



Betonimurskeen hyödyntäminen soratien rakenteen parantamisessa

Nuutti Sahlberg

OPINNÄYTETYÖ
TOUKOKUU 2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

SAHLBERG NUUTTI:

Betonimurskeen hyödyntäminen soratien rakenteen parantamisessa

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2021

Suomessa syntyy rakennus- ja purkutyömailla sekä betoniteollisuudessa vuosittain 1,5 miljoonaa tonnia betonijätettä, jolla on suuri potentiaali uusiokäytössä. Betonia kierrättämällä voidaan vaikuttaa rakentamisen elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin. Hyödyntämällä hyvälaatuista betonijätettä maarakentamisessa voidaan vähentää betonijätteen sijoittamista kaatopaikoille ja alempiarvoisiin maatäyttöihin sekä vähentää luonnonvaraisten kiviainesvarantojen käyttöä.

Jätteiden käsittelyä ohjaavat jätelaki 646/2011 sekä ympäristönsuojelulaki 527/2014. Suomen valtioneuvosto on antanut näiden lakien perusteella asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017. Asetus mahdollistaa eräiden jätteiden hyödyntämisen maarakentamisessa ilman ympäristönsuojelulain edellyttämää ympäristölupaa.

Suomessa suurin osa julkisista sorateista on rakentamattomia sorateita. Rakentamattomien sorateiden kunnossapito vaatii paljon hoitotoimenpiteitä, jotta tiet voidaan pitää liikennöitävässä kunnossa ympäri vuoden. Sorateilla liikennöintiä haittaa erityisesti kevätaikaan kelirikko.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia betonijätteestä valmistetun betonimurskeen soveltuvuutta soratien rakenteen parantamiseen. Opinnäytetyön yhteydessä toteutettiin koerakenne, jossa tutkittiin kahta eri laatuista betonimurskettä ja vertailurakenteena kalliomurskerakennetta.

Opinnäytetyön tilaaja oli YIT Suomi Oy. Koerakenne toteutettiin osana Lahden maanteiden hoidonjohtourakkaa, joka vastaa urakka-alueen maanteiden kunnossapidosta. Hoidonjohtourakan tilaajana toimii vuosina 2017–2022 Kaakkois-Suomen ELY-keskus (elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus). Salassa pidettävä aineisto on poistettu julkisesta raportista.

Tutkimukselle asetetut tavoitteet saavutettiin. Tämän tutkimuksen perusteella BeM I- sekä BeM II-laatuluokkiin kuuluvat betonimurskeet soveltuvat soratien rakenteen parantamiseen erinomaisesti. Alempiin laatuluokkiin kuuluvat betonimurskeet soveltuvat soratien rakenteen parantamiseen kohtalaisesti.

Asiasanat: betonimurske, MARA-asetus, koerakentaminen, soratie

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction engineering
Civil Engineering

NUUTTI SAHLBERG:

Utilizing Recycled Concrete Aggregate in Improving Gravel Road Structure

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 6 pages
May 2021

Every year Finnish construction and deconstruction sites and concrete industry produce 1,5 million tons of concrete waste with high potential in recycling use. Recycling concrete can have a major impact on the environmental effects of a construction life cycle.

The Finnish Government has given the Government Decree on Utilizing Certain Waste in Earth Construction 843/2017. The Decree enables utilizing certain waste in earth construction without an environmental permit required by the Environmental Protection Act 527/2014.

In Finland, most public gravel roads are unconstructed gravel roads. Traffic is impaired by the frost breaking period, especially in spring. On a constructed gravel road, the effects of the frost breaking period are smaller, and keeping the road trafficable requires less maintenance resources.

This research aimed at analyzing the suitability of concrete aggregate for improving gravel road structure. The research included constructing an experimental structure, in which concrete aggregate of two quality grades were analyzed. Alongside, a structure made of crushed rock aggregate was constructed as an element of comparison.

This research was commissioned by YIT Suomi Oy. The experimental structure was carried out as part of a regional road maintenance project of Lahti.

The goals assigned for the research were reached. Concrete aggregate was found suitable for utilizing in improving gravel road structure.

Key words: recycled concrete aggregate, experimental structure

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	JÄTTEIDEN HYÖDYNTÄMISEN EDELLYTYKSET JA LAINSÄÄDÄNTÖ	8
2.1	Jätelaki ja ympäristönsuojelulaki	8
2.2	MARA-asetus	8
2.2.1	MARA-ilmoitus	9
2.2.2	Jätteen hyödyntämispaikan edellytykset	9
2.2.3	Pienimuotoinen hyödyntäminen ja ilmoitus kunnan ympäristöviranomaiselle	10
2.2.4	Ympäristölupa	11
3	BETONIMURSKE	12
3.1	Yleistietoa betonimurskeesta	12
3.1.1	Betonimurskeen ominaisuuksia	12
3.1.2	Betonimurskeen tuotanto	12
3.1.3	Betonimurskeen käyttökohteita	13
3.1.4	Kalsiumkloridin vaikutus betoniin	13
4	KOERAKENNE	15
4.1	Sijainti	15
4.1.1	Tien luokitus	16
4.1.2	Ympäristö ja maanpinta	17
4.1.3	Tieosan parannustarpeet	17
4.2	Rakenne	17
4.2.1	Koerakenne 1	20
4.2.2	Koerakenne 2	22
4.2.3	Koerakenne 3	23
4.3	Parannetun tieosan pintakunnon seuranta	24
4.3.1	Maastokäynti 22.12	25
4.3.2	Maastokäynti 15.1	28
4.3.3	Maastokäynti 1.4.2021	30
4.3.4	Maastokäynti 12.4.2021	33
4.3.5	Maastokäynti 4.5.2021	35
4.4	Kantavuusmittaukset	38
4.4.1	Ensimmäinen kantavuusmittaus	38
4.4.2	Toinen mittaus	39
4.4.3	Mittaustulokset	39
4.4.4	Mittaustulosten tulkinta	41

4.5 Teknisen soveltuvuuden arviointi	41
5 POHDINTA	42
LÄHTEET	44

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia betonimurskeen soveltuvuutta soratien rakenteenparantamiseen. Perusteena tutkimuksen tekemiselle on betonimurskeen hyvät materiaaliominaisuudet, joita on tutkittu Suomessa laajasti ja hyödynnetty eri tierakenteissa jo 1990-luvulta lähtien (Väylävirasto 2019). Tätä opinnäytetyötä vastaavia tutkimuksia ei ole tehty ennen vuotta 2020.

Sorateiden merkitys Suomen tieverkolla on edelleen suuri, sillä maanteistä noin 27 000 km, eli noin 35 %, on sorapintaisia. Sorateiden kunnossapitokustannukset ilman talvihoitoa ovat vuosittain vain 11 % koko tieverkon kunnossapitokustannuksista. (Liikennevirasto 2014.) Sorateiden kunnossapitoon suunnataan siis huomattavasti vähemmän varoja tieverkon pituuteen nähden, kuin päällystettyihin teihin. Maa- ja metsätaloudelle ympärivuotisesti liikennöitävässä kunnossa pidettävä tieverkko on elintärkeä. Liikennöitävyyttä heikentää erityisesti kelirikko. Rakennetulla soratiellä kelirikon vaikutukset ovat huomattavasti vähäisemmät, ja liikennöitävyyden varmistaminen vaatii vähemmän hoitotoimenpiteitä. Uusien ja kustannustehokkaiden kelirikon korjausmenetelmien kehittämiseksi on olemassa selkeä tarve.



