

Primljen / Received: 14.1.2013.

Ispravljen / Corrected: 7.6.2013.

Prihvaćen / Accepted: 1.7.2013.

Dostupno online / Available online: 25.7.2013.

# Utjecaj prirodnih punila na posmičnu čvrstoću treseta ojačanog cementom

## Autori:



Ali Dehghanbanadaki, dipl.ing.građ.  
Tehnološko sveučilište u Maleziji  
Građevinski fakultet  
[A.dehghan1916@yahoo.com](mailto:A.dehghan1916@yahoo.com)



Prof.dr.sc. Kamarudin Ahmad, dipl.ing.građ.  
Tehnološko sveučilište u Maleziji  
Građevinski fakultet  
[kamarudin@utm.my](mailto:kamarudin@utm.my)



Dr.sc. Nazri Ali, dipl.ing.građ.  
Tehnološko sveučilište u Maleziji  
Građevinski fakultet  
[nazriali@utm.my](mailto:nazriali@utm.my)

Stručni rad

[Ali Dehghanbanadaki, Kamarudin Ahmad, Nazri Ali](#)

## Utjecaj prirodnih punila na posmičnu čvrstoću treseta ojačanog cementom

U radu su prikazana istraživanja stabilizacije tresetnog tla cementom i različitim prirodnim punilima. U svrhu istraživanja, prirodna punila u različitim su omjerima pomiješana s tresetom ojačanim cementom te su izmjerene tlačne čvrstoće. Rezultati upućuju na to da mješavina s 300 kg/m<sup>3</sup> cementa i 125 kg/m<sup>3</sup> dobro granuliranog pijeska u odnosu na masu vlažnog treseta ima najveću jednoosnu tlačnu čvrstoću nakon njege od 90 dana. Ostala su punila smanjila čvrstoću stabiliziranog treseta.

### Ključne riječi:

vlaknasti treset, stabilizacija, prirodna punila, jednoosna tlačna čvrstoća

Professional paper

[Ali Dehghanbanadaki, Kamarudin Ahmad, Nazri Ali](#)

## Influence of natural fillers on shear strength of cement treated peat

A study on peat soil stabilization by using cement and different natural fillers is presented in the paper. In the scope of this study, natural fillers are mixed at various dosages with cement treated peat in order to evaluate the unconfined compressive strength. The results indicate that the mix design of 300 kg/m<sup>3</sup> cement, with 125 kg/m<sup>3</sup> of well graded sand by mass of wet peat, gives the highest uniaxial compressive strength at 90 days of curing. Other fillers decrease the strength of stabilized peat.

### Key words:

fibrous peat, stabilization, natural fillers, uniaxial compressive strength

Fachbericht

[Ali Dehghanbanadaki, Kamarudin Ahmad, Nazri Ali](#)

## Einfluss natürlicher Füllmittel auf die Scherfestigkeit von durch Zement verstärktem Torf

Die vorliegende Arbeit beschreibt Untersuchungen zur Stabilisierung von Torfböden mit Zement und anderen natürlichen Füllmitteln. Mit dem Ziel der gegebenen Erforschungen sind natürliche Füllmittel verschiedener Dosierungen mit durch Zement verstärktem Torf gemischt und die entsprechenden Druckfestigkeiten ermittelt worden. Die Resultate weisen darauf hin, dass eine Mischung von 300 kg/m<sup>3</sup> Zement und 125 kg/m<sup>3</sup> gut granuliertem Sand im Vergleich zur Masse des feuchten Torfs nach einer Betonhärtung von 90 Tagen die größte nicht einachsige Druckfestigkeit besitzt. Andere Füllmittel haben die Festigkeit des stabilisierten Torfs vermindert

### Schlüsselwörter:

faseriger Torf, Stabilisierung, natürlicher Füllmittel, nicht einachsige Druckfestigkeit

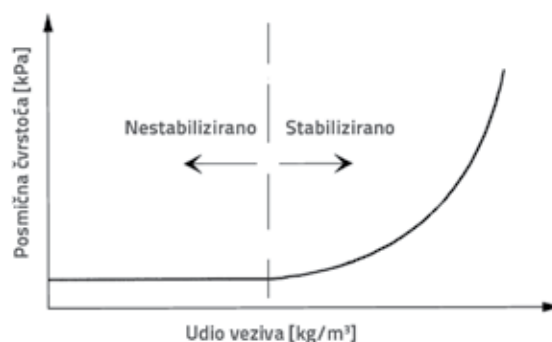
## 1. Uvod

Tresetno se tlo smatra izuzetno mekom, vlažnom i nekonsolidiranom naslagom. Problematična svojstva tresetasu slaba nosivost, izuzetno velika stišljivost i slaba postojanost, [1]. Von Post takva je tla klasificirao u 10 skupina ( $H_1$  do  $H_{10}$ ) prema udjelu vode, svojstvima vlakana i stupnju raspadanja [2]. U SAD-u treset nalazimo u 42 savezne države na ukupnoj površini od 30 milijuna hektara [3]. Takva se tla akumuliraju ako je brzina raspadanja manja od brzine gomilanja naslaga [4]. Kemijska i fizička svojstva treseta sa stabilizirajućim materijalima toliko su složena da je nemoguće predvidjeti udio određenog stabilizatora koji će na nekom terenu dati najbolje rezultate [5]. Tresetna se tla bitno razlikuju prema udjelu vode i organskog materijala, što znači da različito reagiraju na stabilizatore [6]. Vlaknasti se treset uglavnom sastoji od slabo raspadnutih ostataka biljnog materijala, koji se nije uništio trošenjem. Takva su tla vrlo vlaknasta i izuzetno kisela, a pH većine njih je od dva do šest [7]. Koeficijent poroznosti vlaknastog treseta u prirodi vrlo je visok zbog šupljih vlakana i visokog početnog udjela vode [8]. Kogure i suradnici [9] tvrde da treset sadržava unutarnje i vanjske šupljine koje uzrokuju jače slijeganje nego u ostalim vrstama tla. Koeficijent poroznosti vlaknastog treseta može biti čak 25, dok gušći amorfni treset može imati koeficijent poroznosti 9 [10]. Mesri i suradnici [11] te su površinske naslage klasificirali kao tla s vrlo visokim prirodnim udjelom vode (od 500 % do 2000 %), čemu odgovara koeficijent poroznosti u prirodi od 7,5, odnosno 30. Prirodna punila bitno pospešuju povezivanje u reakcijama tijekom ojačavanja tla miješanjem s dodacima. Nema kemijskih reakcija produkata hidratacije cementa s česticama pijeska, no taj proces ojačava tlo jer smanjuje koeficijent poroznosti treseta stabiliziranog cementom [12].

