

Primljen / Received: 8.2.2025.

Ispravljen / Corrected: 15.5.2025.

Prihvaćen / Accepted: 27.5.2025.

Dostupno online / Available online: 10.9.2025.

Eksperimentalno istraživanje nosivosti uslijed uzgona nove sidrene ploče ugrađene u nekoherentno tlo

Autori:

¹Hsaine Chabbi, dipl.ing.građ.hsaine.chabbi@univ-annaba.dz

Autor za korespondenciju

¹Prof.dr.sc. Mohamed Meksaouinemohamed.meksaouine@univ-annaba.dz²Izv.prof.dr.sc. Abdelmadjid Abdiabdelmadjid.abdi@univ-annaba.dz³Izv.prof.dr.sc. Latifa Louetrilatifa.louetri@univ-annaba.dz²Tarek Keffaf, dipl.ing.građ.tarek.keffaf@univ-annaba.dz¹ Sveučilište Badji Mokhtar Annaba Alžir, Tehnološki fakultet, Odsjek za građevinarstvo, Laboratorij za tla i hidrauliku² Sveučilište Badji Mokhtar Annaba, Alžir Tehnološki fakultet, Odsjek za građevinarstvo Laboratorij za materijale, geomaterijale i okoliš³ Sveučilište Badji Mokhtar Annaba, Alžir Tehnološki fakultet, Odsjek za građevinarstvo Laboratorij za građevinarstvo

Prethodno priopćenje

[Hsaine Chabbi, Mohamed Meksaouine, Abdelmadjid Abdi, Latifa Louetri, Tarek Keffaf](#)

Eksperimentalno istraživanje nosivosti uslijed uzgona nove sidrene ploče ugrađene u nekoherentno tlo

U ovome radu predstavljena je nova vrsta križne sidrene ploče, čime je površina ploče smanjena za više od 92 % u usporedbi s kvadratnom pločom i za više od 43 % u usporedbi s kružnom pločom. Također su provedena eksperimentalna ispitivanja procjene sile izvlačenja i rezultirajućih pomaka križnog sidra na različitim dubinama u pjeskovitu tlu. Usporedba rezultata s postojećim istraživanjima pokazuje da navedeno sidro pri izvlačenju pokazuje učinkovitost vrlo sličnu onoj tradicionalnih pločastih sidara (kvadratnih ili kružnih). Ti rezultati upućuju na to da je predloženo sidro obećavajuća alternativa u pogledu čvrstoće i stabilnosti. Smanjeni udio čelika ploče čini ta sidra lakšima i jednostavnijima za ugradnju, pružajući ekonomske i ekološke prednosti uz nosivost na izvlačenje sličnu onoj koju pružaju tradicionalne sidrene ploče za primjenu u tlu. Potrebna su daljnja istraživanja kako bi se poboljšao dizajn i procijenila dugoročna učinkovitost navedenih sidara.

Ključne riječi:

sidrena ploča, nosivost na izvlačenje, ispitivanja horizontalne sidrene ploče, nova vrsta sidra u tlu

Research Paper

[Hsaine Chabbi, Mohamed Meksaouine, Abdelmadjid Abdi, Latifa Louetri, Tarek Keffaf](#)

Experimental study on the uplift capacity of a new plate anchor embedded in cohesionless soil

This study introduces a new type of cross-shaped anchor plate, resulting in a reduction in the plate surface area by over 92 % compared to a square plate, and more than 43% compared to a circular plate. In this study, experimental tests were conducted to assess the pullout force and resulting displacements of a cross-shaped anchor at various depths in sandy soil. A comparison of the results with existing studies demonstrates that this anchor exhibits a pullout performance very similar to that of traditional plate anchors (square or circular). These findings indicate that the proposed anchor is a promising alternative in terms of strength and stability. The reduced steel volume of the plate makes these anchors lighter and easier to install, providing economic and ecological benefits while maintaining a similar order of magnitude of maximum pullout load as that provided by traditional plate earth anchors. Further research is required to refine the design and assess the long-term performance of these anchors.

Key words:

anchor plate, pullout capacity, horizontal anchor plate tests, new type of earth anchor

1. Uvod

Geotehnika je važno područje istraživanja u građevinarstvu, a cilj joj je osigurati stabilnost i trajnost konstrukcija izgrađenih na tlu ili u njemu. Među mnogim izazovima s kojima se suočavaju geotehnički inženjeri sidrene ploče igraju ključnu ulogu u povećanju strukturne stabilnosti. Različite vrste sidara razvijene su i primijenjene na terenu kako bi se zadovoljila potreba za poboljšanom učinkovitošću. Nažalost, ta rješenja nailaze na poteškoće i nedostatke poput visoke cijene šipki, što je primarni problem za navedenu vrstu ojačanja. U posljednjih nekoliko desetljeća povećanje i određivanje nosivosti sidrenih ploča eksperimentalnim i numeričkim istraživanjima postalo je ključno područje istraživanja, privlačeći znatnu pozornost istraživača. Glavni izazov ovog istraživanja povezan je s inovacijama u području sidrenih ploča i potragom za poboljšanim rješenjem koje nudi optimalnu učinkovitost i jednostavnost primjene. Pri rješavanju navedenog izazova primjenjuje se eksperimentalni pristup. U ovome radu predstavljen je novi pristup u području sidrenja u tlo, ističući vrstu sidrene ploče koju karakterizira smanjena površina ploče, što ima znatne prednosti u odnosu na tradicionalne sustave. Te su sidrene ploče projektirane kako bi omogućile povećanu čvrstoću, smanjeni ekološki otisak i ekonomske prednosti u usporedbi s konvencionalnim sidrima. Ovo istraživanje nastavlja prethodna istraživanja uključivanjem terenskih ispitivanja, ponajprije onih usmjerenih na mjerenje najvećega horizontalnog naprezanja pri izvlačenju i odgovarajućih pomaka novopredloženog sidra. Prikazana je komparativna analiza s konvencionalnim sidrenim pločama, a potom rasprava o rezultatima i tehnološkim odabirima.

