuntaan nähden päällekkäin. Kuvassa esitetään myös saumojen minimilimitykset bentoniittimatolle ja muovikalvolle. Minimietäisyyksien noudattamisella varmistetaan rakenteen turvallinen toimivuus ja suunniteltu rakenteellinen käyttöikä. (InfraRYL. 14230)



Kuva 2. Pohjaveden suojausrakenteen periaatekuva. (InfraRYL. 14230)



Kuva 3. Bentoniittimaton ja muovikalvon asennusperiaate. (InfraRYL. 14230)

3.4 Materiaalit

Pohjaveden suojausrakenne koostuu suojausluokasta ja tavasta riippuen erilaisten maakerrosten ja geotekstiilien yhdistelmästä. Yhdessä nämä rakennekerrokset luovat vettä ja veden mukana kulkeutuvia saasteita läpäisemättömän kerroksen. Tärkein yksittäinen materiaali pohjavedensuojauksessa on bentoniitti. Bentonitti on helposti

muovautuva ja pehmeä luonnon savi, joka on syntynyt vulkaanisen tuhkan rapautumisen seurauksena. Suomessa maarakentamisessa käytettävää bentoniittia on kolme eri tyyppiä: kalsiumbentoniitti, natriumbentoniitti sekä natriumaktivoitu kalsiumbentoniitti. Maanteiden pohjavesien suojaamisessa käytetään vain luonnon natriumbentoniittia. Bentoniitin ominaisuudet erityisrakenteissa perustuu bentoniittisaven päämineraalin Montmorilloniitin kykyyn absorboida vettä. Bentoniitille suotuisissa olosuhteissa se kykenee paisumaan tilavuudeltaan jopa kymmenkertaiseksi kuivan bentoniitin tilavuuteen verrattuna. Riittävän tiiveyden sekä alhaisen vedenläpäisevyyden taivoittamiseksi bentoniitin laajenemisen tulee tapahtua riittävässä jännitystilassa – vähintään 500 mm paksuisen maakerroksen painon alla. (Karnland 1998, Essington 2004)

3.4.1 Asennusalusta

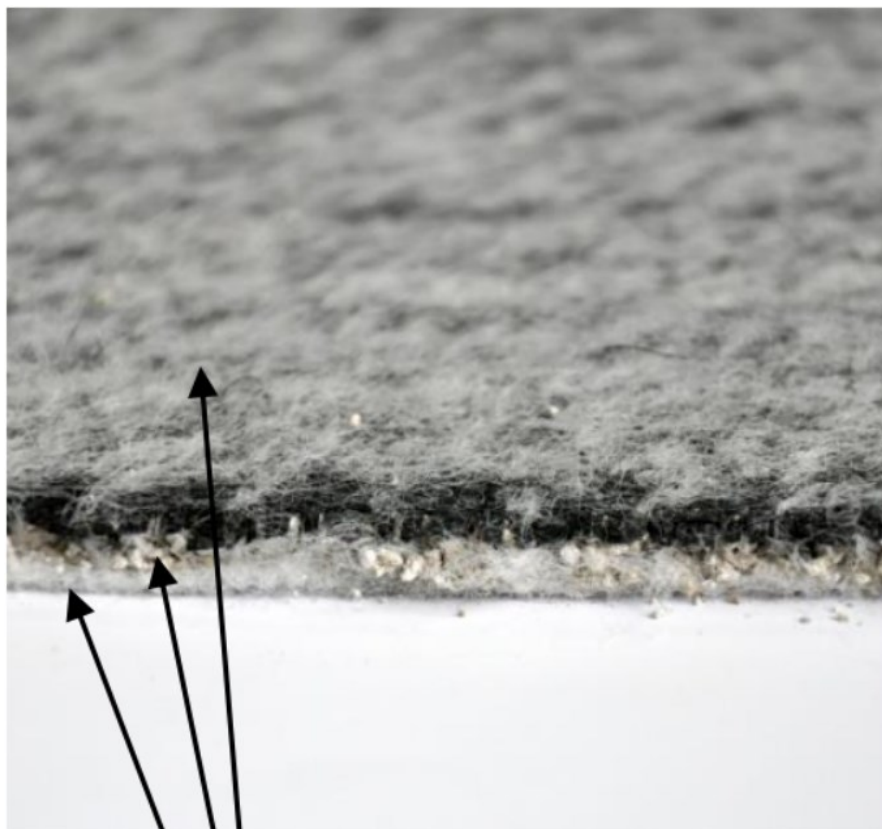
Bentoniittimaton asennusalusta eli tasauskerros voidaan tehdä luonnonsorasta tai kalliomurskeesta. Luonnonsoran maksimiraekoko on 31,5 mm ja murskatulla kiviaineksella 16 mm. Mikäli pohjan kiviaines ei täytä näitä vaatimuksia on bentoniittimaton alle asennettava suojageotekstiili. Geotekstiilillä saavutetaan tasainen asennusalusta bentoniittimatolle, jolloin teräviä tai isoja kiviä sisältävä asennusalusta ei riko bentoniittimaton herkkää rakennetta. (InfraRYL. 14230)

Tierakenteeseen asennettavaan bentoniittimattoon tulee rakenteen alle tehdä kiilamainen täyttö, joka kaataa pois tierakenteesta kuvan 2 mukaan. Kiilamaisen asennusalustan tulee olla Standardin SFS-EN 13242 rakeisuusvaatimukset täyttävää 0/16 mm kallioli- tai soramursketta. (InfraRYL. 14230)

3.4.2 Bentoniittimatto

Bentoniittimatto on geokomposiitti, joka muodostuu kahdesta geotekstiilistä ja bentoniittisavesta geotekstiilien välissä. Jauhemainen bentoniitti on neulottu kahden kankaan väliin, jotta se ei pääse pakenemaan rakenteesta. Bentoniittikerroksen paksuus kahden kankaan välissä on noin 7 mm. Paisumisominaisuuksiensa ansiosta bentoniit-

timatto on pienten läpivientien ja vaurioitumisten osalta ns. itsepaikkautuva. Bentoniittimatoilla on erittäin hyvä jäätymis/sulamiskestävyys sekä kuivumis/kastumiskestävyys, jonka ansiosta se on oivallinen tuote pohjavedensuojaukseen tierakenteissa. (Viacon www-sivut)



Geotextil PP woven 130 g/m²
 Bentonit granulat 5000 g/m²
 Geotextil PP nonwoven 200 g/m²

Kuva 3. bentoniittimaton rakenne. (Hauconin www-sivut)

3.4.3 Bentoniittimaa

Bentoniittimaa koostuu tavallisesti vähäsavisesta runkoaineesta, jonka suurin raekoko on 20 mm, ohuessa kerroksessa enintään 10 mm ja bentoniittisavesta, jota on 3...10 paino-%. Bentoniittimaahan ei synny näkyviä halkeamia kuivumisen vuoksi. Vesitiivis bentoniittimaa on vain lievästi routivaa, mutta varmuuden vuoksi kostealla alueella estetään veden kapillaarinen nousu pohjamaasta. Suojusrakenteeseen vaadittavan

bentoniittimaan paksuus riippuu mm. k-arvosta ja työskentelyolosuhteista. K-arvo tarkoittaa maan vedenläpäisyvyyden arvoa. Bentoniittimaan ja suojaverhouksen yhteispaksuus luiskassa tulee olla vähintään 0,5 m yliajon varalta. Luiskan yläosassa riittää n. 0,3 m. (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

3.4.4 Ohutmuovi

Bentoniittimaton päälle asennettava ohutmuovi parantaa suojauksen varmuutta, jos tiivistekerros routii tai kun tiivistekerros on kuiva tai jäätynyt. Myös työvirheistä ja raaka-aineista johtuvaa hajontaa pystytään pienentämään bentoniittimaton päälle asennettavalla 0,5 mm paksulla ohutmuovilla. Muovin tarkoitus on pienentää bentoniittimaton kosteuden vaihtelua, estää kasvuston juurien tunkeutuminen bentoniittiin sekä minimoida pintamaan kulkeutuminen bentoniittimattoon. Ohutmuovi myös joustaa ja elää maan liikkeiden mukaan huomattavasti bentoniittimattoa paremmin ja parantaa näin omalta osaltaan rakenteen toimivuutta. Ohutmuoviksi tai ulkoluiskan muoviksi kelpaa maahan pitkäaikaisiin asennuksiin tarkoitettu linear-low-density- ja very-flexible-polyeteeni (LLD-PE tai VF-PE) sekä joustava polypropeeni (FPP). (Väylävirasto. Pohjavedensuojaus tien kohdalla 2004)