Nosivost treseta povećava se raznim metodama poboljšanja tla, no dubinsko miješanje tla pokazalo se najekonomičnijim i vremenski najmanje zahtjevnim [13]. Ta tehnika izmjene tla ima široku primjenu. Rabi se pri gradnji temelja zgrada ili nasipa te potpornih konstrukcija, za ublažavanje opasnosti od likvefakcije, kao privremena mjera potpore pri iskapanju te za kontrolu vlažnosti. Metoda podrazumijeva miješanje hidrauličkih mineralnih veziva s tresetom na terenu i stvaranje "stupova" koji ojačavaju dubinske slojeva tla. Treset ima visoki udio vode, što znači da je osigurana voda potrebna za reakcije vezanja. Stoga je za ojačavanje tresetnog tla učinkovitije suho nego vlažno miješanje [14]. Iako su mnoga laboratorijska i terenska istraživanja dokazala da cement učinkovito poboljšava nosivost vlaknastog treseta [5-6, 15], urušavanje "stupova" pripisuje se neodgovarajućoj vrsti ili nedovoljnom udjelu veziva dodanog tlu [12]. Stoga bi trebalo povećati čvrstoću "stupova" u stabiliziranom tresetu.

Posmična čvrstoća treseta obično se određuje terenskim metodama poput terenskog pokusa ispitivanja s krilnom sondom i statičkim penetracijskim postupkom. Zbog vlaknaste

strukture treseta, njegova je posmična čvrstoća nešto drukčija od čvrstoće mineralnog tla. Treset se smatra materijalom visokog koeficijenta trenja jer sadržava mnogo vlakana [16]. No velik kut trenja ne znači i veliku posmičnu čvrstoću jer su vlakna puna vode i plina. Najčešće laboratorijsko ispitivanje nedrenirane posmične čvrstoće ( $s_v$ ) jest ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće (UCS - Uniaxial Compressive Strength). Nedrenirana posmična čvrstoća kohezivnog tla jednaka je polovici jednoosne tlačne čvrstoće ( $q_u$ ). To se ispitivanje pokazalo učinkovitim i ekonomičnom metodom za određivanje udjela veziva potrebnog da se postigne željena posmična čvrstoća. Očito je da visok udio organskog materijala u tresetu ometa stabilizacijski proces, pa je za stabilizaciju treseta potrebno više veziva nego za stabilizaciju anorganskog tla. Kako bi se to djelovanje poništilo, količina veziva mora biti veća od granice, kako je prikazano na slici 1., [5].



Slika 1. Opći odnos udjela veziva i posmične čvrstoće tresetnog tla, EuroSoilStab [5]

Nekoliko istraživača provelo je laboratorijska ispitivanja kako bi objasnili učinak veziva na posmičnu čvrstoću tresetnog tla. Wong i suradnici [17] tvrde da se jednoosna tlačna čvrstoća stabiliziranog treseta povećala na 142,5 kPa nakon ojačanja s najmanje 250 kg/m<sup>3</sup> smjese sastavljene od 75 % cementa i 25 % zgure te na 178,6 kPa uz 300 kg/m<sup>3</sup> te smjese. Axellson [6] potvrđuje rezultate za vezivo u tom omjeru. Primijetio je da je količina od 400 kg/m<sup>3</sup> rezultirala manjom čvrstoćom od one postignute dodavanjem 250 kg/m<sup>3</sup> veziva, što dokazuje da omjer vode i veziva ima znatan učinak na posmičnu čvrstoću stabiliziranog treseta. Hebib i Farrell [15] stabilizirali su vlaknasti treset i zaključili da je najmanji udio potreban za aktivaciju tresetnog tla 150 kg/m<sup>3</sup>. Chen i Wang [18] tvrde da proces dubinskog miješanja s cementom u udjelu od 30 % nije pomogao u projektu ojačavanja temelja u tresetu jer čvrstoća nije dosegla 300 kPa. To dokazuje da na posmičnu čvrstoću treseta stabiliziranog cementom znatno utječu sljedeći parametri: udio vode, granica protoka, udio pijeska i sitnih čestica, gustoća, količina dodanog cementa, vrijeme njege i pH [19]. Stoga je ključno odrediti odgovarajuću količinu veziva želimo li ojačati tresetno tlo.

U članku se prikazuju ispitivanja geomehaničkih svojstava vlaknastog treseta iz južne Malezije. Proveden je niz

ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće kako bi se odredio učinak raznih prirodnih punila na jednoosnu tlačnu čvrstoću (UCS) treseta ojačanog cementom (u daljnjem tekstu: cementnom stabiliziranog treseta) u ovisnosti od vremena njege stabilizirane mješavine. Članak nastoji odrediti optimalan udio prirodnih punila za postizanje najveće posmične čvrstoće.

