

Cement tla

Dratibi, Silvia

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:974865>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILISTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILISNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Silvia Dratibi
ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2019.

SVEUČILISTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILISNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Silvia Dratibi

CEMENT TLA

završni rad

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Nevenka Vrbos

Članovi ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Nevenka Vrbos

Prof dr. sc. Juraj Šipušić

Prof dr. sc. Emi Govorčin Bajsić

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

Da bi se na nekoj podlozi nešto sagradilo potrebno je da podloga ima određena svojstva primjerena gradnji. Danas se za pripremu neadekvatne podloge za gradnju koriste dva načina. Jedan podrazumijeva da se podloga za izgradnju u potpunosti promjeni, a drugi je da se postojećoj podlozi poboljšaju svojstva. Izmjena podloge je skuplji i dugotrajniji način pa se u većini slučajeva radi poboljšanje podloge. Postoji nekoliko načina poboljšanja podloge, a najčešće korišteni je stabilizacija tla cementom. Na taj se način mijenjaju fizikalna i kemijska svojstva tla do željenih vrijednosti. Najčešća vrsta cementa koja se koristi je portland cement. Osim cementa, za stabilizaciju tla, potrebno je pogodno tlo i voda. Omjeri i vrste ovih elemenata ovise o potrebama izgradnje. Kod poboljšanja tla koriste se specifični laboratorijski testovi kojima se ispituje materijal koji je potreban za samu izgradnju. Razvijeni su i različiti komercijalni proizvodi koji služe za stabilizaciju tla. (Geocrete i BeoSol.)

Ključne riječi: cement, stabilizacija tla cementom, metode stabilizacije, Geocrete, BeoSol

ABSTRACT

Different types of construction require different types of bases. To make an adequate base out of inadequate soil, it is possible to substitute a low-grade soil with a soil of high quality. That is the more expensive way of preparing soil for construction, so it is more common to improve the existing soil. There are many possible methods, but cement stabilisation is most commonly used. This way, physical and chemical characteristics of soil are changed to required values. Portland cement, soil and water are materials needed for soil stabilisation. Types and ratios of these materials depend on construction requirements. Specific laboratory tests are performed to determine the quality of materials used in construction. Many commercial products are developed and used in cement soil stabilisation. (Geocrete and BeoSol.)

Key words: cement, cement stabilisation, stabilisation methods, Geocrete, Beosol

SADRŽAJ

1. UVOD	5
2. POBOLJŠANJE TLA	6
3. STABILIZACIJA TLA CEMENTOM	6
4. CEMENT TLA	7
4.1. Vrste mješavina	8
4.2. Svojstva cementa tla	8
5. POGODNOST TLA ZA STABILIZACIJU CEMENTOM	8
6. MATERIJALI	9
7. ODREĐIVANJE SASTAVA SABILIZACIJSKE MJEŠAVINE	11
8. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA	12
9. METODE STABILIZACIJA TLA CEMENTOM	13
9.1. Miješanje na mjestu rada („ <i>mixed-in-place</i> “)	14
9.2. Miješanje u centralnom postrojenju („ <i>central plant mixing</i> “)	17
10. ZBIJANJE CEMENTA TLA	20
11. ZAVRŠNA OBRADA	21
12. KONTROLA KVALITETE IZRADE	22
13. KRITERIJI PROJEKTIRANJA	22
14. POSEBNI UVJETI	23
15. SUVREMENA RJEŠENJA	25
15.1. Geocrete	25
15.2. Beosol	26
16. ZAKLJUČAK	28
17. LITERATURA	29

1. UVOD

Stabilizacija nepogodnih tla provodi se već tisućljećima. Još je u vrijeme Mezopotamije i starih Rimljana otkriveno da je moguće poboljšati svojstva tla miješanjem sa stabilizirajućim agensima kao što su vapnenac i kalcij. Moderne metode stabilizacije osiguravaju stabilnost, osobito kod mekih i vlažnih tla.

Stabilizacija tla jedan je od ključnih zahtjeva kod provođenja geotehničkih projekata. Podrazumijeva izmjenu svojstava tla s ciljem dobivanja pogodne podloge za daljnju gradnju. Kako bi se izbjegao porast napuštenih gradilišta zbog nepogodnih svojstava podloge, provodi se stabilizacija. Najčešće se radi o mekanim i glinenim tlima te tlima s visokim udjelom organskih tvari. Cilj stabilizacije tla je povećanje čvrstoće tla i povećanje otpornosti na djelovanje vode. Najjednostavniji načini stabilizacije su zbijanje i isušivanje (uklanjanjem vode tlo postaje čvršće).

Metode stabilizacije tla mogu se podijeliti u dvije grupe: mehanička stabilizacija i kemijska stabilizacija. Kod mehaničke stabilizacije koriste se fizički procesi kojima se mijenjaju fizička svojstva tla te se dobiva podloga pogodna za gradnju. Kemijska stabilizacija temelji se na kemijskoj reakciji između tla i stabilizatora. Svojstva koja se mijenjaju kemijskom stabilizacijom su stalnost volumena, čvrstoća, propusnost, stlačivost i trajnost. Kemijski stabilizirana tla karakteriziraju velika čvrstoća te niska permeabilnost i stlačivost. Prije samog procesa stabilizacije provode se laboratorijska ispitivanja na temelju kojih se određuje vrsta i količina stabilizirajućeg agensa.

U ovom radu biti će opisana kemijska stabilizacija cementom i njena primjena.

2. POBOLJŠANJE TLA

U izgradnji prometnica postoje dionice na kojima tlo ne zadovoljava potrebne propisane kvalitete, zbog male smične čvrstoće i velikog sadržaja vode. Ti dijelovi su nepogodni u nosivom i konstrukcijskom smislu kao podloga trupa ceste ili kolničke konstrukcije. Kada je to moguće, ovaj problem rješava se djelomičnim ili potpunim uklanjanjem tla nezadovoljavajućih karakteristika te zamjenom sa slojem odgovarajućih potrebnih karakteristika. Nedostaci ovog načina rješavanja problema su veliki utrošak materijala, duži period izgradnje, ovisnost o klimatskim uvjetima te visoki troškovi izvedbe. Bez obzira na navedene nedostatke, navedeni način i dalje je djelotvorno rješenje za izgradnju na tlu nepogodnih karakteristika. U slučaju kada zamjena materijala nije moguća, zato što u blizini nema kvalitetnijeg materijala ili zamjena tla nije ekonomična, primjenjuju se postupci poboljšanja svojstava tla. Tako se smanjuje vrijeme trajanja i količina energije uložene u pripremu tla. Postupci poboljšanja tla u svrhu poboljšanja nosivosti nazivaju se postupci modifikacije i postupci stabilizacije tla.

Postupci modifikacije tla (posteljice) koriste se za stvaranje radne platforme za kretanje mehanizacije. Ne utječu na ulazne postavke pri projektiranju kolničke konstrukcije, a metode modifikacije često se određuju na licu mjesta tijekom izvođenja radova. S druge strane, postupci stabilizacije tla služe za poboljšanje nosivosti posteljice. Pri provođenju stabilizacije potrebno je potpuno razraditi metode rada i strogo ih se držati jer svako odstupanje od razrađene tehnologije vodi do propadanja stabilizacije. [1]

3. STABILIZACIJA TLA CEMENTOM

Stabilizacija tla definira se kao kemijska ili mehanička obrada namijenjena povećanju ili održavanju stabilnosti mase tla ili drugačijeg poboljšanja njegovih tehničkih svojstava. Na primjer povećanjem čvrstoće na smicanje, smanjenjem njegove tlačne čvrstoće, odnosno smanjenjem njegove sklonosti apsorpiranja vode. Metode stabilizacije uključuju fizičko zbijanje i obradu cementom, vapnom i bitumenom. Dok vapno zahtijeva glinoviti materijal, cementom se stabiliziraju koherentni materijali. Cement sadrži pucolanske komponente pa predstavlja samostalno vezivo.