2. Cilj istraživanja

Cilj ovoga eksperimentalnog istraživanja bio je analizirati i procijeniti utjecaj smanjenja površine čeličnih sidrenih ploča usvajanjem novoga križnog oblika, u usporedbi s postojećim kružnim ili kvadratnim oblicima, na otpor izvlačenju i povezane pomake. Cilj je bio utvrditi može li nova konfiguracija ponuditi poboljšanu učinkovitost u smislu nosivosti na izvlačenje i stabilnosti sustava sidrenja. Provođenjem ispitivanja i usporedbom rezultata s rezultatima postojećih sidara procijenjene su potencijalne prednosti novog oblika sidrene ploče i dane preporuke za njegovu upotrebu u području geotehničkog inženjerstva.

3. Teorijska analiza

Nedavna su istraživanja bila usmjerena na sidrene ploče s geometrijama i mehanizmima usporedivima s onima

predloženog sustava koje u ovome radu služe kao referentni primjeri za ocjenu učinkovitosti. Nekoliko analitičkih pristupa za predviđanje nosivosti na uzgon pjeskovita tla saželi su Jung i sur. [9]. Najvažniji rad Meyerhofa i Adamsa [14] postavio je temelje za kriterije projektiranja temeljene na uvjetima tla i opterećenju, koje su poslije usavršili Roy i sur. [10], koji su dali smjernice o dubini ugradnje, obliku ploče i sigurnosnim granicama. Dodatna istraživanja Yünküla i Gürbüza [13] te Niroumanda i Kassima [16] dodatno su istaknula učinke geometrije i ojačanja na uzgon u nekoherentnim tlima [13, 16].

Brojna su istraživanja primijenila bezdimenzijske koeficijente za normalizaciju krajnje nosivosti uslijed uzgona horizontalnih pločastih sidara. Među njima najčešće se primjenjuje koeficijent F_q . To omogućuje procjenu nosivosti sidra uslijed uzgona na temelju njegovih dimenzija i svojstava okolnog tla [6], a kako je izraženo u izrazu (1), prema [7, 11]:

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma \cdot B \cdot h \cdot H} \quad (1)$$

Predloženo je nekoliko analitičkih formula za povećanje točnosti navedenoga koeficijenta. To uključuje učinke geometrije sidrene ploče, mehaničkih svojstava tla i mehanizama interakcije tla i konstrukcije. Jedna takva formula, predložena u [14], prikazana je u izrazu (2), prema [3, 5]:

$$F_q = 1 + \left\{ \left[1 + 2m \left(\frac{H}{h} \right) \right] \left(\frac{h}{B} \right) + 1 \right\} \left(\frac{H}{h} \right) K_u \tan \varphi \quad (2)$$

pri čemu su:

F_q – faktor izvlačenja

B – širina sidra [m]

h – duljina sidra [m]

H – dubina sidra [m]

Q_u – nosivost na izvlačenje [kN]

K_u – nominalni koeficijent izvlačenja

φ – kut trenja tla [°]

γ – jedinična težina tla [kN/m³]

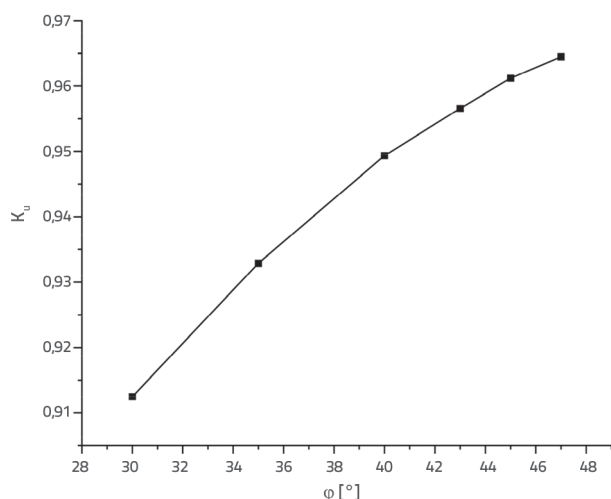
m – koeficijent koji ovisi o vrijednostima navedenima u tablici 1.

φ – određeno eksperimentalnim opažanjima [15].

