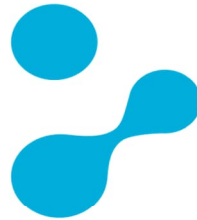




samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JUUSO UUSITALO

Pengerkevennyksen rakentaminen sillanrakennuskohteeseen

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2022

Tekijä Uusitalo, Juuso	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä syyskuu 2022
	Sivumäärä 39	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Pengerkevennyksen rakentaminen sillanrakennuskohteeseen		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma		
<p>Tämän opinnäytetyön taustana toimi tarve selvittää eri kevennysmateriaalien ominaisuuksia Pohjois-Poriin rakennettavien alikulkusiltojen kevennyspenkereitä varten. Materiaalitutkimuksen tarve liittyi mahdollisiin muutosesityksiin pengermateriaalin valintaa koskien, sillä urakoitsija halusi selvittää, olisiko työn toteuttaminen suunnitelmista poikkeavalla materiaalivalinnalla ollut mahdollista täyttäen samalla suunnitelmien laatuvaatimukset riittävällä tasolla.</p> <p>Opinnäytetyö pyrittiin myös toteuttamaan siten, että sitä pystyttäisiin hyödyntämään opastavana dokumenttina tulevilla työmailla, joilla rakennetaan kevennyspenkereitä. Opasdokumentin tarpeen taustalla on erityisesti Satakunnan alueella yleistynyt tarve kevennyspenkereiden rakentamiseen, sillä kevennykset on todettu toimivaksi ratkaisuksi huonosti kantaville alueille rakennettaessa.</p> <p>Työ toteutettiin tekemällä kirjallisuustutkimusta kevennyspenkereiden rakentamisesta, sekä kevennysmateriaalien ominaisuuksista. Lisäksi opinnäytetyöhön liittyen suoritettiin jälkitarkkailumittauksia Destia Oy:n aikaisemmin rakentamassa kevennyskohteessa. Tutkimusosuuden lisäksi työssä esiteltiin Porin pohjoispuolella sijaitseva sillanrakennuskohde, jonka kevennysrakenteita materiaalitutkimus pääasiassa koskee.</p> <p>Opinnäytetyöstä saatiin eri kevennysmateriaalien ominaisuuksista tietoa, jota pystytään hyödyntämään sekä Pohjois-Porin siltahankkeessa, että tulevissa vastaavanlaisissa hankkeissa. Jälkitarkkailumittauksissa havaittiin, että huonosti kantavissa pohjaolosuhteissa rakennetut kevennyspenkereet ovat säilyttäneet hyvin lujuutensa. Lisäksi opinnäytetyöstä voi löytää yleistä tietoa kevennysten rakentamisesta.</p>		
Avainsanat Kevennyspenkereet, tiepenkereet, kevytsora, vaahtolasi, solumuovi, tiivistys		

Author Uusitalo, Juuso	Type of Publication Bachelor's thesis	Date September 2022
	Number of pages 39	Language of publication: Finnish
Title of publication Construction of embankment lightening at the bridge construction site		
Degree programme Degree programme in construction and municipal engineering		
<p>The background of this thesis was the need to find out the properties of different lightening materials for lightening embankments of underpass bridges built in northern Pori. The need for material research was related to possible changes regarding the selection of embankment materials. The contractor wanted to find out if it would be possible to accomplish the work with material selection that differed from the plans while meeting the quality requirements of the plans.</p> <p>The aim was also to implement the thesis in such a way that it could be used as a guiding document on future construction sites where lightening embankments are being built. The need for a guide document is based on the increasing need to build lightening embankments, especially in the Satakunta region, as lightening embankments have been found to be an effective solution when building in poorly bearing areas.</p> <p>In the abstract you answer the questions:</p> <p>The thesis was carried out by conducting literature research on the construction of lightening embankments and the properties of lightening materials. In addition, related to the thesis post-observation measurements were done at a site where Destia Oy had previously built lightening embankments. In addition to the research part, the thesis presented a bridge construction site located in northern Pori, whose lightening structures are mainly concerned with material research.</p> <p>The thesis provided information on the properties of different lightening materials, which can be used both in northern Pori bridge project and in future similar projects. In the post observation measurements, it was found that the lightening embankments built in poorly bearing ground conditions have retained their strength very well. In addition, you can find general information about the construction of lightening embankments.</p>		
Keywords Lightening embankments, road embankments, light gravel, foam glass, cellular plastic, compaction		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	5
1.1 Työn tausta ja tavoitteet.....	5
1.2 Toimeksiantajayritys	5
2 SILTOJEN SIIRTYMÄRAKENTEET.....	6
2.1 Siirtymärakenne	6
2.2 Erilaisia siirtymärakennerekaisuja	7
2.3 Pengerkevennys siirtymärakenteena	8
2.4 Perustamistavan valinta ja suunnittelu	9
3 PENGERKEVENNYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT	10
3.1 Kevytsora.....	10
3.1.1 Kevytsoran ominaisuudet	11
3.1.2 Kevennyksen rakentaminen kevytsorasta.....	11
3.2 Vaahtolasi	13
3.3 Solumuovi.....	16
3.4 Kierrätysrengaspenger.....	18
4 TYÖN TOTEUTTAMINEN POHJOIS-PORIN ALIKULKUSILLOILLA	20
4.1 Kohdetyömaan esittely	20
4.2 Pengerkevennysrakenne	21
4.3 Penkereen alusrakenne	22
4.4 Kevennysmateriaalin asentaminen ja tiivistysmenetelmät	23
4.5 tiiveyden mittausmetodi/väline	24
4.6 Materiaalien vertailu	25
4.7 Määrälaskenta	26
5 KEVYTSORARAKENTEET VT 12:N PARANTAMISHANKKEESSA	28
5.1 Kevytsorapenkereiden rakentaminen	29
5.2 Jälkitarkkailumittaukset Mustanmyllynojan sillalla.	32
6 YHTEENVETO.....	35
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Pengerkevennykset tulevat olemaan yleinen pohjavahvistustapa Porin alueen tulevilla maan- ja sillanrakennustyömailla, sillä yhä useammin rakennettavat kohteet sijaitsevat esimerkiksi savipohjaisella maaperällä, jolloin pohjanvahvistuksella on suuri rooli pohjarakenteiden kestävydessä.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus esitellä erilaisia siltojen siirtymärakenteita ja pengerkevennyksissä käytettäviä materiaaleja. Pengerkevennyksimateriaaleista on tarkoituksena esitellä niiden erilaisia ominaisuuksia, sekä yleisimpiä käyttötarkoituksia ja asennusmenetelmiä.

Työn tavoitteena on luoda selkeä ohjeistus pengerkevennyksen rakentamisesta, ja vertailla eri materiaaleja ominaisuuksien, sekä käytännöllisyyden näkökulmasta. Opinnäytetyötä voidaan tulevaisuudessa käyttää opastavana dokumenttina pengerkevennyksen rakentamisessa.

1.2 Toimeksiantajayritys

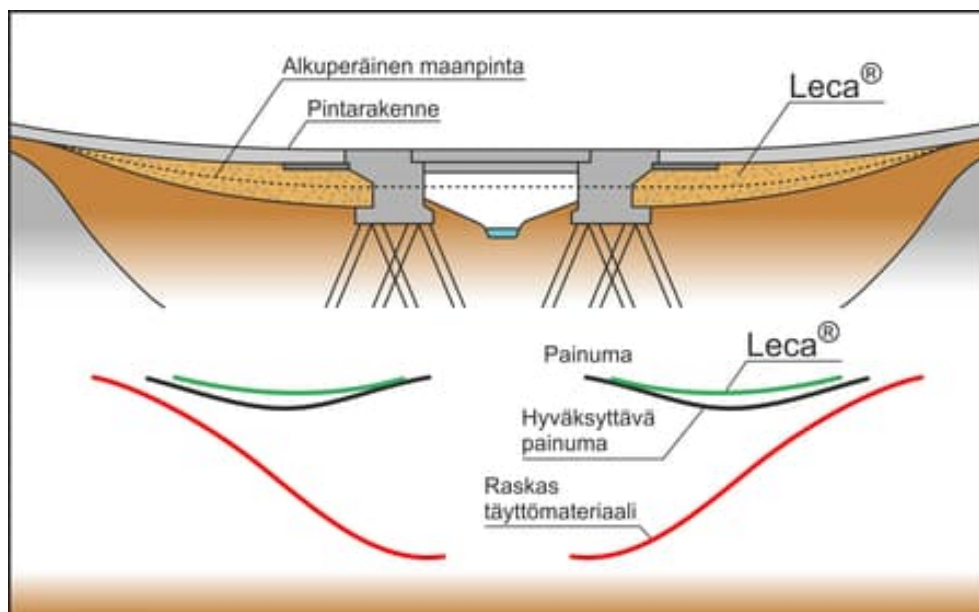
Työn toimeksiantajayritys on Destia Oy, joka on suomalainen infra- ja rakennusalan yritys, joka koostuu kuudesta liiketoimintaryhmästä. Väyläpalvelut rakentavat pääasiassa väyliä, katuja ja siltoja, ja väyläpalvelujen lisäksi liiketoimintaryhmiin kuuluu kunnossapitopalvelut, ratapalvelut, maa- ja kalliopalvelut, energiapalvelut, sekä kaupunkikehitys- ja asiantuntijapalvelut. Destian asiakkaita ovat pääasiassa valtionhallinnon organisaatiot, kuten väylävirasto, kunnat ja kaupungit, sekä yritykset.