## 2. Laboratorijska istraživanja

### 2.1. Materijali

U Pontianu, u sultanatu Johor u Maleziji, uzorkovani su poremećeni i neporemećeni uzorci treseta na dubini od oko jednog metra. Meki treset na tim je prostorima vrlo raširen. Kako bi se odredila nedrenirana posmična čvrstoća tla, na različitim mjestima su izvedeni pokusi s krilnom sondom. Ta su tresetna tla poznata po maloj nedreniranoj posmičnoj čvrstoći i niskom modulu stižljivosti [20]. Laboratorijski programi ispitivanja uključivali su osnovna ispitivanja neporemećenih uzoraka treseta i ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće stabiliziranih uzoraka. Vezivo koje je korišteno pri ispitivanjima bio je običan portland cement (u daljnjem tekstu: cement). Korištene su i četiri vrste prirodnih punila, kako je prikazano na slici 2: dobro granulirani pijesak (SW), slabo granulirani šljunak (GP), grubi slabo granulirani pijesak (C-SP) i sitni slabo granulirani pijesak (F-SP).



Slika 2. Različiti materijali korišteni pri ispitivanju

### 2.1. Priprema uzoraka

Uzorci su pripremljeni prema smjericama priručnika *EuroSoilStab* [5]. Taj priručnik količinu veziva navodi u  $\text{kg}/\text{m}^3$  u odnosu na masu vlažnog treseta. Primjerice, ako je gustoća

promatranog treseta  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ , a propisana količina cementa  $300 \text{ kg}/\text{m}^3$ , za svakih  $1000 \text{ g}$  vlažnog treseta potrebno je  $300 \text{ g}$  cementa. Zatim se količina prirodnog punila izračuna na temelju mase vlažnog cementom stabiliziranog treseta. Važno je napomenuti da su svi uzorci stabiliziranog treseta u ovom istraživanju imali prirodan udio vlage od  $495\% (\pm 5\%)$ . Prirodnom tresetu nismo dodavali vode pri miješanju s cementom i raznim prirodnim punilima. Tijekom procesa njege uzorci stabiliziranog treseta čuvani su u zatvorenim i pokrivenim PVC kalupima pri konstantnoj temperaturi od  $25^\circ\text{C}$ .

Treset sušen na zraku najprije je prosijan kroz sito s otvorima od  $2 \text{ mm}$ , čime su otklonjeni grubi materijal poput korijenja i većih vlakana. Dodana je voda kako bi udio vode bio prirodan za treset,  $495\%$ . Vlažni je treset miješan s kuhinjskim mikserom dok smjesa nije postala homogena. Zatim je treset  $10$  minuta miješan s cementom i prirodnim punilima, a nakon toga stavljen u PVC kalupe unutrašnjeg promjera  $38 \text{ mm}$  i visine  $250 \text{ mm}$ . Vrijeme njege za tako pripremljene uzorke bilo je  $14$ ,  $28$  i  $90$  dana. Za svaki uzorak korišteno je  $300 \text{ kg}/\text{m}^3$  cementa u odnosu na masu vlažnog treseta s prirodnim udjelom vode. Vezivna prirodna punila dodana su cementom stabiliziranom tresetu u udjelima od  $50$ ,  $75$ ,  $100$ ,  $125$ ,  $150$ ,  $175$  i  $200 \text{ kg}/\text{m}^3$  u odnosu na masu vlažnoga uzorka. Nakon procesa njege uzorci su izvađeni iz PVC kalupa i u svrhu ispitivanja odrezani na visinu od  $76 \text{ mm}$ . Prije ispitivanja pripremljeno je ukupno  $98$  uzoraka neporemećenog i stabiliziranog treseta s različitim mješavinama, koji su njegovani. U tablici 1. prikazan je sastav prirodnih punila rabljenih pri ispitivanju.

Tablica 1. Prikaz ispitivanja

| Broj ispitivanja                       | Sastav uzorka tla   |
|--|---|
| 11                                     | Neporemećeni treset   |
| 3                                      | 100 % OPC   |
| 21                                     | 100 % OPC + (50, 75, 100, 125, 150, 175 i 200 $\text{kg}/\text{m}^3$ ), Punilo 1 (SW)   |
| 21                                     | 100 % OPC + (50, 75, 100, 125, 150, 175 i 200 $\text{kg}/\text{m}^3$ ), Punilo 2 (GP)   |
| 21                                     | 100 % OPC + (50, 75, 100, 125, 150, 175 i 200 $\text{kg}/\text{m}^3$ ), Punilo 3 (C-SP) |
| 21                                     | 100 % OPC + (50, 75, 100, 125, 150, 175 i 200 $\text{kg}/\text{m}^3$ ), Punilo 4 (F-SP) |
| Napomena: OPC - obični portland cement |   |

### 2.3. Metode ispitivanja

Da bi se odredila nedrenirana posmična čvrstoća stabiliziranih uzoraka treseta, provedena su različita ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće u skladu s *BS 1377*, 1990., sedmi dio, sedmo poglavlje [21]. Uzorci koji su korišteni pri ispitivanjima bili su promjera  $38 \text{ mm}$  i visine  $76 \text{ mm}$ . Uzorci su opterećivani okomitim osnim opterećenjem uz stalno naprezanje od

1,42 mm/min, kako je prikazano na slici 3. Oba kraja uzorka bila su ravna kako bi se smanjila pogreška mehanizma za nanošenje opterećenja, osobito kod krućih uzoraka. Ispitivanje je završavalo čim bi maksimum postao očit ili čim bi se postigla deformacija od 20 %. Tijekom ispitivanja uočena su tri najvažnija oblika popuštanja uzoraka: plastično popuštanje, odnosno pomicanje i bačvasto iskrivljenje uzorka, krto popuštanje, odnosno posmik uzorka u odnosu na jednu ili više površina i prijelazno popuštanje [22].