3.4.5 Suojaus- ja kuivatuskerros

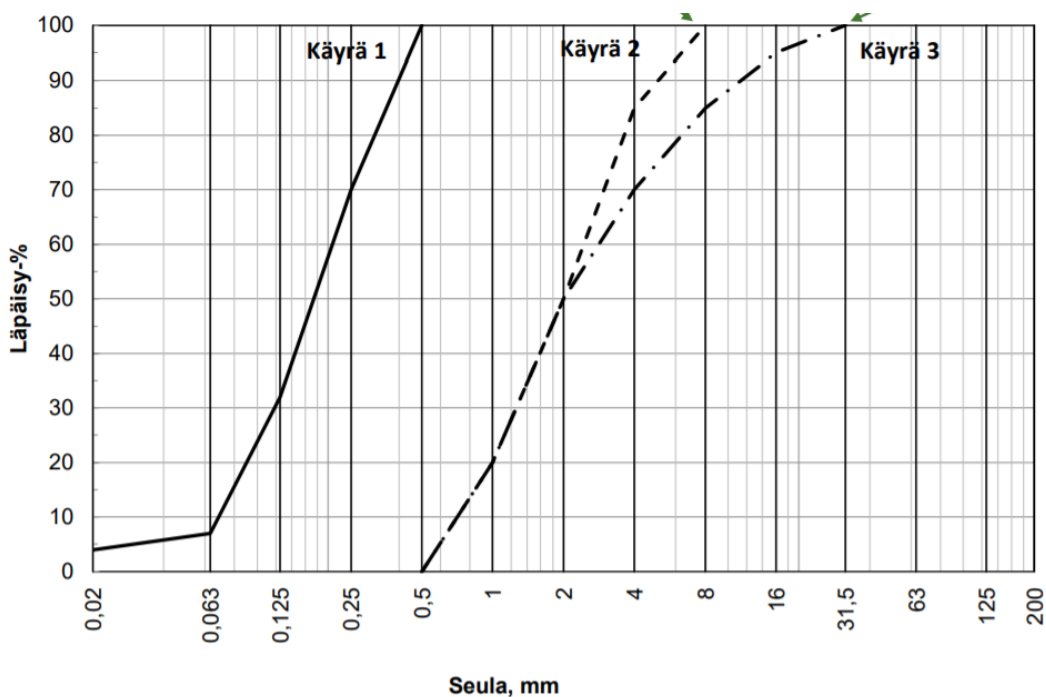
Muovikalvo ja bentoniittimatto suojataan karkearakeiselta maalta levittäen muovikalvon päälle hiekkamatto tai suojageotekstiili kuten suodatinkangas. Myös salaojamattoa voidaan käyttää suojakerroksena. Mikäli ojan pohjalle tai muualle pohjavedensuojauksen alueelle asennetaan salaojaputki tai putket, tulee suojakerroksena käyttää aina joko geotekstiiliä tai salaojamattoa. (InfraRYL. 14230)

Kuivatuskerroksen materiaalina käytetään siihen soveltuvaa, rakeisuudeltaan kuvan 4 täyttävää materiaalia, jonka hienoainespitoisuus saa olla korkeintaan 7 %. Hienoainespitoisuudella tarkoitetaan raekooltaan alle 0,063 mm kokoisten partikkeleiden määrää kiviaineksessa. Kun muovikalvon päällä käytetään suojageotekstiiliä on vasen raja

käyrä 1. ja oikea raja käyrä 3. Kun taas suojageotekstiiliä ei käytetä rakenteessa lainkaan, on vasen raja käyrä 1. ja oikea raja käyrä 2. Rakeisuuksien noudattaminen eri rakennetyypeissä on tärkeää oikean vedenläpäisykyvyn saavuttamiseksi ja rakenteen toimivuuden varmistamiseksi.

(InfraRYL. 14230)

Myös salaojamattoa voidaan käyttää pohjavedensuojauksen kuivatuskerroksena. Salaojamattoa käytettäessä on otettava huomioon salaojamaton asettavat vaatimukset sen yläpuolisen täytön vaatimalle raekoolle ja hienoainespitoisuudelle salaojamaton tukkeutumisen välttämiseksi. Käytettäessä Salaojamattoa pohjavedensuojaurakente vaaditaan riittävä pitkäaikaiskestävyys ja vedenjohtavuuden säilyminen kuormitettuna, sekä vähintään 25 vuoden käyttöikä. (InfraRYL. 14230)



Kuva 4. Kuivatuskerroksen rakeisuusalueen rajaa 2 käytetään, kun muovikalvon päällä ei ole suojageotekstiiliä. (InfraRYL. 14230)

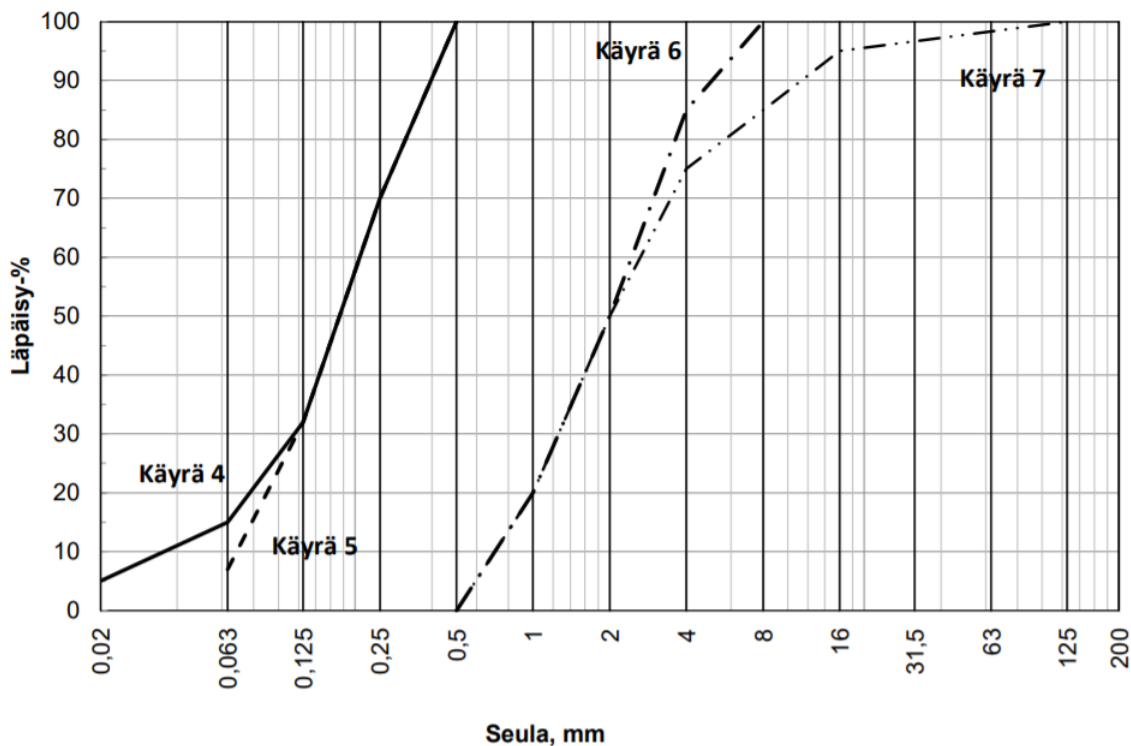
3.4.6 Pintakerros

Pohjavedensuojaurakenteen pintakerroksen tehtävän on ohjata vettä ja mahdollisia haitta-aineita kuten tien talvikunnossapidossa käytettävää suolaa tai onnettomuustilan-

teessa tiialueelle päätynttä öljy tai muuta pohjaveden tai ympäristön kannalta vaarallista ainetta. Pintakerroksen materiaalina voidaan käyttää maa-ainesta, joka täyttää kuvan 5 rakeisuuden raja-arvot. Käytettävien rakennekerrosten perusteella on määritetty rakeisuuskäyrät erilaisille rakenteille:

- Jos kuivatus- ja pintakerros rakennetaan yhtenä kerroksena samasta materiaalista ja muovikalvon päällä on suojageotekstiili, käytetään rakeisuusalueen vasempuna rajana käyrää 4 ja oikeana rajana käyrää 7.
- Jos kuivatus- ja pintakerros rakennetaan yhtenä kerroksena samasta materiaalista eikä muovikalvon päällä ole suojageotekstiiliä, käytetään rakeisuusalueen vasempuna rajana käyrää 5 ja oikeana rajana käyrää 6.
- Jos pintakerroksen alle rakennetaan erillinen kuivatuskerros tai rakenteessa käytetään salaojamattoa, valitaan rakeisuusalueen vasemmaksi rajaksi käyrä 4 ja oikeaksi rajaksi käyrä 7. Raekooltaan yli 16 mm kivet tulee olla silmämääräisesti tarkasteltuna kauttaaltaan pyöreitä.