Destialla on toimipaikkoja kattavasti joka puolella Suomea, sekä myös Suomen ulkopuolella pohjoismaissa. Destialla on pitkä historia, joka ulottuu 1700-luvun loppuun, kun Kustaa IV Adolf perusti Kuninkaallisen Suomen Koskenperkausjohtokunnan, jota seurasi Tie ja vesirakennushallitus, TVL ja tielaitos. Vuonna 2014 Destia siirtyi yksityisomistukseen, kun Ahlström Capital osti koko Destian osakekannan valtiolta. Vuoden 2021 loppupuolella ranskalainen maailmanlaajuisesti toimiva infra-alan konserni Colas osti Destian osakekannan Ahlström Capitalilta. (Destia, 2022).

2 SILTOJEN SIIRTYMÄRAKENTEET

2.1 Siirtymärakenne

Kevennyspenkereen rakentaminen on yksi monesta mahdollisesta siirtymärakennetarkaisusta. Siirtymärakenteilla tarkoitetaan sillan tai rummun tulopenkereeseen tehtäviä erillisiä rakenteita, joilla ehkäistään penkereen liiallista kuormittumista. Kun pehmeälle maaperälle rakennetaan uusi tiepengeri, siihen kohdistuva uusi kuormitus aiheuttaa painumia maapohjaan. Uuden kuormituksen suuruus riippuu materiaalikerrosten paksuudesta sekä tiheydestä. Ennen kuin siltoihin ja rumpuihin rakennettiin erillisiä siirtymärakenteita, tien pintaan sillanpäätysten kohdalle muodostui usein jyrkkiä kuoppia. Painumaerot johtuvat kuormituksen muuttumisesta lyhyellä matkalla, ja epätasaiseen kohtaan aiheutuu liikenteestä sysäyksiä, jotka pahentavat kuoppia entisestään. Siirtymärakenteilla voidaan myös pyrkiä estämään maan routivuudesta tierakenteeseen aiheutuvia ongelmia. (Tielaitos, 1994, s.7)



Kuva 1. Esimerkki sillan siirtymärakenteesta. (Leca.fi)

2.2 Erilaisia siirtymärakennetekniikoita

Ensimmäisissä siirtymärakenteissa tulopenkereitä tuettiin paaluttamalla käyttämällä esimerkiksi puisia koheesiopaaluja. Siirtymäpaalutukset rakennettiin usein lyömällä koheesiopaalut savipehmeikköön siten, että ne lyhenivät kiilamaisesti kauemmas sillan tulopenkereestä siirryttäessä. Siirtymäpaalutukset painuivat kuitenkin usein epätasaisesti, jonka vuoksi nykyään niitä ei juurikaan enää rakenneta. Ongelmana puisia koheesiopaaluja hyödyntämällä tehdyissä siirtymäpaalutuksissa on ollut myös paalujen kantokyvyn riittämättömyys varsinkin lyhimpien paalujen kohdalla. (Tielaitos, 1994, s.9)

Siltojen siirtymärakenteissa käytetään usein teräsbetonista valmistettuja siirtymälaattoja, joilla pyritään estämään sillan pengerpainuman aiheuttaman kynnyksen muodostuminen. Ne asennetaan sillan pään ja katurakenteen väliin ja voidaan valaa työmaalla paikan päällä tai tuoda paikalle valmiina elementteinä. Siirtymälaatan pituus riippuu rakenteen muutoskohdan oletetusta painumaerosta, sillä painumaeron ollessa yli 20 m, siirtymälaatan pituus tulee olla vähintään 5 metrin pituinen, kun taas pienemmän oletetun painumaeron omaavassa rakennuskohteessa siirtymälaatan pituudeksi riittää 3 metriä. (Helsingin kaupunki, 2021, s.32)

2.3 Pengerkevennys siirtymärakenteena

Massanvaihto on jo kauan ollut yleinen pohjanvahvistustapa. Siinä Pehmeämpi maaines kaivetaan pois kovempiin maakerroksiin saakka, ja korvataan paremmin kantavalla massalla. 1960-luvulla massanvaihdossa alettiin käyttää kevytsoraa silloin, kun penger haluttiin rakentaa kevyemmästä materiaalista kantavuuden lisäämiseksi. Nykyään suurin osa tulopenkereiden siirtymärakenteista toteutetaan rakentamalla painumattoman ja painuvan tiepenkereen rajakohtaan kevennyskiila ympäröivää maata kevyemmästä materiaalista. Kevennys voidaan tehdä sijoittamalla valittu kevennysmateriaali joko rakennettavaan penkereeseen, tai sen alapuolelta pois kaivetun maamassan tilalle. Kaivanto rakennetaan maanpinnan alapuolelle siten, että sen muoto vastaa yläpuolella olevaa pengertä ja poistetun maan ja kevennysmateriaalin painon erotus vastaavat maanpinnan yläpuolelle tulevaa painoa. Tällöin alapuolelle jäävään maamateriaalin kohdistuva paine pysyy yhtä suurena. Kevyemmällä pengermateriaalilla penkereen paino siis pienenee, jolloin penkereen vakavuus paranee ja painumat pienenevät. (Jääskeläinen, R., 2009, s. 210).

Pengerkevennysten käyttämisessä on useita hyviä puolia verrattuna vaihtoehtoihin siirtymärakennetkaisuihin. Pengerkevennyksen rakentaminen on nopeaa, ja menetelmä on monella tapaa joustava, joten se sopii monentyypisiin kohteisiin. Siltojen tulopenkereiden lisäksi pengerkevennysrakennetta voidaan hyödyntää esimerkiksi meluvälleissa, putkilinjojen rakentamisessa, sekä korjaus- ja täydennysrakentamisessa.

Silttipehmeikköalueilla kevennys voidaan myös yhdistää esikuormituspenkereen käyttöön, jolloin ennen kevennetyn penkereen rakentamista rakennuspaikka esikuormitetaan maamassoilla siten, että rakennusaikana esikuormituspenger lujittaa maapohjaa. Tämän jälkeen penger poistetaan ja paikalle rakennetaan kevennetty penger esimerkiksi kevytsorasta. Esikuormituspenkereen rakentamisella varmistetaan siis se, että pengerkevennys rakennetaan valmiiksi tiiviimmälle pohjalle, mikä ehkäisee päälle rakennettavan tierakenteen painumista. Kevennysrakenteita voidaan käyttää myös yhdessä muiden pohjanvahvistusmenetelmien kanssa. Esimerkiksi paalulattarakenteita, hattupaalutusrakenteita tai rakenteita, joissa hyödynnetään syvästabilointia, voidaan tehdä entistä kestävämmiksi hyödyntämällä kevennysmateriaaleja.

Pengerkevennyksessä käytettävän materiaalin tulisi olla irtotiheydeltään alle 1000 kg/m³ myös materiaalin ollessa märkää, jolloin voidaan katsoa, että penger keventyy merkittävästi ja sen vakavuus paranee. Useimmiten pengerkevennysrakenteessa käytetään kevytsoraa, mutta 1980-luvulla solumuovista tuli vaihtoehtoinen materiaali kevytsoralle. Solumuovia pystyttiin käyttämään sellaisissa kohteissa, jossa pengerrakenteista täytyi saada kevyempiä, kuin kevytsorasta tehdyt penkereet. Myöhemmin kevennysrakenteisiin on kehitetty lisää uusia materiaaleja, kuten esimerkiksi vaahtolasi, sekä kierrätysrenkaista valmistettu rengasrouhe. Kevennysmateriaalien valmistaminen erilaisista sivutuotteista aiheuttaa sen, että materiaalien hinnat pysyvät maltillisina verrattuna muihin maanrakennusmateriaaleihin. (Hartikainen, O., 2000, s.118.) (Tielaitos, 1994, s.10)

Nykyään kevennysrakenteiden tarve on lisääntymässä, sillä uudet rakenteet sijaitsevat usein pehmeällä alustalla, kuten esimerkiksi peltomaalla, joka on ollut aikaisemmin merenpohjaa. Hyvä esimerkki tämänkaltaisesta kohteesta on myöhemmin tässä opinäytetyössä käsiteltävät alikulkusillat, jotka rakennetaan Pohjois-Porissa vuoden 2022 aikana.

2.4 Perustamistavan valinta ja suunnittelu

Tien perustamistavan valinnassa ensimmäiset huomioitavat asiat ovat pohjasuhteet, tien geometriat ja rakentamispaikkaan liittyvät seikat, kuten esimerkiksi sillat, joihin penger rajoittuu. Kevennysrakenne valitaan usein perustamistavaksi silloin, kun kyseessä on matala savipehmeikköalue, kun taas syvemmillä savipehmeiköillä päädytään useimmiten paalulaatan rakentamiseen. Silttipehmeiköillä pystytään usein hyödyntämään edullisempia pohjanvahvistusmenetelmiä, sillä esimerkiksi rakentamisen aikaisen esikuormituspenkereen aiheuttama painuma vakauttaa maaperää tehokkaammin savipehmeiköillä rakentamiseen verrattuna.

