

Vastaanottaja
Seinäjoen kaupunki

Asiakirjatyyppi
Stabiloitavuustutkimusraportti

Päivämäärä
09 / 2011

SEINÄJOKI, ROVES STABILOITAVUUSTUT- KIMUSTEN RAPORTTI ALUSTAVAT TUTKIMUKSET

SEINÄJOKI, ROVES ALUSTAVAT TUTKIMUKSET

Tarkastus 1.0
Päivämäärä 07/09/2011
Laatija Susanna Ollila
Hyväksyjä Pentti Lahtinen
Kuvaus Stabiloitavuustutkimusraportti

Viite 82135416-01

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	1
2.	Materiaalit	2
3.	Menetelmät	5
4.	Tulokset	6
5.	Johtopäätökset	9

LIITTEET

Liite 1 Stabiilitavuustutkimusten puristuslujuustulokset ja painumat

1. JOHDANTO

Stabiloitavuustutkimukset on suoritettu Seinäjoen Roveksen esirakennusalueen heikkolaatuisille maalajeille. Alueen maa-aines on päältä turvekerros, jonka alla on lieju/silttikerros. Tällä stabiloituvuustutkimuksella selvitetään turvekerrosten stabiloituvuus alustavasti. Tämä tutkimus on alustava sideainereseptointitutkimus, jolla saadaan alustavasti tietoja alueen turpeiden stabiloituvuuksista sekä paikallisen SeVon tuhkien hyödyntämisestä. Samalla testattiin alustavasti kasavarastoidun tuhkan lisäämisestä saatavia hyötyjä sekä turpeen alapuolisen siltin/liejun osittaisesta turpeeseen sekoittamisesta saatavaa hyötyä.

2. MATERIAALIT

Tutkittavat näytteet on otettu Rambollin Seinäjoen toimiston toimesta. Näytepisteet ovat valittu Aluetekniikan tekemien kairausten perusteella, siten että tutkittavat näytteet kuvaisivat mahdollisimman kattavasti alueen erilaisia maalajeja.

Taulukossa 1 on esitetty Roveksen näytteiden perustutkimuksista saadut tulokset. Näytteenotto-pisteet on esitetty kuvassa 1.