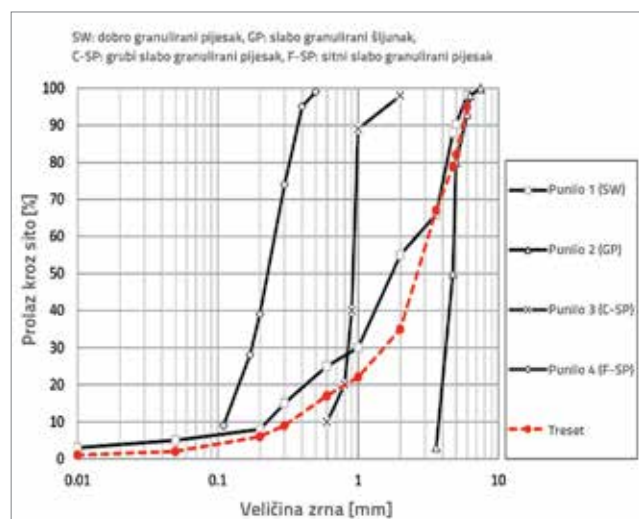
Slika 3. Ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće opterećenjem od 5kN

### 3. Rezultati i diskusija

#### 3.1. Osnovni rezultati

Nakon provedenog ispitivanja dobiveno je da je razina podzemne vode bila ispod 0,5 m od površinskog sloja, što

znači da treset ima veliku sposobnost zadržavanja vode. Također se ustanovilo da je treset bio pomalo kremaste strukture te da je voda koja je iscijeđena iz njega bila blatna, a biljni materijal lako prepoznatljiv. Bio je vrlo vlaknast i mogla su se uočiti pojedinačna vlakna duga 1-5 cm. Takvo tlo svrstava se u kategoriju H<sub>3</sub> prema von Postovu sustavu klasifikacije vrsta tla [2]. Provedena je i analiza veličine čestica treseta te različiti prirodni punila prema BS 1377, 1990., drugi dio [21], a pripadajuće granulometrijske krivulje prikazane su na slici 4. Fizička i kemijska svojstva uzoraka treseta te različita svojstva prirodnih punila određena su u laboratoriju prema BS i ASTM standardima [21, 23] te su prikazana u tablicama 2. i 3. Kemijski sastav cementa prema deklaraciji proizvođača predstavljen je u tablici 4.



Slika 4. Granulometrijske krivulje vlaknastog treseta i punila

Tablica 2. Osobine ispitivanoga tresetnog tla

| Parametar   | Raspon                       | Prosječna vrijednost |
|---|------------------------------|----------------------|
| Udio vlage (BS 1377, 1990., drugi dio)  | 350-550 %                    | 495 %                |
| Prostorna masa (na terenu)  | 0,9 – 1,09 Mg/m <sup>3</sup> | 1                    |
| Klasifikacija (ASTM 5715-00)  | -                            | vlaknast             |
| Klasifikacija (prema von Postu)   | -                            | H <sub>3</sub>       |
| Specifična gustoća (BS 1377, 1990., šesti dio)  | 1,29-1,42                    | 1,38                 |
| Udio organske tvari (BS 1377, 1990., treći dio)   | 80-95 %                      | 91 %                 |
| Udio vlakana (ASTM, 1997.-91)   | 77-84 %                      | 0 %                  |
| Propusnost (BS 1377, 1990., šesti dio)  | -                            | 1,4 e-5 (m/s)        |
| Koeficijent poroznosti (BS 1377, 1990., četvrti dio)  | 9-12,5                       | 11                   |
| Nedrenirana posmična čvrstoća – pokus krilnom sondom (BS 1377, 1990., deveti dio)                 | 7-13 kPa                     | 11 kPa               |
| Nedrenirana posmična čvrstoća – ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće (BS 1377, 1990., sedmi dio) | 8-13 kPa                     | 10 kPa               |

Tablica 3. Svojstva prirodnih punila rabljenih pri ispitivanju

| Parametri                                   | Punilo 1<br>SW | Punilo 2<br>GP | Punilo 3<br>C-SP | Punilo 4<br>F-SP |
|---|----------------|----------------|------------------|------------------|
| $C_u$ (koeficijent nejednolikosti)          | 12,5           | 1,38           | 1,5              | 1,9              |
| $C_c$ (koeficijent zakrivljenosti)          | 2              | 0,67           | 1,18             | 0,95             |
| $e_{min}$ (najmanji koeficijent poroznosti) | 0,32           | neprijmjenjivo | 0,54             | 0,41             |
| $e_{max}$ (najveći koeficijent poroznosti)  | 0,58           | neprijmjenjivo | 0,86             | 0,69             |
| $G_s$ (specifična gustoća)                  | 2,64           | 2,72           | 2,68             | 2,7              |
| $\gamma_{d(max)}$ (najveća suha gustoća)    | 17,51          | neprijmjenjivo | 16,9             | 16,87            |
| $\Phi$ (kut unutarnjeg trenja)              | 36,8           | neprijmjenjivo | 31,6             | 34               |

SW: dobro granularani pijesak, GP: slabo granularani šljunak, C-SP: grubi slabo granularani pijesak, F-SP: sitni slabo granularani pijesak  
 $e_{min}$  određeno prema ASTM D 4253;  $e_{max}$  određeno prema ASTM D 4254;  $\gamma_{d(max)}$  određeno prema ASTM D 689 i  $\Phi$  određeno prema BS 1377,