Kevennyksen mitoittamisen perusteena voidaan käyttää vakavuutta tai painumakriteerejä, joissa nykyään useimmiten pyritään varmistamaan se, ettei penger pääse painumaan ollenkaan. Painumakiilan mitoituksessa vaikuttavat laskettu mitoituspainuma

ja suurin sallittu kaltevuuden muutos tien luokituksen perusteella, joiden perusteella lasketaan painumakiilan vaadittu pituus ja kevennysmateriaalikerroksen paksuus. (Tie- ja vesirakennushallitus, 1970, s.202)

Joissakin tapauksissa kevennyspenger joudutaan rajaamaan pois vaihtoehdoista, sillä mikäli kevennys toteutettaisiin riittävässä paksuudessa, jäisi pengerkevennyksen alle jäävä kuivakuorikerros niin ohueksi, että se aiheuttaisi liian suuria painumia tierakenteeseen, koska alapuolista savimaata huomattavasti paremmin kantavan kuivakuorikerroksen kantavuutta vahvistava vaikutus poistuisi.

Mitoitetulle kevennysrakenteelle laaditaan kevennysrakennesuunnitelma, josta ilmenee mm. kevennyskerroksien sijainti, laajuus, pintojen tasot ja kerrospaksuus, kun rakenne on valmis. Suunnitelman sisältöön kuuluu asemapiirustus, tarvittavat leikkaukset ja työselitys. Kevennysrakennesuunnitelmassa esitetään myös muiden rakennusmateriaalien, kuten esimerkiksi muiden rakennekerrosten, suodatinkankaiden ja geolujitteiden sijainnit, tyypit, limitykset ja mitat.

(Liikennevirasto, 2014, s.24), (Tielaitos, 1994, s.18)

3 Pengerkevennyksessä käytettävät materiaalit

3.1 Kevytsora

Kevytsora on yleisimmin pengerkevennysrakenteissa käytetty materiaali. Se on savenesta polttamalla valmistettua kiviainesta huomattavasti kevyempää materiaalia, jonka rakeet ovat sisältä huokoisia ja pinnalta tiiviitä. Infrarakentamisessa voidaan käyttää esimerkiksi raekokoa 4-32 mm.

Kevytsora ympäröidään huolellisesti limitetyllä suodatinkankaalla, jotta se ei pääse sekoittumaan ympäröivän maa-aineksen kanssa. Materiaali toimitetaan työmaalle

täysimittaisella ajoneuvoyhdistelmällä, jolloin yhdellä kuormalla voidaan toimittaa enimmillään 170 m³ soraa. (leca.fi, n.d.)

3.1.1 Kevytsoran ominaisuudet

Kevytsoralla on keveyden lisäksi muita erilaisissa rakennuskohteissa hyödynnettäviä ominaisuuksia. Kevytsoraa voidaan käyttää routasuojauksessa, ja sillä on hyvä vedenläpäisevyys ja kuormituskestävyys. Kevytsora on helposti käsiteltävää materiaalia, mutta pienemmän kitkakulman vuoksi sen asennusalusta on tehtävä sivuilta korkeammaksi verrattuna esimerkiksi vaahtolasiin. Kevytsoraa käsitellessä ja varastoidessa tulee työmaalla huomioida se, että materiaali murskautuu helposti esimerkiksi tela-alustaisten kaivinkoneiden alla.

Raekoko	4-32 mm
Puristuslujuus	CS (10): 0,75 MPa, CS (2): 0,40 MPa
Tiivistyvyys	5-15 %
Tiivistämätön irtotiheys	260 (+/-15 %) kg/m ³
Tilavuuspaino	Irtokuiva: 3 kN/m ³ Kuiva: 4 kN/m ³ Ajoittain veden alla: 6 kN/m ³ Pysyvästi veden alla: 10 kN/m ³ Nostemitoituksessa: 3 kN/m ³
Kitkakulma	33° -38°
Lämmönjohtavuus	kuiva 0,12-0,15 W/mk
Kantavuusmitoitus (E-moduuli)	50 MPa
pH- arvo	9-11

Taulukko 1. Kevytsoran ominaisuuksia. (Leca.fi, n.d.)

3.1.2 Kevennyksen rakentaminen kevytsorasta

Kevytsora toimitetaan työkohteeseen useimmiten täyspitkillä ajoneuvoyhdistelmillä. Kevytsoraa varten täytyy yleensä rakentaa maasta kaukalomainen rakenne, johon sora tiivistetään. Ennen kevytsorakerroksen rakentamista pohjalle asennetaan suodatinkangas, joka erottaa kevytsoran alapuolisesta materiaalista. Työmaa pyritään saamaan toimitukseen mennessä niin valmiiksi, että sora voidaan kipata suoraan sitä toimittavasta

yhdistelmästä. Jos kevytsoraa tarvitaan kohteeseen, jonka lähelle ei päästä peruuttamaan kippaavalla ajoneuvolla, voidaan sora siirtää myös erillisellä nostolaatikolla tai puhaltaa paikalleen. Puhallusta varten on olemassa pienempirakeisia kevytsoralajikkeita (PUH 4-20 mm ja KAP 4- 20 mm). (Leca.fi, n.d.)

Tiivistämisellä pyritään saattamaan rakenteet sellaiseen tilaan, että niissä myöhemmin tapahtuvat deformaatiot pysyvät kohtuullisissa rajoissa. (RIL 156 maanrakennus s.143). Kevytsora on melko helposti tiivistyvä materiaali pyöreiden rakeidensa ansiota. Kevytsorapenger rakennetaan normaalille rakennusalustalle enintään 600 mm paksuina kerroksina tiivistämällä jokainen kerros erikseen. Jos on olemassa riski, että pohjamaa häiriintyy tiivistämisen vuoksi, voidaan tiivistys tehdä myös paksumman (1000 mm) kerroksen päältä.

Paksujen kevytsorakerrosten tiivistäminen tehdään ajamalla joko kevytsorakerroksen tai sen yläpuolelle rakennetun murskekerroksen päällä esimerkiksi täryjyrällä tai noin 20-30 tonnin painoisella kaivinkoneella tai puskukoneella, mutta ohuemmissä kerroksissa tiivistämiseen riittää esimerkiksi tärylevy.

Leca-sorarakenteessa suositeltava tiivistyskertojen määrä on vähintään 6 yliajokertaa jokaista kevytsorakerrosta kohden. Tiivistymistä seurataan työn aikana ja valvotaan, että tiivistys telakoneella yliajaen jatkuu, kunnes kevytsorakerrokseen ei enää jää selviä painaumuksia kaivinkoneesta. (Leca, 2019). Kuvassa 10 kevytsorapenkereen rakentamista Destian työmaalla Eurassa valtatie 12:lla.



Kuva 2. Kevytsorapenkereen tiivistämistä.

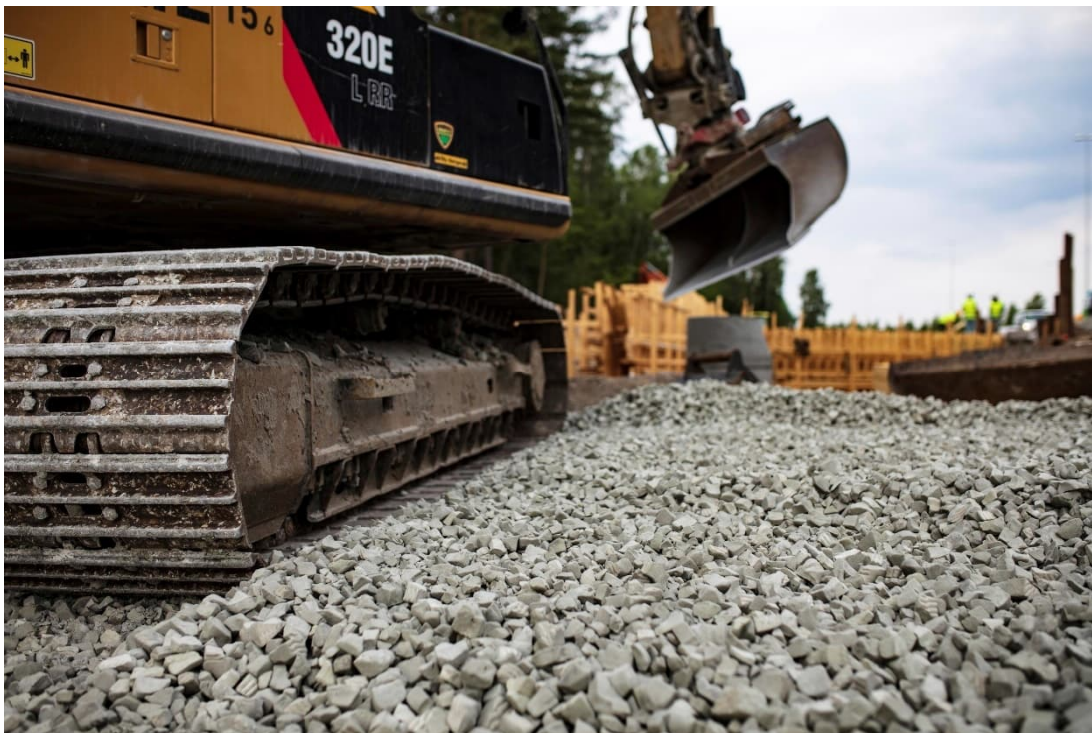
3.2 Vaahtolasi

Vaahtolasimurske on kierrätetystä ja puhdistetusta lasista valmistettu materiaali. Murskattu kierrätyslasi saadaan vaahtoamaan kemiallisella reaktiolla käyttämällä teollisuuden sivutuotteena saatavia kemikaaleja. Foomit- vaahtolasimurskeessa on vain 8 % kiinteää ainetta ja loput ilmaa, mikä aiheuttaa materiaalin keveysominaisuuden ja toimivuuden kevennysrakenteissa. Kevennysrakenteiden lisäksi vaahtolasia voidaan käyttää esimerkiksi kuivatusrakenteissa sen hyvien vedenläpäisyominaisuuksien vuoksi, sekä eristysrakenteissa. (Forsman, J., Sikiö, J., Ronkainen, M. & Hakari, M., 2012)

Tavallisimmin kevennysrakenteissa on käytetty kevytsoraa, mutta vaahtolasin suuremman kitkakulman vuoksi sillä voidaan saavuttaa työtekniisiä etuja. Kitkapintaisuuden vuoksi sitä on helppo kasata ja käsitellä, ja se ei myöskään välttämättä tarvitse erillisiä reunapenkereitä tueksi. Vaahtolasimurskeen kitkakulmaa voi verrata murskeisiin, joten luiskan kaltevuus voi olla jopa 1:1. Vaahtolasi erotetaan muista materiaaleista joko N3- tai N4-luokan suodatinkankaalla, ellei suunnitelmissa ole esitetty toisenlaista ratkaisua.