Mehanizam stabilizacije cementom razlikuje se za nekoherentna i koherentna tla. Kod pijeska, koji je nekoherentno tlo, pomiješanog sa cementom, dodatkom vode dolazi do

hidratacije cementa. Nastaju produkti poput kalcijevih i aluminijevih hidrata te dolazi do sljepljivanja i povezivanja zrnaca. Zbog male količine cementa, zrnca tla nisu potpuno obavijena pa takav materijal ima veliku poroznost, ali je inače čvrst i stabilan. Dodatkom cementa nekoherentnom tlu poboljšava se mehanička otpornost te otpornost na nepovoljne vremenske i hidrološke uvjete (kiša, smrzavanje). Dodatkom cementa koherentnom tlu, kao što je prašinasta glina, također dolazi do hidratacije i vezivanja čestica tla. Ako se doda mala količina cementa u stabilizacijskoj mješavini stvaraju se jezgre koje međusobno nisu povezane, ali ipak učvršćuju strukturu. Velike količine cementa razvijaju fini cementni skelet koji se širi cijelim materijalom te mu poboljšava mehaničke karakteristike. Prilikom stabilizacije koherentnih tla javlja se dodatni stabilizacijski efekt. Hidratacijom se iz cementa oslobađa određena količina živog vapna koje stupa u reakciju s aktivnim silikatima i mineralima iz tla te dodatno povećava čvrstoću materijala.

Kod materijala stabiliziranih cementom nema značajnih promjena svojstava s promjenom vlažnosti, temperature ili drugih klimatskih utjecaja. Takvi materijali predstavljaju pouzdanu podlogu. [2]

4. CEMENT TLA

Cement tla definira se kao mješavina usitnjenog tla te određenih količina portland cementa i vode zbijena do visoke gustoće. Korišteno tlo može biti bilo koja kombinacija pijeska, mulja, gline i šljunka ili komadića kamena. Ovisno o vrsti tla kojem dodajemo cement, istog je potrebno više ili manje. Kod glinovitih i muljevitih tla dodaje se manja količina cementa, dok je za pjeskovita tla potrebna veća količina cementa. Hidratacijom cementa, mješavina postaje čvrsta, izdržljiva i trajna. Na kraju se dodaje sloj bitumena koji sprječava isparavanje vode i održava potrebnu hidrataciju cementa.



Slika 1. Postupak stabilizacije tla cementom.

4.1. Vrste mješavina

Postoje dvije primarne vrste mješavine tla i cementa.

- a) Cement tla
- b) Cementno-modificirano tlo

Cement tla je čvrsti materijal koji sadrži dovoljno cementa da promjene mješavine ostanu u granicama određenim testom za zamrzavanje i odmrzavanje te suhim ispitivanjem. Cementno-modificirano tlo može biti stvrdnuta, polu-stvrdnuta ili ne stvrdnuta mješavina tla i cementa. Dodatkom malih količina portland cementa i vlage poboljšavaju se kemijska i fizikalna svojstva tla. Plastičnost i svojstvo promjene volumena se smanjuju, dok se nosivost povećava. Stupanj poboljšanja ovisi o količini cementa te vrsti korištenog tla. Kod druge vrste mješavine količina dodanog cementa tek je dovoljna da se svojstva tla promijene do željenih vrijednosti. [3]

4.2. Svojstva cementa tla

Svojstva cementa tla primarno ovise o vrsti tla, uvjetima zbijanja te starosti. Ovisno o vrsti tla, tlačna čvrstoća ovog materijala može varirati između 2 - 6 MPa. Modul elastičnosti iznosi otprilike 7000 MPa. [3] Ova svojstva se značajno povećavaju s povećanjem vremena zbijanja. Hidratacija cementa se u ovom materijalu događa tijekom dužeg perioda. Zbog toga uzorci uzeti nakon više godina pokazuju veću čvrstoću od onih uzetih nakon sedam ili 28 dana. Može se zaključiti da cement tla ima sposobnost izdržati promjene volumena i težine uzrokovane prometom, odnosno odlikuje se velikom nosivosti.

5. POGODNOST TLA ZA STABILIZACIJU CEMENTOM

Osnovni materijal za stabilizaciju ne smije sadržavati štetne tvari koje bi mogle omesti ili spriječiti proces vezivanja cementa. Takve su na primjer, organske tvari u prekomjernim količinama te sulfati.

U teoriji se cementom mogu stabilizirati gotovo sve vrste tla, no u praksi postoje tla koja su manje ili više pogodna za proces stabilizacije. Tla pogodna za stabilizaciju su prašinasto-glinovita, prašinasta i pjeskovita, dok su glinovita tla nepogodna za stabilizaciju jer zbog svojeg sastava traže veću količinu cementa. Za stabilizaciju cementom su najpogodnija krupnozrnata tla (pjeskoviti šljunak), no njih rjeđe nalazimo. [4]

6. MATERIJALI

Za proizvodnju cementa tla potrebna su samo tri materijala: tlo, portland cement i voda. Moguće je koristiti tla fine teksture; pješčana tla; mješavine pijeska, mulja, šljunka i gline; tla koja sadrže vapnenac, granit, pepele, trosku te tla koja sadrže krhotine stijena. Također je moguće koristiti otpadne materijale koji zaostaju tijekom proizvodnje agregata cementa tla. Količine portland cementa i vode koje se dodaju te gustoća do koje mješavina mora biti zbijena, određuju se standardiziranim testovima.

Voda u cementu tla omogućava postizanje najveće zbijenosti, odnosno gustoće, podmazivanjem čestica tla te je potrebna za hidrataciju cementa. Voda stvrdnjava tlo i povezuje čestice u čvrstu i tvrdnu površinu.

a) Portland cement

Koristi se bilo koja vrsta portland cementa, no mora ispunjavati zadane norme. Najčešće se koriste portland cement tip I i tip II.

Tip I je uobičajen te namijenjen općoj upotrebi. Koristi se u građevinarstvu za betonske blokove i prenapregnuti beton koji neće biti u doticaju s tlom ili podzemnim vodama. Najčešći sastav ovog tipa cementa je: 55% C_3S , 15% C_2S , 6% C_3A , 11% C_4AF , 2,9% MgO , 2,5% SO_3 , 0,8% gubitka paljenjem, 1% CaO . Udio C_3A ne smije prijeći 15%.

Tip II je otporan na sulfate te tijekom hidratacije otpušta manje topline. Sastav mu je: 51% C_3S , 24% C_2S , 6% C_3A , 11% C_4AF , 2,9% MgO , 2,5% SO_3 , 0,8% gubitka paljenjem i 1% CaO . U ovom slučaju udio C_3A ne smije prelaziti 8%. U građevinarstvu se koristi kod konstrukcija izloženih utjecaju sulfata te u doticaju s tlom i podzemnim vodama.

Ako se za stabilizaciju koriste pucolanski cementi, preporučuju se oni nižih čvrstoća kao što su PC-25 i PC-35, ali nikako jači cementi. Jači cementi se ne koriste jer pogoduju nastajanju pukotina na površini materijala, odnosno uzrokuju veće stezanje mješavine. Također, jačeg cementa je potrebno dodati manje, što otežava postizanje homogene mješavine. [4]

b) Voda

Voda koju dodajemo u ovakvu mješavinu mora biti čista te ne smije sadržavati lužine, kiseline, organske tvari niti krhotine. Čistoća vode trebala bi biti jednaka čistoći vode koju

pijemo. U slučajevima kada je čista voda nedostupna moguće je koristiti morsku vodu za dobivanje istih rezultata.