Tablica 4. Kemijski sastav cementa korištenog pri ispitivanju

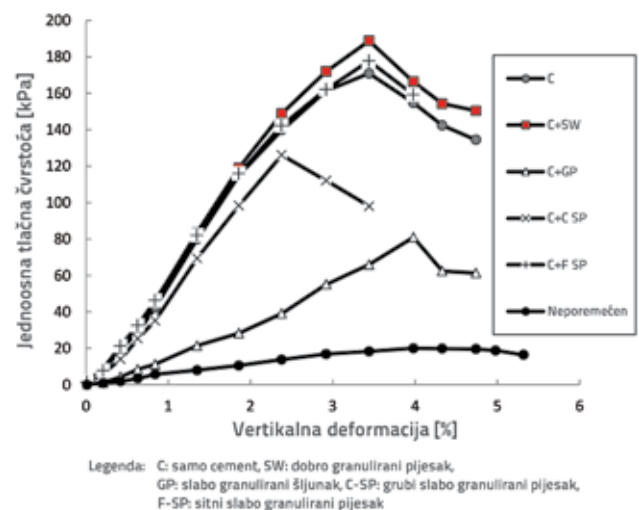
| Element                        | [%]  |
|--------------------------------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 21   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,3  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,3  |
| CaO                            | 65,6 |
| MgO                            | 1,1  |
| SO <sub>3</sub>                | 2,7  |
| Na <sub>2</sub> O              | 1    |

### 3.2. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

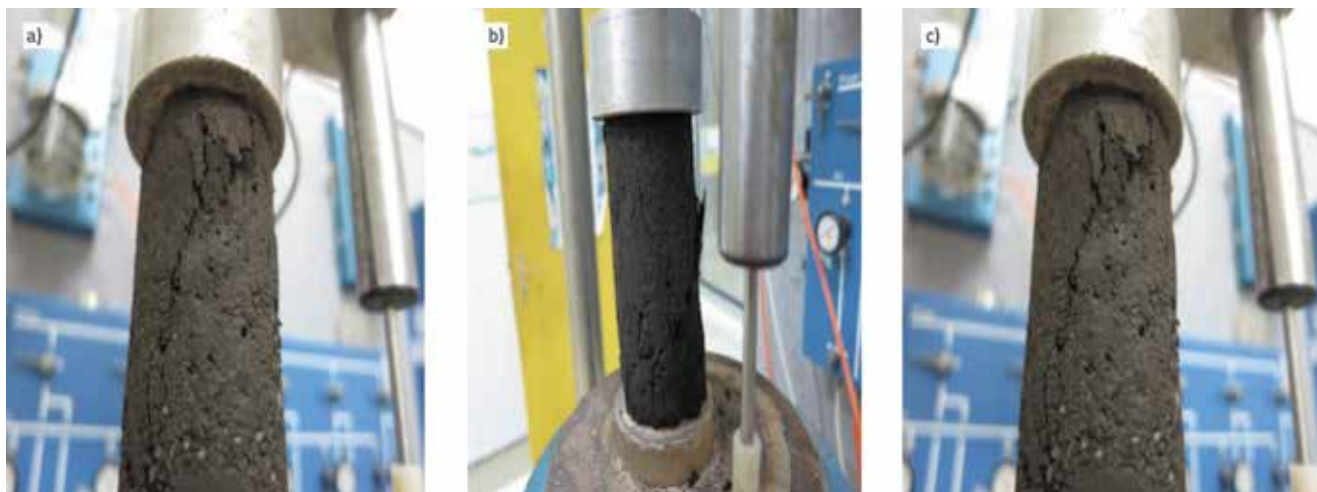
Dodavanje cementa mekim tlima očekivano donekle smanjuje udio vode u njima i povećava njihovu gustoću jer hidratacija cementa smanjuje udio vode stabiliziranog treseta i stvara krute produkte reakcijama ojačivača [7]. Nakon vremena njege od 14 dana u uzorcima s 300 kg/m<sup>3</sup> cementa u odnosu na masu vlažnog treseta gustoća se povećala od 1 Mg/m<sup>3</sup> (gustoća neporemećenog treseta) na oko 1,37 Mg/m<sup>3</sup> (maksimalna gustoća). Gustoća svih uzoraka nakon 90 dana njege ostala je jednaka. Nakon 14 dana njege udio vlažnosti cementnom stabiliziranog treseta bio je 125 %, a nakon 90 dana vrlo se malo smanjio. Napominjemo da se udio vlage svih uzoraka miješanih s raznim punilima nije znatno smanjivao (najviše 3 %) u odnosu na uzorke nakon 14 dana njege. Najveća jednoosna tlačna čvrstoća od 115,2, 163,7 i 170,93 kPa postignuta je samo na uzorcima stabiliziranog treseta s udjelom cementa od 300 kg/m<sup>3</sup> nakon vremena njege od 14, 28, odnosno 90 dana. Kao usporedbu navodimo da su vrijednosti mjerenja jednoosne tlačne čvrstoće u našim ispitivanjima bile gotovo jednake onoj od 178,6 kPa koju su Wong i suradnici [17] izmjerili za stabilizirani treset s udjelom veziva od 300 kg/m<sup>3</sup>, od čega 75 % cementa i 25 % zgre. Hebib i Farrell [15] u svojim su istraživanjima došli do sličnih rezultata. Jednoosnu tlačnu čvrstoću neobrađenog treseta iz Raheenmorea povećali su na oko 180 kPa uz pomoć

udjela veziva od 250 kg/m<sup>3</sup>, od čega 60 % cementa, 40 % letećeg pepela i 3 % vapna, nakon 28 dana njege stabiliziranih uzoraka u vodi. Također su otkrili i da udio veziva od 250 kg/m<sup>3</sup> cementa može povećati jednoosnu tlačnu čvrstoću neobrađenog treseta na čak 1100 kPa, što je mnogo više od onoga što smo naveli u našim istraživanjima. Iz navedenoga se jasno vidi da jednoosna tlačna čvrstoća stabiliziranog treseta ovisi o lokalitetu.