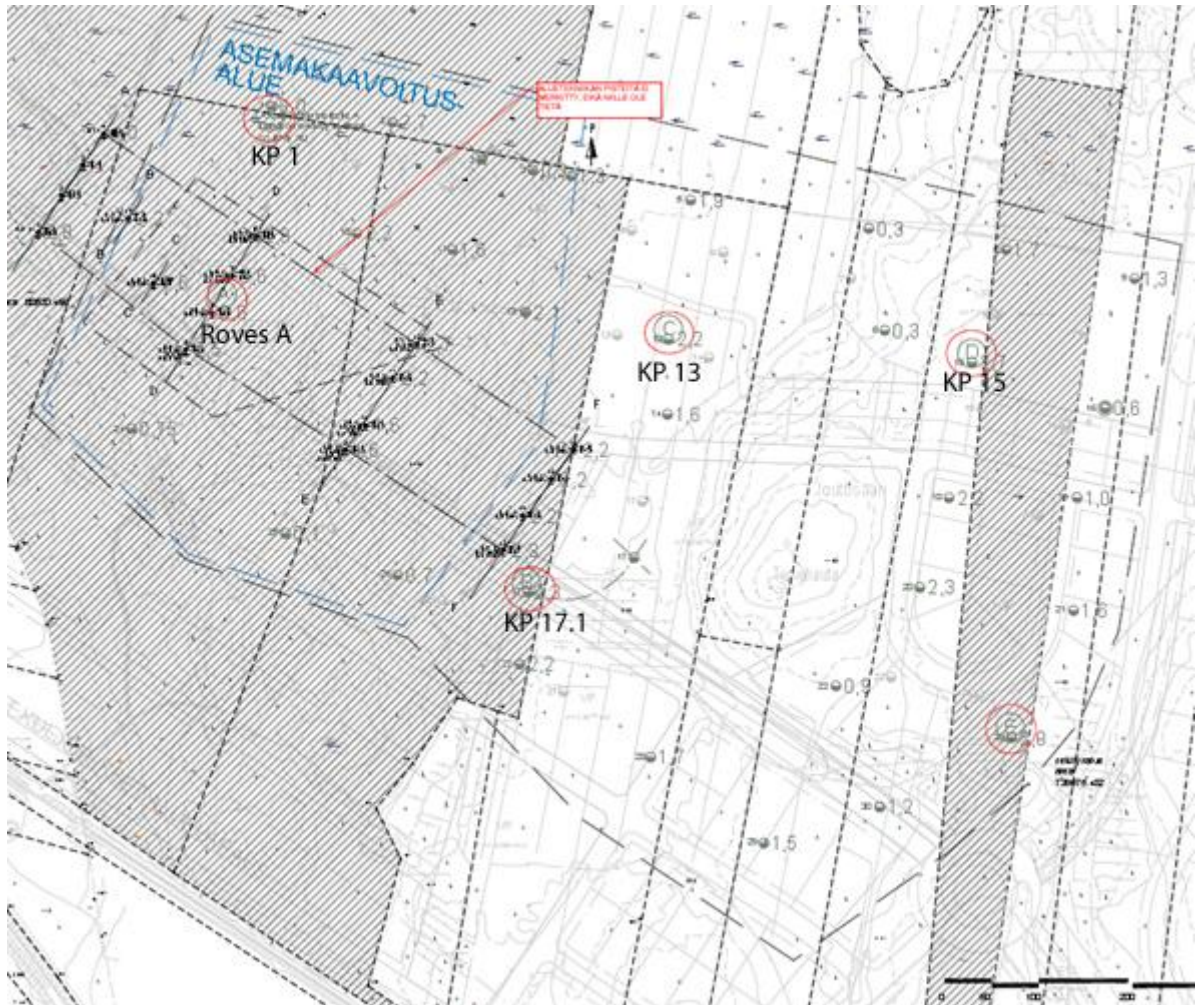
Taulukko 1. Roveksen alueen näytteet

Näyte	Syvyys	Vesipitoisuus W [%]	Hehkutus- häviö Hh [%]	Tiheys ρ [kg/m ³]	pH	Silmämääräinen maalaji/havainnot
pikku A	0,5 m	802				Rtv
pikku A	1,0 m	871				Ktv
pikku A	2,0 m	875				Mtv
pikku KP1	0,5 m	932				Rtv
pikku KP1	1,0 m	827				Ktv
pikku KP1	1,5 m	876				Ktv
pikku KP1	2,0 m	757				Mtv, Silttiä mukana
pikku KP13	0,5 m	960				Ktv
pikku KP13	1,0 m	761				Ktv
pikku KP13	2,0 m	640				Ktv, Silttiä mukana
pikku KP15	0,5 m	851				Rtv
pikku KP15	1,0 m	1132				Ktv
pikku KP15	2,0 m	802				Ktv
pikku KP 17.1	0,5 m	1041				Rtv
pikku KP 17.1	1,0 m	902				Ktv
Roves A	1,0 m	873	95,7	0,990	4,9	Rtv/Ktv
Roves A	2,0 m	953	94,5	0,990	5,2	Ktv
Roves A	3,0 m	751	79,0	1,000	5,2	Mtv
Roves A	3,1 m	128				Lj, turvetta mukana
KP 1	1,0 m	928	94,9	0,990	5,2	Rtv
KP 1	2,8 m	70				siLj, turvetta mukana
KP 13	1,0 m	806	95,0	0,990	5,0	Rtv
KP 13	2,1 m	22				Si
KP 15	1,0 m	1134	98,0	0,980	3,6	Rtv, pääosin vaalean ruskeaa
KP 15	2,3 m	99				Lj
KP 17.1	1,0 m	968	96,5	0,980	4,9	Rtv, vaalean ruskeaa
KP 17.1	2,3 m	29				ljSi, vähän kiviä mukana

Rtv on raakaturve

Ktv on keskiturve

Mtv on maatunut turve



Kuva 1. Näytteenottopisteet

Näytteet olivat pääosin turvetta, joiden vesipitoisuus vaihteli 750...1140 % välillä. Myös turvekerroksen alapuolisista siltti/liejuserroksista otettiin näytteet. Turpeet vaihtelivat raakaturpeesta maatumuneeseen turpeeseen. Pienempien näytteiden vesipitoisuudet korreloivat hyvin suurempien näytteiden vesipitoisuuksien kanssa. Stabiiloitavuus tutkimuksissa käytettiin runkoaineina seuraavia näytteitä tai näytteiden sekoituksia.

Näyte		Arvioitu vesipitoisuus %	Arvioitu hehkutushäviö %	Arvioitu pH	Arvioitu silmä-määräinen
Pääpiste 1.	Roves A/1-2m (seossuhde 1:1)	913	95,1	~5,0	Ktv
Pääpiste 1.	Roves A/2-3m (seossuhde 1:1)	852	86,8	~5,2	Ktv/Mtv
Pääpiste 1.	Roves A/2-3m + lieju (seossuhde 1:1:1)	490	-	-	Tv+lieju
Pääpiste 2.	KP 15 1,0 m	1134	98,0	3,6	Rtv
Tasopiste 1.	KP 13 1,0 m	806	95,0	5,0	Rtv
Tasopiste 1.	KP 13 1,0 m + siltti (seossuhde 1:1)	414	-	-	Tv +siltti
Tasopiste 2.	KP 17.1 1,0 m	968	96,5	4,9	Rtv
Tasopiste 3.	KP 1 1,0 m	928	94,9	5,2	Rtv

