Tampereen yliopisto

Maija Pirkola

MAA- JA KIVIAINESTEN TESTAUSMENETELMIEN VERTAILU

Vesipitoisuus, rakeisuus, humuspitoisuus

Kandidaatintutkielma
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Pirjo Kuula
Toukokuu 2022

TIIVISTELMÄ

Maija Pirkola: Maa- ja kiviainesten testausmenetelmien vertailu (comparison of test methods for soil and aggregates)
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Toukokuu 2022

Maa- ja kiviainesten ominaisuuksien laboratoriomäärityksille on olemassa useita kansainvälisiä EN- ja ISO-standardeja sekä kansallisia menetelmiä. Tässä kandidaatintyössä vertaillaan näitä testausmenetelmiä keskenään ja arvioidaan niillä saatavien tuloksien mahdollisia eroja ja päätellään, ovatko menetelmillä saadut tulokset vertailukelpoisia keskenään. Työssä käsitellään kolmea maa- ja kiviainesten ominaisuutta: vesipitoisuutta, rakeisuutta ja humuspitoisuutta. Laboratoriomääritysten luotettavuus ja laatu ovat tärkeitä, koska testinäytteiden laboratoriomääritysten tuloksia käytetään yleensä maa- ja kiviainesten laadun osoittamisessa ja geo- ja pohjarakennesuunnittelun lähtötietoina.

Työn alussa kuvataan maa- ja kiviainesten luokitteluperusteita sekä kuvataan standardisoimistoiminnan periaatteet. Sen jälkeen työssä kuvataan käytettävät testausmenetelmät ja niihin liittyvät standardit. Testausmenetelmien vertailua varten on luotu havainnollistavia taulukoita, joista näkee testausmenetelmien pääasialliset erot.

Vertailun perusteella merkittävimmät erot liittyvät humuspitoisuuden hehkutushäviön määritykseen. Hehkutuslämpötiloissa on testausmenetelmien kesken suuria ja merkittäviä eroja, mitkä vaikuttavat tuloksiin. Tämän vuoksi eri menetelmillä saadut humuspitoisuuden tulokset eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Muiden ominaisuuksien testausmenetelmissä on myös eroja, mutta eroilla ei todennäköisesti ole vaikutusta tuloksiin.

Yleisesti katsottuna kansalliset menetelmät ovat kansainvälisiä standardeja suurpiirteisempiä. Kansainväliset menetelmät ovat yksityiskohtaisempia ja tarkempia, minkä vuoksi niitä olisi suositeltavaa käyttää kansallisten menetelmien sijasta. Lisäksi eurooppalaiset suunnitteluohjeet edellyttävät kansainvälisten standardien käyttöä. Joillekin ominaisuuksille ei ole olemassa soveltuvaa kansainvälistä standardia, jolloin on käytettävä muita menetelmiä.

Avainsanat: vesipitoisuus, rakeisuus, hydrometri, areometri, seulonta, humuspitoisuus, hehkutushäviö

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. TARKASTELTAVAT MATERIAALIT 2
2.1 Maa-ainekset 2
2.2 Kiviainekset 5
3. STANDARDIT JA TESTAUSMENETELMÄT 6
4. VESIPITOISUUS 8
5. RAKEISUUS 12
5.1 Pesuseulonta 12
5.2 Kuivaseulonta 13
5.3 Hydrometrikoe 18
5.4 Tulosten laskenta ja esittäminen 23
6. HUMUSPITOISUUS 25
6.1 Polttomenetelmä 25
6.2 Natriumhydroksidimenetelmä 35
7. JOHTOPÄÄTÖKSET 38
LÄHTEET 39

1. JOHDANTO

Maa- ja kiviainesten ominaisuuksien laboratoriomäärityksille on olemassa useita kansainvälisiä EN- ja ISO-standardeja sekä kansallisia menetelmiä, kuten esimerkiksi Päällystealan neuvottelukunta ry:n julkaisemat kiviaineksiin keskittyvät PANK-menetelmät ja Suomen Geoteknillisen yhdistyksen GLO-85 menetelmät. Vertailemalla testausmenetelmien välisiä eroja voidaan arvioida niillä saatavien tuloksien mahdollisia eroja.

Laboratoriomääritysten luotettavuus ja laatu ovat tärkeitä, koska testinäytteiden laboratoriomääritysten tuloksia käytetään yleensä maa- ja kiviainesten laadun osoittamisessa ja geo- ja pohjarakennesuunnittelun lähtötietoina. Huolellisesti tehdyt pohjatutkimukset ehkäisevät esimerkiksi painumaongelmia tulevaisuudessa. Kun pohjarakenteet tehdään kerralla kunnolla, ylläpito on helpompaa eikä tarvitse tehdä hankalia ja kalliita korjaustoimenpiteitä.

Tässä työssä tutkitaan, mitä testausmenetelmiä maa- ja kiviainesten valikoitujen ominaisuuksien testaamiseen on olemassa, ja vertaillaan menetelmiä keskenään. Työn tavoitteena on selvittää ja koota yhteen testausmenetelmien eroavaisuudet esimerkiksi lämpökaappien tai uunien lämpötiloissa, näytemäärissä tai hydrometrikokeeseen liittyvissä lukema-ajoissa. Menetelmien erojen selvittämisen perusteella päätellään, ovatko menetelmillä saadut tulokset vertailukelpoisia.

Tässä työssä käsiteltävät maalajien ja kiviainesten ominaisuudet, joiden laboratoriomääritykseen liittyviä testausmenetelmiä vertaillaan, ovat vesipitoisuus, rakeisuus ja humuspitoisuus. Jokaista ominaisuutta ja siihen liittyviä testausmenetelmiä käsitellään erikseen. Työssä käsitellään pääasiassa kiviaineksia ja luonnollisia maa-aineksia koskevia standardeja, mutta humuspitoisuus–osiossa on mukana myös muokattua maaperää käsitteleviä standardeja.

2. TARKASTELTAVAT MATERIAALIT

2.1 Maa-ainekset

Suomessa maalajien luokitukseen on olemassa pääasiassa kaksi erilaista luokitustapaa. Luokitustavoissa maalajit nimetään hieman eri tavoin riippuen esimerkiksi maalajin syntytavasta tai ominaisuuksista, kuten rakeisuudesta ja plastisuudesta. Suomessa yleisin luokitustapa on rakennusteknisiin tarpeisiin luotu geotekninen maalajiluokitus (GEO-luokitus), joka perustuu maalajien geologiseen syntytapaan sekä maalajin humuspitoisuuteen ja rakeisuuteen. Maalajit jaetaan geoteknisessä maalajiluokituksessa neljään ryhmään rakeisuuden ja humuspitoisuuden perusteella: eloperäiset, hienorakeiset, karkearakeiset ja moreenimaalajit. Eloperäiset maalajit sisältävät orgaanista ainesta yli 20 painoprosenttia, karkearakeiset maalajit sisältävät hienoainesta alle 50 % ja hienorakeiset maalajit sisältävät hienoainesta yli 50 %. Moreenimaalajit sisältävät sekä hienoainesta että karkeaa ainesta. (Jääskeläinen et al. 1979, s. 56–57) GEO-luokituksen mukaiset maalajiryhmät ja niihin kuuluvat maalajit löytyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. *GEO-luokituksen mukaisten maalajiryhmien ominaisuuksia ja maalajiryhmiin kuuluvat maalajit. Suluissa maalajiryhmän tai maalajin lyhenne. (Mukaillen lähteestä Jääskeläinen et al. 1979, s. 57)*

Maalajiryhmä	Ominaisuudet	Maalajit
Eloperäiset maalajit (E)	Eloperäistä ainesta > 20 %	Turve (Tv) Lieju (Li)
Hienorakeiset maalajit (H)	Hienoainespitoisuus ≥ 50 % Humuspitoisuus ≤ 20 %	Savi (Sa) Siltti (Si)
Karkearakeiset maalajit (K)	Hienoainespitoisuus < 50 %	Hiekka (Hk) Sora (Sr)
Moreenimaalajit (M)	Hienoainespitoisuus ≥ 5 % Sorapitoisuus ≥ 5 %	Silttimoreeni (SiMr) Hiekkamoreeni (HkMr) Soramoreeni (SrMr)

GEO-luokituksessa on kuusi maalajitetta eli raekoon mukaan määriteltyä maa-ainesta, jotka näkyvät taulukossa 3. Hienorakeisia maalajeja ovat savi ja siltti, joiden raekoko on alle 0,06 mm, ja tätä suurempi maa-aines on karkearakeista. Maalajit nimetään sen mukaan, kuinka paljon ne sisältävät kutakin maalajitetta tai humusta (taulukko 2). Maalajit voidaan tunnistaa suurpiirteisesti aistinvaraisesti tai tarkemmin laboratoriokokeilla testien tulosten perusteella.

Taulukko 2. *Maalajien nimeämisperusteet (mukaillen lähteestä Korhonen et al. 1974, s. 11).*

Maalaji	**Lajitepitoisuus (paino-%)**			**Raekoko d_{50} (mm)**
	Savi	Hienoaines	Sora	
Turve				
Lieju				
Savi	≥ 30			
Siltti	< 30	≥ 50	< 5	≤ 0,06
Hiekka		< 50	≤ 50	> 0,06–2
Sora		< 5	> 50	> 2–60
Silttimoreeni		≥ 50	≥ 5	≤ 0,06
Hiekkamoreeni		5-50	5-50	> 0,06–2
Soramoreeni		≥ 5	> 50	> 2

Maalajin päänimi tulee pääasiassa sen lajitteen mukaan, mitä on yli 50 % ja lisänimi sen lajittteen mukaan, mitä on 30-50 %. Maalaji lasketaan saveksi, kun sen savipitoisuus on yli 30 % ja eloperäiseksi maalajiksi, kun sen humuspitoisuus on yli 20 %. Jos maalaji sisältää sekä soraa että hienoainesta yli 5 %, kyseessä on moreeni.

Hienorakeisille maalajeille annetaan lisänimi liejuinen humuspitoisuuden ollessa yli 2 % ja lieju vaihtuu päänimeksi humuspitoisuuden ollessa 6–20 %. Kun humuspitoisuus on yli 20 %, kyseessä on eloperäinen maalaji. Siltti saa lisänimen savinen, kun savipitoisuus on 10-30 %. Savi voi olla joko laihaa (savipitoisuus 30-50 %) tai lihavaa (savipitoisuus yli 50 %) savea. Lisäksi voidaan antaa lisänimiä silttinen, hiekkainen tai sorainen. (Jääskeläinen et al. 1979, s. 61–62)

Maailmanlaajuisen standardisoimisjärjestö ISO:n luokitusta käytetään yleisemmin muualla Euroopassa. ISO-luokituksen merkittävin ero geotekniseen luokitukseen

verrattuna on moreenimaalajien puuttuminen, sillä niitä ei juurikaan esiinny Etelä- tai Keski-Euroopassa. Lisäksi hienorakeiset materiaalit luokitellaan rakeisuuden lisäksi plastisuuden perusteella. ISO-luokituksen mukaiseen maalajien tunnistamiseen käytetään standardeja SFS-EN ISO 14688-1 (2018) sekä SFS-EN ISO 14688-2 (2018).

ISO-luokituksessa raekoko ilmoitetaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella, mutta standardissa SFS-EN ISO 14688-1 (2018, s. 10) mainitaan usein käytettävän yhtä merkitsevää numeroa, kuten GEO-luokituksessa. Erolla ei ole suurta merkitystä maa-ainesten tunnistamisen kannalta. ISO- ja GEO-luokitukset ovat siis käytännössä samat raekokojen osalta (taulukko 3).