Slika 5. prikazuje karakterističan odnos jednoosne tlačne čvrstoće i vertikalne deformacije stabiliziranog treseta uz stalan udio cementa od 300 kg/m<sup>3</sup> u odnosu na masu vlažnog treseta, pomiješanog s dobro granularanim pijeskom u omjeru od 125 kg/m<sup>3</sup> u odnosu na masu vlažnog treseta i nakon 90 dana njege. Jednoosna tlačna čvrstoća neporemećenog treseta bila je 20 kPa, što je odgovaralo posmičnoj čvrstoći od 11 kPa izmjerenoj na terenu pokusom krilnom sondom. Kako vidimo, najveću jednoosnu tlačnu čvrstoću od 188,8 kPa imaju uzorci s dobro granularanim pijeskom, a zatim oni sa sitnim slabo granularanim pijeskom i grubim slabo granularanim pijeskom. Njihove su jednoosne tlačne čvrstoće 177,8 odnosno 126,1 kPa.



Slika 5. Odnos jednoosne tlačne čvrstoće i vertikalne deformacije uzoraka stabiliziranoga vlaknastog treseta



Slika 6. Načini loma: a) cementom stabilizirani treset (kosa pukotina); b) cementom stabilizirani treset miješan s dobro granuliranim pijeskom (kosa pukotina); c) cementom stabilizirani treset miješan sa sitnim slabo granuliranim pijeskom (okomita pukotina)

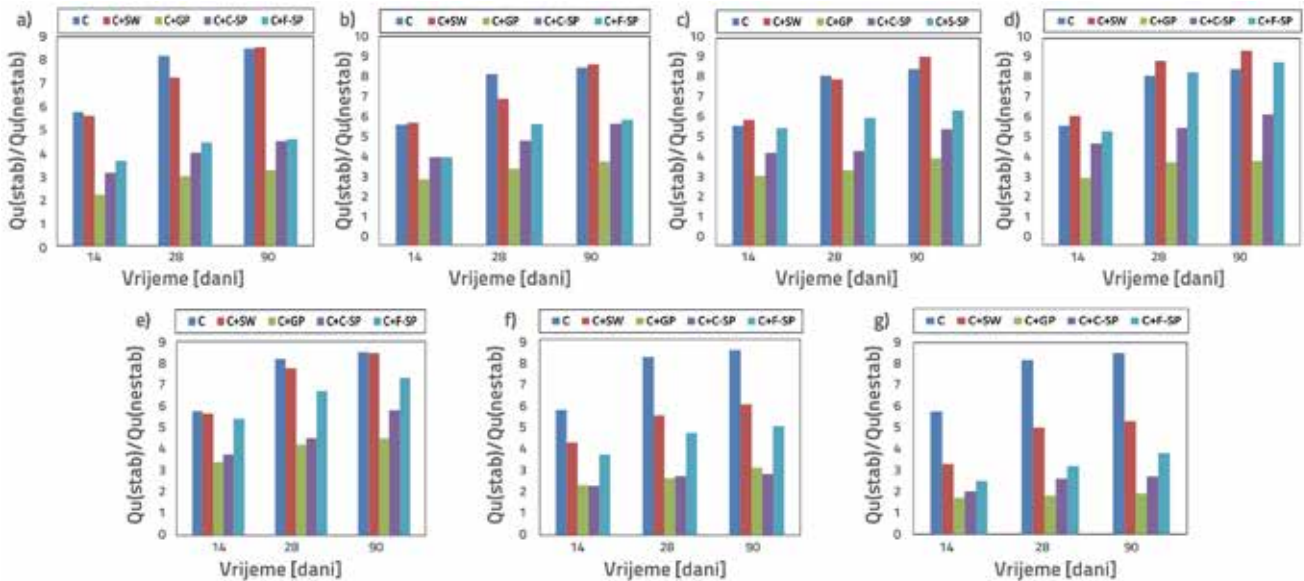
Iz slike 5. možemo zaključiti i da dobro granulirani pijesak i sitni slabo granulirani pijesak povećavaju posmičnu čvrstoću cementnog treseta te da je jednoosna tlačna čvrstoća takvih uzoraka znatno veća u odnosu na čvrstoću uzoraka sa slabo granuliranim šljunkom i grubim slabo granuliranim pijeskom. Razlog tome je što krute čestice različitih veličina popune praznine u cementom stabiliziranom vlaknastom tresetu. Slika 5. pokazuje i da gruba punila smanjuju posmičnu čvrstoću cementom stabiliziranog treseta i do 65%. Slično se može primijetiti i kod uzoraka miješanih s različitim udjelima punila nakon 14, 28 i 90 dana njege. Slika 6. prikazuje različite oblike popuštanja stabiliziranog treseta. Većina uzoraka podložna je pucanju, a neporemećeni treset pomicanju. Većina pukotina nastala je u ranim fazama na vrhu uzorka i proširila se povećanjem napreznja dok nije nastupilo konačno popuštanje. Uzorci stabilizirani cementom podložni su samo kosim pukotinama. Isto je karakteristično i za cementom stabilizirani treset miješan s dobro granuliranim pijeskom, a okomite pukotine svojstvene su cementom stabiliziranom tresetu miješanom sa sitnim slabo granuliranim pijeskom. Napomenimo da su svi stabilizirani uzorci pri popuštanju bili izloženi malome osnom napreznju, što je uzrokovalo krto popuštanje uzoraka [17].