Taj izraz pruža sveobuhvatnu procjenu kombiniranog utjecaja geometrijskih parametara i svojstava tla na ponašanje sidrenih ploča uslijed uzgona. To je poslužilo kao čvrsta teorijska osnova za projektiranje i provjeru sidrenih ploča u nekoherentnome tlu. Nominalni koeficijent izvlačenja K_u određuje se iz slike 1.

Tablica 1. Vrijednosti koeficijenta "m" dobivene eksperimentalnim opažanjem [5]

φ [°]	20	25	30	35	40	45	48
m	0,05	0,1	0,15	0,25	0,35	0,5	0,6

Slika 1. Varijacija K_u s kutom trenja tla [3]

4. Materijali korišteni u istraživanju

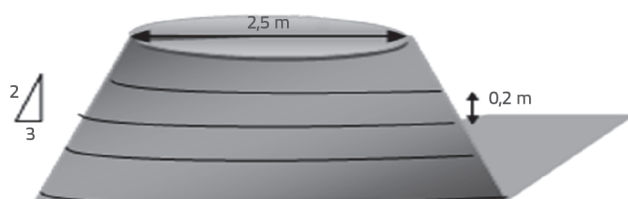
4.1. Svojstva nasipnog materijala

U ovom je istraživanju primijenjen gotovo ujednačeno granulirani pijesak, a njegove su karakteristike određene u laboratoriju. Tlo karakterizira ukupna jedinična težina od $\gamma_h = 20,9 \text{ kN/m}^3$ i suha jedinična težina od $\gamma_d = 19,7 \text{ kN/m}^3$. Kut unutarnjeg trenja ϕ određen je standardnim ispitivanjima izravnim posmikom i utvrđeno je da iznosi oko 45° .

4.2. Izgradnja nasipa

Nasip je izgrađen zbijanjem slojeva materijala, a svaki je sloj bio debljine 20 cm. Kako bi se izbjegao utjecaj stijenki spremnika na rezultate ispitivanja, eksperimenti su provedeni na nasipu zbijenome u obliku stošca, s nagibima omjera 3/2 i vrhom promjera 2,5 m (slika 2.).

Na slici 2. prikazana je geometrija primijenjenog nasipa. Zbijanje je omogućeno pomoću vibracijske ploče (tzv. *jumping jack compactor*) kako bi se osiguralo pravilno zbijanje po cijeloj površini materijala.



Slika 2. Geometrija primijenjenog nasipa

4.3. Vrsta primijenjenog čelika

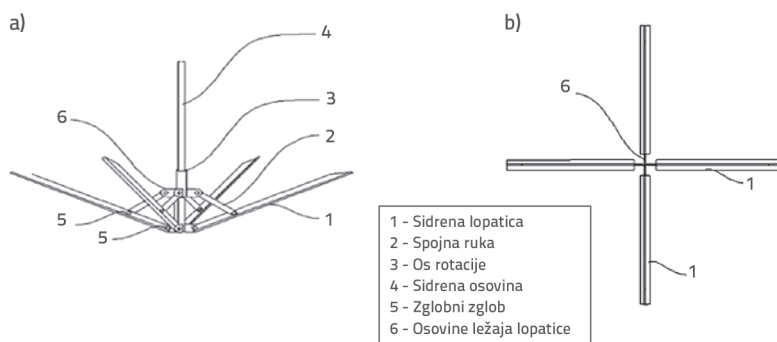
Za sidrenu šipku korišten je obični čelik promjera 2 cm u obliku okrugle šipke, koji je na svojem kraju povezan sa zglobnim dijelovima izrađenima od običnoga čeličnog T-profila (20 x 20 x 3 mm) debljine 0,3 cm.

5. Opis modela

Taj model sidrenja jest uređaj inspiriran oblikom kišobrana te je praktičan i sklopiv, omogućujući trajnu ili privremenu stabilizaciju konstrukcija u geotehnici. CMA (Chabbi-Meksaouinevo sidro) okrugla je čelična šipka promjera 20 mm, simetrično spojena na svojem kraju s četiri T-profila, a ti se profili mogu otvarati od 0° do 90° u odnosu na os simetrije sidra kroz spojeve (vidi sliku 3.). Duljina h sidrene ploče nakon otvaranja iznosila je 0,5 m.



Slika 3. Razni položaji CMA-e



Slika 4. Skice sidra u obliku križa u različitim fazama

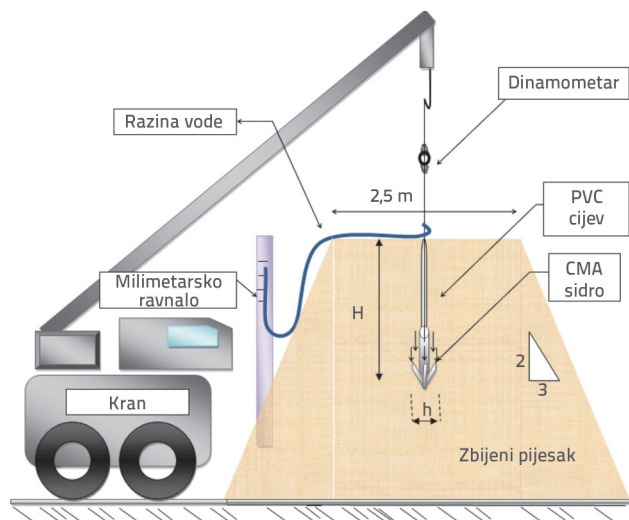
Mehanizam koji omogućuje zatvaranje tog modela osmišljen je kako bi pružio nekoliko prednosti kao što je mogućnost sklapanja CMA-e, olakšao njegovu implementaciju, transport i skladištenje te kako bi se u budućnosti provela dodatna ispitivanja. Skice križnih sidara prikazane su na slici 4.

