



Luonnonsoran korvaaminen kalliokiviai- neksella betonimassassa

Laura Rosti

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Rosti, Laura

Luonnonsoran korvaaminen kalliokiviaineksella betonimassassa

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2021, 50 sivua.

Tekniikan ala. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Betoni on Suomessa merkittävä rakennusmateriaali ja luonnonsorasta seulottu kiviaines on sen valmistukseen käytettävä tärkeä raaka-aine. Luonnonsora on kuitenkin katoava luonnonvara, jota halutaan niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa säästää. Osasta Suomea laadukas luonnonsora on jo loppunut ja uusien sora-alueiden lupien saanti on vaikeutunut, koska soraharjut ovat nykyään eri tavoin suojeltuja ja sijaitsevat luokitelluilla pohjavesialueilla. Tämän vuoksi on väistämätöntä, että luonnonsoraa aletaan betonin raaka-aineena korvaamaan kalliomurskeella. Suomessa on kalliota niin runsaasti, ettei se tule loppumaan.

Tavoitteena on selvittää, miten luonnonsoran korvaaminen kalliomurskeella betonissa onnistuu, miten kalliomurskeen rakeisuudesta ja muodosta saa riittävän hyvän ja miten kiviaineksen vaihtaminen vaikuttaa betonin ominaisuuksiin, kuten työstettävyyteen ja puristuslujuuteen. Työ on toteutettu tutkimuksellisenä kehitystyönä.

Luonnonsoran korvaaminen kalliomurskeella betonissa onnistuu osittain, mutta ei vielä kokonaan. Kalliomurskeen rakeisuudesta ja litteysluvusta saa riittävän hyvät, mutta täysin pyöreitä ja sileäpintaisia ei niistä järkevästi saa tehtyä. On tehtävä lisää tutkimus- ja kehitystyötä, jotta luonnonsora voidaan täysin korvata kalliokiviaineksella ilman, että se heikentää betonin ominaisuuksia. Suurimmat ongelmat ovat betonin työstettävyydessä.

Avainsanat (asiasanat)

kiviaines, kalliokiviaines, luonnonsora, betoni, sementti, notkistin

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Kaikki liitteet ovat salassa pidettäviä ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteina ovat Julkisuuslain Jkl 24§, kohdat 17, 20, yrityksen liike- tai ammattisalaisuudet ja 21, teknologinen taikka muu kehittämistyö ja niiden arviointi. Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta, salassapito päättyy 1.7.2031.

Rosti, Laura

Title and possible subtitle

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2021, 50 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Construction and Civil Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Concrete is a significant building material in Finland and aggregate screened from natural gravel is an important raw material used in its manufacture. However, natural gravel is a disappearing natural resource that is to be saved both in Finland and elsewhere in the world. In some parts of Finland, high-quality natural gravel has already run out and it has become more difficult to obtain permits for new gravel areas, as gravel ridges are now protected in various ways and are located in classified groundwater areas. It is therefore inevitable that natural gravel will be replaced by crushed stone as a raw material for concrete. There is so much rock in Finland that it will not run out.

The aim is to find out how to replace natural gravel with rock crushed concrete, how to get good enough granularity and shape of rock crushed stone and how changing the aggregate affects the properties of the concrete, such as workability and compressive strength. The work has been carried out as research and development work.

Replacing natural gravel with crushed rock in concrete is partially, but not yet, completely successful. The granularity and shape of the rock crush must be good enough, but they must not be sensibly made completely round and smooth. More research and development is needed to completely replace natural gravel with rock aggregate without compromising the properties of the concrete. The biggest problems are in the machinability of concrete.

Keywords/tags (subjects)

aggregate, rock aggregate, natural gravel, concrete, cement, water reducer

Miscellaneous (Confidential information)

All attachments are confidential and have been removed from public service. The grounds for secrecy are § 24, clauses 17, 20, business or professional secrets of the company and 21, technological or other development work and their evaluation. The confidentiality period is ten (10) years, the confidentiality expires on July 1, 2031.

Sisältö

| | |
|--|-----------|
| Termien selitykset | 6 |
| 1 Johdanto | 7 |
| 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet..... | 7 |
| 1.2 Swerock | 7 |
| 2 Betoni | 8 |
| 2.1 Betonin valmistus..... | 8 |
| 2.2 Luonnonsora..... | 9 |
| 3 Kalliokiviaines | 10 |
| 3.1 Kalliokiviaineksen valmistus..... | 10 |
| 3.2 Kalliokiviaineksen käyttö betonissa | 11 |
| 3.2.1 Kalliomurskeen käytön haasteet betonissa..... | 13 |
| 3.2.2 Ratkaisut kalliomurskeen käyttöön betonissa..... | 14 |
| 3.2.3 Notkistimet | 17 |
| 3.2.4 Tehdyt toimenpiteet ja hankkeet Ruotsissa | 17 |
| 3.2.5 Käyttökokemuksia Suomessa | 19 |
| 4 Ympäristövaikutukset | 19 |
| 4.1 Soranottoalueiden lupaehtojen kiristyminen | 20 |
| 4.2 Sementin hiilijalanjälki | 20 |
| 4.3 Kuljetusmatkat | 21 |
| 5 Tutkimukset | 23 |
| 5.1 Kiviaineksen valmistus | 23 |
| 5.2 Rakeisuustutkimukset | 24 |
| 5.3 Laboratoriokokeet Contestalla ja Swerockilla..... | 25 |
| 6 Tulokset | 26 |
| 6.1 Rakeisuustutkimukset | 26 |
| 6.2 Betonitutkimukset..... | 27 |
| 7 Pohdinta | 28 |
| 8 Johtopäätökset | 29 |
| 8.1 Kalliomurskeen valmistus..... | 29 |
| 8.2 Kalliomurskeen käyttö betonissa | 30 |
| 8.3 Ympäristövaikutukset..... | 31 |

Lähteet **32**

Liitteet **35**

Kuviot

Kuvio 1. Vasemmalla kalliosta murskattuja kiviä & oikealla luonnonsorasta seulottuja kiviä ... 13

Kuvio 2. Ilmaluokitin..... 16

Kuvio 3. Ajettu 10 kappaletta 50 tonnin kuormaa 100 kilometrin päähän 21

Kuvio 4. Ajettu 10 kappaletta 50 tonnin kuormaa 10 kilometrin päähän 22

Kuvio 5. CO₂-päästövertailu 22

Taulukot

Termien selitykset

| | |
|-------------------|--|
| Betoni | Kivimäinen materiaali, joka on valmistettu hienosta ja karkeasta kiviaineksesta, sementistä ja vedestä sekä mahdollisista lisä- ja seosaineista. Veden avulla sementti kovettuu eli hydratoituu ja tämä luo betonille sen ominaisuudet rakennusmateriaalina. |
| Filleri | Hienojakeisesta sorapenkasta seulottua hienoainesta betonin valmistukseen. |
| Ilmaluokitin | Murskausprosessin laite, johon kivituhka ajetaan ja se poistaa ilman avulla siitä hienoainesta eri kuljettimelle. |
| Kalliokiviaines | Kalliosta louhittu ja murskattu kiviaines. |
| Keskipakomurskaus | Ajamalla kivet murskausprosessissa VSI-keskipakomurskaimen läpi saadaan kivistä pyöreämmän muotoisia. Keskipakomurskaus aiheuttaa samalla hienoaineksen lisääntymistä. |
| Kiviaines | Mineraalinen, rakeinen betonin osa-aine, joka muodostaa betonin yhdessä sementtiliiman eli pastan kanssa. |
| Luonnonsora | Luonnon soraharjuista otettu tai seulottu kiviaines. |
| Pasta | Sementin ja veden muodostama seos betonin rakenneaineena. |

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyössä selvitetään, miten luonnonsoran korvaaminen kalliokiviaineksella vaikuttaa betonin valmistukseen ja ominaisuuksiin. Työssä tutkitaan sitä, pystyykö kalliokiviaineksen rakeisuudesta saamaan riittävän hyvä betonin valmistukseen. Tavoitteena on selvittää, millä tavoin kalliokiviaineksen erilaiset ominaisuudet luonnonsoraan verrattuna vaikuttavat betonin suhteitukseen ja ominaisuuksiin, kuten työstettävyyteen ja puristuslujuuteen sekä betonin pumpattavuuteen ja siirtoihin. Työssä tutkitaan myös kalliokiviaineksen ja luonnonsoran käytön eroja ympäristövaikutusten kannalta.