KUVA 1. Runkokelirikko soratiellä.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmät olivat kirjallisuusselvitys sekä Hollolan kunnan alueelle rakennettu koerakenne. Koerakenteelle tehtiin kantavuusmittauksia sekä aistinvaraista seuranta. Hollolan kunnan alueella sovelletaan Betonimurskeohjetta, jonka kirjoitustyöstä vastasi Ytekki Oy:n Katja Lehtonen.

2 JÄTTEIDEN HYÖDYNTÄMISEN EDELLYTYKSET JA LAINSÄÄDÄNTÖ

2.1 Jätelaki ja ympäristönsuojelulaki

Jätelain tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista (Jätelaki 646/2011). Suomalaista jätelainsäädäntöä ohjaa Euroopan Unionin jätedirektiivi.

Jätelain viidennessä pykälässä säädetään jätteen määritelmä. Jätettä syntyy monella yhteiskunnan alalla, useassa aineiden ja esineiden hyödyntämisen vaiheessa. Lain mukaan jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. Myös rakennusten ja rakenteiden purkamisessa syntyy jätettä. Betonisia rakennuksia tai rakenteita purettaessa syntyy betonijätettä, sillä rakennuksen tai rakenteen haltija on poistanut betonin siitä käytöstä mihin se alun perin oli tarkoitettu.

Ympäristönsuojelulain (527/2014) tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, sekä edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta ja ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia. Koska betonimurske on jätettä, täytyy hyödyntämisprosessin aikana noudattaa ympäristönsuojelulain periaatteita. Hyödyntämisprosessia koskee erityisesti ympäristönsuojelulain maaperän pilaamiskielto ja pohjaveden pilaamiskielto.

2.2 MARA-asetus

MARA-asetuksen tavoitteena on edistää eräiden jätteeksi luokiteltavien materiaalien hyödyntämistä maarakentamisessa. MARA-asetuksen mukaan eräiden jätteiden hyödyntämiseen maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa asetuksen ehtojen täytyessä. Alle 90 millimetrin maksimiraekoon betonimurske, joka alittaa haitta-aineiden pitoisuuksien rajat, kuuluu asetuksen soveltamisalaan. (VNa 843/2017.) Asetusta sovelletaan suunnitelmalliseen maarakentamiseen ja siihen liittyvään jätteen väliaikaiseen

varastointiin. Maarakentamista pidetään suunnitelmallisena, jos se perustuu lakisääteiseen suunnitelmaan, lupaan, ilmoitusmenettelyyn tai kunnan rakennusjärjestykseen. Myös liikenneviranomaisten laatimat teiden ja ratojen perusparannus- ja kunnostushankkeet sekä metsäautoteiden suunnitelmallinen rakentaminen kuuluvat asetuksen soveltamisalaan. (SYKE, 2019.)

MARA-asetuksen neljännessä pykälässä annetaan jätteen hyödyntämistä ja väli-aiasta varastoimista koskevat vaatimukset. Vaatimuksia annetaan jätettä sisältävän rakennekerroksen paksuudesta, haitallisten aineiden pitoisuudesta ja liukoisuudesta, jätekerroksen peittämisestä sekä etäisyydestä pohjaveteen tai vesistöön. Betonimurskeen osalta kerroksen maksimipaksuus väylä- kenttä- ja rakennuksen pohjarakenteissa on 1,5 metriä. Betonimurskeen haitta-ainepitoisuudet eri rakenteissa on eritelty asetuksen liitteessä 2. Betonimurskeen haitta-ainepitoisuudet voidaan tutkia kokoomanäytteistä 10 000 tonnin välein vähintään 20 osanäytteellä.

2.2.1 MARA-ilmoitus

Jätettä voidaan hyödyntää ilman ympäristölupaa, jos jätteen laadunhallinta ja hyödyntäminen järjestetään ammattimaisesti ja toiminnasta ilmoitetaan ympäristönsuojelujärjestelmään merkitsemistä varten ympäristönsuojelulain sekä MARA-asetuksen mukaisesti. Ilmoituksen käsittelyaika on joitakin viikkoja. (Ymparisto.fi, 2020.)

Ilmoitus tehdään sähköisesti Aluehallinnon asiointipalvelussa. Ilmoitukseen täytetään muun muassa seuraavia asioita: hyödyntämispaikan haltijan tiedot, kiinteistönomistajan tiedot, tiedot hyödyntämispaikan sijainnista, tiedot maarakentamiskohteesta ja rakenteista, jätteen luovuttajan yhteystiedot ja jätteen hyödyntämisen arvioitu aloitus- ja päättymisajankohta. Lisäksi ilmoitukseen täytetään hyödyntämispaikan edellytysten täytyminen, joita eritellään tarkemmin luvussa 2.2.2.

2.2.2 Jätteen hyödyntämispaikan edellytykset

Ennen jätteen hyödyntämistä ja MARA-ilmoituksen tekemistä täytyy jätteen hyödyntämispaikan sopivuus hyödyntämiseen selvittää. Jätteen hyödyntämispaikan rajoitukset on esitetty MARA-asetuksen toisessa pykälässä. Suomen Ympäristöministeriö on laatinut MARA-asetuksen soveltamisohjeen yhtenäistämään ja selkeyttämään asetuksen käytännön toimeenpanoa ja tulkintaa.

MARA-asetuksen (VNa 843/2017) mukaan asetusta ei voida soveltaa 1- ja 2-luokan pohjavesialueella, asumiseen tai lasten leikkipaikaksi tarkoitetulla alueella, luonnonsuojelutarkoitukseen osoitetulla alueella, ravintokasvien viljelyyn tarkoitetulla alueella eikä sisämaan tulvavaara-alueella.

Pohjavesialueet, luonnonsuojelualueet ja tulvavaara-alueet voidaan yksiselitteisesti määritellä esimerkiksi karttatarkastelun perusteella. Asuinrakentamiseen tarkoitetulla alueella tarkoitetaan käytännössä asuinrakennusten alapuolista maaperää ja piha-alueita. Lasten leikkipaikaksi tarkoitetulla alueella tarkoitetaan asuinrakennusten yhteydessä olevia leikkialueita, koulujen ja päiväkotien piha-alueita, yleisiä leikkipuistoja sekä muita lasten ajanviettoon tarkoitettuja alueita. Leikkipaikoilla ei tarkoiteta urheilukenttiä ja liikuntapaikkoja. Ravintokasvien viljelyyn tarkoitetulla alueella tarkoitetaan ravinnoksi käytettävien kasvien kasvattamiseen käytettyä aluetta ja sen maaperän pintakerrosta. Rajaus ei koske esimerkiksi peltolohkojen keskellä kulkevaa tietä. (Ympäristöministeriö, 2019.)