6. Eksperimentalni postupak

6.1. Postavljanje ispitivanja

Ispitivanje je uključivalo primjenu postupne sile izvlačenja koju osigurava pneumatska dizalica, gdje se sila prenosila preko

užeta na sidro tipa CMA ugrađeno u sredinu zbijenog pijeska. Uže je bilo spojeno na dinamometar koji je omogućavao očitavanje primijenjenih sila. Uređaj za usporedbu pomaka (mjerenje razine vode i milimetarsko ravnalo) pričvršćen je na gornji kraj sidrene šipke za mjerenje vertikalnih pomaka. Pojediniosti o uređaju prikazane su na slici 5.



Slika 5. Shema ispitnog postava

6.2. Provođenje ispitivanja

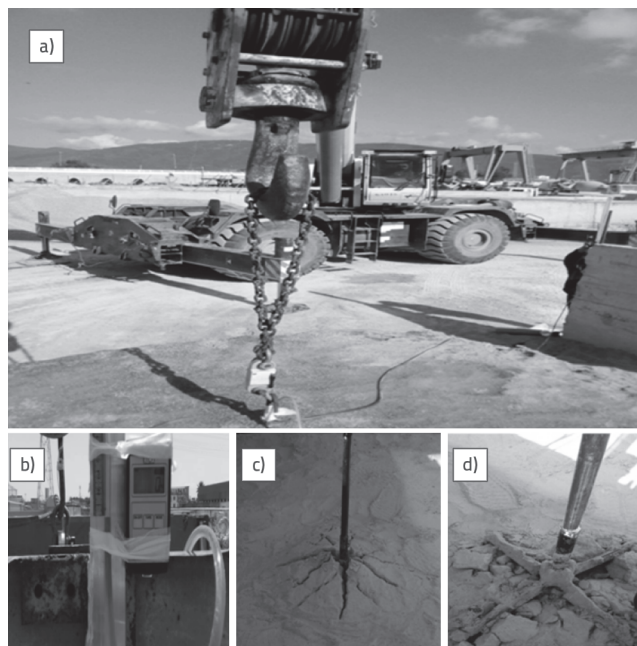
U sljedećem je odjeljku opisan postupak koji je primijenjen pri provođenju eksperimenta na novopredloženim horizontalnim sidrenim pločama.

U omjeru duljine sidrenja (H/h) H označava vertikalnu udaljenost od površine tla do sidrene ploče, a h visinu (ili promjer za kružna sidra) sidra. Taj je omjer ključni bezdimenzijski parametar koji standardizira relativnu dubinu sidrenja i ima odlučujuću ulogu u procjeni učinkovitosti sidra uslijed uzgona. U ovom je istraživanju duljina sidra održavana konstantnom na $h = 50$ cm, a dubina H varirala je kako bi se postigao željeni omjer H/h . Ispitano je pet slučajeva: $H/h = \{0,3, 0,5, 1, 2 \text{ i } 3\}$. Slojevi i dimenzije ugrađenog pijeska formirani su prema postupku navedenome u poglavlju 4.2. To uključuje ugradnju pijeska sloj po sloj, zbijanje do visine od 0,2 m i izravnavanje površine volumena u obliku jednoličnih slojeva, pri čemu se višak pijeska pomiče prema krajevima. Horizontalna sidrena ploča zatim se postavlja u središte nasipa na visini od 0,4 m na poravnani i zbijeni dio kako bi se izbjeglo moguće slijeganje ispod sidra. Uže koje omogućuje prijenos sile izvlačenja između dizalice i sidra mora biti zategnuto i okomito na sidro. Dinamometar, opremljen daljinskim prikazom (kako bi se operater udaljio iz opasne zone), postavljen je između sidra i užeta, omogućujući bilježenje razine izvlačne sile. Nanošenje zbijenih slojeva tla nastavlja se iznad sidra sve dok dubina pijeska ne dostigne željenu dubinu H izvedenu iz omjera H/h . Navedeno se prati topografskom opremom radi postizanja veće preciznosti.

Uređaj za mjerenje pomaka glave za sidrenje, a koji se sastojao od prozirne cijevi s obojenom vodom, bio je spojen na svojem prvom kraju na glavu za sidrenje, a na drugome kraju na milimetarsko ravnalo. Sljedeći korak bio je provjeriti okomitost užeta te resetirati dinamometar i uređaj za mjerenje pomaka na nulu (vidi sliku 6.). Kako bi se uklonila svaka sumnja u vezi s potencijalnim utjecajem granica nasipa na rezultate, provedeno je dodatno ispitivanje za $H/h = 3$ primjenom nasipa većeg volumena, s promjerom površine većim od 3 m.