Taulukko 3. *ISO- ja GEO-luokitusten mukaiset raekokolajitteet (mukaillen lähteistä Korhonen et al. 1974, s. 100; SFS-EN ISO 14688-1 2018, s. 10).*

Maalajite	**Raekoko GEO**	**Lyhenne GEO**	**Raekoko ISO**	**Lyhenne ISO**
Savi	≤ 0,002 mm	Sa	≤ 0,002 mm	Cl
Siltti	> 0,002–0,06 mm	Si	> 0,002–0,063 mm	Si
Hiekka	> 0,06–2,0 mm	Hk	> 0,063–2,0 mm	Sa
Sora	> 2,0–60,0 mm	Sr	> 2,0–63,0 mm	Gr
Kivet	> 60–600 mm	Ki	> 63–200 mm	Co
Lohkareet	> 600mm	Lo	> 200–630 mm	Bo
Suuret lohkareet			> 630 mm	LBo

ISO- ja GEO-luokituksessa maalajitteiden lyhenteet voivat aiheuttaa sekaannuksia, sillä GEO-luokituksessa savesta ja ISO-luokituksessa hiekasta käytetään samaa lyhennystä Sa.

Ennen geoteknistä luokitusta Suomessa käytettiin rakennusteknistä luokitusta. Rakennusteknisessä luokituksessa siltin tilalla käytetään hiesua ja hietaa. Lisäksi luokituksessa on hieman eri raekokorajat maalajeille verrattuna geotekniseen luokitukseen, jossa maalajien raekokorajat vastaavat paremmin ISO-luokitusta. (Jääskeläinen et al. 1979, s. 56–57)

2.2 Kiviainekset

Kiviainekset tarkoittavat rakentamisessa käytettävää rakeista materiaalia. Kiviainekset voivat olla luonnonkiviaineksia, keinokiviaineksia tai uusiokiviaineksia. (SFS-EN 13242 2003, s. 5–6) Luonnonkiviaineksiin kuuluvat esimerkiksi hiekka, sora ja kalliomurske, uusiokiviaineksia ovat esimerkiksi betonimurskeet ja keinokiviaineksia esimerkiksi erilaiset kuonat. Tässä työssä keskitytään standardeihin, joiden soveltamisalaksi on määritelty yleisesti kaikki kiviainekset.

Kiviainekset ovat CE-merkittyjä rakennustuotteita ja niiden ominaisuuksien määrittämiseen ja luokitteluun käytetään osittain samanlaisia menetelmiä kuin maalajien luokittelussa. Raekokojakautuma on myös kiviainesten osalta merkittävä ominaisuus, mutta kiviaineksen nimeämisessä ei käytetä maalajien mukaista menettelyä vaan kiviaineksen nimetään minimiraekoon (d) ja maksimiraekoon (D) mukaan, esimerkiksi 0/16 mm tai 8/16 mm. (SFS-EN 13242 2003, s. 6)

Kiviainekset luokitellaan rakeisuuden mukaan karkeisiin, hienoihin ja koostekiviaineksiin. Standardin SFS-EN 13242 (2003) mukaan hienoksi kiviainekseksi kutsutaan rakeisuudeltaan alle 6,3 mm kiviainesta. Karkealla kiviaineksella d on 1mm tai suurempi ja D suurempi kuin 2 mm. Koostekiviaines sisältää sekä hienoa että karkeaa kiviainesta. (SFS-EN 13242 2003, s. 6) Myös hienoaineksen määrä on merkittävä tekijä erilaisissa kiviainesten käyttökohteissa. Kiviaineksen ja maa-aineksen määritelmät menevät osittain päällekkäin, nimittäin soraa ja hiekkaa voidaan luokitella sekä maalajina että kiviaineksina.

3. STANDARDIT JA TESTAUSMENETELMÄT

Standardit ovat julkaisuja, jotka ohjeistavat tietyn tuotteen tai palvelun toteuttamiseen yhteisesti sovittujen vaatimusten mukaisesti. Standardeja julkaisevat erilaiset standardisoimisorganisaatiot, kuten kansainvälinen standardisoimisjärjestö ISO. ISO on julkaissut muun muassa maalajien ISO-luokituksen sekä maa-ainesten ominaisuuksien laboratoriomäärityksiin lukuisia erilaisia standardeja, joita tässäkin työssä käsitellään.

Euroopan tasolla toimii puolestaan eurooppalainen standardisoimisjärjestö CEN (European Committee for Standardization), joka on julkaissut esimerkiksi kantavien rakenteiden suunnitteluun liittyvät Eurokoodi-standardit. Geoteknistä suunnittelua koskevassa Eurokoodi 7:ssa (SFS-EN 1997-1 2014) kerrotaan geoteknisistä pohjatutkimuksista ja siihen liittyen mainitaan myös laboratoriotutkimuksista, jotka tulisi tehdä yleensä kansainvälisesti hyväksyttyjen standardien ja suositusten mukaisesti.

Suomessa toimii standardisoimisorganisaatio Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, joka toimii tiiviissä yhteistyössä ISO:n ja CEN:n kanssa. SFS vahvistaa kaikki eurooppalaiset sekä myös monet kansainväliset standardit kansallisiksi standardeiksi. Lisäksi SFS julkaisee eri toimialojen tuottamia standardeja kansallisiin tarpeisiin.

Muita standardeihin verrattavia ohjeita tuottavia järjestöjä on esimerkiksi Päällystealan neuvottelukunta PANK ry, joka on julkaissut PANK-menetelmät. Ne ovat standardinomaisia ohjeita, jotka sisältävät kansallisia menetelmiä esimerkiksi päällysteiden ominaisuuksiin liittyen. Päällysteiden testausmenetelmille ei ole kansainvälisiä standardeja. Osa PANK-menetelmistä on käytössä vain työohjeina päällystealan testauslaboratorioissa, koska vastaava eurooppalainen standardi on julkaistu.

PANK ry:llä on käytössä laboratorioiden PANK-hyväksyntä, joka on luotu hyväksyntämenettelyksi päällystealan laboratorioille ja testausorganisaatioille. PANK-hyväksyntää koskevassa ohjeessa kerrotaan, että “PANK-hyväksynnässä varmennetaan testausorganisaation toimintajärjestelmä ja myönnetään pätevyys tehdä SFS-EN -standardien ja PANK-menetelmien mukaisia testauksia ja mittauksia.” (Inspecta Sertifiointi Oy 2020)

Suomen geoteknillinen yhdistys SGY on tuottanut julkaisun GLO-85: Geotekniset laboratorio-ohjeet. Luokituskokeet (1985). Teos on geotekninen maalaboratoriotutkimusohje, jonka tarkoituksena oli koota Suomen käytäntöjä standardinomaiseksi ohjeeksi. Ohje sisältää laboratoriomenetelmien ohjeet kaikille tässä

työssä käsiteltäville laboratoriomäärityksille sekä useille muille yleisimmille määrityksille. (Suomen geoteknillinen yhdistys 1985)

Tässä työssä vertaillaan keskenään GLO-85-julkaisun ohjeita, PANK-menetelmiä ja SFS-standardeja, jotka ovat usein kansallisesti hyväksyttyjä eurooppalaisia ja kansainvälisiä standardeja. Lisäksi vertailussa on mukana CEN-järjestön humuspitoisuuden testaamiseen liittyvä standardiluonnos. Kansainväliset ja eurooppalaiset standardit perustuvat ISO-standardien mukaiseen maalajiluokitukseen, minkä takia niissä ei käsitellä moreenimaalajeja erikseen. GLO-85 sekä PANK-menetelmät ovat kansallisia ja ottavat siten huomioon paremmin suomalaiset erityispiirteet, kuten moreenimaalajit.

4. VESIPITOISUUS

Vesipitoisuus määritellään maalajissa olevan veden massan ja kuivan maa-aineksen suhteena. Vesipitoisuus ilmaistaan prosentteina kuivatuksessa haihtuneen veden massan ja kuivatun näytteen massa suhteena. Vesipitoisuus lasketaan kaavalla

$$w\ (\%) = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100, \qquad (1)$$

jossa w on vesipitoisuus, m_w haihtuneen veden massa ja m_d kuivatun näytteen massa. Vesipitoisuus määritetään yleensä kuivausmenetelmällä, jossa näytettä kuivataan lämpökaapissa siihen asti, kunnes vesi on haihtunut näytteestä eikä näytteen massa enää muutu oleellisesti. Vesipitoisuuden määritykseen on olemassa myös karbidometrimenetelmä (Jääskeläinen et al. 1979, s. 81). Karbidometrimenetelmä on harvinainen maanäytteiden vesipitoisuuden määrityksessä, joten sitä menetelmää ei käsitellä tässä työssä.

Lämpökaapissa kuivaamalla määritetyn vesipitoisuuden tuloksiin liittyy olennaisesti näytteen määrä, lämpökaapin lämpötila, kuivausaika ja punnitusten mittatarkkuudet, jotka vaihtelevat hieman riippuen standardista tai ohjeesta.

Eräs vesipitoisuuden laboratoriomäärityksestä ohjeistava standardi on SFS-EN ISO 17892-1 (2015), jota on tarkoitus soveltaa geoteknisiin tutkimuksiin liittyvien maanäytteiden vesipitoisuuden määrityksessä kuivausmenetelmällä. Standardi on kansainvälinen ja siinä käytetään maalajien ISO-luokitusta. Toinen kuivausmenetelmään liittyvä standardi on SFS-EN 1097-5 (2008), joka koskee kiviainesten kosteuspitoisuuden määrittämistä. Kiviaineksia sekä kevytsoraa käsittelee myös käytöstä poistettu PANK-menetelmä PANK-2109 (1996). GLO-85 sisältää maa-aineksen vesipitoisuuden määrityksen.

Standardissa SFS-EN ISO 17892-1 näytteen kuivauksessa lämpökaapin lämpötilaksi on määritelty 105–110°C, kun taas GLO-85 lämpökaapin lämpötilaksi annetaan 105 ± 5 °C. Kiviaineksiin liittyvässä standardissa SFS-EN 1097-5 sekä PANK-2109:ssa lämpökaapin lämpötilaksi on ilmoitettu 110 ± 5 °C. Testausmenetelmien lämpötilat osuvat siis vaihteluväleineen samalle alueelle eli 105–110 °C:seen ja ne ovat esitetty taulukossa 4. Kierrätysmateriaaleista valmistetut kiviainekset voivat olla lämpötilaherkkiä, minkä takia ne pitää kuivata alemmissa lämpötiloissa. Standardin SFS-EN 1097-5 mukaan tällaiset kiviainekset tulisi kuivata 40 ± 5 °C:n lämpötilassa.

Taulukko 4. *Eri standardien ja ohjeiden mukaiset lämpökaapin lämpötilat näytteiden kuivatuksessa vesipitoisuuden määritystä varten.*

	Lämpökaapin lämpötila (°C)
SFS-EN ISO 17892-1	105–110
GLO-85	105 ± 5
SFS-EN 1097-5	110 ± 5
	40 ± 5 (lämpötilaherkät kiviainekset)
PANK-2109	110 ± 5

Vähimmäisnäytemäärä ja punnitustarkkuus määritellään GLO-85:ssa GEO-luokituksen mukaisten maalajien mukaan. Karkearakeisemmilla mailla sekä moreenilla on suurempi näytemäärä ja pienempi punnitustarkkuus kuin hienorakeisemmilla. Standardissa SFS-EN ISO 17892-1 näytteen vähimmäismassa määritellään maksimiraekoon (D_{max}) mukaan, kun yksittäisiä isompia rakeita ei oteta huomioon. Vähimmäisnäytemäärät ovat standardissa 17892-1 yleisesti ottaen pienempiä kuin GLO-85:ssa. Lisäksi standardissa vähimmäisnäytemäärät määritellään suuremmille raekoille kuin GLO-85:ssa. Standardissa SFS-EN 1097 ja PANK-menetelmässä PANK-2109 vähimmäisnäytemäärät määritellään samalla tavalla ylemmän seulakoon (D) mukaan. Lisäksi PANK-2109:ssä kevytsoralle on määritelty vähimmäisnäytemääräksi 2 litraa. Eri menetelmien vähimmäisnäytemäärät on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. *Eri menetelmien mukaiset vähimmäisnäytemäärät vesipitoisuuden määritystä varten.*

SFS-EN ISO 17892-1	**Maksimiraekoko (mm)**	**Vähimmäisnäytemäärä (g)**
	0,063	30
	2,0	100
	10,0	500
	31,5	3000
	63,0	21000
GLO-85	**Maalaji (raekoko (mm))**	**Vähimmäisnäytemäärä (g)**
	Savi, siltti	10-50
	Hiekka	200
	Sora	1000
	Karkea sora, moreeni	> 1000
SFS-EN 1097-5	**Ylempi seulakoko (mm)**	**Vähimmäisnäytemäärä (g)**
	≥ 1,0	2000*D
	< 1,0	2000
PANK-2109	**Ylempi seulakoko (mm)**	**Vähimmäisnäytemäärä**
	≥ 1,0	2000*D g
	< 1,0	2000 g
	Kevytsora	2 l

Kaikissa menetelmissä kuivausajaksi määritellään vakiomassan saavuttaminen. Vakiomassa tarkoittaa standardeissa SFS-EN ISO 17892-1 ja SFS-EN 1097-5 sekä menetelmässä PANK-2109 alle 0,1 % näytteen massan muutosta, kun punnitusten väli on 1 h. GLO-85 mukaan punnitusten väliksi määritellään 0,5 h. Lisäksi ohjeessa GLO-85 sekä standardissa SFS-EN ISO 17892-1 mainitaan 16 h usein riittäväksi ajaksi hienojakoisella maalla, sekä standardin SFS-EN ISO 17892-1 mukaan kuivausajaksi riittää karkearakeisilla mailla usein 4 h.