Osaltaan tavoitteena on myös korjata negatiivisia asenteita, joita betonin valmistukseen pelkästä kalliokiviaineksestä Suomessa näyttää olevan. Asenteiden korjaamiseksi on keksittävä, miten betonin valmistus kalliokiviainesta käyttämällä saadaan hyvin onnistumaan. Ehtyvien luonnonsoravarojen, soranottolupien saamisen hankaluuden ja muiden ympäristöllisten asioiden vuoksi on väistämätöntä, että Suomessakin aletaan valmistamaan betonia kiviaineksestä. Suurin ongelma asian edistämisessä ovat olleet vallitsevat asenteet. (Hokkanen 2021.)

1.2 Swerock

Tämä työ on tehty Swerockille, joka kuuluu Peab konserniin ja on markkinoidensa merkittävimpiä materiaalin ja palveluiden toimittajia alallaan. Peabin toiminnot ovat jakautuneet neljään eri liiketoiminta-alueeseen: infrarakentaminen ja teollisuus, rakentaminen sekä kiinteistökehitys. Peab työllistää pohjoismaissa noin 15 000 henkilöä ja Suomessa yli 2 000 henkilöä. Koko Peab -konsernin liikevaihto on noin 5,5 miljardia euroa ja se onkin yksi pohjoismaiden suurimpia rakennusyhtiöitä.

Peab osti kiviaines- ja päällystysliiketoiminnan YIT Oy:ltä 1.4.2020. Kaksi vuotta aiemmin YIT Oy:n ja Lemminkäinen Infra Oy:n välillä tapahtui fuusio, jossa yritykset yhdistyivät ja päällystys- ja kiviainesliiketoiminnan nimeksi tuli YIT Teollisuus Oy. Kiviaines- ja päällystystoiminnalla on pitkät perinteet jo Lemminkäisen ajoilta. Monelle tuttu Lemminkäisen Pikipoika-logo on vuosikymmeniä vanha merkki, joka on tullut usealle alalla olleelle tutuksi niin päällystys- kuin kiviainespuoleltakin.

Swerock toimii rakennus- ja maanrakennusalalla tarjoten palveluita ja materiaaleja, kuten betonia, soraa ja kalliomurskettä. Yrityksen toimialaan kuuluvat myös rakennuskoneet ja kuljetukset sekä erilaiset ympäristöpalvelut, kuten maaperän puhdistus ja kierrätys. Yritys toimittaa kattavasti erilaisia kiviaineita, joita ovat mm. sora, hiekka, sepeli, murske sekä muut kiviainestuotteet, kuten pihojen täyttömateriaalit, asennushiekat ja kivituhka. Swerock tarjoaa myös seulontapalveluita sekä avolouhinta- ja murskauspalveluita.

Swerock kuuluu pohjoismaiden suurimpiin betonitoimittajiin ja yrityksessä kehitetään jatkuvasti prosesseja hiilijalanjäljen minimoimiseksi betonissa olevien ympäristöhaasteiden vuoksi. Yrityksessä tehdään jatkuvaa laadunvalvontaa ja yhteistyössä muiden alan yritysten kanssa vaihtoehtoisten sidosaineiden käytön tutkimuksia. Suomessa Swerock työllistää noin 350 henkilöä liikevaihdon ollessa noin 120 miljoonaa euroa. (Swerock n.d.)

2 Betoni

2.1 Betonin valmistus

Betonin valmistukseen käytetään kiviainesta, sementtiä, vettä, seos- ja lisäaineita sekä kuituja. Kiviaineksen osuus on näistä suurin (65-80 %), joten sen ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus betonin ominaisuuksiin. (by 65 Betoninormit 2016, 28.) Kiviaineksen muuttuessa betonin valmistuksessa tulee tehdä tarvittavat tutkimukset muutoksen vaikutuksista betonin ominaisuuksiin (by 65 Betoninormit 2016, 156). Betonissa käytettävän kiviaineksen ominaisuudet ja tarvittavat testaukset tehdään (by 43 Betonin kiviainekset 2018) mukaisesti.

Kiviaineksina on käytetty luonnonkiviainesta, uusiokiviainesta, keinokiviainesta tai kierrätyskiviainesta. Betonissa käytettävän kiviaineksen on oltava standardin SFS-EN 12620 mukaisesti CE-merkittyä. Soveltamisstandardissa SFS 7003 on suositus eri käyttökohteissa ilmoitettavat ominaisuudet sekä niille asetetut vähimmäisvaatimustasot tai -luokat. Betonin valmistaja voi käyttää myös omaa CE-merkitsemätöntä kiviainesta, joka ei ole yleisillä markkinoilla. Betonin valmistajan on kuitenkin silloinkin luotettavasti osoitettava, että kiviainesstandardien laadunvalvonnan mukaiset testaukset on tehty AVCP-luokan 2+ mukaisesti. Kiviaineksina betonissa on perinteisesti käytetty luonnonsorasta seulottua filleriä ja betonisoraa sekä kalliosta murskattua sepeliä. (by 65 Betoninormit 2016, 28-29.)

Sementti on jauhemaista, hienorakeista epäorgaanista materiaalia. Se muodostaa veden kanssa sekoitettuna seoksen, joka sitoutuu ja kovettuu hydrataatioreaktioiden kautta. Kovettumisen jälkeen seos säilyttää lujuutensa ja pysyvyytensä ilmassa ja vedessä. Sementin on oltava standardin (SFS-EN 197-1) mukaisesti CE-merkittyä. (by 65 Betoninormit 2016, 28.)

Veden tulee täyttää kloridipitoisuusmääritykset käyttötarkoituksen mukaan. Kierrätysvettä saa käyttää, jos ennakkokokein on varmistettu, että se täyttää standardin (SFS-EN 1008) esitetyn soveltuvuuden. (by 65 Betoninormit 2016, 29.)

Seosaineet ovat hienojakoisia epäorgaanisia osa-aineita, joita käytetään betonin tiettyjen ominaisuuksien parantamiseksi. Seosaineet on jaettu tyyppin 1 ja 2 seosaineisiin. Seosaineiden tulee olla CE-merkittyjä. Seosaineita ovat esimerkiksi fillerikiviaines, lentotuhka, silika ja masuunikuona. (by 65 Betoninormit 2016, 29.)

Lisäaineet ovat osa-aineita, joita lisätään pieniä määriä betonimassaan sitä sekoitettaessa massan tai kovettuneen betonin ominaisuuksien muuttamiseksi. Lisäaineiden tulee kuulua standardin (SFS-EN 934-2) soveltamisalaan tai täyttää standardin (SFS-EN 934-1) yleiset vaatimukset. Niillä tulee olla varmennustodistus tai muulla tavoin hyväksytyllä menetelmällä osoitettu kelpoisuus. Useampaa kuin yhtä lisäainetta samaan aikaan käytettäessä tulee niiden yhteensopivuus tarkistaa alkutesteissä. (by 65 Betoninormit 2016, 30.)