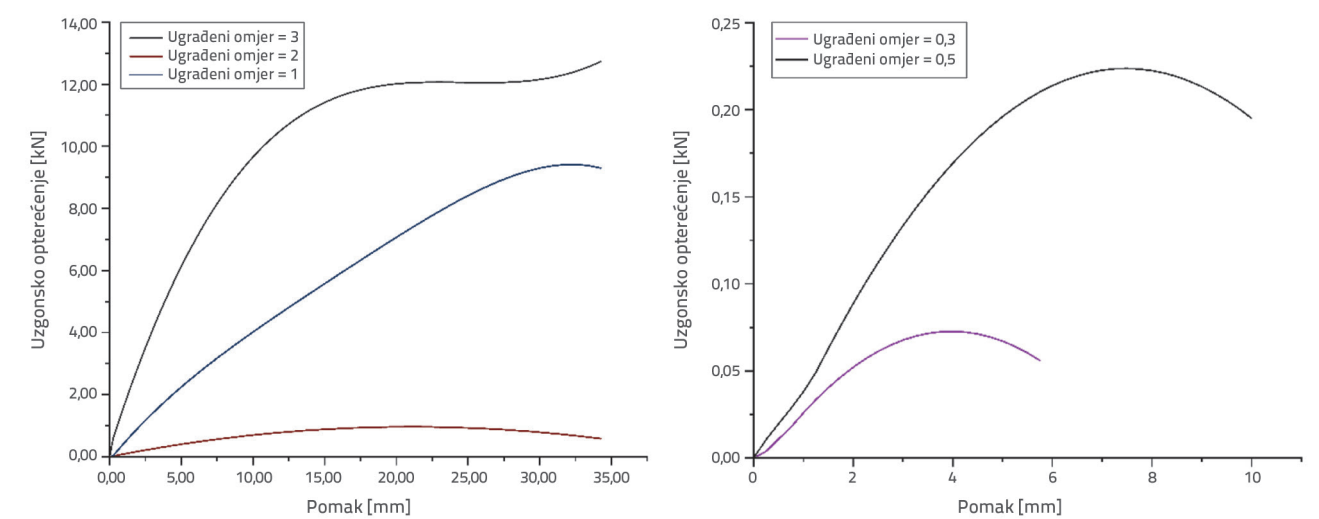


Slika 6. CMA sidro ugrađeno u pijesak



Slika 7. Pregled komponenti ispitivanja

Nakon sidrenja otvorene CMA-e u zbijeni pijesak u više slojeva primijenjene su uzastopne i rastuće priraste osne sile izvlačenja od približno 100 N, koje je osiguravala dizalica metalnim užetom. Ta su opterećenja odmah zabilježena pomoću daljinskog prikaza dinamometra, dok su pomaci sidra mjereni pomoću razine



Slika 8. Nosivost uslijed uzgona CMA-e na različitim dubinama kao funkcija rezultirajućih pomaka

Tablica 2. Pojediniosti o određenim postojećim eksperimentima na sidrenim pločama uobičajenog oblika [1, 2, 4]

Eksperiment	Godina provedbe	Oblik	φ [°]	Dimenzije [mm]
Dickin [1]	1988.	Kvadratna i pravokutna sidra	48	50
Patel i Parmar [2]	2022.	Kvadratna sidra	45,65	300
Bouazza i Finlay [4]	1990.	Kružna sidra	39	37,5

vode i milimetarskog ravnala. Ispitivanje izvlačenja provedeno je sve do sloma tla, a postupak ispitivanja sniman je digitalnom kamerom tijekom cijelog eksperimenta.

Na slici 7. prikazane su glavne faze eksperimentalnog postupka: a) početna primjena opterećenja, b) mjerenje sila izvlačenja i pomaka pomoću dinamometra s daljinskim očitavanjem i razine vode za praćenje pomaka, c) početak sloma tla i d) vađenje sidra na kraju ispitivanja.

7. Rezultati ispitivanja

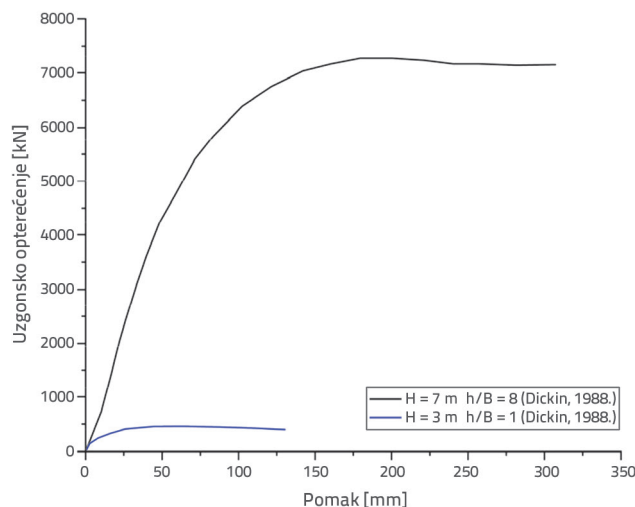
7.1. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja

Kako bi se prikazao razvoj otpornosti tla tijekom eksperimentalnih ispitivanja provedenih u pijesku na različitim dubinama, rezultati su prikazani u obliku krivulja (slika 8.). Na slici je prikazano ponašanje CMA sidrenih ploča od primjene sile do sloma tla. Primijećen je brz porast otpora izvlačenju CMA sidra uz minimalne pomake sidra od početka primjene sile sve do približavanja slomu tla. U blizini sloma tla porast se otpora smanjio, što upućuje na jasno izražen vršni maksimum. Taj je trenutak ključan jer predstavlja maksimalno izvlačno opterećenje koje tlo može podnijeti. Nakon sloma tla otpor se smanjio i bio je popraćen znatnim pomakom. Izuzetak predstavlja krivulja sila-pomak za dubinu $H/h = 1$, koja se odlikuje vrlo brzim padom otpora nakon sloma tla, kao i krivulje za $H/h = 0,5$ i $0,3$, gdje se pomaci brzo povećavaju od početka opterećenja izvlačenjem pa sve do sloma.

U slučaju plitke ukopanosti sidra niski otpor izvlačenju može se pripisati smanjenome volumenu sidrenog bloka koji se mobilizira protiv izvlačenja. To ponašanje dodatno je objašnjeno činjenicom da tlo između sidrenih lopatica ne doprinosi znatno ukupnoj otpornosti izvlačenju.

7.2. Referentni eksperimenti za usporedbu

Kako bi se osigurala pouzdana usporedba, odabrani su eksperimenti provedeni u uvjetima sličnima trenutačnome istraživanju te će oni činiti osnovu usporedbe. Za komparativnu analizu odabrana su tri referentna eksperimentalna istraživanja. Prvo je istraživanje [2] uključivalo ispitivanja izvlačenja na kvadratnim sidrenim pločama s $h = 0,15$ i $0,30$ m ugrađenima u pijesak s $\varphi = 45,65^\circ$, na dubinama koje dosežu $0,8$ m. Drugo je istraživanje [1] ispitivalo pravokutna sidra debljine $B = 50$ mm i različitih omjera širine i visine ($h/B = 1, 2, 5$ i 8) ugrađena u pijesak s $\varphi = 48^\circ$, za omjere ukopanosti (H/h) do 8 . Treće se istraživanje [18] usredotočilo na kružne sidrene ploče promjera $37,5$ mm, podvrgnute vertikalnome opterećenju u suhome pijesku s $\varphi = 39^\circ$, i omjere ukopanosti između 1 i 12 [1, 2, 4]. Odabrani eksperimenti grupirani su u tablici 2. Autore je primarno zanimao oblik krivulje koja predstavlja odnos između sile izvlačenja i rezultirajućih pomaka. U tu se svrhu pozivaju na rezultate dobivene u [1], u kojemu su ispitivana sidra kvadratnog ($h = B = 50$ mm) i pravokutnog oblika usidrena u pijesku na različitim dubinama.

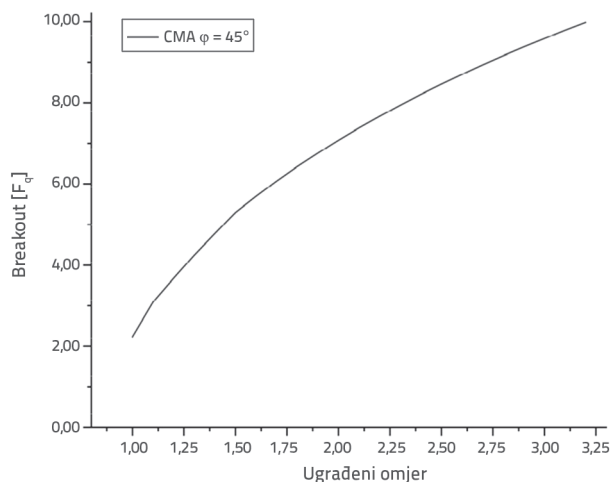


Slika 9. Nekoliko rezultata Dickinovih eksperimenata [1, 8]

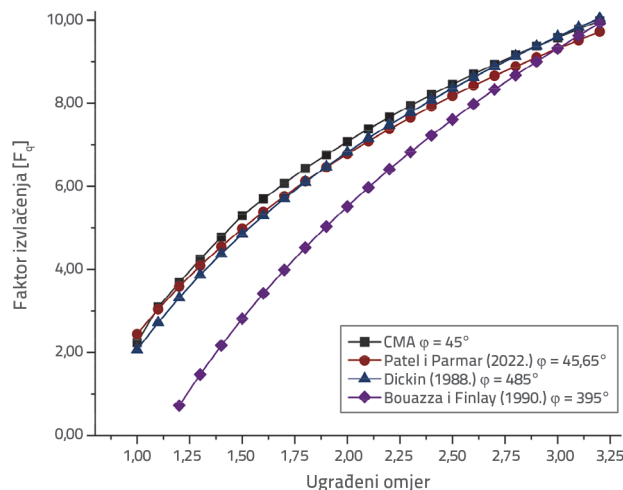
Usporedbom oblika dobivenih krivulja s onima iz reference [1], prikazanim na slici 9., i reference [12], u kojoj je uočena jasna razlika u odnosu opterećenja i pomaka za plitka i duboka sidra, primijećeno je da se tlo koje podupire CMA sidro izloženo izvlačnoj sili ponaša slično kao tlo koje podupire kvadratno ili okruglo sidro. Izuzetak su tla s otporima za CMA sidro s omjerom $H/h \leq 1$, čiji je otpor jednak otporu plitkoga tradicionalnog sidra, dok se sva sidra s omjerom H/h većim od 1 ponašaju poput dubokoga kvadratnog ili okruglog sidra.