2.2.3 Pienimuotoinen hyödyntäminen ja ilmoitus kunnan ympäristöviranomaiselle

Joissakin kunnissa ja kaupungeissa MARA-asetuksen piiriin kuuluvien materiaalien pienimuotoinen hyödyntäminen onnistuu MARA-ilmoituksen sijasta myös ilmoituksella kunnan tai kaupungin ympäristöviranomaiselle. Tässä tapauksessa luvan jätteen hyödyntämiselle antaa kunnan tai kaupungin ympäristöviranomainen. Hyödyntäminen perustuu kunnan ympäristönsuojelumääräyksiin.

Pienimuotoisen hyödyntämisen materiaalimäärän ylärajan määrää kunnan tai kaupungin ympäristöviranomainen. Lahden kaupungin alueella pienimuotoisen hyödyntämisen ylärajana on 500 tonnia ja Hollolan kunnassa tapauskohtaisen harkinnan mukaan 500–1000 tonnia betonimursketta. (Ytekki Oy 2018.)

Tämän opinnäytetyön koerakenne rakennettiin Hollolan kunnan alueelle ja koska hyödynnetty betonimurskemäärä oli pieni, tehtiin hyödyntämisestä ilmoitus Hollolan kunnan ympäristöviranomaiselle.

2.2.4 Ympäristölupa

Betonimurskeen hyödyntäminen on edelleen mahdollista myös ympäristöluvalla kohteissa, jotka eivät kuulu MARA-asetuksen soveltamisalaan, mikäli valvova viranomainen katsoo, ettei hyödyntämisestä aiheudu ympäristön pilaantumisen vaaraa (Ytekki Oy, 2018). Asetusta ei voi soveltaa kohteissa, joissa luvussa 2.2.1 esitellyt hyödyntämisspaikan ehdot eivät täyty, tai jossa aiotaan hyödyntää jätettä, joka ei täytä MARA-asetuksen mukaisia haitta-aineiden pitoisuusraja-arvoja.

Jätteiden hyödyntäminen ympäristöluvalla on monesta näkökulmasta vaativampi prosessi, kuin MARA-asetuksen puitteissa hyödyntäminen. MARA-ilmoituksesta poiketen lupapäätöstä edeltää kuuluttaminen, viranomaisten lausunnot, vaikutusalueen asukkaiden kuuleminen sekä muistutukset. Ympäristölupahakemuksen käsittely aluehallintovirastossa on keskimäärin 10 kuukautta, kun MARA-ilmoituksen käsittelyaika on muutama viikko (Suomi.fi, 2020). Ympäristölupahakemuksia käsittelevät myös kuntien ympäristöviranomaiset. Ympäristölupahakemuksen käsittelyaika voi pidentyä jopa kuukausilla, jos lupahakemus on puutteellinen tai jos luvan myöntämiseksi täytyy tehdä lisäselvityksiä.

3 BETONIMURSKE

3.1 Yleistietoa betonimurskeesta

Suomessa muodostuu rakennus- ja purkutyömailla sekä betoniteollisuudessa vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia betonijätettä. Betonijätteestä valmistettava betonimurske muistuttaa ulkonäöltään ja käsiteltävyydeltään luonnon kiviainesmursketta. Betonimurskeille on käytössä laatuluokitus, jossa ne on jaettu raaka-ainelähteen ja betonimurskeen puhtauden sekä teknisten ominaisuuksiensa perusteella neljään luokkaan, BeM I-IV (SFS 5884). (Väylävirasto 2020.)

Betonia kierrättämällä voidaan vaikuttaa rakentamisen ja rakenteiden elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin. Hyödyntämällä hyvälaatuista betonijätettä maa-rakentamisessa, vähennetään tarvetta sijoittaa rakennusjätettä kaatopaikoille ja alempiarvoisiin maatäyttöihin. Luonnon kiviaineksesta valmistettuja murskeita voidaan korvata betonimurskeella, jolloin kiviainesten ottotoimintaa, louhintaa ja murskausta voidaan vähentää.

3.1.1 Betonimurskeen ominaisuuksia

Betonimurske sisältää reagoimatonta sementtiä ja se on näin ollen osittain sitoutuva materiaali. Lujittuneen betonimurskeen E-moduuli on suurempi kuin vastaavan rakeisuuden luonnonkiviaineksella. Lujittuneen betonimurskeen kaivuvastus on suurempi kuin luonnon kiviaineksen, mutta kaivu on silti toteutettavissa tavallisella kaivinkoneella ja materiaali voidaan tiivistää uudelleen takaisin kaivantoihin. (Väylävirasto 2020.)

3.1.2 Betonimurskeen tuotanto

Betonimurskeen teknisiin ominaisuuksiin sekä ympäristökelpoisuuteen voidaan vaikuttaa lajittelevan purkutekniikan avulla (Väylävirasto 2020). Betonirakenteiden ja -rakennusten purkuvaiheessa on betonimurskeen laadun varmistamisen

kannalta tärkeää erotella mahdollisimman tarkasti muut materiaalit erilleen. Lajittelevalle purkutekniikalla voidaan vähentää tarvetta seuloa valmiista murskeesta siihen kuulumattomia materiaaleja.

Betonirakenteiden käytöstä poistamista ja purkamista suunnitellessa on tärkeää selvittää haitallisten aineiden esiintyminen rakenteissa. Haitalliset aineet voivat olla peräisin vanhojen rakentamisstandardien mukaisista rakennusmateriaaleista ja rakenteen käytönaikaisesta pilaantumisesta. Haitallisia aineita ovat esimerkiksi asbesti, PCB-yhdisteet, öljyt ja muut kemikaalit. Selvitysten perusteella haitallisia aineita sisältävät materiaalit ja rakenteet eritellään hyödyntämiskelpoisesta betonijätteestä. (Ytekki Oy 2018.)

Betonimurske tuotetaan betonijätteestä murskaamalla ja keräämällä raudoitusteräksset murskeesta erilleen. Erilaisten rakeisuuksien tuottamiseksi betonimurske voidaan myös seuloa. Seulonnessa voidaan mahdollisesti myös erotella betonijätteen seassa olevia kiinteitä epäpuhtauksia.

3.1.3 Betonimurskeen käyttökohteita

Laadukasta betonimursketta voidaan infrarakentamisessa käyttää monissa rakennusosissa korvaamassa muutoin niissä käytettävää luonnon kiviainesta (Ytekki Oy 2018). MARA-asetuksen mukaisesti betonimursketta voidaan hyödyntää rakennekerroksissa esimerkiksi tie- ja katurakenteissa, pysäköintialueilla, urheilukentillä, teollisuus- ja varastoalueilla sekä putkikaivannoissa.

Betonimurske ei sovellu käytettäväksi vedenpinnan alaisissa täyttötöissä, koska hienoaines saattaa liettyä ja kulkeutua veden mukana. Tällöin myös rakennetta huuhtovan veden pH saattaa paikallisesti nousta. (Ytekki Oy 2018).

3.1.4 Kalsiumkloridin vaikutus betoniin

Kalsiumkloridia käytetään sorateiden pölynsidontaan kesäaikana. Ilman pölynsidontaa soratien kulutuskerroksesta nousee liikennevirran mukana pölyä. Pölyäminen haittaa liikenteen näkyvyyttä ja liikenneturvallisuutta, maatalouden tuottoa ja heikentää tienvarren asukkaiden asumisviihtyvyyttä (Tiehallinto 2003).

