

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikka, Lappeenranta
Maa- ja kalliorakentaminen

Henrikki Partanen

KALLION KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET MURSKATTUNA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Henrikki Partanen

Kallion käyttömahdollisuudet murskattuna, 50 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Rakennustekniikka

Maa- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö 2010

Ohjaaja: yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan amk

Tarkoituksena oli selvittää, mitä asioita vaaditaan murskatulta kiviainekselta tien päällysterakenteissa ja ratasepelinä. Tutkimuksella haluttiin eritoten tuoda selville erään tietyn kallioalueen käyttömahdollisuudet, ammattikorkeakoululla tehtyjen laboratoriotutkimusten perusteella.

Päätötyössä käsitellään myös laboratoriotutkimusten ja teoriaosuuden antamien tietojen pohjalta, mitkä ovat ammattikorkeakoulun mahdollisuudet kiviaineksen tutkimiseen nykyisin.

Teoriaosuudessa selvitetään erilaisia kiviaineksen laadun ja lujuuden tutkimusmenetelmiä sekä kerrotaan kiviainekselle yleisimmin suoritettavista kokeista ja menetelmistä. Kiviaineksen laatua ja lujuutta tutkittiin pohjoismaisella kuulamylykokeella ja pistekuormituskokeella. Kuulamylykokeen ja pistekuormituskokeen suorittaminen, laskeminen, tulokset ja niiden arviointi käsitellään myös.

Tuloksista ilmeni, että kyseisen kallioalueen kiviaines ei ole laadultaan ja lujuudeltaan soveltuvaa kohteisiin joissa kiviainekselta vaaditaan suuria lujuuksia. Tulokset eivät kuitenkaan sulje pois kiviaineksen käyttöä kohteissa joissa pienemmät arvot riittävät.

Laatuvaatimusten tiukentuessa vuosi vuodelta on ammattikorkeakoulun laitteisto ja tietotaito jäänyt viime vuosien saatossa kehityksestä jälkeen, mikä johtuu osittain työelämän suuntauksesta. Testit teetetään ulkopuolisilla, ei itse yrityksessä

Näiden tutkimusten perusteella on tilaaja yrityksellä mahdollisuus vaikuttaa investointihalukkuuteensa kallioalueen suhteen. Saimaan ammattikorkeakoulu saa vastaavasti tietoa kiviainestutkimuksiin käytettävän laitteiston vaatimuksista sekä omista resursseistaan.

Asiasanat: kiviaines, tutkimus, laatu

ABSTRACT

Henrikki Partanen

The possibilities to use rock area as crushed rock, 50 pages

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Degree programme in construction engineering

Specialisation of civil engineering production

Bachelor's Thesis 2010

Instructor: Principal lecturer Tuomo Tahvanainen

The purpose was to find out what is required to crush the fire stoneware road-coated structures. The aim was to find especially one particular rock area access. Laboratory examinations were carried out in Saimaa University of Applied Sciences in Lappeenranta.

The final year project also deals with laboratory tests and theoretical based on the information, about the opportunities for school to examine the rock seen nowadays.

The theoretical part discusses different research methods of rock quality and strength. The most commonly performed tests for aggregates and methods are also described in the theoretical part. Quality and strength of rock were studied with the Nordic ball mill test and point load test. Ball mill test and point load test execution, computation, and the results and their evaluations will also be dealt with.

The results showed that the rock area is not suitable for this purpose, the quality and strength properties were too low. The results do not exclude the possibility to use the rock where the lower values are sufficient.

Quality requirements become more stringent year by year, schools' equipment and know-how has been left behind over the years, partly due to the trend of working life. Usually tests are made by some outsider company, not the same one who needs the results. Indicative information can be very easily carried out, however, the hardware defects are causing problems.

Based on these studies company has the opportunity to influence the willingness to invest in the rock area. Saimaa University of Applied Sciences receives information about the hardware used in studies and schools' own resources.

Keywords: rock, research, quality

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 5 |
| 2 KALLIOALUEEN TUTKIMINEN JA ENNAKKONÄYTTTEIDEN OTTO | 7 |
| 2.1 Kallioalueen sijainti | 7 |
| 2.2 Kallioalueen maaston tarkastelu | 7 |
| 2.3 Maastontarkastelun havainnot | 7 |
| 2.4 Ennakkonäytteiden lukumäärä ja sijoitus kallioalueelle..... | 9 |
| 2.5 Ennakkonäytteiden irrotusmenetelmät ja kalusto..... | 10 |
| 2.6 Muut mahdolliset ennakkonäytteiden irrotusmenetelmät ja maaston tutkimusmenetelmät..... | 12 |
| 2.6.1 Kiilaaminen | 12 |
| 2.6.2 Timanttikairaus..... | 12 |
| 2.6.3 Muut maastontutkimusmenetelmät | 13 |
| 3 MURSKATUN KIVIAINEKSEN LAATUVAATIMUKSET, TUTKIMUKSET JA TUTKIMUSLAITTEISTO | 13 |
| 3.1 Yleistä | 13 |
| 3.2 Asfalttikiviaines | 14 |
| 3.2.1 Geometriset vaatimukset | 14 |
| 3.2.2 Mekaaniset ja fysikaaliset vaatimukset | 16 |
| 3.2.3 Kemialliset vaatimukset..... | 23 |
| 3.3 Raidesepeli | 24 |
| 3.3.1 Geometriset vaatimukset | 25 |
| 3.3.2 Fysikaaliset vaatimukset | 25 |
| 3.4 Kantava ja jakava kerros..... | 29 |
| 4 AMMATTIKORKEAKOULUNLAITTEISTO JA TUTKIMUSTULOKSET | 30 |
| 4.1 Laitteet ja niiden vertailukelpoisuus | 30 |
| 4.2 Kokeiden valinta..... | 31 |
| 4.3 Suoritetut kokeet ja mittatulokset | 32 |
| 4.3.1 Kiintotiheys ja veden absorptio | 32 |
| 4.3.2 Kuulamylykoe | 34 |
| 4.3.3 Pistekuormitusindeksi | 36 |
| 5 TULOKSET | 40 |
| 5.1 Kiintotiheys ja veden absorptio | 40 |
| 5.2 Kuulamylyarvo..... | 40 |
| 5.3 Pistekuormitusindeksi | 41 |
| 6 TULOSTEN ARVIOINTI..... | 42 |
| 7 YHTEENVETO..... | 44 |
| 7.1 Kiviaineksen käyttömahdollisuudet | 44 |
| 7.2 Saimaan ammattikorkeakoulun laitteisto..... | 45 |
| KUVAT | 48 |
| TAULUKOT | 48 |
| LÄHTEET | 49 |

1 JOHDANTO

Kivilajit ovat syntyneet geologisten prosessien myötä aikojen kuluessa. Näiden prosessien kautta ovat syntyneet magma-, sedimentti- ja metamorfiset kivilajit. Magmakivilajit ovat syntyneet kivilajin eli magman kiteytyessä, Suomessa yleensä syvällä maan sisällä. Ne ovat tasarakeisia ja suuntauksettomia ja ovat käyttökelpoisia rakennuskohteisiin. Sedimenttikivilajit ovat maalajimuodostumien kerroksellista kovettumista, esimerkiksi hiekkakivi. Metamorfiset kivilajit ovat syntyneet uudelleen kiteytymällä, edellä mainituista kivilajeista, kovassa lämpötilassa ja/tai kovassa paineessa. Näin ollen ne ovat suuntautuneita eli isotrooppisia kivilajeja.

Kivilajeilla on eri ominaisuuksia, jotka vaihtelevat jopa samojen kivilajien kesken. Toiset ovat lujempia ja toiset heikompia, riippuen muun muassa mineraalikoostumuksesta tai rapautuneisuudesta. Lujan kiven, joka on avainasemassa tässä työssä, tunnusmerkeiksi voidaan mainita kiven tummuus, hienorakeinen rakenne ja suuri ominaispaino. ON kuitenkin huomioitava, että vain mitatuilla ja tutkituilla ominaisuuksilla on viimekädessä merkitystä.

Lujemmat kivilajit, esimerkiksi amfiboliitti, ovat harvinaisempia kuin esimerkiksi graniitti, joka on suomen yleisin kivilaji ja on amfiboliittia hauraampi. Tämä tekee lujista kiviaineksista kysytyä materiaaliainesta. Niitä käytetään muun muassa murskattuna tierakenteisiin ja tarvekiviteollisuuden raaka-aineena.

(Rantamäki, Jääskeläinen ja Tammirinne 2008, 10–20; Heikkilä, 1988, 18–21.)

Näin syntyi idea ryhtyä selvittämään, voisiko Keski-Suomesta Joutsan seudulta löytyä kiviainesta, joka kovuutensa puolesta sopisi murskattuna tierakenteisiin. Tilaajana toimiva yritys halusi tutkittavan kallioalueen, jossa oli jo murskaustointia käynnissä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä kaksi erinäistä tutkimusta, tilaajaosapuolelle sekä Saimaan ammattikorkeakoululle.

Tilaaaja yritys

Tilaaajana toimiva yritys toimittaa murskattua kiviainesta tutkittavalta kallioalueelta. Suurimpana tilaajana toimivat eräs suuri suomalainen rakennusyritys sekä useat yksityiset henkilöt. Yritys halusi tehtävän alustavat tutkimukset kallion loppualueesta, alkupään rapautuneen kiven jälkeen. Näiden tutkimusten tarkoituksena olisi selvittää, voisiko kyseiseltä kallioalueelta löytyä parempaa kiviainesta, tässä tapauksessa ominaisuuksiltaan asfalttiainekseksi tai raidesepeliksi sopivaa kiviainesta. Työssä ei käsitellä mahdollisuutta käyttää kiviainesta muuhun tarkoitukseen, kuten tarvekiviaineksena. Tuotannon kannattavuuteen tai mahdollisiin lupa-asioihin en myöskään ota kantaa, koska murskaustoiminta on jo käynnissä.

Käyttötarkoituksen määrätessä mitkä kiviaineksen ominaisuudet ovat tärkeitä, tutkitaan työssä kiviaineksen laatua ja lujuutta kuulamylykokeella ja pistekuorituskokeella sekä tarkastellaan vedenimeytymistä. Kokeet kuuluvat kiviaineksen mekaanisia ja fysikaalisia ominaisuuksia kuvaaviin kokeisiin, joilla ilmaistaan kiviaineksen lujuus- ja kulutuskestävyyttä. Työssä ei käsitellä kiviaineksen geometrisia vaatimuksia, jotka tehdään murskauksen jälkeen, vaan keskitytään ennakkokokeisiin. Kiviaineksen kemiallisia vaatimuksia en myöskään tutki, lukuun ottamatta yksinkertaistettua petrografista analyysia. Kerron työssä kuitenkin myös kiviaineksen muista vaatimuksista lyhyesti. Kokeiden suorittaminen, laskeminen, tulokset ja tulosten arviointi käsitellään myös työssä.

Saimaan ammattikorkeakoulu

Toisena osapuolena toimiva Saimaan amk ja ohjaavana opettajana työlle toimiva yliopettaja Tuomo Tahvanainen halusi tutkittavan ammattikorkeakoulun tähän työhön käytettävän laboratoriolaitteiston. Tarkoituksena oli kokeita tehdessä tarkastella laitteiston kuntoa ja soveltuvuutta kiviaineskokeille ja selvittää, mikä on valmius tehdä nykyvaatimusten mukaisia kokeita jos tarvetta ilmenee. Tässä osiossa en ota kantaa, tarvitsisiko oppilaitoksen hankkia uutta laitteistoa, vaan esittelen laitteiston ja kunnon sekä selvittää, mitä kokeita ammattikorkeakoululla on mahdollisuus tehdä

2 KALLIOALUEEN TUTKIMINEN JA ENNAKKONÄYTTEIDEN OTTO

2.1 Kallioalueen sijainti

Tutkittava kallioalue sijaitsee Keski-Suomessa, Joutsan kunnassa. Alue on noin kuuden kilometrin päässä Joutsan kirkonkylästä, hyvien liikenneyhteyksien varrella. Alueelle on jouduttu rakentamaan läheiseltä hiekkatieltä noin kilometrinpitäinen tie kallioalueen lähelle.