Turpeen ja turve-siltti – sekoituksien stabiiloitavuustutkimuksissa sideaineina käytettiin Plus sementtiä (joka vuoden vaiheessa korvaa ennen käytetyn yleissementin), SR sementtiä eli sulfaatin

kestävää sementtiä sekä turpeenpolton lentotuhkaa Seinäjoen voimalaitokselta. Stabiloinnissa käytetyt sideaineet ja niiden lyhenteet on esitetty taulukossa 2 _

Taulukko 2. Stabiloitavuustutkimuksissa käytetyt sideaineet

Sideaine	Lyhenne
Turpeenpolton lentotuhka, Seinäjoen voimalaitos	LT
Plus sementti (CEM II / B-M (S-LL) 42.5 N)	PlusSe
SR sementti (CEM I 42,5 N)	SRSe

3. MENETELMÄT

Stabiloituvuustutkimusten yhteydessä homogenisoituun runkomateriaalinäytteeseen sekoitetaan haluttu määrä sideainetta (kg/m^3), sideaineen määrä lasketaan suhteessa stabiloitavan runkoaineen tilavuuteen. Sekoitus tehdään laboratoriosekoittimella 2-3 koekappaleen erissä käyttäen sekoituksessa vakiotyömäärää (2 min/sekoituserä). Sekoitettu massa pakataan näytesylintereihin. Näytesylinterit, joiden pätyyn on asetettu suojalevy, asetetaan valmistamisen jälkeen turvepenkkeihin jossa sylinterin yläpään asetetaan vakiopaine. Turvepenkissä sylinterin alapää on veden alle upotettuna, jolloin estetään näytekappaleen kuivuminen. Näytekappaleita säilytetään 20 °C lämpötilassa. Koekappaleen painumaa seurataan ja koekappaleen korkeus kirjataan alussa, yhden päivän iässä sekä 28 päivän iässä. Kuva turvepenkistä on esitetty alapuolella.



Kuva 2. Turvepenkki

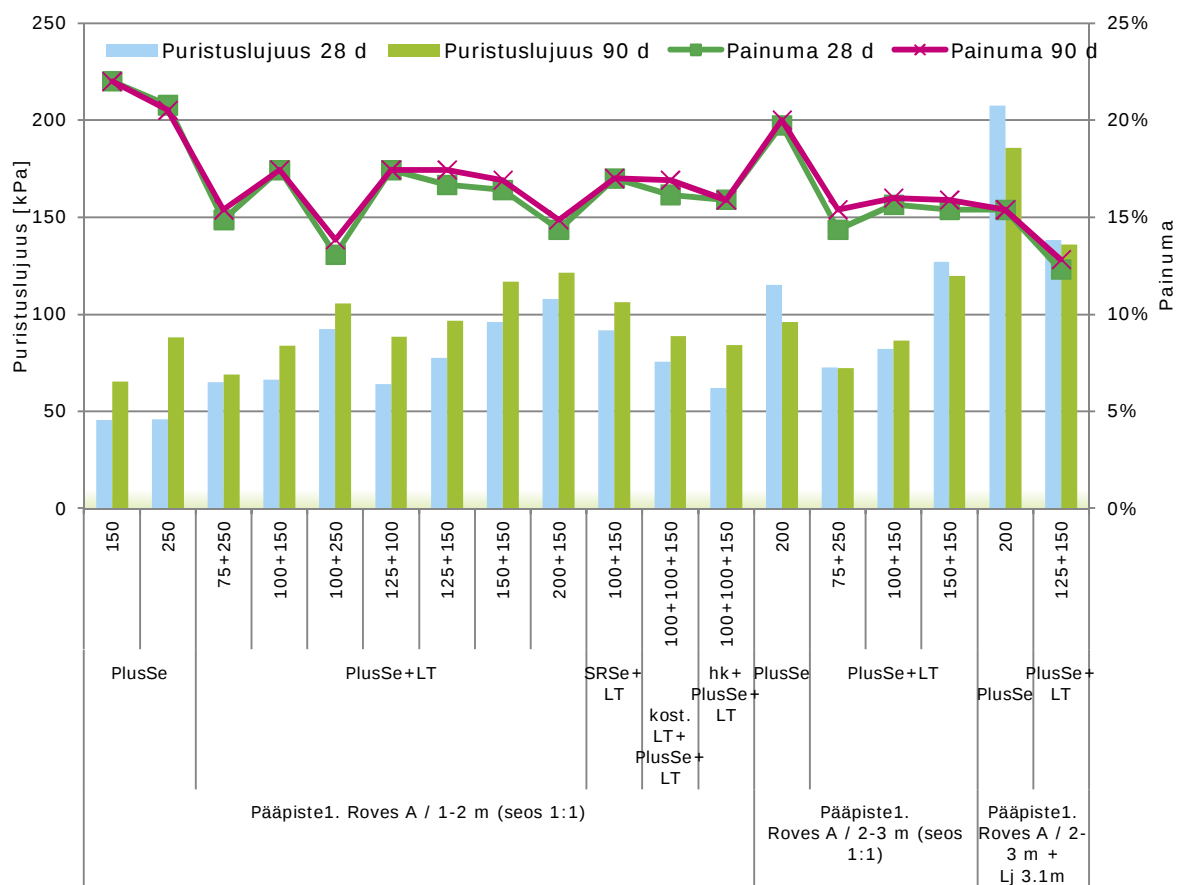
Ennen puristuslujuusmäärittystä koekappaleet poistetaan näytesylinteristä ja niiden päät tasataan vastaamaan puristuskokeessa käytettävää koekappalekokoa 68/136. Samalla tarkistetaan silmä määräisesti kappaleen homogeenisuus/ehjyys.