Kalsiumkloridi, kuten monet muut kloridiyhdisteet, aiheuttaa teräsbetonirakenteissa harjateräksien korroosiota. Korroosio aiheuttaa teräksien tilavuuden kasvamista, joka rikkoo teräsbetonirakenteita fyysisesti. Korroosio aiheuttaa myös teräksien heikkenemistä. Betonimurskeessa teräs ei kuitenkaan ole rakenteen kantava osa, joten kalsiumkloridin vaikutus rakenteen kantavuuteen ja betonimurskeen lujuuteen pitäisi olla vähäinen.

4 KOERAKENNE

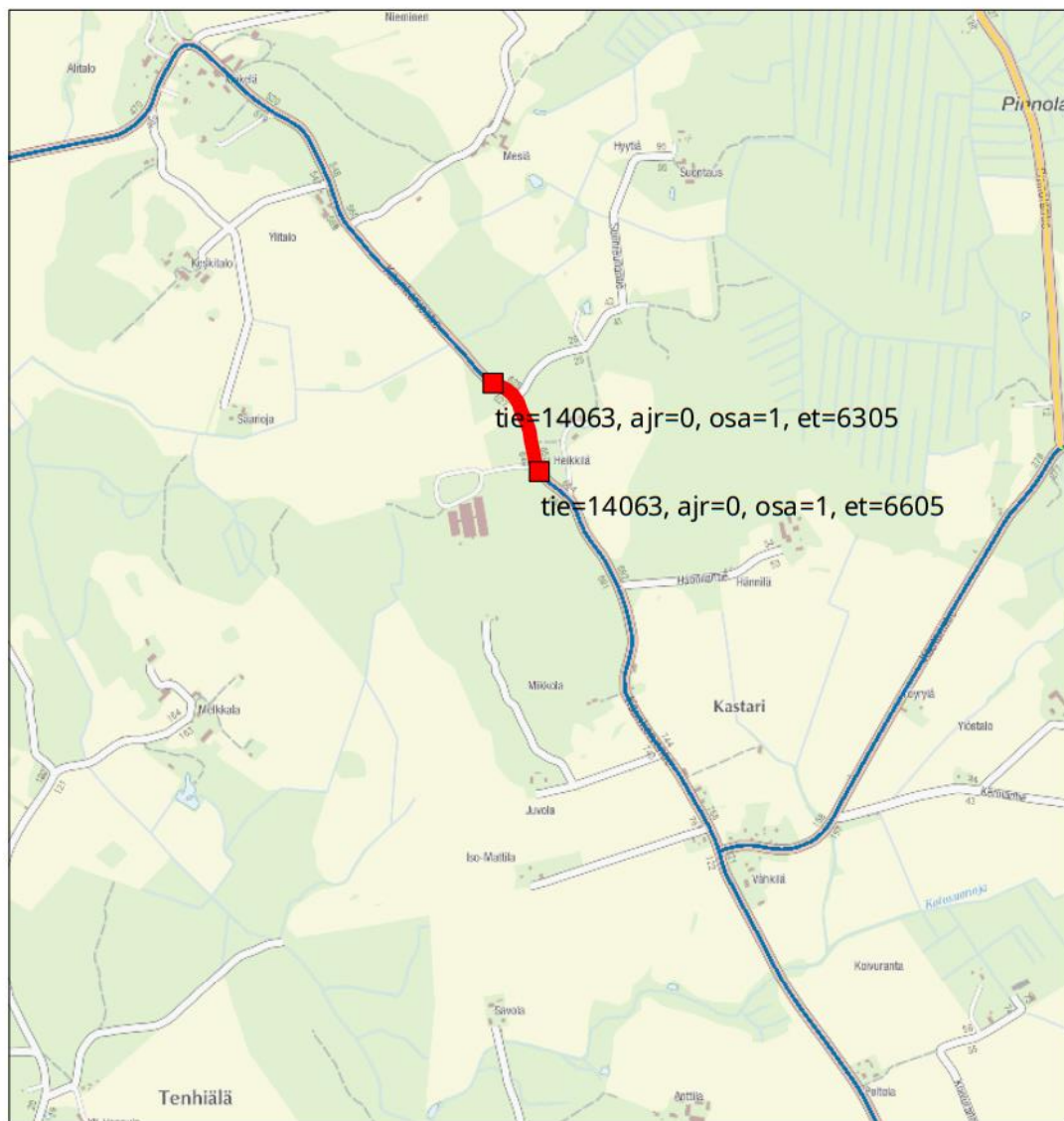
Opinnäytetyötä yhteydessä toteutettiin koerakenne. Rakennustyöt aloitettiin 7.12.2020 ja koerakenne saatiin valmiiksi 11.12.2020. Ennen koerakenteen toteuttamista Kaunkorventiellä tehtiin tierakenteen kuivatuksen parantamiseksi sivuojien kaivu ja vaurioituneiden rumpuputkien kunnostus.

Kohde on Väyläviraston omistama ja ELY-keskuksen hallinnoima maantie. Tie sijaitsee Lahden hoidonjohtourakan alueella, jonka hoitourakoitsijana vuosina 2017–2022 toimii YIT Suomi Oy.

4.1 Sijainti

Tie, jolle koerakenne toteutettiin, sijaitsee Hollolan kunnassa, Päijät-Hämeessä. Tie on nimeltään Maantie 14063 Kaunkorventie, ja koerakenne sijaitsee noin osoitteissa Kaunkorventie 619–639. Tierekisteriosoite, jolla koerakenne sijaitsee, on 14063/1/6305–14063/1/6605 (Väylävirasto, tierekisteri 2021).

Karttaote



© Väylävirasto, MML, Suomen Ympäristökeskus ja Karttakeskus, L4356

d149 Soratieluokka

- I lk Vilkaat soratiet
- II lk Perussoratiet
- III lk Vähäliikenteiset soratiet

KUVA 2. Karttaote (Väylävirasto, Tiemappi 23.1.2021)

4.1.1 Tien luokitus

Mt 14063:n soratieluokka on II, eli perussoratie. Tien keskimääräinen vuorokausiliikenne on 69 ajoneuvoa, joista raskaiden ajoneuvojen osuus 5. (Väylävirasto,

tierekisteri 2021). Tiellä on lähinnä asumiseen ja maatalouden toimintoihin liittyvää liikennettä. Koerakenteen osuudella on tieliittymä sikalalle, jonne on kausittaista raskasta liikennettä.

4.1.2 Ympäristö ja maanpinta

Koerakenne sijaitsee loivalla mäen harjanteella lähellä Valtatie 12:ta. Alueella on paljon maanviljelyä ja maatalouteen liittyviä toimintoja. Koerakenteen tieosuutta reunustaa tiheä metsä, joka estää auringonvalon pääsyn maan pintaan. Keväällä 2021 tieosuuden lumipeite on sulanut huomattavasti hitaammin, kuin ympäröivillä aukeilla tieosuuksilla. Hidas roudan ja lumen sulaminen sekä veden haihtuminen aiheuttaa tierakenteessa korkean vesipitoisuuden ja vaikuttaa siten myös kantavuuteen.

Mäenharjanne on osittain jääkauden aikainen hiekkavaltainen reunamuodostuma. Reunamuodostelman ympärillä maaperä on hiekkamoreenia ja hiesua. Noin 700 metrin päässä tien itäpuolella on myös laajoja turvesoita. (GTK, Maankamara 2021.) Hienorakeinen maalaji antaa viitteitä maaperän herkästä routivuudesta.