Punnitustarkkuuksien osalta standardit ja ohjeet ovat samaa suuruusluokkaa. Standardin SFS-EN 1097-5 ja PANK-2109:n mukaan punnitustarkkuuden täytyy olla 0,1 % testinäytteen massasta. Standardissa 17892-1 punnitustarkkuudeksi määritellään 0,01 g tai 0,1 % riippuen siitä, kumpi on suurempi lukema.

GLO-85:ssa punnitustarkkuus on määritelty maalajin mukaan (taulukko 6). Jos vähimmäisnäytemääriä noudatetaan, punnitustarkkuudeksi prosenteiksi laskettuna tulee savella ja siltillä enimmillään 0,1 %, hiekalla enimmillään 0,05 % ja soralla, karkealla soralla ja moreenilla enimmillään 0,1 %. Näytemäärät ovat myös yleensä suurempia kuin vähimmäisnäytemäärä, joten punnitustarkkuudet ovat myös yleensä tarkempia kuin edellä prosentteina mainitut tarkkuudet.

Taulukko 6. *Eri standardien ja ohjeiden mukaiset punnitustarkkuudet vesipitoisuuden määrityksessä.*

	Punnitustarkkuus
SFS-EN ISO 17892-1	0,01 g tai 0,1 % testinäytteen massasta suuremman mukaan
GLO-85	0,01 g (savi, siltti) 0,1 g (hiekka) 1 g (sora, karkea sora, moreeni)
SFS-EN 1097-5	0,1 % testinäytteen massasta
PANK-2109	0,1 % testinäytteen massasta

Lämpökaapin lämpötila ei juurikaan vaikuta lopputulokseen, sillä näyte kuivataan joka tapauksessa vakiomassaan asti. Vähimmäisnäytemäärä voi vaikuttaa lopputulokseen, jos näytettä ei olla homogenisoitu asianmukaisesti tai näytettä ottaessa ei olla otettu tarpeeksi edustavaa näytettä. Isompi näytemäärä on pientä edustavampi, koska maanäytteet voivat olla hyvinkin epähomogeenisiä, ja maan ominaisuudet vaihtelevat paljon paikasta riippuen. Vähimmäisnäytemäärä ei kuitenkaan saisi vaikuttaa lopputulokseen. Vähimmäisnäytemäärät eroavat myös paljon toisistaan joissain tapauksissa. Esimerkiksi GLO-85:ssa on määritetty hiekalle (raekoko < 2 mm)

vähimmäisnäytemääräksi 200 g, kun taas standardissa SFS-EN ISO 17892-1 samalle raekoolle vähimmäisnäytemäärä on puolet pienempi eli 100 g.

Näytteiden kuivaamista käytetään myös muissa määrityksissä, kuten kuivaseulonnassa ja humuspitoisuuden arvioinnissa polttomenetelmällä. Vesipitoisuusmäärityksen tulosta käytetään myös esimerkiksi hydrometrikokeessa näytemäärän arvioinnissa ja konsistenssirajojen eli maan eri olomuotojen välisten vesipitoisuusrajojen määrityksessä. Siten kuivausmenetelmän ja vesipitoisuuden tarkkuus vaikuttavat myös muiden määritysten tarkkuuteen.

5. RAKEISUUS

Rakeisuus kuvaa sitä, miten erisuuruiset rakeet jakautuvat painon mukaan maanäytteessä. Se on sekä GEO- että ISO-luokituksessa tärkeä maalajin nimeämisperuste. Hienorakeisten maalajien ja kiviainesten rakeisuutta tutkitaan hydrometri- eli areometrimenetelmällä ja karkearakeisilla mailla seulonnalla.

5.1 Pesuseulonta

Jos kyseessä on runsaasti hienoainesta sisältävä karkearakeinen maa, kuten moreeni, näytteelle tehdään yleensä kuivaseulontaa ennen pesuseulonta, jossa hienoaines pestään pois isompien rakeiden pinnalta. Kuivaseulonnan tärytyksessä hienoaines lähtee huonosti pois isompien rakeiden pinnalta, joten rakeisuuskäyrä vääristyy, jos pesuseulontaa ei tehdä. Pestyn hienoaineksen määrä otetaan huomioon tulosten laskennassa.

Pesuseulonnassa kuivattu ja punnittu näyte lietetään sekoittamalla se veteen. Tarvittaessa näytteeseen voi lisätä peptisaattoria helpottamaan liettymistä. Näytteestä erotetaan hienoaines pesemällä näytettä ja kaatamalla pesuvesi pesuseulan läpi. Pesemistä jatketaan siihen asti, kunnes vesi on kirkasta.

GLO-85:ssa pesuseulan seulakoko on 0,074 mm ja muissa menetelmissä eli kiviainesten kuiva- ja pesuseulontaa koskevassa standardissa SFS-EN 933-1:ssa ja kiviainesten pesuseulontaa koskevassa PANK-2102:ssa seulakoko on 0,063 mm (taulukko 7). Lisäksi SFS-EN 933-1:ssa mainitaan pesuseulan päälle asetettavasta suojaseulasta, joka voi olla aukkokooltaan esimerkiksi 1 mm tai 2 mm. Näytemäärät ovat vastaavat kuin kuivaseulonnassa ja ne on esitetty tarkemmin kappaleessa 5.2 Kuivaseulonta (taulukko 9).

Taulukko 7. *Pesuseulonnan pesuseulan aukkokoot.*

	Pesuseulan aukkokoko (mm)
PANK-2102	0,063
SFS-EN 933-1	0,063
SFS-EN ISO 17892-4	0,063
GLO-85	0,074

Kun vesi on kirkasta, seulan sisältö tyhjennetään näytteen sekaan ja näyte kuivataan. Pesuseulonnan jälkeen suoritetaan kuivaseulonta. Kuivaseulonnan jälkeen tuloksiin lasketaan mukaan pesuseulonnassa saatu pesuhäviö eli pesuseulan läpi veden mukana kulkenut hienoaineksen massa, joka saadaan laskettua alku- ja loppupunnituksien erotuksena.

5.2 Kuivaseulonta

Kuivaseulonnassa kuivattu maa-ainesnäyte laitetaan seulasarjaan, joka sisältää eri kokoisia seuloja siten, että alimmaisena on aukkokooltaan pienin seula. Kun seulasarjaa tärytetään, näytteen rakeet putoavat alaspäin seulasarjalla ja pysähtyvät seulalle, jonka aukkokokoa ne eivät enää läpäise.

Kuva 1. *Seulasarja*.

Standardi SFS-EN 933-1 (2012) koskee kiviainesten kuiva- ja pesuseulontaa. Standardi 933-2 (2020) määrittelee seulonnassa käytettävät seulasarjat kahdelle erilaiselle seulatyypille. Ensimmäinen on kuvan 1 mukainen reikälevyseula eli metallilevy, jossa on neliömäisiä reikiä, jotka ovat aukkokooltaan > 4 mm. Toinen seulatyyppi on verkkoseula,

jossa seulojen aukot muodostetaan metallilankojen avulla. Verkkoseulat ovat aukkokooltaan < 4 mm.

PANK-2101:n (1995) soveltamisalaan kuuluvat pinnoiltaan puhtaat, vähän hienoainesta sisältävät materiaalit. Menetelmää voidaan käyttää seulontaan myös silloin, kun hienoaineksen määrää ei tarvitse selvittää tarkasti.

Standardi SFS-EN ISO 17892-4 koskee maanäytteiden rakeisuuden määritystä. Kyseisessä standardissa käytetään standardien ISO 3310-1 ja ISO 3310-2 mukaisia seuloja kuten standardissa SFS-EN 933-1:kin.

Ennen kuivaseulontaa näyte kuivataan. Näyte saattaa paakkuuntua kuivaamisen yhteydessä, jolloin näyte hienonnetaan posliiniupokkaassa GLO-85 ja PANK-2101 mukaan. Yksittäisiä rakeita ei rikota. Standardin SFS-EN 933-1 mukaan paakkuuntuvia kiviainesnäytteitä ei kuivata, vaan näytteille suoritetaan seulonta ilman esikuivausta. Rinnakkaisnäyte puolestaan kuivataan ja sen perusteella lasketaan varsinaisen näytteen kuivamassa. Eri menetelmien kuivauslämpötilat ja -ajat on esitetty taulukossa 8. Kuivausmenetelmissä ei ole merkittäviä eroja eri menetelmien kesken. Seulonnan kannalta tärkeintä on, että näyte on kuivaa.

Taulukko 8. *Seulonnan kuivauslämpötilat ja -ajat.*

	Kuivauslämpötila (°C)	**Vähimmäisaika (h)**
PANK-2101	105 ± 5	5
	150–200 (erikoistapauksissa)	
SFS-EN 933-1	110 ± 5	-
GLO-85	105	4–5 h, hienorakeisilla yön yli
SFS-EN ISO 17892-4	105–110	vakiomassaan asti

Vähimmäisnäytemäärät arvioidaan menetelmissä maksimiraekoon tai materiaalin perusteella (taulukko 9). Vähimmäisnäytemäärissä ei ole suuria eroja. Oleellisinta on, että näyte on edustava ja näytemäärä on sopiva seulojen kokoon nähden.

Taulukko 9. *Vähimmäisnäytemäärät seulonnassa.*

PANK-2101	**Maksimiraekoko D_{max} (mm)**	**Vähimmäisnäytemäärä (kg)**	
	≤ 20	0,2D_{max}	
	> 20	0,6D_{max}	
SFS-EN 933-1	**Maksimiraekoko D_{max} (mm)**	**Vähimmäisnäytemäärä**	
		Kiviaines (kg)	**Kevytkiviaines (l)**
	90	80	-
	32	10	2,1
	16	2,6	1,7
	8	0,6	0,8
	≤ 4	0,2	0,3
GLO-85	**Materiaali**	**Vähimmäisnäytemäärä (kg)**	
	Hiekka	0,2–1,0	
	Sora	1–3	
	Karkearakeisemmat	4–15	
SFS-EN 17892-4	**Maksimiraekoko D_{max} (mm)**	**Vähimmäisnäytemäärä (kg)**	
	< 2,0	0,1	
	2,0	0,1	
	6,3	0,3	
	10	0,5	
	20	2	
	37,5	14	
	63	40	

Standardeissa SFS-EN 933-2 ja SFS-EN ISO 17892-4 seulojen määrittely perustuu ISO 3310-1 (vuosiluku) (1990) ja ISO 3310-2 (1999) (reikälevyseula) standardeihin. Standardissa SFS-EN 933-2 on mainittu seulastandardien pääseulasarjan seulakoot ja standardissa SFS-EN ISO 17982-4 suositeltavat seulakoot, jotka perustuvat ISO-luokituksen mukaisiin maalajien raekokorajoihin. Menetelmien seulakoot on esitetty taulukossa 10. Korostetut seulakoot eivät kuulu standardeihin ISO 3310-1 ja ISO 3310-2.