Kuituja käytetään parantamaan betonin ominaisuuksia, kuten veto-, taivutus- ja leikkauslujuutta sekä iskunkestävyyttä. Perinteistä raudoitusta voidaan korvata teräskuiduilla ja makrokuiduilla, kun taas mikrokuituja voidaan käyttää estämään betonin halkeiluriskiä sen ollessa plastisessa tilassa ja lisäämään palonkestävyyttä korkealujuusbetonissa. (by 65 Betoninormit 2016, 30.)

2.2 Luonnonsora

Luonnonsora on betonissa yleisimmin käytetty hienokiviaines. Sen ominaisuudet sopivat betoniin loistavasti pyöreän muotonsa, tasaisen pintansa vuoksi ja siksi, ettei se luonnostaan sisällä paljoa hienoainesta. Näistä syistä luonnonsora ei sido itseensä paljoa vettä, mikä vaikuttaa suuresti betonissa käytettävään veden ja samalla sementin määrään suhteituksissa. Pyöreissä kivissä on enem-

män ominaispinta-alaa tartuntaan sementtiliimalle, mikä parantaa betonin lujuutta. Ideaalitilanteessa betoni tehdään eri kokoisista täysin pyöreistä kivistä. Luonnonsorasta täytyy tutkia humus- ja lietepitoisuudet, jotka taas eivät kalliossa ole ongelmana. Kaikkia sorapaikkoja ei lietteen ja huumuksen takia pystytä hyödyntämään betonikiviaineena. (Rosti 2021.)

Tähän saakka luonnonsoraa on ollut hyvin saatavilla niin Ruotsissa kuin Suomessakin, ja luonnonsoran käyttö betonin valmistuksessa on ollut perusteltua kiviaineksen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Nyt kun luonnonsoran käyttöä joudutaan vähentämään, tulee kehittää uusia tapoja betonin valmistukseen, jotta kalliomursketta sisältävää betonia olisi helpompi valaa ja käyttää. (Bergkross i Betong n.d., 4.)

3 Kalliokiviaines

Suomen kallioperä on muodostunut 1400-3000 miljoonaa vuotta sitten ja se on Euroopan vakainta, vanhinta ja paksuinta, jopa 230 kilometriä paksua. Yli puolet Suomen kallioperästä arvioidaan olevan graniittisia kivilajeja. Graniitti on yksittäisistä kivilajeista yleisin ja Suomen kansalliskivilaji. Kallioperän muita kiviaineita ovat seoskivet (n. 22 %), erilaiset liuskeet (n. 9 %), tummat syväkivet (n. 8 %), kvartsiitit ja hiekkakivet (n. 4 %) ja granuliitit (n. 4 %). (Hakapää, Lappalainen & Paalumäki 2015, 19.)

3.1 Kalliokiviaineksen valmistus

Kalliokiviaines valmistetaan murskaamalla louhittua kalliota murskauslaitoksella. Kivien murskaus tapahtuu puristamalla, jossa kivi murskautuu metallipintojen välissä tai iskumurskaimella, jossa nopeasti pyörivä vasara iskee kiven murskaksi. Murskaamot jaotellaan kokonaan mobiileihin, osittain mobiileihin ja kiinteisiin laitoksiin. Kokonaan mobiilin laitoksen etuna on se, että sitä pystyy siirtelemään useita kertoja päivässä ja sen saa aina lähelle louhepenkkaa sekä sen siirtämisestä kalliopaikasta toiseen saavutetaan merkittäviä kustannussäästöjä. Kiinteitä murskauslaitoksia käytetään yleisimmin pitkäikäisissä kalliopaikoissa. (Hakapää, Lappalainen & Paalumäki 2015, 218-219.) Kokonaan mobiilit laitokset ovat tela-alustaisia ja osittain mobiilit laitokset pyöräalustaisia. (Murskaimet n.d.) Kokonaan mobiileja laitoksia syötetään yleensä kaivinkoneella, koska se on kustannustehokkaampaa. Osittain mobiili asema pystytetään kerran tiettyyn paikkaan kallion lähelle, ja se on siinä koko murskauksen ajan. Koska matka louhepenkereen ja syöttimen välillä kasvaa

koko ajan louheen vähentyessä, syötetään osittain mobiilia ja kiinteää laitosta pyöräkuormaajalla tai ajomatkan kasvaessa kuorma-autolla, dumperilla tai kiviautolla. (Kankare 2021.)

Kiviaineksen tuleva käyttötarkoitus määrittelee sen, millaiseksi kiviaines murskataan. Kiven ominaisuudet ja mineraalikoostumus määrittelevät kiven mahdolliset käyttömahdollisuudet. Osaa kiviaineksista voidaan käyttää vain esimerkiksi tienäyttöihin tai tienalusmateriaaliksi. (Bergkross i Betong n.d, 6.) Louhittu kallio menee syöttimestä 1-4 murskaimen läpi laitoksesta ja halutusta murskeesta riippuen. Ensin louhe menee esimurskaimeen, siitä kuljettimen kautta välimurskaimeen ja jakoseulan kautta seuraavaan tai seuraaviin murskaimiin ja lopulta seulaan, joka seuloa tuotteen halutun kokoisiksi rakeiksi eri lajikkeisiin. Mitä hienompaa lajiketta tehdään, sitä enemmän murskaimia tarvitaan. (Kankare 2021.) Betonikiviaineksen valmistuksessa on käytettävä vähintään 3-4 murskainta, jotta kiviaineksen litteysluku saadaan riittävän hyväksi. Viimeisenä olevan murskaimen tulee olla täynnä kiviä, jotta ne pyöristyvät ja mikrohalkeamien määrä pienenee. (Betonin kiviainekset 2018, 54.)

Tavallisesti betonikiviaineksen raemuotona käytetään litteyslukuluokkaa FI15. Pumpattavissa betoneissa suositeltava luokka on FI10. (Betonin kiviainekset, 18.) Huononmuotoiset kivet hankaloittavat merkittävästi betonin työstettävyyttä (Hokkanen 2021). Kiven muotoa pystytään murskausprosessissa parantamaan keskipakovoimamurskaimen avulla ja lisäämällä murskassa olevien kiertolaisten määrää. Kiertolaiset tarkoittavat sitä, että kivet kiertävät murskan läpi useamman kerran, jolloin niiden muoto jokaisen kerran jälkeen pyöristyy. Yhden kerran murskan läpi käyneet kivet ovat yleensä huononmuotoisia. (Ahtiainen 2021.)

3.2 Kalliokiviaineksen käyttö betonissa

Kalliokiviainesta on käytetty Suomessa toistaiseksi betonissa pääosin karkeana kiviaineksena, mutta vain vähän hienoaineksena. Tämä johtuu pääosin siitä, että Suomessa on kautta aikojen ollut luonnonsoraa runsaasti. Betonia on tehty hyväksi todetulla tavalla luonnonsorasta, eikä sitä tapaa helposti haluttaisi muuttaa. Luonnonsoravarojen ehtyminen ja kuljetusmatkojen liian pitkiksi muodostuminen sekä ottoehtojen jatkuva kiristyminen luonnonvarojen säästämiseksi kuitenkin pakottavat tähän. (Hokkanen 2021.)