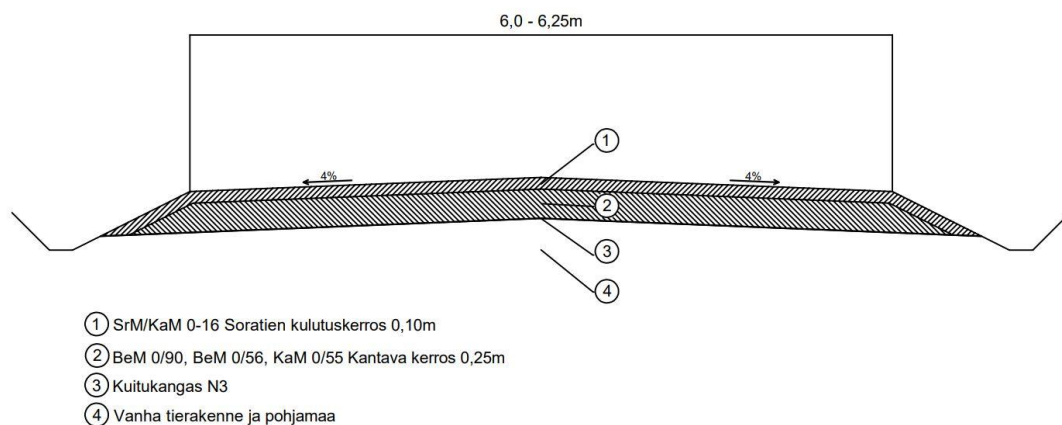
4.1.3 Tieosan parannustarpeet

Kaunkorventiellä on tierekisteritietojen mukaan esiintynyt runkokelirikkoa (Väylävirasto, tierekisteri 2021). Lahden hoidonjohtourakan työnjohtajan mukaan Kaunkorventielle on useasti ajettu myös kelirikkomurskeita huonon pintakunnon vuoksi (Peltola 2020). Kelirikkomurskeet ovat karkeita 0/32–0/55 murskeita, joita levitetään kelirikosta kärsivien tieosien pintaan. Kelirikkomurskeiden lisäämisellä pyritään peittämään heikosti kantava tien pinta ja pitämään tie liikennöintikelpoisena.

4.2 Rakenne

Rakenne toteutettiin Lahden hoidonjohtourakan työkohtaisen tarkennuksen mukaisesti. ”Kerrosaksuudet: kantava kerros 25 cm tiivistettynä (0/45), kulutuskerros 10 cm tiivistettynä (0/16). Kelirikkokorjauskohteissa on valmiin tien leveyden

oltava 6,0–6,25 m” (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2017). Kyseiset kerrospaksuudet ovat rakenneteoreettisia. Vanhan tiepohjan päälle levitettiin suodatinkangas estämään rakennekerrosmateriaalien sekoittumista. Rakennepoikkileikkaus on esitetty kuvassa XXX.



KUVA 3. Koerakenteen poikkileikkaus.



KUVA 4. Rakenteen alle levitettiin N3-suodatinkangas.

Koerakennetta varten rakennettiin kolme 100 metrin mittaista osuutta työkohtaisessa tarkennuksessa annettujen kerrospaksuuksien mukaisesti. Rakenteessa käytettiin kantavassa kerroksessa betonimurskeita raekoossa 0-45 mm ja 0-90 mm. Betonimurskerakenteiden lisäksi toteutettiin vertailurakenne 0-55 mm kalliomurskeesta. Kaikki rakenteet peitettiin MARA-asetuksen mukaisesti 10 cm kerroksella soratien 0-16 mm kulutuskerrosmursketta. Kulutuskerrosmateriaalina käytettiin kalliomurskettä.



KUVA 5. Soratien kulutuskerros tiivistettynä.

Työkohtaisen tarkennuksen mukaisesti suositeltava kantavan kerroksen raekoko on 0-45 mm. Koerakenteeseen valittiin kuitenkin myös 0-90 mm betonimursketuote, sillä sitä on paremmin Päijät-Hämeessä saatavilla, kuin 0-45 mm betonimurskettä. Betonimurske levitettiin tielle kuorma-auton lavalta. Poikkileikkausmuoto muokattiin kaivinkoneen kauhalla ja rakennekerrokset tiivistettiin päältä valssiyrällä. Rakentamisen aikana lämpötila oli pysyvästi pakkasella, joten rakennekerrosten kastelu optimikosteuteen pääsemiseksi ei ollut mahdollista.



KUVA 6. Rakennekerrokset tiivistettiin valssijyrällä. Koerakenne 3:n tiivistystä.

4.2.1 Koerakenne 1

Ensimmäisen koerakenteen kantavassa kerroksessa hyödynnettiin 25 cm kerros betonimurskettä, joka oli raekooltaan 0–45 mm. ”Murske täyttää VNa 843/2017 (ns. MARA-asetus) mukaisen ympäristökelpoisuuden ja on CE-merkitty Rakennustuoteasetuksen 305/2011 ja standardin SFS-EN 13242 mukaisesti.” (Rudus Oy 2021). Hyödynnetty murske oli laatuluokitukseltaan II ja valmistettu purkujätteestä.

Murskeen työstettävyyys ja ulkonäkö oli erittäin hyvä. Materiaalin seassa oli hyvin vähän raudoitusteräksiä ja purkujätettä. Murske muistutti ulkonäöltään hyvin paljon luonnonkiviainesta, merkittävin ero kiviainekseen verrattuna oli suurempi hie-noainespitoisuus ja betonille ominainen tuoksu.



KUVA 7. 0/45 betonimurskeen levitystä.



KUVA 8. 0/45 betonimurskeen ulkonäkö oli hyvä. Hienoainespitoisuus on silmä­ määräisesti suurempi kuin kalliomurskeessa.

4.2.2 Koerakenne 2

Toisen koerakenteen kantavassa kerroksessa hyödynnettiin 25 cm kerros beto­ nimurskettä, joka oli raekooltaan 0–90 mm. Murske täyttää MARA-asetuksen mu­ kaisen ympäristökelpoisuuden, ja se on valmistettu rakennusjätteestä.

Materiaalin työstettävyys ja ulkonäkö oli kohtuullisen hyvä. Murskeen seassa oli jonkin verran raudoitusteräksiä ja yksittäisiä purkujätteen osia. 0/90-murskeen le­ vitys oli hieman hankalampaa kuin hienompirakeisen murskeen. Tämä johtunee kuitenkin vain materiaalin karkeammasta rakeisuudesta, ei niinkään materiaalin muista ominaisuuksista.



KUVA 9. 0/90 betonimurskeen levitystä.



KUVA 10. 0/90 betonimurske.

4.2.3 Koerakenne 3

Kolmannen koerakenteen kantavassa kerroksessa hyödynnettiin 25 cm kerros kalliomurskettä. Kalliomurskettä oli saatavilla varsin läheltä verrattuna betonimurskeisiin. Ajomatkaa murskaamolta kertyi vain noin 7 kilometriä.



KUVA 11. 0/55 kalliomurskeen levitystä. Hienoainespitoisuus on betonimurskeeseen verrattuna pienempi.