PANK-2101:n seulakoot ovat yhteneväiset standardien ISO 3310-1 ja ISO 3310-2 kanssa. Menetelmässä mainitaan varsinaisen seulasarjan lisäksi kaksi muuta lisäseulasarjaa, joita käytetään tarvittaessa. Lisäseulasarjojen koot ovat myös samoja kuin standardissa ISO 3310-1 mainitut seulakoot. GLO-85:ssa mainitussa seulasarjassa osa seuloista on esitetty suluissa, mikä tarkoittanee, että kyseistä seulaa käytetään tarvittaessa.

Taulukko 10. *Seulonnan seulakoot. Korostetut seulakoot eivät kuulu standardeihin ISO 3310-1 ja ISO 3310-2.*

	PANK-2101	**ISO 3310-1 ja ISO 3310-2 pääsarja SFS-EN 933-2**	**GLO-85**	**SFS-EN ISO 17892-4 suositeltavat seulat**
Seulakoot (mm)	0,063	0,063	(0,063)	0,063
			0,074	
		0,090		
	0,125	0,125	0,125	
		0,180		
				0,2
	0,25	0,250	0,25	
		0,355		
	0,5	0,500	0,5	
				0,63
		0,710		
	1	1	1	
		1,4		
	2	2	2	2,0
		2.8		
	4	4	4	
		5,6		
			(6)	
				6,3
	8	8	8	
		11,2		
	16	16	16	
			(20)	20
		22,4		
	31,5	31,5		
			32	
		45		
	63	63		63
			64	
		90		
	125	125		

Kaikkien muiden menetelmien seulakoot ovat mainittu ISO 3310-1:ssa joko pää- tai lisäsarjassa paitsi GLO-85:n seulakoot 0,074 mm, 32 mm ja 64 mm. Etenkin seulan 0,074 mm käyttö seulan 0,063 mm sijasta on oleellinen ero verrattuna muiden menetelmien käyttämiin seuloihin, sillä kyseinen seula kertoo hienoaineksen määrän, mikä on olennainen osa rakeisuuden määrityksessä. Seulat 32 mm ja 64 mm eivät eroa suuresti muiden standardeihin käyttämiin seuloihin 31,5 mm ja 63 mm.

Vaikka menetelmien seulakoot poikkeavat keskenään eri menetelmien kesken, menetelmät SFS-EN 933-2, PANK-2101 ja SFS-EN ISO 17892-4 sisältävät tärkeimmät seulat eli hienoaineksen, hiekan ja soran raekokorajojen mukaiset seulat. Lisäksi raekokorajojen mukaisten seulojen lisäksi välissä on myös muita seuloja säännöllisin välein, mikä on tarpeellista, ettei yhdelle seulalle kasaannu liikaa materiaalia, mikä estäisi materiaalin seuloutumista ja vääristäisi tulosta. Menetelmät ovat vertailukelpoisia keskenään seulakokojen osalta lukuun ottamatta GLO-85:sta, ellei hienoainesseulana käytetä 0,074 mm seulan sijasta muissa menetelmissäkin käytettyä seulaa 0,063 mm.

Tärytysajan on oltava tarpeeksi pitkä. GLO-85 ja SFS-EN ISO 17892-4:ssa tärytysajaksi mainitaan vähintään 10 minuuttia. Tärytyksen jälkeen varmistetaan, ettei seulalta enää varise läpi siihen mahdollisesti jääneitä pienempiä raekokoja esimerkiksi seulomalla hetken aikaa käsin koneellisen tärytyksen jälkeen (PANK-2101) tai kun 1 min lisäseulonta ei muuta seulalle jäänyttä yli 1 massaprosenttia (SFS-EN 17892-4; SFS-EN 933-1).

Seulonnan jälkeen varmistetaan, ettei yhdelle seulalle ole jäänyt liikaa materiaalia. Tällöin näyte ei pääsisi seuloutumaan kunnolla materiaalikerroksen läpi ja seulonnan tulos vääristyisi. Seulalle jäävän maa-aineksen sallittu enimmäismassa M (g) lasketaan kaavalla

$$M = \frac{A * \sqrt{d}}{200}, \qquad (2)$$

jossa A on seulan poikkileikkauksen pinta-ala (mm^2) ja d seulan aukkokoko (mm). Kyseinen kaava mainitaan PANK-2101:ssa, SFS-EN ISO 17892-4:ssa ja SFS-EN 933-1:ssa. Jos enimmäismassa ylittyy, kyseisen seulan näyte seulotaan uudestaan osissa. Kaikissa menetelmissä mainitaan, ettei seulotun materiaalin yhteenlaskettu massa saa erota aloitusmassasta yli 1 %. Muussa tapauksessa seulonta täytyy uusia. Punnitustarkkuudet on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. *Punnitustarkkuudet.*

	Punnitustarkkuus
PANK-2101	0,1 g
SFS-EN 933-1	0,01 g tai 0,1 % (suurempi)
GLO-85	0,1 g
SFS-EN ISO 17892-4	0,01 g tai 0,1 % (suurempi)

5.3 Hydrometrikoe

Hydrometrikoe perustuu Stokesin lakiin, jonka mukaan kappaleen eli tässä tapauksessa maa- tai kiviainesrakeen laskeutumisnopeus nesteessä on suoraan verrannollinen rakeen keskimääräisen läpimitan neliöön (Jääskeläinen et al. 1979, s. 75). Hydrometrikokeessa hydrometrillä mitataan hydrometrilukemat tietyin väliajoin liettyneestä näytteestä. Hydrometrinomogrammin- tai kaavojen avulla hydrometrilukemista saadaan piirrettyä hienoaineksen rakeisuuskäyrä. Ennen hydrometrikoetta tehdään yleensä seulonta, jos näyte sisältää merkittävästi karkearakeista materiaalia. Saville tai siltille voidaan tehdä hydrometrikoe ilman varsinaista seulontaa. Hydrometrikoe voidaan suorittaa, jos näyte sisältää yli 10 % hienoainesta (GLO-85 1985; SFS-EN ISO 17892-4 2016).

PANK-2103:n (2002) ja GLO-85:n soveltamisalueeseen kuuluu savi-, siltti- ja moreenimaiden rakeisuusmääritys hydrometrikokeella ja standardin SFS-EN ISO 17892-4 (2016) soveltamisala koskee maa-ainesten rakeisuuden määritystä pipetti- ja hydrometrimenetelmällä. Menetelmien soveltamisalat ovat siis lähes samat.

Näyteseos tehdään liettämällä näyte dispersio- eli peptisaattoriliuoksen avulla, jonka tarkoituksena on irrottaa näytteen rakeet toisistaan. Standardissa SFS-EN ISO 17892-4 liettäminen tapahtuu lisäämällä maanäytettä ja peptisaattoria astiaan, jota sekoitetaan tai tärytetään. Sen jälkeen suspensio eli liete huuhdotaan 0,063 mm seulan läpi. Seulan läpäisseelle ainekselle suoritetaan hydrometrikoe. PANK-2103 ja GLO-85:ssa näyte laitetaan suoraan mittalasiin ja lietetään siinä peptisaattorin, veden ja sekoittimen avulla.

PANK-2103 mukaan kostean eli kokeeseen tulevan näytteen massa lasketaan kosteusprosentin w perusteella kaavalla

$$m_{näyte} = m_{kuiva} * (1 + w), \quad (3)$$

jossa w on vesipitoisuus, $m_{näyte}$ tarkoittaa kostean testinäytteen massaa ja m_{kuiva} tarkoittaa kuivaa maa-ainesta, jonka määrä on 50 g. GLO-85:ssa näytteen määrä on samaa suuruusluokkaa, mutta standardissa SFS-EN ISO 17892-4 näytemäärä on noin puolet siitä (taulukko 12). Näytemäärien erot eivät ole niin suuria, että ne vaikuttaisivat oleellisesti kokeeseen, kunhan näyte on edustava.

Taulukko 12. *Hydrometrikokeen näytemäärät.*

	Materiaali	**Näytemäärä**
PANK-2103	Savi, siltti ja moreeni	$50\ g * (1 + w)$
SFS-EN ISO 17892-4	Maa-ainekset	20-30 g (alle 0,063 mm)
GLO-85	Hiekka ja moreenit	100 g
	Siltti	50 g
	Savi	50 g
	Savi (ilmakuiva)	52 g

GLO-85:ssa punnitustarkkuus on epätarkempi kuin PANK-2103:ssa ja SFS-EN ISO 17892-4:ssa. Punnitustarkkuudet on kirjattu taulukkoon 13.

Taulukko 13. *Punnitustarkkuus hydrometrikokeessa.*

	Punnitustarkkuus
PANK-2103	0,01 g
SFS-EN ISO 17892-4	0,01 g / 0,1 % (suurempi)
GLO-85	0,1 g

PANK-2103 ja GLO-85:ssa lukema-ajat ovat lähes samat lukuun ottamatta ensimmäistä lukemaa. Lisäksi PANK-2103:ssa on yksi lukema enemmän kokeen lopussa. Standardissa SFS-EN ISO 17892-4 lukema-aikoja on enemmän kokeen alussa. Taulukossa 14 on esitetty hydrometrikokeen lukema-ajat.

Taulukko 14. *Hydrometrin lukema-ajat.*

	Hydrometrin lukema-ajat
PANK-2103	2 min, 6 min, 1 h, 5 h, 1 vrk, 4 vrk
SFS-EN ISO 17892-4	Väh. 3 lukemaa ensimmäisen 5 min aikana, esim. 0,5 min, 1 min, 2 min Väh. 3 lukemaa lisää, esim. 4 min, 8min, 30 min, 1 h, 2 h, 6 h, 24 h
GLO-85	1 min, 6 min, 1 h, 5 h, 1 vrk

Suurempien rakeiden määrästä saadaan tarkempi tulos, kun alussa on useita lukema-aikoja. Useat lukema-ajat kokeen alussa ovat oleellisia myös siksi, että hydrometrilukema muuttuu nopeasti alussa. Tämän kannalta standardi SFS-EN ISO 17892-4 on suositeltavampi menetelmä. Oleellisinta hydrometrikokeessa kuitenkin on, että hydrometrin lukema-aikoja on sopivin väliajoin ja mittaus suoritetaan huolellisesti niin, että hydrometri on paikallaan lietteessä luettaessa hydrometria.

Hydrometrilukeman mittauksen yhteydessä mitataan myös lämpötila. Lämpötilan mittaamisessa ei ole suuria eroja menetelmien kesken (taulukko 15).

Taulukko 15. *Lämpötilan mittaamisajat hydrometrikokeessa.*

	Lämpötilan mittaus
PANK-2103	Kokeen alkaessa ja jokaisen mittauksen yhteydessä.
SFS-EN ISO 17892-4	1 krt ensimmäisen 15 min aikana. Sen jälkeen jokaisen mittauksen yhteydessä.
GLO-85	Jokaisen mittauksen yhteydessä.

Käytetyllä peptisaattorilla ei ole merkitystä muuten kuin rakeiden irrottamisen kannalta. Jos peptisaattori eroaa merkittävästi veden tiheydestä, se saattaa vaikuttaa hieman hydrometrin lukemaan. Hydrometrikokeeseen tuleva peptisaattorin määrä ja peptisaattori on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. *Hydrometrikokeessa käytetyt peptisaattorit.*

	Peptisaattori veteen liotettuna	Määrä per koe
PANK-2103	Natriumpyrofosfaatti 44,6 g/l	50 ml
SFS-EN ISO 17892-4	Esim. Tetranatriumdifosfaatti 20 g/l Heksanatriumheksametafosfaatti 40 g/l	10 % lietteen lopputilavuudesta
GLO-85	Esim. natriumpyrofosfaatti 44,6 g/l	50 ml

Kuva 2. *Meneillään oleva hydrometrikoe*.