Yksiakselialinen puristuslujuus testataan muotoon leikatuista koekappaleista lujittumisajan jälkeen. Testissä koekappaletta kuormitetaan tasaisesti kasvavalla aksiaalisella kuormalla, kunnes koekappale halkeaa kuormituksen alla. Kuormitusnopeus on 2 mm/min. Jos koekappaleen murtumista ei tapahdu, puristusta jatketaan kunnes koekappaleen muodonmuutos on 15 %. Raportissa esitettyjä tuloksia ei korjattu muotokertoimella.

4. TULOKSET

Stabiloitavuustutkimukset suoritettiin kahdelle pääpisteelle ja neljälle tasopisteelle. Pääpisteet sijoituivat paksuimman turvekerroksen alueelle ja tasopisteet sijoituivat ohuemman turvekerroksen alueelle. Stabiloitavuustutkimuksissa testattiin miten turve lujittuu ja miten lujuus paranee, kun turvekerroksen alapuoliset silttikerrokset sekoitetaan turvekerroksen kanssa. Koekappaleiden lujittumisaika oli 28 ja 90 päivää. Tavoitepuristuslujuus oli 80-100 kPa.

Kuvassa 3 on esitetty pääpisteen 1 stabiloitavuustutkimusten yksiaksiaaliset puristuslujuudet ja painumat. Pääpiste 1 oli Roves A näyte, josta tutkittiin kolmen eri kerroksen stabiloitavuutta. Ensimmäisenä runkoaineena käytettiin 1-2 metrin kerrosta siten, että kyseisten kerrosten osanäytteet yhdistettiin 1:1 suhteessa. Toisena runkoaineena käytettiin 2-3 metrin turve kerroksia sekoitettuna 1:1 suhteessa. Kolmantena runkoaineena käytettiin 3 m turvekerrosta sekoitettuna 3,1 m liejun kanssa suhteessa 1:1.