4.3 Parannetun tieosan pintakunnon seuranta

Koerakenteen pintakuntoa seurattiin rakentamisen jälkeen maastokäynneillä toukokuulle 2021 asti. Tien pintakunto arvioitiin Sorateiden pintakunnon määrittäminen -julkaisun mukaisesti (Tiehallinto 2008). Talvikaudella käyntejä tehtiin harvemmin, sillä tien pinta oli lumipolanteen peittämä, ja pintakuntoon vaikuttivat oleellisesti vain talvihoitotoimenpiteet. Kolmen koerakenteen lisäksi pintakuntoa seurattiin myös tien osalla, jolle ei tehty muita kunnostustoimenpiteitä, kuin sivuojien kaivu.

Pintakuntoon vaikuttaa selkeimmin rakenteen kulutuskerroksen laatu ja murskeen rakeisuus. Kulutuskerroksen alla olevan kantavan kerroksen laatua voi kuitenkin havainnoida esimerkiksi kulutuskerroksen kuivatuksen toiminnassa ja erityisesti runkokelirikon syntymisessä.

Kuntoarvot on merkitty kuvien yhteyteen seuraavasti:

T: Tasaisuus

K: Kiinteys

P: Pölyävyys

Kuntoarvo 5 vastaa erinomaista kuntoa. Kuntoarvo 1 vastaa erittäin huonoa kuntoa, joka vaikuttaa merkittävästi ajomukavuuteen ja liikenneturvallisuuteen.

4.3.1 Maastokäynti 22.12

Maastokäynnillä säätila oli sateinen ja ilman lämpötila +3°C. Parantamaton tieosa oli kuntoarvojen perusteella paremmassa kunnossa parannettuihin osiin verrattuna. Se oli kuitenkin osin jo jääpolanteinen ja siinä esiintyi vähäistä pintakelirikkoa. Kiinteys oli parantamattomalla tieosalla hieman parempi, koska kulutuskerros on vanhempi ja se on tiivistynyt liikenteen vaikutuksesta. Kalliomurskeesta rakennettu vertailurakenne oli betonimurskerakenteisiin verrattuna yhtäläisessä kunnossa. Parannettujen osuuksien kiinteyden kuntoarvo 1 johtui rakentamisen yhteydessä tehdystä kulutuskerroksen lisäämisestä. Kulutuskerroksen karkeat rakeet olivat erottuneet tien pintaan liikenteen vaikutuksesta. Tasaisuus sai kuntoarvon 5, sillä tarkasteltavilla osuuksilla ei ollut lainkaan ajomukavuutta haittaavia kuoppia tai aaltoepätasaisuutta. Pölyävyys oli vallitsevan kostean säätilan vuoksi vähäistä, joten se sai kaikilla osuuksilla kuntoarvon 5. Rakenne 2:n osuudella oli rakentamisen jälkeen lieviä tasaisuusheittoja johtuen lähinnä kaivinkoneella tehdystä pinnan tasauksesta.



KUVA 12. Rakenne 1. T:5, K:1, P:5.



KUVA 13. Rakenne 2. T:5, K1, P:5.



KUVA 14. Rakenne 3. T:5, K:1, P:5.



KUVA 15. Parantamaton tieosa. T:5, K:3, P:5.

4.3.2 Maastokäynti 15.1

Maastokäynnillä keli oli selkeä ja ilman lämpötila -21°C . Tie oli kauttaaltaan lumipolanteen peittämä. Pintakunnon arviointia ei ollut syytä suorittaa.



KUVA 16. Rakenne 1.



KUVA 17. Rakenne 2.



KUVA 18. Rakenne 3.



KUVA 19. Parantamaton tieosa.

4.3.3 Maastokäynti 1.4.2021

Maastokäynnillä keli oli selkeä ja lämpötila +7°C. Tie oli paikoin vielä jäinen ja lumipolanteen peittämä. Pintakunnon arviointia ei ollut syytä suorittaa. Parannettujen tieosuuksien poikkileikkausmuoto oli säilynyt talvikauden yli hyvänä, eikä merkittäviä routaepätasaisuuksia ollut havaittavissa.



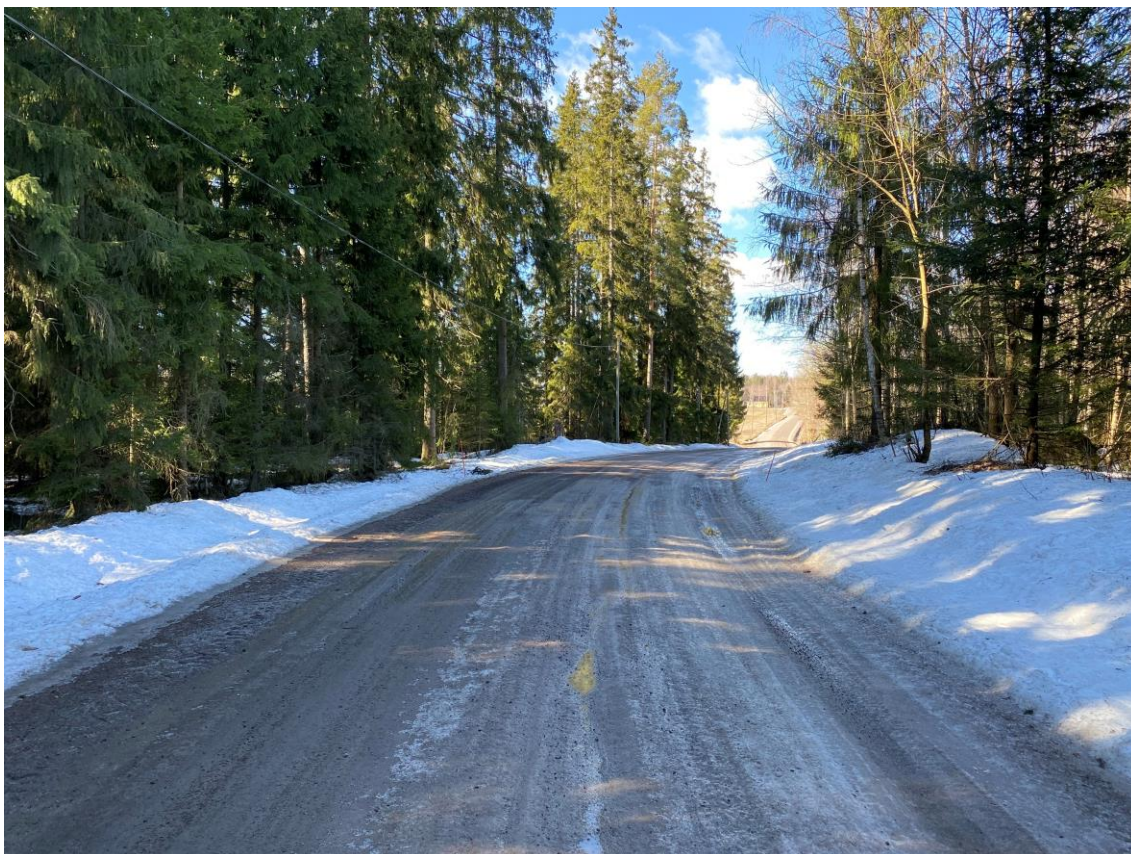
KUVA 20. Rakenne 1.



KUVA 21. Rakenne 2.