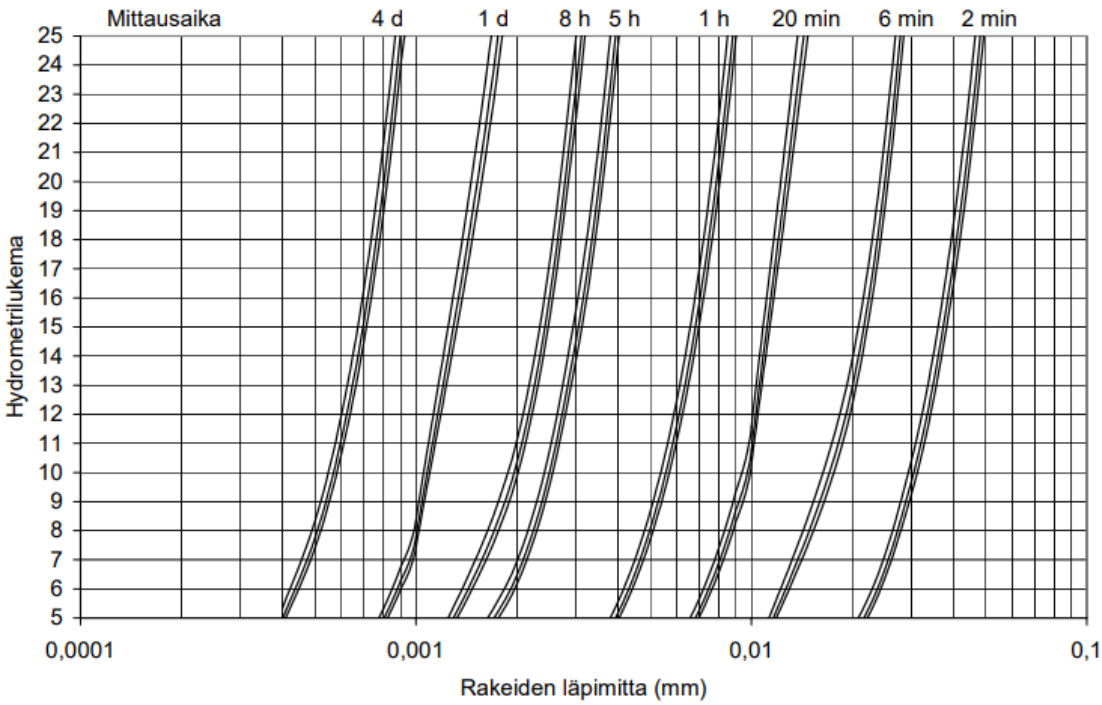
Tulokset

PANK-2103 ja GLO-85:ssa on nomogrammit hydrometrilukemien muuttamiseen rakeiden läpimitoiksi (kuva 3). Nykyään nomogrammien käyttämisestä on luovuttu ja niiden sijasta käytetään kaavoja. Standardi SFS-EN ISO 17892-4 käyttää rakeiden läpimitan arvioimisessa kaavaa

$$d_i = 0{,}005\,531\sqrt{\frac{\eta * H_r}{(\rho_s - \rho_w) * t}}, \qquad (4)$$

jossa d_i on ekvivalentti rakeen halkaisija (mm), η veden dynaaminen viskositeetti (mPa*s), H_r hydrometrin tehollinen syvyys (mm), ρ_s kiintotiheys (Mg/m^3), ρ_w sedimentaationesteen tiheys testauslämpötilassa (Mg/m^3) ja t sedimentaation alusta kulunut aika (min). Lisäksi standardin mukaan hydrometrilukemaan tehdään vertailuliuokseen perustuva korjaus sekä meniskuskorjaus.

Taulukkoon verrattuna standardin laskentakaava korjauksineen on monimutkaisempi, mutta oletettavasti tarkempi. Laskentakaava sisältää oletuksia, kuten sedimentaationesteen tiheys ja keskimääräinen kiintotiheys, ellei kiintotiheyttä määritetä erikseen.



Kuva 3. *Hydrometrikokeessa tulosten laskennassa käytetty nomogrammi (PANK-2103).*

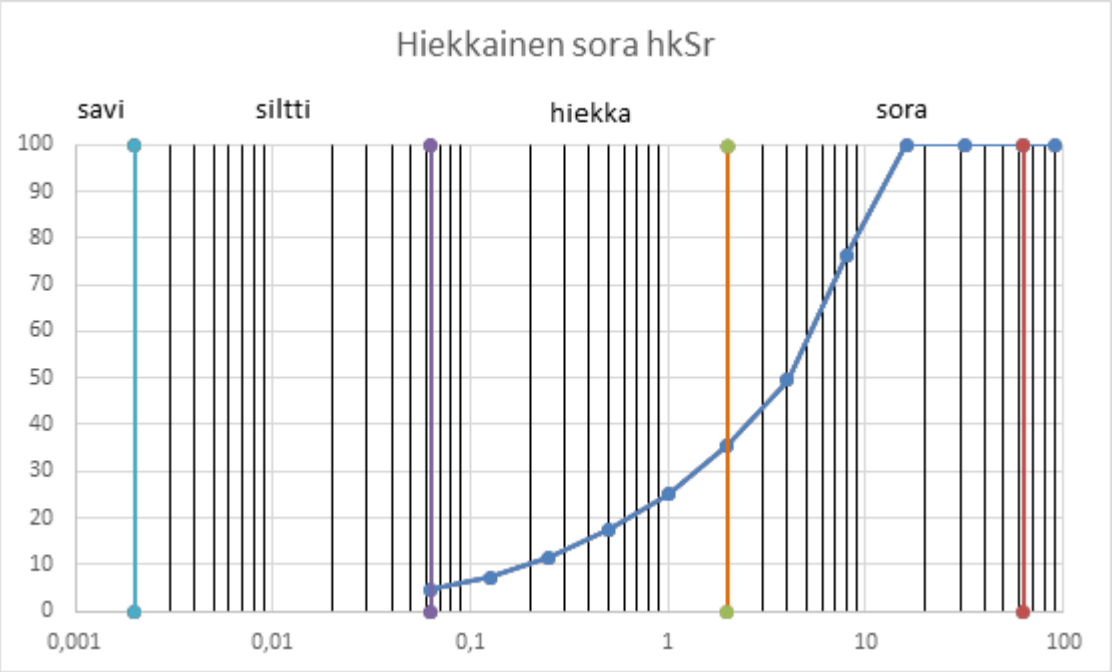
Hydrometrikokeeseen sisältyy useita virhelähteitä, joista osa on otettu huomioon standardin SFS-EN 17892-4 raekoon arvioimiskaavassa (kaava 4). Muita virhelähteitä ovat esimerkiksi PANK-2103:n mukaan rakeiden muodosta johtuva menetelmävirhe. Todellisuudessa rakeilla on pienempi laskeutumisnopeus kuin Stokesin lain mukaisilla pallon muotoisilla rakeilla. Standardin SFS-EN 17892-4 mukaan ominaispainoa mittaavasta hydrometristä aiheutuu myös pieni virhe. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää hydrometriä, joka mittaa liuoksen tiheyttä suhteessa puhtaan veden tiheyteen.

Hydrometrit kalibroidaan toimimaan eri lämpötiloissa, minkä takia on tärkeää, että kokeissa käytetään menetelmään soveltuvaa hydrometriä. Hydrometrit täytyy myös

kalibroida tilavuuden ja mitta-asteikon osalta, jotta saadaan tietoon tarkka tehollinen syvyys ja tilavuus nimellissyvyyden ja -tilavuuden sijasta (SFS-EN ISO 17892-4 2016, s. 32).

5.4 Tulosten laskenta ja esittäminen

Rakeisuutta kuvattaessa käytetään kumulatiivista rakeisuuskäyrää, jossa vaaka-akselilla on seulan aukkokoko logaritmisesti esitettynä ja pystyakselilla läpäisyprosentti. Kuvaaja kertoo raekokoa vastaavan läpäisyprosentin. Rakeisuuskäyrän vaaka-akselin raekoko esitetään yleensä logaritmisella asteikolla, jotta pienten raekokojen välit säilyvät järkevinä suurempien rakokojen väleihin verrattuna. Rakeisuuskäyrältä pystyy helposti nimeämään maalajin läpäisyprosentin perusteella. (Jääskeläinen et al. 1979, s. 55-56)



Kuva 4. *Rakeisuuskäyrä, jossa vaaka-akselilla on esitetty raekoko (mm) ja pystyakselilla läpäisyprosentti. Värikkäät pystyviivat kuvaavat maalajien raekokorajoja.*

Seulonta- ja hydrometrikokeiden tuloksista saadaan kaksi käyrää, jotka yhdistetään yhdeksi rakeisuuskäyräksi. Standardin SFS-EN ISO 17892-4 (2016) mukaan hydrometrikokeesta saatuja läpäisyprosentin K arvoja korjataan kaavalla

$$K_C = \frac{K * f_{2,00}}{100}, \qquad (5)$$

jossa $f_{2,00}$ on seulonnasta saatu 2 mm:n seulan läpäisevä lajite (%). Tämän avulla tulokset pystytään yhdistämään yhdeksi käyräksi. PANK-2103:ssa tulokset yhdistetään piirtämällä pesuseulontakäyrälle jatke kaavalla

$$x = \frac{bc}{a}, \tag{6}$$

jossa x on laskettava piste pesuseulontakäyrän jatkeeksi, a hydrometrikokeen läpäisyprosentti 0,074 mm kohdalla, b pesuseulonnan läpäisyprosentti 0,074 mm kohdalla ja c laskettavan pisteen hydrometrikokeen läpäisyarvo. Näin voidaan jatkaa pesuseulontakäyrää hienoaineksen puolelle. Laskennassa käytetään raekokorajaa 0,074 mm eli entistä hienoaineksen raekokorajaa. Nykyaikaisempi käytäntö voisi olla laskea käyrän jatke käyttämällä 0,063 mm raekokoa. GLO-85 käyttää samaa menetelmää tulosten yhdistämisessä kuin PANK-2103.

6. HUMUSPITOISUUS

Humuspitoisuudeksi kutsutaan maa- tai kiviaineksen orgaanisen aineksen osuutta suhteessa kuivan aineksen määrään (Jääskeläinen et al. 1979, s. 77). Humuspitoisuus vaikuttaa maan ominaisuuksiin jo hyvin pieninä määrinä (Jääskeläinen 2009, s. 27). Humuspitoisuus voidaan määrittää kuiva- tai märkäpolttomenetelmällä, natriumhydroksidimenetelmällä tai kolorimenetelmällä (Jääskeläinen et al. 1979, s. 78). Kolorimenetelmä on harvinaisempi, joten sitä ei käsitellä tässä työssä.

6.1 Polttomenetelmä

Kuivapolttomenetelmä on yleinen menetelmä, ja se soveltuu hienorakeisille maalajeille. Menetelmässä kuivattua näytettä hehkutetaan uunissa, jossa orgaaninen aines palaa ja haihtuu savukaasuina ilmaan. Näyte punnitaan ennen hehkutusta ennen ja hehkutuksen jälkeen, ja massaerotus jaetaan kuivan näytteen massalla, josta saadaan hehkutushäviö prosentteina ilmaistuna

$$Hh\ (\%) = \frac{m_k - m_h}{m_k} \cdot 100, \qquad (7)$$

jossa Hh on hehkutushäviö, m_k kuivatun näytteen massa (g) ja m_h hehkutetun näytteen massa (g). Humuspitoisuutta arvioitaessa hehkutushäviön perusteella tulee ottaa huomioon, että näytteen hehkutuksessa tapahtuu yleensä myös muiden kuin orgaanisen aineksen häviämistä, jotka vaikuttavat hehkutushäviöön, kuten kemiallisesti sitoutuneen veden haihtumista tai metallien ja sulfaattien hapettumisen kautta tapahtuva massahäviö (prEn 17685-1 2021).

Kuva 5. *Muhveliuuni ja upokkaat, joihin näyte laitetaan hehkuttamista varten.*

Soveltamisala

Eurooppalainen standardiluonnos prEN 17685-1 koskee orgaanisen aineksen osuuden arvioimista hehkutushäviön perusteella. Luonnoksen soveltamisalaan kuuluu hieno- ja karkearakeiset ja orgaaniset maa-ainekset sekä keinotekoiset materiaalit. Kyseessä on heinäkuussa 2021 julkaistu standardiluonnos, joka on kommentoitavana. Standardiluonnokseen voi tulla vielä muutoksia.