Etelä-Suomessa hiekka- ja soravarojen hyödyntämistä rajoittavat eri tavoin suojellut alueet. (Ympäristö.fi). Hyödynnettävissä olevat soravarat on joidenkin lähteiden mukaan myös pääosin käytetty loppuun, etenkin Suomen rannikkoalueilla (Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa 2010, 7).

Negatiivisista ennakoasetelmista ja muutosvastaisuudesta tulisi päästä eroon. (Hokkanen 2021). Kalliokiviaineksen käyttö betonissa luonnonsoran sijaan muodostaa haasteita betonin työstettävyyden osalta, joten työntekijät haluaisivat pysyä helpommassa perinteisessä tavassa. Koska kalliokiviaineksen käyttö betonissa lisää veden ja sitä kautta myös sementin määrää, on sillä vaikutuksia myös kustannuksiin. (Kiviaines n.d.) Ilmiö johtuu murskattujen kalliokivien murtopintaaisuudesta. Mitä enemmän murskattua pinta-alaa kivissä on, sitä enemmän ne imevät vettä itseensä. Murskattu kalliokiviaines on aina 100 % murtopintaista. Luonnonsoran ollessa pyöreää, on ero huomattava. (Hokkanen 2021.) Kalliomurske on yleensä kuivempaa ja kosteudeltaan tasalaatuisempaa luonnonsoraan nähden. Se puolestaan helpottaa tehtailla kosteudenhallintaa ja parantaa massan tasalaatuisuutta. (Harjula 2021.)

Harjulan (2021) tiedossa ei ole, että kukaan Suomessa olisi saanut vielä toimimaan betonia, jossa luonnonsora on täysin korvattu kalliokiviaineksella. Sen sijaan osittain korvaaminen on onnistunut heikentämättä betonin ominaisuuksia ja menetelmä on saatu toimimaan. Tälläkin tavoin luonnonsoran vähenemistä on mahdollista hidastaa. Tulevaisuudessa kalliomursketta tullaan käyttämään varmasti luonnonsoran korvaajana. On vain kehitettävä toimivat keinot sen mahdollistamiseksi. (Harjula 2021.)

Betonin valmistuksessa tarvitaan niin paljon kiviainesta, että sen saatavuuden on oltava hyvä, laadun on oltava kohdallaan ja tasalaatuista, sitä tulee olla riittävästi ja sen valmistus- sekä kuljetuskustannusten tulee olla kohtuulliset. Kalliokiviaineksen käyttö on 15 vuodessa jo lisääntynyt 20 prosentista 50 prosenttiin betonin valmistuksessa. Tämän on mahdollistanut louhinnan ja murskausprosessin kehittyminen siinä suhteessa, että nykyään saadaan tehtyä laadullisesti parempia tuotteita. (Kiviaines n.d.)

3.2.1 Kalliomurskeen käytön haasteet betonissa

Murskatun kalliokiviaineksen muoto poikkeaa huomattavasti luonnonsorasta. Kalliomurskeen rakenne on rosainen, karhea ja epätasainen. Kiven muoto muuttuu murskatessa usein teräväksi ja pitkänomaiseksi. Nämä muodot ovat betonissa haitallisia, joten hyvän betonin valmistuksessa kalliomurskeesta tarvitaan enemmän sementtiä ja vettä, jolloin betonin ominaisuudet saadaan lähemmäksi sellaista betonia, joka on tehty luonnonsorasta. Kalliomurske liikkuu muotonsa vuoksi huonommin betonimassaa pumpattaessa ja työstettäessä kuin luonnonsora, koska luonnonsora on muodoltaan pyöreämpää ja luonnollisesti tasaisempaa (ks. kuvio 1). Kalliomurskeessa on aina mukana myös kiviölyä, joka tulee poistaa murskausprosessissa esimerkiksi ilmaluokittimen avulla ennen kuin sitä voidaan käyttää betonin valmistukseen. (Bergkross i Betong n.d., 2.)



Kuvio 1. Vasemmalla kalliosta murskattuja kiviä & oikealla luonnonsorasta seulottuja kiviä

Betonimassa voi olla vaikeammin työstettävää kalliokiviaineksen kulmikkouden takia. Se voi lisätä kulumista muun muassa betonisekoittimissa, betoniautojen pyörintäsäiliöissä ja betonipumpeissa. (Bergkross i Betong n.d., 12.) Kalliossa on myös suuremmalla todennäköisyydellä kiillettä, joka on heikkolaatuista kiviainesta. Samassa suhteessa sementin määrän tarve kasvaa, eli koko pasta-anos suhteessa kiviaineksen määrään kasvaa ja tämä lisää kustannuksia sekä ympäristövaikutuksia. (Johansson 2017.)

Martinssonin (2021) mukaan lisääntynyt veden tarve on tärkein huomioitava asia luonnosoran korvaamisessa kalliokiviaineksella. On vertailtava kustannuksia kiviaineksen valmistuksesta ja veden tarpeen lisääntymisestä. Raaka-aineen ominaisuudet ovat myös erittäin tärkeä tekijä. (Martinsson 2021.) Kiven ominaisuudet sekä räjäytys- ja murskaustapa määrittelevät sen, millainen rae-muoto ja rakenne murskattuun kiveen tulee. Myös kiviaineksen mineraalikoostumus vaikuttaa murskatun kiven muotoon. (Bergkross i Betong n.d., 7.)

Yksi suuri haaste kalliomurskeen käytön lisäämisessä betoniin on betonitehtaiden rajallinen siilo-kapasiteetti, kertoo Harjula. Betonitehtaita, kuten murskauslaitoksiakin, on mobiileja, osittain mobiileja ja kiinteitä. Yleisesti ottaen tehtaissa kiviainessiiloja on neljästä kuuteen. Siilojen lisääminen vaatisi isompia tehtaita ja sen myötä suuria investointeja. Toteuttaminen on vaikeaa, kun samaan aikaan siirrettävät tehtaot yritetään pitää mahdollisimman kompakteina. (Harjula 2021.)

3.2.2 Ratkaisut kalliomurskeen käyttöön betonissa

Nykyisin murskattu kiviaines on laadultaan hyvää, mutta murskaustekniikoita on mahdollista kehittää edelleen, jolloin murskeesta saataisiin vielä pyöreämpää. Kalliomurskeen käytön lisääntyminen ja kiviaineksen tasalaatuisiksi saaminen lisää vaatimuksia betoninvalmistajille ja -tehtaille, sekä murskeenvalmistajille. Valmistajien ja käyttäjien välinen vuorovaikutus lisää mahdollisuuksia vähentää luonnosoran ja kalliomurskeen välisiä laatueroja ja parantaa kustannustehokkuutta luonnosoran ja kalliomurskeen käytön välillä. Murskausta aloitettaessa on tärkeää valita oikeanlainen kallio. Kallion laatu vaikuttaa rakeiden muotoon ja rakeisuuskäyrään. Kalliomurskeen ominaisuuksia voidaan parantaa valitsemalla oikeanlainen kallio myös siinä olevien mineraalien suhteen. (Bergkross i Betong n.d., 8-9.) Kalliossa olevat killemineraalit kuten biotiitti ja muskoviitti pehmentävät kalliota ja heikentävät sen lujuutta. Iskunkestävyyttä ne toisinaan taas parantavat sitkeytensä takia. Yleisesti ottaen kille ei kuitenkaan ole hyväksi kalliokiviainekselle. (Kantola 2021.)