KUVA 22. Rakenne 3.



KUVA 23. Parantamaton tieosa.

4.3.4 Maastokäynti 12.4.2021

Maastokäynnillä säätila oli poutainen ja lämpötila +12°C. Ajouradan lumi ja jää oli jo täysin sulanut kaikilta tieosilta, joten käynnillä tehtiin myös pintakunnon arviointi. Parannettujen tieosien kiinteys oli parantunut joulukuun tarkastelusta. Tämä johtuu kulutuskerroksen karkean irtoaineksen siirtymisestä tien reunoille ja luiskiin, sekä irtoaineksen sekoittumisesta kulutuskerrokseen. Myös parantamattoman tieosan kiinteys oli parantunut pintakerroksen kuivumisen myötä.

Roudan sulamisen arvioitiin olevan vielä vähäistä, sillä koerakenne sijaitsee tien varjoisalla osuudella metsän keskellä. Myös tien luiskissa oli vielä sulamatonta lunta. Roudan sulamisen vaikutuksia, kuten painumia ja tien reunan halkeilua, oli havaittavissa Kaunkorventien aurinkoisilla ja aukeilla osuuksilla.



KUVA 24. Rakenne 1. T:5, K:2, P:5.



KUVA 25. Rakenne 2. T:5, K3, P:5.



KUVA 26. Rakenne 3. T:5, K:3, P:5.



KUVA 27. Parantamaton tieosa. T:5, K:4, P:5.

4.3.5 Maastokäynti 4.5.2021

Maastokäynnillä säätila oli selkeä ja lämpötila noin 9 astetta. Parannetuilla tieosilla ajoradan kiinteys oli parantunut huhtikuun tarkastelukerrasta.



KUVA 28. Rakenne 1. T:5, K:3, P:5.



KUVA 29. Rakenne 2. T:5, K3, P:5.



KUVA 30. Rakenne 3. T:5, K3, P5.



KUVA 31. Parantamaton tieosa. T:5, K:4, P:5

4.4 Kantavuusmittaukset

Koeranteelle tehtiin kantavuuden muuttumisen tutkimiseksi kantavuusmittauksia. Mittaukset tehtiin levykuormituskoe-menetelmällä ja mittaustyön suoritti mittauskonsultti. Mittaukset tehtiin lähtötilanteessa ennen rakenteen parantamistöitä sekä parantamistöiden jälkeen kahdeksassa pisteessä; kaksi kunkin rakenteen alueelta sekä kaksi parantamattomalta tieosalta.

Mittauspisteiden välimatka oli 50 metriä. Mittauspisteiden välimatka voi poiketa yleisissä laatuvaatimuksissa esitetyistä mittauspisteiden välimatkasta. Tavoitteena ei ollut suorittaa täysin standardien mukaista mittausta, vaan tehdä opinäytetyön budjettiin sopiva suuntaa antava mittaus.

4.4.1 Ensimmäinen kantavuusmittaus

Ensimmäinen levykuormituskoe suoritettiin 19.10.2020. Säätila mittauspäivänä oli poutainen ja lämpötila hieman nollan yläpuolella. Tien pinta oli märkä mittausta edeltävänä yönä sataneen lumen ja veden vuoksi. Levykuormituskokeessa käytettävän hydraulisen tunkin vastapainona toimi murskeella lastattu kuorma-auto. Heikoin kantavuus lähtötilanteessa oli parantamattoman tieosan kohdalla, mäenharjanteen alapäässä lähellä peltoaukeaa. Parannettavalla tieosalla mäenharjanteen päällä kantavuus lähtötilanteessa oli useassa pisteessä soratielle erittäin hyvä.



KUVA 32. Levykuormituskoee.

4.4.2 Toinen mittaus

Toinen levykuormituskoee suoritettiin 4.5.2021. Säätila mittauspäivänä oli selkeä ja lämpötila noin 9 astetta. Tien pinta ajourissa oli kostea ja kiinteä. Mittaus pyrittiin suorittamaan ajankohtana, jolloin tien runkokelirikko olisi vaikeimmassa vaiheessa.

4.4.3 Mittaustulokset

P1	Voima	E1	E2	E1/E2	Pvm.
	50kN	19	33,6	1,77	19.10.2020
	50kN	23	39,3	1,71	5.4.2021
P2		E1			
	60kN	46,4	75,4	1,63	19.10.2020
	60kN	38,2	63,3	1,66	5.4.2021
P3		E1			
	60kN	37	53,8	1,45	19.10.2020
	60kN	81,3	191,1	2,35	5.4.2021
P4		E1			
	60kN	99,7	152,9	1,53	19.10.2020
	60kN	111,3	220,5	1,98	5.4.2021
P5		E1			
	60kN	104,2	152,9	1,47	19.10.2020
	60kN	83,1	176,4	2,12	5.4.2021
P6		E1			
	60kN	103,3	157,1	1,52	19.10.2020
	60kN	89,6	157,1	1,75	5.4.2021
P7		E1			
	60kN	64,1	113,5	1,77	19.10.2020
	60kN	80,7	173,7	2,15	5.4.2021
P8		E1			
	60kN	66,3	115,8	1,75	19.10.2020
	60kN	94,8	179,2	1,89	5.4.2021

TAULUKKO 1. Mittaustulokset.

Mittauspisteet 1 ja 2 sijaitsivat parantamattomalla tieosalla. Pisteet 3 ja 4 sijaitsivat koerakenne 1:n alueella, pisteet 5 ja 6 koerakenne 2:n alueella ja pisteet 7 ja 8 koerakenne 3:n alueella.

Taulukko 1:n voima-sarakkeessa on esitetty hydraulitunkin voima, jolla rakennetta kuormitettiin. E1-sarakkeessa on esitetty ensimmäisellä kuormituskerralla

saatu laskennallinen kantavuus (MPa), ja E2-sarakkeessa toisella kuormituskerrolla saatu laskennallinen kantavuus (MPa). E1/E2-sarakkeessa on esitetty E1- ja E2-tulosten perusteella rakenteen tiiviysaste.

Rakenteiden E1- ja E2-tulokset

4.4.4 Mittaustulosten tulkinta

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta koerakenne 3:n kantavuuden lisääntyneen odotetusti. Lähtötilanteesta kantavuus oli noussut kalliomurskeen E-moduulia vastaavasti. Koerakenne 1:n hyvälaatuisen betonimurskeen E-moduuli on kantavuustulosten perusteella huomattavasti korkeampi kuin kalliomurskeella. Koerakenne 2:n tiivistys oli epäonnistunut vallitsevasta säätilasta johtuen, joten sen kantavuus lisääntyi vain vähän. Heikkolaatuisen betonimurskeen kantavuus oli kuitenkin soratielle erittäin hyvä. Heikkolaatuisen betonimurskeen kantavuus voitaisiin varmistaa tekemällä vastaava koerakenne uudelleen ihanneolosuhteissa.

4.5 Teknisen soveltuvuuden arviointi

Koerakenteen tutkimustuloksen perusteella betonimurskeelle tehdään teknisen soveltuvuuden arviointi. Ohjeen Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa (2020) mukaan uusiomateriaalien käytölle Väyläviraston ja ELY-keskusten väylähankkeilla vaaditaan joko Väyläviraston yleinen tai hankekohtainen teknisen soveltuvuuden arviointi. Teknisen soveltuvuuden arviointi on väylähankkeen tilaajan vaatimus, jonka tavoitteena on varmistua rakenteiden toimivuudesta ja materiaalien turvallisesta käytöstä. (Väylävirasto, 2021.)

