



Pekka Rajala

**POHJOIS-SUOMEN ENERGIA-, KAIVOS- JA PAPERITEOLLI-
SUUDEN SIVUTUOTTEET SIDEAINEINA KAIVOSTÄYTÖISSÄ JA
METSÄAUTOTEISSÄ**

**POHJOIS-SUOMEN ENERGIA-, KAIVOS- JA PAPERITEOLLI-
SUUDEN SIVUTUOTTEET SIDEAINEINA KAIVOSTÄYTÖISSÄ JA
METSÄAUTOTEISSÄ**

Pekka Rajala
Opinnäytetyö
Syksy 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talonrakennus

Tekijä: Pekka Rajala

Opinnäytetyön nimi: Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuuden sivutuotteet sideaineina kaivostäytöissä ja metsäautoteissä

Työn ohjaaja: Rauno Turunen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2012

Sivumäärä: 28 + 2 liitettä

Teollisuudessa syntyvien sivutuotteiden käyttömahdollisuuksia tutkitaan nykyisin suuressa määrin niin talous- kuin ympäristötekijöidenkin vuoksi. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuuden sivutuotteiden käyttömahdollisuutta metsäautoteiden ja kaivostäytöjen sideaineena puristuslujuuden näkökulmasta. Opinnäytetyö oli osa Kainuun Etu Oy:n ja Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion teettämää tutkimushanketta.

Opinnäytetyön alussa tilaaja valitsi sideainetutkimuksessa käytettävät raaka-aineet ja suunnitteli sideaineiden koostumukset. Valintaperusteina olivat tilaajan selvittämät lujuudelliset ja taloudelliset tekijät. Raaka-aineiksi valikoitiin turvepohjainen lentotuhka, rikastushiekka, metakaoliini, dolomiittikalkki ja OPA-sakka.

Opinnäytetyön käytännön osuus käynnistettiin massojen valmistuksella. Seuraavaksi määritettiin koekappaleiden tiheys ja lopulta puristuslujuus kolmessa eri ikävaiheessa. Kaikki käytännön työvaiheet tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa kesän 2012 aikana.

Tutkimuksessa todettiin, että edellä mainittujen teollisuusalojen sivutuotteita voidaan käyttää sideaineena yhdessä sementin kanssa metsäautoteissä ja kaivostäytöissä. Metsäautoteiden lujuusvaatimus 0,5 - 2,0 MPa täyttyi kahdeksan massan osalta. Näistä massoista kolme täytti myös kaivostäytöjen lujuusvaatimuksen 2,8 - 3,3 MPa. Sideainetutkimuksessa valmistettiin yhteensä 17 sideaineeltaan erilaista massaa. Yhdeksän massaa ei saavuttanut vaadittuja lujuusvaatimuksia.

Tuloksista kävi ilmi, että muuttamalla runkoaineen kokoa ja sideaineseoksia voitaisiin myös vaatimukset alittavien massojen osalta päästä metsäautoteiden lujuusvaatimusten tasolle. Tulevaisuudessa on tärkeää tutkia sideaineita myös käytännön olosuhteissa.

Asiasanat: Sideaine, puristuslujuus, sivutuote, metsäautotie, kaivostäyttö

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Construction Technology

Author: Pekka Rajala

Title of thesis: Gangue minerals from Northern Finland's Energy, Mining and Paper Industry as Addition in Backfills and Tote Roads

Supervisor: Rauno Turunen

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2012

Pages: 28 + 2 appendices

Industry produces many gangue minerals. Using these minerals sensibly is a problem in these days because environmental control is undergoing many changes. The goal of this thesis was to research gangue minerals from Northern Finland's energy, mining and paper industry as addition in backfills and tote roads. The main purpose was to find a mineral mixture that gains the required strength test results. This thesis is a part of a research project which Kainuun Etu Ltd. has commissioned from Oulu University of Applied Sciences.

The materials and the type of mixtures that would be used in this research were selected at the beginning of this thesis. The Mixtures of additions were chosen on the grounds of economical and the assumed strength factors. In this thesis it was decided to use fly ash, tailings, dolomite chalk, metakaolin and OPA-sediment as addition.

The practical part of the thesis included mass making, determination of density and strength testing in three phase of life. All practical parts were carried out during summer 2012 in the construction laboratory of Oulu University of Applied Sciences.

According to the results of the compressive tests, the above-named gangue minerals can work as addition together with cement. However, these materials do not achieve the backfill or tote road strength requirements if they are used without cement.

In the future it would be important to carry on laboratory testing before proceeding to actual circumstances. Some researching task could be to modify the mixture of additions and aggregate.

Keywords:

Compressive strength, backfill, tote road, gangue mineral, addition

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 SIDEAINETUTKIMUKSEN RAAKA-AINEET	8
2.1 Teollisuuden sivutuotteet	8
2.1.1 Lentotuhka	9
2.1.2 OPA-sakka	9
2.1.3 Magnesiittihiekka	9
2.2 Muut raaka-aineet	10
2.2.1 Valkosementti	10
2.2.2 Metakaoliini	10
2.2.3 Dolomiittikalkki	11
2.2.4 GP-reseptien raaka-aineet	11
2.2.5 Runkoaine ja vesi	11
3 SIDEAINEIDEN MAHDOLLISET KÄYTTÖKOHTEET	12
3.1 Käyttökohteiden valinta	12
3.2 Kaivostäytöt	12
3.3 Metsäautotiet	13
4 MASSOJEN KOOSTUMUS, VALMISTUS JA TESTAUS	14
4.1 Massan koostumus	14
4.2 Massan valmistus	15
4.2.1 Notkeuden määrittäminen	16
4.2.2 Muotin täyttö	17
4.2.3 Tasoitus ja jälkihoito	18
4.3 Muotin purku ja tiheyden määrittäminen	18
4.4 Puristuslujuuden määrittäminen	19
5 SIDEAINETUTKIMUKSEN TESTAUSTULOKSET	21
5.1 Notkeus	21
5.2 Tiheys	21
5.3 Puristuslujuus	21

6 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26
LIITE 1. Työlomake	
LIITE 2. Kuivaseulonta	

1 JOHDANTO

Teollisuudelle asetetut ympäristövaatimukset ovat kiristyneet viime vuosina. Tämä opinnäytetyö on syntynyt tarpeesta kehittää riittävän yksinkertainen ja vaatimuksiltaan sopiva tapa uusiokäyttää Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuuden eri prosesseissa syntyviä sivutuotteita.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia edellä mainittujen teollisuusalojen sivutuotteiden käyttöä sideaineena kaivostäyttöissä ja metsäautoteissä. Tässä opinnäytetyössä tutkittavia Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuudessa syntyviä sivutuotteita ovat magnesiittihiekka, OPA-sakka ja turvepohjainen lentotuhka. Lisäksi osassa tutkimuksen sideaineista käytetään myös metakaoliinia, dolomiittikalkkia ja valkosementtiä.

Opinnäytetyössä pyritään löytämään sideaineeksi sekä lujuudellisesti että taloudellisesti riittävän hyvä yhdistelmä edellä mainittuja ainesosia. Sideaineiden koostumukset määritetään tilaajan suunnitelmien mukaisesti. Suunnittelun apuna käytetään Oulun yliopiston kemian alan asiantuntijoita.

Sideaineesta, runkoaineesta ja vedestä valmistetaan massoja. Massojen notkeus määritetään iskupöydällä käyttökohteisiin sopivaksi. Massoista tehdään koekappaleita sullomalla ne prismamuotteihin. Lujittumisen jälkeen muotit puretaan ja koekappaleille määritetään tiheys sekä puristuslujuudet kolmessa eri ikävaiheessa.

Sideainetutkimuksessa keskitytään massoista valmistettujen koekappaleiden puristuslujuuksien kehittymiseen. Lujuuksia vertaillaan kaivostäyttöjen ja metsäautoteiden lujuusvaatimuksiin.