Pintakerroksen materiaalina ei saa käyttää murskattuja kiviaineksia ja hienoainespitoisuuden ollessa yli 7 % tutkitaan 0,02 mm seulan läpäisy. Pintakerroksessa käytettävät materiaalit eivät saa sisältää epäpuhtauksia eikä ympäristölle vaarallisia aineita. (InfraRYL. 14230)



Kuva 5. Pintakerroksen rakeisuuden raja-arvot. (InfraRYL. 14230)

3.5 Materiaalien kelpoisuuden osoittaminen

Kaikista suojaukseen käytetyistä materiaaleista osoitetaan materiaalin kelpoisuus pohjavedensuojusrakenteeseen suoritustasoilmoituksella ja CE-merkinnällä. Taulukossa 1 esitetään rakennekerroksittain pohjavedensuojusrakenteisiin soveltuvat kivi- ja maa-ainekset sekä niiden vaatimukset, testausmenetelmä ja testaustiheys. Taulukossa 2 esitetään rakennekerroksittain pohjavedensuojusrakenteisiin soveltuvien geosyntetistien tuotteiden vaatimukset, testausmenetelmät ja testaustiheys.

Taulukko 1. Kivi ja maa-ainesmateriaalien kelpoisuuden osoittaminen. (InfraRYL 14230)

Rakennekerros	Ominaisuus	Vaatus	Menetelmä	Testaustiheys
bentoniittimaton alle tierakenteessa tuleva kalliomurskekiila	enimmäisraekoko	$D \leq 16 \text{ mm } G_{80}$	pesuseulonta SFS-EN 933-1	1/500 t, kuitenkin näyte vähintään 1000 m:n välein molemmilta puolilta tietä
	hienoainespitoisuus	$< 7 \%$		
bentoniittimaan runkoaines	enimmäisraekoko	$D \leq 6 \text{ mm}$	pesuseulonta ja areometrikoe SFS-EN ISO 17892-4	vähintään kolme näytettä/materiaali
	hienoainespitoisuus	$\geq 10 \%$		
	vesipitoisuus	-	uunikuivatus SFS-EN ISO 17892-1 tai SFS-EN 1097-5	
	humuspitoisuus	$< 2 \%$	hehikutushäviö GLO-85	1 koe/materiaali
	CaCO ₃ -pitoisuus (tutkitaan tarvittaessa)	$\leq 15 \%$ kuivapainosta	DIN 18129	1 koe/materiaali
	maksimikuivairtoiheys	-	parannettu Proctor-koe SFS-EN 13286-2	1 koe/materiaali
bentoniittijauhe	montmorillonitiipitoisuus	$\geq 75 \%$	XRD (röntgendiffraktio)	valmistajan ilmoitus
	paisumiskyky	$\geq 24 \text{ ml/2 g}$	paisumisindeksikoe ASTM D5890	kaksi rinnakaista
bentoniittimaa	vedenläpäisevyys 85 %:n tiivysasteessa	$\leq 5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	ASTM D5084 tai CEN ISO/TS 17892-11, pehmeäseinämäinen selli	kaksi rinnakaista koekappaletta tutkitaan, jos bentoniittimäärä optimoidaan
	bentoniittimäärä	$\geq 15 \text{ paino-}\%$ kuivapainosta tai optimoitu ennakkokokeiden perusteella	punnitus	jatkuva
	seoksen laatu	tasalaatuinen	visuaalinen arvio	jatkuva
vesi (tutkitaan, jos ei ole juomavedeksi tarkoitettua)	sähkönjohtavuus	$\leq 100 \text{ mS/m}$	SFS-EN 27888	kaksi rinnakaista
	pH	5...8	SFS 3021	kaksi rinnakaista
mineraalinen kuivatuskerros	rakeisuus	kuvan 14231.K2 ohjealueen mukainen	pesuseulonta areometrikoe SFS-EN ISO 17892-4	vähintään 3 näytettä/ottopaikka, työn aikana 1/1000 t, vähintään 3 näytettä/kohde
	hienoainespitoisuus	$\leq 7 \%$		
	savipitoisuus	$\leq 4 \%$		
	raekokosuhte Cu	suositus ≤ 5		
salaojaputken ympäristäyttömateriaali	rakeisuus	$D \leq 16 \text{ mm}$, taulukon 18320:T3 mukainen	pesuseulonta SFS-EN 933-1	vähintään 3 näytettä/ottopaikka, työn aikana 1/150 t, vähintään 3 näytettä/kohde
	hienoainespitoisuus	kalliomurskeelle $\leq 2 \%$ ja salaojatoralle $\leq 3 \%$		
pintakerros	rakeisuus, enimmäisraekoko, hienoaines- ja savipitoisuus	kuvan 14231.K3 ohjealueen mukainen	SFS-EN 933-1 ja/tai SFS-EN ISO 17892-4	vähintään 3 näytettä/ottopaikka, työn aikana 1/3000 t, vähintään 3 näytettä/kohde
pintaverhouksen kasvualusta	rakeisuus	kuvan 23112:K1 ohjealueen mukainen	SFS-EN ISO 17892-4	
	ravinnepitoisuudet	luvun 23112 ja soveltuvien osin taulukon 23111:T1 mukainen, ravinteisuustyyppi 4 tai 5	viljavuustutkimus	

Taulukko 2. Geosynteettisten tuotteiden kelpoisuuden osoittaminen. (InfraRYL. 14230)

Rakennekerros	Ominaisuus	Vaatus	Menetelmä	Testaustiheys
suodatinkangas	neliöpaino	käyttöluokituksen mukainen	EN ISO 9864	Jos NGS QPC 1/50 000 m ² jos NGS QPC+QPS 1/20 000 m ² muuten 1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
	vetolujuus sekä murtolujuutta vastaava venymä	käyttöluokituksen mukainen	EN ISO 10319	Jos NGS QPC 1/50 000 m ² jos NGS QPC+QPS 1/20 000 m ² muuten 1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
bentoniittimatto	paisumisindeksi	24 ml/2 g	ASTM D 5890	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
	bentoniitin määrä 0 %:n vesi-pitoisuudessa	suunnitelma-asiakirjojen mukainen	EN 14196	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
muovikalvo / tiivistyskalvo	paksuus	≥ 0,5 mm / ≥ 1,5 mm tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	EN ISO 9863-1	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
	vetolujuus	tuotetietojen/suunnitelma-asiakirjojen mukainen	SFS-EN ISO 527-1 ja SFS-EN ISO 527-3	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
suojageotekstiili	neliömassa	suunnitelma-asiakirjojen mukainen	EN ISO 9864	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
	vetolujuus	tuotetietojen/suunnitelma-asiakirjojen mukainen	EN ISO 10319	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
salaojamatto	neliömassa	tuotetietojen mukainen	EN ISO 9864	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti
	ytimen paksuus	tuotetietojen mukainen	EN ISO 9863-1	1 näyte alkavaa 10 000 m ² :ä kohti

3.6 Laatuvaatimukset

Taulukoissa 1 ja 2 esitettyjen materiaalien laatuvaatimusten lisäksi suojausrakenteiden materiaalien asennukseen on määritetty jokaiselle rakennekerrokselle omat vaatimuksensa ja laadunvarmistustapa. Ennen suojaustyön aloittamista laaditaan työvaihekohtaiset työ- ja laatusuunnitelmat sekä levityssuunnitelmat bentoniittimatolle, muovikalvolle, suojageotekstiileille ja salaojamatolle, jos sellaista käytetään. Työvaiheiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon rajoitukset rakennekerrosten päällä liikkumisesta työn aikana. (InfraRYL. 14230)

Kun asennusalusta on muotoiltu suunnitelmien mukaiseksi, aloitetaan bentoniittimaton asennus. Ennen bentoniittimaton asentamista tulee tarkastaa, ettei asennusalustassa ole irtokiviä, esiin työntyviä juuria eikä teräviä särmiä, yli 20 mm koloja, työkoneen- tai jalan jälkiä, tai muita painaumuksia. Asennusalustan soveltuvuus arvioidaan visuaalisesti ennen bentoniittimaton asentamista ja dokumentoidaan valokuvoin. (InfraRYL. 14230)

Bentoniittimattoja ja ohutmuovia tulee käsitellä varoen, rullissa käytettävien materiaalien herkkyyden vuoksi. Käsittelyyn ja asennukseen on rakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa annettu vaatimuksia, joita noudattamalla pyritään varmistamaan matto ja muovirullien asianmukainen kunto asennustyön ja varastoinnin jälkeen:

- Rullia nostetaan vain rullan läpi ulottuvalla nostopuomilla.
- Rullia ei pudoteta maahan eikä vedetä maata pitkin.
- Rullat eivät saa kastua kuljetuksen, käsittelyn tai varastoinnin yhteydessä.
- Rullat tulee varastoida kuivalle ja tasaiselle alustalle irti maasta ja suojata sateelta sekä likaantumiselta.
- Rullien kunto tulee tarkastaa silmämääräisesti juuri ennen asennusta ja hylätä mahdollisesti vaurioituneet osat.
- Bentoniittimattoja asennetaan vain kuivana ja sateettoman aikana.