2.2 Kallioalueen maaston tarkastelu

Suoritin alueella maastontarkastelun kesällä 2010, jolloin tutkin silmämääräisesti kallion kivilaadusta seuraavaa:

1. rapautuneisuus
2. päämineraalit
3. mineraalien vallitseva raekoko
4. osasten järjestyneisyys.

Lisäksi suoritin alueella muita yleisiä kallioaluetta koskevia havaintoja, koskien näytteidenottoa haittaavia tekijöitä sekä määritin alustavat näytteidenottopaikat. Havainnoin alustavasti myös, osoittautuisiko kallioalue toivotunlaiseksi.

2.3 Maastontarkastelun havainnot

Kesällä suoritetussa maastontarkkailussa havaitsin kallioalueen koostuvan useammasta poimuttuneesta kalliosta, yhden ollessa muita isompi. Kivilaatu näyttäisi olevan yhtenäinen. Viereinen kivilaatu isosta alueesta katsottuna, näyttäisi tummemmalta, joka antaisi olettaa kovempaa kivilaatua. Poikkeuksen tekee alueen tienpuoleisessa reunassa oleva punertava alue, joka ei näyttäisi silmämääräisesti sopivalta tutkittavaa käyttötarkoitusta ajatellen (kuva 1). Tämä alue

jätetään tarkastelussa vähemmälle huomiolle, koska alue on vain murto-osa kokonaisuudesta ja selkeästi erotettavissa pääalueesta.



Kuva 1 Louhittua aluetta, oikealla ruhjealue

Kaikkien kallioiden kivilaatua voidaan silmämääräisesti pitää kiinteänä ja rapautumattomana. Kivilaata voidaan pitää massamaisena (Ma) ja mineraalien valitsevaa raekokoa hienorakeisena tai keskirakeisena. Rapautunut alue eroaa tästä karkearakeisena.

Päämineraaleina voidaan pitää kvartsia, maasälpää sekä biotiittia tai sarvivälkettä. Väriltään kivi on vihreänharmaata tai tummanharmaata, lukuun ottamatta rapautunutta aluetta, joka on selvästi punertavan ruskea. Kivilaadultaan kivi on graniittia.

Kallion rakoilutyyppi voidaan havainnoida kiilarakoiluksi, koska rakotiheys on vähäarakoinen (Ma2) ja havaittujen rakojen laatu on tiiviistä. Poikkeuksen tässäkin tekee rapautunut alue, josta oli havaittavissa kuutiorakoilu; rakotiheys on

runsas ja raot avoimempia. Kallion rakenteellisen kiinteyden mukaan voidaan se jakaa kiinteäksi kallioksi. (Rantamäki, Jääskeläinen ja Tamminne 2008, 20–26.)

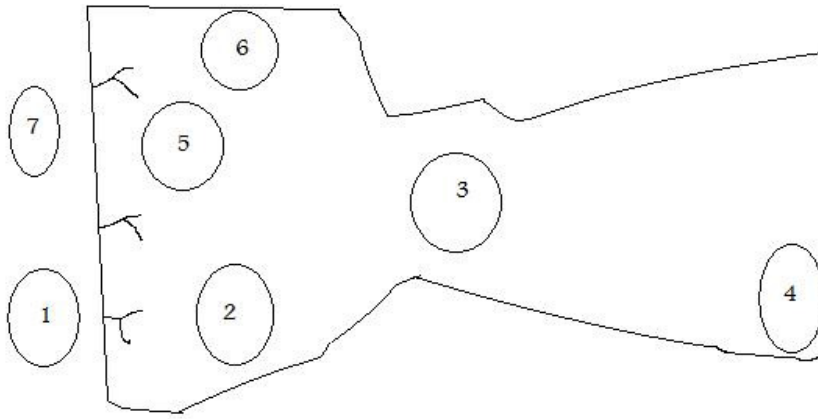
Kallioalueen viereen tulee hyvässä kunnossa oleva hiekkatie, mikä tekee liikkumisesta helppoa. Itse kallioalue on kuitenkin hakattu puhtaaksi isommasta puustosta, näin ollen hakkuujätteet ja jäljelle jäänyt pensaikko koituvat ongelmaksi ja hankaloittavat liikkumista maastossa. Huomioitavaa on myös, että kallio rajoittuu maastoon monin paikoin jyrkästi, paikoin melkein jopa 20 metriä korkeina jyrkänteinä, mutta muualla se on loivarinteistä aluetta.

Lähimpään rakennukseen on matkaa noin kaksi kilometriä, ja sekin on vapaaajan asunto. Kallioalueen vieressä on lampialue, mikä on otettuhuomioon maaineslupia haettaessa. Huomioitavaa on kuitenkin se, että jos loppupään kivaines osoittautuu halutuksi, on lampialue huomioitava uudestaan. Kallioalue ja ottopaikka ovat lähellä naapurin tontin rajaa, noin 300 metriä.

2.4 Ennakkonäytteiden lukumäärä ja sijoitus kallioalueelle

Koska tutkittava alue on tasalaatuista, sinne tulee sijoittaa 1–3 näytteenotto-paikkaa tai. Jos kivilajeja on useampia, otetaan kustakin kivilajista 1–3 näytettä. (Heikkilä, 1988, 27.) Kallioalueen näytepisteiden lukumäärän on kuitenkin oltava vähintään yksi kutakin kallioalueen hehtaaria kohden.

Apuna näytepisteiden lukumäärälle ja sijoitukselle käytettiin edellä kuvaamani maastontarkastelun tietoja ja sen tuloksia. Kallioalueelle sijoitettiin viisi (nro 2–5) näytteenottopaikkaa sekä kaksi näytettä otettiin louhitulta alueelta (nro 1 ja 7) (kuva 2). Näytteet pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman kattavasti, tilaajan toivomuksia kuunnellen. Alueelle olisi voinut sijoittaa enemmänkin näytteenotto-paikkoja, mutta se katsottiin paremmaksi jättää myöhäisempään vaiheeseen, koska näiden näytteiden katsottiin antavan tarpeeksi kattava tieto.



Kuva 2 Kuvaus kallioalueesta ja näytteidenotto paikoista

Näytteenottopaikat sijoitettiin kalliomassiivisiin ja rapautumattomiin kallion kohtiin siten, että räjäytyksellä irrotetulla näytteellä olisi mahdollisimman monta vapaata lähtösuuntaa, jotta saataisiin paras mahdollinen jälki. Valintakriteerinä käytettiin myös näytteenottopaikan kulkukelpoisuutta ja mahdollisuutta kuljettaa raskas näyte-erälaatikosto kuljetusajoneuvoon. Mikäli valitussa näytteenottokohdassa oli pintamaata tai muuta, esimerkiksi kasvustoa haittana, poistettiin se jotta saataisiin puhdas kallionpinta näkyviin.

2.5 Ennakkonäytteiden irrotusmenetelmät ja kalusto

Ennakkonäytteiden irrotus tapahtui räjäyttämällä. Kallioon porattiin käsikäyttöisellä polttomoottoriporakoneella (kuva 3) haluttuihin kohtiin porattiin 2–3 reikää, noin 50–70 senttimetrin syvyisiä. Reiät panostettiin puolikkaalla patruunalla, noin 100 g, dynamiitti. Ominaispanostus oli suuruusluokkaa 200 g/m³. Reiät räjäytettiin Nonel-järjestelmän nalleilla, jotka sytytettiin tulilankanalleilla ja aika-tulilankaa käyttäen. Loppureikä ”täkättiin”, eli täytettiin hiekalla, jotta räjähdys olisi mahdollisimman puhdas. Räjäytystöitä tehdessä reiät porattiin ja panostettiin huolellisesti sekä alue varmistettiin ja käytettiin tarvittava määrä vartiomiehiä, jotta välttyttäisiin vaara- ja vahinkotilanteilta.



Kuva 3 Louhintareikien porakalusto

Näytteitä louhittiin irti kokeita varten yhteensä noin yli tuhat kiloa, enemmän kuin varsinaiset kokeet vaativat. Tällä toimenpiteellä pyrittiin siihen, että on mahdollisuus valita kallioaineksesta mahdollisimman ehyt ja suuren murtopinnan omaava näytepala. Kokeissa käytettäviä kiviainespaloja valittaessa tuli huomioida, että kiviaines ei sisällä kallion rapautunutta pintaosaa, joka normaalisti on noin parinsenttimetrin paksuinen ja kallion heikointa osaa. Lohkareita valittaessa pyrittiin myös jättämään pois sellaiset lohkarit, joita räjäytys olisi vioittanut, tai haurastuttanut tai joihin se olisi aiheuttanut pahoja mikrohalkeamia. Parhaiten tämä onnistui sillä, että vältetään aivan porareian ympärillä sijainnutta kalliota, jonka erotti helposti vaaleasta väristä ja hauraudesta. Näyteiksi valittiin kutakin näytekohtaa kohden noin 50–80 kg kiviainesta, riippuen lohcareiden koosta. Lohkarekoko vaihteli väliltä 600 mm x 500 mm ja 120 mm x 50 mm.

2.6 Muut mahdolliset ennakkonäytteiden irrotusmenetelmät ja maaston tutkimusmenetelmät

2.6.1 Kiilaaminen

Jos ennakkonäytteet otetaan kiilaamalla, kiilaaminen tehdään vastaavanlaisissa maastokohdissa kuin räjäyttämälläkin tapahtuva näytteiden otto. Valittuun kohtaan porattaisiin reikiä tai käytettäisiin irrotuksen kannalta sopivia tiiviitä valmiita kalliorakojia. Mikäli irrotus tapahtuu reikiä poraamalla, tulisi reikiä kuitenkin porata räjäyttämällä tapahtuvaa irrotusmenetelmää enemmän, noin 200–300 millimetrin välein riviin. Kiilaaminen tehdään joko käyttämällä perinteistä tapaa, lekaa ja kiiloja, jolloin lekalla lyödään kiiloja rei'issä vuoronperään alaspäin, kunnes kallio lohkeaa. Vaihtoehtoinen tapa on käyttää hydraulista kiilausmenetelmää, jossa periaate on sama kuin edellä mutta työn tekee hydraulikka.

2.6.2 Timanttikairaus

Timanttikairaus olisi käytettävistä näytteenottomenetelmistä paras, mutta hintansa puolesta se soveltuu käytettäväksi vain suuremmissa hankkeissa tai jos on syytä olettaa, että syvemmällä kalliopinnan alla on pinnasta poikkeavaa materiaalia.

Timanttikairauksessa kallioon porataan mahdollisimman suuren reikäkoon omaavalla timanttikairalla reikä ja otetaan kairan sisälle jäänyt kairasydän talteen. Suurella reikäkoolla pyritään siihen, että kairasydäimestä valmistettuihin koemurskauksiin jäisi mahdollisimman vähän kairasydämen sahauspintaa.

2.6.3 Muut maastontutkimusmenetelmät

Tarvittaessa voidaan myös käyttää geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä, esimerkiksi seismistä tai sähköistä luotausta, joilla voidaan tutkia kallioalueen maakerroksen paksuutta tai kallion rapautuneisuusastetta.

Seismisen luotauksen perusta on, että aiheutetun täryaallon etenemä vaihtelee maalajin tai kallion rikkonaisuuden vuoksi eritavalla. Sähköinen luotaus perustuu maakerrosten erilaisen sähköjohtokyvyn mittaamiseen.