Opinnäytetyö on osa Kainuun Etu Oy:n ja Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion teettämää tutkimushanketta. Kainuun Etu Oy on Kainuun kuntien omistama maakunnallinen elinkeinotoiminnan kehittämissyhtiö.

2 SIDEAINETUTKIMUKSEN RAAKA-AINEET

Kainuun Etu Oy:n tilaama sideainetutkimus tehtiin Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuudessa syntyvien sivutuotteiden hyötykäyttöä ajatellen. Tutkimuksessa pyrittiin yhdistämään tilaajan ja Oulun seudun ammattikorkeakoulun tietotaidot mahdollisimman hyvin, jotta saavutettaisiin luotettavia tutkimustuloksia. Yksi tutkimuksen tärkeimmistä tekijöistä oli raaka-aineiden valinta.

Sideainetutkimuksen raaka-aineet valittiin tilaajan toimesta teollisuusyritysten sivutuotteiden ja jätteiden uusiokäyttöä ajatellen. Raaka-aineiden valintaan vaikuttivat pääasiassa sivutuotteiden syntymismäärä ja niistä teollisuusyrityksille aiheutuvat ongelmat, jotka ovat pääasiallisesti taloudellisia ja ympäristöllisiä (1, s. 9).

Muut sideaineissa käytettävät materiaalit, jotka eivät ole varsinaisia teollisuusjätteitä, valittiin niiden hyvien ominaisuuksien kuten pozzolaanisuuden ja hyvän saatavuuden vuoksi. Pozzolaanisuus on aineen kykyä reagoida vapaan kalsiumoksidin (CaO) tai kalsiumhydroksidin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kanssa muodostaen kalsiumsilikaattia (Ca_2SiO_4), jolla on sitovia ominaisuuksia (2, s. 4).

Kaikki raaka-aineet käsiteltiin siten, että niiden soveltuvuus sideaineeksi tai sen osa-aineeksi olisi mahdollisimman optimaalinen. Vaaditut käsittelyt teetettiin tilaajan toimesta Oulun yliopiston laboratoriossa yhdessä kemian alan asiantuntijoiden kanssa. Raaka-aineille suoritettuja käsittelyjä olivat muun muassa lämpökäsittely ja suihkujauhatus.

Varsinaiset massat, joilla sideaineiden toimintaa testattiin, sisälsivät myös runkoainetta sekä Oulun kaupungin vesijohtovettä. Runkoaineena käytettiin kiviainesta, maksimiraekooltaan 2 mm.

2.1 Teollisuuden sivutuotteet

Sideaineiden koostumus suunniteltiin tarkasti ennen massojen valmistusta. Sideaineissa päätettiin käyttää eniten Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuudessa syntyviä sivutuotteita. Kyseisiä raaka-aineita ovat turvepohjainen lentotuhka, OPA-sakka ja magnesiittihiekka.

2.1.1 Lentotuhka

Lentotuhka on energiantuotannossa sivutuotteena syntyvä mineraalinen materiaali, jolla on pozzolaanisia ominaisuuksia. Tässä insinööriyössä käytettävä Kainuun Voima Oy:n lentotuhka on syntynyt poltettaessa turvetta, puuta ja jätteitä ja se on suihkujauhettu raekooltaan noin 0 - 30 µm:n kokoiseksi jauheeksi. (3, s. 40.)

Turvepohjainen lentotuhka erotetaan savukaasuista esimerkiksi sähkö- tai letkusuodattimilla ja varastoidaan tarpeen mukaisesti. Turvepohjainen lentotuhka on usein ongelmajätettä. Riippuen teollisuuslaitoksesta, se saattaa sisältää kriittisiä metalleja, kuten arseeni, elohopea, lyijy, kadmium ja kromi sekä antimoni. Tämän vuoksi turvepohjaista lentotuhkaa ei voida käyttää luokkien I ja II pohjavesialueilla. Muuten turvepohjaista lentotuhkaa voidaan käyttää esimerkiksi tie-, kenttä- ja piharakenteissa. (4, s. 3-11.)

2.1.2 OPA-sakka

OPA-sakka on Oulun Stora Enso Oyj:n paperitehtaan jätevedenpuhdistamon lietettä. Se syntyy jäteveden esiselkeytyksessä ja koostuu pääasiassa kalsiumkarbonaatista (CaCO₃) ja selluloosakuidusta. Noin 85 % OPA-sakasta sisältää kalsiumkarbonaattia ja 15 % selluloosakuitua. (5, s. 4.)

Tilaajan toimittama OPA-sakka käsiteltiin aluksi Oulun yliopiston laboratoriossa termisesti lämpötilassa 900 °C. Lopulliseen käyttötilaan se saatiin suihkujauhalla raaka-aine jauheeksi noin 0 - 30 µm:n raekokoon.

2.1.3 Magnesiittihiekka

Magnesiittihiekka eli toisin sanoen rikastushiekka on kaivosteollisuudessa syntyvää sivutuotetta. Rikastushiekka koostuu harmemineraaleista eli malmeista, joita ei taloudellisesti haluta hyödyntää. Se sisältää usein myös prosessivettä, prosessikemikaaleja ja jonkin verran haluttuja mineraaleja, joita ei ole saatu talteen. (6, s. 37.)

Kaivosteollisuusyrityksille rikastushiekka on ongelmallista sivutuotetta. Sisältäessään sulfidimineraaleja, rikastushiekka voi hapettumisen seurauksena muo-

dostaa happamia, metallipitoisia kaivosvesiä, jotka levitessään ympäristöön aiheuttavat pinta- tai pohjavesien laadun heikentymistä. Rikastushiekka läjitetään yleensä sille varatulle alueelle ja sitä käytetään myös louhostäytöissä. (7, s. 7-8.)

Tässä opinnäytetyössä käytettävä magnesiittihiekka on peräisin Mondo Minerals Oy:n Sotkamon tuotantoyksiköstä. Se on käsitelty termisesti lämpötilassa 700 °C ja suihkujauhettu jauheeksi noin 0 - 30 µm:n raekokoon.

2.2 Muut raaka-aineet

Muita sideaineissa hieman pienempinä osuuksina käytettäviä raaka-aineita olivat valkosementti, metakaoliini, dolomiittikalkki, kalsiumkarbonaatti (CaCO₃), natriumhydroksidi (NaOH), natriumsilikaatti (NaSiO₃) ja Oulun kaupungin vesijohtovesi. Runkoaineena massoissa käytettiin kiviainesta, raekooltaan 0 - 2 mm.

2.2.1 Valkosementti

Valkosementti valittiin yhdessä tilaajan kanssa sopivaksi sideaineeksi vertailumassaan ja osittain myös muutamiin muihin massoihin. Valkosementti on rakennusteollisuudessa käytettävä värillisten elementtien ja betonituotteiden sideaine. Tässä sideainetutkimuksessa käytettiin Finnsementti Oy:n valmistamaa CEM I luokan nopeasti kovettuvaa portlandsementtiä, jota oli käytössä ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. (8, s. 1.)

2.2.2 Metakaoliini

Metakaoliinia käytettiin muutamissa massoissa pieninä määrinä sideaineena. Se on kaoliini-mineraalista termokäsittelyllä valmistettava pozzolaaninen aine, jonka on todettu reagoivan lujutta lisäävästi käytettäessä esimerkiksi sementin ja lentotuhkan kanssa (9, s. 3). Tilaaja toimitti metakaoliinin suihkujauhettuna noin 0 - 30 µm:n raekokoon. Ennen jauhatusta materiaali poltettiin 700 °C:n lämpötilassa.