Olisi tärkeää kehittää murskauslaitoksia siten, että kalliomurske olisi pyöreämpää ja tasaisempaa rakenteeltaan (Bergkross i Betong n.d., 2). Jotta murske saadaan riittävän hyvänlaatuiseksi muodoltaan betonia varten, on murske lingottava prosessissa. Linkoaminen tarkoittaa sitä, että murskattua kiviainesta heitetään keskipakovoiman avulla suurella nopeudella toisiaan vastaan. Kivien lentäessä toisiaan vasten ne hioutuvat ja niistä tulee pyöreämpiä ja tasaisempia. Käsittelyssä muodostuu hienoainesta, jota voidaan vähentää tuuletuksen tai märän seulonnan avulla. (Bergkross i

Betong n.d., 10.) VSI-murskaimella saadaan muoto paremmaksi ja ilmaluokittimella voidaan erottaa tuhkasta hienoaines ja saada näin ollen sopivanlainen rakeisuus. Tarkoituksena on pyrkiä kehittämään teknologiaa, jolla mahdollisimman energiatehokkaasti ja muutenkin tehokkaasti saadaan poistettua huononmuotoiset kiviainekset ja hienoaines. (Bergkross i Betong n.d., 14.) Murskatusta kiviaineksesta on siis mahdollista valmistaa lähes yhtä hyvää betonia kuin luonnonsoraa käyttämällä ja murskattujen kiviainesten käyttö voi myös muodostua kustannustehokkaammaksi kuin luonnonsoran käyttö (Bergkross i Betong n.d., 2).

Swerockilla käytetään Sandvikin valmistamaa ilmaluokitinta (ks. kuvio 2). Ilmaluokitinta käytetään jauhemaisille rakenteille rakeisen materiaalin erottamiseen eri raekokoihin. Käyttökohteita ovat esimerkiksi sementin ja kalkin kuivajauhatuspiiri sekä kiviaineksen rakeisuuden parantaminen sen käyttökohteesta riippuen. Kiviaineksen luokittimeen menevä maksimiraekoko on teoriassa 10 mm, mutta käytännössä osien kulumisen vuoksi se on 4 mm. Ilmaluokittimessa ilma toimii väliaineena, joka luokittelee hienoa kiviainesta karkeasta kiviaineksesta keskipakovoiman, ilmavirran ja maan vetovoiman avulla. Ilma pyörii ja puhdistaa karkeaa materiaalia. Laitteen pääpuhallin vetää hienoaineksen ilman mukana ylös, ja keskipakovoima heittää sen ulkokuoren seinämille ja siitä alas kartioon ja poistuu ulos. Karkea materiaali tippuu sisäkartiolle ja poistuu sitä kautta. (Jauhiainen 2021.) Ilmaluokitin poistaa hienoainesta kalliomurskeesta tehokkaasti. Sen käyttö ei kuitenkaan kuluta paljoa energiaa suhteessa muuhun murskausprosessiin (Sandvik n.d.). Ilmaluokitin kestää hieman kosteaa mursketta kosteuden ollessa $\leq 1\%$, mutta yli 2% kosteuspitoisuudella olevalla murskeella se ei enää toimi. Ilmaluokitin siirtää jonkin verran kosteutta siitä luokiteltavaan hienoainekseen, eli karkea kiviaines kuivaa ja eroteltava hienoaines muuttuu hieman kostemmaksi. Tämä vähentää hienoaineksen pölyämistä. (Jauhiainen 2021.)



Kuvio 2. Ilmaluokitin

Korvattaessa luonnonsoraa kalliomurskeella, betonivalmistajien on sopeuduttava ja kehitettävä reseptejä niin, että ne toimivat hyvin suhteessa murskatun kiviaineksen ominaisuuksiin. Betonin suhteitukset joudutaan tekemään useammasta kiviainesfraktiosta. Yleensä tulee käyttää enemmän vettä ja sementtiä kompensoimaan murskatun kiven kulmikkuutta, rakeiden muotoa ja korkeampaa hienoainemäärää. Vaihtoehtoisesti voidaan lisätä notkistinta ja muita betonin lisäaineita. Lisääntynyt tietämys kiviaineksista ja paremmista murskausmenetelmistä edellyttää tiivistä yhteistyötä murskien ja betonin valmistajien välillä. Tämä tulee tulevaisuudessa mahdollistamaan hyvät kiviainekset sekä reseptit laadukkaan betonin valmistukseen. (Bergkross i Betong n.d., 12.)

Betoniasemilla kiviainessiilot on monesti täytetty niin, että yhdessä on hienokiviaines (filleri), yhdessä sepeli 8/16 ja kahdessa luonnonsorasta seulottua betonisoraa 0/8 ja mahdollisesti sepeli 16/32. Mikäli osa luonnonsora 0/8:sta korvattaisiin kalliomurskeella, voisi periaatteessa tämänkaltaisissa betonitehtaissa toisen siiloista täyttää sillä. (Harjula 2021.)

3.2.3 Notkistimet

Kalliokiviaineksen hienoaines aiheuttaa veden tarpeen lisääntymistä betonimassassa ja betonin sitkeytymistä. Suomessa näihin ongelmiin esimerkiksi Finnsementti on kehittänyt kalliokiviaineksen käytön mahdollistavan Saitti-Parmix-notkistimen, jonka yhtenä erikoisominaisuutena on erityäin hyvä vedentarpeen vähennyskyky. Finnsementti kertoo sen vähentävän veden ja samalla sementin tarvetta betonissa hyvinkin tehokkaasti tehden sen tekemisestä taloudellista. Toisena etuna on se, että tämä notkistin on myös kehitetty parantamaan betonin työstettävyyttä. (Saitti-Parmix-notkistin apuna kalliokiviaineksen käytössä 2019.) Martinsson (2021) toteaaakin, että on suositeltavaa tutkia kunkin kiviaineslaadun kohdalla erikseen, millainen notkistin niiden tyyppiin sopii käytettäväksi.

3.2.4 Tehdyt toimenpiteet ja hankkeet Ruotsissa

Yksi Ruotsin hallituksen ympäristötavoitteista on ”Hyvälaatuinen pohjavesi”. Ympäristötavoitteen mukaan luonnonsoran käytön on puoliinnuttava vuodesta 1999, jolloin käyttö on ollut 22 miljoonaa tonnia, 12 miljoonan tonnin vuosikäyttöön vuoteen 2010 mennessä. Vuoden 2020 jälkeen tavoite on ollut vähentää luonnonsoran käyttöä 1-3 miljoonaa tonnia vuodessa. Tämänkin vuoksi betoniteollisuuden on pitänyt ryhtyä käyttämään kalliomursketta luonnonsoran sijaan betonin valmistuksessa. Tämä vaatii valmistajilta yhä enenevässä määrin uusien toimintatapojen opettelua betonin valmistamiseen muustakin kuin luonnonsorasta eli kalliomurskeista siten, että betonin hyvät ominaisuudet säilyvät. Betonin valmistuksessa käytettävä luonnonsora on saanut aikaan hyvät betonin ominaisuudet ja haasteena on saada hyvät ominaisuudet jatkossakin aikaan kalliokiviaineksilla. Asian etenemisessä tarvitaan sekä halua että valmiuksia löytää oikea resepti betonin valmistukseen sekä yhteistyötä niin kiven murskauksen kuin betonin valmistajienkin kesken. Tutkimukset tarjoavat inspiraatiota uuden kehittämiseen teollisuudessa. (Bergross i Betong n.d., 1.)

Ruotsissa on otettu jo vuonna 1996 käyttöön soraverot. Sitä on kasvatettu vuosien kuluessa ja vuoden 2021 tammikuusta lähtien se on 17 kruunua per tonni. (tämänhetkisen valuutan mukaan n. 1,66€) (Skatt på naturgrus 2021.)