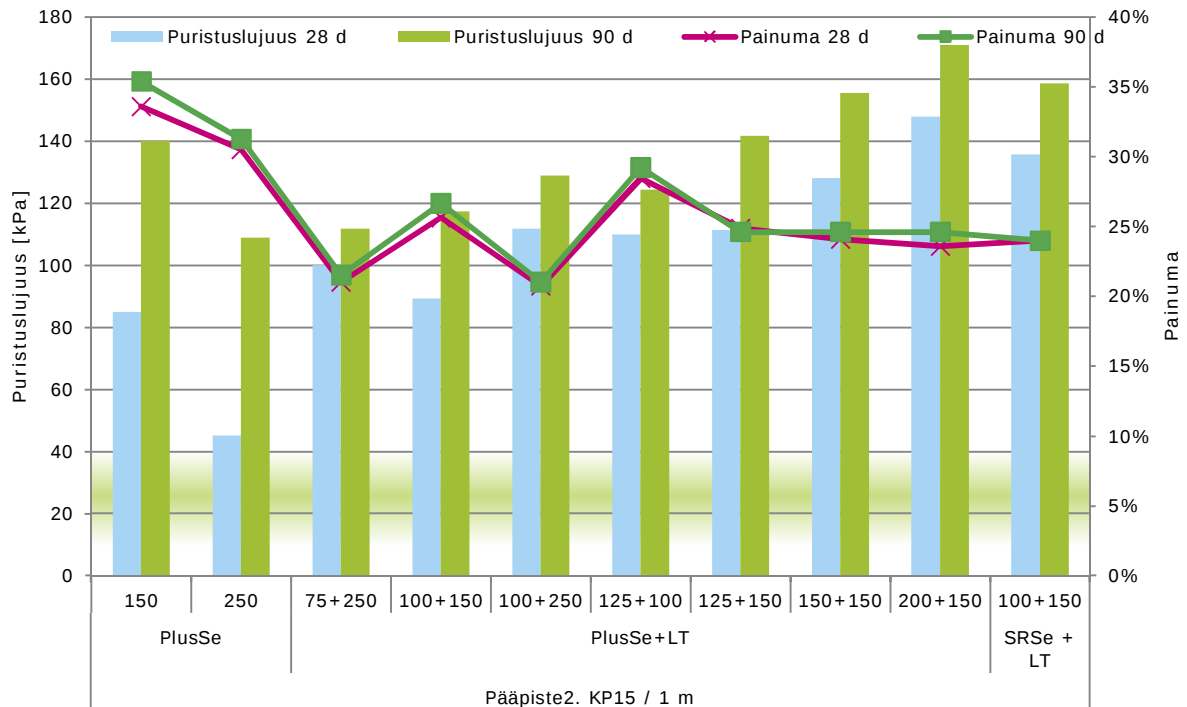


Kuva 3. Pääpisteen 1. stabiloitavuustutkimusten tulokset. Tavoitelujuus on merkitty vihreällä taustaväriä. (Sideainemäärät on ilmoitettu kg/m³ -yksikössä)

Tuloksista voidaan päätellä, että päällimmäinen turvekerros lujittuu huonoinen, kun taas alin turvekerros sekoitettuna liejun kanssa antaa parhaan puristuslujuuden. Kaikilla pääpisteen1 runkoaineilla on mahdollista saavuttaa tavoitelujuus. Paras sideainevaihtoehto on Plus tai SR sementin ja lentotuhkan seos. SR sementillä voidaan saavuttaa Plus sementtiä parempi lujuus.

Pääpisteessä 1 lujuuden kehitys 28 päivän lujittumisaikan jälkeen on ollut kuvan mukaisesti suhteellisen vähäistä. Esikuormituksen aikana mitatun koekappaleiden kokoonpuristumisen perusteella on arvioitavissa, että lentotuhkan käytöllä voidaan ainakin jonkin verran pienentää heti stabiloinnin jälkeen tapahtuvaa painumaa. Mikäli kasalentotuhkaa lisätään turpeen päältä, voidaan painumaa vähentää selvästi.

Kuvassa 4 on esitetty pääpisteen 2 tutkimustulokset yksiaksiaalisen puristuslujuuden ja painuman osalta. Pääpiste 2 on näytepisteeltä KP15 ja stabiiloitavuustesteissä tutkittiin pelkästään turvekerroksen stabiiloitavuutta.