U stabilizaciji tla voda ima dvije uloge:

- 1) Podmazivanje čestica i omogućavanje djelotvornog zbijanja (optimalna vlažnost)
- 2) Proces hidratacije cementa

c) Tlo

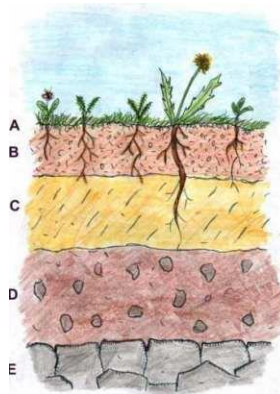
U cementu tla stabilnost se postiže hidratacijom cementa, a ne kohezijom i trenjem čestica materijala. Prema tome sve varijacije tla mogu biti očvrsnute dodatkom portland cementa. Koliko je neko tlo pogodno za cement tla određuje se obzirom na njegovu gradaciju i položaj u profilu tla.

Prema gradaciji tla se dijele u tri grupe.

1. Pješčana i muljevita tla s dobrom gradacijom koja sadrže 10-35% neplastičnih čestica imaju najbolje karakteristike i zahtijevaju najmanju količinu cementa za dovoljno stvrdnjavanje. S druge strane, moguće je koristiti grubo disperzne sustave, no oni zbog svoje gradacije zahtijevaju dodatak neplastičnih čestica ili veće količine cementa.
2. Pješčana tla s nedostatkom koloidnih čestica stvaraju kvalitetne cemente tla, iako je za stvrdnjavanje potrebna veća količina cementa nego za prvu grupu tla. Obzirom na gradaciju i nedostatak koloidnih čestica potrebno je poboljšati vučnu snagu tako što se pijesak održava mokrim. Zbog mekane strukture materijala potrebni su posebni procesi tijekom završnog zbijanja i fine obrade kako bi se dobila glatka i zbijena površina.
3. Muljevita i glinovita tla su zadovoljavajuće sirovine za cement tla. Općenito, što je veća količina mulja i gline u tlu, potrebna je veća količina cementa. Korištenje ovakvih tla ovisi o vremenskim uvjetima. Ako ova tla možemo usitniti do potrebne veličine čestica, moguće ih je koristiti u proizvodnji cementa tla. Tla koja sadrže veći udio gline teže je usitniti.

Profil tla vertikalni je presjek Zemljine površine koji se sastoji od različitih horizonta, odnosno slojeva tla. Svaki sloj ima svoju gradaciju, strukturu i boju, pri čemu boja ukazuje na vrste kemijskih sastavnica u tlu. U nekim slučajevima pridaje se veća važnost kemijskom

sastavu tla, nego gradaciji, jer je u proizvodnji cementa tla najvažnija reakcija između tla i portland cementa. Tako na primjer, crvena boja tla ukazuje na prisutnost željeza i takvo tlo vrlo dobro reagira sa cementom. S druge strane, crnica loše reagira sa cementom zbog prisutnosti organskih čestica. Tla dobivena iz sličnih sirovina i pod sličnim uvjetima klime, topografije, isušivanja i vegetacije, slična su i imaju slične profile. Istraživanja su pokazala da tla sličnih slojeva i sličnih struktura, zahtijevaju istu količinu cementa. [3]



Slika 2. Profil tla. (A i B – površinski slojevi, C – prijelazni sloj između površinskog i matičnog supstrata, D – matični supstrat, E – glej horizont)

7. ODREĐIVANJE SASTAVA STABILIZACIJSKE MJEŠAVINE

Prije izvedbe stabilizacije tla cementom potrebno je odrediti radni sastav, tj. recepturu. Točan postupak nije propisan jer kod nas ova metoda nije dovoljno rasprostranjena i razvijena pa se zbog toga vodimo praksom drugih zemalja.

Pogodnost tla za stabilizaciju cementom određuje se ispitivanjem granulometrijskog sastava, granica konzistencije, Proctorovih elemenata te sadržaja organskih i štetnih tvari. Ispitivanjem čvrstoće i otpornosti prema vodi i smrzavanju mješavina tla i cementa, određuje se točna receptura. Tlačna čvrstoća nakon sedam dana mora iznositi $1,4 \text{ MN/m}^2$, a nakon 28 dana $1,75 \text{ MN/m}^2$.

Recepturom se određuje:

- a) Postotak cementa u odnosu na suhu masu tla.
- b) Optimalna vlažnost mješavine tlo-cement po Proctoru.
- c) Maksimalna suha prostorna masa po Proctoru.
- d) Minimalna čvrstoća (nakon 7, odnosno 28 dana).

e) Otpornost stabiliziranog materijala prema vodi i smrzavanju (po potrebi).

Postotak cementa u mješavini ovisi o vrsti tla i vrsti cementa. Dakle, dodaje se minimalna količina cementa koja može zadovoljiti tražene zahtjeve, ali i spriječiti nastajanje pukotina. [4]

Tablica 1. Granice potrebnog sadržaja cementa za stabilizaciju pojedinih vrsta materijala

Vrsta tla	Sadržaj cementa u % mase suhog tla
Pijesak i prašinski pijesak	6 – 10
Jednozrni pijesak	8 – 12
Prašinasto tlo	7 – 12
Glina	10 – 16

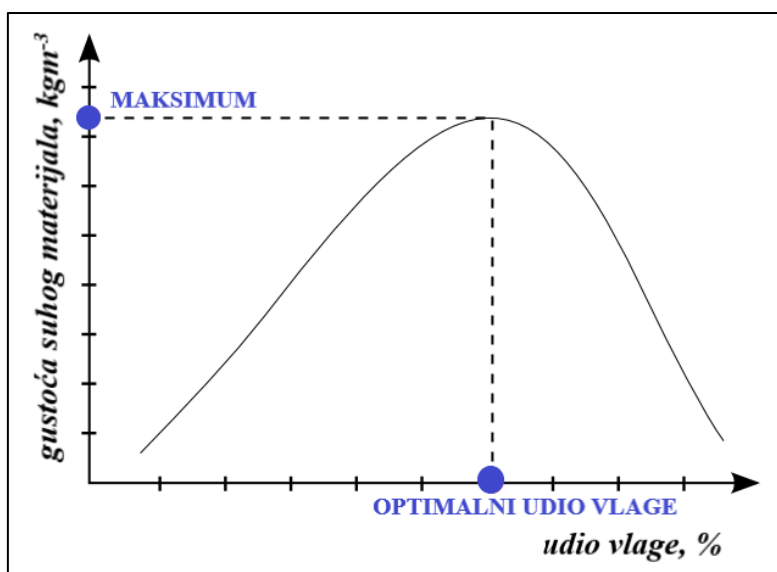
Iz vrijednosti u tablici 1. može se zaključiti da zbog potrebnih velikih količina cementa kod glinovitog tla postupak nije ekonomičan.

8. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Prije proizvodnje cementa tla, potrebno je definirati i testirati tlo kako bi se odredila minimalna količina cementa potrebna za adekvatno očvršćivanje. Testiranjima se isto tako određuje potreban stupanj vlage i vrijednosti gustoće kako bi gotov produkt bio pogodan za upotrebu u građevinarstvu.

a) Proctorov test zbijanja

Optimalni udio vlage potreban za postizanje maksimalne gustoće gotovog materijala određuje se Proctorovim testom zbijanja. Ovo ispitivanje sastoji se od zbijanja uzoraka tla s poznatim udjelima vlage. Za svaki uzorak tla određuje se gustoća suhog materijala te se dobiva grafička ovisnost gustoće o udjelu vlage, odnosno krivulja zbijanja. Potom se određuje maksimalna gustoća iz maksimuma krivulje zbijanja i pripadajućeg optimalnog udjela vlage.



Slika 3. Proctorov test zbijanja – grafička ovisnost gustoće suhog materijala o udjelu vlage.

b) Ispitivanje ciklusa smrzavanja i odmrzavanja

Količina cementa potrebna za dobivanje cementa tla određuje se ispitivanjem ciklusa smrzavanja i odmrzavanja. Ovim testom određuje se stabilnost materijala uslijed naglih promjena temperature. Voda se prilikom smrzavanja ekspandira za 9% te tako stvara tlak u porama cementa tla. Ako nastali tlak nadvlada vlačnu čvrstoću materijala, dolazi do pucanja. Uzastopnim smrzavanjem i odmrzavanjem može doći do pojave pukotina, ekspanzije i mrvljenja materijala. Ove pojave moguće je spriječiti upotrebom kemikalija koje snižavaju ledište oborina koje padaju na površinu materijala.

Tablica 2. Prosječna količina cementa potrebna za različite materijale. [3]

Materijal	Cement, %	Cement, kg/m ³
Vapnenac	5	110
Lapor	11	160
Škriljac	10	160
Troska	7	130

9. METODE STABILIZACIJE TLA CEMENTOM

U ovom poglavlju biti će objašnjene dvije metode miješanja cementa tla, miješanje na mjestu rada i miješanje u centralnom postrojenju.

9.1. Miješanje na mjestu rada („mixed-in-place“)

a) Priprema tla (posteljice)

Priprema posteljice ovisi o mjestu na kojem se ona nalazi. Ako se radi o posteljici u usjeku, tlo se mora isplanirati i profilirati prema projektu. Poželjno je već u toj fazi odrediti optimalnu vlažnost. Kod posteljice u nasipu, izvede se sloj ispod onog koji treba stabilizirati i na njega se naveze sloj tla u debljini koja će nakon stabilizacije biti jednaka projektiranoj debljini sloja. U tom slučaju tlo je već poprilično razrahljeno pa je olakšano kasnije usitnjavanje.

Trošni zrnasti materijali zahtijevaju malo ili uopće ne zahtijevaju usitnjavanje. Muljevita i glinovita tla teže se usitnjavaju, pogotovo ako su previše suha ili previše mokra. Velika količina vode u materijalima koji se teško usitnjavaju, uzrokuje njihovu krtost i lakše pucanje. Zbog toga se muljevita i glinovita tla suše sve dok se ne postigne optimalni udio vlage u materijalu. Minimalno 80% čestica tla mora biti manje od 4,75 mm, dok sve čestice moraju biti manje od 25 mm. U navedeno se ne ubrajaju šljunak i kamenje koji mogu biti maksimalne veličine od 50 mm. [3]

Usitnjavanje tla provodi se pomoću rotofreзера. Kako bi se tlo propisno usitnilo i jednolično pomiješalo s tlom potreban je određen broj prijelaza rotofreзера.



Slika 4. Rotofrezer.

b) Miješanje

Prilikom miješanja na mjestu rada potrebno je omogućiti temeljito miješanje tla, cementa i vode. Tlo se najčešće namače prije miješanja što skraćuje vrijeme pripreme jer je tako većina vode potrebne za miješanje već dodana. Kod materijala sa sitnim česticama, voda omogućava bolje prijanjanje čestica cementa na sitne čestice tla. Miješanje tla i cementa je lakše ako je udio vlage 2-3% niži od optimalnog udjela, no kod pješčanog tla miješanje se provodi i sa udjelom vlage 1-2% višim od optimalnog. [3] Vlaga treba biti ravnomjerno raspoređena u materijalu kako bi se smanjili gubitci uzrokovani isparavanjem. Zbog mogućnosti oborina tijekom noći namakanje tla provodi se u rano jutro. Nakon usitnjavanja i namakanja tla, ono se nanosi na podlogu i zaglađuje.

c) Nanošenje cementa

Količina potrebnog cementa za nanošenje definira se kao postotak cementa po težini osušenog tla ili kilogram cementa po kubičnom metru zbijenog tla.

Prije nanošenja cementa, tlo se, ako je prekomjerno mokro, suši pomoću ugljičnog dioksida. Kao što je već spomenuto, pješčana tla mogu se miješati s cementom ako sadrže optimalan udio vlage. S druge strane, glinovita tla se miješaju s cementom ako im je sadržaj vlage manji od optimalnog.

Tijekom istovara cementa koriste se komprimirani zrak ili vibratori kako bi se zadržala praškasta struktura cementa. Cement se nanosi pomoću mehaničkih rasipača ili iz vreća. Mehanički rasipači najčešće su pričvršćeni za stražnji dio kamiona. Cement se rasipa dok se kamion pomiče prema naprijed, a rasipač regulira količinu cementa koja se nanosi na pripremljeno tlo. Kako bi nanos cementa bio jednoličan na cijeloj površini, rasipač se mora pomicati sporo, konstantnom brzinom i sa konstantnom razinom cementa. Mehanički rasipači moraju imati dovoljnu vučnu snagu kako bi nanos cementa bio jednoličan. Za dobivanje jednoličnog sloja cementa, tlo se valja prije nanošenja cementa.

U slučaju kada je mehanički rasipač montiran direktno na cisternu sa cementom, cement se pneumatski vadi iz cisterne. Na izlazu iz cisterne nalazi se separator zraka koji smanjuje tlak zraka te cement odlazi u spremnik rasipača. Kako bi se održala konstantna brzina kretanja, ponekad cisternu s cementom vuče drugi kamion. Bez obzira kako je montiran mehanički rasipač, važno je postići jednoličan nanos cementa.