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia betonimurskeen soveltuvuutta soratien rakenteen parantamiseen. Tutkimuksen perusteella hyvälaatuinen betonimurske lisäsi koerakentamisen kohteena olleen tien kantavuutta merkittävästi, ja seurannan perusteella tien kunto parani. Heikkolaatuinen betonimurske lisäsi tien kantavuutta vain vähän, mutta seurannan perusteella tien kunto parani silti lähtötilanteesta. Tutkimuksen tuloksena hyvälaatuinen betonimurske soveltuu soratien rakenteen parantamiseen erinomaisesti ja heikkolaatuinen betonimurske vähintään kohtalaisesti.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä nousi esille muutamia logistiikkaan liittyviä ongelmakohtia. Resurssitehokkuuden vuoksi betonimursketuotanto on keskittynyt kasvukeskuksiin ja niiden lähialueille, eli sinne missä jätteitä syntyy ja rakentamisen kiviaineksia tarvitaan (Ytekki Oy, 2018). Kiviainesmurskeita on haja-asutusalueilla yleensä paremmin tarjolla, sillä louhinta- ja soranottoaikat sijaitsevat usein kasvukeskusten ulkopuolella. Kasvukeskusten suurista liikennemääristä johtuen valtaosa teistä on päällystettyjä ja sorapintaiset tiet keskittyvät lähinnä kasvukeskusten ulkopuolelle, joissa liikennemäärät ovat pienempiä. Tämän opinnäytetyön koerakennetta vastaavien rakenteiden tarve onkin suurin juuri kasvukeskusten ulkopuolella, jossa soratiet yleensä sijaitsevat. Kuljetusmatkat kasvukeskuksista haja-asutusalueiden sorateille ovat pitkiä, ja betonimurskeen käyttö ei näillä alueilla ole välttämättä taloudellisesti kannattavaa verrattuna kiviainesmurskeisiin.

Koerakennetta varten hankittujen murskeiden osalta taloudellisesti oli kannattavampaa käyttää betonimursketta, joka kuljetettiin Kaunkorventielle Lahden Kujalasta. Betonimurskeen kuljetusmatka Lahdesta oli 33 km ja kalliomurskeen kuljetusmatka läheiseltä murskaamoalueelta n. 7 km. Betonimurskerakenteen kannattavuus vaihtelee hyödyntämiskohteen sijainnin, materiaalien hinnan ja kuljetuksen hinnan mukaisesti. Betonimurskeella on kiviainesmurskeeseen verrattuna selvä hintaetu, jolla voidaan usein kompensoida pitkää kuljetusmatkaa. Hyvälaatuinen betonimurske saavuttaa lujittuessaan kiviainesmursketta paremman kantavuuden, jolloin betonimurskeesta voidaan mahdollisesti toteuttaa

ohuempia ja kevyempiä rakenteita. Pienempi tarvittava materiaalmäärä parantaa betonimurskeen kilpailuetua.

Soratien kunnossapidon kannalta betonimurskeen hyödyntäminen kantavassa kerroksessa aiheuttaa muutamia tarkkailun kohteita. Sorateiden kevät- ja syysmuokkauksen yhteydessä tien muokkaajan on kiinnitettävä erityistä huomiota kulutuskerroksen paksuuteen. MARA-asetuksen mukaisesti betonimurskeen peitekerroksen tulee olla vähintään 10 cm, eikä se saa soratien muokkauksen yhteydessä ohentua. Hoitourakoitsijan tulee seurata kulutuskerroksen paksuutta ja lisätä kulutuskerrosmursketta tarvittaessa. Soratien sivuojien kaivun yhteydessä täytyy tarkkailla myös tien sisäluiskan peitekerroksen paksuutta. Sisäluiskia koskee betonimurskeen peitekerroksen osalta sama 10 cm vaatimus, eikä sisäluiskien peitekerros ei saa sivuojien kaivun yhteydessä ohentua.

LÄHTEET

Geologian tutkimuskeskus GTK. Maankamara karttapalvelu. Luettu 29.4.2021. <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

Jätelaki 646/2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

Liikennevirasto 2014. Sorateiden kunnossapito. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf

Peltola, P. työnjohtaja. YIT Suomi Oy. Haastattelu 1.10.2020. Haastattelija Sahlberg, N. Lahti.

Rudus Oy. Betoroc-betonimurske. Luettu 24.1.2021. <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>

Suomen ympäristökeskus SYKE 2020. Sähköisen MARA-ilmoituksen ohje. Luettu 19.4.2021. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/YSLn_kertaluonteisen_toiminnan_ilmoitusmenettely/Jatteiden_hyodyntaminen_marakentamisessa

Suomi.fi 2020. Ympäristölupa. Luettu 29.4.2021. <https://www.suomi.fi/palvelut/ymparistolupa-aluehallintovirasto/15e40405-388f-49f4-a960-a7efe53fc777>

Tiehallinto 2003. Sorateiden pölynsidonta-aineiden ympäristövaikutuksia. https://julkaisut.vayla.fi/pdf/3200811v_sorateiden.pdf

Tiehallinto 2008. Soratien pintakunnon määrittäminen. https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2200055-v-08sorateiden_pintakunnon_maarittaminen.pdf

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017 (VNa 843/2017). <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

Varsinais-Suomen ELY-keskus. Työkohtainen tarkennus. Hoidon ja ylläpidon alueurakat, 31.1.2017. Luettu 24.1.2021. https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/24195897/3_9_Ty%C3%B6kohtainen_tarkennus_malli.pdf/254fccd6-d5e7-4765-b9c5-df840fa6cefb

Väylävirasto. Tiemappi. Luettu 23.1.2021. extranet.vayla.fi/tiemappi (Palvelu vaatii käyttäjätunnukset.)

Väylävirasto. Tierekisteri. Luettu 23.1.2021. extranet.vayla.fi/tierekisteri (Palvelu vaatii käyttäjätunnukset.)

Väyläviraston ohjeita 2021. Väylärakenteisiin soveltuvia uusiomateriaaleja. (Julkaistaan vuoden 2021 aikana.)

Väyläviraston ohjeita 6/2020. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-06_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf

Väyläviraston tutkimuksia 7/2019. Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteista. https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt_2019-07_kokemuksia_uusiomateriaaleista_web.pdf

Ymparisto.fi. 2020. Jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ ja_rekisterointi/YSLn_kertaluonteisen_toiminnan_ilmoitusmenettely/Jatteiden_hyodyntaminen_marakentamisessa

Ympäristöministeriö. 2019. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa: Soveltamisohje. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/MARA_soveltamisohje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf/7dbbf52-a791-deb1-4550-0a1163dc2aa7/MARA_soveltamisohje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf?t=1603260912567

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527#L1P1>

Ytekki Oy/Katja Lehtonen 2018. Betonimurskeohje: Betonimurskeen käyttö infrarakentamisessa Lahden ja Hollolan alueella. <https://www.hollola.fi/library/files/5bf3db79c91058178e000689/Betonimurskeohje.pdf>