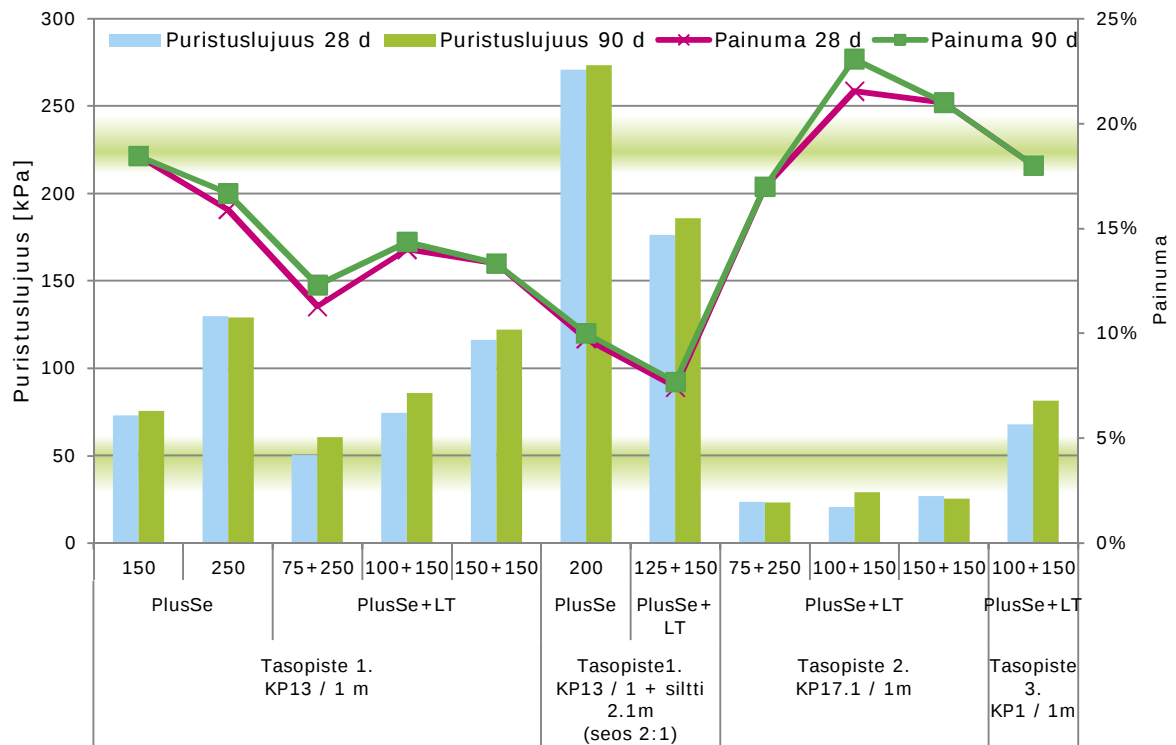


Kuva 4. Pääpisteen 2. stabiiloitavuustutkimusten tulokset. Puristuslujuudet on esitetty sinisillä tolilla ja painuma vihreällä käyrällä. Tavoitelujuus on merkitty vihreällä taustavärillä. (Sideainemäärät on ilmoitettu kg/m^3 -yksikössä)

Myöskään pääpiste 2. stabiiloitujen kappaleiden lujuuksissa ei ole voimakkaita vaihteluita eri sideaineratkaisujen välillä. Pääpisteen 2 runkoaineella saavutettiin pääpisteen 1 turvenäytettä parempia lujuuksia, mutta myös kokoonpuristumat olivat suurempia, eli turve tiivistyi samalla kuormituksella paremmin. Pääpisteen 2 turve oli kosteampaa ja happamampaa kuin pääpisteen 1 turvesekoitus. Silmämääräisen arvion perusteella pääpisteen 2 turve oli raakaturvetta, kun pääpisteen 1 turpeet olivat raaka- tai keskiturvetta. Myös tällä runkoaineella paras sideainevaihtoehto on Plus tai SR sementin ja lentotuhkan seos. SR sementillä saavutettiin Plus sementtiä parempi lujuus.

Kuten myös pääpiste 1:n kohdalla todettiin, on lujittumisvaiheessa esikuormituksen vaikutuksesta tapahtuva kokoonpuristuminen lentotuhkaa käyttäessä pelkkää plussementtiä pienempi. Plus sementillä 150 kg/m^3 saatu tulos on epälooginen ja johtuu siitä, että koekappale oli normaalia lyhyempi. Plus sementillä 250 kg/m^3 saatu tulos on oikeampi

Kuvassa 5 on esitetty tasopisteiden stabiiloitavuuskokeiden tulokset. Tasopisteet olivat näytepisteiden KP 13, KP 17.1 ja KP 1 päällyskerrosten turpeita sekä näytepisteen KP 13 turve ja silttikerros sekoitettuna. Tasopisteiden stabiiloitavuutta testattiin vain muutamien sideaineseoksien.



Kuva 5. Tasopisteiden stabiilitavuustutkimusten tulokset. Puristuslujuudet on esitetty sinisillä tolilla ja painuma vihreällä käyrällä. Tavoitelujuus on merkitty vihreällä taustavärillä. (Sideainemäärät on ilmoitettu kg/m^3 -yksikössä)

Tasopisteiden 1, 2 ja 3 turpeisten runkoaineiden osalta lujuuskehitys aikavälillä 28-90 d oli tutkituista runkomateriaaleista vähäisintä Tasopiste 2 lujittuu kaikista testatuista pisteistä heikoinen ja lujuudet jäävät testatuilla sideainemäärillä varsin matalalle tasolle myös pitkäaikaislujuuttuminen huomioitaessa. Tasopisteen 1 turve-siltti runkoaine lujittuu paremmin kuin pääpisteen 1 turveliejukerros.

Tutkitut turvenäytteet olivat vesipitoisuudeltaan, heikutushäviötään ja silmämääräisen arvion perusteella hyvin samanlaisia ja näistä ei löydy syytä sille, miksi pisteen KP 17.1 turve lujittuu heikosti. Ainoa poikkeama oli pisteen KP 15 turpeella, joka oli hieman muita turpeita kosteampi ja happamampi. Tämä testi osoittaa, että turpeiden geokemialliset ominaisuudet ovat eri alueilla erilaiset siten, että turpeiden stabiilituvuuksissa on merkittäviä eroja.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Kaikilla runkoaineilla on mahdollista saavuttaa tavoitelujuus riittävällä määrällä sideainetta. Tasopisteessä 2. KP 17.1 /1m on sideaineen tarve selvästi muuta aluetta suurempi. Parhaiten stabiloinnissa toimivat lentotuhkan ja sementin sekoitukset. SR sementti toimi Plus sementtiä paremmin. Tavoitelujuuteen päästään jo 28 vuorokauden lujittumisen jälkeen kun sideaineena käytetään 100 kg/m^3 sementtiä + 125 kg/m^3 lentotuhkaa ja huonommin lujittuvalla turpeella 200 kg/m^3 sementtiä + 200 kg/m^3 lentotuhkaa. Suurimmalle osalle turpeista 125 kg/m^3 sementtiä + 150 kg/m^3 lentotuhkaa on riittävä määrä sideainetta.