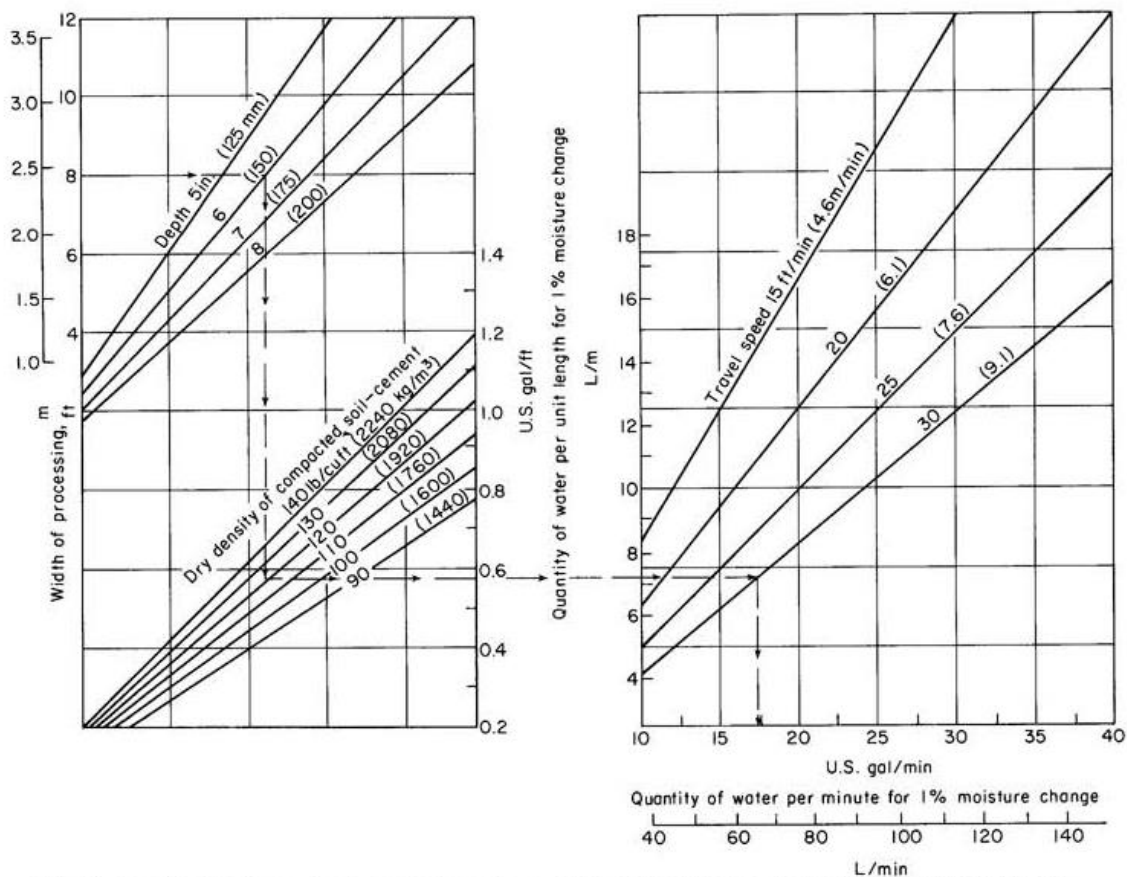
Tablica 3. Prikaz potrebnih količina cementa.

Sadržaj cementa(kg/m³) zbijenog tla	Nanos cementa (kg/m²) zbijenog cementa tla
72	0,72
80	0,80
88	0,88
96	0,96
104	1,04
112	1,12
120	1,20
128	1,28
136	1,36
144	1,44
152	1,52
160	1,60
168	1,68
176	1,76
184	1,84
192	1,92
200	2,00
208	2,08
216	2,16
224	2,24
232	2,32
240	2,40
248	2,48
256	2,56

d) Miješanje i dodavanje vode

Prilikom miješanja tla, cementa i vode važna je jednoličnost mješavine. Kako bi se provjerila jednoličnost mješavine kopaju se rupe na jednakim udaljenostima zbog ispitivanja dobivene mješavine. Prilikom ispitivanja pažnja se daje boji i teksturi, a njihova ujednačenost po cijelom presjeku znači zadovoljavajuću mješavinu. Ako se u presjeku mješavine vide slojevi korištenih materijala, ista nije dovoljno izmiješana.

Prije dodavanja vode, cement i tlo moraju biti dobro izmiješani kako ne bi došlo do stvaranja gruda cementa. Količina dodane vode ovisi o vrsti tla i sadržaju vlage u njemu.

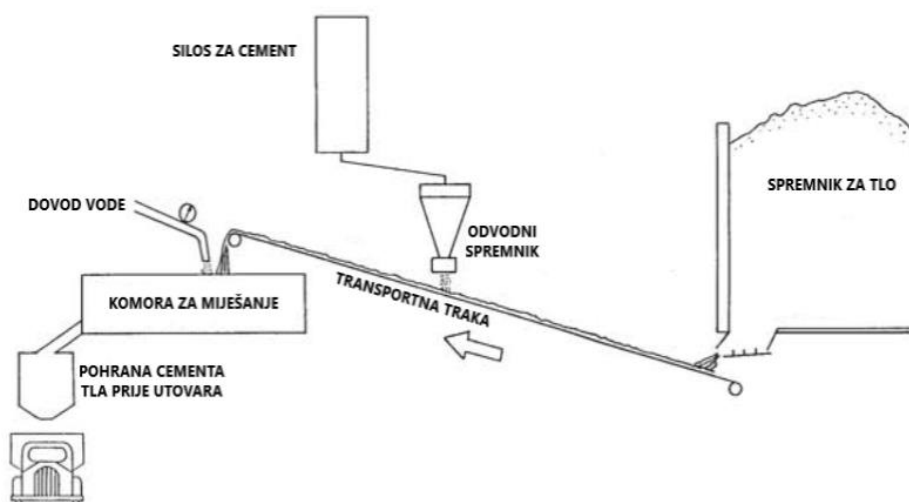


Slika 5. Količina vode u minuti potrebna za povećanje udjela vlage u cementu tla za 1%. [3]

9.2. Miješanje u centralnom postrojenju („central plant mixing“)

Centralna postrojenja za miješanje koriste se u projektima koji podrazumijevaju korištenje zemljanih materijala. Drobļjivi materijali najčešće se koriste zbog manje potrebe za dodatkom cementa, jednostavnijeg korištenja i lakšeg miješanja. Glinena tla su materijal kakav je bolje izbjegavati prilikom miješanja u centralnom postrojenju jer ih je teško usitniti.

Tipično postrojenje sastoji se od posude za tlo, silosa za cement s odvodnim spremnikom, transportne trake za prenošenje tla i cementa do komore za miješanje, komore za miješanje, spremnika za vodu za dodatak vode prilikom miješanja te spremnika u koji se pohranjuje cement tla prije utovara.



Slika 6. Pojednostavljeni prikaz miješanja cementa tla u centralnom postrojenju.

Komora za miješanje sastoji se od dvije paralelne osovine na kojima su lopatice. Osovine se okreću u suprotnim smjerovima te se cement tla prenosi miješalicom pokretanjem lopatica na osovinama. Dovođenje materijala, brzina kretanja transportne trake i kretanje lopatica osovina podešeni su da miješanje u komori bude optimalno. Također, vrijeme miješanja materijala utječe na jednoličnost krajnjeg produkta. U nekim slučajevima određuje se minimalno vrijeme miješanja. Najčešće je to 30 sekundi, no zadovoljavajuće miješanje ostvareno je i u kraćem vremenu, što ovisi o efikasnosti same miješalice.

Odmjerena količina cementa se u komoru unosi direktno ili pomoću transportne trake. S obzirom na razlike u količini vlage i gradaciji čestica tla, količina materijala dodana u komoru za miješanje može varirati. Adekvatno opterećenje u spremniku za tlo održava jednolično dodavanje tla pomoću transportne trake. Tijekom dodavanja cementa mogući su gubici zbog pojave vjetrova. Kako bi se ti gubici smanjili na minimum dodaje se žlijeb po kojem se cement kreće prema komori, a zatim se dodaje još jedan žlijeb kako bi tok cementa bio potpuno zatvoren.