Hienorakeisten maa- ja kiviainesten humuspitoisuutta käsittelee myös käytöstä poistettu menetelmä PANK-2111 (1995), jota voidaan käyttää kuitenkin vielä ohjeena hehkutushäviön määrittämiseen. Menetelmä soveltaa ohjetta GLO-85, mistä johtuen PANK-2111 ja GLO-85 -ohjeet ovat lähes yhtenevät polttomenetelmän suhteen. GLO-85 sisältää myös ohjeen humuspitoisuuden määrittämiseen.

Standardi SFS-EN 1744-1 (2013) käsittelee kiviainesten kemiallisia analyysimenetelmiä. Standardissa humuspitoisuus määritellään natriumhydroksidimenetelmällä, mutta standardin mukaan humuspitoisuuden määrittämiseen voidaan vaihtoehtoisesti käyttää myös hehkutushäviön määrittämistä, jolloin lämpötilana käytetään 950 °C:n sijasta 480 °C.

Standardi SFS-EN 15935 (2021) käsittelee biojätteiden, pilaantuneen maaperän, lietteiden ja maatalousmaan kaltaisten maa-ainesten hehkutushäviötä ja standardi SFS-EN 13039 (2011) käsittelee maanparannusaineiden ja kasvualustojen orgaanisen aineksen pitoisuuden ja tuhkapitoisuuden määrittämistä. Standardi SFS-EN 1997-2 on osa eurokoodi 7:aa ja koskee rakennuskohteiden suunnittelun geoteknisiä näkökohtia.

Upokkaan esikäsittely

Standardeissa SFS-EN 1744-1, SFS-EN 15935 ja standardiluonnoksessa prEN 17685-1 mainitaan upokkaan tai maljan kuumentamisesta ennen näytteen hehkutusta. Standardissa SFS-EN 1744-1 upokkaan esikäsittelyksi mainitaan hehkutus, mutta lämpötilasta tai ajasta ei ole mainintaa. Upokkaan kuumentamisen jälkeen se jäähdytetään eksikkaattorissa ja punnitaan sen jälkeen ennen näytteen lisäämistä. PANK-2111 ja GLO-85:ssa ei mainita maljan esikäsittelystä. Upokkaat kuivataan näytteen kanssa. Taulukossa 17 on esitetty upokkaan hehkutuksen lämpötila ja -aika.

Taulukko 17. *Upokkaan esikäsittely hehkutushäviön määrityksessä.*

	Upokkaan esikäsittely (°C)	**Vähimmäisaika**
prEN 17685-1	550 ± 25	20 min
PANK-2111	-	-
GLO-85	-	-
SFS-EN 1744-1	hehkutus	-
SFS-EN 15935	550 ± 25	20 min
SFS-EN 13039	550 ± 25	16 h
SFS-EN 1997-2	-	-

Upokkaan hehkutus on osa näytteen hehkutushäviön määrittämistä, sillä upokkaaseen on saattanut jäädä haihtuvia aineita. Jos upokasta ei käsitellä, tulos voi hieman vääristyä etenkin siksi, että hehkutuksessa näytemäärät ovat tyypillisesti pieniä.

Vähimmäisnäytemäärät ja näytteiden esikäsittely

Standardi SFS-EN 1744-1 noudattaa alkuperäisen näytteen jakamisessa standardia SFS-EN 932-2 (1999). Alkuperäinen näyte jaetaan taulukon 18 mukaisiin näytekokoihin,

jota jaetaan ja murskataan asteittain. Kun on saatu 20 g näytettä, se jauhetaan ja seulotaan 125 µm seulan läpi, minkä jälkeen otetaan varsinaiseksi testinäytteeksi 1 ± 0,05 g.

Standardiluonnoksessa prEN 17685-1 on määritelty vähimmäisnäytemäärät maksimiraekoon mukaan ja näyte jaetaan standardin SFS-EN 932-2 mukaan. Jaetusta näytteestä seulotaan < 2 mm ainesta testinäytteeksi vähintään 50 g.

Taulukko 18. *Standardin SFS-EN 1744-1 ja standardiluonnoksen prEN 17685-1 mukaiset alkuperäisen näytteen vähimmäisnäytemäärät ennen näytteen käsittelyä lopulliseksi testinäytteeksi.*

SFS-EN 1744-1	**Kiviaineksen ylempi seulakoko D (mm)**	**Jaetun näytteen vähimmäismassa (kg)**
	63	50
	45	35
	31,5	15
	≤ 22,4	5
prEN 17685-1	**Maksimiraekoko D_{max} (mm)**	**Vähimmäismassa (kg)**
	1	0,2
	5	0,3
	≥ 10	$\frac{8}{1000} {D_{max}}^2$

PANK-2111:n mukaan näytemäärä on 10-15 g ja maksimiraekoko alle 2 mm. Standardissa SFS-EN 1997-2 ei ole mainittu tiettyä vähimmäisnäytemäärää.

Lähes kaikkien standardien ja ohjeiden mukaan esikäsittelyyn kuuluu seulonta. Seulakoot ovat kaikissa lähes samat, mutta muutamassa menetelmässä käytetään pienempiä seulakokoja eli testattava materiaali on raekooltaan pienempää. Näytemäärät ja raekoot ovat esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. *Näytemäärät ja raekoot hehkutushäviön määrityksessä.*

	Materiaali	Raekoko (mm)	Näytemäärä (g)
prEN 17685-1	Liete, turve, jäte ja käsitelty biojäte	< 2	0,5–5
	Maa-aines, jolla pieni humuspitoisuus	< 2	5–15
PANK-2111	Hienorakeiset maa- ja kiviainekset	< 2	10–15
GLO-85	Hienorakeiset maalajit	-	10–15
SFS-EN 1744-1	Kiviainekset	< 0,125	1 ± 0,05
SFS-EN 15935	Biojäte, liete, pilaantunut maaperä, maatalousmaa	< 0,2	0,5–5
SFS-EN 13039	Maanparannusmaat, kasvualustat	< 2	5
SFS-EN 1997-2	Maa-ainekset	< 2	Riittävän suuri

Tyypillisin maksimiraekoko näytteissä on 2 mm. Kiviainesstandardissa SFS-EN 1744-1 ja standardissa SFS-EN 15935 näytteet seulotaan seulakooltaan pienempien seulojen läpi.

European journal of soil science -lehdessä julkaistussa tutkimuksessa (Hoogsteen, M. J. J. et al. 2015) tutkittiin hehkutusolosuhteiden ja kideveden vaikutusta hehkutushäviöön hiekalla ja savella. Tutkimuksen mukaan näytteen vähimmäismassan pitäisi olla 20 g vaihtelun minimoimiseksi. Tutkimuksen perusteella kaikkien menetelmien vähimmäisnäytekoot ovat liian pieniä.

Kuivauslämpötila- ja aika

Kuivauslämpötilat ja -ajat ovat samat PANK-2111 ja GLO-85:ssa. Muissa ohjeissa kuivauslämpötilat vaihtelevat parilla asteella ja niissä kuivaus tehdään vakiomassaan asti. Lisäksi standardissa SFS-EN 13039 vähimmäiskuivausajaksi on annettu 4h.

Jokaisen kuivauksen jälkeen näytteet jäähdytetään eksikkaattorissa ja punnitaan. Standarissa SFS-EN 1997-2 ei mainita tiettyä lämpötilaa, mutta todetaan että normaalia 105 ± 5 °C alempi lämpötila on tarpeen, ettei orgaaninen aines hapetu. Standardissa mainitaan myös lämpötila 50 ± 2,5 °C, mutta sekään ei ehkä poista kaikkea vettä eli lämpötilan tulisi olla näiden kahden välillä. Taulukossa 20 on esitetty kuivauslämpötilat ja -ajat hehkutushäviön määrityksessä.

Taulukko 20. *Kuivauslämpötilat ja -ajat hehkutushäviön määrityksessä.*

	Kuivauslämpötila, °C	**Kuivausaika**
prEN 17685-1	110 ± 5	vakiomassaan asti
PANK-2111	105 ± 5	12 h
GLO-85	105	12 h
SFS-EN 1744-1	110 ± 5 (kuivataan tarvittaessa)	-
SFS-EN 15935	105 ± 5 (kuivataan tarvittaessa)	vakiomassaan asti
SFS-EN 13039	103 ± 2	vakiomassaan asti, ≥ 4 h
SFS-EN 1997-2	50 ± 2,5 – 105 ± 5	vakiomassaan asti

Kaikissa ohjeissa mainitaan kuivaus. Se on tärkeää, sillä näytteeseen jäänyt vesi vääristää hehkutushäviöstä tulkittavaa orgaanisen aineksen määrää. Kuivauslämpötilat ja -ajat eivät vaihtele merkittävästi ohjeiden kesken, joten oletettavasti ne eivät vaikuta lopputulokseen. Standardin SFS-EN 1744-1 mukaan kuivaaminen korkeammassa kuin 110 ± 5 °C lämpötilassa aiheuttaa sulfidien hapettumisen.

Hehkutuslämpötila- ja aika

Näytteen hehkutuslämpötiloissa on paljon vaihtelua eri testausmenetelmien kesken. PANK-2111 ja GLO-85:ssa hehkutuslämpötila on 800 °C ja hehkutusaika 1 h (taulukko 21). Standardiluonnoksen prEN 17685-1 mukaan näyte hehkutetaan 500 ± 25 °C:ssa 2 h ajan. Jos näytteen humuspitoisuus on suuri, häviötä voi syntyä näytteen liian nopean syttymisen takia. Tällöin uuni jäähdytetään hitaasti 250 ± 15 °C:een 1 h aikana, jotta pyrolyysi eli kuivatislaus pääse tapahtumaan. Näytteen hehkuttamisen jälkeen näyte jäähdytetään eksikkaattorissa, jonka jälkeen se punnitaan. PANK-2111:n mukaan näytettä tulee jäähdyttää eksikkaattorissa vähintään 30 min.

Standardin 15935 mukaan näytettä tulee kostuttaa muutamalla tipalla ammoniumnitraattiliuosta, jos 2 h hehkuttamisen jälkeen näytteessä näkyy vielä mustia hiilihiukkasia. Sen jälkeen näyte asetetaan uuniin, uuni kuumennetaan hitaasti takaisin 550 asteeseen ja hehkuttamista jatketaan 1 h ajan.

Standardin SFS-EN 15935 mukaan näyte hehkutetaan kuivaamattomana, jos näyte sisältää runsaasti haihtuvia tai orgaanisia aineita, tai jos näytettä ei ole kuivattu. Tässä tapauksessa uuni lämmitetään hitaasti 550 asteeseen ja lämpötilaa pidetään vähintään 1 h. Jos näytteessä on vielä mustia hiilihiukkasia jäljellä, sille toistetaan taas kostutus ammoniumnitraatilla ja uuni kuumennetaan takaisin 550 asteeseen ja hehkutusta jatketaan 1 h ajan. Veden osuus näytteestä otetaan huomioon standardin EN 15934 mukaisesti titraamalla.