2.2.3 Dolomiittikalkki

Dolomiittikalkkia käytettiin yhdessä testimassassa sideaineena. Se on pääasiassa kalsiummagnesiumkarbonaattia ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), jota käytetään esimerkiksi rakennusteollisuudessa antamassa lisälujuutta. Dolomiittikalkkia käytetään myös maanparannusaineissa maatalouskalkkina vähentämässä maaperän happamuutta. (10, s. 5-9.)

Tilaaajan toimittama dolomiittikalkki tuotiin rakennuslaboratorioon lämpökäsiteltyinä lämpötilassa 700 °C ja suihkujauhettuna noin 0 - 30 µm:n raekokoon. Dolomiittikalkki oli peräisin Juuan Dolomiittikalkki Oy:n Paltamon louhokselta.

2.2.4 GP-reseptien raaka-aineet

Toisessa vaiheessa niin sanotuissa GP-resepteissä runkoaineeseen ja veteen sekoitettiin myös kalsiumkarbonaattia (CaCO_3), natriumhydroksidia (NaOH) ja natriumsilikaattia (NaSiO_3). Kyseiset ainesosat löytyivät ammattikorkeakoulun omista varastoista.

Näitä ainesosia käytettiin muodostamaan geopolymeerisidoksia, joilla on lujuutta lisäävä vaikutus. Niin sanottuun geopolymeroitumisreaktioon perustuvat myös metakaoliinin ominaisuudet. (11, s. 27.)

2.2.5 Runkoaine ja vesi

Runkoaineena massoissa käytettiin Rudus Oy:ltä hankittua kiviainesta, raekooltaan 0 - 2 mm. Kiviaines kuivaseulottiin standardissa SFS-EN 993-1 esitetyn ohjeen mukaisesti (12, s. 8). Seulonnasta saadut tulokset ja rakeisuuskäyrä ovat nähtävissä liitteessä 2.

Vettä käytettiin massoissa tarpeen mukaan siten, että saatiin niistä työstettäviä. Vetenä käytettiin Oulun kaupungin vesijohtovettä. Veden käyttöä säädeltiin määrittämällä massan notkeus iskupöydällä standardin SFS-EN 1015-3 mukaisesti.

3 SIDEAINEIDEN MAHDOLLISET KÄYTTÖKOHTEET

3.1 Käyttökohteiden valinta

Sideaineiden mahdolliset käyttökohteet rajattiin yhdessä tilaajan kanssa ennen käytännön työskentelyn aloitusta. Käyttökohteiden rajauksella pyrittiin löytämään Pohjois-Suomen teollisuusyrityksille hyvin soveltuva tapa uusiokäyttää tai siirtää jatkokäsittelyyn syntyneet sivutuotteet.

Käyttökohteiden valinnassa tärkeänä tekijänä pidettiin materiaalien vähäistä kuljetusmatkaa, riittävän yksinkertaista jatkokäsittelyä ja alhaisia lujuusvaatimuksia. Lisäksi huomioitiin myös teollisuusyritysten oma mahdollinen hyödynäkökohta käytettäessä sideaineita heille keskeisiin kohteisiin.

Sideaineiden käyttömahdollisuuksia päädyttiin tarkastelemaan kaivostäytöissä ja metsäautoteissä. Niiden kohdalla keskityttiin ainoastaan lujuusvaatimusten täyttymiseen.

3.2 Kaivostäytöt

Kaivostäytöillä tarkoitetaan materiaalin palautusta malmion tyhjäksi louhittuihin osiin. Useimmiten kaivostäytöissä käytetään sekundäärisiä materiaalivirtoja. Kaivostäyttötapoja ovat esimerkiksi suurelta osin sivukivestä koostuva yleinen kaivostäyttö sekä homogeenisempi ja enemmän sideainetta sisältävä pastatäyttö. (13, s. 48; 14, s. 28.)

Kaivostäytöillä varmistetaan esimerkiksi maaperän vakautta ja vähennetään maanalaisten osien painumista. Lisäksi täytöillä voidaan tukea malmion kattoa ja järjestää vaihtoehto maanpäälliselle loppusijoitukselle. Kaivostäytöt vaihtelevat louhintamenetelmien mukaisesti. Louhintamenetelmiä ovat esimerkiksi pilaari-, välitaso- ja pengerialouhinta. (13, s. 48; 15, s.178–179.)

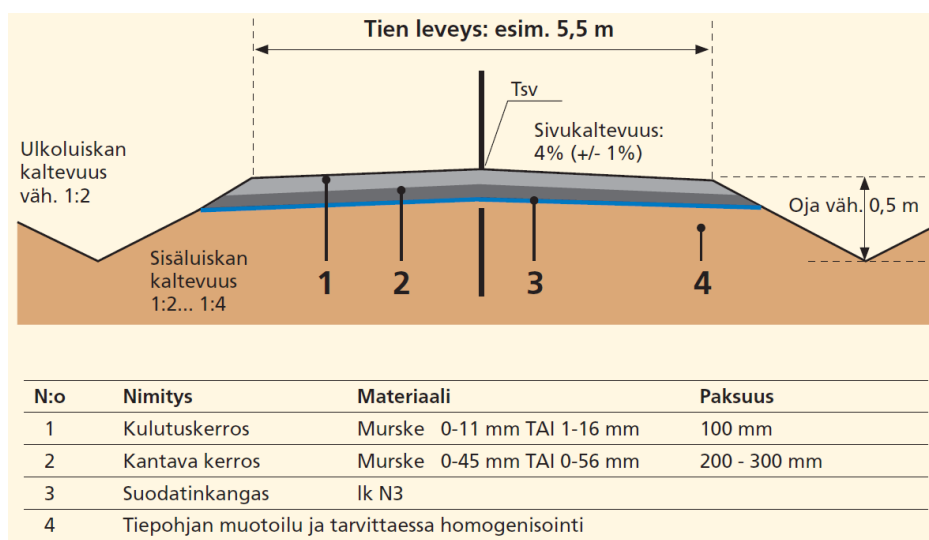
Kaivostäyttöjen lujuusvaatimukset vaihtelevat riippuen muun muassa käyttökohteista, olosuhteista ja varmuuskertoimista. Yleisesti voidaan puristuslujuuden osalta sanoa vaadittujen lujuuksien olevan 28 vuorokauden iässä välillä 0,5 - 3,0 Mpa. Laboratorio-olosuhteissa tehtävissä testauksissa tavoitellaan kuitenkin

puristuslujuuden arvoja 2,8 - 3,3 MPa. Näin huomioidaan mittakaavatekijä verrattuna kenttäolosuhteisiin. (16, s. 28.)

3.3 Metsäautotiet

Suomessa yksityisteitä on noin 360 000 km, joista rakennettujen metsäautoteiden osuus on arviolta 120 000 km ja muiden ajokelpoisten metsä- ja mökkiteiden osuus noin 110 000 km. Metsäautotiet ovat yksityisteitä, jotka on tarkoitettu käytettäväksi pääasiassa metsätalouden edellyttämiä kuljetuksia varten. Metsäautoteitä kutsutaan myös metsäteiksi, ja ne luokitellaan kolmeen alaluokkaan: runkotie, aluetie ja varsitie. (17, s. 5-9.)

Metsäautoteiden rakenne (kuva 1) koostuu rakennekerroksista, joita ovat tyypillisimmin kulutuskerros, kantava kerros, suodatinkangas ja muotoiltu pohjamaa (18, s. 123). Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tutkittavien sideaineiden mahdollista käyttöä metsäteiden kantavassa kerroksessa. Tarkastelu on rajattu ainoastaan lujuusvaatimukseen. Esimerkiksi routivuutta, tartuntaa tai käyttäytymistä veden kanssa ei huomioida. Lisäksi runkoaineena käytetään koekappaleiden koosta johtuen pientä kiviainesta.



KUVA 1. Esimerkki metsäautotien rakenteesta (17, s. 123)

Koekappaleiden puristuslujuudelle asetettiin tavoitelujuudeksi 28 vuorokauden iässä 0,5 - 2,0 MPa. Tavoite asetettiin entisen Tiehallinnon eli nykyisen Liikenneviraston ohjeistuksen perusteella (19, s. 39).