(Rantamäki, Jääskeläinen ja Tamminen 2008, 284.)

3 MURSKATUN KIVIAINEKSEN LAATUVAATIMUKSET, TUTKIMUKSET JA TUTKIMUSLAITTEISTO

3.1 Yleistä

Murskatun kiviaineksen käyttötarkoituksesta riippumatta kiviaineksella on tietyt laatuvaatimukset ja sillä tulee olla seuraavanlaisia ominaisuuksia:

- lujuus, kovuus ja sitkeys
- muoto, pieni raekoko
- puhdas, ei sisällä savea multaa tai muuta vastaavaa
- ei ole rapautunut
- tasalaatuista, murskautuneisuus
- ei sisällä liikaa pehmeitä mineraaleja, esimerkiksi kalsiittia
- ei sisällä liikaa esimerkiksi maasälpää

Pääedellytyksenä voidaan kuitenkin murskatulle kiviainekselle pitää sen lujuutta ja kulutuksen kestävyyttä. Mikäli kiviaines on lujaa ja kulutuksen kestävä, voidaan tällöin todeta, että osa muistakin vaadituista ehdoista täyttyy. Tämä toteutus perustuu siihen, että esimerkiksi pieni raekoko vaikuttaa kiven lujuuteen

suurentavasti, kun taas suuri raekoko heikentää kiven lujuutta. Mikäli kiviaines taas sisältää liikaa erilaisia mineraaleja, heikentävät kiveltä vaaditut ominaisuudet. Maasälpä esimerkiksi on itsessään hyvin kovaa, mutta jos kiviaines sisältää liikaa maasälpää tulee siitä haurasta ja rapautumisherkkää. (Heikkilä, 1988, 29.)

3.2 Asfalttikiviaines

Pääosin asfalttikiviaineksena käytettävän kiviaineksen laatuvaatimukset perustuvat eurooppalaiseen tuotestandardiin SFS-EN 13043 (Infra RYL 2006, 2006,428 ja Asfalttinormit 2008, 2007, 11) ”Kiviainekset teiden, lentokenttien ja muiden liikennöityjen alueiden asfalttimassoihin ja pintauksiin”. Standardissa on määritelty myös muunlaisia testejä ja kokeita, mutta tässä standardissa on käsitelty vain niiltä osin, jotka koskevat Suomea. Kiviaineksen tuottajalla tulee varmistaa kiviaineksen laatu tuotannon aikaisilla laadunvalvontakokeilla ja CE-merkinnällä. Tämä on hyvin tärkeää ja huomioitavaa varsinkin silloin, kun syytä epäillä että tulokset ovat lähellä asetettuja raja-arvoja tai muuten on syytä epäillä laatueroja. Näillä toimenpiteillä ja merkinnöillä pyritään pitämään asfalttikiviaines vaaditun kaltaisena. (Asfalttinormit 2008, 2007, 11.) Kiviaineksen tutkittavat ominaisuudet jaetaan kolmeen osioon: geometriset, mekaaniset ja fysikaaliset sekä kemialliset vaatimukset.

3.2.1 Geometriset vaatimukset

Geometrisia vaatimuksia tarkastellaan vasta murskauksen jälkeen ja näihin kuuluu rakeisuus, hienoainespitoisuus, kiviaineksen muoto sekä murtopintaisten rakeiden osuus.

Rakeisuus

Kiviainekset nimetään kiviaineksen raekoon mukaisesti käyttämällä merkintää d/D, D/d ei saa olla suurempi kuin 1,4, ja kiviaineksen raekoko nimetään seula-

parin mukaan. Kiviaineksen raekoot määritetään standardin SFS-EN 933-1 mukaan. (SFS-EN 13043.)

Seulomisen periaate on, että kiviainesmateriaali jaetaan seulasarja avulla useisiin kooltaan yhä pieneneviin raekokoluokkiin. Näytteen luonne ja vaadittava tarkkuus määrää seula-aukkojen koot ja seulojen lukumäärän.

Testinäytettä valmistessa käytettävä näyte jaetaan vaaditun testinäytemäärän valmistamiseksi. Testinäyte kuivataan lämpötilassa $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ vakiomassaan, 16 tunnin ajan. Kun näyte on jäähtynyt, se punnitaan ja otetaan tulos ylös. Tämän jälkeen näyte pestään, asettamalla näyte astiaan ja peittämällä se vedellä. Näytettä sekoitetaan niin, että hienoaines irtoaa. Näyte asetetaan 63 μm seulalle, jonka päällä on suojaseula ja näytettä huuhdellaan niin kauan, kunnes läpi virtaava vesi on kirkasta. 63 μm seulalle jäänyt aines kuivataan $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa vakiomassaan. Kun näyte on jäähtynyt, se punnitaan ja otetaan tulos ylös.

Itse seulonta tapahtuu niin, että pesty ja kuivattu kiviainesmateriaali asetetaan seulasarjaan ylhäältä alaspäin. Seulasarja on asetettu päällekkäin siten, että aukkokoko pienenee ylhäältä alapäin. Seulasarjaa ravistetaan mielellään siihen varatulla koneella.

Kullekin seulalle jäänyt aines punnitaan ja tulos merkitään muistiin. Kullekin seulalle jäänyt massa lasketaan prosentteina alkuperäisestä kuivasta massasta. Lasketaan kullekin seulan läpäisseen massan yhteenlaskettu prosenttimäärä alkuperäisestä kuivatusta massasta 63 μm seulalle asti. Tulokset voidaan esittää graafisesti, jolloin nähdään, minkälainen on kiviaineksen massakäyrä. (SFS-EN 933-1.)

Muoto

Karkean ja koostekiviaineksen muoto ilmoitetaan muotoluokkana FI10, FI15, FI20 tai FI35. Muotoluokat määritetään SFS-EN 933-3 mukaan. (Asfalttinormit 2008, 2007, 16.)

Muotoluokkatesti sisältää kaksi seulontavaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa näyte jaetaan testiseuloille eri raekoko lajitteisiin. Toisessa vaiheessa kukin raekokolajitteista seulotaan välppäseuloilla, joissa on yhdensuuntaisia D/2-koisia rakoja.

Litteysluku määritetään laskemalla välppäseulat läpäisseiden rakeiden massa prosentteina koko testatun näytteen kuivata massasta. (SFS-EN 933-3.)

Murtopintaisten rakeiden osuus

Tämä vaatimus koskee vain soramurskevalmisteita. Tällä tarkoitetaan, että kiviaineksessa saa olla täysin tai osittain murskautuneita rakeita 50–100 prosenttia ja täysin pyöristyneitä rakeita 0–30 prosenttia. Tarvittaessa murtopintaisten rakeiden osuus määritellään standardin SFS-EN 933-5 avulla. (Asfalttinormit 2008, 2007, 16.)

Kyseisessä testissä lajitellaan käsin ja seulomalla karkeaa kiviainesta testinäytteestä kasoihin siten, että yksikasa sisältää kokonaan murtopintaiset rakeet ja toinen kasa kokonaan pyöristyneet rakeet. Molemmat kasat punnitaan ja ilmoitetaan prosentteina osanäytteen massasta. (SFS-EN 933–5.)

3.2.2 Mekaaniset ja fysikaaliset vaatimukset

Nastarengaskulutuskestävyys

Nastarengaskulutuskestävyys, eli pohjoismainen kuulamylyarvo, määritetään menetelmällä SFS-EN 1097–9. (Asfalttinormit 2008, 2007) Tällä testillä simuloidaan karkeiden kiviainesten nastarengaskulutusta. Tämä menetelmä soveltuu murskattujen ja murskaamattomien raekooltaan 11,2–16.0 mm olevien luonnon sekä tekokiviainesten tutkimiseen. (SFS-EN 1097–9, 1998, 3.)

Koe suoritetaan vedenpitävällä ontolla rummulla, joka on suljettu toisesta päästä. Rummun sisähalkaisija on $(206,5 \pm 2)$ millimetriä ja sisäpituus (335 ± 1) millimetriä. Minimiseinäpaksuus on 6 millimetriä. Rumpu tulee olla suljettavissa kahdeksan millimetriä paksulla tasaisella kannella, jossa on vettä ja pölyä pitävä tiiviste.

Rummun sisälle on asennettu kolme palkkia, joiden pituus on (333 ± 1) millimetriä, nämä palkit ovat asennettu rummun sisälle tasavälein. Uusia palkkeja tulee esikuluttaa 25 tuntia ennen käyttöä. (kuva

Sylinterimäiseen terässäiliöön mitataan 0,1 % tarkkuudella 650 grammaa 11,2 millin seulalle jäänyttä kiviainesta ja 350 grammaa 14 millin seulalle jäänyttä kiviainesta. Ennen mittausta kiviainekset on pesty EN 933-1 mukaisesti ja kuivattu lämpökaapissa, (110 ± 5) °C yli kuudentoista tunnin ajan saavuttaakseen vakiomassan. Säiliöön lisätään kulutuksen aiheuttavat teräskuulat, halkaisija 15 millimetriä, yhteispainoltaan (7000 ± 10) grammaa. Lisäksi säiliöön lisätään $(2 \pm 0,01)$ litraa vettä.

Rumpua pyöritetään rullien päällä sähkömoottorin avulla tasaisella nopeudella 90 kierrosta minuutissa (plus miinus kolme kierrosta) kuudenkymmenen minuutin ajan. Pyöriksen jälkeen kiviaines ja teräskuulat kerätään erilleen, hukkaamatta yhtään kiviainesta. Kaikki 14 millin, 8 millin ja 2 millin seulalle jäänyt kiviaines kuivataan yllämainitulla tavalla lämpökaapissa.

Pohjoismainen kuulamyly arvo lasketaan seuraavanlaisella kaavalla:

$$100 * (m_1 - m_2) / m_1$$

missä

m_1 = kuivatun testinäytteen alkuperäinen massa grammoina

m_2 = 14 mm, 8 mm ja 2 mm:n seuloille jäänyt kiviainesten massa summattuna ja kuivattuna kokeen jälkeen grammoina

Näin saadaan laskettua prosentuaalisesti, paljonko kiviaines hioutuu alkuperäisestä, testin tulos ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella. (SFS-EN1097-9)

Kiintotiheys ja veden absorptio

Asfalttimassaan käytettävän hienon, karkean ja koostekiviaineksen kiintotiheys ja veden absorptio mitataan ja määritetään standardin SFS-EN 1097-6 mukaan. Standardissa on määritelty viisi tavanomaiselle kiviainekselle soveltuvaa menetelmää, ensisijaiset menetelmät ovat:

1. verkkokorimenetelmä, kiviainekselle joka läpäisee seulan 63 mm, mutta jää seulalle 31,5 mm
2. pyknometrimenetelmä, kiviainekselle joka läpäisee seulan 31,5, mutta jää 0,063 seulalle

Tämän testin tulosta käytetään esivalintana arvioitaessa kiviaineksen jäädytysulatus kestävyyttä. Vedenimeytymisen tulee olla pienempi tai yhtäsuuri kuin 1 %. (Asfalttinormit 2008, 2007, 17.)

Kokeen periaate on se, että kiintotiheys lasketaan massan suhteesta tilavuuteen. Testinäytteen massa punnitaan kyllästetyssä pintakuivassa tilassa ja uudelleen uunikuivana. Seuraavaksi esitettävä verkkokorimenetelmä soveltuu kiviaineksille, joiden rakeisuus on väliltä 31,5–63 mm ja pyknometrin 4-31,5 mm. Pyknometri joka soveltuu kiviaineksille, joiden rakeisuus on väliltä 0,063–4, on periaatteeltaan samankaltainen kuin isommalle kiviainekselle tarkoitettu pyknometri.