Taulukko 21. *Hehkutuslämpötila- ja aika hehkutushäviön määrittämisessä.*

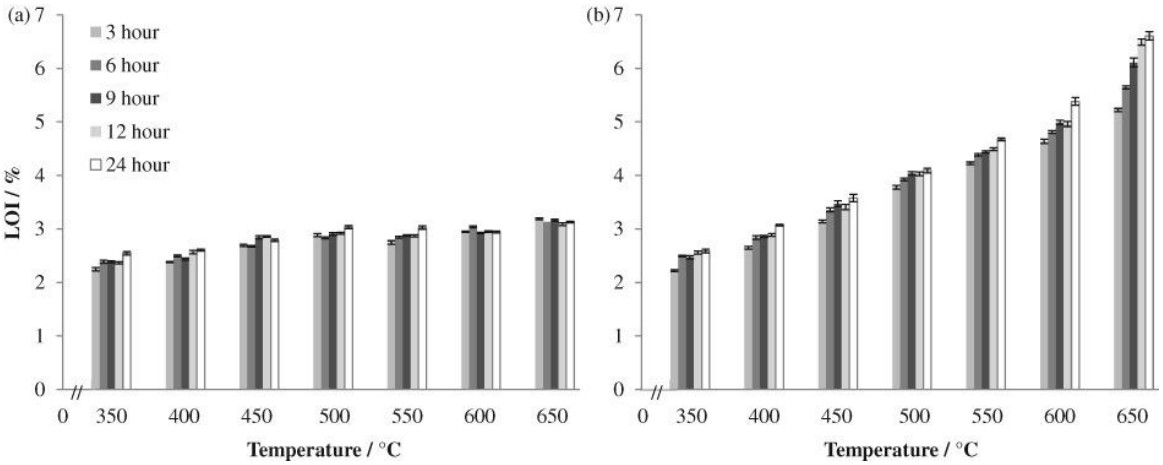
	Hehkutuslämpötila (°C)	**Hehkutusaika (vähintään)**
prEN 17685-1	550 ± 25	2 h
	Korkea humuspitoisuus:	
	250 ± 15	Lämpötila lasketaan 1 h aikana
	550 ± 25	Lämpötila nostetaan 1 h aikana
	550 ± 25	Lämpötila pidetään ≥ 2 h
PANK-2111	800 ± 25	1 h
GLO-85	800	1 h
SFS-EN 1744-1	480 ± 25	1 h
SFS-EN 15935	550 ± 25	2 h +1 h tarvittaessa
SFS-EN 13039	450 ± 25	Lämpötila nostetaan 1 h aikana Lämpötila pidetään ≥ 6 h Hehkutetaan vakiomassaan asti
SFS-EN 1997-2	500–520	Vakiomassaan asti

Hehkutuslämpötila vaikuttaa merkittävästi hehkutushäviöön, sillä eri aineet haihtuvat ja palavat eri lämpötiloissa. Mitä kauemmin ja mitä korkeammassa lämpötilassa näytettä hehkuttaa, sitä suurempi hehkutushäviöstä tulee (Hoogsteen, M. J. J. et al. 2015).

Hoogsteen, M. J. J. et al. tutkivat 2015 julkaistussa tutkimuksessaan hehkutusolosuhteiden eli muun muassa hehkutuslämpötilan ja -ajan vaikutusta hehkutushäviöön hiekalla ja savella. Tutkitut lämpötilat olivat 350-650 °C ja ajat 3-24 h. Tutkimuksen johtopäätösten mukaan täydellisen hapettumisen saavuttamiseksi hehkutuslämpötilan pitäisi olla vähintään 550 °C, minkä perusteella standardeissa SFS-EN 1744-1 ja SFS-EN 13039 käytetyt lämpötilat olisivat liian alhaisia. Toisaalta näissä standardeissa ei juuri käsitellä hiekkaa tai savea, jotka taas olivat tutkimuksen näytetyypit. Standardeissa käsitellään myös muitakin kuin luonnonmateriaaleja, minkä takia alhaisempi lämpötila voisi olla perusteltu materiaalin sisältämien aineiden haihtumisen takia.

Tutkimus antaa osviittaa siihen, että hehkutuslämpötila vaikuttaa hehkutushäviöön erityisesti savisilla mailla. Tutkimuksen savisempi näyte sisälsi 25 % savea. Kyseisellä maanäytteellä hehkutushäviö erosi lämpötilasta riippuen suurimmillaan jopa 4 prosenttiyksikköä. (Hoogsteen, M. J. et al. 2015) Savisuus ja kideveden poistumisen osuus hehkutuksessa otetaan huomioon hehkutushäviössä, mutta siinä ei oteta huomioon hehkutuslämpötilaa- ja aikaa.

Hehkutuslämpötilat vaihtelevat eri ohjeissa aina 450 asteesta 800 asteeseen asti. Tutkimuksen perusteella eri hehkutuslämpötiloja käyttävien menetelmien tuloksia ei voi vertailla keskenään etenkään savipitoisilla mailla. GLO-85 ja PANK-2111 käyttävät samoja hehkutuslämpötiloja ja -aikoja sekä soveltamisalat vastaavat toisiaan, joten niiden tuloksia voidaan vertailla keskenään. Myös prEN 17685-1 ja SFS-EN 15935 hehkutuslämpötilat ja -ajat vastaavat toisiaan, mutta niiden soveltamisalat ovat melko erilaiset.



Kuva 6. *Hehkutuslämpötilan ja -ajan vaikutus hehkutushäviöön hiekkaisella (4 % savea, kuvaaja a) ja silttisellä (25 % savea, kuvaaja b) näytteillä (Hoogsteen, M. J. J. et al. 2015).*

Punnitustarkkuus

Punnitusten lukematarkkuudet (taulukko 22) eroavat toisistaan suurimmillaan kahden desimaalin verran. Suurinta tarkkuutta vaatii standardi SFS-EN 1744-1 ja pienintä kansalliset menetelmät PANK-2111 ja GLO-85. Standardissa SFS-EN 1997-2 ei ole mainittu tarkkuutta, mutta standardissa viitataan muihin EN- ja ISO-standardeihin.

Taulukko 22. *Punnitustarkkuudet hehkutushäviön määrityksessä.*

	Punnitustarkkuus (g)
prEN 17685-1	0,003
PANK-2111	0,01
GLO-85	0,01
SFS-EN 1744-1	0,0001
SFS-EN 15935	0,001
SFS-EN 13039	0,001
SFS-EN 1997-2	-

Punnitustarkkuuden eroja selittää mahdollisesti ohjeiden julkaisuajankohta ja vaakojen tekniikan kehittyminen. PANK-2111 ja GLO-85 ovat julkaistu viime vuosituhannen puolella vuosina 1995 ja 1985, ja standardit ovat puolestaan julkaistu vuodesta 2011 eteenpäin, joten ne ovat melko uusia kansallisiin menetelmiin verrattuna.

Kideveden osuus

Humuspitoisuuteen pitää ottaa hehkutushäviön lisäksi huomioon myös saven ja hienon siltin hehkutuksessa poistuva kidevesi. Kideveden osuus hehkutushäviöstä arvioidaan GLO-85:ssa ja PANK 2111-menetelmässä savipitoisuuden eli < 2 mm aineksen perusteella, joka saadaan tulokseksi hydrometrikokeesta. Standardiluonnoksessa prEN 17685-1 orgaanisen aineksen osuus arvioidaan kaavalla

$$C_{OM} = w_{LOI} - 0{,}04 w_L, \tag{8}$$

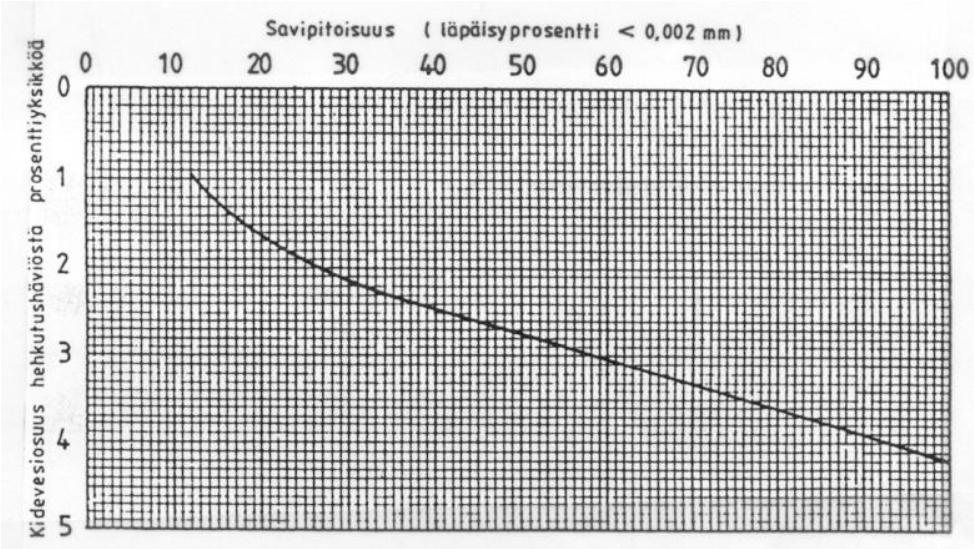
jossa C_{OM} on orgaanisen aineksen osuus prosentteina, w_{LOI} on hehkutushäviö ja w_L on juoksuraja, joka tarkoittaa maa vesipitoisuutta juoksevan ja plastisen olomuodon välissä. Juoksuraja määritetään koputuskokeella. Standardeissa SFS-EN 1744-1, SFS-EN 13039 ja SFS-EN 15935 ei määritellä kideveden osuutta, sillä niiden soveltamisalaan eivät kuulu hienorakeiset maalajit. Standardin SFS-EN 1997-2 humuspitoisuuden arviointi hehkutushäviön perusteella on tarkoitettu vain vähän savea ja karbonaatteja

sisältävien maiden testaukseen ja humuspitoisuus lasketaan olettaen, että massahäviö johtuu vain orgaanisen aineksen hehkutuksesta. Standardeissa SFS-EN 1744-1 ja SFS-EN 13039 orgaanisen aineksen määrä ilmoitetaan hehkutushäviönä, ja standardissa SFS-EN 15935 määritellään pelkästään hehkutushäviö, ei humuspitoisuutta. Kideveden osuuden huomiointi eri menetelmissä on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. *Kideveden huomioon ottaminen hehkutushäviössä hienorakeisilla maalajeilla.* $\boldsymbol{w_L}$ *tarkoittaa juoksurajaa.*

	Kideveden osuus hehkutushäviöstä
prEN 17685-1	$0{,}04w_L$
PANK-2111	Lasketaan savipitoisuuden perusteella
GLO-85	Lasketaan savipitoisuuden perusteella
SFS-EN 1744-1	-
SFS-EN 15935	-
SFS-EN 13039	-
SFS-EN 1997-2	-

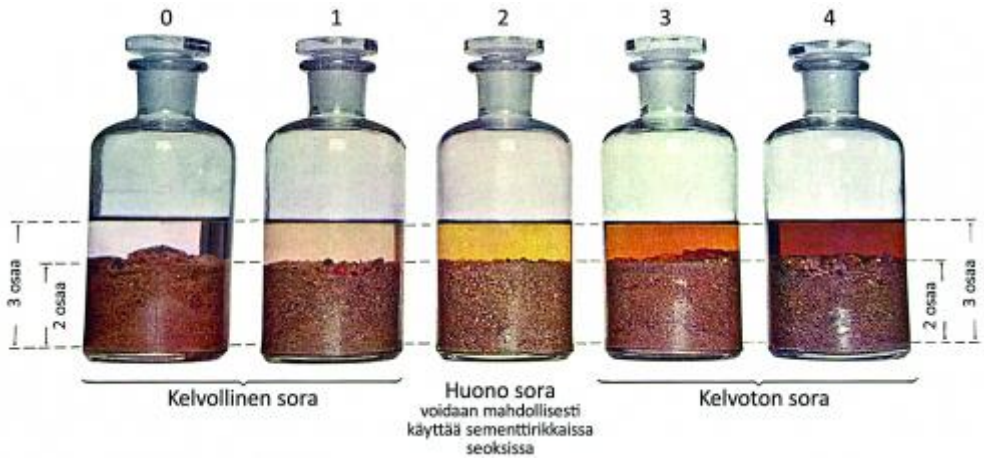
Juoksurajan perusteella tehtävä kideveden osuuden määritys on hyvin erilainen verrattuna tähän asti Suomessa käytettyyn savipitoisuuskuvaajaan, joka näkyy kuvassa 6. Juoksuraja perustuu näytteen sisältämään vesipitoisuuteen ja kansallisissa menetelmissä käytetty taulukko puolestaan savipitoisuuteen.