(InfraRYL. 14230)

Asennustyö aloitetaan asennuskatselmuksella, jonka aikana todetaan käytettävän asennuskaluston sopivuus ja tarkoituksenmukaisuus työvaiheeseen sekä varmistetaan asennusalustan täyttävän edellä mainitut laatuvaatimukset. Läpivientien onnistuminen varmistetaan koeasennuksella, joka dokumentoidaan ja valokuvataan. (InfraRYL. 14230)

Suojausrakenteen pysyminen luiskassa varmistetaan tarvittaessa ankkuroimalla bentoniittimaton ja ohutmuovin yläpää puisilla tai metallisilla ankkuritapeilla. Ankkuritapeilla estetään työnaikainen luisuminen. Työn aikana vaurioituneet kohdat tulee korjata lisäämällä vaurion kohdalle toinen bentoniittimatto, joka ulottuu kauttaaltaan 500 mm vauriokohdan yli. Liitos varmistetaan lisäämällä mattokerroksien väliin bentoniittijauhetta. (InfraRYL. 14230)

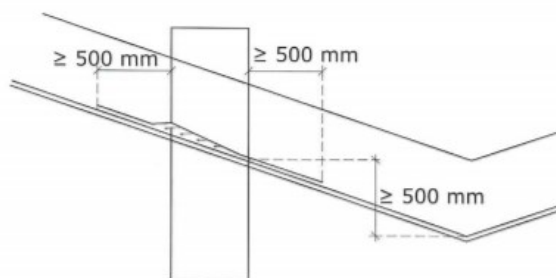
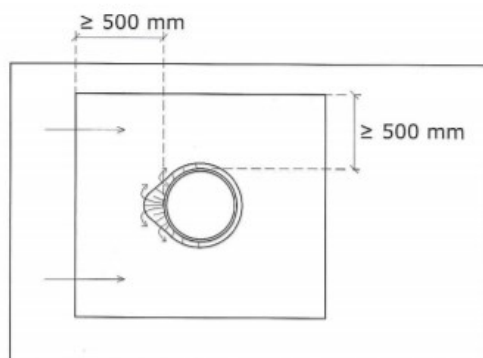
Bentoniittimaton päälle asennetaan *luvun 3.5* vaatimukset täyttävä muovikalvo heti bentoniittimaton asennuksen jälkeen ja muovikalvon päälle asennettava vähintään 300 mm paksu suojakerros tulee tehdä samana päivänä kuin bentoniittimatto ja muovikalvo. Saman päivän aikana tehtävällä suojakerroksella vältetään bentoniittimaton altistuminen suoralle auringonpaisteelle tai vesisateelle. Suojausrakenteen päällä ei saa

liikkua ilman riittävää suojakerrosta, joka on tela-alustaisilla koneilla 500 mm ja pyöräalustaisilla koneilla (kuten dumperi, kuorma-auto tai kauhakuormaaja) 1000 mm. (InfraRYL. 14230)

Läpivientien kuten valaisinpylväiden ja liikennemerkkien kohdalla alusta muotoillaan *luvun 3.5* mukaisella bentoniittimaalla tai bentoniittipastalla viettämään pois päin läpiviennistä. Läpiviennissä käytetään bentoniittimatosta leikattuja kappaleita, joihin on leikattu läpivientä vastaava aukko. Kaistaleet asennetaan siten, että läpiviennin ympärillä on joka puolella vähintään kaksi mattokaistaletta. Kuvassa 6 esitetään periaatekuva läpiviennin toteuttamisesta, sekä minimietäisyydet mattokaistoille ja niiden limityksille. (InfraRYL. 14230)

BENTONIITTIMATON ASENTAMINEN LÄPIVIENNISSÄ

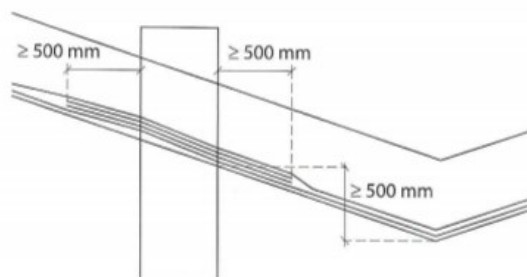
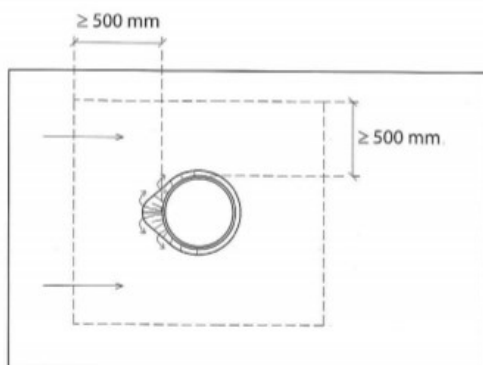
Läpiviennissä käytetään bentoniittimatosta leikattua läpivientikappaletta, jonka sovitus läpiviennissä on tiukka. Läpivientikappale asennetaan päällimmäiseksi.



Bentoniittimaton asennusalustan yläpinta muotoillaan maabentoniittiseoksella tai bentoniittipastalla. Läpiviennin ympärillä on kaikkialla vähintään kaksi bentoniittimattokerrosta. Läpivienti tiivistetään bentoniittijauheella tai bentoniittipastalla.

MUOVIKALVON ASENTAMINEN LÄPIVIENNISSÄ

Läpiviennissä käytetään muovikalvosta leikattua läpivientikappaletta, jonka sovitus läpiviennissä on tiukka. Läpivientikappale asennetaan alimmaiseksi. Läpiviennin ympärillä on kaikkialla vähintään kaksi kerrosta muovikalvoa.



kuva 6. Bentoniittimaton asentaminen läpivientiin. (InfraRYL. 14230)

Jokaiselle työssä käytetylle materiaalille ja työvaiheelle on määritetty rakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa omat toleranssit ja laadun mittaustavat. Taulukossa 3 esitetty työnaikaiset laadunvarmistustoimenpiteet kivi- ja maa-aineksille ja taulukossa 4 esitetty työnaikaiset laadunvarmistustoimenpiteet geosynteettisille tuotteille.

Taulukko 3. Kivi ja maa-ainesmateriaalien työnaikainen laadunvarmistus. (Infra-RYL 14230)

Rakennekerros	Ominaisuus	Menetelmä	Vaatus	Testausaiheys
alusta (leikattu pohjamaa tai pengertäyttö)	sijainti ja kaltevuus	tarkemittaus	suunnitelmien mukainen; vesijuoksun korkeustaso +/- 50 mm	jatkuva, vähintään 1/50 m
	vesijuoksun kaltevuus	oikolauta ja tarkemittaus	kaltevuus riittävä, jotta vesi ei lammikoidu; ja pituuskaltevuus -0,5...2 %-yksikköä	jatkuva, vähintään 1/20 m
	luiskakaltevuudet	tarkemittaus	sallittu luiskan enimmäiskaltevuus ei saa ylittyä	jatkuva
	soveltuvuus asennusalus-taksi	visuaalinen, dokumentointi valokuvaamalla	tasainen ja sileä, ei irtokiviä, esiin työntyviä kiviä eikä yli 5 mm teräviä kiven särmiä eikä juuria	jatkuva
	kantavuus	esim. arviointi työmaakoneiden jälkien perusteella	riittävä rakentamisen kannalta/ suunnitelma-asiakirjojen mukainen	jatkuva
alusta tierakenteessa (kiilamainen täyttö, jakava tai kantavakerros)	vähimmäiskaltevuus	tarkemittaus	5...15 %	jatkuva, vähintään 1/50 m
	sijainti	mittaus	peittosyvyyden > 250 mm ja etäisyys päällysteen alapinnasta 150–200 mm	jatkuva, vähintään 1/50 m
	pinnan tasaisuus	visuaalinen, dokumentointi valokuvaamalla	ei irtokiviä eikä yli 5 mm teräviä kiven särmiä	jatkuva, vähintään 1/50 m
asennusalus-tienkerroksen luiskassa	kaltevuus ja sijainti	tarkemittaus	suunnitelmien mukainen, sallittu luiskan enimmäiskaltevuus ei saa ylittyä	jatkuva, vähintään 1/50 m
	enimmäis-raekoko	pesuseulonta SFS-EN 933-1	D < 16 mm kalliomurskeella, D < 32 mm luonnonmaa-aineksella	500 t, kuitenkin vähintään 1000 m välein molemmilta pientareilta
	pinnan tasaisuus	visuaalinen, dokumentointi valokuvaamalla	ei irtokiviä, esiin työntyviä kiviä eikä yli 5 mm teräviä kiven särmiä	jatkuva, vähintään 1/50 m
salaojaputken ympärystyttömateriaali	rakeisuus	pesuseulonta SFS-EN 933-1	D ≤ 16 mm, taulukon 18320:T3 mukainen	1/150 t välein, vähintään 3 näytettä kohteelta
	hienoaines-pitoisuus		kalliomurskeelle < 2 % ja salaojatoralle < 3 %	
	kerrospaksuus putken päällä ja sivuilla	mitta	≥ 100 mm	jatkuva
salaojaputki	sijainti ja vesijuoksu	tarkemittaus	suunnitelmien mukainen	jatkuva
suodatinkangas	limitys	mitta	≥ 500 mm	jatkuva
pintakerros	rakeisuus	pesuseulonta SFS-EN 933-1	kuvan 14231:K3 ohjealueen mukainen	kerran 5000 m ² kohti, vähintään 3 näytettä kohteelta
	hienoaines-pitoisuus		< 30 %	
	kerrospaksuus	mittaus	suunnitelma-asiakirjojen mukainen, bentoniittimaton päällä vähintään 500 mm	jatkuva, vähintään 50 m:n välein
pintaverhous	paksuus	mittaus	suunnitelma-asiakirjojen mukainen	jatkuva