Vaahtolasirakenne esitiivistetään ajamalla kerroksen päällä telakoneella tai käyttämällä tärylevyä. Telakoneella tiivistettäessä kerrospaksuuden tulee olla 600 mm, paitsi pohjapaineen ollessa 30-50 kPa, voidaan esitiivistys suorittaa 900 mm paksuisen kerroksen päältä. Mikäli esitiivistys suoritetaan 50-200 kg painoisella tärylevyllä, tulee tiivistettävien kerrosten olla paksuudeltaan enintään 400 mm. Esitiivistys on suoritettu riittävän hyvin silloin, kun telakoneesta ei jää selkeitä jälkiä murskekerroksen pintaan sen päältä ajettaessa.

Varsinainen tiivistys tiivistäminen suoritetaan ajamalla täryjyrällä noin 4 kertaa vaahtolasin päällä olevan 150-200 mm paksuisen murskekerroksen päältä, jolloin vaahtolasikerros tiivistyy noin 10-25 % tiivistämättömästä kerrospaksuudestaan. (Forsman, J., Sikiö, J., Ronkainen, M. & Hakari, M., 2012).



Kuva 3. Vaahtolasimurskeen tiivistämistä tela-alustaisella kaivinkoneella (Kuva: Foamit)

Kitkaominaisuuksien lisäksi vaahtolasilla on myös muita erilaisissa rakenteissa hyödynnettäviä ominaisuuksia. Vaahtolasilla on myös riittävät eristysominaisuudet tasaisten lämmöneristyskerrosten rakentamiseen, ja sen vedenläpäisevyysominaisuudet mahdollistavat vaahtolasin käytön myös salaojitusmateriaalina. Vaahtolasi on lievästi emäksinen materiaali, ja mikäli materiaalin pölyävyydestä on haittaa, voidaan mursketta kastella ennen sen käsittelyä.

Raekoko	10-60 mm
Tiheys	Kuiva, tiivistämätön: 210 (+/- 15 %) kg/m ³ Kuiva, tiivistetty: 220-280 kg/m ³ Kostea, pitkäaikaisesti tierakenteessa: 350 kg/m ³ Pitkäaikaisesti veden alla: 600 kg/m ³ Pysyvästi veden alla: 1000 kg/m ³
Tilavuuspaino	Nostemitoitus: 3,5 kN/m ³ Pysyvästi veden alla: 10 kN/m ³
Kitkakulma	36°-45°
Lämmönjohtavuus	0,11 W/mK
Kantavuusmitoitus (E-moduuli)	55-70 MPa
pH-arvo	10
Tiivistymiskerroin	1,15-1,25
Puristuslujuus	10 % kokoonpuristuma: 0,3-0,4 MPa 20 % kokoonpuristuma: >0,9 MPa

Taulukko 2. Vaahtolasin ominaisuuksia. (Forsman, J., Sikiö, J., Ronkainen, M. & Hakari, M., 2012)

3.3 Solumuovi

Joissakin tapauksissa myös solumuovia voidaan käyttää pengermateriaalina. Solumuovimateriaalit valmistetaan polystyreenistä joko paisuttamalla, jolloin saadaan EPS-solumuovia, tai suulakepuristamalla, jolloin saadaan XPS-solumuovia. (Infraryl, 2021)

Solumuovi asennetaan rakennettavaan penkereeseen joko suorakulmaisina harkkoina tai nippuina. Niput tai harkot asennetaan tiivistetylle hiekka-alustalle latomalla siten, että vältetään päällekkäisiä ja rinnakkaisia saumoja. Ne tulee kiinnittää toisiinsa harkkojen tai nippujen läpi työnnettävillä esimerkiksi d 12 mm teräksillä suunnitelmien mukaisesti.



Kuva 4. Penkereen rakentaminen EPS- harkoista. (Kuva: Gustafsson, H., 2017)

Solumuoviharkot tai niput suojataan öljyn tai muiden kemiallisten aineiden aiheuttamilta haittavaikutuksilta joko muovikalvolla, teräsbetonilla tai vettä läpäisemättömällä maakerroksella (Infraryl, 2021). Solumuovikevennystä rakennettaessa on huomioitava, että pohjaveden pinta tulee olla solumuovikerroksen alapinnan alapuolella.

Mikäli solumuovikerros jää alle metrin paksuiseksi, voidaan se reuna jättää pystysuoraksi. Pieniä epätasaisuuksia voidaan korjata esimerkiksi hiekalla tai betonilla, mutta suuret epätasaisuudet paikataan leikkaamalla solumuovista sopivankokoisia kappaleita. Solumuovista rakennetun kerroksen päällä ei tule kulkea raskaalla kalustolla ennen kuin se on peitetty riittävän paksulla maa- tai päällystekerroksella.

Solumuovituotteita on saatavilla useita eri laatuja, joilla on erilaiset ominaisuudet. Esimerkiksi EPS 300 Routa- eristeen lyhytaikainen puristuslujuus on yli 300 KPa ja lämmönjohtavuus noin 0,035 W/mK. (EPS- rakenneteollisuus, 2010). XPS-materiaaleista esimerkiksi Finnfoam FI-300 laatuisen materiaalin lyhytaikainen puristuslujuus on yli 300 KPa ja lämmönjohtavuus on noin 0,029-0,034 W/mK. Solumuovimateriaalien tiheys voi vaihdella 10-60 kg/m³ välillä, joten sen tilavuuspainoksi voidaan määrittellä noin 0,1-0,6 kN/m³. (Kilpeläinen, T., 2009)



Kuva 5. Finnfoam XPS- eriste. (Finnfoam)

3.4 Kierrätysrengaspenger

Käytöstä poistetuista renkaista saadaan pengerkevennysmateriaalia leikkaamalla renkaat rouheeksi, sitomalla ne paaleiksi tai käyttämällä ne sellaisenaan. Rengasrouhetta voidaan käyttää myös tulva-alueilla, sillä vesi ei vaikuta siihen pengermateriaalina. Pengermateriaalina renkaat painuvat vähän ja ne vaimentavat esimerkiksi sillan siirtymärakenteisiin kohdistuvaa tärinää. (Apila Group Oy Ab, Suomen rengaskierrätys Oy & Kuusankoski Oy, 2014).

Kierrätysrenkaiden hyödyntäminen rakentamisessa vaatii ympäristöviranomaisen luvan, eikä rengasrouhetta voida käyttää pohjavesialueella. Rengaskevennyksen rakentaminen on hinnaltaan edullista verrattuna esimerkiksi kevytsoraan tai vaahtolasiin. (Liikennevirasto, 2011)

Rengasleikkeet jaetaan neljään eri ryhmään niiden leikkauskertojen ja palakoon mukaisesti

Leikeluokka	Leikkausaste	Palojen koko (mm)
RL0	Kokonaiset renkaat	Vaihtelee
RL1	1 kerran leikattu	n. 300x300
RL2	2 kertaa leikattu	100-200x100-200
RL3	3 kertaa leikattu	50-100x50-100

Taulukko 3. Renkaiden leikeluokat (Infrayl, 2021)

	RL0	RL1	RL2	RL3
Kuivatiheys	1100-1800 kg/m ³	2500-4000 kg/m ³	3500-4500 kg/m ³	3800-5000 kg/m ³
Tilavuuspaino	2,0-4,0 kN/m ³	4,0-5,5 kN/m ³	4,7-6,0 kN/m ³	5,5-6,5 kN/m ³
Koheesio	-	-	-	8-9 kN/m ²
Kitkakulma	-	-	-	20-40°
Lämmönjohtavuus	-	0,15-0,3 W/mK	0,15-0,3 W/mK	0,15-0,3 W/mK
E-moduuli	-	0,5-2,0 MPa	0,5-2,0 MPa	1,0-2,0 MPa
Tilavuuspaino mitattu, kun materiaali on tiivistetty ja siihen kohdistuu 10-40 kPa:n kuorma.				
E-moduuli riippuu kerroksen sijainnista rakenteessa.				

Taulukko 4. Rengasleikkeiden materiaaliominaisuudet. (Infraryl, 2021)

Kun kierrätysrenkaasta rakennetaan pengertä, on huomioitava, että kerros ympäröidään suodatinkankaalla riittäväillä limityksillä, jotta vältetään rengasrouheen sekoittuminen ympäröivään materiaaliin. Kevennysrakenteen tehdään kerroksittain tai kiilapengerryksinä ja se tiivistetään ajamalla kerroksien yli esimerkiksi tela-alustaisella kairavinkoneella.