a) Kalibracija postrojenja

Pravilni omjeri cementa, tla i vode koji se unose u komoru za miješanje određeni su kalibracijom postrojenja prije samog miješanja materijala. Jedan od načina kalibriranja je propuštanje tla kroz cijelo postrojenje u zadanom vremenskom periodu te skupljanje tog tla u kamion. Uglavnom se radi o vremenskim periodima od jedne, dvije i tri minute. Time se određuje jednoličnost toka i količina materijala koja protječe postrojenjem. Količina suhog tla

koja protječe postrojenjem u jednom satu određuje se kao omjer količine vlažnog tla u jednom satu i udjela vlage izraženog decimalnim brojem kojem se dodaje jedan. [3] Na primjer, količina vlažnog tla koje proteče postrojenjem u jednom satu je 500 tona, a udio vlage je 5,5%. Tada se količina suhog tla koja protječe postrojenjem računa kao:

$$\frac{500}{(1,0+\frac{5,5}{100})} = 474 \text{ t/h} \quad (1)$$

Kalibracija mjerača cementa provodi se provođenjem cementa direktno u kamion, dok se tlo provodi kroz cijelo postrojenje. Postrojenje tada radi punim kapacitetom kako bi se ostvarili uvjeti jednaki onima kada je miješanje cementa tla u tijeku. U ovom slučaju provođenje cementa traje 15, 30 i ponekad 40 sekundi, tijekom kojih se određuje jednoličnost toka cementa i krajnja količina cementa. Mjerač cementa može se kalibrirati i na način da se posebno odrede potrebne količine cementa i tla na transportnoj traci te se prema tim odnosima prilagođava traka mjerača cementa. Kada je postrojenje propisno kalibrirano, dovoljna je samo jedna provjera postrojenja na dan. Kvaliteta korištenog cementa također se provjerava povremenim pražnjenjem silosa.

b) Prijevoz i nanošenje

Kako bi se izbjegli neželjeni gubici u slučaju vrućeg i vjetrovitog vremena ili iznenadne kiše, prijevozni kamioni opremljeni su zaštitnim navlakama. Vrijeme prevoženja mješavine od postrojenja do mjesta rada ograničeno je na 30 minuta.

Mješavina cementa tla nanosi se na podlogu tako da ne dođe do odvajanja između podloge i mješavine. Nanosi se ona količina cementa koja je potrebna da nastane temelj jednoliko raspoređene čvrstoće. Podloga na koju se nanosi cement tla mora biti vlažna. Kod cestogradnje se mješavina nanosi u više traka, no između nanošenja susjednih traka ne smije proći vrijeme dulje od 30 minuta. Zbog toga se prilikom nanošenja koristi više strojeva odjednom.

Najčešće su uređaji za rasipanje, odnosno nanošenje cementa tla, pričvršćeni na stražnji dio kamiona. Postoji i mogućnost korištenja strojeva za asfaltiranje. Neki od njih imaju trake za nabijanje koje pospješuju početno zbijanje materijala. Cement tla nanosi se u sloju koji je 25-50% deblji od konačne debljine zbijene mješavine. [3] Tako će, na primjer, sloj početne debljine 200-230 mm, nakon zbijanja imati debljinu otprilike 150 mm. Iznos za koji će se smanjiti debljina sloja uvelike ovisi o vrsti tla, metodi nanošenja i stupnju

zbijenosti. Debljina početnog sloja određuje se iz iskustva izvođača radova ili metodom pokušaja i pogrešaka.

Tablica 4. Priprema cementa tla u centralnom postrojenju.

Priprema podloge	Oblikovanje podloge.
	Zbijanje podloge.
Priprema cementa tla	Miješanje tla, cementa i vode u postrojenju.
	Prijevoz do mjesta rada i nanošenje mješavine.
	Zbijanje.
	Završni radovi.
	Konzerviranje.

10. ZBIJANJE CEMENTA TLA

Načela zbijanja cementa tla ista su onima zbijanja tla bez dodavanja cementa. Mješavina cementa tla zbija se do maksimalne gustoće nakon čega se provode završni radovi. Na gubitak vode tijekom zbijanja ukazuje nam pojava sive boje na površini. Takav gubitak nadomješta se laganim nanošenjem vode na površinu mješavine. Valjci za zbijanje koriste se uglavnom za početno zbijanje, osim kada se radi s više granuliranim tlima. Kako bi se dobio željeni stupanj zbijenosti, odnosno gustoće, ponekad se na valjke dodaje dodatan teret kako bi se povećao pritisak na površinu. Općenito je pravilo koristiti najveći mogući pritisak koji ne premašuje nosivost cementa tla. Muljevita i glinovita tla se zadovoljavajuće zbijaju korištenjem valjaka s pritiskom od 520-860 kPa. Glinoviti pijesak, gusta glina i mulj koji imaju nisku plastičnost mogu se zbiti pritiskom od 690-1380 kPa. Teška glina i šljunčana tla zahtijevaju najveći pritisak tijekom zbijanja, 1030-2070 kPa. Kada se koriste valjci za zbijanje, cement tla se lagano nanosi na podlogu prije zbijanja kako bi se slojevi mješavine postupno sabili i dostigli željenu gustoću. Vibracijski valjak koristi se za zbijanje cementa tla napravljenog od zrnatog tla. Za zbijanje krupnog pijeska i šljunčanog tla niskih plastičnosti i bez vezivnih materijala koriste se pneumatski valjci. Kod takvih valjaka gume se brzo ispumpavaju i ponovo pumpaju kako bi se valjak lakše prilagodio površini po kojoj se kreće. Čelični valjci s tri kotača koriste se za zbijanje tla čiju strukturu čine krupna zrna te sadrže vrlo malo ili ni malo vezivnih materijala.

Zbijanje materijala može se odvijati na dva načina. Za prvi način karakteristična je bankina koja podupire cement tla s bočne strane i dodaje se prije samog zbijanja mješavine. Za drugi način karakteristično je da se prvo zbija rubni dio cementa tla, a zatim središnji. Nastali nagib rubnog dijela olakšava zbijanje i oblikovanje, a bankina se dodaje tek nakon zbijanja cementa tla.

Tijekom zbijanja i završne obrade sloja cementa tla moguće je da dođe do smekšavanja i popuštanja materijala. Ovu pojavu može uzrokovati:

- a) Višak vode, odnosno vlage, u mješavini cementa tla;
- b) Slojevi zemlje ispod cementa su previše mokri ili nestabilni;
- c) Strojevi koji se koriste pri zbijanju su preteški za korištenje na takvom tlu.

Ako je mješavina cementa tla previše vlažna, suši se do optimalnog udjela vlage u mješavini i potom se može valjati. Nakon valjanja, stabilizirani sloj se štiti od gubitka vlage kako bi se proces očvršćivanja odvijao nesmetano. Obično stabilizirani sloj postiže zadovoljavajuću nosivost već nakon sedam dana te je spreman za gradnju i izradu kolničke konstrukcije.

Za postizanje najboljih rezultata zbijanja, isto je najbolje započeti odmah nakon miješanja tla, cementa i vode. Tako je najlakše postići zadanu gustoću mješavine i manje je isparavanje vode, a zbijanje mora biti završeno unutar četiri sata od početka miješanja. [3]

11. ZAVRŠNA OBRADA

Iako postoji više metoda završne obrade cementa tla, točan postupak ovisi o dostupnoj opremi, uvjetima obrade te svojstvima tla. Kako bi se, bez obzira na metodu, dobila površina visoke kvalitete, potrebno je osigurati adekvatno zbijanje, optimalnu vlažnost te otkloniti sve neravnine. Nakon obrade površina mora biti glatka, zbijena, bez brazda i pukotina.

Završna obrada obuhvaća konzerviranje pomoću sloja bitumena. Gotov cement tla se prevlači slojem bitumena kada je to najpraktičnije, a moguće je odmah po završetku postavljanja cementa tla. Vrsta i debljina sloja ovise o količini prometa, dostupnosti potrebnih materijala i cijeni. Općenito, završni sloj bitumena je tanji ako se prekriva cement tla. Kod zrnatih površina potrebni su deblji slojevi. Ceste s rijeđim prometom, ulice i aerodromi zahtijevaju sloj debljine ~19mm. S druge strane, područja s gušćim prometom zahtijevaju dvostruko deblji sloj bitumena, ~38mm. [3]

Postoje mjesta gdje se koristi cement tla, ali nije potrebno prevlačenje zaštitnim slojem bitumena, npr. skladišta ugljena i područja za kompostiranje.