Verkkokorimenetelmässä pesty testinäyte asetetaan verkkokoriin ja upotetaan se (22 plus miinus 3 astetta) vettä sisältävään astiaan. Vettä tulee olla vähintään 50 mm kiviaineksen päällä. Välittömästi upotuksen jälkeen koria nostetaan ylös ja alas 25 mm verran pohjasta 25 kertaa kerran sekunnissa. Tällä toimenpiteellä pyritään poistamaan testinäytteeseen loukkoon jäänyt ilma.

Kori ja kiviaines jätetään kokonaan upoksiin (22 plus miinus 3 astetta) veteen (24 plus miinus 0,5 tuntia) ajaksi. Vuorokauden kuluttua koria tärytetään ja pun-

nitaan (22 plus miinus 3 astetta) vedessä. Kori poistetaan vedestä, jonka jälkeen kiviaines poistetaan korista pyyhkeeseen päälle. Tyhjä kori asetetaan takaisin veteen ja ravistetaan sitä 25 kertaa, jonka jälkeen se punnitaan vedessä.

Korista poistettu kiviaines pintakuivataan pyyhkeellä siten, että kaikki näkyvät pintakalvot ovat hävinneet, mutta kuitenkin niin, että se jää ulkonäöltään kosteaksi. Tämän jälkeen kiviaines punnitaan.

Kiviaines kuivataan lämpökaapissa 16 tunnin ajan, jolloin se on saavuttanut vakio massan. Kaikkien punnitusten tulokset merkitään tarkasti ylös, jotta voidaan laskea tulokset seuraavilla kaavoilla.

Kiintotiheys, näennäinen $= Pw^*(m_4/(m_4-(m_2-m_0)))$

Kiintotiheys, uunikuivattu $= Pw^*(m_4/(m_1-(m_2-m_0)))$

Kiintotiheys, kyllästetty ja pintakuivattu $= Pw^*(m_1/(m_1-(m_2-m_0)))$

Veden absorptio $= (100^*(m_1-m_4))/m_4$

missä:

m_1 = kyllästetyn ja pintakuivan kiviaineksen massa (ilmassa), grammoina

m_2 = korin ja kiviaineytteen massa vedessä, grammoina

m_0 = tyhjän korin massa vedessä, grammoina

m_4 = uunikuivatun kiviaineytteen massa ilmassa, grammoina

Pw = veden tiheys (22 plus miinus 3 astetta), megagrammoina kuutiometrissä

Kiintotiheyden arvot ilmaistaan lähimpään 0,01Mg/m³ pyöristettynä, veden absorption arvot pyöristetään lähimpään 0,1 %:iin.

Pyknometri koostuu lasipullosta, tilavuus välillä 1000–2000 ml ja lasisuppilosta. Pyknometrimenetelmää käytettäessä kiviaines pestään ja upotetaan verkkokorimenetelmän tavoin (22 ± 3 °C) veteen ja pyöritetään ja kallistetaan pyknometriä vinossa asennossa loukkuun jääneen ilman pois saamiseksi. Pyknometriä

pidetään vesihauteessa ($22 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$) ($24 \pm 0,5 \text{ h}$) ajan. Kun testinäyte on kyllästynyt, nostetaan se vesihauteesta ja poistetaan loukkuun jäänyt ilma edellä kuvatulla tavalla.

Pyknometri ylitäytetään vedellä siten, ettei astiaan jää ilmaa ja astian päällä asetetaan suoja. Pyknometrin ulkopinta kuivataan ja se punnitaan. Kiviaines pintakuivataan siten, että vesikalvot ovat hävinneet mutta pinta jää kuitenkin kosteaksi.

Punnituksen jälkeen kiviaines uunikuivataan (110 ± 5) $^\circ\text{C}$ lämpötilassa kuudentoista tunnin ajan, saavuttaakseen vakiomassan. Tämän jälkeen voidaan laskea kiintotiheys ja veden absorptio seuraavilla kaavoilla.

Kiintotiheys, näennäinen $= Pw^*(m_4/(m_4-(m_2-m_o)))$

Kiintotiheys, uunikuivattu $= Pw^*(m_4/(m_1-(m_2-m_o)))$

Kiintotiheys, kyllästetty ja pintakuivattu $= Pw^*(m_1/(m_1-(m_2-m_o)))$

Veden absorptio $= (100^*(m_1-m_4))/m_4$

missä:

m_1 = kyllästetyn ja pintakuivan kiviaineksen massa (ilmassa), grammoina

m_2 = pyknometrin ja kiviaineytteen massa vedessä, grammoina

m_o = vedellä täytetyn pyknometrin massa, grammoina

m_4 = uunikuivatun kiviaineytteen massa ilmassa, grammoina

Pw = veden tiheys (22 plus miinus 3 astetta), megagrammoina kuutiometrissä

Kiintotiheyden arvot ilmaistaan lähimpään $0,01$:een Mg/m^3 pyöristettynä, veden absorption arvot pyöristetään lähimpään $0,1$ %:iin (SFS-EN 1097-6).

Jäädytys-sulatuskestävyys

Mikäli karkean ja koostekiviaineksen vedenimeytyminen on alle tai yhtä suuri kuin 1 %, voidaan kiviainesta pitää tällöin pitää jäädytys-sulatuskestävänä (rapautumaton). Tällöin ei ole tarvetta tehdä kiviainekselle muuta testausta jäädytys-sulatus kestävyyden osoittamiseksi.

Vedenimeytymisen ylittäessä 1 %:n, jäädytys-sulatuskestävyys on määritettävä SFS-EN 1367-6 mukaan (Asfalttinormit 2008, 2007, 17.)

SFS-EN 1367-6:n mukaisesti tehtävä kiviaineksen pakkasenkestävyys määritetään altistamalla kiviaines jäätyamis-sulamisasitukselle suolan läsnä ollessa. Kokeessa kiviaines upotetaan ja kyllästetään ilmanpaineessa yhden prosentin NaCl-liuoksessa ja altistetaan jäätymiselle 1 %:n NaCl-liuoksessa.

Koe koostuu kolmesta erillisestä kapeasta lajitteesta, jotka muodostavat kukin yksittäisnäytteen. Yksittäisnäytteet ovat kyllästetty 1-prosenttisella NaCl-liuoksella ja ne altistetaan kymmenelle jäädytys-sulatuskierrokselle. Jäädytys-sulatuskierroksessa kiviaines jäädytetään -17,5 °C lämpötilaan suolaliuoksessa, jonka jälkeen se sulatetaan 20 °C lämpötilaan. Kun vaadittava määrä jäädytys-sulatuskertoja on tehty, mitataan kiviaineksen jäädytys-sulatuskestävyys. Jokainen yksittäisnäyte mitataan erikseen kiviaineksen osuutena, joka läpäisee seulan d/2. Tulos ilmoitetaan massaprosenttien keskiarvona.

Suosittelava yksittäisnäyte koostuu 20000 g:sta kiviainesta, jonka raekoko on välillä 8–16 mm, painopoikkeama saa olla ± 5 %. Näyte pestään ja kuivataan (110 ± 5) °C lämpötilassa, jotta saavutetaan vakiomassa. Kuivauksen jälkeen näyte punnitaan ja tulos pyöristetään lähimpään 0,1g:aan.

Pestyt ja kuivatut näytteet kyllästetään 1 %:lla NaCl-liuoksessa (24 ± 1) h purkeissa (20 ± 3) °C lämpötilassa, liuosta tulee olla vähintään 10 mm näytteen yläpuolella koko testin ajan. Vuorokauden kuluttua tarkistetaan liuoksen pinta, liuoksen pinta tulee olla 10 mm näytteen yläpuolella, ja suljetaan purkit. Purkit si-

joitetaan matalien lämpötilojen kaappiin ja varmistetaan purkkien sijoittelu niin, että lämmön siirtyminen niissä on mahdollisimman tasainen.

Testieriin kohdistetaan kymmenen jäädytys-sulatuskierrosta seuraavasti:

1) Kaapin lämpötilaa lasketaan (20 ± 3) °C:sta $(-1 \pm 0,5)$ °C:een (150 ± 30) minuutissa ja pidetään $(-1 \pm 0,5)$ °C:ssa ja odotetaan kunnes on kulunut (360 ± 30) minuuttia kierroksen alusta.

2) Kaapin lämpötilaa lasketaan $(-1 \pm 0,5)$ °C:sta $(-17,5 \pm 2,5)$ °C:een (540 ± 30) minuutissa kierroksen alusta ja pidetään $(-17,5 \pm 2,5)$ °C vielä vähintään 240 minuuttia.

Testikierrosten täytyttyä kiviainekset kaadetaan testiseulalle, minkä aukkokoko on puolet yksittäistestinäytteen valmistuksessa käytetyn alemman seulan koosta. Näyte pestään ja seulotaan käsin. Tämän jälkeen seulalle jäänyt kiviaines kuivataan (110 ± 5) °C:n lämpötilassa vakiomassansa. Kuivauksen jälkeen näyte punnitaan ja pyöristetään tulos lähimpään 0,1 grammaan.

Jäädytys-sulatustestin yksittäisnäytteen massahäviö prosentteina lasketaan seuraavanlaisesti:

$$(m_1 - m_2) / m_1 \times 100$$

missä

m_1 = yksittäisnäytteen alkuperäinen kuiva massa grammoina

m_2 = yksittäisnäytteen lopullinen kuiva massa, joka seulalle, grammoina

Lopuksi lasketaan kolmen yksittäisnäytteen tulosten keskiarvo ja pyöristetään se lähimpään prosenttiin. (SFS-EN 1367-6)

3.2.3 Kemiaalliset vaatimukset

Mineraalikoostumus

Kiviainekselle SFS-EN 932-3 mukaisesti tehtävä yksinkertaistettu petrografinen analyysillä, kiviaines luokitellaan kivilajityyppeihin alkuperän ja muodostumatyyppien perusteella. Menetelmällä ei kuitenkaan voida analysoida kiviainesta yksityiskohtaisesti tiettyä käyttötarkoitusta varten. (Asfalttinormit 2008,2007,17.)

Tutkittava näyte voi olla kairasydän näyte, louhittu näyte tai louhoksen seinämä, kuitenkin siten, että tutkittavaa materiaalia olisi vähintään 5 kg. Näyte pestään ja tutkitaan silmämääräisesti kivilaji- ja mineraaliosasten määrittämiseksi. Tämän jälkeen kivilajit on tutkittava suurennuslasilla tai stereomikroskoopilla.

Tutkimuksen kuvauksista tulisi kirjata ylös seuraavaa:

- 1) tekstuuri, pääkomponenttien raekoko, anisotropia, huokoisuus, rakkulaisuus (vulkaaniset kivet) sekä väri
- 2) mineraalikoostumus ja niiden likimääräiset paljous suhteet
- 3) muuttumis- ja rapautumistila (SFS-EN 932-3).

Hienoaineksen laatu

Kiviaineksen sisältämä hienoaineksen määrän ollessa vähemmän kuin 3 % tai kiviaineksen käytöstä asfalttikiviaineksena löytyy dokumentoitua tietoa, hienoaineksen laatua ei tarvitse selvittää paisuvahilasten mineraalien osalta, mitä kiviaines ei saa sisältää. Käytännössä paisuvahilasia mineraaleja ei esiinny usein Suomessa. Tarvittaessa testi voidaan suorittaa esimerkiksi, PANK- 2302 ohuthiemenetelmällä. (Asfalttinormit 2008, 2007, 18)

Tässä kokeessa ohuthie valmistellaan hiemolla lasilevyllä kiinitetty kivinäyte niin ohueksi, noin 0,03 mm, että sen mineraaleja ja sisäistä rakennetta voidaan op-

tisin keinoin tarkastella 30–100 kertaa suurentavan läpivalaisumikroskoopin avulla. (PANK 2302, 1997, 1-2.)