Kierrätysrengaspengertä rakennettaessa tulee huomioida se, että materiaali voi puristua kokoon jopa 10-20 % alkuperäisen kerroksen paksuudesta, joten materiaalin määrässä tulee ottaa huomioon vaadittava ennakkokorotus. Tehokkaalla tiivistämisellä pystytään ehkäisemään materiaalin painumista.



Kuva 6. Tien korottamista rengasrouheella. (Suomen rengaskierrätys Oy. 1997)

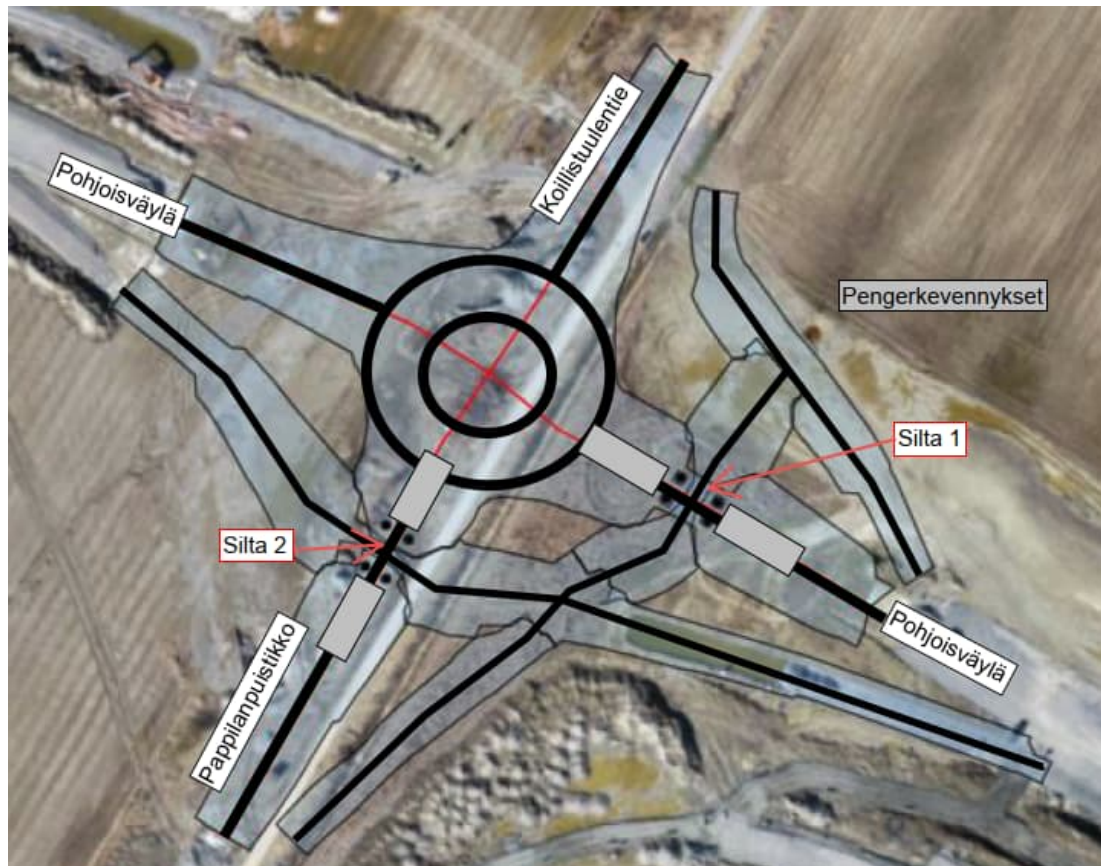
Pengerkevennysrakenteiden lisäksi kierrätysrenkaita pystytään hyödyntämään rakennusmateriaalina mm. katurakenteen täyttömateriaalina ja routasuojana, meluvalleissa, luiskien vahvistamisessa ja suojaamisessa, kaatopaikoilla, sekä tukiseinissä ja muureissa. Sitä on pystytty hyödyntämään myös leikki- ja nurmikentissä, golfkentillä ja hevosmaneesien rakentamisessa. (Repo, A., 1997)

4 Pengerkevennyksen rakentaminen Porin Pohjoispuolella sijaitsevalle sillanrakennuskohteelle

4.1 Kohdetyömaan esittely

Tässä opinnäytetyössä pyritään vertailemaan materiaalien ominaisuuksia ja vertailemaan eri materiaalien sopivuutta Porissa sijaitsevalle rakennusprojektille. Projekti sisältää kahden alikulkusillan, kiertoliittymän, sekä niitä ympäröivän infran, kuten esimerkiksi hulevesiviemärien, salaojien, kaksoispumppaamon, pohjavedensuojusrakenteiden ja katuvalaistuksen perustusten rakentamisen. Siltojen sijainnit ja katurakenteet esitelty kuvassa 7.

Hankkeessa rakennetaan myös yhteensä noin 300 metriä katuja ja 500 metriä kevyen liikenteen väylää. Katurakenne tehdään valmiiksi päällystekerrosten alapintaan asti. Muita hankkeessa huomioitavia asioita ovat esimerkiksi tavallisesta poikkeavat salaojajärjestelmät, sillä maaperän sulfidipitoisuuden vuoksi alueelle tehdään erilliset salaojajärjestelmät, joilla johdetaan happamat salaojavedet erilliseen neutralointialtaaseen hyödyntämällä siltojen väliin rakennettavaa kaksiosaista pumppaamoja. Happamien vesien salaojat ja tavallisten, normaalin pH-arvon omaavien hulevesien salaojat erotetaan toisistaan bentoniittimattorakenteella.



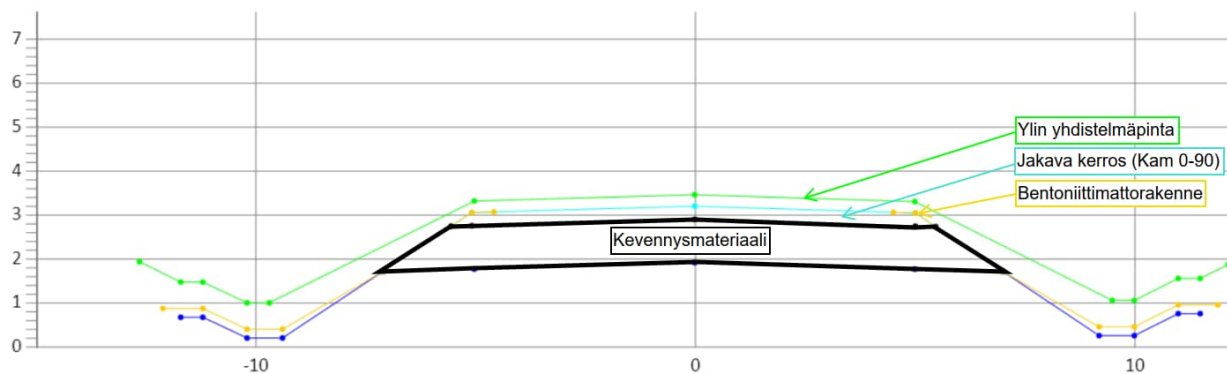
Kuva 7. Yleiskartta Pohjois-Porissa sijaitsevalta sillanrakennuskohteelta. (Destia Oy, 2022)

Sillat rakennetaan saviselle maaperälle, joten molempien siltojen kummatkin tulopenkereet rakennetaan käyttämällä pengerkevennysmateriaaleja. Yhteensä hankkeessa rakennetaan siis neljä erillistä pengerkevennystä. Kevennyksien materiaaliksi on alustavasti valikoitu vaahtolasi, mutta tässä opinnäytetyössä sille etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuja.

4.2 Pengerkevennysrakenne

Alikulkusillat ylittävän kadun rakennekerrokset ovat Ylhäältä alaspäin lueteltuna seuraavat: 50 mm kulutuskerros asfalttibetoni AB 16/120, 60 mm kulutuskerros AB 20/150, 150 mm kantava kerros 0-32 mm murskeesta ja 300 mm jakava kerros 0-90 mm murskeesta. Kevennyspenger rakennetaan edellä kuvattujen kerrosten alapuolelle kohteeseen valitusta materiaalista. Penger rakennetaan kiilamaisesti, eli sen paksuus muuttuu suuremmaksi siltaa lähestyttäessä. Sillan tulopenkereen kohdalle

vaahtolasikevennys on suunniteltu 1040 mm paksuiseksi, joten kokonaiskerrospaksuudeksi tulee yhteensä 1600 mm. Kuvassa 8 Infrakit sovelluksesta otettu leikkauskuva tierakenteen kerroksista pengerkevennyksen kohdalla.



Kuva 8. Esimerkki tierakenteesta pengerkevennyksien kohdalla. (Destia Oy, 2022)

4.3 Penkereen alusrakenne

Pohjois-Porissa sijaitsevalla siltatyömaalla käytetään 25- tonnista kaivinkonetta, jonka työkonemaatiolaitteistoa hyödyntämällä rakentamistyö pystytään suorittamaan tarkemmin ja tehokkaammin. Kaivinkoneen riittävän suuri paino helpottaa työn suorittamista, sillä kevennysmateriaalin tiivistäminen tullaan suorittamaan ajamalla teiloilla materiaalikerrosten päältä useita kertoja. Pienemmällä, esim. 14- tonnisella kaivinkoneella tiivistämisessä kuluisi huomattavasti enemmän aikaa koneen pienemmän painon ja kapeampien telojen vuoksi.