Turpe + lieju/siltti –kerrosten sideaineen tarve on pelkkiä turvekerroksia pienempi. Ohuemman turvekerroksen alueella sideaineen tarve on pääsääntöisesti paksun turvekerrosten aluetta vähäisempi (poikkeuksena KP 17.1 / 1m).

Kun turvekerrosta stabiloidaan pelkällä plus sementillä, on painuma suurempi kuin sementin ja lentotuhkan sekoitusta käytettäessä. Suurin painuma Plus sementillä oli yli 35 %, kun taas plus sementti + lentotuhka –seoksella suurin painuma oli 29 %. Pienimmillään painuma oli 8 % plus sementin ja lentotuhkan seoksella $125 + 150$ ja silttiä sisältävällä runkoaineella, jolla saavutettiin 185 kPa :n puristuslujuus. Pienimmät painumat saatiin turve + lieju/siltti sekoituksilla.

Testit on tehty Seinäjoen voimalaitoksen tuhkalta, joka toimii tälle turpeelle hyvin. Jatkotutkimuksilla tulee hakea sideaineen optimaalinen määrä sekä tutkia kuinka suuresti pitkäaikaislujittuminen lisää lujuutta.

Jatkotutkimuksilla tulisi selvittää optimaalinen sideaineresepti 3-6 kk lujittumiskokeilla. Samalla haetaan täyteaineen (mineraaliaineen lisääminen) vaikutukset lujittumiseen ja sideaineen määrän vähentämiseen.

Turpeen massastabiloinnilla vältetään turpeen poistosta, kuljetuksesta sekä läjityksestä maankaatopaikalle. Tämän lisäksi säästytään korvaavien materiaalien hankinta- ja täyttötöiltä. Pelkän turpeen stabilointi sementti-lentotuhkaseoksella johtaa keskimäärin 125 kg/m^3 olevaan sementin käyttöön, mikä on massastabiloinnin merkittävin kustannus. Nämä tutkimukset osoittavat, että sementin määrää voidaan alentaa merkittävästi kun a) turpeen päältä lisätään kasavarastoitua tuhkaa b) turpeen alla olevaa lieju/silttikerrosta sekoitetaan mineraaliainekseksi turvekerroksiin (tämä onnistuu nykylaitteistolla helposti) c) esikuormitusta tehostetaan eli käytetään hieman korkeampia esikuormituspenkereitä d) käytetään pidempi aika lujittumiseen. Näiden toimenpiteiden vaikutuksia ei vielä tässä tutkimuksessa ole tutkittu kuin alustavasti ja niiden tulisi olla jatkotutkimuksissa mukana. Näillä keinoin olisi mahdollista tavoitella $50\text{--}75 \text{ kg/m}^3$ olevia sementtimääriä, jolloin sementtikustannus n. $12\text{--}14 \text{ €/m}^3$ putoisi $5\text{--}7 \text{ €/m}^3$. Kun tähän lisätään massastabilointiyökustannus n. $4,0 \text{ €/m}^3$ (koskee helppoa isompaa kohdetta), voisi turvekuution käsittelykustannus olla $9,0\text{--}11,0 \text{ €/m}^3$. Tämä olisi keskimäärin $2,0 \text{ m}$ turvekohteessa $18,0\text{--}22,0 \text{ €/m}^3$. Tässä laskelmassa tuhka on toimitettu kohteeseen tuhkatuottajan kustannuksella. Kun lisäksi hyötykäyttämättömästä tuhkasta on maksettava veroa nyt 40 €/tn ja vuonna 2013 50 €/tn , olisi mahdollista pohtia myös tuhkan tuottajan osallistumista osaltaan tuhkan hyödyntämisen kustannuksiin ja silti tuhkan tuottajalle koituisi taloudellista säästöä.

Turvemassastabilointi edellyttää esikuormitusta ja sen vaiheistamisen suunnittelua. Esikuormitusmassat ovat suunniteltavissa siten, että ne hyödynnetään alueen rakentamisessa. Tämän takia alueen rakentaminen kannattaa toteuttaa siten, että ensin toteutetaan massastabiloinnit ja käytetään alueella muutenkin tulevat täyttömateriaalit esikuormitukseen. Esikuormituksen jälkeen osa massoista siirretään hyödynnettäväksi ns. kovapohjaisille alueille. Näin esikuormituksesta syntyvä lisäkustannus on vain tuon ylimäärämassan siirto alueen sisällä.