Taulukko 4. Geosynteettisten tuotteiden työnaikainen laadunvarmistus. (InfraRYL. 14230)

Rakennekerros	Ominaisuus	Menetelmä	Vaatus	Testaustiheys
bentoniittimaa	tilavuuspaino	troxler, volymetri tms.	85 % tiiviysaste	1 mittaus/käyttökohde tai 1/250 m ²
bentoniittimatto	limitys	mitta	tiilikattoperiaate viereiset rullat ≥ 300 mm, jatkokset ja paikat ≥ 500 mm	jatkuva
	sauman bentoniittijauheen määrä	visuaalinen seuranta ja valokuvaus, menekin seuranta	vähintään 0,4 kg/jm	jatkuva
	rypyttömyys	visuaalinen seuranta ja valokuvaus	ei taitoksia eikä vektejä	jatkuva
	limityspituus päällysteen alle	mittaus	500–600 mm	jatkuva, vähintään 50 m:n välein
muovikalvo	limitys	mitta	tiilikattoperiaate vesijuoksun kohdalla ≥ 2000 mm, muut alueet ≥ 500 mm	jatkuva
	saumojen määrä		enintään 20 kpl/km	
	ojanpohjan kalvon sijainti		ulkoreunan korkeus vesijuoksusta ≥ 500 mm	
	rypyttömyys	visuaalinen seuranta ja valokuvaus	ei rypyjä eikä vektejä	jatkuva
suojageotekstiili	limitys	mitta	≥ 300 mm	jatkuva
	rypyttömyys	visuaalinen seuranta ja valokuvaus	ei rypyjä eikä vektejä	jatkuva
mineraalinen kuivatuskerros	rakeisuus	pesuseulonta ja aerometrikoe SFS-EN 933-1 ja/tai SFS-EN ISO 17892-4	kuvan 14231.K2 ohjealueen mukainen	1/1000 t, vähintään 3 näytettä kohteelta
	hienoaines-pitoisuus		< 7 %	
	kerrospaksuus	mittatikka	≥ 100 mm	jatkuva
salaojamatto	limitys	mitta	limitys ≥ 100 mm,	jatkuva

4 POHJAVEDENSUOJAUKSEN TOTEUTUS VT12 EURA-RAIJALA

4.1 Kohteen tiedot

Kohteena opinnäytetyössä oli Valtatie 12, tarkempi paikka on Euran ja Raijalan välinen osuus. liikennemäärä on 2670-3570 ajoneuvoa vuorokaudessa, joista raskaita ajoneuvoja on noin 15-20 %. Vuoteen 2040 liikennemäärän ennustetaan kasvavan noin 3180-4260 ajoneuvoon vuorokaudessa. Tiellä on runsaasti kustannustehokkuutta vaativia kuljetuksia kuten esim. raakapuuta. Tie on liikennemäärään ja liikenteen koostumukseen nähden kapea ja tien päällystetty leveys on vain noin 7,5 metriä ennen tienparannushanketta. Korjattavalla välillä on puutteita pohjavedensuojauksessa ja melun- torjunnassa. (Väyläviraston www-sivut.)

Hankkeen tavoitteena oli raskaan liikenteen matka-ajan ennakoitavuuden ja turvallisuuden parantaminen. Lisäksi kevyen liikenteen olosuhteet parantuivat pientareiden leventyessä. Pohjavesisuojuksella vähennetään vedenhankinnalle tärkeän pohjavesialueen likaantumiseriskiä. Valtatietä 12 parannettiin Euran ja Raijalan väliltä nykyistä leveämmäksi yhteensä noin 21 km matkalta. Valtatietä levitettiin molemmin puolin ja sen kantavuutta parannettiin noin 8 km:n matkalla Remixer-menetelmällä. (Väyläviraston www-sivut.)



Kuva 7. Kohteen suunnittelualue.

4.2 Olosuhteet rakentamisen aikana

Kohteessa suoritettiin pohjavedensuojauksen rakentamista pääsääntöisesti loppukesän 2019 aikana heinä- syyskuussa mutta viimeiset bentoniittimatot levitettiin kevään 2020 aikana. Työn eteneminen on hyvin riippuvainen vallitsevasta säätilasta, sillä bentoniittimattoa ei saa levittää, mikäli alusta on märkä tai olosuhteet ovat sateiset. Siksi onkin suositeltavaa aikatauluttaa projekti niin, että pohjaveden suojausrakenteet pystyttäisiin tekemään kesän vähäsateisina kuukausina kuten kesä, heinä tai elokuussa.

Kesän 2019 vähäsateisuuden vuoksi ei tässä kohteessa tuotantokatkoksia juurikaan tullut vesisateiden takia. Olosuhteiden puolesta ongelmia aiheutti kohteen välittömässä läheisyydessä oleva Köyliönjärvi, jonka veden pinnankorkeus vaihtelee huomattavan paljon vuodenajan ja sademäärän mukaan.

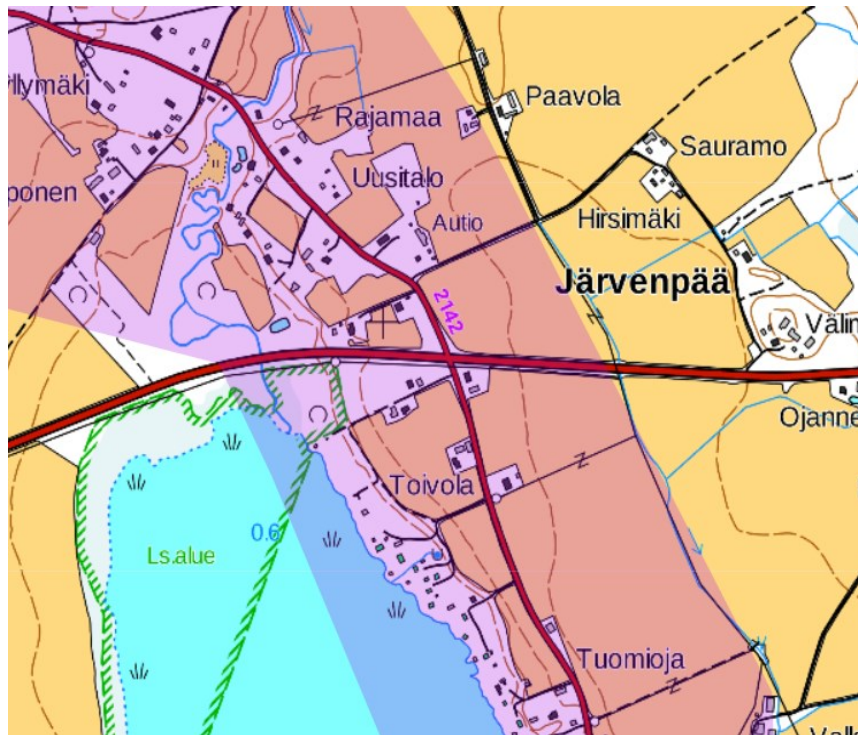
Köyliönjärven pinnankorkeuden vaihtelu aiheutti ongelmia suojausrakenteen rakentamisessa kuitenkin vasta keväällä 2020, kun Köyliönjärven vesi nousi valtatie 12 sivuosiin ja teki näin pohjaveden suojausrakenteiden asentamisen mahdottomaksi. Vedenpinnan korkeuden vuoksi jouduttiin työt hetkeksi keskeyttämään ja odottamaan, että alusta olisi riittävän kuiva suojausrakenteiden laadukkaaseen toteuttamiseen.

4.3 Suojattava alue

Vt12 Eura-Raija parantaminen oli 21 kilometrin pituudellaan hankkeena suuri. Laajasta urakka-alueesta huolimatta suojattavaa pohjavesialuetta projektilla oli vain 800 metriä pitkä kaista Koomankangas-Ilmiinjärvi pohjavesialueesta. Suojattava alue oli noin 800 metriä pitkä ja se sijaitsi Pyhän Henrikin tien ja Valtatie 12 risteyksessä Säkylän kunnan alueella. Koomankangas-Ilmiinjärvi pohjavesiesiintymän ollessa merkittävä vedenhankintaan käytettävä pohjavesialue, oli suojaus suunniteltu vaativimman eli 3. luokan kloridisuojauksen mukaan toteutettavaksi.

Osa pohjavesialueesta sijaitsi Natura 2000 luokituksen omaavalla alueella. Natura 2000 luokituksen saaneilla alueilla pyritään säilyttämään luonnon monimuotoisuutta ja turvaamaan kyseisellä alueella sijaitsevan luontotyypin ja lajien elinympäristöä. Na-

tura luokitus asetti rajoitteita rakentamiselle ja työkoneiden käytölle lintujen pesimäaikana. Alueella oli myös hankesuunnitteluvaiheessa nähty saukko, jolle ei saanut aiheutua rakentamisesta haittaa.