Työ aloitetaan poistamalla rakennuspaikalta pintamaat ja leikkaamalla maata kevennysmateriaalikerroksen alapintaan asti. Ennen tulopenkereen rakentamistyön aloittamista maan tiiveyteen rakennuspaikalla pystytään vaikuttamaan rakentamalla kevennyspenkereen kohdalle esikuormituspenger hyödyntämällä muiden kaivuutöiden ylijäämämaita tai käyttämällä mursketta. Esikuormituspenkereen tulisi kohteen suunnitelmien mukaan aiheuttaa vähintään 20kPa:n lisäkuormitus rakennuspaikalle. Penkereen alle jäävän maan päälle levitetään ensin N4-luokan suodatinkangas erottamaan kevennysmateriaali alle jäävästä savimaasta.

Suodatinkankaan ja kevennysmateriaalin väliin asennetaan lisäksi lujiteverkko, jonka vetolujuus on kohteen suunnittelijan vaatimusten mukaisesti vähintään 64 kN/m. Lujiteverkon tarkoituksena on nimensä mukaisesti lujittaa ja homogenisoida penkereen käyttäytymistä pitämällä kevennysmateriaalista rakennettu pengeri paremmin muodossa. (Jääskeläinen, R. 2009 s.210).

4.4 Kevennysmateriaalin asentaminen ja tiivistysmenetelmät

Kevennysmateriaalille rakennetaan maasta kaukalomainen asennusalusta, ja alle jäävä suodatinkangas ja lujiteverkko ulotetaan myös kevennysmateriaalin sivuille, jolloin pengertä tuetaan joka suunnasta, eikä kevennysmateriaali sekoitu ympäröivään saviin. Kun asennusalusta on valmis, kevennysmateriaalit toimitetaan työmaalle ja kaadetaan lujiteverkon päälle asennuskaukaloon.

Materiaali, joka on tässä tapauksessa joko vaahtolasimurske tai kevytsora, asennetaan enintään 600 mm kerroksina ja jokainen kerros esitiivistetään ajamalla kerroksen päällä kaivinkoneella tai kevyellä tärylevyllä niin kauan, että materiaalin pinnalle ei jää selvästi erottuvia jälkiä tiivistyslaitteesta. Porin pohjoispuolelle rakennettavilla alikulkusilloilla tiivistysvälineenä toimii kuvassa 9 esitetty 25 tonnia painava tela-alustainen kaivinkone ja 400 kg painoinen kevyt tärylevy. Tiivistystyössä kaivinkoneella sopiva telan pintapaine on noin 25-45 kN/m². 25-tonnisen kaivinkoneen telapaine on noin 40 kN/m².



Kuva 9. Volvo EC220DL kaivinkone. (Kuva: Kaivuu ja konetyö Heikkilä Oy)

Kun kevennysmateriaalikerrokset on asennettu ja esitiivistetty, materiaalin päälle asennetaan N3-luokan suodatinkangas erottamaan kevennysmateriaali jakavan kerroksen 0-90 mm murskeesta, sekä lujiteverkko tukemaan kevennysrakennetta. Kevennyksen päälle tulee 300 mm paksu jakava kerros, mutta aluksi murskekerroksesta tulee tehdä vain 200 mm paksu, sillä kevennyspenkereen lopullinen tiivistys tulee suorittaa kyseisen paksuisen murskekerroksen päältä. Lopullisessa tiivistyksessä käytetään muissakin tierakenteissa käytettävällä vähintään 13 tonnisella täryvalssijyrällä. Lopullisen tiivistämisen jälkeen päälle rakennetaan jakava ja kantava kerros suunnitelmien mukaisesti tiivistäen kerrokset täryvalssijyrällä.

4.5 Tiiveyden mittausmenetelmä ja -väline

Vaikka pääasiassa kevennysmateriaalien tiiveyden seuranta tapahtuu seuraamalla tiivistyskoneen materiaaliin jättämiä jälkiä, voidaan tiiveyttä tarkkailla myös muilla menetelmillä. Aistivaraisen mittauksen lisäksi tiiveyden tarkkailuun voidaan käyttää myös Loadman 2- painopudotuslaitetta. Vertailukohtana Loadmanin antamaan tulokseen voidaan käyttää tien rakennekerroksissa hyväksyttäviä kantavuuslukemia ja verrata niitä kevennysmateriaalikerroksista saatuihin lukemiin.

4.6 Materiaalien vertailu

Porin pohjoispuolelle rakennettavien alikulkusiltojen kevennyspenkereen materiaaliksi on rakennussuunnitelmissa esitetty vaahtolasimurskettä. Destialla on kokemusta kevennyspenkereiden rakentamisesta käyttämällä kevytsoraa, joten tässä opinnäytetyössä pyritään selvittämään, onko kevytsoran käyttö Porin alikulkusiltaprojektilla kannattava ja mahdollinen ratkaisu.

Materiaalien keskinäisessä vertailussa merkitsevin ominaisuus on kevennysmateriaalin tilavuuspaino, sillä pengerkevennyksen pääasiallisena tarkoituksena on korvata raskaampi ja vähemmän kantava materiaali pienemmän tilavuuspainon omaavalla kevennysmateriaalilla. Mikäli materiaalin tilavuuspaino on vertailtavaan materiaaliin nähden sama, säilyvät rakenteen kevennysominaisuudet samana, kunhan materiaalien tukeminen onnistutaan tekemään toisiaan vastaavalla tavalla.

Kevytsoran tilavuuspaino irtokuivana on $3,0 \text{ kN/m}^3$ ja kuivana $4,0 \text{ kN/m}^3$, kun taas vaahtolasimurskeen tilavuuspaino kuivana nostemitoituksella on $3,5 \text{ kN/m}^3$. Käytännössä materiaalien tilavuuspainot ovat lähes toisiaan vastaavat. Mikäli vaihtoehtoisen materiaalin tilavuuspaino osoittautuisi selkeästi suuremmaksi kuin alkuperäisessä materiaalissa, voitaisiin erotusta kompensoida kasvattamalla kevennyspenkereen paksuutta, jolloin suurempi määrä painavampaa massaa, kuten esimerkiksi Porin alikulkusilloilla esiintyvää savea, saataisiin korvattua kevyemmän tilavuuspainon materiaalilla. Myös kantavuusmitoituksen eli E- moduulin osalta materiaalien ominaisuudet ovat hyvin lähellä toisiaan vaahtolasimurskeen E-moduulin ollessa 55-70 MPa, kun taas kevytsoran E-moduuli vaihtelee välillä 45-70 MPa, hyvin tiivistettynä jopa lähes 100 MPa. E- moduuli vaikuttaa tien kuormitusmitoitukseen Odemarkin kaavalla laskettaessa. (Hartikainen, O. maanrakennustekniikka s.118) (Tiehallinto, 2004, s.9).

Muista materiaaleista esimerkiksi rengasleikkeiden tilavuuspainot ovat selvästi suurempia lukuun ottamatta taulukoissa 3 ja 4 esiteltyä, täysin leikkaamatonta RL0 luokkaa. Leikkaamattomat renkaat eivät taas sovellu siltojen tulopenkereiden rakentamiseen huonon tiivistyvyytensä vuoksi, mutta niitä pystytään hyödyntämään rakenteissa, joissa tarvitaan tavanomaista maa-ainesta pienempää tilavuuspainoa, mutta rakenteen päälle ei kohdistu merkittävää kuormitusta.

Solumuovista valmistetut, eli EPS- ja XPS- materiaalit ovat tilavuuspainoltaan 0,1-0,6 kN/m³, joten tilavuuspainon osalta ne soveltuisivat käytettäväksi Porin sillanrakennuskohteeseen, jopa kevytsoraa ja vaahtolasimursketta ohuemmillä kerrospaksuuksilla. Solumuovirakenteissa haasteita saattaisi aiheuttaa selkeästi muista materiaaleista poikkeava asennustapa, sekä mahdollisesti korkeiksi kohoavat rakentamiskustannukset.

Suurin ero vaahtolasimurskeen ja kevytsoran välillä on materiaalien kitkakulmat. Vaahtolasia pystyy pengertämään selvästi jyrkemmin kitkakulman ollessa 36-45 astetta, kun taas kevytsoran kitkakulma on vain 33-38 astetta. Kitkakulma on huomiotava materiaalien sivuttaissuuntaisessa tukemisessa työmaalla, mutta tämä ominaisuus ei tulisi vaikuttamaan juurikaan työskentelyyn Poriin rakennettavilla silloilla, sillä materiaalia sivuilta tukeva kaukalo pystytään rakentamaan selvästi kevennyskerroksen yläpinnan tasalle tai yläpuolelle. Tämä johtuu siitä, että kevennystä ei tarvitse pengertää jyrkästi ylöspäin maanpinnan korkeudesta, vaan kevennys jää pääasiassa ”maan sisään”, joten materiaali ei pääse valumaan sivuille pois sen suunnitellusta sijainnista. Penkereen rakentamisen jälkeen ojaluisat saadaan kaivettua suunniteltuun muotoon ja korkoon häiritsemättä kevennystä tukevaa maata.