Bitumin ja kiviaineksen välinen tartunta

Näiden kahden aineksen välinen tartunnan riittävyys tulee selvittää suhteistuksen yhteydessä. Sitä voidaan parantaa käyttämällä tartuketta tai erikseen lisätävää fillerikiviainesta. Tartuntaa heikentää, mikäli kiviaines on epäpuhdas tai sen fysikaali-kemiallinen laatu on huono. Kiviaines ei saa sisältää tartuntaa heikentäviä mineraaleja, kalimaasälpä, kvartsi ja kiille, enempää kuin 5 % asfalttissaan käytettävästä hienoainesmäärästä.

Kiviaineksen tartuntaominaisuuksia kuvataan vedenadsorptiokyvyllä pinta-alayksikköä kohden. Tartuntaominaisuudet voidaan arvioida kokemusperäisesti tai tarvittaessa määritetään menetelmien PANK 2108 ja PANK 2401 avulla (Asfalttinormit 2008, 2007, 19).

Humuspitoisuus

Mikäli päällysteeseen käytetään kuivaamattomana soramursketta, sen humuspitoisuus tulee tutkia standardin SFS-EN 1744-1 mukaisella NaOH-menetelmällä. (Asfalttinormit 2008, 2007, 19)

3.3 Raidesepeli

Raidesepeli on junaradan tukikerroksessa käytettävä kiviaines, joka on valmistettu luonnon kiviaineksesta, keinokiviaineksesta tai uusiokiviaineksesta. Tätä tukikerroksessa käytettävää kiviaineksen ominaisuuksia varten on olemassa eurooppalainen standardi SFS-EN 13450 (Infra RYL 2006,2006, 145), jonka mukaan kiviainekselle suoritetaan tarvittavat ja vaadittavat kokeet ja testit.

Kuten asfalttikiviaineksellekin, tulee raidesepelille suorittaa geometriset, fysikaaliset kokeet. Raidesepeli ei saa sisältää haitallisia aineita tai materiaaleja, esimerkiksi paisuvahilaista.

3.3.1 Geometriset vaatimukset

Raidesepelille tehdään muuten samat geometriset tutkimukset kuin asfalttikiviaineksellekin erona on, että raidesepelille tehdään vaadittaessa myös muotoarvotesti.

Muotoarvo määritetään SFS-EN 933-4:n mukaisesti luokkina S/10, S/20, S/30, S/5/30. Testissä karkean kiviainesnäytteen yksittäiset rakeet luokitellaan pituuden ja paksuuden mukaan, käyttäen apuna raetyöntötulkkia. Muotoarvo lasetaan niiden rakeiden massasta, joiden mittojen pituuden suhde paksuuteen on yli 3 ilmaistuna prosentteina rakeiden kuivasta massasta. (SFS-EN 933-4)

Muut geometriset testit ja vaatimukset, joita raidesepelille tulee tehdä, on kuvattu jo asfalttikiviaineksen geometrisissa vaatimuksissa (luku 3.2.1).

3.3.2 Fysikaaliset vaatimukset

Vaadittaessa raidesepelille voidaan vaatia tekemään iskunkestävyys koe, Los Angeles ja kulutuskestävyyttä mittaava Micro-Deval-koe

Los Angeles-koe

Los Angeles-kokeella määritellään kiviaineksen iskunkestävyyttä pyörittämällä teräskuulia teräsrummussa. Koe tulee suorittaa SFS-EN 1097-2:n mukaan.

Koe suoritetaan molemmista päistään suljetulla teräsrummulla, joka on sisähalkaisijaltaan (711 ± 5) mm ja sen sisäpituus on (508 ± 5) mm. Rumpu tulee olla tuettuna kahteen vaaka-akseliin, jotka on kiinnitetty päätyseinämiin, mutta eivät

kuitenkaan lävistä päätyseinämiä. Rummun tulee pyöriä vaaka-akselinsa ympäri vapaasti.

Kivinäyte laitetaan rummun sisälle (150 ± 3) mm suuruisesta aukosta, aukon tulee olla pölytiivis ja sellainen, että se säilyttää rummun sisäpinnan sylinterimäisenä. Sylinterin sisäpinnalla tulee olla ulkoneva suorakaiteen muotoinen hylly, hylly tulee sijoittaa niin, että se on sisäpintaa pitkin mitattuna 380 mm ja 820 mm lähimmästä aukon reunasta. Hyllyn pituus on sama kuin rummulla ja leveys (90 ± 2) mm ja paksuus (25 ± 1) mm ja se tulee sijoittaa säteen suuntaisesti.

Rumpu täytetään kiviaineksella, jonka raejakauma on välillä 10–14 mm. Koeksessa käytettävän kiviaineksen raejakauman on täytettävä toinen alla olevista ehdoista:

- a) 60–70 prosenttia läpäisee seulan 12,5 mm tai
- b) 30–40 prosenttia läpäisee 11,2 seulan.

Testinäytteen (5000 ± 5) g, tulee olla pestynä ja uunikuivattuna vakiomassaan sa ennen rumpuun laittoa. Testinäyte ja teräskuulakuorma, joka koostuu 11 pyöreästä kuulasta, halkaisija väliltä 45–49 mm ja paino välillä 400–445 g, asetetaan rumpuun. Teräskuulien yhteispainon tulee olla väliltä 4690–4860 g.

Rumpua pyöritetään sähkömoottorin avulla 500 kierroksen ajan, 31–33 kierrosta minuutissa. Tämän jälkeen kiviaines ja kuulat kaadetaan kaukaloon, hukkaamatta yhtään kiviainesta. Kuulat erotetaan kiviaineksesta, ja kiviaines pesuseulotaan siten, että kiviaines kaadetaan 1,6 mm:n seulalle. Seulalle jäänyt kiviaines kuivataan (110 ± 5) °C lämpötilassa, kunnes se saavuttaa vakiomassan.

Los Angeles-luku saadaan laskettua seuraavan kaavan avulla:

$$(5000-m)/50$$

jossa:

m = 1,6 mm seulalle jäänyt kiviaines grammoina

Tulos pyöristetään lähimpään kokonaislukuun. Tulos kertoo prosentuaalisesti, paljonko kiviaines hienontunut alkuperäisestä (SFS-EN 1097-2).

Micro-Deval

Micro-Deval-koe on periaatteeltaan hyvin samankaltainen kuin kuulamylykoe. Siinä mitataan rakeiden ja joughinta kuulien aiheuttama kuluminen rakeissa rummun pyöriessä tietynlaisissa olosuhteissa. Testi suoritetaan SFS-EN 1097-1-standardin mukaisesti.

Kivinäytteitä pyöritetään rumpulaitteistolla, joka käsittää yhdestä neljään rumppua, jotka ovat toisesta päästä suljetut ja valmistettu vähintään kolme millia paksusta ruostumattomasta teräksestä. Sisähalkaisijaltaan yksittäisen rummun tulee olla (200 ± 1) mm ja sisäpituus pohjasta kannen sisäpintaan (154 ± 1) mm. Rummut tulee olla suljettavissa vesi ja pölytiivillä, vähintään kahdeksan millia paksulla kannella.

Jokainen rumppu täytetään kiviaineksella, jonka raejakauma on välillä 10–14 mm. Kokeessa käytettävän kiviaineksen raejakauman on täytettävä toinen alla olevista ehdoista:

- a) 30–40 prosenttia läpäisee seulan 11,2 mm tai
- c) 60–70 prosenttia läpäisee 12,5 seulan.

Kiviaineksen seulonnan ja pesun jälkeen näyte kuivataan lämpökaapissa (110 ± 5) °C lämpötilassa vakiomassaansa. Jäähdyttyään kaksi lajiketta sekoitetaan muunnetuksi 10–14 mm laboratorionäytteeksi. Testinäytteen tulee koostua kahdesta yhtä suuresta (500 ± 2) g painoisesta näyte-erästä.

Kokeen suoritus tapahtuu siten, että jokainen yksittäisnäyte asetetaan eri rumppuun. Lisätään teräskuulia ($10 \pm 0,5$) mm niin että yhteispainoksi saadaan (5000 ± 5) g. Jokaiseen rumppuun lisätään ($2,5 \pm 0,05$) l vettä, jonka jälkeen sul-

jettuja ja akseleiden päällä lepäviä rumpuja pyöritetään sähkömoottorin avulla siten, että saavutetaan nopeudeksi (100 ± 5) kierrosta/min 120 minuutin ajan.

Kokeen jälkeen kiviaines kerätään 1,6 mm:n seulalle ja pestään varovasti hukkaamatta yhtään kiviainesta. Kiviaines kuivataan lämpökaapissa (110 ± 5) °C lämpötilassa vakiomassaan ja punnitaan gramman tarkkuudella.

Jokaiselle yksittäisnäytteelle voidaan laskea Micro-Deval-arvo käyttäen seuraavaa yhtälöä:

$$(500-m)/5$$

jossa:

m = seulalle 1,6 mm jäänyt kiviaines grammoina

Kahdesta erillisestä yksittäisnäytteestä saatujen arvojen avulla lasketaan keskiarvo, micro-deval-arvo. Keskiarvo tulee pyöristää lähimpään kokonaislukuun (SFS-EN 1097-1).

Kiintotiheys ja veden imeytyminen

Kiintotiheys ja veden imeytyminen suoritetaan kuten kohdassa 3.2.2, kiintotiheys ja veden absorptio, on mainittu.

Jäädytys-sulatuskestävyys

Mikäli on syytä epäillä raidesepelin säilyvyyttä, tulee sille suorittaa jäädytys-sulatuskestävyyttä koe. Koe tulee suorittaa standardin SFS-EN 1367-1 tai SFS-EN 1367-2 mukaisesti. Seuraavassa on esitetty SFS-EN 1367-2-standardin mukaan tehtävä magnesiumsulfaattitesti. (SFS-EN13450.)

Testin periaate on se, että kiviainesta, jonka raekokoväli on 22,4–50 mm, kasteaan viisi kertaa magnesiumsulfaattiliuokseen ja jokaisen kasteen välissä kiviaines kuivataan lämpökaapissa (110 ± 5) °C lämpötilassa. Tällöin kiviaines

altistuu magnesiumsulfaatin aiheuttamille toistuville kiteytymisen ja rehydrautumisen aiheuttamalle hajottavalle vaikutukselle.

Näyte jaetaan kahteen yksittäisnäytteeseen, joiden massa on $(10000 \pm 100\text{g})$ ja ne sisältävät $(5000 \pm 50\text{g})$ raekokoa 31,5/40 mm ja $(5000 \pm 50\text{g})$ raekokoa 40/50 mm. Näytteet kuivataan $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa (24 ± 1) tunti. Yksittäisnäytteet seulotaan 22,4 mm seulalla ja pestään tislatusvedellä ja toistetaan kuivatus kuten edellä. Seulonta toistetaan, jotta varmistetaan vaaditusta raekoosta. Testinäytteitä punnitaan $(420 \pm 0,1)$ - $(430 \pm 0,1)$ g verkkokoriin.

Verkkokorit upotetaan kyllästettyä magnesiumsulfaattiliuosta sisältävään liuokseen $(17 \pm 0,5)$ h ajaksi siten, että liuosta on 20 mm aineksen päällä. Upotuksen jälkeen korit nostetaan valumaan $(2 \pm 0,25)$ h ajaksi ja kuivataan, kuten yllä on mainittu. Edellä mainittu menettely toistetaan viisi kertaa. Tämän jälkeen näytteet jäädytetään ja pestään vesijohtovedellä. Tämän jälkeen näytteet kuivataan $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa (24 ± 1) tunti ja seulotaan käsin 22,4 mm seulalla ja kirjataan ylös seulalle jäänyt aines.