### 3.3. Učinak punila

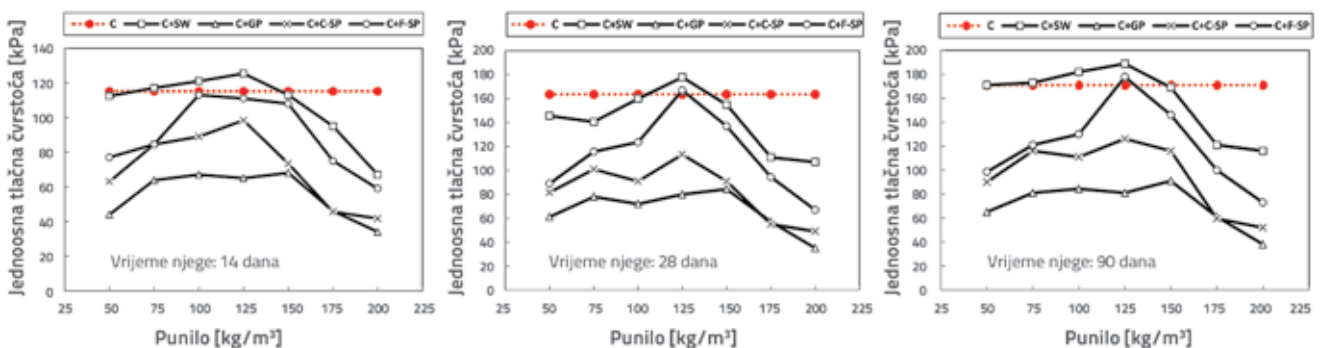
U okviru istraživanja provedeno je i ispitivanje utjecaja različitih prirodnih punila na treset stabiliziran cementom. Slika 7. prikazuje rezultate istraživanja u obliku povećanja nedrenirane posmične čvrstoće cementom stabiliziranog treseta miješanog s različitim udjelima prirodnih punila u odnosu na čvrstoću neporemećenog treseta nakon 14, 28 i 90 dana njege. Na slici je prikazano sedam grafikona koji pokazuju utjecaj udjela punila na nedreniranu posmičnu čvrstoću cementom stabiliziranog treseta. Očito je da se

povećanjem vremena njege povećala i nedrenirana posmična čvrstoća treseta stabiliziranog cementom. Rezultati pokazuju znatna poboljšanja odnosa nedrenirane posmične čvrstoće za razdoblje njege od 14 do 28 dana. Naprotiv, za vrijeme njege od 28 do 90 dana to je poboljšanje relativno malo. Ispitivanja su pokazala da je najveće poboljšanje odnosa čvrstoća (9,44) zabilježeno za cementom stabilizirani treset miješan sa 125 kg/m<sup>3</sup> dobro granuliranog pijeska nakon 90 dana njege (slika 7.d), a najmanje poboljšanje odnosa od 1,65 zabilježeno je za cementom stabilizirani treset miješan s 200 kg/m<sup>3</sup> slabo granuliranog šljunka nakon 14 dana njege (slika 7.g).

Slika 8. prikazuje razlike jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka stabiliziranog treseta miješanog s različitim udjelima prirodnih punila i različitim vremenima njege uzoraka. Na slici crvena crta označava jednoosnu tlačnu čvrstoću cementom stabiliziranog treseta (C), a ostali grafikoni prikazuju razlike jednoosne tlačne čvrstoće cementom stabiliziranog treseta miješanog s različitim udjelima prirodnih punila, od 50 do 200 kg/m<sup>3</sup> u odnosu na masu vlažnog treseta i s prirodnim udjelom vlage od 495%. Iz slike 8.a očito je da je nakon 14 dana njege dobro granulirani pijesak u udjelima od 75 do 122 kg/m<sup>3</sup> povećao jednoosnu tlačnu čvrstoću cementom stabiliziranog treseta s 115,2 na 125,4 kPa, a jednoosna se tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta smanjila dodatkom udjela od 125 do 150 kg/m<sup>3</sup>, i to sa 125,4 na 111,8 kPa. Također je uočeno da daljnje dodavanje dobro granuliranog pijeska u udjelima od 150 do 200 kg/m<sup>3</sup> smanjuje jednoosnu tlačnu čvrstoću cementom stabiliziranog treseta s 111,8 na 65 kPa (slika 8.a). Slično se događa i nakon 28 dana njege (slika 8.b). Uz udio dobro granuliranog pijeska kao punila između 100 i 135 kg/m<sup>3</sup>, jednoosna tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta povećala se sa 163,7 na 178 kPa, a jednoosna se tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta znatno smanjila uz udio punila od 135 do 200 kg/m<sup>3</sup>.



Slika 7. Usporedba povećanja nedrenirane posmične čvrstoće cementom stabiliziranog treseta miješanog s različitim udjelima punila u odnosu na čvrstoću nestabiliziranog treseta nakon 14, 28 i 90 dana njege: a) 50; b) 75; c) 100; d) 125; e) 150; f) 175; g) 200 (u  $\text{kg}/\text{m}^3$ )



Slika 8. Jednoosna tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta miješanog s različitim udjelima prirodnih punila za tri različita vremena njege

Rezultati pokazuju i da se nakon 28 dana njege jednoosna tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta vidno smanjila kad je miješan sa slabo granuliranim šljunkom i grubim slabo granuliranim pijeskom. Zanimljivo je da se nakon dodavanja  $130 \text{ kg}/\text{m}^3$  sitnog slabo granuliranog pijeska jednoosna tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta povećala sa 163,7 na 167 kPa, što znači da je sitni pijesak učinkovitiji od gruboga. Naposljetku, ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka nakon 90 dana njege dokazuju da od 50 do  $150 \text{ kg}/\text{m}^3$  dobro granuliranog pijeska daje dobre rezultate za cementom stabilizirani treset. Udio od 50 do  $120 \text{ kg}/\text{m}^3$  povećao je jednoosnu tlačnu čvrstoću sa 170,93 na 188,8 kPa. Isto se događa i nakon 14 dana njege s udjelom dobro granuliranog pijeska od 120 do  $200 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Baš kao i nakon 28 dana njege, i u ovom je slučaju uslijed dodavanja oko  $130 \text{ kg}/\text{m}^3$  sitnog slabo granuliranog pijeska jednoosna tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta povećana sa 170,93 na 177,8 kPa. Napominjemo da su kod svih uzoraka slabo granulirani šljunak i grubi slabo

granulirani pijesak smanjili posmičnu čvrstoću cementom stabiliziranog treseta.