Roveksen uusi teollisuusalue on painanteessa, jossa pohjaveden pinta on lähellä maan pintaa. Tämän takia koko alueen alustava kuivatus ja tasaussuunnittelu olisi tärkeää tehdä jo nyt selvästi ennen massastabiloinnin suunnittelua, jotta massamäärät ja stabiloitavien massojen lujuustavoitteet voidaan määritellä. Samalla olisi myös hyvä, jos pohjasuhteet huomioitaisiin lopullisissa kaavaratkaisuissa siten, että esimerkiksi vaikeimmin lujittuvat tai paksumpien turpeiden alueet olisivat vähemmän kuormitettavia alueita. Näillä alueilla voitaisiin käyttää pienempiä sideainemääriä vähäisemmän lujuustarpeen takia. Massalaskennoissa tulee huomioida turpeen kokoonpuristuminen ja sen aiheuttama massojen lisätarve.

Jatkotoimenpiteistä kiireisimpiä olisivat a) alustava kuivatus-, tasaus- ja massasuunnitelma b) reseptointitutkimusten jatko sementtimäärän pienentämiseksi edellä esitetyillä keinoilla.

LIITE 1 STABILOITAVUUSTUTKIMUSTEN PURISTUSLUJUUSTULOKSET JA PAINUMAT

Näyte	Sideaine	määrä	Puristuslujuus [kPa]	Huom!	Puristuslujuus [kPa]	Painuma	Painuma
		[kg/m ³]	28 d		90 d	28 d	90 d
Pääpiste1. Roves A / 1- 2 m (seos 1:1)	PlusSe	150	45,5		65,4	22 %	22 %
		250	45,8		88,1	21 %	21 %
	PlusSe+LT	75+250	65,1		69,1	15 %	15 %
		100+150	66,5		84	17 %	17 %
		100+250	92,3		105,5	13 %	14 %
		125+100	64		88,6	17 %	17 %
		125+150	77,5		96,7	17 %	17 %
		150+150	96,1		116,7	16 %	17 %
		200+150	108	*42 d =115,6	121,4	14 %	15 %
	SRSe + LT	100+150	91,7		106,4	17 %	17 %
	kost.LT+PlusSe+ LT	100+100+150	75,7		88,9	16 %	17 %
	hk+PlusSe+ LT	100+100+150	62,2		84,2	16 %	16 %
Pääpiste1. Roves A / 2- 3 m (seos 1:1)	PlusSe	200	115,1		96	20 %	19 %
	PlusSe+LT	75+250	72,6		72,4	14 %	15 %
		100+150	82,2		86,5	16 %	16 %
		150+150	127		119,7	15 %	16 %
Pääpiste1. Roves A / 2- 3 m + Lj 3.1m (seos 1:1:1)	PlusSe	200	207,4		185,6	15 %	15 %
	PlusSe+LT	125+150	138,2		135,8	12 %	13 %
Pääpiste2. KP15 / 1 m	PlusSe	150	85,1		140	34 %	35 %
		250	45,3		109	31 %	31 %
	PlusSe+LT	75+250	100,1		111,8	21 %	22 %
		100+150	89,4		117,3	26 %	27 %
		100+250	111,8		129	21 %	21 %
		125+100	110		124,3	28 %	29 %
		125+150	111,4		141,7	25 %	25 %
		150+150	128,2		155,5	24 %	25 %
		200+150	148	*40d =153,6	171,1	24 %	25 %
	SRSe + LT	100+150	135,7		158,6	24 %	24 %
Tasopiste 1. KP13 / 1 m	PlusSe	150	73,1		75,6	18 %	18 %
		250	129,7		129	16 %	17 %
	PlusSe+LT	75+250	50,2		60,5	11 %	12 %
		100+150	74,4		85,9	15 %	14 %
		150+150	116,2		122,1	13 %	13 %
Tasopiste1. KP13 / 1 + siltti 2.1m (seos 2:1)	PlusSe	200	270,8		273,3	10 %	10 %
	PlusSe+LT	125+150	176,2		185,9	7 %	8 %
Tasopiste 2. KP17.1 / 1m	PlusSe+LT	75+250	23,7		23,4	17 %	17 %
		100+150	20,8		29,2	22 %	23 %
		150+150	27	*39d =29	25,4	21 %	21 %
Tasopiste 3. KP1 / 1m	PlusSe+LT	100+150	68,1		81,5	19 %	19 %