7.3. Faktor izvlačenja F_q

U svakome ispitivanju provedenome na određenoj dubini sidra izračunana je konačna sila izvlačenja, koja je potom unesena u izraz (1). Cilj je bio izračunati odgovarajuće faktore izvlačenja. Faktori izvlačenja za svako ispitivanje prikazani su zajedno u obliku krivulje (slika 10.).

Slika 10. Varijacija faktora izvlačenja CMA s omjerom ukopanosti (H/h)

Značaj F_q kontinuirano se povećavao s povećanjem omjera H/h . Međutim, navedeni rast faktora izvlačenja smanjivao se s porastom H/B za veće vrijednosti, posebno za omjere H/B veće od 2,2. Rezultati trenutačne analize uspoređeni su s eksperimentalnim rezultatima iz [1], provedenima u centrifugi na Zavodu za građevinarstvo Sveučilišta u Liverpoolu (Ujedinjeno Kraljevstvo), te s rezultatima iz [17]. Usporedba je prikazana na slici 10.



Slika 11. Usporedba faktora izvlačenja CMA-e i laboratorijskih eksperimentalnih rezultata za sidrene ploče [1, 2, 4]

Na slici pokazano je da za omjere H/h veće ili jednake 1,4 CMA pruža faktore izvlačenja koji su vrlo slični, a ponekad i jednaki uobičajenim sidrenim pločama primijenjenima u literaturi [1, 2]. Zabilježeno je prosječno odstupanje jednako 0,19 za vrlo male dubine s omjerom H/h manjim od 1,4, što upućuje na znatnu razliku između uspoređenih sidara, s prosječnim odstupanjem $|\Delta F_q|$ koje iznosi 0,26. Ti zaključci ulijevaju povjerenje u pouzdanost rezultata dobivenih u ovome istraživanju jer pokazuju da granični učinci ne utječu na ukupne ishode. Sidreni blok CMA-e bio je jednak bloku sidrene ploče s jednakim dimenzijama. Važno je napomenuti da je odstupanje u vrijednostima faktora izvlačenja između konvencionalne sidrene ploče i CMA-e ograničeno na omjer H/h u rasponu od [0,1,4]. Tumačenje te razlike jest takvo da je blokada koja se javlja neposredno iznad sidra, točnije između šipki CMA, manje znatna.

8. Zaključak

Rezultati su pokazali da je razvoj sile izvlačenja novog oblika CMA sidra u sloju pijeska tijekom opterećenja bio jednak razvoju sile kod konvencionalne ploče sidra. Taj je razvoj tekao u dvije faze. Prvo je tekla početna linearno-elastična faza, a zatim plastična faza koja traje sve do sloma tla. To ponašanje zabilježeno je u svim provedenim ispitivanjima. Najveća sila izvlačenja bila je povezana s povećanjem omjera H/h sidra. Naime, sila izvlačenja veća je kada je dubina sidrenja veća

jer je volumen tla koji pruža otpor izvlačenju tada znatniji. Rezultati dobiveni CMA sidrom ohrabrujući su i korisni, a ta nova konstrukcija sidrene ploče dokazala je svoju učinkovitost u ispitivanjima izvlačenja, postigavši kritične sile ekvivalentne onima kod konvencionalnih sidrenih ploča (jer isti sidreni blok sudjeluje u otporu izvlačenju), što je potvrđeno usporedbom s eksperimentalnim rezultatima prethodnih studija [1, 2]. Nakon što je uklonjen znatni dio površine konvencionalne sidrene ploče (kvadratne za 92 % ili kružne za 43 %) kako bi se dobio križni CMA oblik, postignuti su isti rezultati u pogledu otpora izvlačenju. To smanjenje volumena čelika ima nekoliko ekonomskih i ekoloških prednosti. Navedeno sidro smanjuje količinu (volumen i težinu) čelika koji čini sidrenu ploču, što rezultira smanjenjem troškova proizvodnje, troškova prijevoza (smanjena težina i većih mogućnosti slaganja) i potrošnje energije tijekom proizvodnje, što u konačnici smanjuje opremu potrebnu za njegovu ugradnju.