4 MASSOJEN KOOSTUMUS, VALMISTUS JA TESTAUS

Sideaineiden testausmenettelyissä selvitettiin koekappaleiden puristuslujuus 3, 7 ja 28 vuorokauden iässä massojen tekohetkestä laskettuna. Kunkin massan tiheys määritettiin välittömästi muotista purkamisen jälkeen.

Massat valettiin prismamuotteihin ja tärytettiin asianmukaisella tärypöydällä. Massojen valmistusvaiheessa tarkastettiin kunkin testimassan notkeus ensin silmämääräisesti ja sitten standardin SFS-EN 1015-3 mukaisesti iskupöydällä.

Sideaineen, runkoaineen ja veden määrä massoissa suunniteltiin tarkasti yhdessä tilaajan kanssa. Sideaineiden koostumukset päätti tilaaja.

Massat testattiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön rakennuslaboratoriossa. Notkeuden, tiheyden ja puristuslujuuden määrittämisessä käytettiin kalibroituja standardin mukaisia testauslaitteita.

4.1 Massan koostumus

Massoissa käytettävien raaka-aineiden valinnassa huomioitiin ennen kaikkea raaka-aineiden saatavuus ja taloudellisuus. Taulukossa 1 on esitetty vaiheen 1 sideaineiden koostumus prosenttiosuuksina.

TAULUKKO 1. Vaiheen 1 sideaineiden koostumus

Massat (1 vaihe)	%					
	Valkosementti	Lentotuhka	Magnesiitihiekka	Metakaoliini	OPA-sakka	Dolomiittikalkki
I (verrokki, K30)	100					
II			100			
III					100	
IV						100
V	50		50			
VI	50				50	
VII			50		50	
VIII	70	30				
IX		30	70			
X		30			70	
XI	23	30	23		24	
XII	25	25	25		25	
XIII	70	18		12		
XIV		18		12	70	

Vaiheen 1 sideaineiden koostumusten tavoitteena oli mahdollisimman onnistunut teknis-taloudellinen kokonaisuus. Kyseistä kokonaisuutta tavoiteltiin pääasiassa teollisuuden sivutuotteiden ja sementin sekoituksilla.

Taulukossa 2 on esitetty niin sanottujen GP-reseptien sideainekoostumukset prosenttiosuuksina. GP-reseptien sideaineissa sementin osuus pidettiin alhaisena. Lujittuminen pyrittiin saamaan aikaan kalsiumkarbonaatin, natriumhydroksidin sekä natriumsilikaatin geopolymeerisidosten avulla (luku 2.2.4).

TAULUKKO 2. GP-reseptien sideaineiden koostumus

GP-reseptit	%						
	Sementti	Lentotuhka	Metakaoliini	Kalsiumkarbonaatti	Natriumhydroksidi	Natriumsilikaatti	Vesi
XV	5	22		65	5	5	
XVI		60	10		5	5	20
XVII	7	80		7		6	

Lisäksi kaikkiin GP-reseptien ja vaiheen 1 massoihin lisättiin aina vakiomäärä (1780 g) raekooltaan 0-2 mm:n kiviainesta. Kiviainesmäärä päätettiin oletettavien lujuuksien ja massan riittävyden perusteella.

Massoihin lisättiin riittävä määrä vettä sopivan notkeuden saavuttamiseksi. Kaikkien massojen notkeus pyrittiin saamaan ensimmäisenä tehdyn vertailumassan kaltaiseksi. Vertailumassan sideaineena käytettiin ainoastaan sementtiä.

4.2 Massan valmistus

Massojen valmistuksessa käytettiin OAMK:n tiloista löytyviä tarvikkeita: kauhoja, astioita, tasoitusvälineitä, laastisekoitinta, iskupöytää, mittoja, vaakoja ja tärypöytää. Massat valettiin kooltaan 40 x 40 x 160 mm:n prismamuotteihin.

Massojen valmistus aloitettiin raaka-aineiden punnitsemisilla. Aluksi punnittiin kuiva-aineet ja kaadettiin ne laastisekoittimeen. Laastisekoitin käynnistettiin ja sekoitettiin kuiva-aineita hetki keskenään. Seuraavaksi punnittiin vesi, jonka lisääminen aloitettiin hiljalleen ja seurattiin massan reagointia sekä notkeutta.

4.2.1 Notkeuden määrittäminen

Kun massa näytti silmämääräisesti työstettävältä, sen notkeus määritettiin iskupöydällä. Jokaisen massan notkeus pyrittiin saamaan mahdollisimman samantyyppiseksi verrattuna ensimmäisenä tehtyyn vertailumassaan.

Notkeuden määrittämisessä käytettiin standardin SFS-EN 1015-3 mukaista tuoreen laastin notkeuden määrittästä iskupöydällä. Siinä metallinen kartio asetetaan keskeisesti puhdistetulle iskupöydälle. Kartio täytetään aluksi massalla puoleen väliin saakka ja tankosulloimella lyödään siihen 10 iskua. Sen jälkeen kartioon lisätään massaa siten, että koko kartio täyttyy. Jälleen lyödään sulloimella 10 iskua, minkä jälkeen tasoitetaan kartion yläpinta asianmukaisella tasoittimella (kuva 2). Kartio poistetaan ja iskupöytää pyöritetään 15 kierrosta nopeudella 1 kierros/sekunti. Leviämä mitataan ristimittauksella ja kahden tuloksen keskiarvo lasketaan. (20, s. 5-6.)



KUVA 2. Kartion pinnan tasoitus

Normaalisti betonin notkeuden määrittämisen tulokset käsitellään notkeusluokkien S1-S4 mukaisesti (21, s. 1). Tässä opinnäytetyössä saatuja notkeuden mittaus tuloksia ei kuitenkaan verrata normaalin betonin notkeuden määrittämiseen.

4.2.2 Muotin täyttö

Kun massa saatiin työstettävyyden kannalta riittävän notkeaksi, se sullottiin tärytyspöytään kiinnitettyyn prismamuottiin. Muotin täyttö tehtiin kahdessa vaiheessa.

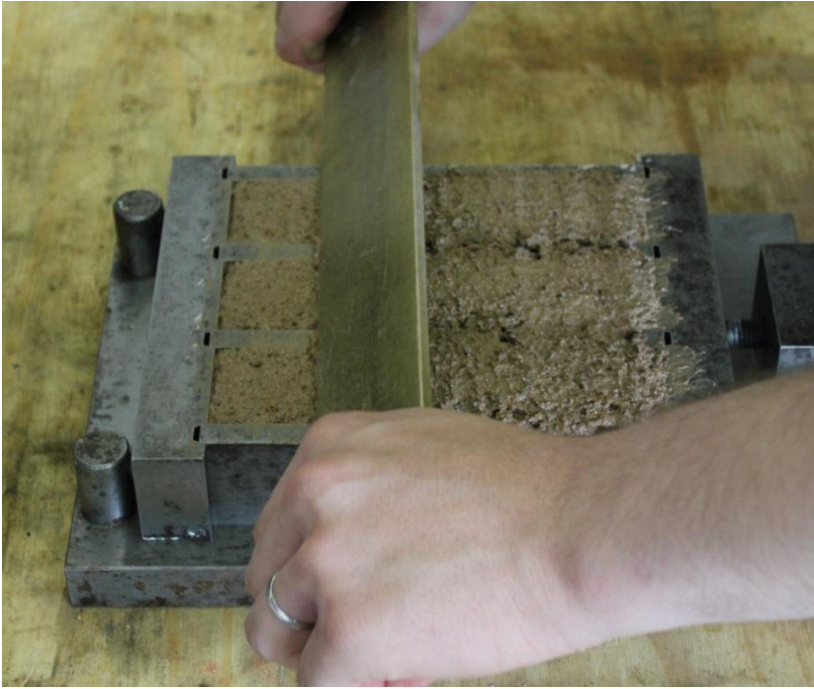
Ensimmäinen täyttö tehtiin muotin puoleen väliin saakka (kuva 3). Seuraavaksi tärypöytä käynnistettiin 60 sekunniksi, minkä jälkeen muottiin lisättiin puuttuva osa massaa. Lopuksi tärypöytä käynnistettiin uudelleen 60 sekunniksi.