Kevennysmateriaalin lisäksi toisena mahdollisena poikkeavuutena suunnitelmiin voitaisiin esittää lujiteverkko ja N4-suodatinkangasyhdistelmän korvaamista lujitekankaalla. Lujiteverkon vetolujuuden tulee kyseisessä työkohteessa olla suunnitelmien mukainen 64 kN/m. Vastaavaan vetolujuuteen voitaisiin päästä myös esimerkiksi Televelv 70/70 lujitekankaalla.

4.7 Määrälaskenta

Kuvasta 8 kevennysmateriaalikerros näkyy kiilan paksuimmassa kohdassa. Jokainen työmaalle rakennettavista neljästä kevennyksestä on samansuuruinen. Kevennyskiila on kuvattu liitteessä (LIITE 1) olevassa pituusleikkauspiirustuksessa. Kiilan paksuin kohta sijaitsee lähimpänä siltaa ja se on vahvuudeltaan 1040 mm. Pituudeltaan kiila on noin 30 metriä kaltevuuden ollessa 1:30. Kevennyskiila on keskimäärin 12 m leveä.

Kevennysmateriaalien rakenneteoreettinen määrä saadaan laskemalla kevennyskiilojen tilavuus. Rakenneteoreettisesta määrästä saadaan taulukoista 5 ja 6 saatavia k2 ja y2 kertoimia käyttämällä laskettua kuljetustodellinen määrä, joka kertoo työmaalle todellisuudessa tarvittavan, tiivistämättömän materiaalin määrän. Kertoimien valintaperusteena käytetään penkereen rakentamista soramateriaalista.

Rakenne	Maalaji (GEO)	k2 - kerroin
Penger	SI	0,65
	HHk	0,70
	Hk	0,75
	KHk	0,70
	Sr	0,70
	HkMr	0,70
Suodatinkerros	Hk	0,75
Jakava kerros	Sr	0,70
	MSr	0,75
Kantava kerros	Sr	0,70
	MSr	0,75
	M	0,75

Taulukko 5. Eri materiaalien k2 kertoimet. (Hartikainen, 2000)

Rakenne	y2-kerroin
Penger	1,00
Suodatin- ja jakava kerros	0,90
Kantava kerros	0,90

Taulukko 6. Eri materiaalien y2 kertoimet. (Hartikainen, 2000)

Kiilan keskimääräinen leveys (m)	12
Kiilan pituus (m)	30
Kiilan paksuus tulopenkereen puoleisessa päässä (m)	1,04
Kevennyskiilan tilavuus (m ³)	374,4
Kevennysmateriaalin tarve neljälle penkereelle (m ³ rtr)	1497,6
Kevennysmateriaalin määrä kuljetustodellisena (m ³ ktd)	2139
k2-kerroin	0,70
y2-kerroin	1

Taulukko 7. Kevennysmateriaalien määrät.

Kevennyspenkereen rakentamiseen tarvitaan siis noin 2139 m³ktd kevennysmateriaalia.

5 KEVYTSORARAKENTEET VT 12:N PARANTAMISHANKKEESSA

Varsinais-Suomen ELY-keskus toteutti vuosien 2018-2020 aikana Valtatie 12:n parantamishankkeen, jonka pääurakoitsijana toimi Destia Oy. Hankkeeseen kuului mm. valtatielevittämistä tien molemmilta puolilta, sekä kantavuuden parantamista. Köyliönjärven päässä sijaitsevalle Mustanmyllynojan sillalle rakennettiin noin 0,7 kilometrin matkalle pohjavedensuojausta bentoniittimatolla, sekä kevennyspenkereitä kevytsoraa käyttäen. Pohjavedensuojauksella sillan ympäristössä pyritään suojaamaan alueen vesistöä öljypäästöiltä ja muilta mahdollisilta ympäristövahingoilta. (Väylävirasto, 2019)

5.1 Kevytsorapenkereiden rakentaminen

Tierakenteen kevytsorapenkereet rakennettiin Porin alikulkusiltatyömaan tapaan siltojen tulopenkereisiin, sillä silta sijaitsee ojan suistoalueella, joka on lähes suomaista, erittäin heikosti kantavaa maaperää. Mustamylynnojan silta poikkeaa Poriin rakennettavista alikulkusilloista rakenteeltaan, sillä se on kevytrakenteinen putkisilta, kun taas Pohjois-Poriin rakennettavat sillat ovat betonisia ulokelaattasiltoja. Siltojen rakenteiden poikkeavuudesta huolimatta kevennyspenkereet rakennetaan samalla menetelmällä. Kuvassa 10 jakavan kerroksen rakentamista tiivistetyn kevytsorapenkereen päälle. Kuvassa 11 näkyy valmis tierakenne kevytsorapenkereen kohdalla.



Kuva 10. Sillan tulopenger. (Destia Oy, 2020)



Kuva 11. Valmis tierakenne. (Destia Oy, 2020)

Sillan tulopenkereen lisäksi Mustanmyllynojan suistoon rakennettiin kevytsoraa käyttämällä vastapenger tieluiskan ja Köyliönjärven väliin, sekä saastuneiden vesien viivytysallas. Kuvassa 12 näkyy kevytsorasta rakennettu vastapenger rakennusvaiheessa suodatinkankaaseen pussitettuna ja kuvassa 13 on valmis vastapenger



Kuva 12. Vastapenger rakennusvaiheessa. (Destia Oy, 2020)



Kuva 13. Valmis vastapenger. (Destia Oy, 2020)

Kuvassa 14 näkyvän saastuneiden vesien viivytysaltaan reunapenkereet on rakennettu kevytsorasta, jotta rakenteet välttyisivät pehmeän maaperän aiheuttamilta

muodonmuutoksilta. Altaaseen johtavat hulevesiviemärit on varustettu takaiskuventtiileillä, jotka mahdollistavat saastuneiden vesien johtamisen altaaseen, mutta estävät niiden pääsyn pois altaasta. Altaaseen johdettu saastunut vesi on eristetty muusta alueen vesistöstä bentoniittimattorakenteella.



Kuva 14. Valmis viivytyssallas. (Destia Oy, 2020)

5.2 Jälkitarkkailumittaukset Mustanmyllynojan sillalla.

Keväällä 2022 Mustanmyllynojan sillalla suoritettiin jälkitarkkailumittauksia mahdollisten painumien varalta. Painumien tutkiminen suoritettiin ensin silmämääräisesti havainnoimalla ja sen jälkeen vertaamalla kohteen nykyisiä korkeusasemia rakentamisen jälkeiseen tilanteeseen.

Silmämääräisesti putkisillan tulopenkereisiin ei ollut kahden vuoden aikana muodostunut selvästi erottuvia painumia. Myös viivytyssallas, sekä valtatie ja Köyliönjärven välinen vastapenger olivat säilyttäneet hyvin alkuperäisen muotonsa pehmeästä rakennusllestusta huolimatta. Kuvissa 15 ja 16 tarkkailtavia rakenteita kaksi vuotta rakentamisen jälkeen.

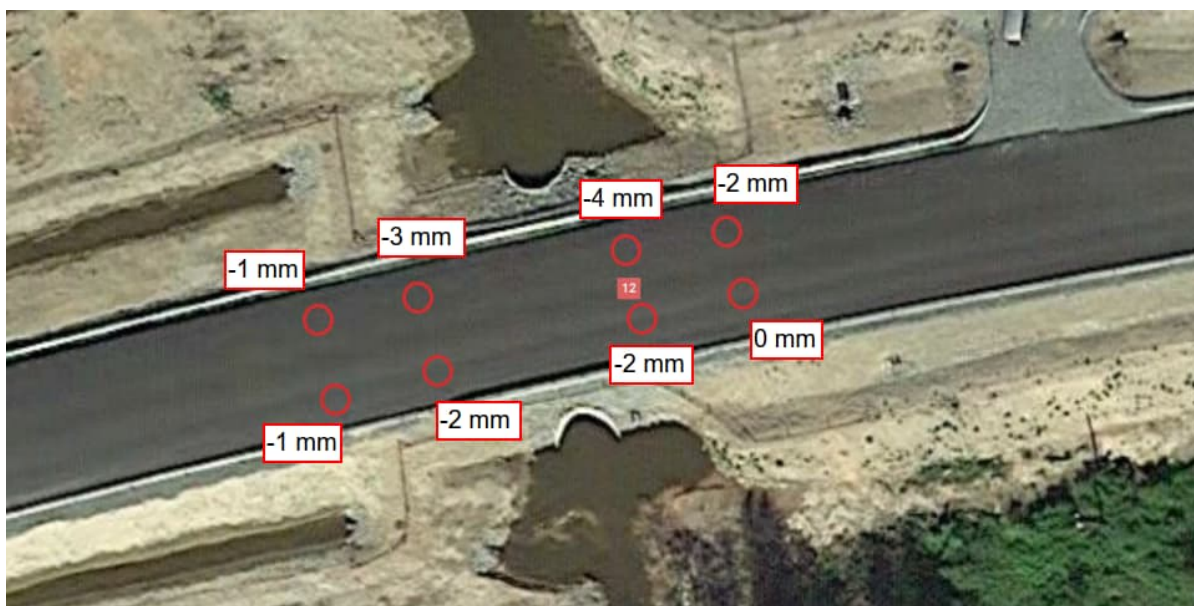


Kuva 15. Sillan tulopenger.



Kuva 16. Kevytsorasta rakennettu penger.