#### 4. Zaključak

Na temelju ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće 98 uzoraka cementom stabiliziranog treseta miješanog s različitim udjelima prirodnih punila, može se zaključiti slijedeće:

- na uzorcima cementnog treseta s udjelom cementa od  $300 \text{ kg}/\text{m}^3$  izmjerena je jednoosna tlačna čvrstoća od 112,5, 163,7 i 170,93 kPa nakon 14, 28, odnosno 90 dana njege; jednoosna tlačna čvrstoća neporemećenog treseta povećala se 850 %
- jednoosna tlačna čvrstoća cementom stabiliziranog treseta znatno se smanjuje miješanjem s različitim udjelima slabo granuliranog šljunka, grubog slabo granuliranog pijeska i sitnog slabo granuliranog pijeska
- dodavanje  $125 \text{ kg}/\text{m}^3$  dobro granuliranog pijeska u odnosu na masu vlažnog treseta, što je optimalan udio punila,

povećalo je jednoosnu tlačnu čvrstoću cementnog treseta do maksimalnih vrijednosti od 125,4, 178 i 188,8 kPa nakon 14, 28, odnosno 90 dana njege.

U svrhu povećanja nosivosti cementom stabiliziranog vlaknastog treseta preporučuje se dodavanje dobro granuliranog pijeska oko 125 kg/m<sup>3</sup> u odnosu na masu

vlažnog treseta, ali uz napomenu da bi točan udio prethodno trebalo ispitati na terenu.

## Zahvala

Autori se iskreno zahvaljuju Građevinskom fakultetu Tehnološkog Sveučilišta Malezije na financijskoj pomoći za provedbu istraživanja.

## LITERATURA

- [1] Haut, B.B.K.: *Some mechanical properties of tropical peat and Organic soil*. In 2nd World Engineering Congress, Sarawak 22-25, 2002, 82-87
- [2] Von post, L.: *Geological survey of Sweden peat inventory and some of its hitherto missing data*, Tidskr, 1922, 1, 1-27.
- [3] Hartlen, J., Wolsk, J.: *Embankments on Organic Soils*. Elsevier, USA, ISBN: 10-0-444-88273-1, 1996.
- [4] Bell, F.G.: *Engineering properties of soil and rocks*. Malden, MA, Blackwell Sci., 2002, 202-221
- [5] EUROSILSTAB. *Development of design and construction methods to stabilize soft organic soils: Design guide soft soil stabilization*. CT97-0351. Industrial & Materials Technologies Program (Brite-EuRam III), European Commission, 2002.
- [6] Axelsson, K., Joansson, S., Andersson, R.: *Stabilization of organic soil by cement- and puzzolanic reactions—feasibility study*. Linköping, Sweden, Swedish Deep Stabilization Research Center, 2000.
- [7] Kazemian, S., Prasad, A., Haut, B.B.K., Bolouri Bazaz, J., Mohammed, T.A., Abdul Aziz, F.N.: *Effect of aggressive pH media on peat treated by cement and sodium silicate grout*, Journal. Cent. South Univ. Technol. 2011, 18, 840-847
- [8] Kazemian, S., Huat, B.B.K., Prasad, A., Barghchi, M.: *Study of peat media on stabilization of peat by traditional binders*. *International Journal of Physical Sciences*, 2011, 6 (3), 476-481.
- [9] Kogure, K., Yamaguchi, H., Shogari, T.: *Physical and pore properties of fibrous peat deposit* proceeding of the 11<sup>th</sup> Southeast Asian, geotechnical conferences, Singapore, 2003
- [10] Munro, R.: *Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat*, 2003.
- [11] Mersi, G., Ajlouni, M.: *Engineering properties of fibrous peat*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2007, Vol. 133, No. 7
- [12] Wong, S., Roslan, H., Faisal, A.: *Unconfined compressive strength characteristics of stabilized peat*, Scientific Research and Essays Vol. 6(9), 2011, 1915-1921
- [13] Islam, M.D., Hashim, R.: *Stabilization of peat soil by soil-column technique and settlement of group columns*, International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(9), 2010, 1411-1418.
- [14] Yang, S.D., Yagihashi, J.N., Yoshizava, S.S.: *Dry jet mixing for stabilization of very soft soils and organic soils*. Geotechnical Special Publication, 1998, 96-110.
- [15] Hebib, S., Farrel, E.R.: *Some experiences on the stabilization of Irish peats*. Can Geotech J, 2003, 40 (1), 107-120.
- [16] Broms, B.: *Lime and lime/cement columns*. Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Ground Improvement Geosystems, Helsinki, 2003, 43-93.
- [17] Wong, S., Roslan, H., Faisal, A.: *Strength and permeability of peat soil*, Journal of Applied Sciences, Vol. 8, Issue 15, 2008:1-5.
- [18] Chen, H., Wang, Q.: *The behavior of organic matter in the process of soft soil stabilization using cement*. Bull Eng Geol Environ, 2006, 65, 445-448.
- [19] Aagnostopoulos, A., Chatzianglou, M.: *Compressive strength of cement stabilized soil*. Electronic journal of geotechnical engineering. 2008:13, 1-10.
- [20] Dehghanbanadaki, A., Kamarudin, A., Nazri, A.: *Initial settlement of mat foundation on group of cement columns in peat- numerical analysis*. Electronic journal of geotechnical engineering. Vol 17/O, 2012, 2243-2253.
- [21] British Standard Institution. *Methods of test for soils for civil engineering purposes*. London, UK, BS 1377- 1990: Part 2, 3, 6 and 7, 1990.
- [22] Head, K.H., Epps, R.J.: *Manual of soil laboratory testing*. Vol. 2, 2011, 324-340
- [23] American Society for Testing. *Materials Annual: Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, PA, USA, 1992, 04.08.