KUVA 3. Prismamuotin täyttöä

4.2.3 Tasoitus ja jälkihoito

Muotin täytön ja tärytyksen jälkeen prismamuotti poistettiin tärytyspöydästä ja jätettiin hetkeksi kostean astian alle odottamaan tasoitusta. Lopulta prismojen pinnat tasoitettiin huolellisesti (kuva 4).



KUVA 4. Prismojen pinnan tasoitusta

Ennen muottien purkamista tulevat koekappaleet jätettiin säilytykseen kostean astian alle. Astia on erikseen valmistettu ja suunniteltu pitämään hyvin kosteutta sisällään.

4.3 Muotin purku ja tiheyden määrittäminen

Muotit purettiin mahdollisuuksien mukaan heti, kun massat olivat riittävästi lujittuneet ja vaikuttivat kestävästi purkamisen. Muottien purkaminen tehtiin varovaisesti kumivasaran ja ruuvipuristimen avulla. Kaikki muotit purettiin viimeistään 7 vuorokauden kuluttua, vaikka massat eivät olleetkaan lujittuneet testauskelpoiksi.

Muottien purkamisen jälkeen kullekin massalle määritettiin tiheys vesipunnituksen avulla. Tiheys laskettiin kaavalla 1.

$$\rho = \frac{m_i}{(m_i - m_v)} * \rho_n$$

KAAVA 1

m_i = kappaleen massa ilmassa punnittuna (kg)

m_v = kappaleen massa vedessä punnittuna (kg)

ρ_n = nesteen tiheys (kg/m³)

ρ = kappaleen tiheys (kg/m³)

Koekappaleet säilytettiin ennen muottien purkamista kostean muoviasian suojassa. Muottien purkamisen jälkeen prismat säilytettiin testauspäivään saakka huoneen lämpöisessä vesialtaassa rakennuslaboratoriossa. Testauspäivän aamuna kappaleet nostettiin puhtaalle alustalle kuivamaan puristuslujuuden testausta varten (kuva 5).



KUVA 5. Valmis koekappale, niin sanottu prisma

4.4 Puristuslujuuden määrittäminen

Koekappaleiden puristuslujuudet määritettiin 3, 7 ja 28 vuorokauden ikäisinä tekohetkestä. Osa massoista tehdyistä koekappaleista ei tuona aikana lujittunut riittävästi puristuslujuuden testausta varten.

Jokaisesta massasta, jotka lujittuivat riittävästi puristuslujuuden testausta varten, saatiin kolme koekappaleita eli yksi koekappale kuhunkin massan ikäluok-

kaan. Lisäksi jokainen koekappale katkaistiin keskeltä kahtia ennen testausta. Näin saatiin kaksi testaustulosta, joista laskettiin lujuudelle keskiarvo kaavalla 2.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

KAAVA 2

f_c = puristuslujuus

F = suurin kuorma murtohetkellä (N)

A_c = kuormituspinnan pinta-ala (mm²)

Koekappaleiden puristuslujuudet testattiin 400 kN:n kapasiteetin omaavalla Dartec-yleisaineenkoetuslaitteella, johon asennettiin vielä keskitetysti erillinen prismojen testaukseen tarkoitettu puristinkehikko (kuva 6). Puristinkehikon testauspinnan pinta-ala oli 40 x 40 mm.



KUVA 6. Puristuslujuuden testausta Dartec-laitteella

5 SIDEAINETUTKIMUKSEN TESTAUSTULOKSET

Sideainetutkimuksen testaustulokset olivat pääosin odotetun mukaisia. Notkeudet ja tiheydet olivat kaikkien massojen kesken hyvin lähellä samoja arvoja. Puristuslujuuksissa saatiin sen sijaan suuriakin eroja.

5.1 Notkeus

Notkeus määritettiin ensin silmämääräisesti ja lopulta iskupöydällä luvun 4.2.2 mukaisesti. Massojen notkeus saatiin pysymään välillä 47–61 mm. Kaikkien massojen notkeuden keskihajonnaksi saatiin 3,8 mm. Keskihajonta laskettiin kaavan 3 mukaisesti.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - k)^2}{n}}$$

KAAVA 3

s = keskihajonta

n = massojen määrä

x_i = yksittäisen massan notkeus

k = kaikkien massojen keskiarvo

5.2 Tiheys

Massojen tiheys määritettiin vesipunnituksen avulla heti muotista purkamisen jälkeen. Tiheydet laskettiin luvun 4.3 mukaisesti. Kaikkien testauskelvollisten massojen tiheydet olivat samaa suuruusluokkaa.

Suurin tiheyden arvo saatiin massalle XIII, 2206 kg/m³. Pienin arvo sen sijaan oli massalla VI, 2058 kg/m³. Vertailumassan I tiheydeksi saatiin 2130 kg/m³.

5.3 Puristuslujuus

Massoista noin puolet täytti niille asetetut vaatimukset puristuslujuuden suhteen. Kaikki massat, joissa sideaineena käytettiin yhdisteltynä valkosementtiä ja

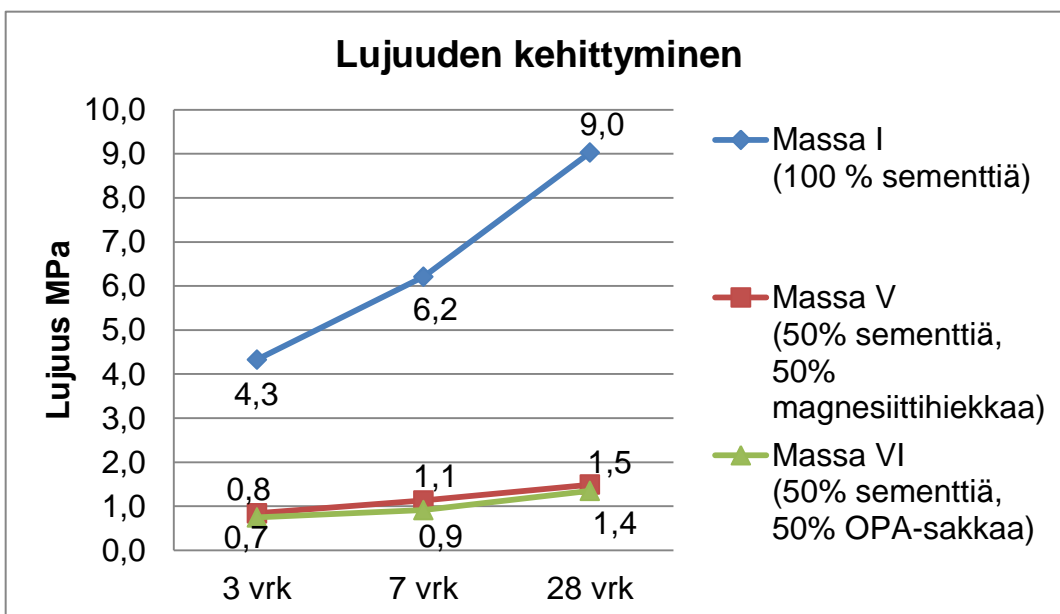
sideaineen koostumuksen suunnittelun mukaisesti (luku 4.1) muita raaka-aineita, täyttivät vähintään metsäautoteiden puristuslujuuden vaatimukset (luku 3.2). Kyseiset vaatimukset täyttyivät selvästi. Massoista VIII ja XIII täyttivät lisäksi myös kaivostäyttöjen puristuslujuuden vaatimukset (luku 3.1).