Yhdessä puoliperävaunullisessa on noin 20 tonnia kiviainesta, joten veron aiheuttama hinnan nousu on merkittävä. Ruotsissa betonia valmistetaan suurilta osin jo pelkästään kalliokiviainesta käyttäen. Tämän on osaltaan mahdollistanut se, että Ruotsissa betonista saatava markkinahinta on noin puolitoistakertainen Suomessa saatavaan hintaan verrattuna. (Hokkanen 2021). Martinsson (2021) puolestaan kertoo, että Ruotsissa voimassa oleva kansallinen ympäristötavoite ja sen myötä tullut ympäristönsuojelulaki on aiheuttanut soranottoaluelupien saamisen muuttumisen yhä vaikeammaksi. Luonnonsora on ollut Ruotsissa pitkään ”korvamerkitty” betonin valmistukseen. Tällä hetkellä Ruotsin hallitus ja ympäristötoimi on määritellyt luonnosoran käytön radikaalin vähentämisen ja tämän vuoksi teollisuuden on opeteltava tekemään korkealaatuista betonia käyttämällä valmistukseen kalliomurskettä. (Bergkross i Betong 2020, 2.)

Aihetta käsittelevä Vinnova-hanke alkoi marraskuussa 2015 ja saatiin päätökseen elokuussa 2017. Projektin tavoitteina on luoda tietopohja aiemmin tehdyistä murskatuista kalliokiviaines tutkimuksista ja ehdottaa yksinkertaisia testimenetelmiä, jotka kuvaavat kiviaineksen vaikutuksia betoniin. Tarkoituksena on jakaa neuvoja betonin ja kiviaineksen valmistajille, siitä mitkä kiviaineksen ominaisuudet ovat tärkeimpiä ilmaston ja betonin työstettävyyden kannalta ja saada suunniteltua helpokäyttöinen malli betonin suhteittamiseen. (Johansson 2017.)

Myös Suomessa halutaan jatkossa kiinnittää entistä enemmän huomiota luonnonvarojen säästämiseen ja siirtyä ympäristölle vahingollisesta maa-ainesten otosta kierrätyksen tehostamiseen, jonka ohjaavana tekijänä voisi toimia maa-ainesvero. (Parikka 2006, 17). Suomessa on asian edistämiseksi tehty kiertotalouden strateginen ohjelmaehdotus, joka painottaa kiertotaloutta luonnonvarojen käytön sijaan. Ohjelman mukaan muutos vaatii yhteistyötä eri tahojen kanssa sekä suuria investointeja että toimia myös maan hallitukselta. (Saarinen 2021.) Ehtyvää luonnonvaraa luonnonsoraa voitaisiin suojella maa-ainesveron avulla (Parikka 2006, 16).

3.2.5 Käyttökokemuksia Suomessa

Kamrock Oy:n nettisivuilla kerrotaan, että heidän yrityksensä on kehittänyt kalliokiviaineksen käyttöä betonissa jo vuodesta 2011 lähtien ja yrityksessä on tultu siihen johtopäätökseen, että kalliokiviaines on jopa luonnonsoraa parempaa betonin valmistuksessa. Kamrock Oy toimii ympäri Suomi seitsemällä murskauslaitoksella. Yrityksen mukaan kalliokiviaineksestä saa tasalaatuisempaa eikä se sisällä humusta tai lietteitä, jotka ovat välillä luonnonsoran ongelmakohtia. Tasalaatuisuuden ansiosta voidaan vähentää betoniin käytettävää sementtimäärää. (Kamrock 2021.)

Ylen 2019 julkaisemassa uutisessa on haastateltu Ruduksen projektijohtaja Ville Routamaata. Hän puhuu konehiekkasta luonnonsoran korvaajana. Konehiekkä tarkoittaa sitä, että kalliomurskeesta on luokittimella tai muulla tavalla otettu haitallista hienoainesta pois. Routamaa kertoo, että tätä konehiekkää käytetään jo viidesosa betonin valmistukseen käytettävästä hienoaineksestä. (Ikävalko 2019.)

4 Ympäristövaikutukset

Rakentamisen päästötietokannasta haettujen tietojen mukaan mursketuotannon hiilijalanjälki on 0,007 kg CO₂e/kg ja luonnonsoran hiilijalanjälki on 0,005 kg CO₂e/kg (Rakentamisen päästötietokanta n.d.).

Maa- ja kallioperän kiviainekset ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. Niitä käytetään Suomessa nykyään vuosittain 120-140 miljoonaa tonnia. (Maa-ainesten ottaminen 2021.) Vaikka kalliokiviaines ei ole uusiutuva luonnonvara, on sitä Suomessa (Hakapää, Lappalainen & Paalumäki 2015, 19) mukaan niin paljon, ettei se tule loppumaan. Soraharjut ovat tärkeä osa suomalaista luontoa ja maisemaa. Niiden luona sijaitsevat myös Suomen tärkeimmät pohjavesivarastot, joita halutaan varjella. Luonnonsoran määrässä ja laadussa on suuria alueellisia eroja. Rannikkoalueilla luonnonsoravarat ovat ehtyneet ja niitä yhä enemmän korvataan kalliokiviaineksella. (Maa-ainesten ottaminen 2021.)

4.1 Soranottoalueiden lupaehtojen kiristyminen

Soraharjut ovat katoava luonnonvara, ja niitä halutaan säästää. Nykyään valtaosa ilman lupaa olevista soraharjuista on eri tavoin suojeltuja alueita tai sijaitsevat luokitetuilla pohjavesialueella. Uusien soranottolupien saaminen on näistä syistä hankalaa tai mahdotonta. Mikäli sora-alueella ei ole murskaustarvetta, on lupien saaminen hieman helpompaa tai halvempaa, koska tarvitaan pelkästään maa-aineslupa. Avatut alueet tulee hyödyntää mahdollisimman järkevästi. (Hänninen 2021.) Maa-aineslaki ohjaa ottamiseen seuraavanlaisesti:

”Ottamispaikat on sijoitettava ja ainesten ottaminen järjestettävä niin, että ottamisen vahingollinen vaikutus luontoon ja maisemakuvaan jää mahdollisimman vähäiseksi ja että maa-ainesesiintymää hyödynnetään säästeliäästi ja taloudellisesti eikä toiminnasta aiheudu asutukselle tai ympäristölle vaaraa tai kohtuullisin kustannuksin vältettävissä olevaa haittaa.” (L 463/1997, §3.)