Sillan tulopenkereistä otettiin myös korkomittauksia takymetrilla. Niissä verrattiin päällysteen nykyistä korkoa työnaikaisissa mittauksissa saatuihin korkeusasemiin. Kuvaan 17 on merkitty korkeusasemien tämänhetkisten arvojen erotus työnaikaisten tarkokuvien arvoihin. Koska mittauksissa saadut poikkeamat ovat suuruusluokaltaan vain muutamia millimetrejä, voidaan todeta, ettei pengerrakenteeseen ole syntynyt merkittäviä painumia kuluneiden kahden vuoden aikana.



Kuva 17. Mittauspisteet ja korkeuspoikkeamat Vt. 12:n Mustanmyllynojan sillalta.



Kuva 18. Mittauksia Vt. 12:n Mustanmyllynojan sillalla.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön alkuosassa esiteltiin erilaisia siltojen siirtymärakenteiden vaihtoehtoja keskittyen erityisesti pengerkevennykseen siirtymärakennerratkaisuna. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tietoa erilaisista kevennysmateriaaleista, niiden ominaisuuksista, sekä käyttömenetelmistä. Tämän lisäksi opinnäytetyö toimii opastavana dokumenttina tulevilla sillanrakennustyömailla, joihin tehdään kevennyspengerrakenteita. Opinnäytetyöhön kerättiin hyödyllistä tietoa eri materiaalien ominaisuuksista ja työmenetelmistä.

Materiaalivertailussa saatiin kartoitettua materiaalivaihtoehtojen ominaisuuksien eroja Porissa sijaitsevan sillanrakennustyömaan materiaalivalintaa ajatellen. Materiaaliominaisuuksien vertailun perusteella silloille suunnitellun vaahtolasimurskeen lisäksi

ominaisuuksiltaan soveltuvaksi materiaaliksi osoittautui aikaisemmissa kohteissa Destia Oy:n hyödyntämä kevytsora.

Kaksi vuotta aikaisemmin rakennetun, VT 12:lla sijaitsevan kohteen jälkitarkkailussa havaittiin, että kohteeseen pehmeälle savimaalle rakennetut kevytsorarakenteet olivat säilyttäneet muotonsa hyvin, ja Mustanmyllynojan ylittävän putkisillan kevytsoraa hyödyntämällä rakennetut tulopenkereet eivät olleet painuneet merkittävästi, eli kevytsorarakenne on toiminut suunnitellulla tavalla.

Tähän opinnäytetyöhön liittyen Porin alikulkusiltaprojektilla suoritetaan lisäksi materiaalien kustannusvertailu ja töiden suorittamisen jälkeen suoritetaan kevennysrakenteen kustannusten jälkilaskenta, jota pystytään hyödyntämään tulevien kohteiden kustannusten arvioinnissa.

LÄHTEET

Ahokas, J. Oksanen, T. (2015). Maamekaniikka (Toinen painos). Helsingin yliopisto, maatalous- metsätieteellinen tiedekunta.

Apila Group Oy Ab, Suomen rengaskierrätys Oy & Kuusankoski Oy. (2014). Rengasrouheen käyttö maanrakennuskohteessa. Haettu 4.5.2022 osoitteesta https://www.rengaskierratys.com/files/74/Rengasrouhe_maaarakentamisessa_6.2015.pdf

Kilpeläinen, T. (2009). EPS- eristeet betoniteollisuudessa. Betoni .com. Haettu 14.5. kohteesta <https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0903-s63-67.pdf>

EPS rakennuseristeteollisuus. (2010). EPS- lämmöneristeiden tekniset ominaisuudet. Haettu 10.5.2022 osoitteesta https://www.eps-eriste.fi/images/stories/pdf/tekniset_ominaisuudet2.pdf

Finnfoam. (N.D.) Lujuusominaisuudet. Haettu 10.5.2022 osoitteesta <https://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/ominaisuudet/lujuus>

Foamit. (2012). Asennusohje infrarakentamiseen. Haettu 4.5.2022 osoitteesta https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/201252_foamit_asennusohje_infra-rakentamiseen.pdf

Forsman, J., Sikiö, J., Ronkainen, M. & Hakari, M. (2012). Foamit vaahtolasi. Suunnittelu ja rakennusohje. Haettu 12.5.2022 osoitteesta http://www.foamit.fi/wp-content/uploads/2016/10/Suunnittelu-ja_Rakennusohje.pdf

Gustafsson, H. (24.8.2017). Muurlan EPS-blokkien ominaisuudet. Haettu 14.5.2022 Osoitteesta <https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/06/gustavsson.pdf>

Hartikainen, O. (2000). Maanrakennustekniikka. Otatieto.

Helsingin kaupunki. (8.3.2021). Taitorakenteet. Haettu 6.6.2022 osoitteesta https://www.hel.fi/static/hkr/ohjeita_suunnittelijoille/taitorakenteiden_suunnitteluohje_20210308.pdf

Jääskeläinen, R. (2009). Pohjarakennuksen perusteet. Tammertekniikka.

Kilpeläinen, T. (2009). EPS- eristeet betoniteollisuudessa. Haettu 25.5.2022 Osoitteesta <https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0903-s63-67.pdf>

Leca. (2019). Leca- kevytsora infrarakentamisessa. Haettu 4.5.2022 osoitteesta <https://leca.emmi.fi/l/FFLKnMX9SwBG>

Liikennevirasto. (2011). Kevennysrakenteiden suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Haettu 28.4.2022 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-05_kevennysrakenteiden_suunnittelu_web.pdf

Liikennevirasto. (2014). Tien perustamistavan valinta. Haettu 3.5.2022 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lop_2014-02_tien_perustamistavan_web.pdf

Liikennevirasto. (2018). Penkereen stabiliteetin laskentaohje. Haettu 3.5.2022 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-14_penkereiden_stabiliteetin_web.pdf

Rakennustieto. (2021). Infraryl. <https://www.rakennustieto.fi/>

Repo, A. (1997). Renkaiden hyödyntäminen tierakenteessa. Haettu 15.4.2022 osoitteesta <https://core.ac.uk/download/pdf/83993387.pdf>

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y. (1995). RIL 156 Maanrakennus.

Tie- ja vesirakennushallitus. (1970). Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita.

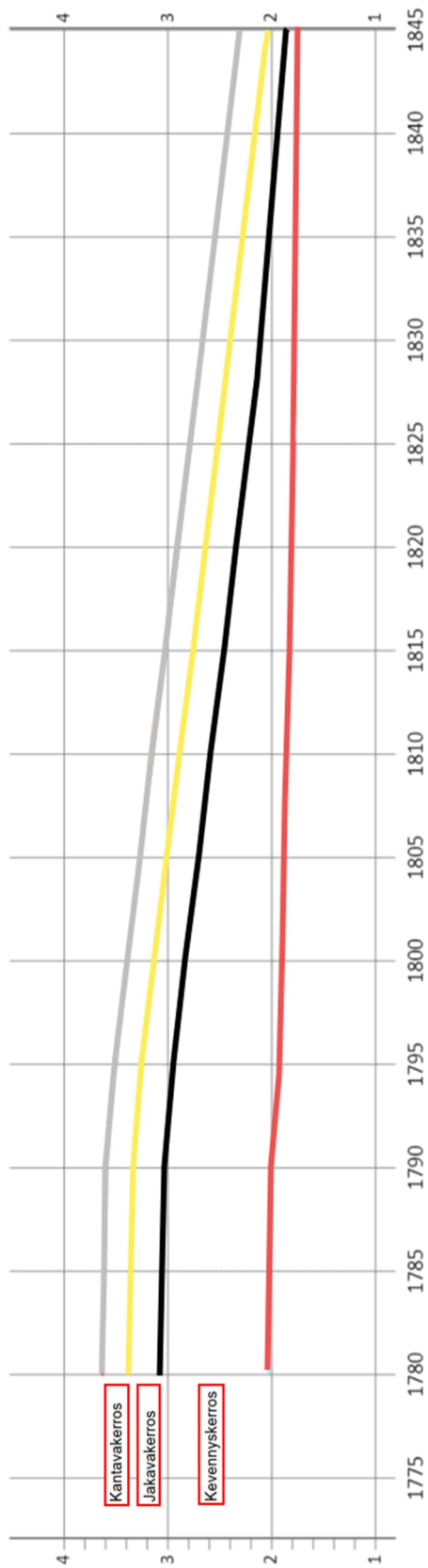
Tiehallinto, tekniset palvelut. (2004). Tietoa tiensuunnitteluun nro. 73. Haettu 5.6.2022 osoitteesta <https://julkaisut.vayla.fi/thohje/ttiens/tts73.pdf>

Tielaitos. (1994). Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä. Haettu 3.5.2022 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/tiepenkereen_siirtymarakenteet.pdf

Tielaitos. (1993). Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. Haettu 3.5.2022 osoitteesta <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138486/3684tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Väylävirasto. (10.4.2019). Vt. 12 Eura-Raijala-välin parantamisessa edessä työntäyteinen kesäkausi. Haettu 25.5.2022 osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/-/vt-12-aura-raijala-valin-parantamisessa-edessa-tyontayteinen-kesakausi-varsinais-suomi-satakunta->

Pituusleikkauskuva kevennysrakenteen kohdalta.



Kerrokset ylhäältä alaspäin:

Kantavakerros, murske 0-32 mm

Jakavakerros, murske 0-90 mm

Suodatinkangas N3

Kevennysmateriaali