Sen sijaan massat, joissa käytettiin sideaineena OPA-sakkaa, turvepohjaista lentotuhkaa, magnesiittihiekkaa ja dolomiittikalkkia, eivät yksinään tai toisiinsa sekoitettuna saavuttaneet metsäautoteiden eivätkä kaivostäyttöjen vaatimusten mukaisia puristuslujuuksia. Yhteenveto kaikista testaustuloksista on esitetty taulukossa 3. Taulukon kohdat, joissa ei ole lukuarvoa, eivät olleet riittävän lujia testattavaksi.

TAULUKKO 3. Testaustulosten yhteenveto

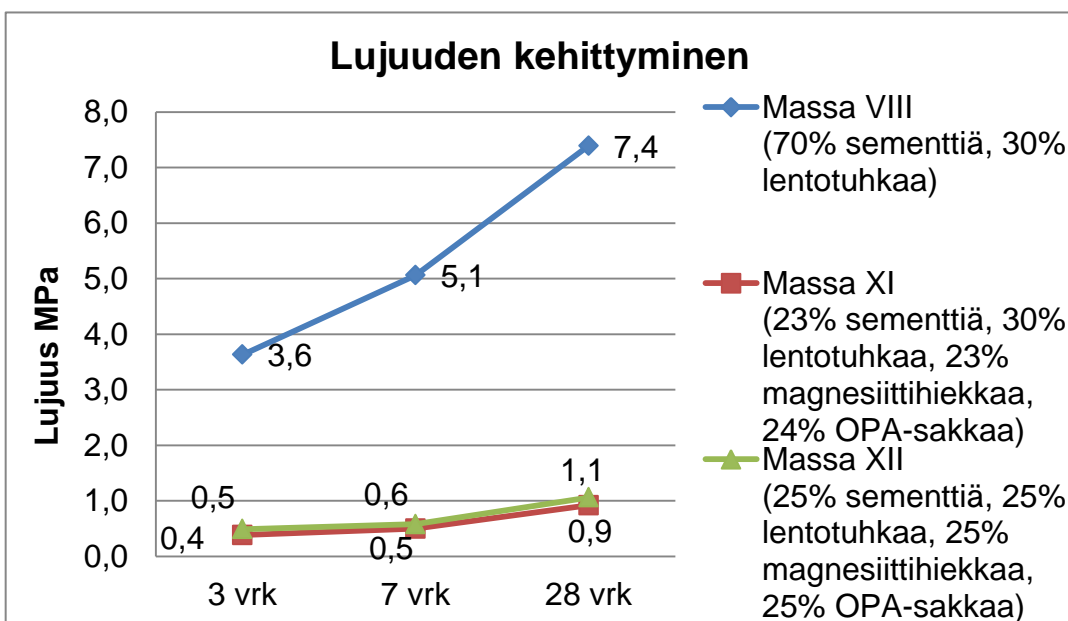
YHTEENVETO							
Massa-tunnus	Tehty (pvm.)	Purettu (pvm.)	Lujuus (N/mm ²)			Tiheys (kg/m ³)	Notkeus (mm)
			3-vrk.	7-vrk.	28-vrk.		
I	26.6.2012	27.6.2012	4,3	6,2	9,0	2130	54
II	29.6.2012	3.7.2012	-	-	-	-	52
III	26.6.2012	3.7.2012	-	-	-	-	45
IV	26.6.2012	3.7.2012	-	-	-	-	47
V	29.6.2012	2.7.2012	0,8	1,1	1,5	2190	53
VI	29.6.2012	2.7.2012	0,8	0,9	1,4	2060	61
VII	2.7.2012	9.7.2012	-	-	-	-	50
VIII	2.7.2012	5.7.2012	3,6	5,1	7,4	2160	53
IX	2.7.2012	9.7.2012	-	-	-	-	50
X	3.7.2012	9.7.2012	-	-	-	-	48
XI	3.7.2012	6.7.2012	0,4	0,5	0,9	2180	55
XII	3.7.2012	6.7.2012	0,5	0,6	1,1	2100	48
XIII	6.7.2012	9.7.2012	3,6	4,6	7,6	2210	56
XIV	9.7.2012	16.7.2012	-	-	-	-	51
XV	13.7.2012	16.7.2012	-	0,3	-	2180	50
XVI	6.7.2012	9.7.2012	-	-	-	-	53
XVII	13.7.2012	16.7.2012	0,6	0,7	0,6	2160	49

Tuloksien perusteella on vaikea sanoa, mikä teollisuuden sivutuotteista näyttäisi parhaiten toimivan yhdessä sementin kanssa. Sementtimäärän osuus sideaineessa näyttää lähes jokaisessa massassa määräävän sen puristuslujuuden. Kuvassa 7 on esitetty massojen I, V ja VI lujuuden kehittyminen 28 vuorokauden aikana sekä sideaineiden koostumus.



KUVA 7. Lujuuden kehittyminen 28 vuorokauden aikana

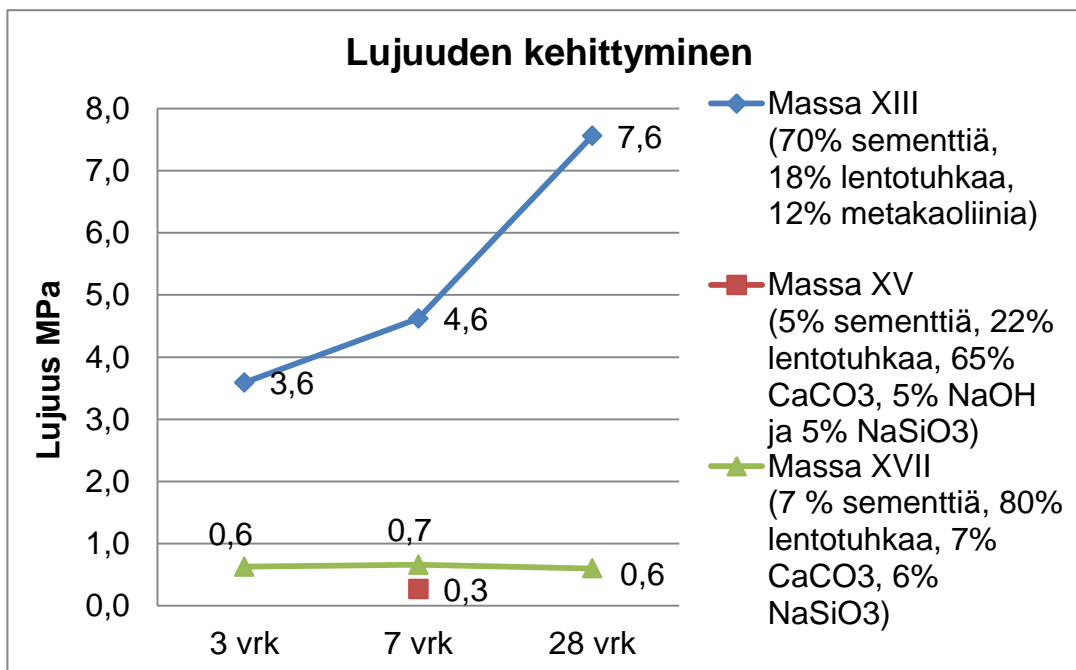
Vertailumassan I sideaine sisälsi pelkästään sementtiä. Kyseisen massan puristuslujuudeksi saatiin 28 vuorokauden iässä 9,0 MPa. Lujuus kehittyi 3 vuorokauden testauksesta noin kaksinkertaiseksi. Massan V sideaine sisälsi 50 % sementtiä ja 50 % magnesiittihiekkaa. Massan VI sideaine oli sementtimäärältään sama, mutta sisälsi 50 % OPA-sakkaa. Massojen V ja VI 28 vuorokauden puristuslujuudeksi saatiin 1,5 ja 1,4 MPa. Samanlaisiin lujuuksiin päästiin myös massojen XI ja XII osalta, joiden lujuuden kehittyminen on esitetty kuvassa 8. Lisäksi kuvassa on esitetty massan VIII lujuuden kehittyminen ja sideaineiden koostumus.