12. KONTROLA KVALITETE IZRADE

Kvaliteta izvedbe stabilizacije tla cementom određuje se tekućim i kontrolnim ispitivanjima te ispitivanjima na pokusnoj dionici, koja se provode na većim gradilištima. Tekuća ispitivanja obuhvaćaju ispitivanja granulometrijskog sastava, granice konzistencije i sadržaja organskih tvari, osnovnih parametara koji definiraju kvalitetu cementa, ispitivanje vlažnosti, stupnja zbijenosti u odnosu na standardni Proctorov postupak, tlačne čvrstoće, točnost profila i ravnost. Kontrolna ispitivanja su ispitivanja tlačne čvrstoće i kontrola geometrijskih elemenata. [4]

13. KRITERIJI PROJEKTIRANJA

Kolničke konstrukcije su sustavi koji sadržavaju materijale različitih karakteristika. Pod utjecajem prometa ili prirodnih sila ti materijali se ponašaju različito, zbog čega su potrebni određeni kriteriji koje je potrebno zadovoljiti prilikom projektiranja. Ispravno projektirana konstrukcija u projektiranom razdoblju podnosi sva opterećenja, bez pojave neočekivanih i velikih oštećenja (pukotine). Kod cementnih stabilizacija ograničavaju se horizontalna vlačna naprezanja koja se javljaju pri dnu sloja. Prekoračenjem tog kriterija javlja se zamor materijala i dolazi do pojave pukotina.

Podjela projektnih kriterija:

- a) Za određenu razinu naprezanja i deformacija ograničava se broj prijelaza standardnih osovinskih opterećenja.
- b) Definiranje dopuštene veličine naprezanja i deformacija slojeva kolničke konstrukcije za određeni broj ponavljanja opterećenja koje uzrokuje oštećenje.

Mehanizam sloma

Kriterij sloma cementnih stabilizacija veže se uz zamor materijala pri velikom broju ponavljanja prometnog opterećenja. Mehanizam sloma može se opisati u tri koraka. Nakon

postavljanja sloja cementa tla javljaju se pukotine uslijed skupljanja materijala, odnosno hidratacije. Razmak nastalih pukotina ovisi o vlačnoj čvrstoći stabilizacije te otporu trenja na kontaktu sloja s posteljicom, a izražava se izrazom:

$$L = \frac{2R}{\mu\gamma} \quad (2)$$

L - razmak pukotina (m), R - vlačna čvrstoća (Nm^{-2}), μ - koeficijent trenja između cementom stabiliziranog sloja i posteljice, γ - gustoća materijala (kgm^{-3})

Širenje pukotina zbog temperaturnih promjena ovisi o modulu elastičnosti sloja i koeficijentu temperaturnog širenja ovisnog o sastavu mješavine. Uzrok daljnjem širenju pukotina je prometno opterećenje, zbog čega pukotine izbijaju na površinu kolnika u obliku poprečnih pukotina. Poprečne pukotine češće se javljaju kod kolničkih konstrukcija sa stabiliziranim slojevima. Njihov broj raste sa starenjem konstrukcije, a smanjuje se s povećanjem debljine konstrukcije. Upotrebom cementom stabiliziranog tla s velikim udjelom cementa, smanjuje se razmak između pukotina. [5]

Prema Klompu i Listeru [5] kriterij vezan za čvrstoću materijala veže se uz veličinu modula elastičnosti prema sljedećim izrazima:

$$\sigma_r = 0,315 \left(\frac{E}{10000} \right)^{0,81} \quad \text{za } E < 10000 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$\sigma_r = 0,315 \left(\frac{E}{10000} \right)^{1,70} \quad \text{za } E > 10000 \text{ MPa} \quad (4)$$

σ – dopušteno vlačno naprezanje (MPa), E – modul elastičnosti (MPa)

Kod slojeva stabiliziranih cementom rijetko dolazi do sloma zbog nailaska jednog vozila. Ali pri ponovljenom opterećenju može doći do loma i pri naprezanju manjem od vlačne čvrstoće materijala.

14. POSEBNI UVJETI

a) Promet

Tijekom provođenja postupka izrade cementa tla, može biti propuštena manja količina prometa na toj dionici. Ako su dijelovi terena uz tu dionicu ravni, promet može biti preusmjeren na taj dio. Dok se u ekstremnim slučajevima, kada je obujam prometa velik i obilasci nisu mogući, gradnja provodi na polovici dionice. Opterećenje manje od opterećenja

same mehanizacije koja se koristi, ne može naštetiti kvaliteti krajnjeg produkta. Na dionicama gdje se promet odvija bez obzira na gradnju, isti je kontroliran pravilima kako ne bi došlo do oštećenja površine cementa tla.

b) Vremenske nepogode

U ovom slučaju mjere opreza mogu uvelike smanjiti mogućnost od oštećenja nastalih zbog mokróg vremena. Na primjer, na udubljenim mjestima u kojima se voda može nakupljati potrebno je omogućiti isušavanje. Obično je u postupku potreban dodatak vode od 25 do 28 mm kiše. Ako kiša padne tijekom nanošenja cementa, zaustavlja se taj postupak te se provodi miješanje već nanesenog cementa. U slučaju kada kiša padne nakon što je dodana sva potrebna količina vode, može doći do ozbiljnih problema. Tada se postupak ubrzava i površina se valja kako bi došlo do zbijanja materijala prije nego voda uzrokuje previše štete. [3]

c) Mokro tlo

Prekomjerno mokro tlo teže se miješa i usitnjava. Praksa je pokazala da se pješčana tla mogu miješati sa cementom ako je udio vlage za 2% veći od optimalnog. Kod glinenih tla udio vlage mora biti ispod optimalnog kako bi miješanje bilo učinkovito. U nekim slučajevima potrebno je isušivanje tla aeracijom. Omogućavanje brzog otjecanja vode s površine najbolje je osiguranje od prekomjernog natapanja materijala.

d) Mekana podloga

Ispravno zbijanje jedan je od osnovnih zahtjeva u postupku izvođenja cementa tla. Ako je podloga mekana ne može se postići tražena gustoća (zbijenost). Zbog toga je za takva područja važno da ih se locira i stabilizira na vrijeme. Stabilizacija se provodi sušenjem i ponovnim zbijanjem tla. Kada su takvi nestabilni slojevi dubinski, potrebno ih je ukloniti i zamijeniti stabilnim materijalom ili stabilizirati cementom. U slučaju stabilizacije podloge cementom, nestabilno tlo se miješa sa cementom i valja se do zadovoljavajuće gustoće. Sušenje i hidratacija cementa dovoljno očvršćuju podlogu kako bi se mogla provesti stabilizacija površinskog sloja tla.

e) Hladnoća

Cement tla, kao i ostali materijali koji u svom sastavu sadrže cement, očvršćuje zbog procesa hidratacije cementa. Hidratacija cementa djelomično prestaje kada je temperatura blizu smrzavanja pa se stabilizacija tla ne provodi kada je temperatura 4°C i niže. Također je

važno da ne dođe do smrzavanja u periodu od sedam dana od provođenja procesa stabilizacije.