Magnesiumsulfaattiluku lasketaan prosenteissa kustakin yksittäisnäytteestä seuraavalla kaavalla:

$$(100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

jossa:

m_1 = yksittäisnäytteen alkuperäinen massa

m_2 = lopussa kiviaineksesta seulalle jäänyt massa

(SFS-EN1097-2)

3.4 Kantava ja jakava kerros

Kantavan ja jakavan kerroksen kelpoisuus osoitetaan ensisijaisesti SFS-EN 13242-standardilla ja sen mukaisella CE-merkinnällä tai luotettavilla tutkimustuloksilla. (Infra RYL 2006, 2006, 390,402)

SFS-EN 13242-standardissa esitetyt tutkimukset, niin geometriset, fysikaaliset kuin kemiallisetkin, ovat samoja kuin edellä on käsitelty aiemmissa kohdissa (luvut 3.2.1–3.2.2). Luokkavaatimukset ovat vain alempia, kuin aiemmin käsiteltyissä. Näiden kaikkien ominaisuuksien testaaminen ja tulosten ilmoittaminen riippuu loppukäyttökohteesta ja kiviaineksen alkuperästä.

4 AMMATTIKORKEAKOULUNLAITTEISTO JA TUTKIMUSTULOKSET

4.1 Laitteet ja niiden vertailukelpoisuus

Saimaan ammattikorkeakoulussa on oma laboratorio jossa voi tehdä erinäisiä kokeita ja testejä, myös kiviainekselle. Kiviainekselle asetettavat vaatimukset, määräävät kuitenkin sen, mitä laitteita on käytössä. Oppilaitoksen laitteisto on sikäli heikko, että sillä ei pystytä tekemään kaikkia edellä mainittuja kokeita. Myös laitteiston vertailukelpoisuus on vaikea todeta, koska laitteistolla ei ole virallista vaatimusten mukaisuus vakuutta. Positiivista on kuitenkin se, että kaikista osa-alueista, geometriset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, saamme halutessamme suuntaa antavaa tietoa, mikä oli tätä työtä tehdessä tärkeää.

Oppilaitoksella on hyvä, tosin jokseenkin pienen, seulontalaitteiston (kuva 4), jolla voidaan todeta esimerkiksi murskatun kiviaineksen rakeisuus. Fysikaalisia ominaisuuksia voidaan oppilaitoksessa testata tekemällä nastarengaskulutuskestävyyttä kuvaava testi, eli pohjoismainen kuulamylytesti. Kuulamylytestin tekemistä helpottaa, että oppilaitoksella on laboratoriomurskain jolla saadaan tarvittaessa kiviaines murskattua pienempään raekokoon. Lisäksi voidaan määrittää kiviainekselle pistekuormitusindeksi. Koetta käytettiin ennen yhtenäisiä eurooppalaisia standardeja määriteltäessä kiviaineksen kestävyyttä päällyste rakenteissa. (Tiel.2212809–95) Mikäli on syytä epäillä kiviaineksen rapautuvuutta, on oppilaitoksella olosuhdekaappi, millä voidaan tarvittaessa testata jäädy-

tys-sulatuskestävyyttä. Kemiallisten testien tekeminen ei oppilaitoksessa onnistunut, lukuun ottamatta yksinkertaistettua petrografista tutkimusta.



Kuva 4 Seulontalaitteisto

4.2 Kokeiden valinta

Oleellisin tieto kiviaineksesta, käytetään sitä sitten päällyste- tai ratamateriaalina, on lujuus. Koska halusimme tietää, onko alueen kivi käytettävissä esimerkiksi päällystemateriaalina, keskityimme testaamaan sen lujuusarvoja.

Oppilaitoksen välineet antoivat mahdollisuuden tutkia kuulamylyarvon ja pistekuormitusindeksin. Pistekuormitusindeksi otettiin mukaan siitä syystä, että näin saimme vertailukelpoisemman tuloksen kuin pelkällä kuulamylyarvolla.

Kiviainekselle tehtiin myös kokeet, joilla saatiin laskettua kiviaineksen kiintotiheys sekä veden absorptio.

4.3 Suoritetut kokeet ja mittatulokset

4.3.1 Kiintotiheys ja veden absorptio

Kiviaineksen kiintotiheyden ja veden absorption laskeminen suoritettiin poikkeuksellisesti eri tavalla kuin SFS standardissa. Syy tähän on eräiden pienten mutta oleellisten osien puuttuminen testaushetkellä. Tulos on kuitenkin täysin vertailukelpoinen ja käytettävissä oleva tässä työssä.

Sopivan kokoinen kiviainenäytepala uuni kuivattiin (kuva 5) vakiomassansa (110 ± 5) °C lämpötilassa ja massa otettiin ylös punnituksen jälkeen. Mittalasiin asetettiin (22 ± 3) °C lämpöistä vettä, ja mittalasi asetettiin tarkkuusvaa'alle. Kiviainenäytepala asetettiin kiinni tarkkuusvaakaan ja upotettiin mittalasiin (kuva 6) ja kirjattiin tulos ylös. (Taulukko 1)



Kuva 5 Lämpökaappi

Kiintotiheys lasketaan soveltaen kohdan 3.2.2 kiintotiheys ja veden absorptio esiintyvää kiintotiheyden laskenta kaavaa.

$$m_1/(m_1-m_2)$$

missä:

m_1 = uunikuivattu kiviäyte

m_2 = kiviäytevedeen upotettuna



Kuva 6 Kiviäytteen kiintotiheyden mittaus tarkkuusvaa'alla

Taulukko 1 Kiintotiheys kokeiden tulokset

| Näytteenotto- paik- ka, nro | Kuivapaino, g | Paino vedessä | Kiintotiheys, Mg/m ³ |
|-----------------------------------|---------------|---------------|------------------------------------|
| 1 | 234,9 | 150,75 | 2,79 |
| 2 | 161,7 | 103,33 | 2,77 |
| 3 | 192,8 | 123,9 | 2,80 |
| 4 | 210,7 | 134,9 | 2,78 |
| 5 | 304,7 | 195,42 | 2,79 |
| 6 | 274,5 | 174,45 | 2,74 |
| 7 | 187,7 | 120,55 | 2,80 |

Veden absorptio (taulukko 2) suoritettiin laittamalla sopivan kokoisia ja punnittuja kivinäytepalasia jokaisesta näytekohdasta vesihauteeseen (22 ± 3) °C siten, että niiden päällä oli jatkuvasti vähintään 50 mm vettä. Kiviaines oli vesihauuteessa niin kauan, että se saavutti kyllästymisasteen. Tämän jälkeen kiviaines uunikuivattiin (110 ± 5) °C lämpötilassa vakiomassaan ja punnittiin.

Tulos lasketetaan samalla kaavalla kuin kohdassa 3.2.2 kiintotiheys ja veden absorptio on esitetty.

Taulukko 2 Veden absorptiokokeiden tulokset

| Näytteenotto- paikka, nro | Märkápaino, g | Kuivapaino, g | Veden ab- sorptio |
|------------------------------|---------------|---------------|----------------------|
| 1 | 235,4 | 234,9 | 0,2 |
| 2 | 162,6 | 161,7 | 0,6 |
| 3 | 193,5 | 192,8 | 0,4 |
| 4 | 211 | 210,7 | 0,1 |
| 5 | 305,5 | 304,7 | 0,3 |
| 6 | 275,5 | 274,5 | 0,4 |
| 7 | 188 | 187,7 | 0,2 |

4.3.2 Kuulamylykoe

Kuulamylykokeessa kiviainesta jouduttiin pienentämään iskemällä sitä lekalla, jotta saatiin laboratoriomurskaimen (kuva 7) kitaan mahtuvia kivinäytepalasia. Näytteistä otettiin edustava otos koskien koko kiviainessarjaa, yhteensä 2–3 kg jokaista näytekohtaa kohden. Kiviaines hienonnettiin laboratoriomurskaimella kuulamylykokeeseen soveltuvaksi.



Kuva 7 Laboratoriomurskain

Kuulamylykoe (kuva 8) suoritettiin kohdassa 3.2.2 nastarengaskulutuskestävyys selostetulla tavalla, SFS-EN 1097-9:n mukaisesti. Kuulamylykokeita suoritettiin yhteensä seitsemän kappaletta (taulukko 3), yksi kutakin näytekohtaa kohden. Kivilaadun ollessa silmämääräisesti samaa näytepaloista arvioiden, voidaan tuloksia vertailla keskenään, eikä jokaista kohtaa kohden tarvitse tehdä kahta kuulamylytestiä kuten ohjeistuksessa sanotaan.



Kuva 8 Kuulamylylaitteisto

Taulukko 3 Kuulamylykokeiden tulokset

| Näytteenotto- paikka, nro. | Alkup. Näyte määrä, m_1 , g | Kuulamylyyn jälkeinen, m_2 , g | Kiintoti- heys | Kuulamylyyar- vo |
|-------------------------------|----------------------------------|--|-------------------|---------------------|
| 1 | 1000 | 764,7 | 2,79 | 23,5 |
| 2 | 1000 | 680,5 | 2,77 | 32,0 |
| 3 | 1000 | 722,8 | 2,80 | 27,7 |
| 4 | 999,8 | 751,9 | 2,78 | 24,8 |
| 5 | 1000 | 755,8 | 2,79 | 24,4 |
| 6 | 1000 | 730,1 | 2,74 | 27,0 |
| 7 | 1000 | 761,9 | 2,80 | 23,8 |

4.3.3 Pistekuormitusindeksi

Pistekuormituslujuus ilmoittaa kappaleen kyvyn vastustaa pistemäistä kuormitusta. Pistekuormituslujuutta käytetään taas määriteltäessä pistekuormitusindeksi. Kokeen periaate on se, että kairasydän puristetaan rikki pistemäisen kuormituksen avulla kahden kärkikappaleen välissä. Tästä saadaan määriteltyä murtovoima. (PANK-2206) Koetta käytettiin ennen eurooppalaisia standardeja määriteltäessä muun muassa päällystekiviaineksen lujuusluokka. (TIEL 2212809–95.)

Koe suoritettiin poraamalla sopivaksi katsotuista irtilouhituista kiviinäytepaloista kairasydännäytteitä (kuva 9), joiden halkaisija oli 50 mm, kairasydännäytteet leikattiin sopivan mittaisiksi kuormitus tilannetta varten (kuva 10). Pituuden tuli olla 1,3–1,9 kertaa näytteen halkaisija. Kuormitustilanteessa kivinäyte puristetaan rikki kahden kovametallikärkikappaleen välissä. Määrittelyssä tuli mitata murtovoima, kairasydännäytteen halkaisija työntömitalla sekä mahdollinen kärkien siirtymä murtohetkellä. Kuormitustilanteessa näytettä puristetaan tasaisella kasvavalla voimalla siten, että murtuma tapahtuu 10–60 sekunnin kuluessa. Mittaus hylätään, mikäli murtuminen tapahtuu yksipuoleisesti jommankumman kärjen puolelta tai merkittävän alhaisella murtovoimalla rinnakkaisnäytteisiin

verrattuna. Hyväksyttäviä mittauksia tulee olla 16 kappaletta pistekuormitusindeksin laskemista varten.



Kuva 9 Kairasydännäytteiden poraus näytekivistä



Kuva 10 Kairasydännäytteiden katkaisu menossa

Kuormitustilannetta varten pyrittiin ottamaan kattava otanta kairasydännäytteitä, vähintään neljä kappaletta jokaista näytekohtaa kohden. Osittain tämä ei onnistunut, koska kairanäyte jäi mittavaatimusten ulkopuolelle. Tällöin puuttuva kairanäyte porattiin toisesta näytekohdasta, kiviaineksen ollessa samaa.