Kuva 8. Koomankangas-Ilmiinjärvi pohjavesialueen ja valtatie 12. päällekkäisyys. (Suomen ympäristökeskuksen karttapalvelu.)

Suomessa on määritetty jokaisesta pohjavesialueesta tietokortti, joka on vapaasti kehen tahansa käytettävissä Suomen ympäristökeskuksen karttapalvelussa. Tietokortista ilmenee pohjavesialueen tärkeimmät tiedot kuten pohjavesialueen nimi, luokitus, pinta-ala, antoisuus arvio ja alueen tila. Taulukossa 5 esitetty projektilla esiintyvän Koomankangas-Ilmiinjärvi pohjavesialueen tietokortti.

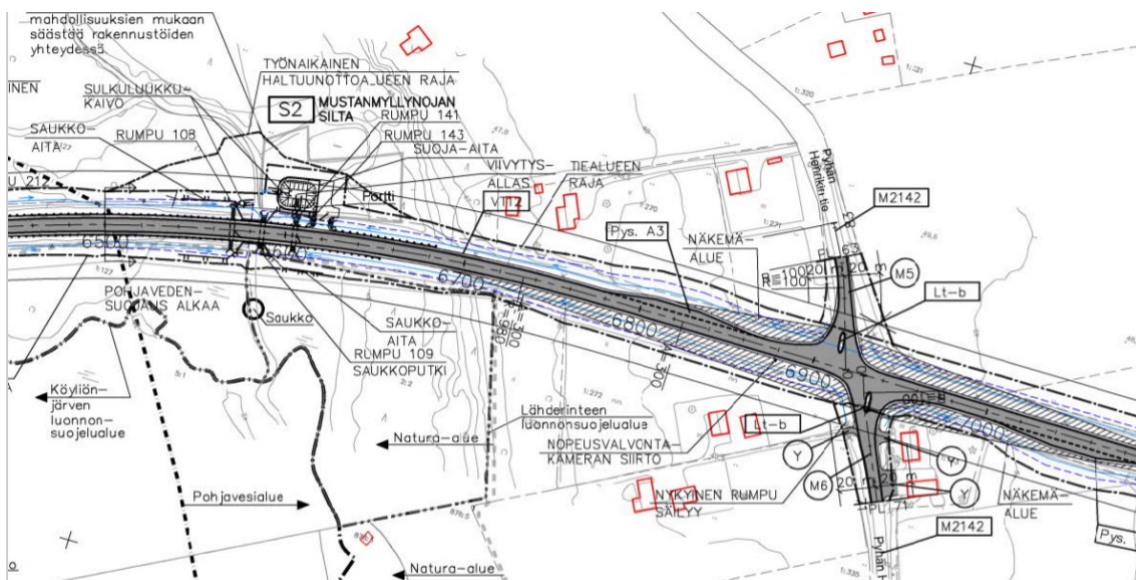
Taulukko 5. Koomankangas-Ilmiinjärvi pohjavesialueen tiedot. (Suomen ympäristökeskuksen karttapalvelu.)

Pohjavesialue tunnus	227153
Muodostumaalueen tunnus	0227153 V
Pohjavesialue nimi	Koomankangas-Ilmiinjärvi
Pohjavesialue luokka	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue (1)

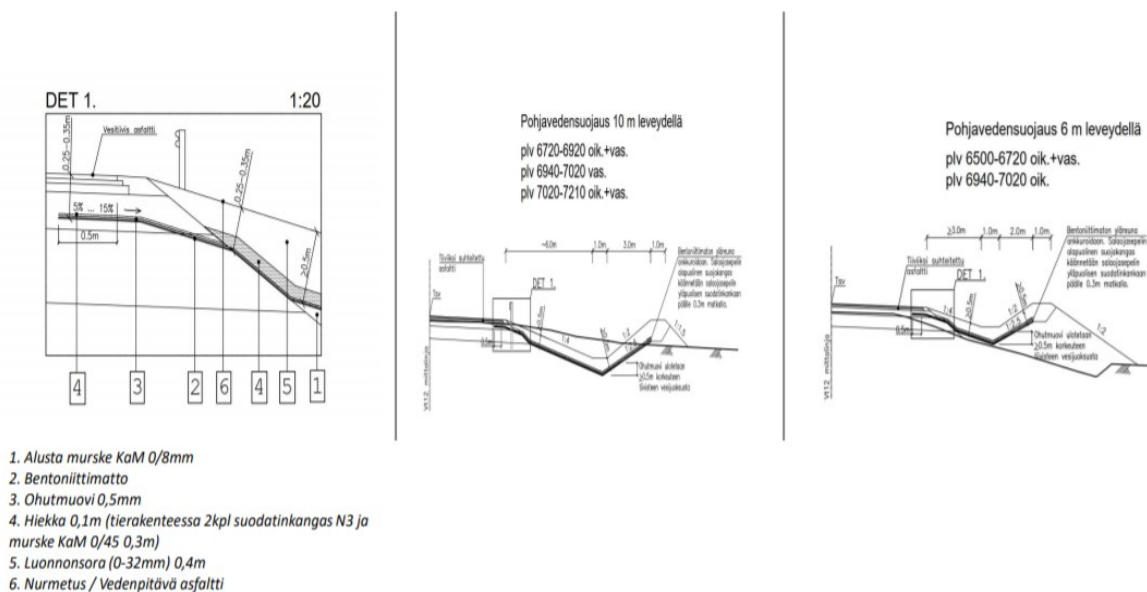
Suojelusuunnitelma	Suojelusuunnitelma valmis
VHA tunnus	VHA3
Tyyppi	Varsinainen muodostumisalue
Antoisuus arvio m3d	8 000
Kunta	Kokemäki
Pohjavesialue ala km2	17,21
Tila Määrä	Hyvä
Tila Kemia	Hyvä

4.4 Suunnitelmakartta ja yleisleikkaukset

Kohteessa, jonka suunnittelualueella sijaitsee pohjavesialue, laaditaan aina hankekohdittaiset suunnitelmat suojattavan alueen geologisten muotojen pohjavesialueen suojaustarpeen sekä esi- ja hankesuunnitteluvaiheessa kerättyjen lähtötietojen perusteella. Alla esitetty Kuvissa 8 ja 9 kohteen Vt12 Eura – Raijala suunnitelmakartta ja yleisleikkaukset pohjavesialueen kohdalla.



kuva 8. Suunnitelmakartta. (Vt12 Eura-Raijala suunnitelmat)



Kuva 9. Yleisleikkaukset. (Vt12 Eura-Raijala suunnitelmat)

4.5 Resurssit

Työt aloitettiin heinäkuun alussa Yhden 3D- koneohjausta hyödyntäneen tela-alustaisen kaivinkoneen, yhden kuorma-auton ja yhden rakennusmiehen voimin. Yleisesti käytetty toimintamalli suojausrakenteiden asentamiseen on kahden työryhmän voimin tapahtuva asennus. Kahdella työryhmällä suojausrakenteiden asennus tapahtuu ensimmäisen työryhmän levittäessä bentoniittimattoa ja ohutmuovia toisen ryhmän seurauksessa perässä ja levittäen suojauskerrosta bentoniitti- ja ohutmuovimattojen päälle.

Työ päätettiin perinteisestä mallista poiketen aloittaa vain yhden työryhmän voimin, sillä hanke oli kokonaisuudessaan laaja ja käytettävissä olleita resursseja haluttiin käyttää myös muihin työvaiheisiin. Päätökseen toteuttaa suojausrakenteiden tekeminen yhdellä työryhmällä vaikutti myös urakka-ajan ulottuminen pitkälle vuoden 2020 kevääseen ja suojattavan alueen koko, joka oli hankkeen kokoon ja muihin työvaiheisiin nähden suhteellisen pieni. Lisäksi mikään työvaihe tien lopullista päällystämistä lukuun ottamatta ei joutunut odottamaan suojausrakenteiden valmistumista.

Yhden työryhmän malli ei ole nopein tapa toteuttaa työvaihetta. Mutta se antaa liikkumavaraa työnjohdolle, sillä yhden työryhmän siirtäminen vaihtoehtoisin tehtäviin saateisen päivän tai yllättävän vesisateen takia onnistuu yleensä kustannustehokkaammin kuin kahden tai kolmen työryhmän. Pohjaveden suojausrakenteet toteutettiin esimerkiksi kikohteessa loppuun asti yhdellä työryhmällä.

Yhden työryhmän malli antaa lisäksi laatudokumentoinnista vastaavalle toimihenkilölle aikaa rakenteen laatudokumentointiin. On syytä muistaa, että suojausrakenteen laadunvarmistukseen ja laatudokumenttien laatimiseen vaaditaan lähestulkoon yhden toimihenkilön kokoaikainen työ määräysten edellyttämän dokumentoinnin ja valokuvauksen riittävyyden varmistamiseksi.