KUVA 8. Lujuuden kehittyminen 28 vuorokauden aikana

Massat XI ja XII olivat sideaineiltaan hyvin samanlaisia. Sideaineet koostuivat tasaisesti OPA-sakasta, sementistä, turvepohjaisesta lentotuhkasta ja magneesiitihiekasta. Myös massojen lujuudet olivat lähes samat kaikkina testausajan-kohtina. Massan XI 28 vuorokauden puristuslujuus oli 0,9 MPa ja massan XII vastaava lujuus 1,1 MPa.

Massan VIII puristuslujuudeksi 28 vuorokauden iässä saatiin 7,4 MPa. Kyseinen massa oli puristuslujuudeltaan kaikki massat huomioiden kolmanneksi lujin. Massan sideaine sisälsi 70 % sementtiä ja 30 % turvepohjaista lentotuhkaa. Vertailumassan I jälkeen toiseksi lujimmaksi massaksi 28 vuorokauden aikana kehittyi massa XIII, jonka lujuuden kehitys on esitetty kuvassa 9. Lisäksi kuvassa on esitetty ns. GP-resepteillä tehtyjen massojen XV ja XVII lujuuden kehitys sekä sideaineiden koostumus.



KUVA 9. Lujuuden kehittyminen 28 vuorokauden aikana

Massat XV ja XVII valmistettiin ns. GP-resepteinä (luku 2.2.4). Kyseisten massojen lujuudet jäivät melko alhaisiksi. Massan XVII puristuslujuus 28 vuorokauden iässä oli 0,6 MPa. Massa XV saavutti testaukseen riittävän lujuuden ainoastaan 7 vuorokauden iässä. Massan XIII 28 vuorokauden puristuslujuus oli 7,6 MPa. Kyseisen massan sideaine sisälsi 70 % sementtiä, 18 % turvepohjaista lentotuhkaa ja 12 % metakaoliinia.

6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, voiko Pohjois-Suomen energia-, kaivos- ja paperiteollisuuden sivutuotteita käyttää lujuusominaisuuksiensa puolesta sideaineena kaivostäytöissä tai metsäautoteissä. Tavoitteena oli löytää sideainesekoitus, joka sopisi sekä lujuudellisesti että taloudellisesti edellä mainittuihin tarkoituksiin.

Opinnäytetyössä käytetyistä teollisuuden sivutuotteista parhaiten osana sideainetta toimivat magnesiittihiekka, OPA-sakka ja turvepohjainen lentotuhka. Metsäautoteiden sideaineiden vähimmäislujuusvaatimus 0,5 MPa täyttyi niiden massojen osalta, joissa sideaineesta vähintään 23 % oli sementtiä ja loput sivutuotteita. Vertailumassan lisäksi kaksi massaa täyttivät myös kaivostäyttäjien lujuusvaatimukset (luku 3.1). Näiden massojen sideaineesta 70 % oli sementtiä ja loput sivutuotteita massasta riippuen.

Edellä mainituilla sivutuotteilla ei pelkästään toisiinsa sekoitettuna tai yksinään käytettynä saavuteta vaatimusten mukaista lujuutta kaivostäyttäjien tai metsäautoteiden sideaineena. Kuitenkin jo pienilläkin muutoksilla voitaisiin myös alittavien massojen osalta saavuttaa metsäautoteiden vähimmäislujuusvaatimus. Keinoja lujuuden parantamiseksi voisivat olla runkoaineen raekoon ja sideainemäärän kasvattaminen. Lisäksi sideaineissa käytettävät sivutuotteet voitaisiin jauhaa raekooltaan vielä hienommaksi.

Tässä opinnäytetyössä tutkitut sideainesekoitukset vaativat jatkotutkimuksia. Tulevaisuudessa yhä tarkempien laboratoriotutkimusten jälkeen on syytä siirtyä kenttäolosuhteisiin. Sideaineiden ympäristövaikutukset sekä toimivuus käytännön olosuhteissa tulisi varmistaa mahdollisimman monipuolisesti ja riittävän pitkällä aikavälillä. Käyttökohteita tarkentamalla voidaan kaikille sideaineille löytää sopiva käyttötarkoitus.

LÄHTEET

1. Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. 2011. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=134447&lan=fi>. Hakupäivä 5.6.2012.
2. Lentotuhkan käyttö betonissa. 2007. Betoniyhdistys. Saatavissa:
http://www.betoniyhdistys.fi/index.php?__EVIA_WYSIWYG_FILE=634&name=file. Hakupäivä 5.6.2012.
3. Turunen, Tatu – Sallmén, Mari – Meski, Saana – Ritvanen, Unto – Partanen, Esa 2008. Oulun läänin alueellinen jätesuunnitelma. Kainuun ympäristökeskus ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus.
4. Lentotuhkaohje. 2008. Rudus. Saatavissa:
<http://www.rudus.fi/Download/24255/Lentotuhka-ohje.pdf>. Hakupäivä 5.6.2012.
5. Voimalaitostuhkien loppusijoittaminen. 2007. Pöyry Oyj. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=65410&lan=fi>. Hakupäivä 5.6.2012.
6. Himmi, Matti 2007. Kaivosteollisuuden rikastushiekan ja sivukivien BAT-vertailuasiakirjan sanasto. Suomen ympäristökeskus.
7. Heikkinen, Päivi 2009. Active sulphide mine tailings impoundments as sources of contaminated drainage: controlling factors, methods of characterisation and geochemical constraints for mitigation. Turku: Turun yliopisto, geologian laitos. Väitöskirja.
8. Sementtituotteet. 2012. Finnsementti. Saatavissa:
<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/sementit>. Hakupäivä 6.6.2012.

9. Annala, Elina 2011. Metakaoliinin käyttö stabiloinnin sideaineena. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
10. Kurtti, Hanna 2009. Kalkkitekollisuuden hiilidioksidipäästöt. Oulu: Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Kandidaatintyö.
11. Ahola, Antti – Puominen, Mikko 2010. Metakaoliinin käyttö betonissa sementin korvaajana yhdessä lentotuhkajalosteiden kanssa. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
12. SFS-EN 933-1 1997. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmällä. Suomen standardoimisliitto SFS.
13. Rissanen, Tiina 2011. Suomen kaivostoiminnan toimialakatsaus 2010. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Selvitys.
14. Kittilän kaivoksen laajennus, YVA - selostus. 2012. Pöyry Oyj. Saatavissa: http://www.elykeskus.fi/fi/ELYkeskukset/LapinELY/Ymparistonsuojelu/YVA/Vireill%C3%A4/luonnonvarat/Documents/Kittil%C3%A4n%20kaivoksen%20laajennus/Agnico_Eagle_YVA_selostus_sivut_1_78.pdf. Hakupäivä 17.7.2012.
15. Hakola, Arto 2009. Kaivostyön historia. Outokummun kaivosmuseo.
16. Kuula, Harri 2004. Pyhäsalmen kaivoksen kovettuva täyttö. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu, Kalliorakentamisen laboratorio.
17. Korpilahti, Antti 2008. Metsäteiden kuntoinventoinnin ja kuntotiedon hyödyntämisen toimintamalli. Maa- ja metsätalousministeriö – Metsäteho Oy. Raportti.
18. Hämäläinen, Esko 2010. Yksitystien parantaminen. Helsinki: Suomen tieyhdistys.
19. Päällysrakenteen stabilointi, suunnitteluvaiheen ohjaus. 2007. Tiehallinto.