4.2 Sementin hiilijalanjälki

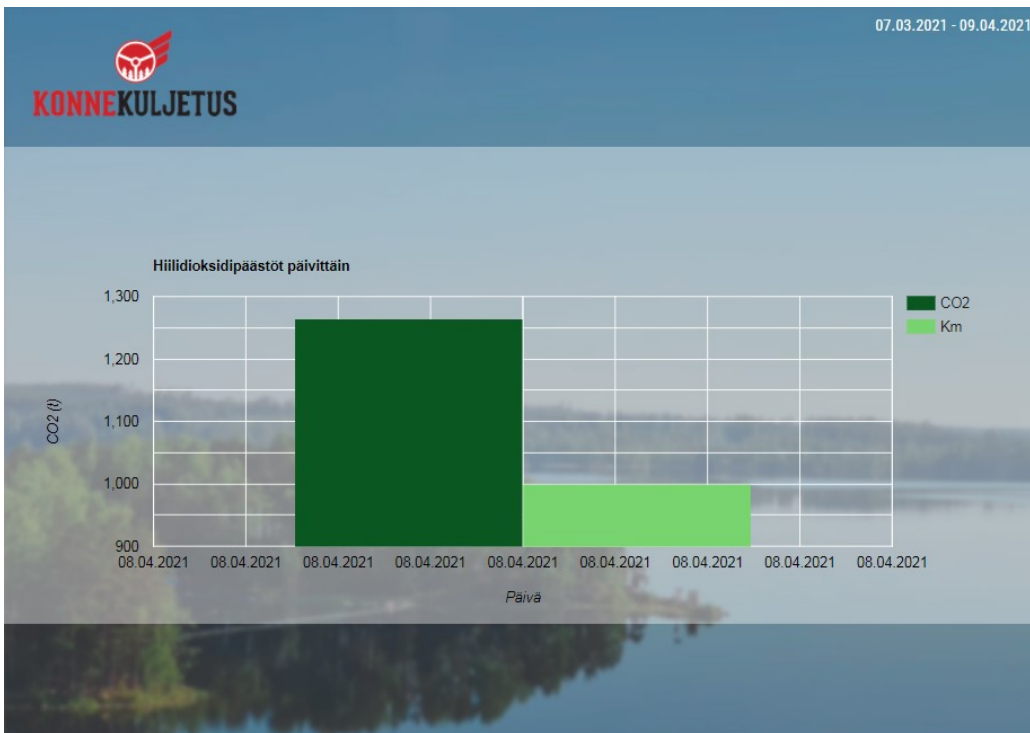
Betonin valmistuksessa suurin hiilijalanjälki syntyy sementin valmistuksesta. Sementtiteollisuus on yksi maailman suurimmista CO₂-päästöjen aiheuttajista. Sementin valmistus on arviolta 5-7 % maailman hiilidioksidipäästöistä. Suomessa osuus on vain 1,6 % sen ansiosta, että täällä käytetään energiatehokkaampia menetelmiä ja sovelletaan laajaa kiertotaloutta. Sementin hiilijalanjäljen pienentämiseksi tulisi aktiivisesti kehittää uusia keinoja. (Hirvelä 2020.)

Mikäli murskeen käyttö betonin hienoaineksena lisää betoniin tarvittavan sementin määrää, kasvavat samalla betonin valmistuksen hiilidioksidipäästöt. Ympäristön kannalta on hankalaa perustella, miksi näin pitäisi tehdä. Soran loppuessa on kuitenkin väistämätöntä siirtyä murskeen käyttöön ja hyväksyä tämä asia. Oletuksella, että kalliokiviainekset ovat lähempänä betonitehtaita kuin sora-alueet, lyhenevät kuljetusmatkat ja siten myös CO₂-päästöt. Kuitenkin mahdollisesti kasvavan sementin käytön päästöt voivat nollata nuo päästövähennykset. Monenlaisia ratkaisuja vähähiilisyteen on kuitenkin keksittävä, toteaa Hänninen (2021.)

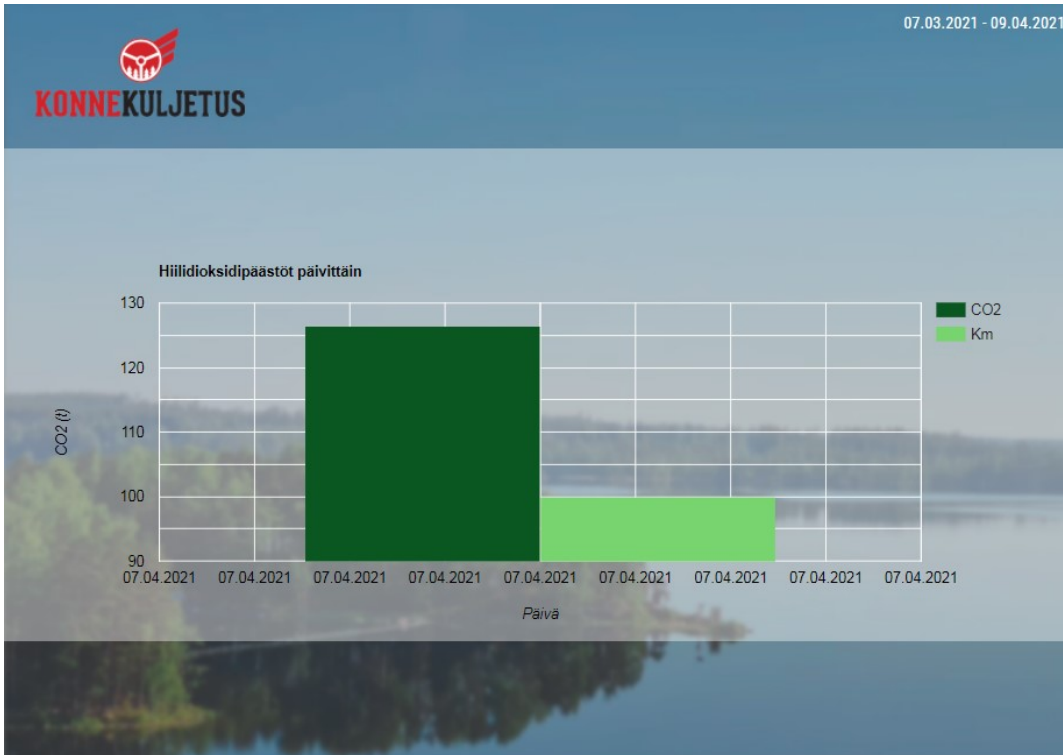
4.3 Kuljetusmatkat

Kuljetusyrietykset ovat vastanneet kuljetusten ympäristövaikutusten minimoimiseen ja ympäristövastuullisuuteen monilla eri tavoin. Lakisääteisten vähimmäisvelvoitteiden lisäksi kuljetusten hiilijalanjälkeen kiinnitetään huomiota ja päästöjen määrää vähennetään mm. vähäpäästöisellä kalustolla, toimivalla ajorjestylyllä ja päästöjen seurannalla. Konnekuljetus Oy on ensimmäisten joukossa alallaan ottanut käyttöön päästöraportoinnin asiakkailleen. Päästöraportista käy ilmi seurantajaksolla ajettut kilometrit, kuljetetut tuotantotonnit ja kuljetuksesta syntyneet CO₂-päästöt. (Konnekuljetus 2021.)