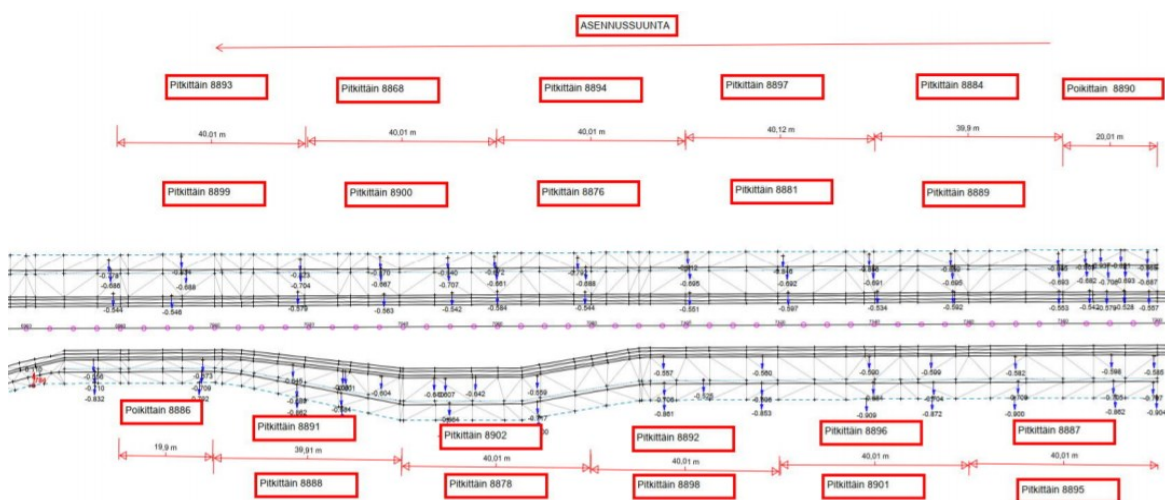
4.6 Valokuvaus

Rakennusvaiheen aikaiseen laatudokumentointiin kuuluu suojausrakenteiden valokuvaus. Valokuvaus on hyvä tapa todentaa piiloon jäävien rakenteiden oikeudenmukaisuus ja asennuksen oikeellisuus. Esimerkkikohteessa tuli valokuvata asennusalusta ennen bentoniittimaton asennusta, bentoniittirullien saumojen limitys, kun bentoniittijauhe on levitetty saumaan ja lopullinen rullien limitys eli valmis rakenne. Läpivientien kuten valaisinjalustojen ja liikennemerkkien jalkojen kohdat tuli valokuvata ensimmäisen mattokaistaleen asennuksen jälkeen ja toisen, tiivistyspalana toimivan mattokaistan asennuksen jälkeen.

Tiukkojen vaatimusten mukaan kuvia piti ottaa paljon ja työn edetessä nopeasti, sitoi suojausrakenteen dokumentointi työvaiheena toimihenkilöitä suhteellisen paljon. Kuvat toimitettiin tilaajalle internetissä olevaan projektipankkiin, josta tilaajan edustajat ja projektin rakennuttajakonsultit pystyivät seuraamaan työn etenemistä ja laatuvaatimusten noudattamista valokuvien välityksellä reaaliajassa.

4.7 Kartta levitetyistä rullista

Esimerkkikohteessa veloitettiin levitettävistä rullista pidettävän kirjaa niin, että tulevaisuudessa olisi mahdollista paikantaa mihin tietyllä sarjanumerolla varustettu bentoniittirulla tai tietty valmistuserä on levitetty. Käytännössä vaatimus toteutettiin tekeillä suojattavasta alueesta kartta kuvan 10 mukaan. Karttaan merkittiin rullan sarjanumero, limityssuunta ja limityskohdan paaluluku. Karttaa ylläpidettiin työn aikana työtä suorittavan työryhmän toimesta. Kartta luovutettiin työn jälkeen tilaajalle osana projektin luovutusaineistoa.



Kuva 10. Kartta asennetuista bentoniittimattorullista.

4.8 CE-merkinnät ja suoritustasoilmoitukset

Työssä käytettävien materiaalien tulee muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta olla CE merkittyjä, jolloin varmistetaan tuotteen ominaisuuksien täyttävän eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin (hEN) tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän (ETA). CE-merkintä on merkintä, jolla tuotteen valmistaja tai valtuutettu edustaa vakuuttaa, että tuote täyttää tuotetta koskevien EU:n direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset. (Turvallisuus- ja kemikaaliviraston [www-sivut](http://www.sivut.fi).)

Rakennustuoteasetuksessa on kuitenkin säädetty kolme poikkeustapausta, jolloin voidaan käyttää CE-merkitsemättömiä tuotteita, vaikka rakennustuotteelle olisi olemassa harmonisoitu tuotestandardi:

1. Valmistaja, joka vastaa tuotteen turvallisesta liittamisestä rakennuskohteeseen, valmistaa muun kuin sarjavalmistetun rakennustuotteen yksilöllisesti tai erityisesti tilattuna tuotteena erityistilauksen perusteella ja asentaa sen yksittäiseen rakennuskohteeseen sovellettavien kansallisten sääntöjen mukaisesti ja niiden sovellettavissa kansallisissa säännöissä nimettyjen, rakennuskohteen turvallisesta toteuttamisesta vastaavien henkilöiden vastuulla.
2. Rakennustuote valmistetaan rakennuspaikalla sen liittämiseksi pysyvästi kyseiseen rakennuskohteeseen, sovellettavien kansallisten sääntöjen mukaisesti ja niiden sovellettavissa kansallisissa säännöissä nimettyjen rakennuskohteen turvallisesta toteuttamisesta vastaavien henkilöiden vastuulla.
3. Rakennustuote valmistetaan perinteiseen tapaan tai suojellun kohteen säilyttämisen edellyttämällä tavalla muuten kuin tehdasvalmisteisesti, jotta voidaan korjata kansallisten sääntöjen mukaisesti asianmukaisesti sellaisia rakennuskohteita, joita virallisesti suojellaan osana määrättyä ympäristöä tai niiden erityisten arkkitehtonisten tai historiallisten ansioiden vuoksi.

(Eur-lex;in www-sivut)

Maanrakennustyömaalla edellä mainitut kohdat tarkoittavat paikalla tehdyn tai suoraan maaperästä otetun maa tai kiviaineksen käyttöä ilman, että tuotteella on CE-merkintä. Tällaisissakin tapauksissa on kuitenkin osoitettava, että tuote täyttää kansalliset vaatimukset. Esim. jos pintakerroksen materiaalina aiotaan käyttää työmaalta saatavaa materiaalia, lähetetään siitä näyte laboratorioon. Laboratoriossa tutkitaan näytteen ominaisuudet ja tuloksista päätellään, onko materiaali vaatimukset täyttävää, tässä tapauksessa kuvan 4. rakeisuuden mukaista maa-ainesta.

4.9 Tilaajalle luovutettava laatudokumentointi

Rakennusurakassa työn valmistuttua tilaajalle luovutetaan projektin laatukansio. Laatukansioon kerättiin kaikki työn aikana laaditut rakentamisen laatuun liittyvät dokumentit ja suunnitelmat. Tässä kappaleessa käsitellään ja esitetään vain pohjavedensuojauksesta laaditut dokumentit, jotka luovutettiin tilaajalle projektin laatukansiossa.

Vt 12 Eura-Raijala projektilla tilaajan kanssa sovittu luovutusaineisto pohjavedensuojauksesta piti sisällään seuraavat dokumentit:

- CE merkintä ja suoritustasoilmoitus käytetyistä bentoniittimattorullista, ohutmuovista, sekä muista muualla kuin työmaalla tehdyistä rakennusmateriaaleista.
- A4 Paperiarkin kokoinen näyte Bentoniittimatosta ja ohutmuovista.
- Ohje viranomaiselle ja tiealueen kunnossapitäjille. Ohje sisältää alueen sijainnin ja laajuuden, suojauksen yleistiedot kuten rakentamisvuoden, pohjavesialueen tunnuksen, nimen ja toteutuneen rakenteen.
- Bentoniittimattojen sijaintikartta, josta selviää tarkasti yksittäisen rullan sijainti.
- Rullien rahtikirjat. rahtikirjoista pystytään selvittämään yksittäisen rullan sarjanumero ja valmistuserä.
- Koottu kuvakollaasi bentoniittimattojen asennuksesta *luvun 4.7* mukaan.
- Rakeisuuskäyrät paikalla tehdyistä tai suoraan rakennuspaikalta saaduista materiaaleista. (luonnonsora, salaojahiekka)

Eteenkin valokuvat ja ohje viranomaiselle ja tiealueen kunnossapitäjälle ovat erittäin tärkeitä, jotta suojausta voidaan kunnossapitää ja suojella mahdollisimman pitkään. Lisäksi onnettomuustilanteen sattuessa pystytään valokuvien ja sijaintikartan avulla suunnittelemaan korjaustoimenpiteet kustannustehokkaammin ja tarkemmin kuin ilman edellä mainittuja dokumentteja.