20. SFS-EN 1015-3 1999. Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 3: Tuoreen laastin notkeuden määrittäminen iskupöydällä. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
21. Betonin valintaan vaikuttavat valettava rakenne ja sille asetetut tekniset ominaisuudet. 2010. Rudus. Saatavissa: <http://www.rudus.fi/aineistot/rudus-koulut/betonikoulu/osa-3-betonin-valinta>. Hakupäivä 14.8.2012.

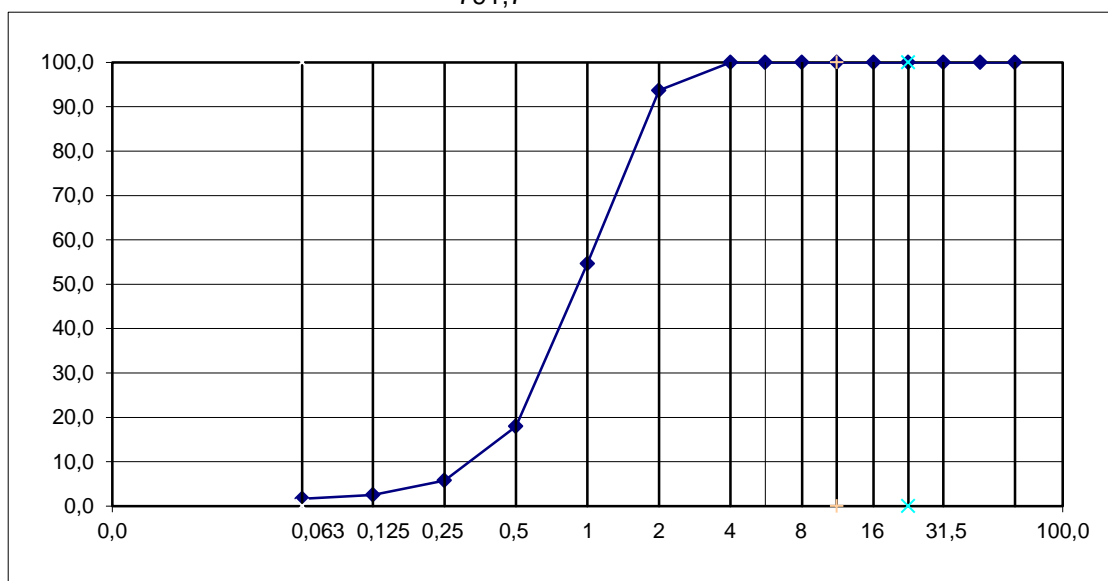
TYÖLOMAKE

Massa-tunnus	Massan teko								
	Vesi + astia (g)	Notkeus (mm)		Vedenlait	Huom.	Pvm./Hlö.			
I	1106 -> 832	152 ja 156	ka. 154	9:05	Ei erityistä	26.6/PR			
II	1056 -> 706	150 ja 153	ka. 152	9:10	Ei erityistä	29.6/PR			
III	831 -> 246	142 ja 148	ka. 145	10:20	Kuumeni	26.6/PR			
IV	1110 -> 764	150 ja 144	ka. 147	12:10	Ei sido vettä	26.6/PR			
V	1095 -> 750	154 ja 152	ka. 153	10:10	Ei erityistä	29.6/PR			
VI	1008 -> 553	156 ja 165	ka. 161	13:00	Ei erityistä	29.6/PR			
VII	1097 -> 655	151 ja 149	ka. 150	10:30	Kuumeni	2.7/PR			
VIII	1038 -> 753	152 ja 154	ka. 153	12:40	Ei sido vettä	2.7/PR			
IX	753 -> 430	150 ja 150	ka. 150	13:20	Ei erityistä	2.7/PR			
X	1134 -> 598	146 ja 149	ka. 148	9:50	Kuumeni	3.7/PR			
XI	1002 -> 650	154 ja 155	ka. 155	10:40	Ei sido vettä	3.7/PR			
XII	1102 -> 743	148 ja 148	ka. 148	11:45	Ei erityistä	3.7/PR			
XIII	990 -> 673	154 ja 158	ka. 156	10:35	Ei erityistä	6.7/PR			
XIV	960 -> 433	150 ja 152	ka. 151	12:35	Kuumeni	9.7/PR			
XV	1142 -> 590	151 ja 149	ka. 150	9:50	Ei erityistä	13.7/PR			
XVI	484+53 -> 302	147 ja 159	ka. 153	14:30	Sitoi vettä	6.7/PR			
XVII	967 -> 566	150 ja 148	ka. 149	10:40	Ei erityistä	13.7/PR			
Massa-tunnus	Tiheys								
	Massa ilmassa (kg)	Massa vedessä (kg)	Tiheys (kg/m3)	Pvm./Hlö.					
I	0,545	0,289	2129	29.6/PQ					
II	-	-	-	-					
III	-	-	-	-					
IV	-	-	-	-					
V	0,555	0,301	2185	2.7/PQ					
VI	0,528	0,272	2063	2.7/PQ					
VII	-	-	-	-					
VIII	0,554	0,298	2164	5.7/PQ					
IX	-	-	-	-					
X	-	-	-	-					
XI	0,550	0,298	2183	6.7/PQ					
XII	0,528	0,276	2095	6.7/PQ					
XIII	0,558	0,305	2206	9.7/PQ					
XIV	-	-	-	-					
XV	0,553	0,299	2177	16.7/PQ					
XVI	-	-	-	-					
XVII	0,551	0,296	2161	16.7/PQ					
Massa-tunnus	Puristuslujuus (ajonopeus 0,3 kN/s)								
	Ikä 3-vrk. (A-tunnus)			Ikä 7-vrk. (B-tunnus)			Ikä 28-vrk. (C-tunnus)		
	Voima (kN)		Lujuus (N/r)	Voima		Lujuus	Voima		Lujuus
I	7,14	6,70	4,33	10,16	9,72	6,21	14,6	14,28	9,03
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	1,39	1,30	0,841	1,97	1,66	1,13	2,39	2,39	1,49
VI	1,20	1,19	0,747	1,47	1,45	0,913	2,15	2,17	1,35
VII	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VIII	5,79	5,84	3,63	8,32	7,87	5,06	11,96	11,68	7,39
IX	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
XI	0,58	0,65	0,384	0,78	0,81	0,497	1,63	1,31	0,92
XII	0,81	0,76	0,491	0,95	0,9	0,578	1,73	1,66	1,06
XIII	6,01	5,47	3,59	7,45	7,32	4,62	12,36	11,84	7,56
XIV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
XV	-	-	-	0,46	0,40	0,269	-	-	-
XVI	-	-	-	-	-	-	-	-	-
XVII	0,95	1,06	0,628	1,01	1,1	0,659	1,02	0,93	0,61

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIIKAN YKSIKKÖ/RAKENTAMISTEKNIIKAN LABORATORIO

KIVIAINESTUTKIMUS

seula # [mm]	seulalle jäi [g]	seulalle jäi [%]	läpäisy [%]
63,0		0,0	100
45,0		0,0	100
31,5		0,0	100
22,4		0,0	100
16		0,0	100
11,2		0,0	100
8,0		0,0	100
5,6		0,0	100
4,0		0,0	100
2,0	49,9	6,3	94
1,0	309	39,0	55
0,5	290,5	36,7	18
0,25	96,5	12,2	6
0,125	25,8	3,3	3
0,063	6,9	0,9	1,7
pohja	13,1	1,7	-
	791,7		



HUOM!

Menetelmä: SFS-EN 993-1 Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä.

Aika: 25.6.2012

Paikka: Oulun seudun ammattikorkeakoulu/Tekniikan yksikkö/Rakentamistekniikan laboratorio

Tutkija: Pekka Rajala