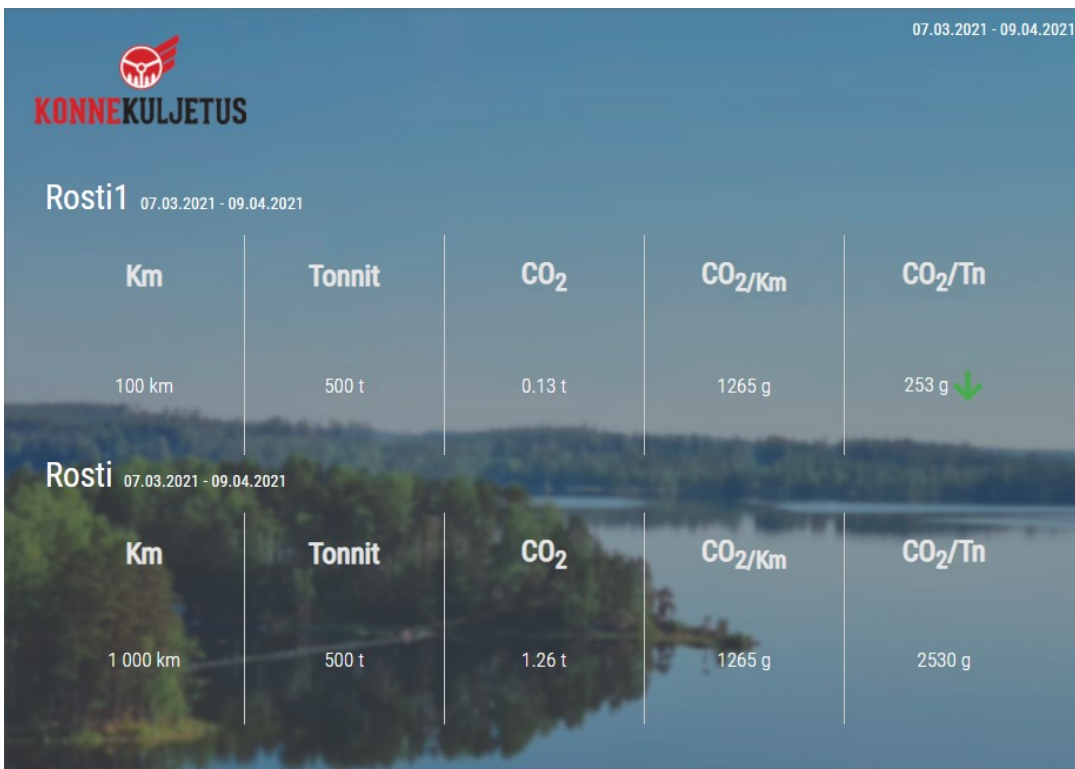
Konnekuljetus Oy:n tekemissä alla olevissa päästöraporteissa on vertailtu pitkien kuljetusmatkojen päässä olevan luonnonsoran ja läheltä saatavan kalliokiviaineksen kuljetusmatkoja ympäristövaikutusten näkökulmasta (ks. kuviot 3-5). Raportit on tehty tätä opinnäytetyötä varten ja niitä on lupa käyttää. Luonnonsoran kuljetusmatkaksi arvioitiin 100 kilometriä ja kalliokiviainekselle 10 kilometriä, koska kalliokiviaineksen saatavuus on parempi ja sitä löytyy ympäri Suomen lähempää kuin sora-alueita. Kuljetusmatkojen pituudet ovat Swerockilta saatujen suuntaa antavien tietojen mukaisia.



Kuvio 3. Ajettu 10 kappaletta 50 tonnin kuormaa 100 kilometrin päähän



Kuvio 4. Ajettu 10 kappaletta 50 tonnin kuormaa 10 kilometrin päähän



Kuvio 5. CO₂-päästövertailu

5 Tutkimukset

5.1 Kiviaineksen valmistus

Salainen.

5.2 Rakeisuustutkimukset

Salainen.

5.3 Laboratoriokokeet Contestalla ja Swerockilla

Salainen.

6 Tulokset

6.1 Rakeisuustutkimukset

Salainen.

6.2 Betonitutkimukset

Salainen.

7 Pohdinta

Salainen.

8 Johtopäätökset

8.1 Kalliomurskeen valmistus

Salainen.

8.2 Kalliomurskeen käyttö betonissa

Salainen.

8.3 Ympäristövaikutukset

Salainen.

Lähteet

Ahtiainen, A. Työmaapäällikkö. Swerock. Haastattelu 21.4.2021.

Bergross i Betong. Cementa AB. N.d. Viitattu 15.4.2021. [Bergkross i betong \(PDF; 1 736 KB\) - HeidelbergCement \(yumpu.com\)](#)

Betonikiviainesten valmistus keskipakomurskauksella ja luokituksella. N.d. Sandvik. Viitattu 26.4.2021.

Hakapää, A., Lappalainen, P., Paalumäki, T. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. Oppikirja. Juvenes Print Oy, Tampere.

Harjula, P. Tehdasvastaava. Swerock. Puhelinhaastattelu 23.4.2021.

Hirvelä, J. 2020. Betonin hiilineutraali tulevaisuus. Viitattu 18.4.2020. <https://www.lujabetoni.fi/2020/05/15/betonin-hiilineutraali-tulevaisuus/>

Hokkanen. A. 2021. Laatupäällikkö. Swerock. Haastattelu 1.3.2021 & 30.4.?

Hänninen, K. Johtava ympäristöasiantuntija. Swerock. Videohaastattelu 16.4.2021.

Ikävalko, K. 2019. Riittääkö Suomessa hiekka? Ehtyvälle hiekalle haetaan nyt korvaajaa konehiekasta ja mahdollisesti merihiekasta. Viitattu 19.3.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-10865010>

Jauhiainen, P. 2021. Myyntipäällikkö. Sandvik Mining and Rock Technology Oy. Videohaastattelu 28.4.2021.

Johansson, N. 2017. Betongproportionering med krossballast MinBaS-dagen. Viitattu 15.4.2021. [Bild 1 \(minfo.se\)](#)

Kalliokiviaineksen käytön lisääminen onnistuu Saitti-Parmixilla. 2019. Viitattu 25.3.2021.
<https://finnsementti.fi/nosto/kalliokiviainesten-kaytonlisaaminen-onnistuu-saitti-parmixilla/>

Kalliosora. N.d. Viitattu 2.4.2021 <https://kamrock.fi/palvelut/kalliosora/>

Kankare, T. Työmaapäällikkö. Swerock. Haastattelu 22.4.2021.

Kantola, P. Geologi. Mitta Oy. Puhelinhaastattelu 23.4.2021.

Kiviaines. N.d. Viitattu 2.2.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines/>

Konnekuljetus raportoi kaikkien kuljetustensa päästöt. 2021. Konnekuljetus Oy. Lehdistötiedote. Viitattu 10.4.2021.

Maa-ainesten ottaminen. 2021. Suomen ympäristökeskus SYKE. Viitattu 10.4.2021.
https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Luonnonvarojen_kestava_kaytto/Maaainesten_ottaminen

Maa-ainesten ottaminen. Päivitetty 30.3.2021. Viitattu 23.4.2021. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Luonnonvarojen_kestava_kaytto/Maaainesten_ottaminen

Martinsson. P. 2021. Teknicspecialist. Swerock. Sähköpostihaastattelu 6.4.2021.

Murskaimet. N.d. <https://www.metso.com/fi/tuotteet/murskaimet/>

Parikka, K. 2006. Maa-ainesvero. Viitattu 20.4.2021. [SY_4_2006.pdf \(helsinki.fi\)](#)

Rakentamisen päästötietokanta. N.d. <https://co2data.fi/>

Rosti, H. Työmaapäällikkö. Swerock. Haastattelu 11.4.2021.

Saarinen, E. 2021. Kiertotalouden edistämishjelma esittää rajoja luonnonvarojen käytölle.

<https://www.uusiouutiset.fi/kiertotalouden-edistamisohjelma-esittaa-rajoja-luonnonvarojen-kaytolle/>

SFS-EN 12620 + A1. 2009. Betonikiviainekset. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 932-1. 2003. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Näytteenottomenetelmät. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 932-2. 2000. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Laboratorionäytteiden jakaminen. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 933-1. 2013. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Suomen standardisoimisliitto.

Skatteverket. Skatt på naturgrus. 2021. Viitattu 10.4.2021. <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/naturgrus.4.18e1b10334ebe8bc80005337.html>

Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. BY 43 Betoninormit 2018. Vaasa: Oyfram AB.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. BY 65 Betoninormit 2016. Vaasa: Oyfram AB.

Swerock.fi. N.d. Viitattu 25.4.2021. <https://swerock.fi/>

Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa. 2010. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 20.4.2021. [SY25_2010.pdf \(helsinki.fi\)](#)

Liitteet

Salainen.