4.10 Riskitekijät toteutuksen aikana

Pohjavedensuojauksen ollessa tienparannushankkeen yksittäisistä työvaiheista haastavimpien joukossa liittyy sen turvalliseen toteuttamiseen ja laadukkaan lopputuloksen varmistamiseen monia riskitekijöitä. Vt12 Eura-Raijalan projektilla suurimmiksi työtä ja suojauksen laatua uhkaaviksi riskeiksi tunnistettiin säätilan äkillinen vaihtuminen, läheisen järven vedenpinnan korkeusaseman muutokset, sekä konerikot tai öljyvuodot pohjavesialueella.

Riskitekijät huomioitiin levittämällä bentoniittimattoja vain sellaiselle matkalle, jonka pystyy peittämään saman päivän aikana. Konerikkoihin varauduttiin pitämällä riittävästi imeytysmattoja ja öljyntorjuntavälineistöä sellaisten työkoneiden lähellä, jotka hajotessaan voisivat aiheuttaa öljyvuodon ja näin turmella suojattavan pohjavesialueen jopa kokonaan.

5 ONGELMAT POHJAVEDENSUOJAUKSEN LAATUVAATIMUKSISSA

5.1 Yleisesti

Pohjaveden ollessa meille elintärkeä luonnonvara on ymmärrettävää, että sen läheisyydessä toimiessa on urakoitsijalle asetettu erittäin tarkat kriteerit työn turvallisesta toteuttamisesta ja piiloon jäävien rakenteiden asianmukaisuuden todistamisesta. Infra-RYL 2010 kohdan 14230 laatuvaatimuksia noudattaen on kuitenkin haastavaa toteuttaa suojaus kustannustehokkaasti. Tässä kappaleessa tutkitaan laatuvaatimusten ristiriitaisuuksia ja pohditaan, miten työ saadaan tehtyä turvallisesti ja laadukkaasti, vaikka rakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista poikettaisiinkin.

5.2 Bentoniittimatto

Bentoniittimaton asennuksen laatuvaatimuksissa kerrotaan *kohdan 3.7* mukaan, että asennetun bentoniittimaton päällä ei saa kävellä tai ajaa työkoneilla ennen suojakerroksen asentamista. Toisaalta taas bentoniittimattojen saumakohtiin tulisi levittää bentoniittijauhetta *kohdan 3.7* mukaan 0.4 kg/m. bentoniittijauheen levittäminen saumoihin sekä saumojen limittäminen oikein on erittäin hankalaa, mikäli maton päällä ei saa kävellä.

selitystä siihen, miksi bentoniittimaton päällä ei saa kävellä ei rakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista käy ilmi. Työmaalla tilanne ratkaistiin levittämällä bentoniittijauhetta mahdollisimman paljon kaivinkoneen kauhalla ja välttämään tarpeetonta kävelyä valmiin mattorakenteen päällä ja käyttämällä painoa tasaavaa levyä kuten suulakepuristettua uretaanilevyä jakamaan painoa suuremmalle alueelle. Näin pintapaine herkkään bentoniittimattoon saadaan pidettyä mahdollisimman pienenä ja vaurioilta suojausrakenteessa vältytään. Kuvassa 11 esitetty bentoniittimattoa asennettuna ja limitykset saumattuna. Kuvassa sininen nuoli osoittaa veden virtaussuuntaa.



Kuva 11. Asennettua bentoniittimattoa.

5.3 Läpiviennit

Läpivientien tekeminen rakenteeseen on itsessään vaikea ja tarkkaavaisuutta vaativa työvaihe. Lisäksi työ pitäisi laatuvaatimusten mukaan tehdä bentoniittimaton päällä kävelemättä. Bentonittimatto tulisi asentaa tiivisti läpiviennin kuten tierummun ympärille.

Liukkaan rummun ympärille kaltevaan tieluiskaan bentoniittimaton asentaminen tiivisti sellaisenaan, on erittäin haastavaa ja lopputulos ei välttämättä vastaa laatuvaatimuksia. Projektilla tyydyttävään lopputulokseen ja työohjeet täyttävästi päästiin muotoilemalla rummun ympärys bentoniittijauheella putkesta pois päin viettäväksi ja asentamalla läpivientien ympärille kiristysliina kuvan 12 mukaan.



Kuva 12. Alitusrummun läpivienti luiskassa.

6 POHDINTA

Opinnäytetyössä kerättiin yhteenveto pohjavedensuojauksen toteuttamisesta, toteuttamiseen liittyvistä määräyksistä ja ohjeista sekä työn tilaajalle projektin luovutuksen yhteydessä koottavan laatukansion sisällöstä. Työn tarkoituksena on toimia vastaisuudessa ohjeena työn tilanneelle yritykselle pohjavedensuojauksen laatudokumenttien laatimiseen. Opinnäytetyötä taustoitetaan kertomalla tärkeimmät asiat pohjavedestä ja sen suojelun tärkeydestä. Teoriaosuudessa käsiteltiin pohjaveden suojaustarpeen arviointia, suunnittelun eri vaiheissa huomioitavia lähtötietoja sekä suojauksen materiaaleihin ja asennusteknisiin määräyksiin liittyviä vaatimuksia.

Työn toteuttamisosuudessa tutkittiin, miten pohjaveden suojaustyö tehtiin oikeassa kohteessa. Työssä kerrottiin, millaisilla resursseilla työtä tehtiin ja miten päädyttiin projektilla käytettyyn ratkaisuun. Lisäksi pohdittiin, millaisia työn keskeyttäviä riskejä toteuttamiseen liittyy ja miten niihin varauduttiin. Tärkeimpänä sisältönä työssä käytiin läpi, millaisia laadukasta toteutusta todentavia dokumentteja pohjavedensuojauksen rakentamisen yhteydessä tulee urakoitsijan tehdä ja kerätä. Lopuksi työssä käsiteltiin ristiriitaisuuksia ja ongelmia pohjavedensuojauksen toteuttamista koskevissa vaatimuksissa.

Yhteenvetona pohjavedensuojauksen rakentamisessa laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi painotan työnohjauksen tärkeyttä ja tarkoin harkittua työsuunnittelua. Työvaiheen aloituspalaveria pidettäessä on mielestäni tärkeää painottaa työtä tekevälle taholle suunnitelmien ja urakoitsijan työ ja laatusuunnitelman ehdotonta noudattamista, sillä huonosti tai välinpitämättömästi tehty työ voi johtaa suurenkin pohjavesialueen pilaantumiseen.

Tilaajan ja tilaajan edustajan eli projektin valvojan kanssa on mielestäni erittäin tärkeää järjestää katselmus kohteessa, kun pohjaveden suojaustyö on aloitettu tai järjestää koeasennus ennen työn aloittamista. Katselmuksella varmistutaan kaikkia osapuolia

tydyttävien asennus- ja työtapojen toteutumisesta. Samassa katselmuksessa on myös tärkeää sopia tilaajan kanssa kirjallisesti työstä luovutettavien laatudokumenttien laajuus ja määrä.

Pohjavedensuojauksen rakentaminen tierakenteeseen oli mielestäni haastavin työvaihe projektilla ja se vaati etenkin toimihenkilöiltä paljon työn johtamista ja laadunvalvontaa inhimillisten virheiden välttämiseksi sekä laadukkaan ja kestäväns lopputuloksen takaamiseksi.

LÄHTEET

Infraryl 2010. Luku 14230 Pohjavedensuojaukset.
<https://www.rakennustieto.fi/infraryl/>

Eur-lexi:in www-sivut. viitattu 6.8.2020
www.eur-lex.europa.eu

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston www-sivut. Viitattu 6.8.2020
<https://tukes.fi>

Suomen ympäristökeskuksen karttapalvelun www-sivut. viitattu 4.8.2020
www.syke.fi

Haucon www-sivut viitattu 17.7.2020
<https://www.haucon.fi/tuotteet/vedeneristystuotteet/418/hydra-tex-bentoniittimatto>

Viacon www-sivut. viitattu 17.7.2020
<https://www.viacon.fi/tuote/bentoniittimatto/>

Karland, O. 1998. Bentonite swelling pressure in strong NaCl salutions. Correlation of model calculations to experimentally determined data. POSIVA 98-01.
http://www.posiva.fi/files/2666/POSIVA-98-01_web.pdf

Pohjavedensuojaus tien kohdalla. 2004. Väyläviraston verkkoarkisto.
<https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2100028-v-04pohjavsuojtienkohd.pd.pdf>

Sikiö, Marja-Terttu 2016 Bentoniitista rakennettujen pohjavedensuojusrakenteiden toimivuuden taustaselvitys.
https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2016-48_bentoniitista_rakennettujen_web.pdf

Väyläviraston www-sivut. viitattu 24.6.2020.
<https://vayla.fi/ymparisto/pohjavedet-maapera>

Maa- ja metsätalousministeriön www-sivut. Viitattu 23.6.2020
<https://mmm.fi/etusivu>