15. SUVREMENA RJEŠENJA

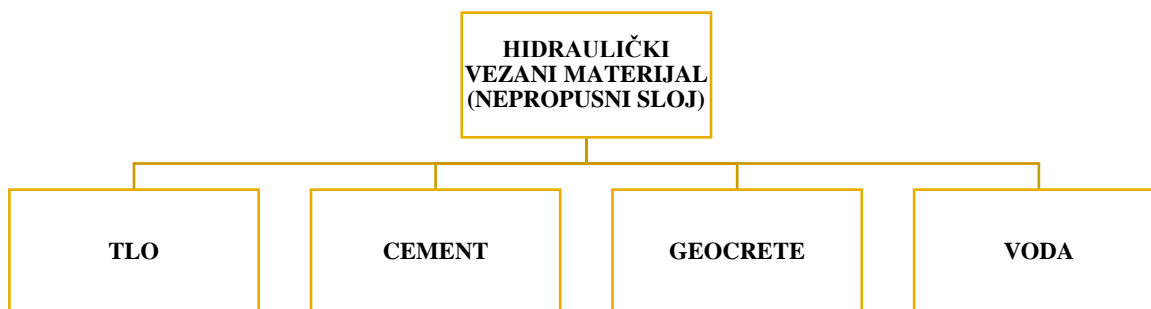
Nedostaci upotrebe cementa u stabilizaciji kohezivnih tla su pojava pukotina, manja izdržljivost te barem sedam dana sušenja prije ponovne upotrebe tla. Prisutnost fulvinske i ugljične kiseline u tlu sprječava i otežava hidrataciju cementa. Zbog tih nedostataka razvijaju se novi aditivi. Takvi aditivi utječu na nosivost tla tako da djeluju na zbijanje čestica tla ili djeluju kao veziva. U nastavku će biti opisana dva takva aditiva, Geocrete i Beosol.

15.1. Geocrete

Geocrete je aditiv koji, dodan cementu, neutralizira djelovanje fulvinske i ugljične kiseline. Temelji se na smjesi minerala te stvara kelatne spojeve s kiselinom u tlu. Dodatkom aditiva cementu i tlu, stvara se stabilna, polučvrsta i nepropusna struktura koja može poslužiti kao podloga za gradnju cesta ili nasipa. Nastajanje dugih kristalnih struktura povećava nosivost, čvrstoću i elastične module. Omogućuje stabilizaciju tla bez iskopavanja i smanjuje potrebu za transportom materijala, iz čega slijedi smanjena emisija CO₂. Stvara stabilne temelje s boljom raspodjelom čvrstoće pa su zbog toga manje osjetljivi na vibracije uzrokovane vanjskim čimbenicima i vlagu. [6]

Upotrebljava se na cestama, asfaltiranim površinama, za izgradnju temelja i nasipa. Dodatkom Geocrete-a stabilizacija tla za izgradnju ceste odvija se 4-5 puta brže nego korištenjem tradicionalnih metoda. Na primjer, podloga za cestu s jednom trakom dugu 1 km, može se stabilizirati u jednom danu. Kod izgradnje nasipa koristi se jer je nastala struktura otporna na korozijsko djelovanje slane vode, dok pri gradnji temelja povećava vlačnu čvrstoću, elastičnost i nosivost. Osim u navedenim slučajevima, Geocrete se koristi i kod stabilizacije tla onečišćenim teškim metalima gdje sprječava daljnje onečišćenje tla i podzemnih voda stvarajući veze s metalima. [7]

U usporedbi s tradicionalnim metodama, Geocrete je brže i jeftinije rješenje prikladno za okoliš.



Slika 7. Shema miješanja Geocrete-a s tlom.

Prednosti Geocrete-a kao aditiva:

- Upotreba postojećeg tla,
- Manji troškovi konstrukcije i održavanja,
- Smanjenje upotrebe betona,
- Manje oštećenja,
- Dugoročna održivost,
- Smanjena emisija CO₂.

15.2. BeoSol

Hidraulična veziva za stabilizaciju cesta pod nazivom BeoSol pogodna su za stabilizaciju vezivnog sloja te gornjeg i donjeg sloja kod izgradnje kolničkih konstrukcija. BeoSol povezuje čestice materijala i tako poboljšava mehaničke karakteristike podloge, pogotovo zateznu čvrstoću i nosivost. Za ovo vezivo karakterističan je kontrolirani sastav i ujednačena kvaliteta. Tlačna čvrstoća te početak i kraj vezivanja prilagođeni su tijekom izgradnje. Smanjuje toplinu hidratacije i rizik od pojave pukotina. Prije izvođenja samog procesa stabilizacije potrebno je uzeti u obzir vrstu i karakteristike tla – sadržaj gline, homogenost tla, vlažnost, specifičnu površinu (rastresitost), sadržaj specifičnih soli (sulfati, nitrati). [8]

Prednosti upotrebe BeoSol veziva:

- Povećava čvrstoću, trajnost i vodonepropusnost tla;
- Smanjuje promjenu volumena tla uslijed promjene temperature i vlažnosti;

- Smanjuje troškove izgradnje i potrošnju energije;
- Omogućuje smanjenje debljine asfaltnog sloja;
- Smanjuje prašenje u radnom okruženju;
- Očuvanje prirodnih resursa.

Tijek izvođenja radova:

1. Nanošenje veziva
2. Podešavanje vlažnosti
3. Drobljenje i miješanje
4. Ravnanje
5. Kompaktiranje valjkom
6. Njega i očvršćivanje

16. ZAKLJUČAK

Stabilizacijom cementom poboljšavaju se nezadovoljavajuće karakteristike tla.

Stabilizacija cementom temelji se na reakciji hidratacije cementa pri čemu dolazi do povezivanja čestica tla i čestica cementa. Posljedica toga je povećanje čvrstoće materijala.

Za stabilizaciju cementom najpogodnija su krupnozrnata tla.

Prije izvedbe stabilizacije tla cementom potrebno je odrediti radni sastav i kriterije projektiranja kako ne bi došlo do pojave pukotina pri opterećenju.

Količina dodatka cementa u mješavini ovisi o vrsti tla i vrsti cementa.

Potrebno je definirati stupanj vlažnosti i vrijednosti gustoće, kako bi gotovi produkt imao tražena svojstva.

Duže vrijeme zbijanja povećava tlačnu čvrstoću i modul elastičnosti.

Stabilizacije tla cementom može se provoditi na mjestu rada ili u centralnom postrojenju.

Vrijeme prevoženja mješavine od postrojenja do mjesta rada ne smije biti duže od 30 minuta.

Komercijalni proizvodi koji služe za stabilizaciju tla su Geocrete i BeoSol.

17. LITERATURA

1. https://www.grad.unizg.hr/download/repository/1_Uvod_u_metode_poboljsanja_tla_2012.pdf (pristupljeno 16.02.2019.)
2. Rukavina, T., Dragčević, V., Lopuh, S., Rajić, S., Metode stabilizacije slabo nosivog tla pri izgradnji prometnica. *Građevinar*, 59(4), 301-309 (2007)
3. https://www.cement.org/docs/default-source/th-paving-pdfs/soil_cement/eb003.pdf?sfvrsn=2 (pristupljeno 19.01.2019.)
4. https://www.grad.unizg.hr/download/repository/6_Stabilizacija_cementom_2012.pdf (pristupljeno 16.02.2019.)
5. Barišić, I., Rukavina, T., Dimter, S., Cementne stabilizacije – karakteriziranje materijala i projektni kriteriji. *Građevinar*, 63(2), 135-142 (2011)
6. <https://geocreteoilstabilization.com/> (pristupljeno 15.07.2019.)
7. Fakhar, A. M. M., Asmaniza, A., Road Maintenance Experience Using Polyurethane (PU) Foam Injection System and Geocrete Soil Stabilization as Ground Rehabilitation. *Materials Science and Engineering*, 136 (2016)
8. <https://www.lafarge.rs/sites/serbia/files/documents/brosura-beosol.pdf> (pristupljeno 20.07.2019.)