Koesarjassa puristettiin (kuva 12) 30 kappaletta kairasydän näytteitä. Koesarjasta kaksi tulosta hylättiin epäkelvon rikkoutumisen takia (kuva13). Näytteitä säilytettiin vähintään vaadittu yksi vuorokausi normaalissa huoneolosuhteessa ennen mittauksia.



Kuva 11 Kuormitus- ja tiedonkeruu laitteisto



Kuva 12 Keskellä hylätty kuormitus koe, reunoilla hyväksytyt

Pistekuormituslujuus(I_s) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$I_s = F/D^2$$

missä

F = suurin voima Newtonina

D = näytteen halkaisija

Pistekuormitusindeksi (I_{s50}) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$I_{s50} = f_1 \cdot I_s$$

missä

f_1 = korjauskerroin $(D/50)^{0,45}$

I_s = pistekuormituslujuus

Seuraavalla sivulla oleva taulukko 4 havainnollistaa pistekuormituskokeiden tulokset ja pistekuormitus indeksin.

Taulukko 4 Pistekuormituskokeen koesarjan tulokset

| Näytteenotto- paikka, nro. | Kairanäyt- teen L, mm | Kairanäyt- teen D, mm | Murtovoi- ma, F, N | Pistekuormitusin- deksi Is_{50} |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 1 | 58 | 51 | 19000 | 7,37 |
| 1 | 57 | 51 | 14000 | 5,43 |
| 1 | 56 | 51 | 20000 | 7,76 |
| 2 | 53 | 51 | 8000 | 3,10 |
| 2 | 59 | 51 | 13000 | 5,04 |
| 2 | 57 | 51 | 16000 | 6,21 |
| 3 | 56 | 51 | 12000 | 4,65 |
| 3 | 55 | 51 | 10000 | 3,88 |
| 3 | 57 | 51 | 13000 | 5,04 |
| 3 | 53 | 51 | 18000 | 6,98 |
| 3 | 55 | 51 | 12000 | 4,65 |
| 4 | 56 | 51 | 16000 | 6,21 |
| 4 | 59 | 51 | 18000 | 6,98 |
| 4 | 56 | 51 | 21000 | 8,15 |
| 4 | 56 | 51 | 18000 | 6,98 |
| 5 | 55 | 51 | 14000 | 5,43 |
| 5 | 58 | 51 | 12000 | 4,65 |
| 5 | 55 | 51 | 15000 | 5,82 |
| 5 | 57 | 51 | 14000 | 5,43 |
| 6 | 57 | 51 | 18000 | 6,98 |
| 6 | 58 | 51 | 9000 | 3,49 |
| 6 | 54 | 51 | 15000 | 5,82 |
| 6 | 58 | 51 | 8000 | 3,10 |
| 7 | 53 | 51 | 14000 | 5,43 |
| 7 | 56 | 51 | 22000 | 8,53 |
| 7 | 55 | 51 | 16000 | 6,21 |
| 7 | 57 | 51 | 16000 | 6,21 |
| 7 | 58 | 51 | 19000 | 7,37 |

5 TULOKSET

5.1 Kiintotiheys ja veden absorptio

Taulukosta 1 on kiviainesten uunikuivattu kiintotiheys kahden desimaalin tarkkuudella yksikössä Mg/m³ ilmoitettuna. Taulukossa 2 on laskettu kiviainesten vedenimeytys testin tulokset. Tulos ilmoittaa veden imeytymisen prosentteina.

5.2 Kuulamylyarvo

Taulukosta 3 on luettavissa näytteenotto paikka ja kyseiselle näytteelle tehdyn kuulamylykokeen tulokset. Kuulamylykokeen tulos ilmoittaa, paljonko käytettyä kiviaineksestä hienontui alle kahden millin raekokoon painoprosentteina. Tulokset vaihtelevat parhaimman ollessa 23,5 ja huonoimman 32,0

Taulukosta 5 ja 6 voidaan katsoa kunkin näytekohdan luokka. Luokkaa valittaessa käytetään matemaattisia pyöristyssääntöjä. Esimerkiksi tulos 14,4 kuuluu luokkaa 14, kun taas 14,5 kuuluu luokkaan 19. (Asfalttinormit 2008, 2008 s.17)

Taulukko 5 Nastarengaskulutuskestävyyden luokat (SFS 13043, 2003, 14)

| Pohjoismainen kuulamylyarvo | Luokka |
|-----------------------------|--------|
| ≤ 7 | 7 |
| ≤ 10 | 10 |
| ≤ 14 | 14 |
| ≤ 19 | 19 |
| ≤ 30 | 30 |

Taulukko 6 Raideseppelin lujuusluokat (Raideseppelin laatuvaatimukset, VR 1995, 9)

| Sepelin lujuusluokka | Haurausarvo | Kuulamylyarvo |
|----------------------|-------------|---------------|
| R1 | 10 | 8 |
| R2 | 12 | 10 |
| R3 | 15 | 12 |
| R4 | 18 | 14 |

5.3 Pistekuormitusindeksi

Taulukosta 4 on luettavissa pistekuormituskokeiden tulokset sekä pistekuormitusindeksi. Pistekuormitusindeksi ilmaistaan näytesarjan keskiarvona. Pistekuormitusindeksiä laskettaessa tulee koesarjan kaksi alinta ja kaksi ylintä arvoa jättää pois laskennoista.

Pistekuormitus indeksiksi saatiin 6,2

Taulukosta 7 on luettavissa entisen tieliikennelaitoksen päällystekiviaineksen lujuusvaatimukset vuodelta 1995.

Taulukko 7 Päällystekiviainesten lujuusluokitus (Tiel 2212809-95, 1995, 18)

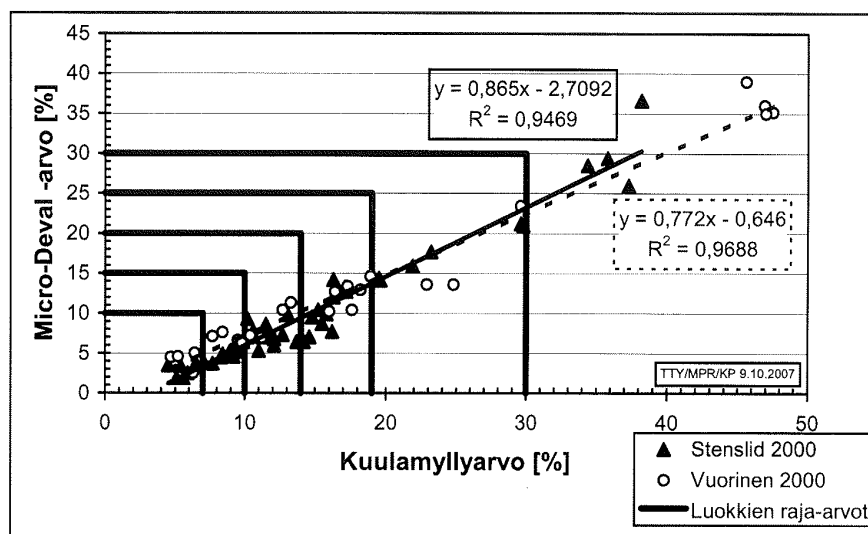
| Lujuusluokka | Pistekuormitusindeksi MPa | Kuulamylyarvo % |
|--------------|------------------------------|-----------------|
| I | ≥ 13 | ≤ 7 |
| II | ≥ 10 | ≤ 10 |
| III | ≥ 8 | ≤ 14 |
| IV | ≥ 6 | ≤ 19 |

6 TULOSTEN ARVIOINTI

Tutkittavalle kiviainekselle suoritettiin kuulamylykoe, kiintotiheysmittaus, veden absorptiokyky sekä pistekuormitusindeksi. Taulukosta 5 voidaan katsoa kuulamylykokeen perusteella, että kiviaines täyttää vaatimustason luokka 30 vaatimukset, lukuun ottamatta näytekohta kakkosta jota ei kelpuuteta laatuluokkiin tämän testin perusteella. Pistekuormitusindeksin perusteella kiviaines täyttäisin vanhan tieliikennelaitoksen päällystekiviaineksen vaatimusluokkatason IV.

SFS-EN 13043, Kiviainekset teiden, lentokenttien ja muiden liikennöityjen alueiden asfalttimassoihin ja pintauksiin, on ainoa tässä työssä käytetty standardi, joka luokittelee kiviainesta kuulamylykokeen on perusteella. Kun taas SFS-EN 13450, Raidesepelikiviainekset ja SFS-EN 13242, Kiviainekset sitomattomiin ja hydraulisesti sidottuihin materiaaleihin, maa- ja vesirakentamisessa sekä tierakentamisessa, luokittelevat kiviaineksen Micro-Deval-kokeen perusteella. Koska Micro-Devalin ja kuulamylyyn välillä on melko hyvä korrelaatio, ja jos halutaan käyttää tuotestandardin mukaisia luokkarajoja, niin sitä voisi hakea korrelaation kautta. (Rantanen, Pyökkänen & Kasari 2008, 21.) Seuraavasta taulukosta 8 voi vertailla korrelaation kautta kuulamylyarvoa Mikro-Devaliin.

Taulukko 8 Kuulamylyyn ja Micro-Devalin välinen korrelaatio



Raidesepelin vaatimukset, jotka ovat yleensä kovemmat kuin tierakennuksen kiviaineksen laatuvaatimukset, eivät täyty näiden kokeiden perusteella. Tämän voi todeta tulkitsemalla taulukkoa 6, joka on VR:n raidesepelin lujuusohjeistus vuodelta 1995.

Veden absorptio kokeen perusteella voidaan olettaa, että kiviaines on rapautumatonta, tulosten jäädessä alle yhteen prosenttiin kaikissa näytekohdissa. Tämän tuloksen perusteella ei kiviainekselle suoritettu jäädytys-sulatuskoetta, mikä olisi ollut laitteiston puolesta mahdollista (kuva 14).



Kuva 13 Olosuhde kaappi

Kiviainenäytteet valittiin useasta kohdasta huolellisesti ja irrotuksessa pyrittiin mahdollisimman hyvään lopputulokseen, jotta ei aiheutettaisi mikrohalkeamia kiviainekselle. Kuulamylykoe ja pistekuormituskoete suoritettiin tarkoin ohjeita noudattaen, jotta ei voitaisi olettaa niissä syntyneen virhettä. Eräänlaisena puutteena voidaan todeta se, että kiintotiheys ja veden absorptiomittaus suoritettiin muunneltuna, kaluston puuttumisen takia. Tästä ei voida kuitenkaan katsoa tapahtuneen merkittävää eroa saatuihin lopputuloksiin.

Tulokset ovat suuntaa antavia eikä niillä ole virallista hyväksyntää. Mikäli tilaaja on halukas saamaan viralliset tulokset kiviaineksestaan, on hänen käännyttävä esimerkiksi Juuan Kivikeskuksen puoleen.

7 YHTEENVETO

7.1 Kiviaineksen käyttömahdollisuudet

Kivinäytteet pyrittiin ottamaan tilaajan ohjeiden mukaisesti sekä siten, että saisimme mahdollisimman kattavan kuvan alueesta. Maastontarkastelussa havaitut huomiot vahvistuivat koetulosten jälkeen. Alue osoittautui melko tasalaatuiseksi, lukuun ottamatta näytekohta kahden pientä aluetta, joka poikkesi muista kohdista.

Kallionäytteille tehdyt kokeet osoittivat kiviaineksen olevan tasalaatuista, kuitenkin kiviaines ei täytä tilaajan odotettuja suuremman lujuusluokan vaatimuksia esimerkiksi tierakenteissa. On kuitenkin muistettava, että kiviaineksen käyttö perustuu siihen, minkä vaatimustason kiviainesta halutaan toimitettavan.

Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että kiviaines ei tule muuttumaan hyvään eikä huonoon suuntaan kyseisellä kallioalueella. Sen käyttöä nykyisissä kohteissa voidaan jatkaa, mikäli kiviainekselle on vain kysyntää. Kuten seuraavassa tulen lyhyesti toteamaan, kysyntää mitä luultavimmin on.

Kiviaineksen käyttö betonin runkoaineeksi olisi mahdollista, koska betonissa runkoaines ei ole betonin lujuuden määräävämpiä tekijöitä. Tässä on kuitenkin huomioitavaa esimerkiksi, että kiviaines ei sisällä liikaa klorideja, humusta, radioaktiivisia aineita eikä kasaantunutta kiillettä. Kiviaines betonin runkoaineena aiheeseen löytyy kuitenkin Suomen Betoniyhdistykseltä kattava ohjeistus, joiden mukaan kiviaineksen kelpoisuus tähän tarkoitukseen voidaan todeta.

Kallioalueen sijaintipaikan ympäristö sisältää runsaasti päällystämättömiä sivuja ja mökkiteitä, joiden pintaamiseen ja kunnossapitoainekseksi käytettynä kallio-

murske on hyväksi havaittu materiaali. Monin paikoin kalliomurske helpompi ja halvempi vaihtoehto pikkuteiden kunnossapitoon, kuin perinteinen luonnonsora, jonka saatavuus on heikentynyt huomattavasti myös kyseisellä alueella.

7.2 Saimaan ammattikorkeakoulun laitteisto

Saimaan ammattikorkeakoulun laitteisto oli ollut käyttämättömänä viimeiset kymmenen vuotta, tosin laitteiston toimivuudessa en huomannut mitään suurempaa moitteen varaa. Laitteisto toimi hienosti ja laboratorio-ohjaaja Pentti Holopaisen ohjeistuksella ei kokeiden suorittaminen ollut hankalaa.

Säädöksien ja laadunvalvonnan aina yhä tiukentuvassa maailmassa on laitteisto kuitenkin jäänyt kehittämättä, lukuun ottamatta olosuhdekaappia. On kuitenkin harkittava, onko oppilaitoksen kannalta mielekästä investoida uusiin laitteisiin ja lupiin jos käyttö on näinkin satunnaista. Huomioitavaa on myös se, että normien eurooppalaistuesssa on esimerkiksi ennen käytetty pistekuormituskoee jäänyt pois ja monin paikoin kuulamylykokeen on korvannut vastaavanlainen Micro-Deval-koee. On kuitenkin muistettava se, että kuulamylykoe kuvaa nastarengaskulutusta, kun taas Micro-Deval on hellävaraisempi kulutuskoee.

Ammattikorkeakoululla suoritettut kokeet osoittivat kuitenkin, että laitteistolla on mahdollista suorittaa satunnaisia ja pienimuotoisia kiviainekselle suoritettavia kokeita, tosin näillä koetuloksilla ei ole standardihyväksyntää. Taulukosta 9 voi seurata tässä työssä läpikäytyjä kiviainekselle suoritettavia laatuksia ja mahdollisuutta tehdä niitä oppilaitoksessa.

Taulukko 9 Työssä esitetyt kokeet ja mahdollisuus suorittaa niitä oppilaitoksessa

| Koe | Standardi | Voiko tehdä koululla | |
|--|-------------------|----------------------|----|
| | | Kyllä | Ei |
| Rakeisuus | SFS-EN 933-1 | X | |
| Litteysluku | SFS-EN 933-3 | | X |
| Murtopintaisten rakeiden osuus | SFS-EN 933-5 | X | |
| Nastarengaskulutuskestävyys | SFS-EN 1097-9 | X | |
| Pistekuormitus indeksi | PANK-2206 | X | |
| Kiintotiheys | SFS-EN 1097-6 | X | |
| Veden absorptio | SFS-EN 1097-6 | X | |
| Jäädytys-sulatuskestävyys | SFS-EN 1367-6 | X | |
| Mineraalikoostumus | SFS-EN 932-3 | X | |
| Hienoaineksenlaatu | PANK-2302 | | X |
| Bitumin ja kiviaineksen välinen tartunta | PANK-2108 ja 2401 | | X |
| Humuspitoisuus | SFS-EN 1744-1 | | X |
| Muotoarvo | SFS-EN 933-4 | | X |
| Los Angeles-koe | SFS-EN 1097-2 | | X |
| Micro-Deval | SFS-EN 1097-1 | | X |
| Magnesiumsulfaattitesti | SFS-EN 1367-2 | | X |

Itse pitäisin tärkeänä varsinkin nyt, kun kaivosteollisuus ja kalliorakentaminen ovat nousussa, että oppilaitoksessa olisi mahdollisuus suorittaa opintojen aikana kiviainekselle suoritettavia laatukokeita, vaikka harva opiskelija joutuu valmistuttuaan tekemään työelämässä kiviainekselle minkäänlaisia laatukokeita tai edes tunnistamaan kivilajia. Ongelma on mielestäni kuitenkin se, että koska työelämässä turvaudutaan yhä enemmän ulkopuolisiin laaduntarkkailijoihin, eivät vaatimukset tule edes siellä esille. Vaatimusten nimi saatetaan tietää, mutta ei ymmärretä, mitä se tarkoittaa.

Kokeiden tekeminen ja ylipäänsä eri kiviaineksiin tutustuminen olisi kallio- ja maanrakennus alalla työskentelevälle henkilölle hyödyksi, vaikka ei joutuisikaan itse niitä tekemään. Itselleni kokeiden suorittaminen oli mielenkiintoista, sillä se osoitti itselleni, miten vaativa osaamisalue kiviteollisuus on, ja että kaikki kivi ei suinkaan ole samanlaista. Tiedän ainakin tulevaisuudessa, mitä tarkoitetaan, kun puhutaan kiviaineksen laatuvaatimuksista.

Mielenkiintoista oli myös huomata, kuinka yhtenäiset eurooppalaiset standardit ovat muuttaneet Suomessa aikaisemmin käytössä olleita normeja. Kuten edellä jo mainitsin, esimerkiksi pistekuormitusindeksikoe on jäänyt pois ja kuulamylykoe on osittain korvattu Micro-Deval-kokeella. Kuulamylykoe kuitenkin säilynee Pohjoismaissa nastarengaskulutusta kuvaavana testinä

KUVAT

Kuva 1 Louhittua aluetta, oikealla heikompi ruhje alue, s.8

Kuva 2 Kuvaus kallioalueesta ja näytteidenotto paikoista, s.10

Kuva 3 Louhintareikien porakalusto, s.11

Kuva 4 Seulontalaitteisto, s.31

Kuva 5 Lämpökaappi, s.32

Kuva 6 Kivinäytteen kiintotiheyden mittaus tarkkuusvaa'alla, s.33

Kuva 7 Laboratoriomurskain, s.34

Kuva 8 Kuulamylylaitteisto, s.35

Kuva 9 Kairasydännäytteiden poraus näytekivistä, s.37

Kuva 10 Kairasydännäytteiden katkaisu menossa, s.37

Kuva 11 Kuormitus- ja tiedonkeruulaitteisto, s.38

Kuva 12 Keskellä hylätty kuormitus koe, reunoilla hyväksytyt s.38

Kuva 13 Olosuhde kaappi, s.43

TAULUKOT

Taulukko 1 Kiintotiheyskokeiden tulokset, s.33

Taulukko 2 Veden absorptiokokeiden tulokset, s.34

Taulukko 3 Kuulamylykokeiden tulokset, s.36

Taulukko 4 Pistekuormituskokeen koesarjan tulokset, s.39

Taulukko 5 Nastarengaskulutuskestävyyden luokat, s.40

Taulukko 6 Raidesepelin lujuusluokat, s.41

Taulukko 7 Päälystekiviainesten lujuusluokitus, s.41

Taulukko 8 Kuulamylyn ja Micro-Devalin välinen korrelaatio, s.42

Taulukko 9 Työssä esitetyt kokeet ja mahdollisuus suorittaa niitä oppilaitoksessa, s.46

LÄHTEET

Asfalttinormit 2008. Päällystealan neuvottelukunta, PANK ry. 2007. Edita Oy

Heikkilä, J. 1988. Maa-ainesten murskaus.

Heikkilä, P., Jokinen, J., Matikainen, R., 1990. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma ASTO. Louhinta- ja murskaustavan vaikutus päällystekiviaineksen laatuun

Infra RYL 2006. Rakennustietosäätiö RTS. 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 1. Hämeenlinna: Karisto Oy

Mannonen, R. 2007. By-päivä 22.11.2007, by 43, Kiviainesohjeet 2007

PANK. 1995. PANK-2206, Kiviainekset, lujuus- ja muoto-ominaisuudet. Piste-kuormitusindeksi, Päällystealan neuvottelukunta

PANK. 1997. PANK-2302, Kiviainekset, minerologinen koostumus. Ohuthietutkimus, Päällystealan neuvottelukunta

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R., & Tamminne, M. 2008. Geotekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy

SFS. 2003. SFS-EN 13043, Kiviainekset teiden, lentokenttien ja muiden liikennöityjen alueiden asfalttimassoihin ja pintauksiin, Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2007. SFS 7004, Asfalttiaineksilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot, Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2003. SFS-EN 13450, Raidesepelikiviainekset
Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2003. SFS-EN 13242, Kiviainekset sitomattomiin ja hydraulisesti sidottuihin materiaaleihin, maa- ja vesirakentamisessa sekä tierakentamisessa, Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2003. SFS-EN 1097-1, Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Kulutuskestävyyden määrittäminen (micro-deval), Suomen standardisoimisliitto

SFS. 1998. SFS-EN 1097-2, Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Iskunkestävyyden määrittäminen, Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2001SFS-EN 1097-6, Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 6: Kiintotiheyden ja vedenimeytymisen määrittäminen, Suomen standardisoimisliitto

SFS. 1998. SFS-EN 1097-9, Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa: 9 Nastarengaskulutuskestävyyden määrittäminen. Pohjoismainen testi (kuulamylymenetelmä), Suomen standardisoimisliitto

SFS. 1998. SFS-EN 933-1, Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä, Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2003. SFS-EN 933-3, Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 3: Raemuodon määrittäminen. Litteysluku. Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2000. SFS-EN 933-4, kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 4: Raemuodon määrittäminen. Muotoarvo. Suomen standardisoimisliitto

SFS. 1998. SFS-EN 933-5, Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 5: Pinnan ominaisuuksien arviointi. Murtopintaisten rakeiden osuus karkeassa kiviaineksessa. Suomen standardisoimisliitto

SFS. 1998. SFS-EN 1367-2, Kiviainesten lämpö- ja rapautumisominaisuudet. Osa 2: Magnesiumsulfaattitesti. Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2009. SFS-EN 1367-6, Kiviainesten lämpö- ja rapautumisominaisuuksien testaus. Osa 6: Jäädytys-sulatuskestävyys suolarasituksessa (NaCl), Suomen standardisoimisliitto

SFS. 2003. SFS-EN 932-3, Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 3: Yksinkertaistetun petrografisen kuvauksen menettely ja terminologia, Suomen standardisoimisliitto

Suomen kuntaliitto. 2002. Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02, KT 02. Helsinki: Kuntatalon paino

Tielaitos. 1995. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset, Murskaustyöt. Helsinki: Painatuskeskus Oy

T, Rantanen., K, Pykkänen., T, Kasari. 2008. Tiehallinnon selvityksiä, Pintakelirikkoselvitys 12/2008 <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201092-v-pintakelirikkoselvitys.pdf>

VR. 1995. Raideseppelin laatuvaatimukset