U ovom je istraživanju ispitan učinak ugradnje zatvorene CMA-e prije primjene kratkotrajne sile izvlačenja do potpunog otvaranja sidra. Nakon toga provedena su potrebna ispitivanja izvlačenja i proučeni uvjeti sanacije. Utjecaj različitih tipova tla na faktor nosivosti bit će obrađen u budućim istraživanjima planiranima kao dio sljedećih publikacija. Nova sidrena ploča donosi nove mogućnosti za geotehničku industriju, otvarajući put učinkovitijim i isplativijim rješenjima. Uvidi stečeni ovim istraživanjem doprinijet će poboljšanju projektiranja i gradnje u području geotehnike, a istodobno će ojačati stabilnost i trajnost konstrukcija u raznim primjenama. Novo križno sidro obećavajući je napredak u području geotehnike. Rezultati upućuju na to da se ta sidra mogu učinkovito primjenjivati za ojačanje geotehničkih konstrukcija i za pružanje otpora bočnim opterećenjima, čime se pružaju ekonomičnija i učinkovitija rješenja za različite geotehničke primjene. Kako bi se poboljšao dizajn i procijenila dugoročna učinkovitost sidrenih križnih ploča, potrebna su daljnja istraživanja.

LITERATURA

- [1] Dickin, E.A.: Uplift behavior of horizontal anchor plates in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 114 (1988) 11, pp. 1300–1317, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9410\(1988\)114:11\(1300\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9410(1988)114:11(1300))
- [2] Patel, P., Parmar, S.P.: Experimental and analytical study on uplift capacity of square horizontal anchor in cohesionless soil. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*, (2022) 11, <https://zenodo.org/record/7298849>
- [3] Das, B.M., Shukla, S.K.: *Earth Anchors: Second Edition*. J. Ross Publishing, 2013.
- [4] Bouazza, A.: Uplift behaviour of circular plate anchors in cohesionless soils, 1990, <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.796497>
- [5] Dewaikar, D.M.: Deshmukh ProfVB. Estimation of uplift capacity of horizontal plate anchor in sand, *Global Journal of Researches in Engineering*, (2019) 5, pp. 19–37, <https://doi.org/10.34257/gjreevol19is4pg19>
- [6] Bradshaw Hu, W., Lin, Z., Wang, H., Zhao, P., Hao, D., Gong, J.: Method for calculating the uplift capacity of a circular anchor plate at arbitrary depth in sand, *Ocean Engineering*, (2023) 6, Paper 286:115441, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115441>
- [7] Kumar, J.: Uplift resistance of strip and circular anchors in a two layered sand, *Soils and Foundations*, 43 (2003) 1, pp.101–107, <https://doi.org/10.3208/sandf.43.101>
- [8] Ilamparuthi, K., Dickin, E.A., Muthukrisnaiah, K.: Experimental investigation of the uplift behaviour of circular plate anchors embedded in sand, *Canadian Geotechnical Journal*, 29 (2002) 3, pp. 648–664, <https://doi.org/10.1139/t02-005>
- [9] Jung, J.K., O'Rourke, T.D., Argyrou, C.: Multi-directional force–displacement response of underground pipe in sand, *Canadian Geotechnical Journal*, 53 (2016) 11, pp. 1763–1781, <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0059>
- [10] Roy, A., Chow, S.H., O'Loughlin, C.D., Randolph, M.F.: Towards a simple and reliable method for calculating uplift capacity of plate anchors in sand, *Canadian Geotechnical Journal*, 58 (2020) 9, pp. 1314–1333, <https://doi.org/10.1139/cgj-2020-0280>
- [11] Kumar, J., Rahaman, O.: Vertical uplift resistance of horizontal plate anchors for eccentric and inclined loads, *Canadian Geotechnical Journal*, 56 (2018) 2, pp. 290–299, <https://doi.org/10.1139/cgj-2017-0515>
- [12] Merifield, R.S., Sloan, S.W.: The ultimate pullout capacity of anchors in frictional soils, *Canadian Geotechnical Journal*, 43 (2006) 8, pp. 852–868, <https://doi.org/10.1139/t06-052>
- [13] Yünkül, K., Gürbüz, A.: Uplift behavior of shallow horizontal plate anchors reinforced with geocells in cohesionless soil, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 36 (2020) 4, pp. 1243–1266, <https://doi.org/10.1080/19648189.2019.1707123>
- [14] Meyerhof, G.G., Adams, J.I.: The ultimate uplift capacity of foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, 5 (1968) 4, pp. 225–244, <https://doi.org/10.1139/t68-024>
- [15] Sabermahani, M., Nasirabadi, M.S.: Vertical uplift resistance of an innovative plate anchor embedded in sand, *Marine Georesources and Geotechnology*, 39 (2020) 7, pp. 842–858, <https://doi.org/10.1080/1064119x.2020.1773590>
- [16] Niroumand, H., Kassim, K.A.: Uplift response of irregular shape anchor in sand, *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 51 (2014) 1, pp. 23–28, <https://doi.org/10.1007/s11204-014-9249-9>
- [15] Rao, K.S.S., Kumar, J.: Vertical uplift capacity of horizontal anchors, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120 (1994) 7, pp. 1134–1147, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9410\(1994\)120:7\(1134\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9410(1994)120:7(1134))