Kuva 7. *Kideveden osuus hehkutushäviöstä prosenttiyksikköinä savipitoisuuden perusteella arvioituna (PANK-2111).*

6.2 Natriumhydroksidimenetelmä

Natriumhydroksidimenetelmää käytetään arvioitaessa suurpiirteisesti karkean kiviaineksen humuspitoisuutta. Natriumhydroksidimenetelmässä orgaaninen aines reagoi natriumhydroksidin kanssa, mistä syntyy tumma väri. Värin intensiteetti riippuu materiaalin humuspitoisuudesta. (SFS-EN 1744-1 2013) Tulos luetaan silmämääräisesti vertailemalla liuoksen väriä vakioituun väriliuokseen, värikarttaan tai sanalliseen väritaulukkoon. Natriumhydroksidimenetelmä on vertailumenetelmä, joten sillä ei saada tarkkoja tuloksia kiviaineksen orgaanisen aineksen pitoisuudesta. Kaikkien humusten alkalisuolat eivät ole myöskään väriltään yhtä voimakkaita, mikä vaikuttaa lopputulokseen (SFS-EN 1744-1 2013). Kiviaineksen seassa voi olla myös muita väriin vaikuttavia materiaaleja, kuten kromia, mikä voi vääristää tuloksen.



Kuva 8. *Natriumhydroksidimenetelmän kiviainesnäytteet, joiden humus on värjännyt etenkin oikeanpuoleiset liuokset tummiksi (Betonitieto).*

Natriumhydroksidimenetelmää kiviainesten humuspitoisuuden testauksessa käsittelee menetelmä PANK-2106 (1995) sekä standardi SFS-EN 1744-1 (2013). Standardissa humuspitoisuutta käsitellään sementin sitoutumiseen ja kovettumiseen vaikuttavana aineena.

Standardi SFS-EN 1744-1 määrittelee ylemmän seulakoon mukaisen vähimmäisnäytemäärän, joka kuivataan 40 ± 5 °C:n lämpötilassa ja seulotaan 4 mm seulan läpi. Arvot on esitetty taulukossa 24. Seulan läpäissyttä ainesta käytetään koenäytteenä. Standardissa määritellään myös tuloksen vertailussa käytetty vertailuliuos ja kahden viikon seisonta-aika liukoselle ennen testiä sekä natriumhydroksidiliuoksen valmistus. PANK-2106:ssa ei määritellä näitä. Molemmissa ohjeissa natriumhydroksidiliuoksen pitoisuus on 3 %.

Taulukko 24. *Natriumhydroksidimenetelmän näytteen esikäsittelyyn liittyviä arvoja sekä natriumhydroksidiliuoksen pitoisuus.*

	Ylempi seulakoko D (mm)	Vähimmäis-näytemäärä (kg)	Seula (mm)	Kuivaamis-lämpötila (°C)	NaOH-liuos pitoisuus (%)
PANK-2106	-	-	-		3
SFS-EN 1744-1	63	50	4	40 ± 5	3
	45	35			
	31,5	15			
	≤ 22,4	5			

PANK-2106 mukaan lasipulloon kaadetaan ensiksi näyte, jonka jälkeen NaOH-liuosta täydennetään 80 mm rajaan asti. Standardin SFS-EN 1744-1 mukaan näyte ja liuos laitetaan lasipulloon eri järjestyksessä. Järjestyksellä ei luultavasti ole väliä, sillä liuoksen ja näytteen lisäämisen jälkeen pulloa ravistellaan tai sekoitetaan voimakkaasti, joten näytettä ei pitäisi jäädä pullon pohjaan tai reunoihin kiinni. Taulukossa 25 on esitetty näytteen ja natriumhydroksidiliuoksen määrä NaOH-menetelmässä.

Taulukko 25. *Näytteen ja liuoksen määrä NaOH-menetelmässä.*

	Lasipulloon näytettä	Lasipulloon NaOH-liuosta	Käsittely
PANK-2106	50 mm	30 mm	Sekoitus voimakkaasti
SFS-EN 1744-1	40 mm	80 mm	Ravistaminen 1 min ajan

PANK-2106 mukaan sekoituksen jälkeen odotetaan 1 vrk, jonka jälkeen tulos luetaan. Tuloksen luenta tapahtuu vertaamalla liuoksen väriä sanalliseen väritaulukkoon ja tarvittaessa värikarttaan. Tulos ilmoitetaan humuspitoisuutena välillä 0-IV. Standardissa SFS-EN 1744-1 on sama odotusaika, mutta liuoksen väriä verrataan vakioituun väriliuokseen ja tulos ilmoitetaan positiiviseksi eli tummemmaksi kuin vakioitu väriliuos tai negatiiviseksi eli vakioitua väriliuosta vaaleammaksi. Taulukossa 26 on esitetty tulosten tulkinta ja ilmoittaminen.

Taulukko 26. *Natriumhydroksidimenetelmän tulosten tulkinta ja ilmoittaminen.*

	Tulosten tulkinta ja ilmoittaminen
PANK-2106	0 – väritön I – vaalean keltainen II – punakeltainen III – vaalean ruskea IV – tumman ruskea, punainen tai musta
	Värikartta (tarpeen vaatiessa)
SFS-EN 1744-1	Negatiivinen (vaaleampi kuin vakioitu väriliuos) Positiivinen (tummempi kuin vakioitu väriliuos)

Näiden kahden menetelmän tuloksia on haastava vertailla keskenään, sillä tulosten tulkinta ja ilmoittaminen ovat keskenään hyvin erilaisia. Jos tiedetään vakioidun väriliuoksen väri, suurpiirteinen vertailu voi olla mahdollista.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Vesipitoisuuden osalta testausmenetelmien erot olivat hyvin pieniä. Lämpökaapin lämpötilat ja punnitustarkkuudet olivat lähes identtiset. Suurin ero oli vähimmäisnäytemäärissä ja niiden määrittelyissä, eikä niidenkään pitäisi vaikuttaa lopputulokseen, kun näytteet on otettu edustavasti ja homogenisoitu ennen näytteen jakoa ja testausta.

Seulonnassa merkittävin ero menetelmien välillä on GLO-85:ssa käytetty 0,074 mm seulakoko. Kyseinen seulakoko ei enää sovellu nykyään käytettävien maalajiluokitusten raekokorajojen kanssa yhteen. Seulakoko 0,074 mm on lähellä nykyään käytettävää seulaa 0,063 mm, joten se ei luultavasti kuitenkaan vaikuta tuloksiin merkittävästi.

Hydrometrikokeessa eroja löytyi hydrometrin lukema-ajoista sekä tulosten laskennasta. Kansainvälisessä standardissa oli selostettu tulosten laskenta kaavojen kautta, kun taas kansallisissa menetelmissä tulosten laskenta oli esitetty epätarkempien nomogrammien kautta. Nomogrammeja ei kuitenkaan enää nykypäivänä juurikaan käytetä.

Merkittävä ero oli humuspitoisuuden määrityksessä näytteen hehkutuksessa. Hehkutuslämpötila vaikuttaa merkittävästi eri aineiden palamiseen ja hehkutuslämpötilojen välillä oli paljon eroja eri menetelmien kesken. Sen takia eri lämpötiloja käyttävät menetelmät eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Uusi kansainvälinen standardiluonnos prEN 17685-1 (2021) ottaa kideveden osuuden hehkutushäviöstä huomioon eri tavalla kuin kansalliset menetelmät, mikä on myös merkittävä ero.

Kansallisen tason testausmenetelmät perustuvat pitkälti samaan hyväksi havaittuun käytäntöön, minkä takia eroavaisuudet niiden välillä ovat pieniä. GLO-85 ja PANK-menetelmät ovat vanhoja ja suurpiirteisiä menetelmiä. Uudemmat standardit korvaavat niitä enenevissä määrin, mikä on toivottavaa, sillä kansainväliset standardit ovat yksityiskohtaisempia ja vaativat suurempaa tarkkuutta. Aina kun on mahdollista, tulisi käyttää kansainvälisiä standardeja. Näin ohjeistetaan myös Eurokoodi 7:ssa (SFS-EN 1997-1 2014). Joillekin määrityksille ei ole olemassa soveltamisalaltaan sopivia kansainvälisiä standardeja, jolloin käytetään muita menetelmiä.

LÄHTEET

Betonitieto. Humus. Saatavilla (viitattu 6.5.2022): https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/humus.html

Hoogsteen, M. J. J, Lantinga, E. A, Bakker, E. J, Groot, J. C. J & Tittonell, P. A (2015). Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. European journal of soil science. 9 s. Saatavilla (viitattu 7.3.2022): https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ejss.12224

Inspecta Sertifiointi Oy (2020). Tuotesertifiointi. PANK-hyväksyntä. TR 10:2020. Tuoteryhmäohje. Saatavilla: https://www.pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-hyvaksynta/

Jääskeläinen, R. (2009). Geotekniikan perusteet. Tammertekniikka. 332 s.

Jääskeläinen, R., Rantamäki, M. & Tammirinne, M. (1979). Geotekniikka. Otakustantamo. 293 s.

Korhonen, K-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. (1974). Geotekninen maaluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 20 s.

Suomen geoteknillinen yhdistys (1985). Glo-85: geotekniset laboratorio-ohjeet. Luokituskokeet. Rakentajain Kustannus Oy. 107 s.

SFS-EN 1097-5 (2008). Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa. Suomen standardisoimisliitto. 11 s.

SFS-EN 1744-1 (2013). Kiviainesten kemiallisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Kemiallinen analyysi. Suomen standardisoimisliitto. 59 s.

SFS-EN 1997-1 (2014). Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Suomen standardisomisliitto. 161 s.

SFS-EN 13039 (2011). Maanparannusaineet ja kasvualustat. Orgaanisen aineksen pitoisuuden ja tuhkapitoisuuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto. 14 s.

SFS-EN 13242 (2003). Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. Suomen standardisoimisliitto. 38 s.

SFS-EN 15935 (2021). Soil, waste, treated biowaste and sludge. Determination of loss on ignition. Suomen standardisoimisliitto. 14 s.

SFS-EN ISO 14688-1 (2018). Geotekninen tutkimus ja testaus. Maan tunnistaminen ja luokitus. Osa 1: Tunnistaminen ja kuvaus. Suomen standardisoimisliitto. 51 s.

SFS-EN ISO 14688-2 (2018). Geotekninen tutkimus ja testaus. Maan tunnistaminen ja luokitus. Osa 1: Luokituksen perusteet. Suomen standardisoimisliitto. 16 s.

SFS-EN ISO 17892-1 (2015). Geotekninen tutkimus ja testaus. Maan laboratoriokokeet. Osa 1: Vesipitoisuuden määritys. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 16 s.

SFS-EN ISO 17892-4 (2016). Geotekninen tutkimus ja testaus. Maan laboratoriokokeet. Osa 4: Rakeisuuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 38 s.

ISO 3310-1 (1990). Test sieves – Technical requirements and testing. Part 1: Test sieves of metal wire cloth. International Organization for Standardization. 7 s.

ISO 3310-2 (1999). Test sieves – Technical requirements and testing. Part 1: Test sieves of perforated metal plate. International Organization for Standardization. 10 s.

PANK-2101 (1995). Rakeisuusmääritys, kuivaseulonta. Päällystealan neuvottelukunta. Käytöstä poistettu menetelmä. 4 s.

PANK-2102 (1995). Rakeisuusmääritys, pesuseulonta. Päällystealan neuvottelukunta. Käytöstä poistettu menetelmä. 4 s.

PANK-2103 (2002). Rakeisuusmääritys, hydrometrikoe. Päällystealan neuvottelukunta. 6 s.

PANK-2106 (1995). Humuspitoisuus, NaOH-menetelmä. Käytöstä poistettu menetelmä. Päällystealan neuvottelukunta. 2 s.

PANK-2109 (1996). Kiviainekset, vesipitoisuus, uunikuivaus. Päällystealan neuvottelukunta. Käytöstä poistettu menetelmä. 4 s.

PANK-2111 (1995). Humuspitoisuus, polttomenetelmä. Päällystealan neuvottelukunta. Käytöstä poistettu menetelmä. 3 s.

prEN 17685-1 (2021). Earthworks – Chemical tests – Part 1: Determination of organic matter content by loss on ignition. European Committee for Standardization. Luonnos. 12 s.